

ระบบวัดอัตราการไหลอากาศภายในเครื่องฝึกกล้ามเนื้อควบคุมการหายใจ
FLOW RATE MEASUREMENT IN RESPIRATORY MUSCLE TRAINING DEVICE

กอบพัทธ์ อธิพันธุ์จินดา
KOBPAT ATIPANJINDA

จิรพัทธ์ อนันตหิรัญรัตน์
JIRAPAT ANUNTAHIRUNRAT

วิไลนุช ศรีบูรณศร
WILAINUT SRIBURANASORN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2557

ระบบวัดอัตราการไหลอากาศภายในเครื่องฝึกกล้ามเนื้อควบคุมการหายใจ

FLOW RATE MEASUREMENT IN RESPIRATORY MUSCLE TRAINING DEVICE

โดย

นายกอบพัทธ์ อธิพันธุ์จินดา

นายจิรพัทธ์ อนันต์หิรัญรัตน์

นางสาววิไลนุช ศรีบูรณศร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.กิตติพล ชิตสกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่พ.ศ.2557 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบวัดอัตราการไหลอากาศภายในเครื่องฝึกกล้ามเนื้อควบคุมการหายใจ

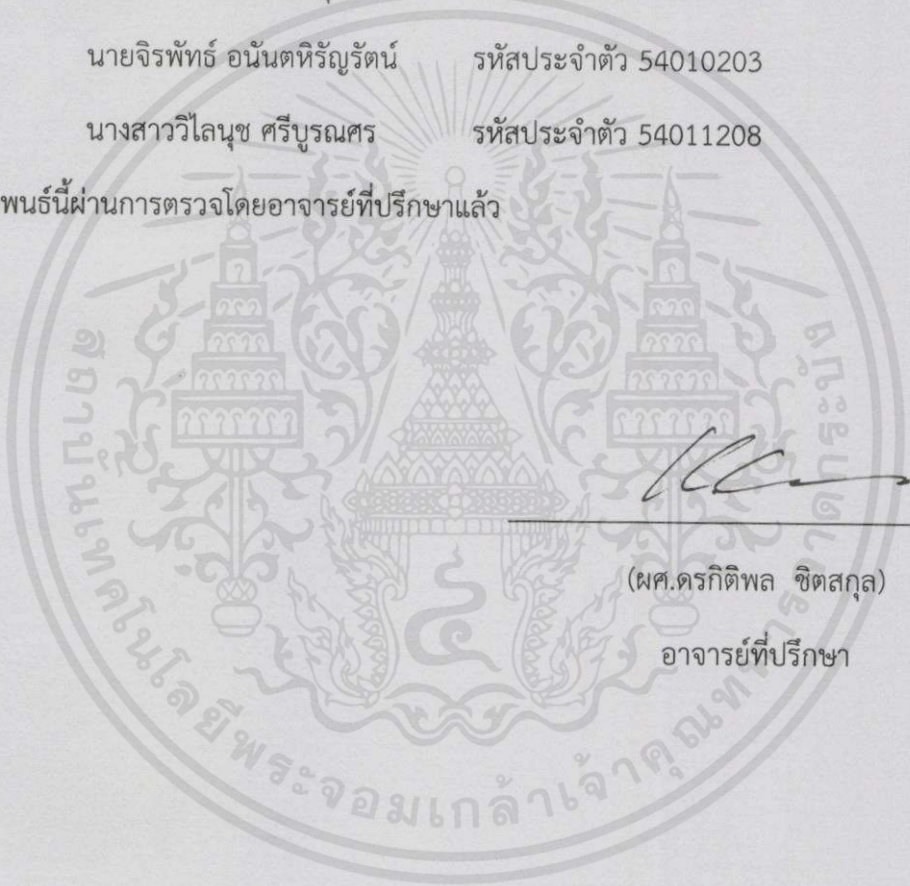
FLOW RATE MEASUREMENT IN RESPIRATORY MUSCLE TRAINING DEVICE

ผู้จัดทำ นายกอบพัทธ์ อธิพันธุ์จินดา รหัสประจำตัว 54010081

นายจิรพัทธ์ อนันตหิรัญรัตน์ รหัสประจำตัว 54010203

นางสาววิไลนุช ศรีบูรณศร รหัสประจำตัว 54011208

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(ผศ.ดร.กิติพล ชิตสกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Flow rate Measurement in Respiratory Muscle Training Device
Student	Mr.Kobpat Atipanjinda Student ID 54010081 Mr.Jirapat Anuntahirunrat Student ID 54010203 Miss.Wilainut Sriburanasorn Student ID 54011208
Degree	Bechelor of Engineering
Program	Electronics of Engineering
Year	2014
Thesis Advisor	Ast.Prof.Kitipol Chitsakul (Advisor)

ABSTRACT

Respiratory muscles training is necessary for patients who are recovering from surgery or who have been suffering from Chronic obstructive pulmonary disease (COPD.) The therapeutic device forces the patient to inhale and exhale through several filtration levels. The device was designed to be capable to measure the flow rate of the internal air. The flow sensing is based on the fast switching semiconductor diode. The air flow rate is used as recovering indication.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

ระบบวัดอัตราการไหลอากาศภายในเครื่องฝีกกล้ามเนื้อควบคุมการ
หายใจ

นักศึกษา

นายกอบพัทธ์ อธิพันธุ์จินดา รหัสประจำตัว 54010081
นายจิรพัทธ์ อนันตศิริณรัตน์ รหัสประจำตัว 54010203
นางสาววิไลนุช ศรีบูรณศร รหัสประจำตัว 54011208

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ปีการศึกษา

2557

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผศ.ดร.กิตติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

เครื่องฝีกกล้ามเนื้อควบคุมการหายใจเป็นอุปกรณ์ช่วยในการบริหารกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการหายใจ สำหรับผู้ป่วยพักฟื้นหลังการผ่าตัดบริเวณช่องอกหรือสำหรับผู้ป่วยโรคปอดอุดตันเรื้อรัง ซึ่งทำให้เกิดอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรง การฟื้นฟูทำได้โดยให้ผู้ป่วยหายใจผ่านอุปกรณ์ที่มีแรงต้านขณะหายใจ ผ่านแผ่นกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพการกรองต่างกัน โดยอุปกรณ์ได้รับการออกแบบให้สามารถตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศภายในอุปกรณ์ การวัดการไหลของอากาศใช้หลักการพาความร้อนจากไดโอดที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นเซ็นเซอร์วัดการไหล ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ของการฟื้นฟูของผู้ป่วยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จสมบูรณ์ไปได้ด้วยดีทั้งนี้ เนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจากท่าน ผศ.ดร.กิตติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการให้คำปรึกษาและคำแนะนำรวมไปถึงชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้จัดจัดทำรู้สึกทราบบ้างซึ่งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์ สังกัดภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำแนะนำและเอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ สังกัดภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำแนะนำและเอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณพี่คาง นายชัชชาย คาง ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการทำวิจัย ตลอดจนการให้คำปรึกษาเกี่ยวกับวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัย

ขอขอบคุณ นางสาวศศิวิมล ไชยวิมางค และนางสาวณัฐริทธิ์ อุปฐานา ที่ได้ให้คำปรึกษาและประสานการติดต่อกับอาจารย์ อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ได้เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยห่วงใยและให้การสนับสนุนด้านการศึกษาและให้กำลังใจตลอดมา

ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความอนุเคราะห์ จึงทำให้รายงานฉบับนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์ ซึ่งมีทั้งประโยชน์และคุณค่าที่พึงมีในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

กอบพัทธ์ อธิพันธุ์จินดา

จิรพัทธ์ อนันตศิริภูรัตน์

วีไลนุช ศรีบูรณศร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 เครื่องช่วยบริหารปอด.....	5
2.2.1 เครื่อง Tri-ball.....	5
2.2.2 เครื่อง Ultrabreath.....	6
2.2.3 เครื่อง Threshold IMT.....	7
2.2.4 เครื่อง Powerbreath.....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ดาวน์โหลดไว้สำหรับนำมาใช้ประกอบการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 2.3 ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้อง.....8
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

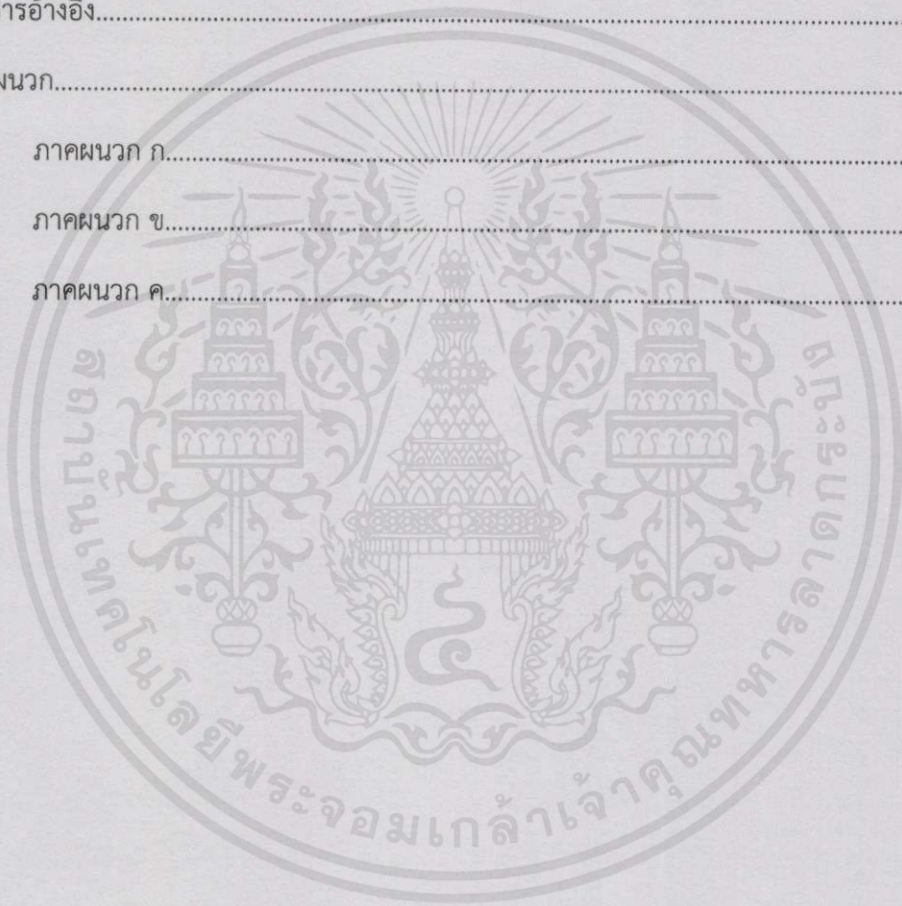
สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 การออกแบบวงจร.....	24
3.2.1 วงจร Simple wind meter.....	25
3.2.2 วงจร Current shunt monitor.....	25
3.3 รูปวงจรที่ใช้.....	25
3.3.1 วงจร Simple wind meter.....	25
3.3.2 วงจร Current shunt monitor.....	26
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	27
4.1 การทดลองเลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC558 กับ BC559.....	27
4.2 ทดลองวงจรโดยใช้ Diode พันลวดเป็น sensor.....	29
4.3 การทดลองต่อ R Shunt กับวงจร Simple wind meter.....	35
4.4 ทดสอบการทำงานของ LM335z ใน 2 รูปแบบ.....	36
4.5 การทดลองหาเสถียรภาพของไดโอดแบบต่างๆ.....	38
4.6 ทำการทดสอบวงจร Simple wind meter โดยใช้ไดโอดแทนเซ็นเซอร์อุณหภูมิ.....	40
4.7 การทดลองวงจร Simple wind meter เมื่อมีการปรับอัตราการใช้ของอากาศ1.....	42
4.8 การทดลองวงจร Simple wind meter เมื่อมีการปรับอัตราการใช้ของอากาศ2.....	47
4.9 การทดลองตรวจสอบ INA128.....	50
4.10 การทดลองการทำงานของวงจร Simple wind meter กับวงจร Instrumentation amplifier.....	52
บทที่ 5 บทสรุป.....	59
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	59

เอกสารนี้เป็น 5.2 วิจัยารณ์ผลการทดลอง..... ใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น 61 ถ้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำวิจัย.....	62
5.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างทำการวิจัย.....	62
5.5 แนวทางการพัฒนาแก้ไข.....	62
เอกสารอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก.....	64
ภาคผนวก ก.....	65
ภาคผนวก ข.....	68
ภาคผนวก ค.....	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงผลการทดลองเมื่อไม่ใส่ Compensation.....	28
4.2 แสดงผลการทดลองเมื่อใส่ Compensation.....	28
4.3 แสดงผลการทดลองเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ลวดนิโครมครั้งที่ 1.....	29
4.4 แสดงผลการทดลองเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ลวดนิโครมครั้งที่ 2.....	30
4.5 แสดงผลการทดลองเมื่อปรับตามอุณหภูมิทุกๆ 5 องศาเซลเซียสครั้งที่ 1.....	31
4.6 แสดงผลการทดลองเมื่อปรับตามอุณหภูมิทุกๆ 5 องศาเซลเซียสครั้งที่ 2.....	32
4.7 แสดงผลการทดลองเมื่อต่อ R_{shunt} ในวงจร Simple wind meter.....	35
4.8 แสดงผลการทดลองของการต่อแบบ Basic Temperature sensor.....	36
4.9 แสดงผลการทดลองของการต่อแบบ Calibrated sensor.....	37
4.10 แสดงผลการทดลองไดโอดแบบต่างๆ.....	38
4.10 (ต่อ).....	39
4.11 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ไดโอดเปล้า และมีฟลว์ของอากาศ(Air flow)เป็นลมเย็น.....	40
4.12 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ไดโอดเปล้า และมีฟลว์ของอากาศ(Air flow)เป็นลมร้อน.....	41
4.13 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ไดโอดหุ้มท่อหัด และมีฟลว์ของอากาศ(Air flow)เป็นลมเย็น.....	41
4.14 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ไดโอดหุ้มท่อหัด และมีฟลว์ของอากาศ(Air flow)เป็นลมร้อน.....	41
4.15 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 1 ของการทดลองที่ 4.7.....	44
4.16 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 2 ของการทดลองที่ 4.7.....	45
4.17 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 3 ของการทดลองที่ 4.7.....	45
4.18 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 1 ของการทดลองที่ 4.8.....	47
4.18 (ต่อ).....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.19 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 2 ของการทดลองที่ 4.8.....	48
4.20 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 3 ของการทดลองที่ 4.8.....	48
4.20 (ต่อ).....	49
4.21 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 1 ของการทดลองที่ 4.10.2.1.....	52
4.21 (ต่อ).....	53
4.22 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 2 ของการทดลองที่ 4.10.2.1.....	53
4.23 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 3 ของการทดลองที่ 4.10.2.1.....	53
4.23 (ต่อ).....	54
4.24 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 1 ของการทดลองที่ 4.10.2.2.....	54
4.25 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 2 ของการทดลองที่ 4.10.2.2.....	54
4.25 (ต่อ).....	55
4.26 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 3 ของการทดลองที่ 4.10.2.2.....	55
4.27 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 4 ของการทดลองที่ 4.10.2.2.....	55
4.27 (ต่อ).....	56
5.1 ตารางแสดงอัตราการไหลของอากาศเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกมีการเปลี่ยนแปลง.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เครื่อง Tri-ball.....	6
2.2 เครื่อง Ultrabreath.....	6
2.3 เครื่อง Threshold IMT.....	7
2.4 เครื่อง Powerbreath.....	8
2.5 วงจรขยายสัญญาณและคุณสมบัติของขาของอุปกรณ์.....	9
2.6 ก. แสดงอัตราขยายของวงจรขยาย ข. แสดงวงจรสมมูลของวงจรขยาย.....	10
2.7 วงจรตามสัญญาณแรงดัน.....	11
2.8 ลักษณะของวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรตามสัญญาณแรงดัน.....	11
2.9 วงจรขยายผลต่าง.....	13
2.10 พิจารณา V_1 โดยให้ $V_2 = 0$	13
2.11 พิจารณา V_2 โดยให้ $V_1 = 0$	14
2.12 วงจรขยายอินสตรูเมนต์.....	15
2.13 สัญลักษณ์ของไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำ.....	16
2.14 กราฟแสดงคุณสมบัติเฉพาะของกระแสและแรงดันของรอยต่อ p-n ของไดโอด.....	16
2.15 แสดงของไหลที่ไหลผ่านท่อและตัวแปรต่างๆ.....	22
3.1 วงจร Simple wind meter.....	25
3.2 วงจร Current shunt monitor.....	26
4.1 วงจร Simple wind meter ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ทางออกกับอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 1 ของการทดลองที่ 4.2.2.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ทางออกกับอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 2 ของการทดลองที่ 4.2.2.....	31
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ทางออกกับอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 1 ของการทดลองที่ 4.2.3.....	32
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ทางออกกับอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 2 ของการทดลองที่ 4.2.3.....	33
4.6 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ลวดนิโครมทั้ง 2 ครั้ง.....	33
4.7 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองโดยการปรับอุณหภูมิทุก 5 องศาเซลเซียสทั้ง 2 ครั้ง.....	34
4.8 วงจร Non-inverting Op-amp ต่อกับ Basic Temperature sensor.....	36
4.9 วงจร Non-inverting Op-amp ต่อกับ Calibrated sensor.....	37
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_o กับ V_{cc} ของการทดลองทั้ง 2 แบบ.....	38
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ทางออกกับเวลาของการทดลองไดโอดทั้ง 3 แบบ.....	39
4.12 เครื่อง Tray dry ที่ใช้ในการทดลอง.....	42
4.13 กล่องควบคุมความเร็วของมอเตอร์.....	43
4.14 Anemometer ที่ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศขณะทำการทดลอง.....	43
4.15 ทดลองวงจรกับเครื่อง Tray dry.....	44
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับกระแสไฟฟ้าที่ทางออกทั้ง 3 ครั้ง.....	46
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกระแสไฟฟ้าที่ทางออกทั้ง 3 ครั้ง.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ของอากาศกับกระแสไฟฟ้าที่ทางออก ทั้ง 3 ครั้ง.....	49
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกระแสไฟฟ้าที่ทางออกทั้ง 3 ครั้ง.....	50
4.20 วงจรทดสอบการทำงานของ INA128.....	51
4.21 วงจร Instrumentation amplifier.....	52
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ของอากาศกับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก เมื่อ วงจร Instrumentation Amplifier มีอัตราขยายเท่ากับ 1.....	56
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก เมื่อวงจร Instrumentation Amplifier มีอัตราขยายของวงจรเป็น 1.....	57
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ของอากาศกับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก เมื่อ วงจร Instrumentation Amplifier มีอัตราขยายเท่ากับ 2.....	57
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก เมื่อวงจร Instrumentation Amplifier มีอัตราขยายเป็น 2.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การทำงานของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการหายใจมีความสำคัญอย่างมากในการใช้ชีวิต เนื่องจากกล้ามเนื้อหายใจเป็นกล้ามเนื้อที่ถูกใช้งานบ่อยที่สุดโดยไม่มีโอกาสที่จะได้หยุดพัก ซึ่งอาจจะเกิดอาการอ่อนล้าหรือบาดเจ็บได้ในกรณีที่เกิดภาวะกล้ามเนื้อหายใจทำงานผิดปกติ การทำงานของกล้ามเนื้อหายใจมีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับการทำงานของกล้ามเนื้อลาย โดยการทำงานของกล้ามเนื้อจะดีขึ้นถ้ากล้ามเนื้อเหล่านี้ได้รับการฝึกบ่อยๆ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ โดยทั่วไปนั้นจะใช้วิธีการกายภาพบำบัด ซึ่งมีหลายรูปแบบ เช่นการกายภาพบำบัดโดยการฝึกการหายใจ การกายภาพบำบัดโดยการฝึกเคลื่อนไหวข้อต่อรอบๆทรวงอก การกายภาพบำบัดโดยการหายใจผ่านเครื่องช่วยบริหารTri-ball เป็นต้น

ในปัจจุบันมีผู้ป่วยที่มีอาการบกพร่องทางด้านระบบการหายใจหรือผู้ป่วยพักฟื้นหลังการผ่าตัดช่องอกและผู้ป่วยโรคปอดอุดตันเรื้อรังที่มีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงทำให้หายใจได้ไม่สะดวก จึงต้องได้รับการบำบัดฟื้นฟูเพื่อให้กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจนั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในผู้ป่วยที่มีปัญหากล้ามเนื้อหายใจอ่อนแรงหรือผู้ป่วยที่มีปัญหาไม่สามารถออกกำลังกายได้เนื่องจากปัญหาทางระบบการหายใจ การฝึกกล้ามเนื้อหายใจจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานให้กับกล้ามเนื้อหายใจ เพื่อให้ร่างกายได้รับการฟื้นฟูเพิ่มความสามารถในการออกกำลังกายและเพิ่มคุณภาพชีวิต ประสิทธิภาพของระบบหายใจขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อหายใจ โดยเฉพาะในนักกีฬาและผู้ป่วยที่มีปัญหาความทนทานของกล้ามเนื้อหายใจจำเป็นต้องได้รับการฝึกเพื่อให้กล้ามเนื้อหายใจมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้น อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับระบบการหายใจ ซึ่งเหมาะสำหรับการพัฒนาเพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงของร่างกายให้กับนักกีฬาและทหาร เพื่อให้ร่างกายมีความแข็งแรง สามารถทำงานได้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เนื่องจากในปัจจุบันมีผู้ป่วยที่มีอาการบกพร่องทางด้านระบบการหายใจมีแนวโน้มที่สูงขึ้น การได้รับการรักษาเพื่อการบำบัดฟื้นฟูจึงมีความสำคัญ เพื่อให้กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจนั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยการกายภาพบำบัดเพื่อทำการฟื้นฟูกล้ามเนื้อหายใจ การออกแบบอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการกายภาพบำบัดจึงมีความสำคัญอย่างมาก โดยต้องคำนึงถึงวิธีการและ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนในการทำกายภาพบำบัด ว่ามีวัตถุประสงค์ในการฟื้นฟูกล้ามเนื้อส่วนใด มีความเหมาะสมต่อผู้ป่วยหรือไม่ และอุปกรณ์ที่ใช้ถูกต้องและเหมาะสมตามหลักการทำงานของร่างกายหรือไม่ โดยใช้ไดโอดที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นเซ็นเซอร์(Sensor) ซึ่งมีความเร็วในการตอบสนองที่รวดเร็ว ทำให้ระบบมีความเร็วในการตอบสนองต่อการหายใจอย่างรวดเร็ว สามารถวัดค่าอัตราการไหลของอากาศภายในช่องทางเดินอากาศของอุปกรณ์ได้ เพื่อใช้ในการอ้างอิงและวินิจฉัยอาการของผู้ป่วย

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การบริหารกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับระบบการหายใจสามารถทำได้โดยการหายใจผ่านอุปกรณ์ที่ภายในมีการติดตั้งฟิลเตอร์(Filter)ไว้ ซึ่งเป็นการบริหารกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการหายใจ เนื่องจากการหายใจผ่านอุปกรณ์ที่มีการต้านทานการไหลของอากาศจะทำให้การหายใจเป็นไปได้ไม่สะดวก ทำให้ผู้ป่วยต้องออกแรงขณะทำการหายใจมากขึ้น ซึ่งถือได้ว่าเป็นการบริหารกล้ามเนื้อที่ใช้ในการหายใจ เครื่องมือนี้จึงเหมาะสำหรับผู้ป่วยพักฟื้นหลังการผ่าตัดบริเวณช่องอกหรือผู้ป่วยที่มีปัญหาด้านระบบหายใจ อีกทั้งได้มีการออกแบบให้ภายในช่องทางเดินอากาศมีอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการวัดอัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องมือว่ามีความเหมาะสมกับร่างกายของผู้ป่วยหรือไม่อีกด้วย เพื่อใช้ในการวินิจฉัยเพื่อการรักษาและทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการหายใจของผู้ป่วยทำการวัดค่าอัตราการไหลของอากาศภายในช่องทางเดินอากาศของเครื่องมือ เป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพในการหายใจของผู้ป่วย

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาและออกแบบเครื่องฝึกกล้ามเนื้อควบคุมการหายใจ และออกแบบระบบอุปกรณ์ที่ใช้ทำการวัดอัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องมือ ด้วยไดโอดที่ทำหน้าที่เปรียบเสมือนเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และอาศัยปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการไหลของอากาศภายในช่องทางเดินอากาศ ซึ่งสามารถนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนและอัตราการไหลของอากาศได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการรักษาผู้ป่วยที่มีความผิดปกติหรือมีความบกพร่องของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับระบบการหายใจ
2. เพื่อใช้ประกอบการวินิจฉัยเพื่อพัฒนาการบริหารกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับระบบการหายใจ เพื่อให้ร่างกายสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพื่อใช้กับผู้ป่วยที่อยู่ในระยะพักฟื้นหลังการผ่าตัดช่องอกโดยมีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงจึงจำเป็นต้องได้เข้ารับการกายภาพบำบัด

4. เพื่อใช้สำหรับลดภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัด ลดอาการปอดอักเสบและปอดบวม ลดอาการติดเชื้อมาในปอด ลดอาการคั่งค้ำของเสมหะในปอด

5. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบประสิทธิภาพในการหายใจของผู้ป่วย และใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการบำบัดฟื้นฟูกล้ามเนื้อหายใจ

6. เพื่อใช้กับการเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อสำหรับผู้สูงอายุที่ไม่ได้ออกกำลังกายเพื่อเสริมสร้างให้กล้ามเนื้อหายใจมีความแข็งแรง

7. เพื่อใช้กับการเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในนักกีฬาและทหาร เพื่อเสริมสร้างให้กล้ามเนื้อหายใจมีความแข็งแรงทำให้ร่างกายสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

1.6 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์

ภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาทั้งหมดออกเป็น 5 บท และภาคผนวกอีก 3 ภาค โดยในแต่ละบทมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึง บทนำ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ รวมไปถึงถึงหลักการใหม่ที่นำเสนอไว้ภายในวิทยานิพนธ์ แสดงรายละเอียดเนื้อหาโดยสรุปของแต่ละบท

บทที่ 2 กล่าวถึง หลักการและทฤษฎี อุปกรณ์บริหารปอดแบบต่างๆ ผลงานวิจัยต่างๆที่มีความสำคัญต่องานวิจัยนี้

บทที่ 3 กล่าวถึง วิธีดำเนินการวิจัย การออกแบบวงจร คุณสมบัติของวงจร และการเลือกใช้อุปกรณ์

บทที่ 4 กล่าวถึง การทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5 กล่าวถึง สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก ก บทความการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภาคผนวก ข บทความทฤษฎีการวัดกระแสไฟฟ้า

ภาคผนวก ค องค์ประกอบของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการและทฤษฎี

2.1 บทนำ

การหายใจเป็นกระบวนการซึ่งนำอากาศเข้าหรือออกจากปอดของสิ่งมีชีวิตที่ต้องการออกซิเจน(O₂) เพื่อปลดปล่อยพลังงานผ่านการหายใจระดับเซลล์ในรูปของเมตาบอลิซึม(Metabolism)โมเลกุลพลังงานสูง เช่น กลูโคส(Glucose) การหายใจเป็นเพียงกระบวนการเดียวซึ่งส่งออกซิเจนไปยังที่ที่ต้องการในร่างกายและนำคาร์บอนไดออกไซด์(CO₂)ออกจากร่างกาย นอกเหนือไปจากการนำคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกาย การหายใจส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำจากร่างกาย อากาศที่หายใจออกมีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% เพราะน้ำแพร่ข้ามพื้นผิวที่ชุ่มชื้นของทางเดินหายใจและถุงลมปอด โดยปกติอัตราการหายใจในขณะที่พักประมาณ 12-16 ครั้งต่อนาที ปริมาตรอากาศหายใจเข้าหรือออกต่อครั้งมีค่าประมาณ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตรในคนปกติ อากาศภายในถุงลมปอดจะให้ออกซิเจนแก่เลือด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที และจะต้องรับเอาคาร์บอนไดออกไซด์จากเลือดไปในอัตรา 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ในภาวะที่ร่างกายทำงานมากขึ้น เช่น การออกกำลังกาย ร่างกายจะต้องการออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น และคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดมากขึ้นด้วย ร่างกายจึงต้องเพิ่มการหายใจ เพื่อให้ได้ออกซิเจนมากขึ้นและกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกได้มากขึ้น ทั้งนี้เพื่อรักษาระดับความดันออกซิเจนและความดันคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดงให้คงที่อยู่เสมอ คือ 100 มิลลิเมตรปรอทและ 40 มิลลิเมตรปรอทตามลำดับ

การระบายอากาศเข้าออกต่อนาทีเรียกว่า ปริมาตรหายใจต่อนาที(Minute respiratory volume) มีหน่วยเป็นลิตร คือ ปริมาตรหายใจเข้าหรือออกต่อครั้ง x อัตราหายใจ มีค่าประมาณ $500 \times 12 = 6$ ลิตรต่อนาที การระบายอากาศมากที่สุดเท่าที่จะทำได้เรียกว่า ความจุการหายใจสูงสุด(Maximum breathing capacity)มีค่าประมาณ 125-170 ลิตรต่อนาที แต่เป็นในเวลาช่วงสั้นเท่านั้น คือ 15 วินาที ถ้าระยะยาวออกไปอาจลดลงได้เพียง 100-120 ลิตรต่อนาที จะเห็นได้ว่าการหายใจมีกำลังสำรองมากอาจเพิ่มได้ถึง 25 เท่าในระยะสั้น หรือ 20 เท่าในระยะยาว ขณะหายใจอากาศจะไหลผ่านช่องจมูกส่วนหน้าในแนวตั้งด้วยความเร็ว 2-3 เมตรต่อวินาที หลังจากอากาศไหลผ่านเข้าโพรงจมูกจะเปลี่ยนทิศทางและถูกบีบเข้าโพรงจมูกด้วยความเร็ว 12-18 เมตรต่อวินาที การหายใจทางปากจะมีความเร็ว 1-10 เมตรต่อวินาที

การทำงานของกล้ามเนื้อหายใจมีความสำคัญอย่างมากในการใช้ชีวิต เนื่องจากกล้ามเนื้อหายใจเป็นกล้ามเนื้อที่ถูกใช้งานบ่อยโดยไม่มีโอกาสที่จะได้หยุดพัก ซึ่งอาจจะเกิดอาการอ่อนล้าหรือบาดเจ็บได้ในกรณีที่เกิดภาวะกล้ามเนื้อหายใจผิดปกติ การทำงานของกล้ามเนื้อหายใจคล้ายกับกล้ามเนื้อลาย โดยการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานของกล้ามเนื้อจะดีขึ้นถ้ากล้ามเนื้อเหล่านี้ได้รับการฝึกบ่อยๆ ดังนั้นในผู้ป่วยที่มีปัญหากล้ามเนื้อหัวใจอ่อนแอหรือผู้ป่วยที่มีปัญหาไม่สามารถออกกำลังกายได้เนื่องจากปัญหาทางระบบการหายใจ การฝึกกล้ามเนื้อหายใจจะสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานให้กับกล้ามเนื้อหัวใจ เพิ่มความสามารถในการออกกำลังกายและเพิ่มคุณภาพชีวิต ประสิทธิภาพของระบบหายใจขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อหายใจ โดยเฉพาะในนักกีฬาและผู้ป่วยที่มีปัญหาความทนทานของกล้ามเนื้อหายใจต่ำจำเป็นต้องได้รับการฝึกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อหายใจ เครื่องฝึกกล้ามเนื้อควบคุมการหายใจ เป็นเครื่องมือที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการฝึกกล้ามเนื้อส่วนที่เกี่ยวข้องกับการหายใจต่างๆ โดยอาศัยหลักการทางกลศาสตร์จากการหายใจผ่านตัวอุปกรณ์ ที่มีโครงสร้างเป็นท่อหายใจ ภายในกันด้วยเนื้อเยื่อที่ใช้ในการขวางช่องทางเดินอากาศ เพื่อจะทำให้ทางเดินอากาศไม่สามารถเดินทางได้อย่างสะดวกภายในช่องทางเดินอากาศ ทำให้ผู้ป่วยต้องออกแรงเพื่อหายใจมากขึ้น เป็นการบริหารกล้ามเนื้อส่วนที่ใช้ในการหายใจ ภายในอุปกรณ์ติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ เพื่อทำการตรวจวัดการไหลของอากาศภายในช่องทางเดินอากาศ เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการวินิจฉัยอาการของผู้ป่วย และยังสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อหายใจ

2.2 เครื่องช่วยบริหารปอด

เนื่องจากในปัจจุบันการบริหารกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับระบบการหายใจนั้นมีความสำคัญและเป็นประโยชน์อย่างมาก จึงมีการคิดค้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบริหารกล้ามเนื้อปอดขึ้นมาเป็นจำนวนมาก โดยอาศัยทั้งเทคโนโลยีสมัยใหม่ร่วมกับเทคโนโลยีทางการแพทย์ ทำให้มีอุปกรณ์บริหารกล้ามเนื้อปอดมากมายในหลายรูปแบบ ซึ่งล้วนแล้วแต่อ้างอิงจากแนวคิดและทฤษฎีที่คล้ายกัน คือ การให้ผู้ป่วยทำการหายใจผ่านเครื่องมือ ที่ภายในมีการต้านทานการไหลของอากาศภายในช่องทางเดินอากาศ ทำให้ผู้ป่วยต้องออกแรงขณะทำการหายใจมากขึ้น ซึ่งเครื่องช่วยบริหารปอดแบ่งออกเป็นหลายประเภทดังนี้

2.2.1 เครื่อง Tri-ball

เครื่อง Tri-ball มีลักษณะเป็นท่อทางเดินอากาศที่ต่อกับกระบอก 3 กระบอก ภายในบรรจุลูกบอลพลาสติกที่มีน้ำหนักต่างกัน 3 ลูก โดยให้ผู้ป่วยทำการเป่าลมเข้าที่ท่อทางเดินอากาศ อาศัยแรงยกจากอากาศในการยกลูกบอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 เครื่อง Tri-ball

2.2.2 เครื่อง Ultrabreathe

เครื่อง Ultrabreathe มีลักษณะคล้ายปากท่อสำหรับเป่า(Mouthpiece)ที่มีขนาดสั้นๆ มีหลักการทำงานคือ ให้ผู้ป่วยทำการหายใจผ่านตัวอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการต้านทานการไหลของอากาศ สามารถปรับความต้านทานได้โดยการหมุนที่ปล็อกหุ้มเพื่อปรับขนาดของรูต้านทาน



รูปที่ 2.2 เครื่อง Ultrabreathe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 เครื่อง Threshold IMT

เครื่อง Threshold IMT มีลักษณะคล้ายปากท่อสำหรับเป่าที่ต่ออยู่กับกระบอกสูบสั้นๆ มีหลักการทำงานคือ ให้ผู้ป่วยทำการหายใจผ่านตัวอุปกรณ์ภายใต้แรงดันอากาศที่สามารถปรับค่าแรงเสียดทานได้ ตั้งแต่ 0 - 40 cmH₂O



รูปที่ 2.3 เครื่อง Threshold IMT

2.2.4 เครื่อง Powerbreathe

เครื่อง Powerbreathe มีลักษณะคล้ายปากท่อสำหรับเป่าที่ต่ออยู่กับหน้าจอแสดงผลขนาดเล็ก มีหลักการทำงานคือ ให้ผู้ป่วยหายใจผ่านตัวอุปกรณ์ที่ภายในมีสปริงที่ใช้สำหรับการวัดค่าอัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิภายในตัวอุปกรณ์ได้ สามารถแสดงผลได้ผ่านทางหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เครื่อง Powerbreathe

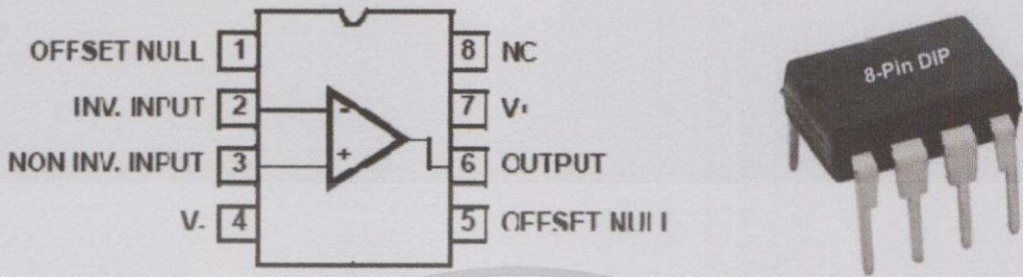
2.3 ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้อง

จากแนวคิดในการประยุกต์ใช้ไดโอดเสมือนเซ็นเซอร์ของหัววัดอุณหภูมิ(Thermal probe) ซึ่งถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.2012 โดย Raju Baddi ในหัวข้อ “Simple diode serves as a sensor for a thermal probe” โดยการนำไดโอด1N4148 ซึ่งเป็นไดโอดในรูปแบบรอยต่อ p-n มีความเร็วในการสวิตช์สูง(Fast switching)มาทำการให้ความร้อนแก่ตัวไดโอด ทำให้มีความสามารถในการตรวจจับการไหลของของไหลต่างๆได้ จากหลักการถ่ายเทความร้อนจากของไหลผ่านไดโอดร้อน(ให้ความร้อนด้วยขดลวดความร้อน) ทำให้อุณหภูมิของไดโอดลดลง เป็นผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอดลดลงด้วย ซึ่งหลักการดังกล่าวนี้เป็นหลักการเดียวกันที่ใช้ในแอนนิโมมิเตอร์แบบเส้นลวดความร้อน(Hot-wire anemometer) แต่ไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร จึงทำการปรับปรุงคุณสมบัติของไดโอดร้อน และวงจรที่ใช้ในการตรวจวัดขึ้นมาใหม่ในปี ค.ศ.2013 ในหัวข้อ “Use a heated diode as a flow sensor” โดยมีความสามารถในการตอบสนองต่อการไหลของอากาศได้อย่างรวดเร็ว และมีความแม่นยำในการวัดมากขึ้น อีกทั้งยังมีขนาดอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ จึงทำให้ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในเวลาต่อมา

2.4 วงจรขยายสัญญาณเชิงดำเนินการหรือออปแอมป์

วงจขยายสัญญาณเชิงดำเนินการหรือออปแอมป์(Operational amplifier : Op Amp) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ภายในประกอบด้วยทรานซิสเตอร์(Transistor)จำนวนหนึ่ง ทำหน้าที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวงจรถยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้านทางเข้า โดยมีผลลัพธ์เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก ประพจน์ตัว คล้ายเป็นแหล่งจ่ายแรงดันที่ถูกควบคุมด้วยแรงดัน



รูปที่ 2.5 วงจรถยายสัญญาณและคุณสมบัติของขาของอุปกรณ์

สัญลักษณ์ของวงจรถยายสัญญาณจะเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยมีขาทางเข้าสองขาและขาทางออกหนึ่งขา โดยขาทางเข้าสองขา ได้แก่ ขาทางเข้าบวก (Non-inverting input) และขาทางเข้าลบ (Inverting input) วงจรภายในประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์นั้นสามารถเขียนแทนได้ด้วยวงจรถยายอย่างง่าย

โดย R_{in} คือ ความต้านทานทางด้านทางเข้า (Input resistance) เป็นความต้านทานที่ต่ออยู่ที่ขาทางเข้าทั้งสอง

R_{out} คือ ความต้านทานทางด้านทางออก (Output resistance)

A คือ อัตราขยายแรงดันไฟฟ้าวงรอบเปิด (Open loop voltage gain)

เมื่อกำหนดให้วงจรถยายเป็นวงจรถยายในอุดมคติ จะได้คุณสมบัติต่างๆของวงจรถยายดังนี้

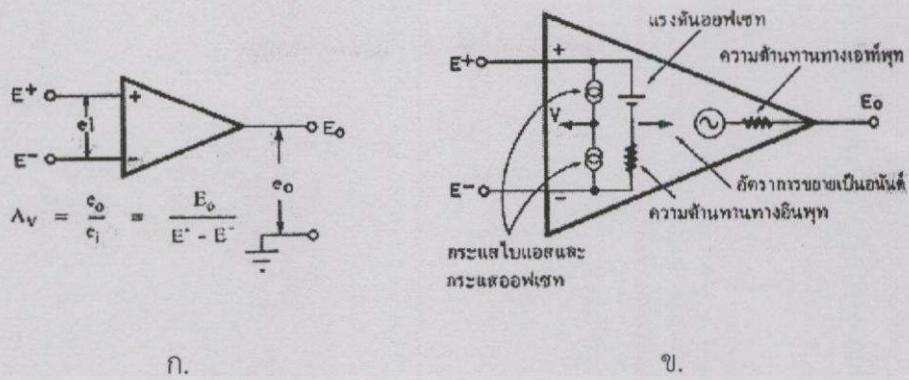
$R_{in} = \infty$ ความต้านทานทางด้านทางเข้ามีค่าเป็นอนันต์

$R_{out} = 0$ ความต้านทานทางด้านทางออกมีค่าเป็นศูนย์

$A = \infty$ อัตราขยายแรงดันไฟฟ้าวงรอบเปิดมีค่าเป็นอนันต์

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกร ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ก. แสดงอัตราขยายของวงจรถ่ายย ข. แสดงวงจรสมมูลของวงจรถ่ายย

ความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ทางเข้าและทางออก แสดงด้วยรูปแบบอย่างง่าย คือ A_v เป็นอัตราขยายแรงดันซึ่งมีค่าสูงมาก จึงเป็นคุณสมบัติที่พิเศษที่สุดของวงจรถ่ายย วงจรถ่ายยแบบอุดมคติจะมีคุณสมบัติเป็นไปตามตามเงื่อนไขดังนี้

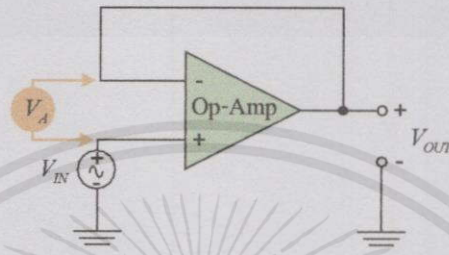
1. อัตราขยายแรงดันสูงมากจนเป็นอนันต์
2. ความต้านทานทางเข้าสูงมากจนเป็นอนันต์
3. ความต้านทานทางออกต่ำมากจนเป็นศูนย์
4. แรงดันออฟเซต(Offset voltage)ทางเข้าเป็นศูนย์
5. กระแสออฟเซต(Offset current)ทางเข้าเป็นศูนย์
6. คุณสมบัติเชิงความถี่ทำหน้าที่ขยายได้ดีตั้งแต่ไฟตรงจนความถี่สูงมากเป็นอนันต์
7. ไม่มีข้อบกพร่องอื่นๆ

2.4.1 วงจรตามสัญญาณแรงดัน(Voltage Follower)

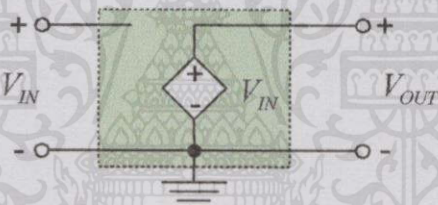
วงจรตามสัญญาณแรงดัน(Voltage Follower)เป็นวงจรบัฟเฟอร์(Buffer)หรือวงจรถ่ายย ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้เชื่อมวงจรสองวงจรเข้าด้วยกัน เช่น ระบบไอซีที่ต่างตระกูลกันหรือทรานซิสเตอร์ที่ไม่แมทซ์อิมพีแดนซ์กัน(Impedance matching) ซึ่งวงจรที่จำเป็นต้องใช้บัฟเฟอร์เพราะคุณสมบัติของวงจรถ่ายยทางด้านทางออกอิมพีแดนซ์(Impedance)ต่ำ เมื่อเชื่อมต่อกับวงจรอื่นแล้วจะไม่ทำให้วงจรอื่นมีผลแตกต่างไปจากเดิม วงจรบัฟเฟอร์นั้นจะมีอัตราขยายเท่ากับ 1 หรือ $V_{out} = V_{in}$ วงจรตามสัญญาณแรงดันจะมีโครงสร้างของวงจรดังรูปที่ 2.3 โดยสัญญาณที่ทางออกนั้นจะถูกป้อนกลับไปยังขาเข้าทางเข้าลบ ถ้าอัตราขยายการขยายลูปเปิด(A_{ol})มีค่าเท่ากับ 10,000 เท่าและแรงดันที่ทางเข้า(V_{in})ที่ป้อนมีค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 1 โวลต์ ดังนั้นค่าของแรงดันทางด้านทางออกก็จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งค่าของแรงดันที่จุด V_A นั้นมีค่าเท่ากับ 0V ซึ่งก็จะหมายความว่าค่าแรงดันทางด้านทางออกจะมีค่าเท่ากับแรงดันทางด้านทางเข้า หรือ $V_{out} = V_{in}$ เมื่อทำการวิเคราะห์ห้วงจรพบว่าค่าของ V_A จะมีค่าเท่ากับ $\frac{V_{IN}}{A_{OL}}$ หรือ $\frac{1V}{10,000} = 0.1 \text{ mV}$ เมื่อนำค่านี้ไปเปรียบเทียบกับค่าของแรงดันที่ทางเข้าที่ป้อนเข้ามาแล้ว จะเห็นได้ว่ามีค่าที่แตกต่างกันมาก สามารถที่จะสรุปได้ว่าค่าของ V_A นั้นจะมีค่าประมาณ 0V



รูปที่ 2.7 วงจรตามสัญญาณแรงดัน



รูปที่ 2.8 ลักษณะของวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรตามสัญญาณแรงดัน

จากรูป พิจารณาด้วยกฎของแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์(Kirchoff's voltage law) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.1

$$V_{IN} + V_A = V_{OUT} \quad (2.1)$$

และจากคุณสมบัติของวงจรมูลค่าของแรงดันทางด้านทางออกเป็นไปตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{OUT} = A_{OL} \times V_A \quad (2.2)$$

จากสมการที่ 2.2 เมื่อพิจารณาจะพบว่าค่าของแรงดันที่จุด V_A นั้นสามารถที่จะคำนวณหาได้จากสมการที่ 2.3

$$V_A = \frac{V_{OUT}}{A_{OL}} \quad (2.3)$$

จากสมการที่ 2.3 เมื่อนำไปแทนค่าในสมการที่ 2.1 จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทางด้านทางเข้าและแรงดันทางด้านทางออก

$$V_{IN} + \frac{V_{OUT}}{A_{OL}} = V_{OUT} \quad (2.4)$$

โดยสมการที่ 2.4 นั้น เมื่อทำการพิจารณาพบว่าค่าของอัตราขยายลูปเปิด (A_{OL}) นั้นจะมีค่าที่สูงมาก โดยจะมีค่าประมาณอนันต์ (∞) ซึ่งแสดงว่าค่าของ $\frac{V_{OUT}}{A_{OL}}$ ในสมการที่ 2.4 นั้น จะมีค่าเป็นศูนย์ สามารถประมาณค่าได้ว่า

$$V_{IN} \cong V_{OUT} \quad (2.5)$$

หรือทำการหาค่าอัตราขยายลูปปิด (Closed-Loop voltage gain : A_{CL}) จากสมการ

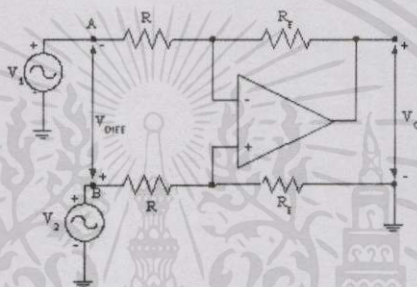
$$A_{CL} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \cong 1 \quad (2.6)$$

โดยพิจารณาจากวงจรและสมการพบว่าวงจรตามสัญญาณแรงดันนี้ ถ้าทำการป้อนสัญญาณเข้าที่ขั้วทางเข้าแบบไม่กลับเฟส จะได้สัญญาณทางด้านทางออกที่มีขนาดและเฟสเหมือนกับสัญญาณทางด้านทางเข้าทุกประการ ซึ่งคุณสมบัติจะคล้ายกับวงจรขยายสัญญาณแบบคอลเลคเตอร์ร่วม (Common-Emitter) อีกทั้งยังมีขีดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเขาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Collector หรือ Emitter follower) จากคุณสมบัติอิมพีแดนซ์(Impedance)ทางด้านทางเข้าและทางด้านทางออกของวงจรขยายสัญญาณ ที่ทำให้วงจรตามสัญญาณแรงดันนี้มีค่าอิมพีแดนซ์ทางด้านทางเข้าสูงมาก และค่าอิมพีแดนซ์ทางด้านทางออกจะมีค่าต่ำมาก ดังนั้นวงจรนี้จึงนิยมที่จะนำไปใช้ในการสร้างวงจรกันชนหรือที่เรียกว่าวงจรบัฟเฟอร์(Buffer stage)

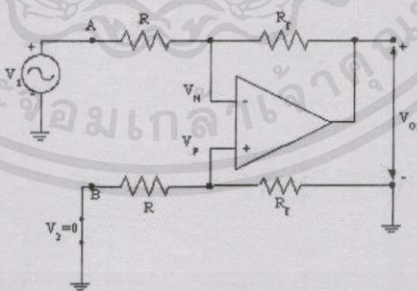
2.4.2 วงจรขยายผลต่าง(Differential Amplifier)

วงจรขยายผลต่างเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ขยายผลของความแตกต่างระหว่างสัญญาณทางด้านทางเข้าทั้งสองจากจุด A และ B ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกับผลต่างที่ทางเข้าของวงจรขยายแบบมาตรฐาน แต่วงจรขยายผลต่างมีการป้อนกลับทางลบ เพื่อควบคุมอัตราขยายของวงจรตามต้องการ



รูปที่ 2.9 วงจรขยายผลต่าง

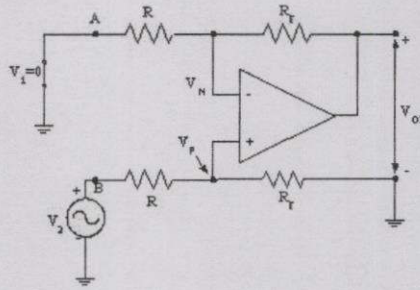
เริ่มจากการให้ $V_2 = 0$ ดังนั้นจึงเหลือแค่ V_1 ที่ผ่านวงจรขยายสัญญาณทางด้านขั้วทางเข้าลบ จะได้แรงดันที่ทางออก



รูปที่ 2.10 พิจารณา V_1 โดยให้ $V_2 = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ $V_{o1} = -V_1 \left(\frac{R_f}{R} \right)$ นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน (2.7) ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการให้แรงดัน $V_1 = 0$ เพื่อหาแรงดันที่ทางออก V_2 ที่เข้าทางขั้วทางเข้าบวก จะได้



รูปที่ 2.11 พิจารณา V_2 โดยให้ $V_1 = 0$

$$V_{02} = V_2 \left(\frac{R_F}{R} \right) \quad (2.8)$$

ผลรวมของ V_{01} และ V_{02} จากสมการ (2.7) และ (2.8) จะได้ว่า

$$V_0 = V_{01} + V_{02} = (V_2 - V_1) \times \left(\frac{R_F}{R} \right) = V_{DIFF} \times \left(\frac{R_F}{R} \right) \quad (2.9)$$

ดังนั้น อัตราขยายของวงจรขยายผลต่าง คือ

$$A_V = \frac{V_0}{V_{DIFF}} = \frac{R_F}{R} \quad (2.10)$$

ข้อสังเกตจากวงจรดังกล่าว

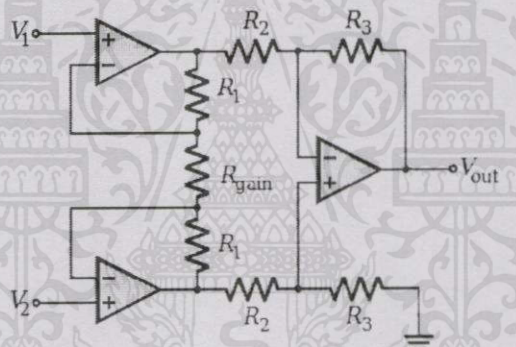
1. วงจรนี้ต้องใช้ตัวต้านทาน R และ R_F ที่เท่ากันพอดี จึงจะได้ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer function) ตามสมการ
2. การปรับอัตราขยายจะต้องปรับค่าของตัวต้านทานคูใดคูหนึ่ง
3. วงจรนี้มีค่าอิมพีแดนซ์ที่ทางเข้าต่ำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วงจรขยายอินสตรูเมนต์ชั้น(Instrumentation amplifier)

วงจรขยายอินสตรูเมนต์ชั้น(Instrumentation amplifier)เป็นวงจรขยายผลต่างที่อยู่ในรูปแบบของวงจรรวมสำเร็จรูป มีส่วนประกอบของวงจรบัฟเฟอร์เพื่อลดทอนการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสัญญาณที่ทางเข้า และมีวงจรขยายผลต่างที่ขยายผลต่างระหว่างสัญญาณที่ทางเข้าสองจุด ทำให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในเครื่องมือวัด อีกทั้งยังมีคุณสมบัติต่างๆที่เหมาะสม เช่น มี low DC offset, low drift, low noise, high open-loop gain, very high common-mode rejection ratio, and very high input impedances. สามารถปรับค่าอัตราขยายได้ด้วยการปรับค่าความต้านทาน R_{gain} ซึ่งสะดวกต่อการนำมาประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากค่า R_{gain} เป็นค่าความต้านทานที่ภายนอก สามารถปรับค่าอัตราขยายได้ตั้งแต่ 1 – 10,000 เท่า โดยการกำหนดค่าอัตราขยาย(G)ได้จากสมการ

$$G = 1 + \frac{50 \text{ k}\Omega}{R_{gain}} \quad (2.11)$$



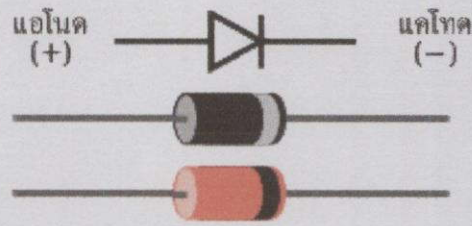
รูปที่ 2.12 วงจรขยายอินสตรูเมนต์ชั้น

2.6 ไดโอด(Diode)

ไดโอดเป็นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำชนิดสองขั้วคือขั้ว p และขั้ว n ที่ออกแบบและควบคุมทิศทางการไหลของประจุไฟฟ้า สามารถให้กระแสไฟฟ้าไหลได้ในทิศทางเดียว และปิดกั้นการไหลในทิศทางตรงข้าม ไดโอดมีคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่ไม่เป็นเชิงเส้น นั่นทำให้ไดโอดมีรูปแบบการทำงานได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ซีเนอร์ไดโอด(Zener diode)เป็นไดโอดที่ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงที่, วาริแอกไดโอด(Variac diode)ใช้ในการปรับแต่งสัญญาณในเครื่องรับวิทยุและโทรทัศน์, ไดโอดอุโมงค์หรือทันเนลไดโอด(Tunnel diode)ใช้ในการสร้างสัญญาณความถี่วิทยุ และไดโอดเปล่งแสง(LED)เป็นอุปกรณ์ที่สร้างแสงขึ้น

งานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

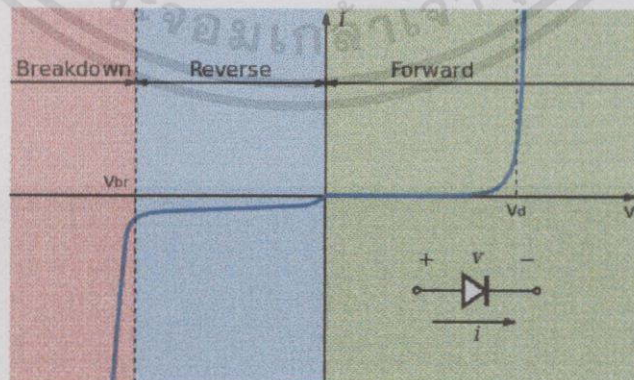


รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์ของไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำ(บนสุด) โดยแถบสีดำแสดงฝั่งที่เป็นขั้วแคโทด

ไดโอดชนิดสารกึ่งตัวนำแบบใหม่ๆ มักจะใช้ผลึกสารกึ่งตัวนำจำพวกซิลิกอน(Silicon)ที่ไม่บริสุทธิ์ โดยทำการเจือสารให้เกิดฝั่งลบและฝั่งบวก โดยฝั่งลบจะมีประจุลบคืออิเล็กตรอน(Electron)ที่มากกว่า เรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิด n(n-type semiconductor) ส่วนฝั่งบวกจะมีประจุบวกหรือโฮล(Hole)เรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิด p(p-type semiconductor) โดยไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำเกิดมาจากการนำสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดนี้มาติดด้วยวิธีการพิเศษ โดยส่วนที่สารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดอยู่ติดกันนั้นเรียกว่า "รอยต่อ p-n(p-n junction)" ไดโอดชนิดนี้จะยอมให้อิเล็กตรอนไหลผ่านจากสารกึ่งตัวนำชนิด n ไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด p เท่านั้น จึงเรียกฝั่งที่มีสารกึ่งตัวนำชนิด n ว่าแคโทด(Cathode) และฝั่งที่มีสารกึ่งตัวนำชนิด p ว่าแอโนด(Anode) แต่ถ้าพูดถึงทิศทางของกระแสสมมติที่ไหลสวนทางกับกระแสอิเล็กตรอนนั้น จะเห็นว่ากระแสสมมติจะไหลจากขั้วแอโนดหรือสารกึ่งตัวนำชนิด p ไปยังขั้วแคโทดหรือสารกึ่งตัวนำชนิด n เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น

2.6.1 คุณสมบัติเฉพาะของกระแสและแรงดัน

พฤติกรรมของไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำในวงจรจะก่อให้เกิดคุณสมบัติเฉพาะของกระแสและแรงดัน (Current-voltage characteristic) หรือเรียกว่ากราฟ I-V รูปร่างของเส้นโค้งถูกกำหนดจากกระบวนการส่งผ่านประจุผ่านเขตปลอดพาหะ(Depletion region หรือ Depletion layer) ซึ่งอยู่ในรอยต่อ p-n



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงคุณสมบัติเฉพาะของกระแสและแรงดันของรอยต่อ p-n ของไดโอด

2.6.2 สมการของไดโอดชอททกี(Schottky diode equation)

สมการของไดโอดชอททกีในอุดมคติหรือกฎของไดโอด กล่าวถึงสมการที่แสดงถึงกราฟคุณลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันเอาไว้ว่า

$$I = I_S (e^{V_D/nV_T} - 1) \quad (2.12)$$

เมื่อ

I คือ กระแสที่ไหลผ่านไดโอด

I_S คือ กระแสอิ่มตัวเมื่อทำการไบอัสกลับ(Reverse bias)

V_D คือ แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด

V_T คือ ค่าความต่างศักย์อันเนื่องมาจากความร้อน

n คือ ค่าตัวประกอบอุดมคติ(Ideality factor) หรือค่าตัวประกอบคุณภาพ(Quality factor) หรือสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน(Emission coefficient) ทั้งนี้ค่าตัวประกอบอุดมคติมีค่าอยู่ที่ 1 ถึง 2 ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและวัสดุที่นำมาใช้เป็นสารกึ่งตัวนำ ในหลายกรณีสามารถประมาณค่าเท่ากับ 1 ได้ (ดังนั้นค่า n จึงอาจถูกละไว้)

ค่าความต่างศักย์อันเนื่องมาจากความร้อน(Thermal voltage) V_T มีค่าประมาณ 25.85 mV ที่อุณหภูมิ 300 K ซึ่งเป็นอุณหภูมิห้องปฏิบัติการ แต่เราก็สามารถหาค่าดังกล่าวเมื่ออุณหภูมิอื่นๆ ได้ จากสูตร:

$$V_T = \frac{kT}{q} \quad (2.13)$$

เมื่อ

k คือ ค่าคงที่ของโบลต์ซมานน์(Boltzmann's constant) มีค่าเท่ากับ $1.3806503 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่รอยต่อ p-n

q คือ ประจุของอิเล็กตรอน มีค่าเท่ากับ $1.602176487 \times 10^{-19} \text{ C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของไดโอดชอท์ทท์ในอุดมคติหรือกฎของไดโอดนั้นเกิดมาจากการอ้างสมมติฐานของกระบวนการเกิดการกระแสไฟฟ้าในไดโอด(เนื่องจากสนามไฟฟ้า)ว่าเป็นการลอยผ่าน, การแพร่ และการรวมความร้อนอีกครั้ง(Thermal recombination-generation) นอกจากนี้ยังสันนิษฐานว่ากระแสจากการรวมตัวอีกครั้ง(Recombination-generation : R-G)ในเขตปลอดพาหะไม่มีนัยสำคัญใดๆ นั้นหมายความว่าสมการของไดโอดชอท์ทท์ก็ไม่ต้องคำนวณผลของกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการพังทลายเมื่อกระแสนอนกลับและโฟตอน(Photon)ที่ช่วยให้เกิดR-G

2.6.3 ความต้านทานของไดโอด

เมื่อใช้สมการชอท์ทท์ไดโอด ค่าความต้านสัญญาณขนาดเล็ก(r_D)ของไดโอดสามารถนำเข้ามาเกี่ยวข้องกับจุดปฏิบัติการณ(Q-point)ที่กระแสไบอัสกระแสตรง(I_Q)และแรงดันใช้งานที่จุดปฏิบัติการณ(V_Q) แรกเริ่มเดิมทีค่าความนำสัญญาณขนาดเล็ก(g_D)ถูกตั้งขึ้น นั่นคือประจุไฟฟ้าในกระแสไฟฟ้าที่ไหลในไดโอดที่เกิดมาจากการเปลี่ยนแปลงเล็กๆของแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดหารด้วยแรงดันตกคร่อมไดโอดนั้น ดังสมการ

$$g_D = \frac{dI}{dV} = \frac{I_Q}{V_T} e^{V_Q/V_T} \approx \frac{I_Q}{V_T} \quad (2.14)$$

การประมาณค่าเกิดมาจากการอนุมานว่ากระแสไบอัส(I_Q)นั้นมากพอที่จะทำให้ค่าตัวประกอบ (Factor)ของส่วนที่ละเอียดได้จากสมการชอท์ทท์ที่มีค่าเท่ากับ 1 โดยการประมาณนี้มีความถูกต้องแม้แรงดันจะมีค่าต่ำ เพราะแรงดันอันเนื่องมาจากความร้อน(Thermal voltage) $V_T \approx 26 \text{ mV}$ ที่อุณหภูมิ 300 K (27 องศาเซลเซียส) ดังนั้น $\frac{V_Q}{V_T}$ มีแนวโน้มมากขึ้น หมายความว่าตัวชี้กำลังมีค่าสูงมาก แต่ไม่ใช่กับค่าความต้านทานสัญญาณขนาดเล็ก(r_D)ซึ่งเป็นส่วนกลับของค่าความนำสัญญาณขนาดเล็ก ค่าความต้านทานสัญญาณขนาดเล็กไม่ขึ้นอยู่กับไฟฟ้ากระแสสลับ แต่จะขึ้นอยู่กับไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น ดังสมการ

$$r_D = \frac{V_T}{I_Q} \quad (2.15)$$

2.6.4 ความเก็บประจุของไดโอด

ประจุไฟฟ้าจะนำพากระแสไฟฟ้า I_Q ตามสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้บทเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = I_Q \tau_F + Q_J \quad (2.16)$$

เมื่อ

τ_F คือ เวลาที่ประจุเคลื่อนที่ไป ส่วนแรก คือ ประจุที่เคลื่อนที่ผ่านไดโอดแล้วเกิดกระแสไหลผ่านไดโอด ส่วนที่สอง คือ ประจุที่เก็บสะสมอยู่ที่รอยต่อ p-n จึงมีคุณลักษณะคล้ายกับตัวต้านทานต่างๆ มีคู่ขั้วทางไฟฟ้าที่มีประจุตรงข้ามกัน ประจุนั้นถูกกักเก็บที่ไดโอดอาศัยแค่แรงดันที่ตกคร่อม โดยไม่คำนึงถึงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน การหาค่าความเก็บประจุของไดโอด C_D หาได้จากสมการ

$$C_D = \frac{dQ}{dV_Q} = \frac{dI_Q}{dV_Q} \tau_F + \frac{dQ_I}{dV_Q} \approx \frac{I_Q}{V_T} \tau_F + C_J \quad (2.17)$$

เมื่อ

$C_J = \frac{dQ_I}{dV_Q}$ คือ ค่าความเก็บประจุที่รอยต่อ p-n โดยประจุในส่วนแรกเรียกว่า ค่าความเก็บประจุแพร่ (Diffusion capacitance) เพราะเกี่ยวข้องกับกระแสที่แพร่ตรงรอยต่อของไดโอด

2.6.5 การฟื้นตัวกลับ

ช่วงท้ายของการไบอัสตรงของไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำ จะเกิดกระแสไหลไฟฟ้าที่ไหลย้อนกลับในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ตัวอุปกรณ์จะยังไม่สามารถป้องกันกระแสไหลย้อนกลับได้เต็มที่ จนกระทั่งกระแสที่เกิดไหลย้อนกลับนั้นได้สิ้นสุดลง ผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นส่งผลกระทบเมื่อมีการสวิตชิง (Switching) ของกระแสที่สูงและรวดเร็วมาก (di/dt มีค่า $100 \text{ A}/\mu\text{s}$ หรือมากกว่านั้น) ค่าที่แน่นอนของเวลาฟื้นตัวกลับ (Reverse recovery time : t_r) อยู่ในช่วงเวลาเป็นนาโนวินาที อาจจะเคลื่อนย้ายประจุฟื้นตัวกลับ (Reverse recovery charge : Q_r) อยู่ในช่วงนาโนคูลอมบ์ออกจากไดโอด ในระยะเวลาระหว่างฟื้นตัวนี้ ไดโอดจะไม่สามารถทำงานในทิศทางตรงข้ามได้ แต่ในความเป็นจริงผลกระทบนี้มีความสำคัญในการพิจารณาความสูญเสียที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากไดโอดไม่เป็นอุดมคติ อย่างไรก็ตามอัตราการแกว่ง (Slew rate) ของกระแสไฟฟ้านั้นรุนแรงมาก (di/dt มีค่า $10 \text{ A}/\mu\text{s}$ หรือน้อยกว่านั้น) ผลกระทบนี้ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย จึงละเลยไปได้ ในการใช้งานไดโอดส่วนใหญ่จึงไม่มีผลกระทบที่สำคัญมากนัก กรณีที่กระแสไหลย้อนกลับอย่างฉับพลันเมื่อประจุไฟฟ้าที่ถูกเก็บสะสมปลอดภัยแล้วจะนำไปใช้ประโยชน์ในขั้นตอนการฟื้นตัวของไดโอดสำหรับกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse) สั้นโดยเฉพาะ

2.6.6 ไดโอดในทางอุดมคติ (Ideal diode)

ไดโอดในอุดมคติ (Ideal diode) มีลักษณะเหมือนสวิตช์ที่สามารถนำกระแสไหลผ่านได้ในทิศทางเดียว ถ้าต่อขั้วแบตเตอรี่ (Battery) ให้เป็นแบบไบอัสตรง (Forward bias) ไดโอดจะเปรียบเสมือนกับสวิตช์ที่ปิด (Close switch) หรือไดโอดลัดวงจร (Short circuit) กระแสจึงไหลผ่านไดโอดได้ แต่ถ้าต่อขั้วแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบไบอัสกลับ ไดโอดจะเปรียบเป็นเหมือนสวิตช์เปิด(Open switch)หรือเปิดวงจร(Open Circuit) ทำให้กระแสเท่ากับศูนย์

2.6.7 ไดโอดในทางปฏิบัติ

ไดโอดในทางปฏิบัติ(Practical diode) มีการแพร่กระจายของพาหะส่วนน้อยที่บริเวณรอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง ดังนั้นถ้าต่อไบอัสตรงให้กับไดโอดในทางปฏิบัติก็จะเกิดแรงดันเสมือน($Ge \geq 0.3V$ และ $Si \geq 0.7V$) ซึ่งต้านแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเพื่อการไบอัสตรง ขนาดของแรงดันเสมือนจึงเป็นตัวบอกจุดทำงาน ดังนั้นจึงเรียกแรงดันเสมือนอีกอย่างหนึ่งว่า “แรงดันในการเปิด(Turn-on Voltage ; V_f)”

กรณีไบอัสกลับ เราทราบว่าบริเวณหลอดภาหะจะขยายกว้างขึ้น แต่ก็ยังมีพาหะข้างน้อยแพร่กระจายที่รอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง แต่ก็ยังมีกระแสรั่วไหลอยู่จำนวนหนึ่ง เรียกว่า กระแสรั่วไหล (Leakage current) เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆ กระแสรั่วไหลจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ไดโอดนำกระแสเพิ่มขึ้นมาก ระดับกระแสที่จุดนี้ เรียกว่า “กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ(Reverse saturation current ; I_s)” แรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้ เรียกว่า “แรงดันพังทลาย(Breakdown voltage)” และถ้าแรงดันไบอัสสูงขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดที่ไดโอดทนได้ เราเรียกว่า “แรงดันพังทลายซีเนอร์(Zener breakdown voltage ; V_z)” ถ้าแรงดันไบอัสกลับสูงกว่า V_z จะเกิดความร้อนอย่างมากที่รอยต่อของไดโอด ส่งผลให้ไดโอดเสียหายหรือพังได้ แรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้เราเรียกว่า “แรงดันพังทลายอวาแลนซ์(Avalanche breakdown voltage)” ดังนั้นการนำไดโอดไปใช้งานจึงใช้กับการไบอัสตรงเท่านั้น

2.6.8 ผลกระทบของอุณหภูมิ(Temperature effects)

จากการทดลองพบว่ากระแสของซิลิคอนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเกือบ 2 เท่าทุกๆครั้งที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส ขณะที่เจอร์เมเนียมมีค่า I_s เป็น 1 หรือ 2 ไมโครแอมป์ ที่ 25 องศาเซลเซียส แต่ที่ 100 องศาเซลเซียสจะมีค่า I_s เพิ่มขึ้นเป็น 100 ไมโครแอมป์ ระดับกระแสไฟฟ้าขนาดนี้จะเป็นปัญหาต่อการเปิดวงจรเนื่องจากการไบอัสกลับ เพราะแทนที่ I_d จะมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แต่กลับนำกระแสได้จำนวนหนึ่งตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

2.7 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน คือ การเคลื่อนที่ของพลังงานเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ สามารถเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเท่านั้น ลักษณะของการถ่ายเทความร้อน มี 3 ประเภท คือ

1. การนำความร้อน(Conduction)
2. การพาความร้อน(Convection)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การแผ่รังสีความร้อน(Radiation)

ซึ่งในที่นี่จะกล่าวถึงเฉพาะการพาความร้อน

2.7.1 การพาความร้อน

การพาความร้อน(Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านผิววัตถุของแข็ง เช่น การแลกเปลี่ยนความร้อนในท่อ

ประเภทของการพาความร้อน

1. แบบอิสระ(Free convection) หรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ(Natural convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม หรือ เครื่องสูบน้ำ

2. แบบบังคับ(Force convection) คือการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ไม่มีกลไกใดๆที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของของแข็งก็อาจเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัวของของไหลเอง แรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหลขึ้น

พลังงานของการพาความร้อน สามารถคำนวณจาก

$$q = hA(T_h - T_c) \quad (2.18)$$

เมื่อ

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน(Heat transfer coefficient)ที่ผิวสัมผัสระหว่างของไหลกับวัตถุ
($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A = พื้นที่ผิวของวัตถุที่สัมผัสกับของไหล (m^2)

T_h = อุณหภูมิที่ร้อนกว่า(ของของไหล หรือพื้นผิวของของแข็ง) (K)

T_c = อุณหภูมิที่เย็นกว่า(ของของไหล หรือพื้นผิวของของแข็ง) (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การวัดอัตราการไหลของของไหล

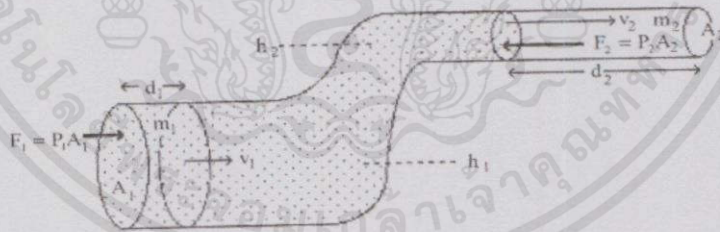
อัตราการไหล (Volume flow-rate ; Q) คือ ปริมาตรของของไหลซึ่งไหลผ่านท่อหรือช่องการไหลใดๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา หรืออีกนัยหนึ่งก็คือของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉาก (A) ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง (V) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = VA \quad (2.19)$$

อัตราการมวลไหล (Mass flow-rate) คือ มวลของของไหลซึ่งไหลผ่านท่อหรือช่องการไหลใดๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา

$$m = \rho Q = \rho VA \quad (2.20)$$

ทฤษฎีของไหลสมการแบร์นูลลี (Bernoulli's Principle) ของไหลเคลื่อนที่จะมีค่าความดันน้อยกว่าความดันในของไหลที่อยู่นิ่ง



รูปที่ 2.15 แสดงของไหลที่ไหลผ่านท่อและตัวแปรต่างๆ

เมื่อของไหลเคลื่อนที่จะเป็นการง่ายเมื่อพิจารณาในรูปของพลังงาน แทนการพิจารณาในรูปของแรงพิจารณาของไหลส่วนเล็กๆ ในท่อ ซึ่งเคลื่อนที่ไปทางขวามือ เมื่อขนาดของท่อมักเล็กลง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.11 ให้ของไหลที่ปลายด้านล่างเคลื่อนที่ได้ระยะทาง d_1 ทำให้ของไหลในท่อด้านบนเคลื่อนที่ได้ระยะทาง d_2 โดยที่เป็นของไหลที่อัดไม่ได้ มวลของของไหลที่เคลื่อนที่อยู่ภายในท่อด้านบนและด้านล่างจะมีค่าเท่ากัน จากนิยามของความหนาแน่น

ไม่อาจรู้ได้ทั้งหมด อีกหนึ่งข้อคือให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 m_1 &= m_2 \\
 \rho A_1 d_1 &= \rho A_2 d_2 \\
 A_1 d_1 &= A_2 d_2
 \end{aligned}
 \tag{2.21}$$

เวลาที่ของไหลใช้ในการเคลื่อนที่มีค่าเท่ากัน เมื่อนำเวลา(t)มาหารสมการที่ 2.21 ทั้งสองข้างจะได้

$$\begin{aligned}
 A_1 \frac{d_1}{t} &= A_2 \frac{d_2}{t} \\
 A_1 v_1 &= A_2 v_2
 \end{aligned}
 \tag{2.22}$$

สมการที่ได้เรียกว่าสมการแห่งความต่อเนื่อง(Equation of continuity) แรงดันที่ท่อด้านล่าง, แรงดันที่ท่อด้านบน และแรงโน้มถ่วง แรงทั้งหมดจะทำให้เกิดงานเนื่องจากของไหล จากทฤษฎีของงานกับพลังงาน งานทั้งหมดที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของของไหลส่วนเล็กๆ ที่ทำการพิจารณาจะมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของมวลที่เคลื่อนที่

$$F_1 D_1 - F_2 D_2 - mg(h_2 - h_1) = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2
 \tag{2.23}$$

จากนิยามของความดันและความหนาแน่น

$$P_1 A_1 d_1 - P_2 A_2 d_2 - \rho A_1 d_1 g(h_2 - h_1) = \frac{1}{2} \rho A_2 d_2 v_2^2 - \frac{1}{2} \rho A_1 d_1 v_1^2
 \tag{2.24}$$

เมื่อปริมาตรของไหลส่วนที่เคลื่อนที่ในท่อด้านล่างกับท่อด้านบนมีค่าเท่ากัน สมการที่ได้เรียกว่าสมการแบร์นูลลี นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนตัวของคุณเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$P + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{ค่าคงที่}
 \tag{2.25}$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 การเลือกใช้งานอุปกรณ์

3.1.1 ไดโอด

เลือกใช้ไดโอดเบอร์ 1N4148 เป็นไดโอดที่ทำหน้าที่เสมือนตัวเซ็นเซอร์ เนื่องจากเป็นไดโอดโครงสร้างประเภทซิลิคอนอีพิแทคเซียลพลาแนร์ (Silicon epitaxial planar diode) ในรูปแบบของ Small signal diode ซึ่งมีคุณสมบัติต่างๆที่เหมาะสม เช่น มีความสามารถในการสวิตช์ได้อย่างรวดเร็ว (Fast switching) สามารถตอบสนองต่องานที่มีความไวสูง สามารถทำงานได้ในกระแสต่างๆ มีความทนทานต่ออุณหภูมิสูง มีขนาดเล็กเหมาะสำหรับการออกแบบขนาดเล็ก

3.1.2 ทรานซิสเตอร์

เลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC559 เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด pnp epitaxial silicon ในวงจรขยายผลต่าง เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสม คือ สามารถใช้งานได้แรงดันต่ำ ใช้กระแสไฟฟ้าน้อย มีการตอบสนองต่อการใช้งานที่ความเร็วสูง เหมาะสำหรับการใช้งานในวงจรสวิตช์และวงจรถยาย สามารถลดสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นได้

3.1.3 วงจรขยายอินสตรูเมนเตชัน

เลือกใช้วงจรรวมเบอร์ INA128 เป็นวงจรถยายอินสตรูเมนเตชัน มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่างๆ เช่น low offset voltage, low drift, low input bias current, high CMR, input protection, low quiescent current เหมาะสำหรับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ เช่น Thermocouple amplifier, RTD sensor amplifier, Medical instrumentation ซึ่งมีความสะดวกในการนำมาใช้งาน โดยสามารถปรับค่าอัตราขยายได้ตั้งแต่ 1-10,000 เท่า

3.2 การออกแบบวงจร

จากคุณสมบัติของเครื่องช่วยฝึกกล้ามเนื้อหาใจที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น เราจำเป็นต้องเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรให้เหมาะสม เพื่อให้การทำงานของวงจรเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่มีปัญหาในการทำงาน โดยทำการพิจารณาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 วงจร Simple wind meter

เป็นวงจรขยายผลต่างที่ทำหน้าที่วัดผลการตอบสนองของไดโอดที่ทำหน้าที่เหมือนเซ็นเซอร์ ซึ่งมีค่าแรงดันตกคร่อมไดโอดที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของตัวไดโอด ซึ่งได้รับผลกระทบมาจากการพาความร้อนของไดโอดกับอากาศ แล้วทำการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างชาคอลเลคเตอร์(Collector)ของทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัว โดยแสดงผลที่ได้ในรูปของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านระหว่างชาคอลเลคเตอร์ทั้งสอง

เลือกใช้วงจรขยายผลต่างด้วยทรานซิสเตอร์BC559 ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าน้อย และเหมาะสมกับการใช้งานในวงจรสวิทช์ โดยให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบกระแสไฟฟ้าต่ำๆ(μA)

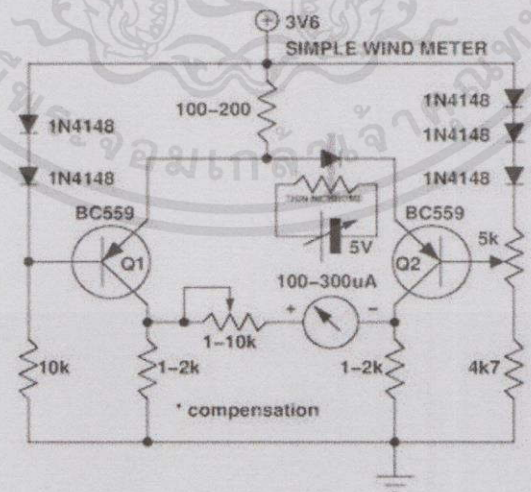
3.2.2 วงจร Current shunt monitor

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เหมือนอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า(Current meter) โดยอาศัยการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมค่าความต้านทาน R_{shunt} ที่มีค่าต่ำมากๆ ซึ่งต่ออนุกรมอยู่กับโหลด(Load) แล้วนำค่าแรงดันไฟฟ้าดังกล่าวมาคำนวณย้อนกลับให้อยู่ในรูปแบบของกระแสไฟฟ้า

เลือกใช้วงจรรวมเบอร์ INA128 ซึ่งเป็นวงจรรวมสำเร็จรูป มี Over-voltage protection ที่สัญญาณทางเข้าทั้งสองขั้ว และเหมาะสำหรับการใช้งานในอุปกรณ์เครื่องมือวัดทางการแพทย์

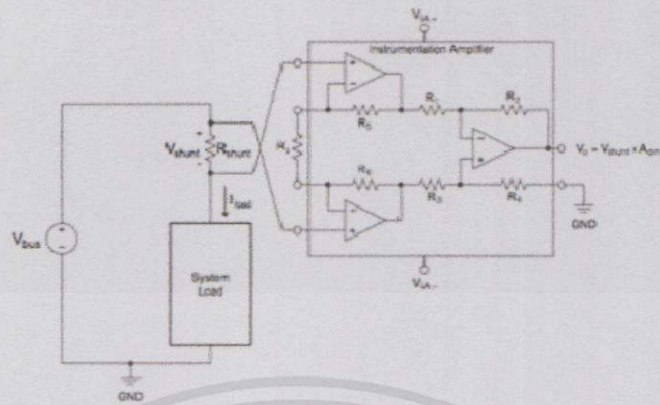
3.3 รูปวงจรที่ใช้

3.3.1 วงจร Simple wind meter



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.1 วงจร Simple wind meter
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 วงจร Current shunt monitor



รูปที่ 3.2 วงจร Current shunt monitor



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

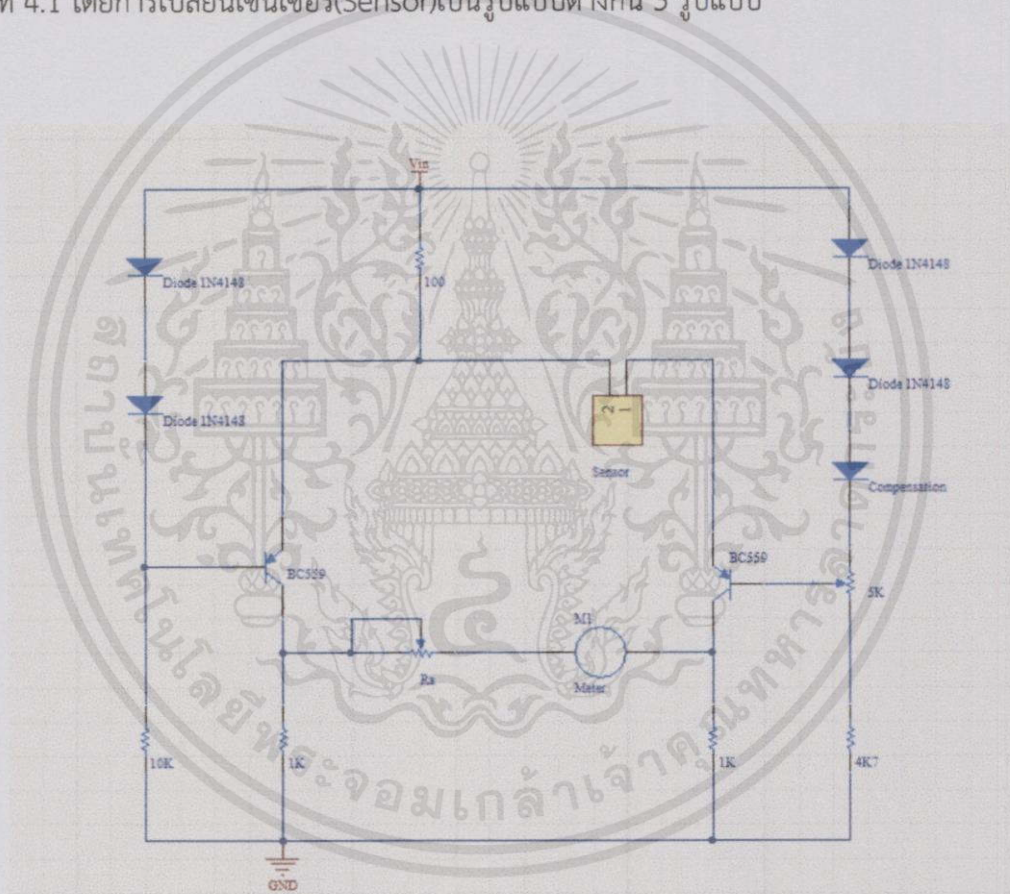
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองเลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC558 กับ BC559

4.1.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อหาการตอบสนองของทรานซิสเตอร์เบอร์ BC558 และ BC559 ในวงจร simple wind meter ดังรูปที่ 4.1 โดยการเปลี่ยนเซ็นเซอร์(Sensor)เป็นรูปแบบต่างกัน 3 รูปแบบ



รูปที่ 4.1 วงจร Simple wind meter ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.2 การทดลองแบบไม่ใส่ Compensation

เมื่อ $R_a = 10K\Omega$, $V_{in} = 3.58 V$, $T_{ห้อง} = 28.1^\circ C$ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเมื่อไม่ใส่ Compensation

	BC558			BC559		
	I_o min (uA)	I_o avg (uA)	I_o max (uA)	I_o min (uA)	I_o avg (uA)	I_o max (uA)
Short	340.5			340.3		
R (10K Ω) ohm	0.27	0.28	0.29	1.25	1.34	1.41
Diode ฟันลวด (sensor)	1.45	2.26	3.03	1.43	3.02	5.59

4.1.3 การทดลองแบบใส่ Compensation

$$R_a = 10K\Omega, V_{in} = 3.58 V, T_{ห้อง} = 28.1 ^\circ C$$

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเมื่อใส่ Compensation

	BC558			BC559		
	I_o Min (uA)	I_o Avg (uA)	I_o Max (uA)	I_o Min (uA)	I_o Avg (uA)	I_o Max (uA)
Short	342.8			342.1		
R (10K Ω) ohm	0.57	0.83	1.05	0.21	0.33	0.68
Diode ฟันลวด (sensor)	1.16	2.07	2.86	0.36	0.45	1.25

4.1.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าระหว่าง BC558 และ BC559 มีค่า Output ที่ใกล้เคียงกัน ไม่ว่าจะเป็นการทดลองแบบใส่หรือไม่ใส่ไดโอด(Diode)ที่เป็นตัวคอมเพนเซชัน(Compensation) แต่เมื่อพิจารณาที่ไดโอด(Diode) ฟันลวดที่เป็นตัวเซ็นเซอร์(Sensor) พบว่า BC559 มีความเสถียรมากกว่า BC558 ในการทดลองแบบใส่ Compensation จึงทำให้เลือกใช้ BC559 และเลือกใช้วงจรแบบมี Compensation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ทดลองวงจรโดยใช้ Diode พ้นลวดเป็น sensor

4.2.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อหาการตอบสนองของวงจร Simple wind meter กับอุณหภูมิ โดยทำการทดลอง 2 แบบดังนี้

1. ทดลองตามการจ่ายแรงดันให้ลวดนิโครม
2. ทดลองตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

โดยเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ และวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้งาน

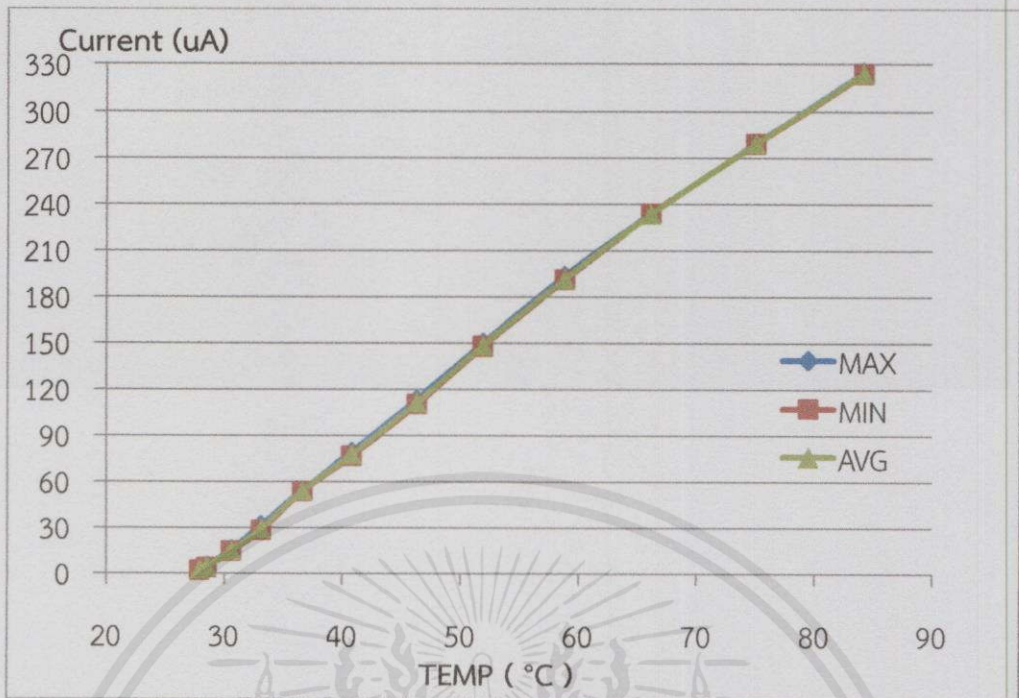
4.2.2 ทดลองโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ลวดนิโครม

ครั้งที่ 1 โดยมี $R_a = 10K\Omega$, $V_{in} = 3.58 V$ จากรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ลวดนิโครมครั้งที่ 1

V นิโครม (V)	Temp (°C)	I_o min (uA)	I_o avg (uA)	I_o max (uA)
0	27.9	2.32	2.38	2.48
0.21	28.5	3.95	4.31	4.78
0.40	30.6	14.7	14.88	15.65
0.61	33.1	28.46	29.22	31.47
0.81	36.6	53.69	54.06	54.18
0.99	40.8	77.0	77.7	79.6
1.19	46.3	110.6	111.6	113.8
1.39	51.9	148.2	148.7	150.1
1.60	58.8	191.4	191.9	193.9
1.78	66.1	234.0	233.9	234.1
2.01	75.0	279.0	279.6	279.8
2.20	84.2	324.2	324.5	324.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



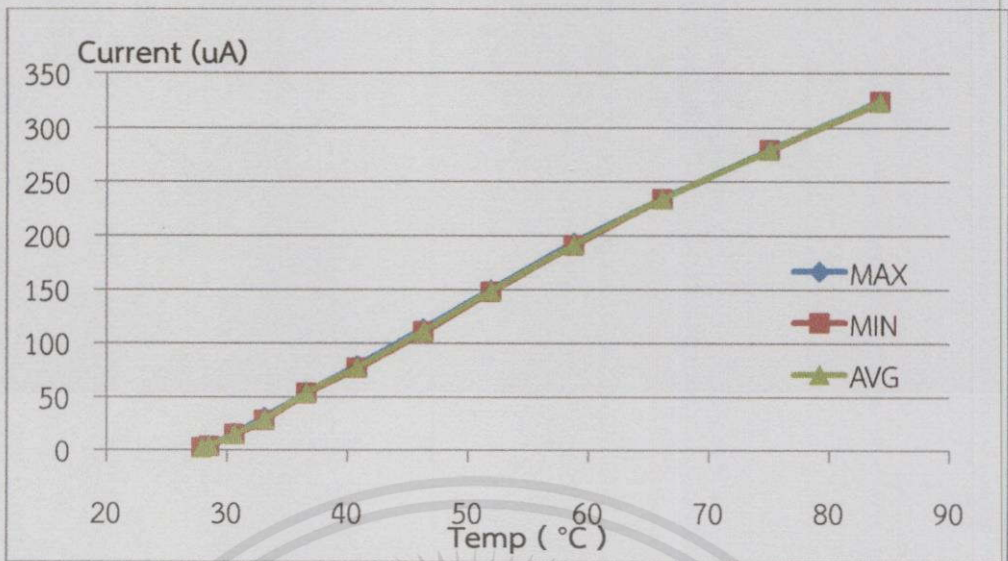
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ทางออกกับอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 1

ครั้งที่ 2 โดยมี $R_a = 10K\Omega$, $V_{in} = 3.58$ V จากรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ลวดนิโครมครั้งที่ 2

V_{in} โครม (V)	Temp (°C)	I_o min (uA)	I_o avg (uA)	I_o max (uA)
0	28.1	1.94	2.67	4.07
0.24	28.7	6.24	8.21	9.24
0.40	30.1	17.96	19.65	21.6
0.60	32.7	33.76	35.13	35.53
0.82	35.9	57.03	57.19	57.88
1.00	38.7	89.3	89.4	90.0
1.19	43.3	123.7	123.9	125.1
1.39	47.8	167.2	167.5	167.9
1.61	54.0	212.9	213.4	213.9
1.78	59.9	260.6	260.8	260.6
1.99	67.2	308.1	309.1	308.1
2.23	77.3	366.0	366.4	366.6

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



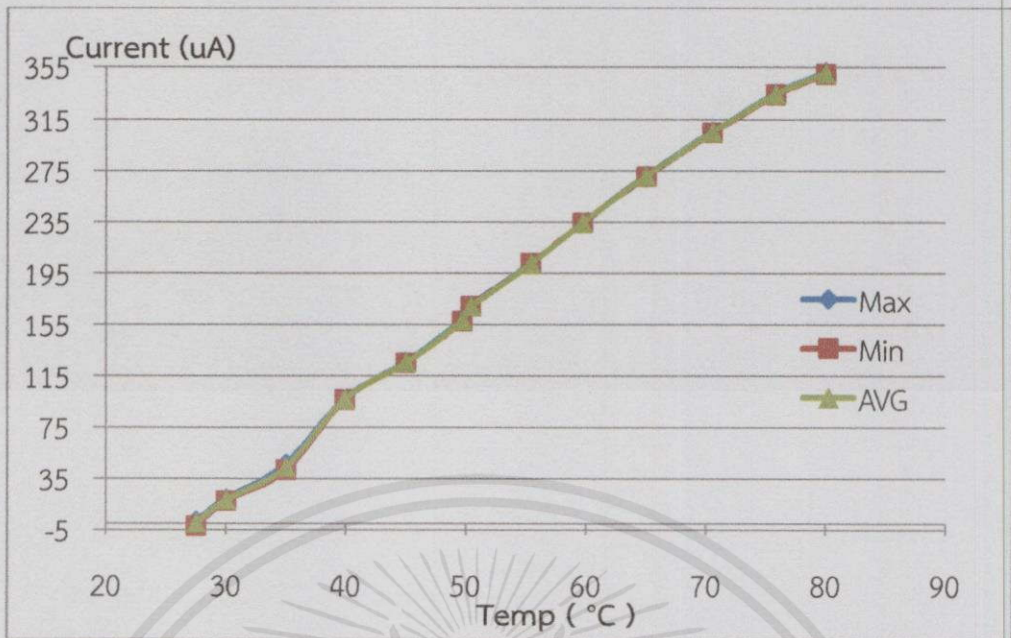
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ทางออกกับอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 2

4.2.3 ทดลองโดยปรับตามอุณหภูมิที่วัดได้ทุกๆ 5 องศาเซลเซียส(°C)

ครั้งที่ 1 โดยมี $R_a = 10K\Omega$, $V_{in} = 3.58 V$ จากรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองเมื่อปรับตามอุณหภูมิทุกๆ 5 องศาเซลเซียสครั้งที่ 1

Temp (°C)	$V_{ไมโคร}$ (V)	I_o Min (uA)	I_o Avg (uA)	I_o Max (uA)
27.5	0	-1.94	0.35	1.89
30.0	0.47	17.76	18.31	19.14
35.0	0.81	41.82	43.83	46.56
39.9	0.99	97.0	97.3	97.4
45.0	1.15	125.5	125.6	126.2
49.7	1.34	157.5	158.0	158.7
50.4	1.39	169.3	169.2	170.0
55.4	1.56	202.8	202.7	203.0
59.7	1.70	234.5	234.6	234.6
65.0	1.94	270.5	270.8	271.5
70.5	2.09	304.8	305.1	305.5
75.8	2.12	334.0	334.5	334.9
80.0	2.21	349.8	350.6	351.1

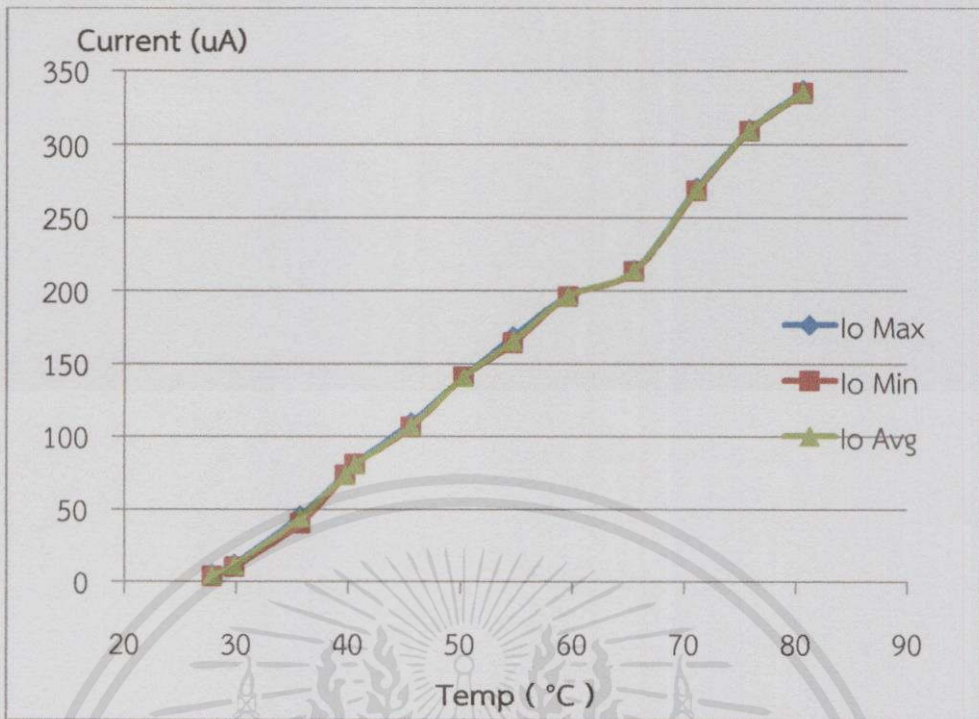


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ทางออกกับอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 1

ครั้งที่ 2 โดยมี $R_a = 10\text{K}\Omega$, $V_{in} = 3.58\text{ V}$ จากรูปที่ 4.1

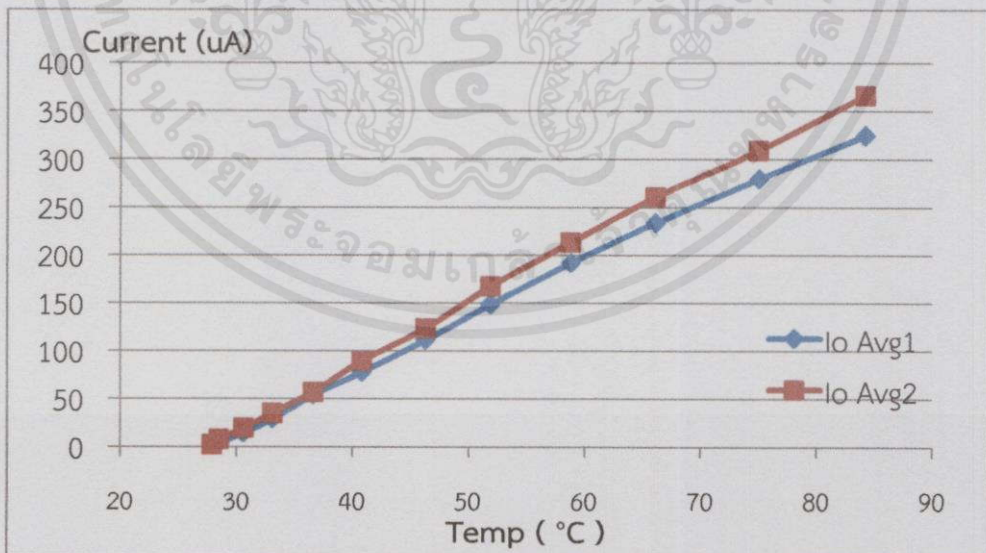
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองเมื่อปรับตามอุณหภูมิทุกๆ 5 องศาเซลเซียสครั้งที่ 2

Temp (°C)	V_{in} โครม (V)	I_o Min (uA)	I_o Avg (uA)	I_o Max (uA)
27.8	0	4.05	4.52	4.88
29.8	0.46	10.03	11.15	12.11
35.7	0.79	40.34	43.97	45.46
39.7	0.96	73.5	73.5	73.7
40.6	1.02	81.0	80.9	81.3
45.6	1.19	106.6	107.2	109.7
50.3	1.26	141.1	141.2	141.3
54.7	1.39	164.3	165.7	168.6
59.6	1.48	196.4	196.5	196.5
65.5	1.53	213.5	214.0	214.3
71.1	1.61	268.7	269.5	270.5
75.8	1.72	309.4	309.9	310.6
80.6	1.75	335.2	335.8	336.7



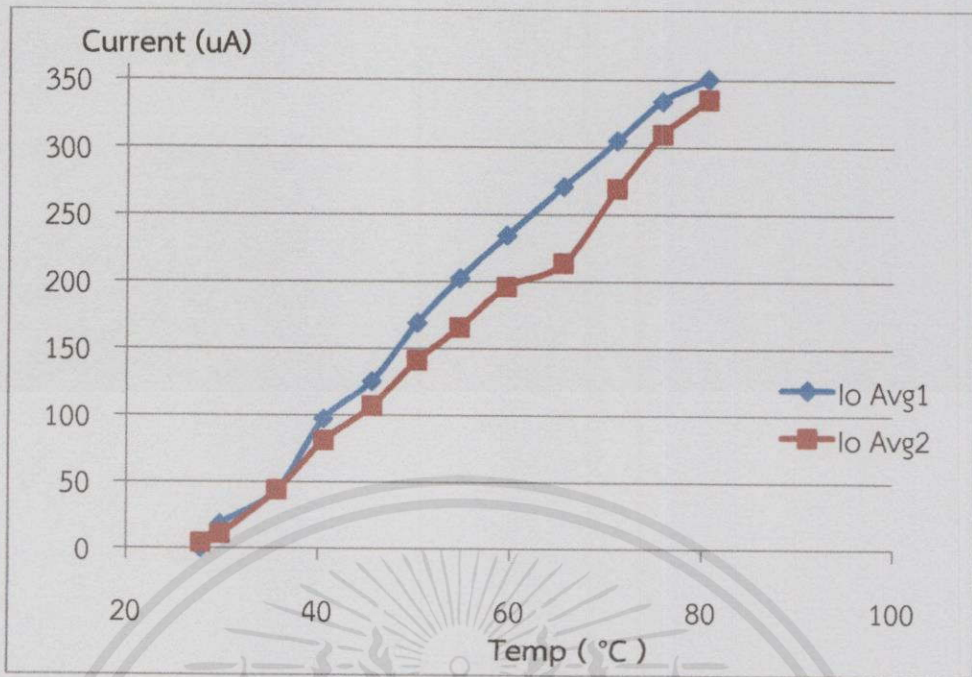
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ทางออกกับอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 2

4.2.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ลวดนิโครมทั้ง 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองโดยการปรับอุณหภูมิทุก 5 องศาเซลเซียสทั้ง 2 ครั้ง

จากการทดลองวงจร Simple wind meter โดยมีการให้ความร้อนผ่านลวดนิโครมโดยการปรับตามแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ลวด พบว่าในการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 มีค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0 – 360 ไมโครแอมป์ ได้กระแสไฟฟ้าที่ทางออกมีค่าเป็นเชิงเส้นในช่วงประมาณ 35 – 75 องศาเซลเซียส และจากกราฟเปรียบเทียบระหว่างการทดลองทั้ง 2 ครั้ง พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่ทางออกของวงจร simple wind meter มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น อาจจะมีผลมาจากอุณหภูมิภายนอกที่เข้ามารบกวนภายในระบบ จึงทำให้ได้ผลการทดลองที่แตกต่างกันเล็กน้อย แต่ยังสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบได้เพราะผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อย

ส่วนการทดลองวงจร Simple wind meter โดยทดสอบกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 5 องศาเซลเซียส พบว่าการทดลองทั้ง 2 การทดลอง มีค่ากระแสที่ทางออก 0 – 350 ไมโครแอมป์ ในช่วงอุณหภูมิ 27-80 องศาเซลเซียส และมีช่วงที่ผลการทดลองมีความเป็นเชิงเส้นอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 45 – 60 องศาเซลเซียส และจากกราฟเปรียบเทียบการทดลองทั้ง 2 ครั้ง พบว่าการทดลองครั้งที่ 2 มีความผิดพลาดเกิดขึ้นเมื่อเทียบกับการทดลองครั้งแรก ซึ่งจะมีผลกระทบทำให้ผลการทดลองผิดเพี้ยนไป เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดลองทั้ง 2 ครั้ง

ซึ่งจากผลการทดลองอาจสรุปได้ว่าการทดลองโดยใช้อุณหภูมิที่ลวดนิโครมเกิดความผิดพลาดสูงกว่าการใส่แรงดันให้ลวดนิโครม ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น อุณหภูมิที่เป็นตัวแปรสำคัญมากระทบ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกร ใช้งานเพื่อการศึกษานาน นโมอนุชาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

4.3 การทดลองต่อ R Shunt กับวงจร Simple wind meter

4.3.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อหาความเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกเมื่ออุณหภูมิที่ทางออกมีค่าเปลี่ยนแปลง โดยใช้ไดโอดพันลวดนิโครมเป็นตัวเซนเซอร์

4.3.2 ผลการทดลอง

เมื่อ $R_{shunt} = 25k\Omega$, $V_{in} = 3.6 V$, $V_o = 2.28 V$; $V_{diode} = 0 V$, $T_{ห้อง} = 27.3 ^\circ C$, $R_a = 10K\Omega$ จากรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองเมื่อต่อ R_{shunt} ในวงจร Simple wind meter

$V_{diode} (V)$	Temp ($^\circ C$)	V_o max (V)	V_o min (V)	V_o avg (V)
0.2	27.9	2.120	2.084	2.108
0.4	33.0	2.027	2.024	2.025
0.6	36.9	2.037	2.027	2.028
0.8	42.0	2.043	2.030	2.038
1.0	45.3	2.067	2.046	2.053
1.2	50.5	2.141	2.046	2.086
1.4	60.0	2.160	2.046	2.112
1.6	68.9	2.183	2.046	2.136
1.8	77.8	2.189	2.046	2.146
2.0	84.9	2.223	2.046	2.158

4.3.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการใส่ R_{shunt} ทำให้มีแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกกลับมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยในขณะที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงถึง 60 องศาเซลเซียส ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ผลการทดลองมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยนี้อาจเกิดจากค่าของ R_{shunt} ที่มากเกินไป จึงทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมีค่าน้อยมาก จึงส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมมีความแตกต่างเพียงแค่น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

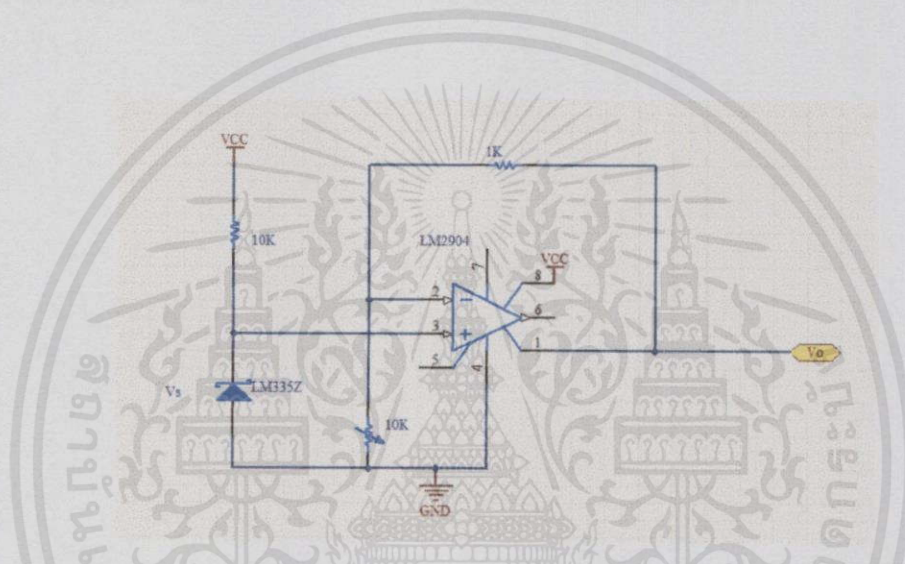
4.4 ทดสอบการทำงานของ LM335z ใน 2 รูปแบบ

4.4.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อหาการตอบสนองของ Lm335z ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่มีการตอบสนองต่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมว่ามีแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกเป็นอย่างไร

4.4.2 ทดลองต่อโดยใช้วงจร Non-inverting op-amp ต่อกับ Basic Temperature sensor (LM335z)

ทำการวัดแรงดันตกคร่อมเซ็นเซอร์(V_s) และ แรงดันเอาต์พุต (V_o) ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.8 วงจร Non-inverting Op-amp ต่อกับ Basic Temperature sensor

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองของการต่อแบบ Basic Temperature sensor เมื่อมี

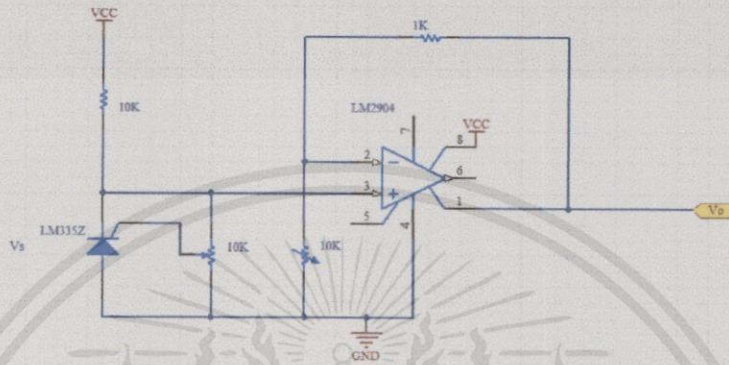
$$T_1 = 27.5 \text{ } ^\circ\text{C}, T_2 = 26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

V_{cc} (V)	V_s (V)	V_o (V)
5	2.57	3.66
9	2.97	7.51
12	2.97	10.42
15	2.97	13.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ทดลองต่อโดยใช้วงจร Non-inverting op-amp ต่อกับ Calibrated sensor (LM335z)

ทำการวัดแรงดันตกคร่อมเซ็นเซอร์ (V_s) และ แรงดันเอาต์พุต (V_o) ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.9 วงจร Non-inverting Op-amp ต่อกับ Calibrated sensor

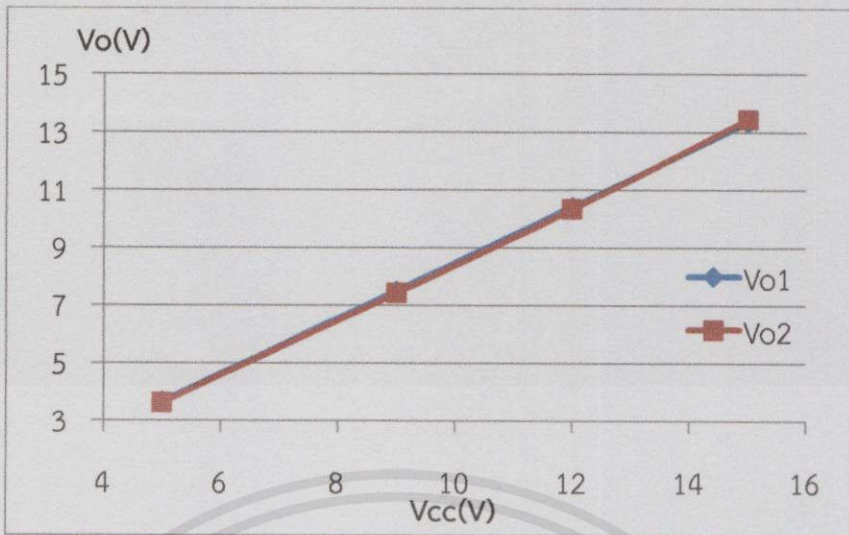
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองของการต่อแบบ Calibrated sensor เมื่อมี

$$T_1 = 27.5 \text{ } ^\circ\text{C} , T_2 = 26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

V_{cc} (V)	V_s (V)	V_o (V)
5	1.73	3.63
9	3.10	7.43
12	3.76	10.34
15	3.76	13.46

4.4.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_o กับ V_{cc} ของการทดลองทั้ง 2 แบบ

วงจรมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิภายนอก โดยเซ็นเซอร์มีความสามารถในการตรวจวัดอุณหภูมิภายนอกได้ ทั้งในรูปแบบของ Basic Temperature sensor และ Calibrated sensor นอกจากนี้ยังมีผลการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกเป็นเชิงเส้น แต่มีการทำงานที่ช้ามากจึงไม่เหมาะแก่การนำมาทำเป็นเซ็นเซอร์ภายในเครื่องฝีกกล้ามเนื้อเพื่อการหายใจ ที่ต้องมีความเร็วในการตอบสนองสูง

4.5 การทดลองหาเสถียรภาพของไดโอดแบบต่างๆ

4.5.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อทดสอบว่าไดโอดที่จะนำมาเป็นเซ็นเซอร์แบบใดมีเสถียรภาพมากกว่ากันเมื่อมีการใช้งานติดต่อกันเป็นเวลานานกับวงจร Simple wind meter รูปที่ 4.1

4.5.2 ผลการทดลอง

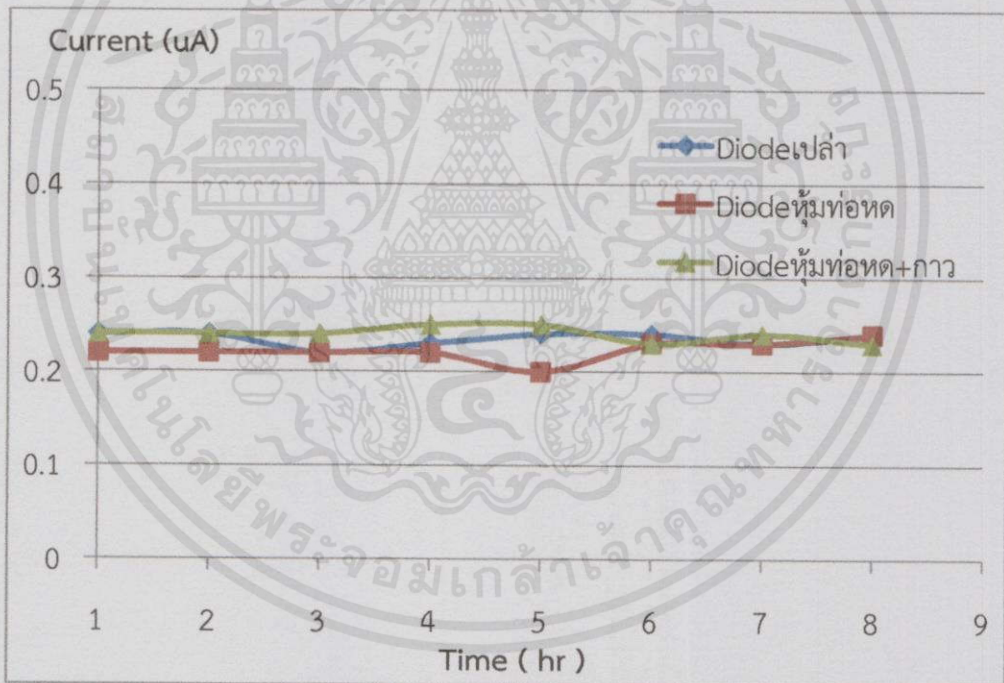
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองไดโอดแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ $27.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $R_a = 5\text{K}\Omega$

	Diode เปล่า	Diode หุ้มท่อหด	Diode หุ้มท่อหด + กาว
	I_o (uA)	I_o (uA)	I_o (uA)
ชั่วโมงที่ 1	0.24	0.22	0.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

	Diodeเปล่า	Diodeหุ้มท่อหด	Diodeหุ้มท่อหด + กาว
	I_o (uA)	I_o (uA)	I_o (uA)
ชั่วโมงที่2	0.24	0.22	0.24
ชั่วโมงที่3	0.22	0.22	0.24
ชั่วโมงที่4	0.23	0.22	0.25
ชั่วโมงที่5	0.24	0.20	0.25
ชั่วโมงที่6	0.24	0.23	0.23
ชั่วโมงที่7	0.23	0.23	0.24
ชั่วโมงที่8	0.24	0.24	0.23



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ทางออกกับเวลาของการทดลองไดโอดทั้ง

3 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาเสถียรภาพของไดโอดแบบต่างๆ พบว่าไดโอดทุกแบบมีความคลาดเคลื่อนบ้างเล็กน้อยเมื่อมีการใช้งานเป็นเวลานาน จากกราฟแสดงให้เห็นถึงภาพรวมของการทดลองทั้งหมด จึงพบว่าไดโอดเปล่านั้นมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดช่วงที่ทำการทดลอง ไดโอดที่หุ้มท่อหอดมีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นเมื่อมีการใช้งานที่นานขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการสะสมความร้อนภายในท่อหอดเอง และการทดลองของไดโอดที่หุ้มท่อหอดและมีกาวทาหุ้มภายนอกอีก 1 ชั้น พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อมีการใช้งานเป็นเวลานาน

ดังนั้นจากผลการทดลองจึงทำให้เลือกใช้ไดโอดเปล่านั้น ถึงแม้ว่าไดโอดที่หุ้มท่อหอด+กาวจะมีผลการทดลองที่คล้ายกันมาก แต่เนื่องจากการทดลองของไดโอดที่หุ้มท่อหอดเพียงอย่างเดียวทำให้เกิดความผิดพลาดสูงกว่าแบบอื่น จึงทำให้เลือกใช้ไดโอดเปล่านั้นเพื่อลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น

4.6 ทำการทดสอบวงจร Simple wind meter โดยใช้ไดโอดแทนเซ็นเซอร์อุณหภูมิ

4.6.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อหาไดโอดที่จะนำไปเป็นเซ็นเซอร์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยการทดลองใช้ไดโอดแทนเซ็นเซอร์อุณหภูมิ 2 รูปแบบ ซึ่งได้แก่ ไดโอดเปล่านั้นและไดโอดหุ้มท่อหอด ใน 2 สถานะ คือ ลมเย็นและลมร้อน โดยทำการวัดกระแสไฟฟ้าที่ทางออก 1 (I_{o1}) เมื่อเซ็นเซอร์ได้รับโฟลว์ของอากาศ (Air flow) คงที่เป็นเวลา 5 นาที และทำการวัดกระแสไฟฟ้าที่ทางออก 2 (I_{o2}) เมื่อหยุดการจ่ายโฟลว์ (Air flow) จากวงจร Simple wind meter รูปที่ 4.1

4.6.2 ผลการทดลอง

4.6.2.1 เมื่อใช้ไดโอดเปล่านั้น

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ไดโอดเปล่านั้น และมีโฟลว์ของอากาศ (Air flow) เป็นลมเย็น ที่

มีอุณหภูมิ $T = 28.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $I_{o2} = 0.23 \text{ uA}$, $R_a = 5K\Omega$

ครั้งที่	เมื่อมีโฟลว์คงที่		เมื่อหยุดจ่ายโฟลว์	
	I_{o1} (uA)	T ($^{\circ}\text{C}$)	I_{o2} (uA)	T ($^{\circ}\text{C}$)
1	0.32	30.0	0.27	28.3
2	0.31	30.1	0.28	28.3
3	0.32	30.3	0.28	28.1

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ไดโอดเปล่ง และมิโพล์วของอากาศ(Air flow)เป็นลมร้อน ที่

อุณหภูมิ $T = 27.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $I_{o2} = 0.23 \text{ uA}$, $R_a = 5\text{K}\Omega$

ครั้งที่	เมื่อมีโพล์วคงที่			เมื่อหยุดจ่ายโพล์ว	
	$I_{o1} \text{ max (uA)}$	$I_{o1} \text{ min (uA)}$	$T (\text{ }^{\circ}\text{C})$	$I_{o2} \text{ (uA)}$	$T (\text{ }^{\circ}\text{C})$
1	16.38	11.23	65.6	0.25	29.0
2	16.31	11.23	65.7	0.25	29.3
3	16.43	11.31	65.8	0.24	27.9

4.6.2.2 เมื่อใช้ไดโอดหุ้มท่อหด

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ไดโอดหุ้มท่อหด และมิโพล์วของอากาศ(Air flow)เป็นลม

เย็น ที่มีอุณหภูมิ $T = 28.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $I_{o2} = 0.23 \text{ uA}$, $R_a = 5\text{K}\Omega$

ครั้งที่	เมื่อมีโพล์วคงที่		เมื่อหยุดจ่ายโพล์ว	
	$I_{o1} \text{ (uA)}$	$T (\text{ }^{\circ}\text{C})$	$I_{o2} \text{ (uA)}$	$T (\text{ }^{\circ}\text{C})$
1	0.33	30.0	0.29	28.5
2	0.33	30.2	0.27	28.2
3	0.35	30.5	0.28	28.4

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ไดโอดหุ้มท่อหด และมิโพล์วของอากาศ(Air flow)เป็นลม

ร้อน ที่มีอุณหภูมิ $T = 27.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $I_{o2} = 0.23 \text{ uA}$, $R_a = 5\text{K}\Omega$

ครั้งที่	เมื่อมีโพล์วคงที่			เมื่อหยุดจ่ายโพล์ว	
	$I_{o1} \text{ max (uA)}$	$I_{o1} \text{ min (uA)}$	$T (\text{ }^{\circ}\text{C})$	$I_{o2} \text{ (uA)}$	$T (\text{ }^{\circ}\text{C})$
1	7.02	6.93	69.2	0.25	28.0
2	7.17	6.94	70.1	0.25	28.0
3	7.16	6.92	70.4	0.26	27.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.3 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพิจารณาที่การไหลของอากาศเย็นและร้อน จะพบว่าที่ลมเย็นไอโอดเปลา่มีกระแสไฟฟ้าที่ทางออก1ต่ำกว่าไอโอดแบบหุ้มท่อหดเล็กน้อย แต่ไอโอดเปลา่มีกระแสไฟฟ้าที่ทางออก2 คงที่มากกว่าไอโอดหุ้มท่อหด ในขณะที่เมื่อพิจารณาที่ลมร้อนไอโอดเปลา่จะมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นมากกว่าไอโอดหุ้มท่อหด และมีกระแสไฟฟ้าที่ทางออก2ใกล้เคียงกัน

ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าหากใช้ไอโอดเปลา่เป็นเซ็นเซอร์จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ทางออกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงหรือมีค่ามาก จึงทำให้วัดได้ละเอียดกว่าไอโอดหุ้มท่อหด นอกจากนี้ไอโอดเปลา่ยังมีความสามารถในการกลับมา ณ ตำแหน่งเริ่มต้นได้ดีกว่าไอโอดหุ้มท่อหด เนื่องจากไอโอดหุ้มท่อหดมีการสะสมความร้อนไว้ที่ท่อหดจึงทำให้ใช้เวลานานกว่าจะกลับมาที่จุดเริ่มต้น หรืออาจกล่าวได้ว่าไอโอดเปลา่มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานที่มีลักษณะต้องการทั้งความละเอียดของเอาท์พุทและการใช้งานที่มีความติดต่อกันมากกว่าไอโอดหุ้มท่อหด ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติว่ามีค่าความเบี่ยงเบนต่ำ มีความไวในการตรวจจับได้ดี

4.7 การทดลองวงจร Simple wind meter เมื่อมีการปรับอัตราการไหลของอากาศ1

4.7.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

ทดลองกับเครื่อง Tray Dry ของภาควิชาวิศวกรรมเคมีเพื่อวัด Flow ของอากาศและอุณหภูมิ ว่ามีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่ทางออกของวงจร simple wind meter รูปที่ 4.1 อย่างไร

4.7.2 ผลการทดลอง

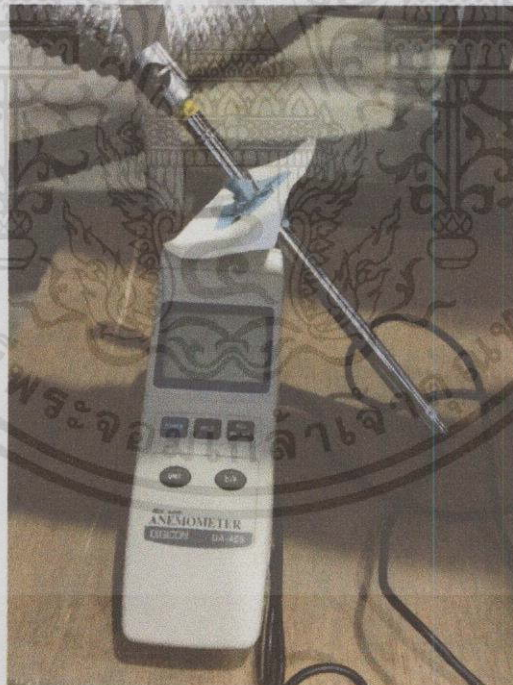


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.12 เครื่อง Tray dry ที่ใช้ในการทดลอง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

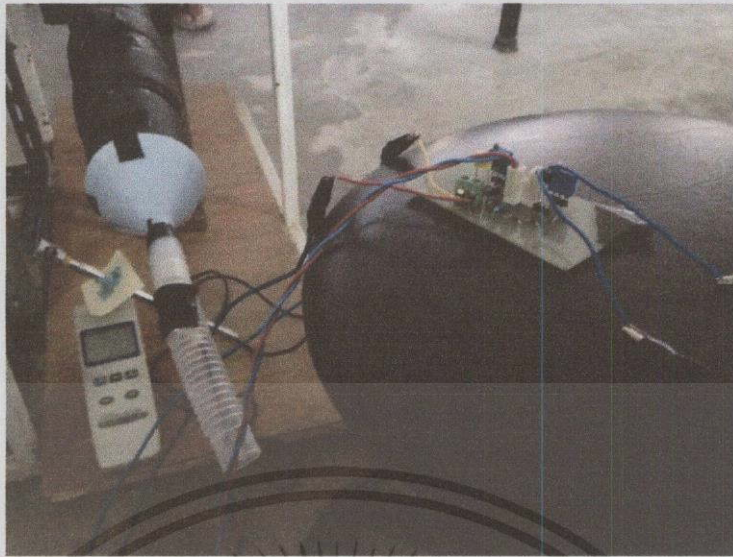


รูปที่ 4.13 กล้องควบคุมความเร็วของมอเตอร์



รูปที่ 4.14 Anemometer ที่ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศขณะทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ทดลองวงจรกับเครื่อง Tray dry

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 1 เมื่อมี $R_a = 5K\Omega$, $T_{ห้อง} = 32.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $I_o = 0.56\text{ }\mu\text{A}$

Flow rate (m/s)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	I_o (μA)
1.02	34.2	0.68
2.12	34.6	0.68
3.02	34.6	0.69
4.07	34.7	0.69
5.00	34.8	0.70
6.05	35.0	0.71
7.03	35.5	0.75
8.07	36.0	0.82
9.05	37.4	0.92
10.10	38.1	1.03
11.01	40.0	1.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

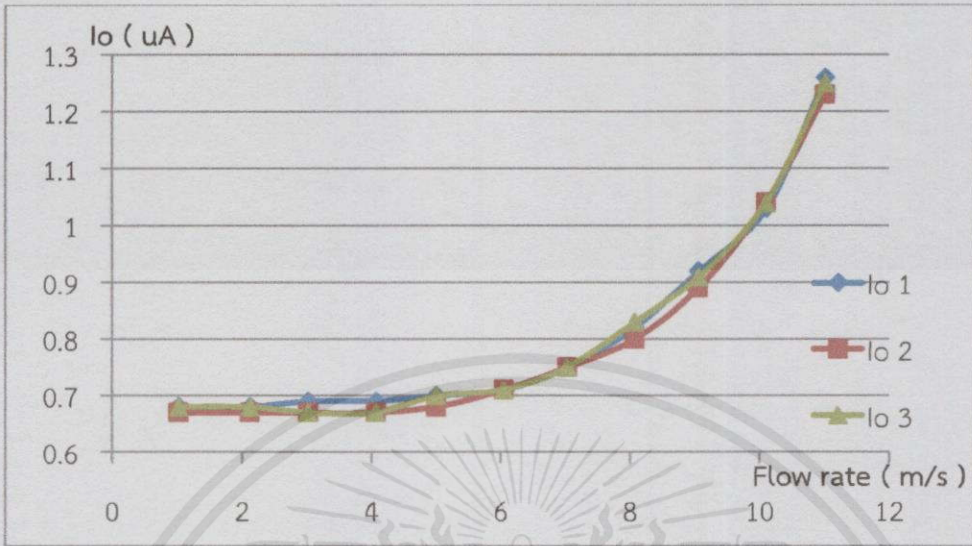
ตารางที่ 4.16 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อมี $R_a = 5K\Omega$, $T_{ห้อง} = 32.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $I_o = 0.55\text{ }\mu\text{A}$

Flow rate (m/s)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	I_o (μA)
1.00	34.2	0.67
2.00	34.6	0.67
3.07	34.6	0.67
4.00	34.6	0.67
5.00	34.7	0.68
6.03	35.0	0.71
7.04	35.5	0.75
8.06	36.0	0.80
9.00	37.0	0.89
10.08	37.9	1.04
11.02	40.0	1.23

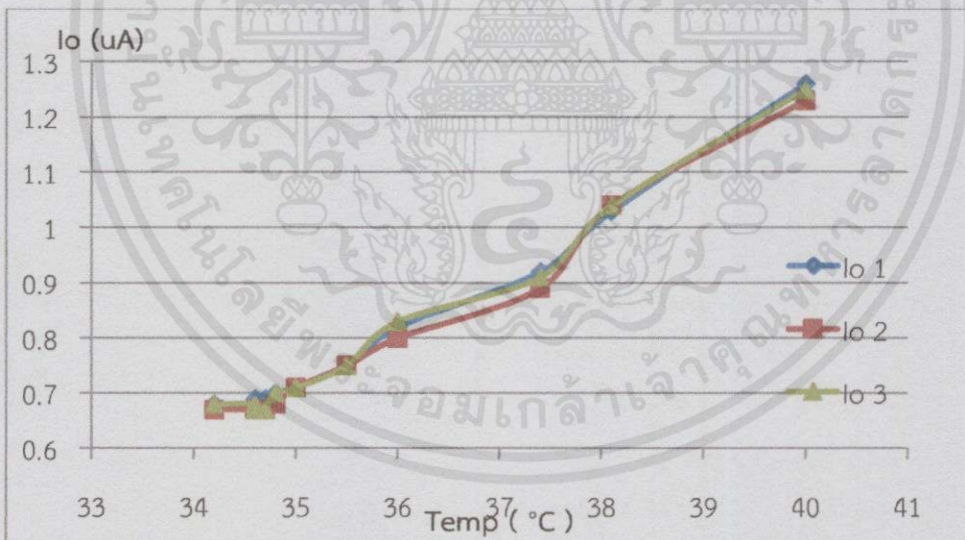
ตารางที่ 4.17 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อมี $R_a = 5K\Omega$, $T_{ห้อง} = 32.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $I_o = 0.56\text{ }\mu\text{A}$

Flow rate (m/s)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	I_o (μA)
1.05	34.1	0.68
2.02	34.4	0.68
3.03	34.5	0.67
4.04	34.6	0.67
5.01	34.7	0.70
6.01	34.9	0.71
7.04	35.4	0.75
8.07	35.9	0.83
9.03	37.1	0.91
10.05	37.8	1.04
11.04	40.0	1.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับกระแสไฟฟ้าที่ทางออกทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกระแสไฟฟ้าที่ทางออกทั้ง 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าเมื่อนำวงจร Simple wind meter ไปทดลองกับเครื่อง Tray dry จะได้ค่ากระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของอากาศ และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยกระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลของอากาศที่สูงขึ้นและการเพิ่มของอุณหภูมิ โดยการทดลองทั้ง 3 ครั้ง มีผลการทดลองที่ใกล้เคียงกัน

พิจารณาที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับกระแสไฟฟ้าที่ทางออก จะพบว่าเมื่อมีอัตราการไหลของอากาศต่ำกว่า 6 m/s กระแสไฟฟ้าที่ทางออกมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่เมื่ออัตราการไหลของอากาศมีค่ามากกว่า 6 m/s กระแสไฟฟ้าที่ทางออกจะมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น และเมื่อพิจารณาที่กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกระแสไฟฟ้าที่ทางออก จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ทางออกก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น และจะมีการเปลี่ยนแปลงมากเมื่อมีอุณหภูมิสูง

4.8 การทดลองวงจร Simple wind meter เมื่อมีการปรับอัตราการไหลของอากาศ 2

4.8.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

ทดลองกับเครื่อง Tray Dry ของภาควิชาวิศวกรรมเคมีเพื่อวัด Flow ของอากาศและอุณหภูมิ ว่ามีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่ทางออกของวงจร simple wind meter รูปที่ 4.1 อย่างไรเมื่อมีการปรับให้กระแสไฟฟ้าที่ทางออกมีค่าเพิ่มมากขึ้น

4.8.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 1 เมื่อมี $R_a = 5K\Omega$, $V_{in} = 5 V$, $T_{ห้อง} = 31.5 ^\circ C$,

$$I_o = 113.8 \mu A$$

Flow rate (m/s)	Temp (°C)	I_o (uA)
1.04	32.3	122.4
2.01	32.4	122.5
3.00	32.6	122.8
4.02	32.6	123.3
5.03	33.2	124.1
6.04	33.6	126.4
7.03	33.9	130.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 (ต่อ)

Flow rate (m/s)	Temp (°C)	I_o (uA)
8.02	34.4	134.4
9.05	35.0	139.6
10.02	36.0	149.0
11.07	37.0	156.2

ตารางที่ 4.19 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อมี $R_a = 5K\Omega$, $V_{in} = 5V$, $T_{ห้อง} = 31.8$ °C ,

$$I_o = 118.4 \text{ uA}$$

Flow rate (m/s)	Temp (°C)	I_o (uA)
1.01	32.4	122.0
2.04	32.6	123.3
3.07	32.9	124.0
4.02	32.9	125.2
5.06	33.0	126.4
6.06	33.6	128.4
7.01	34.1	132.2
8.04	34.6	135.9
9.03	35.2	140.9
10.02	36.0	147.3
11.01	37.1	155.7

ตารางที่ 4.20 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อมี $R_a = 5K\Omega$, $V_{in} = 5V$, $T_{ห้อง} = 31.9$ °C ,

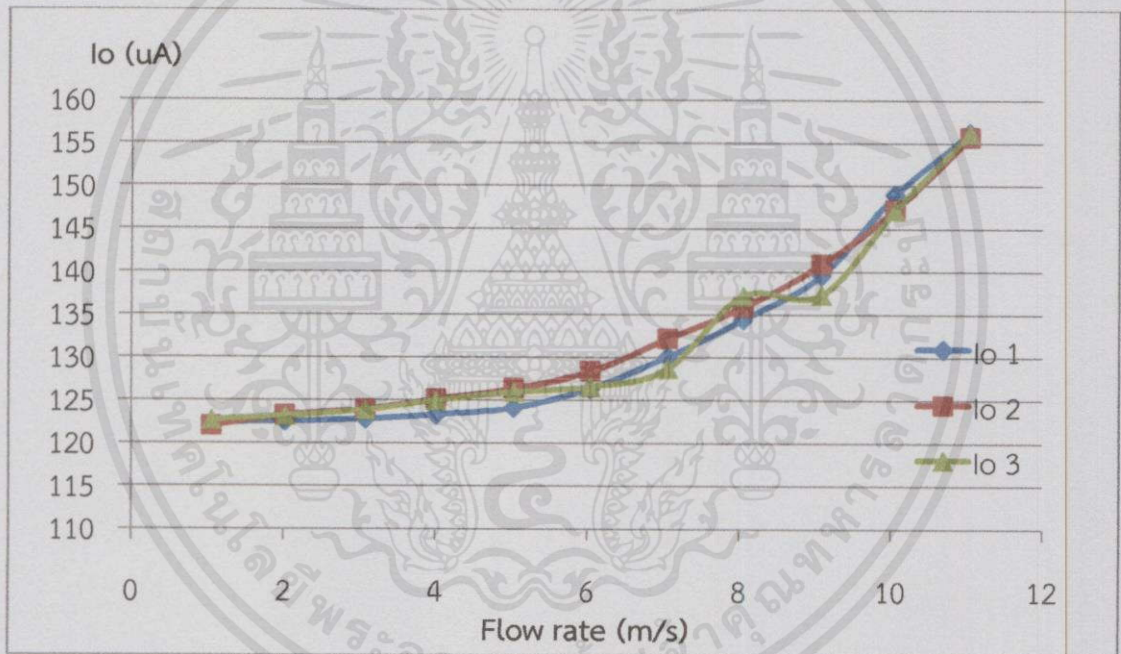
$$I_o = 119.2 \text{ uA}$$

Flow rate (m/s)	Temp (°C)	I_o (uA)
1.05	33.0	122.7
2.02	33.0	123.2
3.08	33.1	123.9
4.01	33.1	125.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

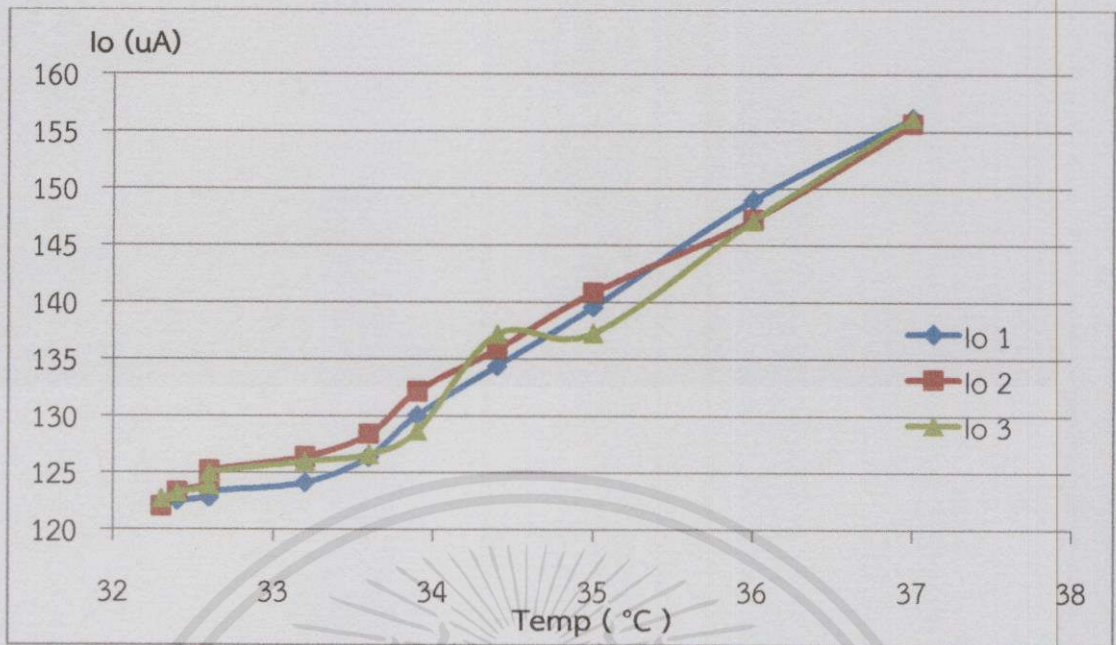
ตารางที่ 4.20 (ต่อ)

Flow rate (m/s)	Temp (°C)	Io (uA)
5.03	33.3	126.0
6.04	33.6	126.6
7.06	34.0	128.7
8.05	34.2	137.2
9.08	34.9	137.3
10.05	36.2	147.2
11.04	37.3	156.2



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับกระแสไฟฟ้าที่ทางออก ทั้ง 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกระแสไฟฟ้าที่ทางออกทั้ง 3 ครั้ง

4.8.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าเมื่อนำวงจร Simple wind meter ไปทดลองกับเครื่อง Tray dry และมีการปรับให้กระแสไฟฟ้าที่ทางออกมีค่าเพิ่มขึ้น จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ทางออกมีการเปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของอากาศ และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยกระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลของอากาศที่สูงขึ้นและการเพิ่มของอุณหภูมิ โดยการทดลองทั้ง 3 ครั้ง มีผลการทดลองที่ใกล้เคียงกัน

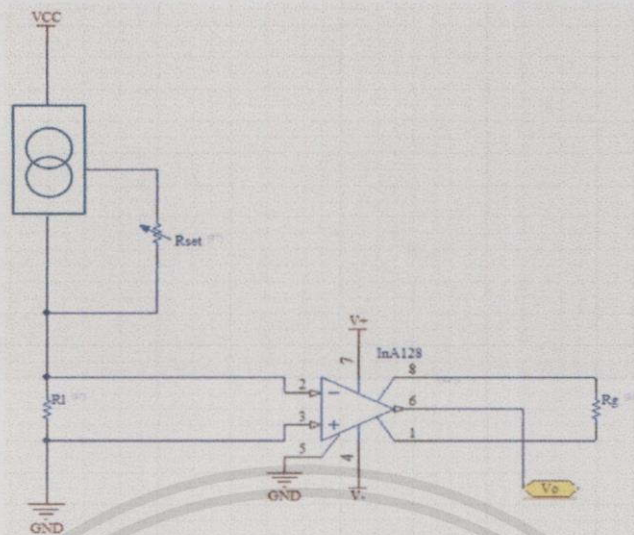
พิจารณาที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับกระแสไฟฟ้าที่ทางออก จะพบว่าเมื่อมีอัตราการไหลของอากาศต่ำกว่า 6 m/s กระแสไฟฟ้าที่ทางออกมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่ออัตราการไหลของอากาศมีค่ามากกว่า 6 m/s กระแสไฟฟ้าที่ทางออกจะมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น และเมื่อพิจารณาที่กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกระแสไฟฟ้าที่ทางออก จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ทางออกก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 4.8 และค่อนข้างมีความเป็นเชิงเส้น

4.9 การทดลองตรวจสอบ INA128

4.9.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อตรวจสอบว่า INA128 ทำงานได้ตามที่ต้องการหรือไม่ โดยการต่อ Current shunt แบบ Source เป็น input ให้ INA128 ดังรูปที่ 4.13

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 วงจรทดสอบการทำงานของ INA128

4.9.2 ผลการทดลอง

ที่ $R_{set} = 100 \Omega$, $R_L = 500 \Omega$ จะได้ $V_o = 244.7 \text{ mV}$ เมื่อมี $G = 1$

$V_o = 493.2 \text{ mV}$ เมื่อมี $G = 2$

ที่ $R_{set} = 100 \Omega$, $R_L = 1\text{k}\Omega$ จะได้ $V_o = 366.4 \text{ mV}$ เมื่อมี $G = 1$

$V_o = 731.6 \text{ mV}$ เมื่อมี $G = 2$

ที่ $R_{set} = 100 \Omega$, $R_L = 5\text{k}\Omega$ จะได้ $V_o = 1.003 \text{ V}$ เมื่อมี $G = 1$

$V_o = 2.032 \text{ V}$ เมื่อมี $G = 2$

4.9.3 สรุปผลการทดลอง

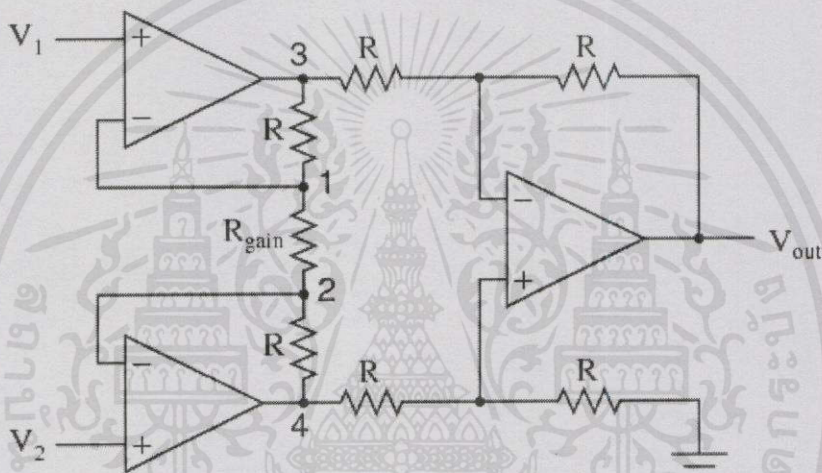
จากการทดลองเพื่อตรวจสอบการทำงานของ INA128 โดยการเปลี่ยนค่า R_L ทั้งหมด 3 ค่า พบว่าที่ R_L เท่ากับ 500 โอห์ม ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้มีกระแสไฟฟ้าที่ทางเข้ามีค่าใกล้เคียงกันกับค่าที่ได้จากวงจร Simple wind meter และพบว่าได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกเมื่อมีอัตราขยายของวงจรเท่ากับ 1 มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณ เมื่อวงจรมีอัตราขยายเท่ากับ 2 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งนับว่าวงจรทำงานตามที่ต้องการ และเมื่อทำการเปลี่ยนค่า R_L พบว่าเมื่อ R_L มีค่าสูงขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกก็มีค่าสูงขึ้นด้วย แต่เนื่องจากค่า R_L มีค่าสูงขึ้นมาก จึงทำให้กระแสไฟฟ้าไม่ไหลผ่าน R_L ทำให้เกิดเป็นแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_L แทน นอกจากนี้ขณะทำการทดลองยังสังเกตได้ว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกมีค่ามาก จะยิ่งทำให้ค่าที่อ่านได้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นสูงเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 การทดลองการทำงานของวงจร Simple wind meter กับวงจร Instrumentation amplifier.

4.10.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อหาแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกของวงจร เมื่อมีอัตราขยายของวงจรแตกต่างกัน โดยใช้วงจร Instrumentation amplifier มาต่อกับวงจร Simple wind meter ว่ามีการตอบสนองต่ออัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิอย่างไร เมื่อทำการทดลองกับเครื่อง tray dry ของภาควิชาวิศวกรรมเคมีตามวงจรรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.21 วงจร Instrumentation amplifier

4.10.2 ผลการทดลอง

4.10.2.1 เมื่อวงจร Instrumentation amplifier มีอัตราขยายเท่ากับ 1

ตารางที่ 4.21 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 1 เมื่อมี $R_a = 5K\Omega$, $T_{ห้อง} = 30.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_o = 390\text{ mV}$

Flow rate (m/s)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	V_o (mV)
1.04	31.1	390.1
2.03	31.1	394.7
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ออก 31.2 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 393.6 (ด้านกระดาษ)		

ไม่จำกัดสิทธิ์ในสิ่งอื่นอีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 (ต่อ)

Flow rate (m/s)	Temp (°C)	V_o (mV)
4.04	31.2	403.6
5.05	31.4	409.6
6.03	31.8	411.3
7.06	32.1	422.3
8.06	32.8	437.5
9.03	33.8	450.5
10.02	34.2	466.5
11.03	35.4	517.5

ตารางที่ 4.22 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อมี $R_a = 5K\Omega$, $T_{ห้อง} = 31.4$ °C , $V_o = 405$ mV

Flow rate (m/s)	Temp (°C)	V_o (mV)
1.03	32.1	412.0
2.05	32.3	415.6
3.04	32.4	418.6
4.00	32.5	421.7
5.02	32.7	425.7
6.06	33.1	435.7
7.03	33.8	449.8
8.04	34.4	468.7
9.02	35.0	493.4
10.03	35.3	512.8
11.02	37.1	550.4

ตารางที่ 4.23 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อมี $R_a = 5K\Omega$, $T_{ห้อง} = 31.5$ °C , $V_o = 407$ mV

Flow rate (m/s)	Temp (°C)	V_o (mV)
1.03	33.2	439.3
2.03	33.2	442.7
3.04	33.4	447.6
4.06	34.0	448.1
5.01	34.1	450.9

ตารางที่ 4.23 (ต่อ)

Flow rate (m/s)	Temp (°C)	V_o (mV)
6.02	34.2	459.8
7.03	34.4	463.9
8.04	34.9	480.5
9.03	35.5	496.5
10.08	36.5	525.7
11.01	37.2	559.3

4.10.2.2 เมื่อวงจร Instrumentation amplifier มีอัตราขยายเท่ากับ 2

ตารางที่ 4.24 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 1 เมื่อมี $R_a = 5K\Omega$, $T_{ห้อง} = 31.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_o = 786\text{ mV}$

Flow rate (m/s)	Temp (°C)	V_o (V)
1.00	33.1	0.879
2.01	33.2	0.883
3.04	33.5	0.887
4.02	33.9	0.892
5.01	34.1	0.901
6.02	34.3	0.924
7.06	34.7	0.942
8.03	34.9	0.960
9.05	35.6	0.997
10.08	36.3	1.039
11.06	37.2	1.098

ตารางที่ 4.25 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อมี $R_a = 5K\Omega$, $T_{ห้อง} = 31.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_o = 798\text{ mV}$

Flow rate (m/s)	Temp (°C)	V_o (V)
1.02	33.4	0.881
2.06	33.5	0.885
3.08	33.7	0.891
4.05	34.1	0.902
5.03	34.2	0.909

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 วิศวกรรม ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 (ต่อ)

Flow rate (m/s)	Temp (°C)	V_o (V)
6.06	34.4	0.922
7.02	34.9	0.944
8.01	35.3	0.969
9.04	36.0	1.012
10.03	36.8	1.068
11.00	37.8	1.129

ตารางที่ 4.26 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 3 เมื่อมี $R_a = 5K\Omega$, $T_{ห้อง} = 31.7\text{ }^{\circ}C$, $V_o = 798\text{ mV}$

Flow rate (m/s)	Temp (°C)	V_o (V)
1.04	32.9	0.851
2.01	33.0	0.857
3.01	33.2	0.867
4.05	33.3	0.870
5.01	33.4	0.876
6.02	33.9	0.891
7.02	34.3	0.914
8.01	34.9	0.952
9.07	35.9	1.009
10.05	37.1	1.078
11.02	37.9	1.172

ตารางที่ 4.27 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 4 เมื่อมี $R_a = 5K\Omega$, $T_{ห้อง} = 32.6\text{ }^{\circ}C$, $V_o = 861\text{ mV}$

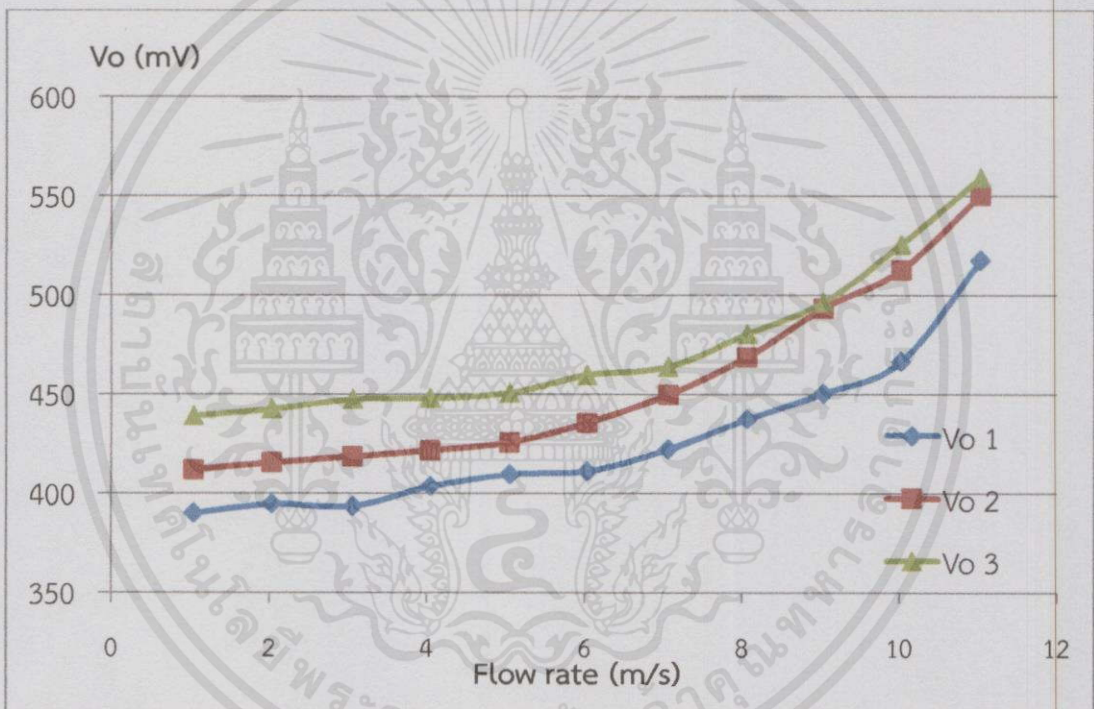
Flow rate (m/s)	Temp (°C)	V_o (V)
1.05	33.2	0.868
2.00	33.3	0.873
3.01	33.5	0.875
4.06	33.7	0.885
5.07	34.0	0.889

เอกสารนี้เป็นของส่วนราชการใช้สำหรับงานที่ออก 34.0 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 0.889 มีด้านการค้า

ไม่จำกัดลิขสิทธิ์อื่น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

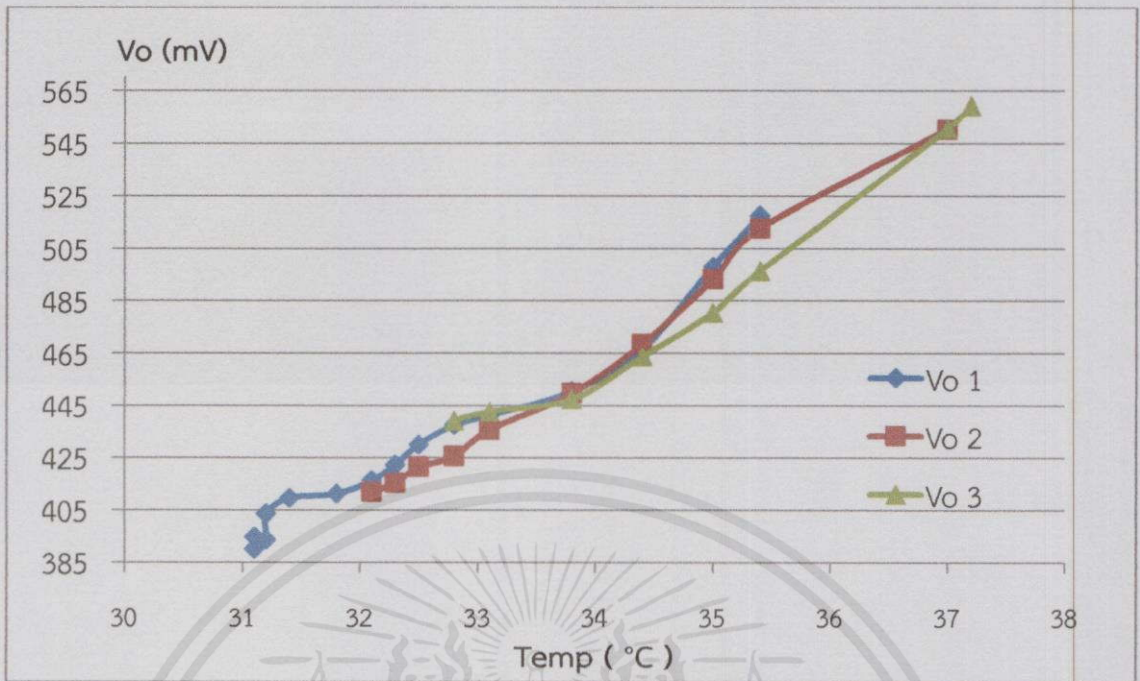
ตารางที่ 4.27 (ต่อ)

Flow rate (m/s)	Temp (°C)	V_o (V)
6.03	34.2	0.898
7.04	34.4	0.909
8.02	34.9	0.932
9.06	35.2	0.967
10.05	36.2	1.023
11.01	36.8	1.064

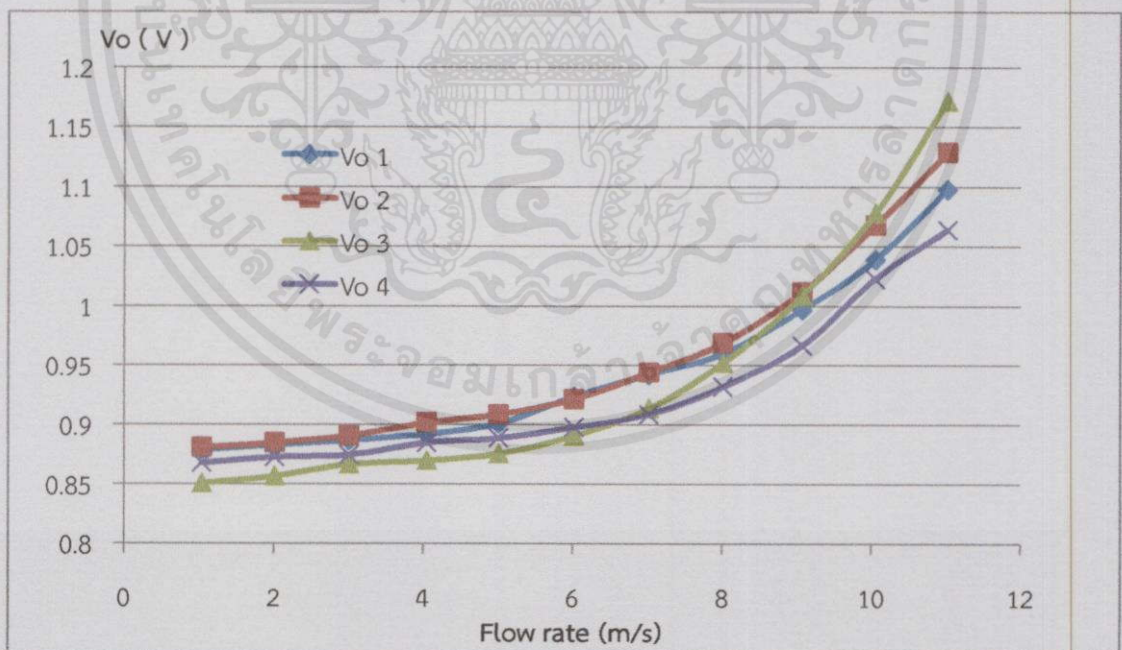


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก เมื่อวงจร Instrumentation Amplifier มีอัตราขยายเท่ากับ 1

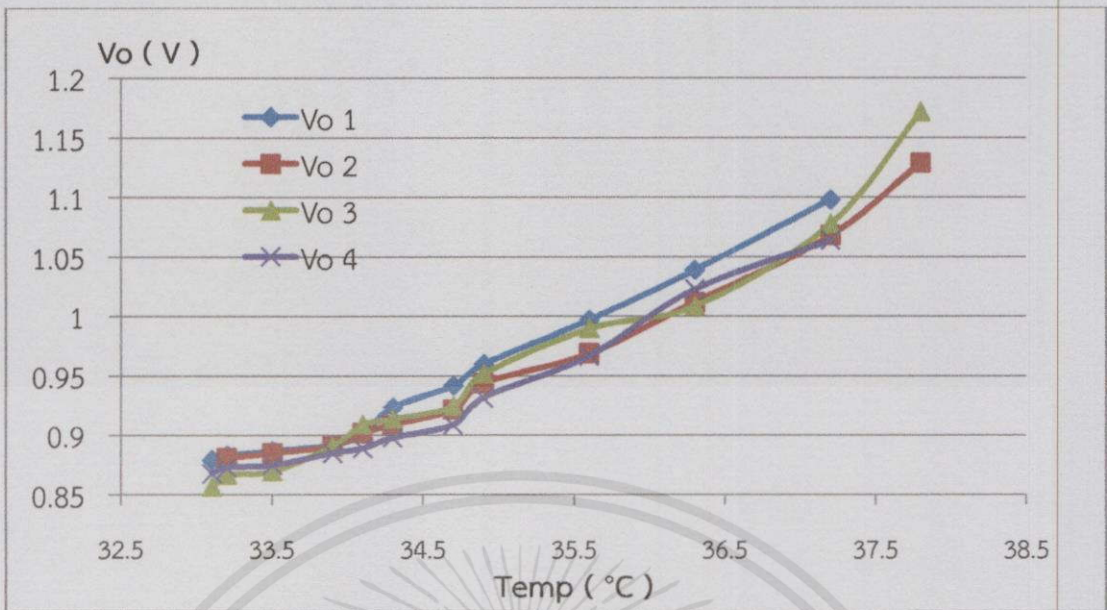
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก เมื่อวงจร Instrumentation Amplifier มีอัตราขยายของวงจรเป็น 1



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก เมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
วงจร Instrumentation Amplifier มีอัตราขยายเท่ากับ 2



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก เมื่อวงจร Instrumentation Amplifier มีอัตราขยายเป็น 2

4.10.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกกับอัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิ พบว่าเมื่อวงจร Instrumentation amplifier มีอัตราขยายเท่ากับ 1 แรงดันไฟฟ้าที่ทางออกจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น โดยแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกจะมีค่ามากเมื่อมีอัตราการไหลของอากาศมากกว่า 6 m/s หากพิจารณาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปจะพบว่าแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อวงจร Instrumentation amplifier มีอัตราขยายเท่ากับ 2 ผลที่ได้จากการทดลองมีค่าทำนองเดียวกันกับวงจรที่มีอัตราการขยายเป็น 1 แต่จะมีความคลาดเคลื่อนสูงกว่า เนื่องจากทางสัญญาณทางเข้าที่ได้อาจมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นแล้วเกิดการขยายเพิ่มขึ้น จึงทำให้ได้ผลการทดลองที่มีความคลาดเคลื่อนสูง

ดังนั้นจากผลการทดลองจะพบว่าวงจร Instrumentation amplifier เมื่อมีการต่อให้มีอัตราขยายวงจรเท่ากับ 1 จะมีเสถียรภาพมากกว่าการต่อให้มีอัตราขยายวงจรเท่ากับ 2 และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก เนื่องจากหากพิจารณาที่อัตราการไหลของอากาศจะเห็นว่าหากอัตราการไหลของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นแต่อุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลง แรงดันไฟฟ้าที่ทางออกก็ไม่เปลี่ยนแปลง จึงสรุปได้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกมีค่าขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะฉีกใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

ระบบวัดอัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องฝึกกล้ามเนื้อควบคุมการหายใจเป็นงานวิจัยที่จัดทำขึ้นเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงให้แก่แพทย์ผู้รักษาผู้ป่วยพักฟื้นหลังการผ่าตัดบริเวณช่องอกหรือสำหรับผู้ป่วยโรคปอดอุดตันเรื้อรัง ซึ่งทำให้เกิดอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรง โดยมีแนวความคิดมาจากเครื่องช่วยบริหารTri-ball ที่เป็นเครื่องฝึกกล้ามเนื้อควบคุมการหายใจเครื่องแรก โดยอาศัยหลักการการเป่าลมเข้าไปในเครื่องที่มีลูกบอล 3 ลูก และมีน้ำหนักแตกต่างกัน เพื่อยกลูกบอลให้ลอยขึ้นโดยอาศัยกำลังลมที่ผ่านเข้าไปในเครื่อง เป็นการบริหารกล้ามเนื้อปอด ในภายหลังจากเครื่องTri-ballนี้ ยังมีเครื่องอื่นที่เป็นเครื่องฝึกกล้ามเนื้อควบคุมการหายใจเรื่อยมา โดยจุดประสงค์ของการสร้างเครื่องฝึกกล้ามเนื้อควบคุมการหายใจต่างๆ ล้วนมีหลักการคล้ายกัน คือ ให้ผู้ป่วยทำการบริหารกล้ามเนื้อหายใจโดยทำการหายใจได้สภาวะต่างๆตามความเหมาะสม การฝึกกล้ามเนื้อหายใจจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานให้กับกล้ามเนื้อหายใจ เพื่อให้ร่างกายได้รับการฟื้นฟู เพิ่มความสามารถในการออกกำลังกายและเพิ่มคุณภาพชีวิต ประสิทธิภาพของระบบหายใจขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อหายใจ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้สร้างส่วนของกรวัดอัตราการไหลของอากาศภายในท่อที่ใช้ในการฝึก เพื่อให้แพทย์ผู้รักษาได้มีข้อมูลไว้ใช้ในการวินิจฉัยอาการของผู้ป่วย อีกทั้งยังสามารถนำผลที่ได้ไปใช้ในการรวบรวมสถิติเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาการของผู้ป่วยรายอื่นๆในภายภาคหน้าได้อีกด้วย

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาค้นคว้าเพื่อทำระบบวัดอัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องฝึกกล้ามเนื้อควบคุมการหายใจ เริ่มจากการเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ที่จะนำมาใช้ในวงจร Simple wind meter พบว่าทรานซิสเตอร์เบอร์ BC559 มีการตอบสนองได้ดีกว่าทรานซิสเตอร์เบอร์ BC558 เนื่องจากวงจรที่ใช้ต้องการการตอบสนองที่รวดเร็ว แม่นยำ และมีการรบกวนของสัญญาณต่ำ ซึ่งตรงกับคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์เบอร์ BC559 คือ สามารถใช้งานได้ในแรงดันต่ำ ใช้กระแสไฟฟ้าน้อย มีการตอบสนองต่อการใช้งานที่ความเร็วสูง เหมาะสำหรับการใช้งานในวงจรสวิตช์และวงจรขยาย สามารถลดสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นได้ หลังจากเลือกทรานซิสเตอร์แล้ว ได้เลือกเซ็นเซอร์ที่จะใช้ในการวัดอัตราการไหลของอากาศคือ ไอโอดพันด้วยลวดนิโครม เมื่อนำไปใช้ทดสอบกับวงจร Simple wind meter ทำให้วงจรมีการตอบสนองระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ทางออกกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้อย่างดี ซึ่งถือว่าสามารถนำผลที่ได้ไป

คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศได้ แต่เนื่องจากไดโอดพันด้วยลวดนิโครมมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิที่เร็วมากจึงทำให้ผลการทดลองที่ได้ไม่แม่นยำเท่าที่ควรเพราะมีความผิดพลาดสูง จึงไม่เหมาะแก่การนำมาทำเป็นเซ็นเซอร์ภายในระบบ

ทำการทดสอบด้วยเซ็นเซอร์ชนิดอื่น เพื่อหาเซ็นเซอร์ที่มีการตอบสนองที่เหมาะสมต่อการใช้งาน โดยเลือกใช้เซ็นเซอร์อุณหภูมิสำเร็จรูป LM335Z โดยผลการทดลองที่ได้มีความเป็นเชิงเส้นดี มีความผิดพลาดน้อยมาก แต่ทำงานได้ช้า จึงไม่เหมาะต่อการนำมาใช้เป็นเซ็นเซอร์ภายในระบบ ต่อมาจึงทำการทดลองโดยการใช้ไดโอดชนิดที่มีคุณสมบัติในการสวิตช์อย่างรวดเร็ว(Fast switching)ในรูปแบบต่างๆ นั่นคือไดโอดเปล่า ไดโอดหุ้มท่อหมด และไดโอดหุ้มท่อหด+กาว ในลักษณะการทดสอบเพื่อหาเสถียรภาพการทำงานที่มีระยะการใช้งานนานและการใช้งานที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ พบว่าการทำงานของไดโอดทั้ง3แบบสามารถวัดอัตราการไหลของอากาศได้ แต่ไดโอดเปล่ามีประสิทธิภาพการทำงานได้ดีกว่าแบบอื่นๆ เนื่องจากแบบอื่นจะมีการสะสมความร้อนภายในท่อหดจึงทำให้มีการคายความร้อนที่ช้า จึงทำให้เกิดความผิดพลาดเกิดขึ้น หลังจากเลือกเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมได้แล้ว จึงนำวงจร Simple wind meter ไปทดสอบกับเครื่อง Tray dry ของภาควิศวกรรมเคมีเพื่อทำการทดสอบของวงจรระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ทางออกกับอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศ เมื่อมี $I_o = 0.56 \text{ uA}$, $T_{\text{ห้อง}} = 32.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ทางออกเพียงเล็กน้อย ในขณะที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง 7 องศาเซลเซียส จึงทำการปรับให้ $I_o = 118.4 \text{ uA}$, $T_{\text{ห้อง}} = 31.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ พบว่าเมื่อทำการปรับกระแสไฟฟ้าที่ทางออกมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส

เมื่อได้วงจร Simple wind meter ตามที่ต้องการแล้ว จึงนำไปต่อกับวงจร Current shunt monitor โดยใช้เป็นวงจร Instrumentation amplifier คือ INA128 โดยทำการตรวจสอบการทำงานของ Instrumentation ว่าสามารถทำงานในรูปแบบของวงจร Current shunt monitor ได้ และนำมาต่อกับวงจร Simple wind meter โดยรับกระแสไฟฟ้าที่ทางออกมาให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R_{shunt} แล้วทำการวัดแรงดันที่ตกคร่อมค่าความต้านทาน R_{shunt} และนำไปทดลองกับเครื่อง Tray dry เพื่อทำการตอบสนองของวงจรระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกกับอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศ พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงประมาณ $20 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$

จากผลการทดลองของการตอบสนองของวงจรในรูปแบบของกระแสไฟฟ้าที่ทางออกและแรงดันไฟฟ้าที่ทางออก พบว่าเมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ถึงแม้ว่าอัตราการไหลของอากาศจะเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้มีผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างจากเริ่มต้น เนื่องจากเซ็นเซอร์ที่ใช้ ใช้หลักการเดียวกันกับการใช้ไดโอดร้อน(Heated diode) ดังนั้นผลการทำงานของวงจรจึงขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ไหลผ่านเซ็นเซอร์ และสามารถคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศได้จากสมการที่ 2.18 ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ 5.1 ใ้หรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คำปรึกษาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงอัตราการไหลของอากาศเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกมีการเปลี่ยนแปลง

ที่ $T_{\text{ห้อง}} = 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$

V_o (mV)	Flow rate (m/s)
320	0
327	0.79
334	1.59
341	2.39
348	3.19
355	3.99
362	4.79
369	5.59
376	6.39
383	7.19
390	7.99
397	8.79
404	9.59
411	10.39
418	11.20

5.2 วิจัยณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองทั้งหมดพบว่าการนำไดโอดที่มีคุณสมบัติในการสวิตช์อย่างรวดเร็วมาใช้งานเหมือนเซ็นเซอร์ พบว่าไดโอดมีคุณสมบัติในการตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว เหมาะสำหรับการนำมาใช้งานเป็นเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลของอากาศภายในตัวอุปกรณ์ได้ แต่ยังมีข้อบกพร่องในด้านของความไวในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจจับอุณหภูมิ ซึ่งทำให้การวัดค่ามีความคลาดเคลื่อน จึงต้องทำการใช้งานในระบบปิดเพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้น

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำวิจัย

ผลจากการดำเนินการวิจัยทำให้ทราบว่า อุปกรณ์การแพทย์ในด้านการทำกายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วยนั้นมีไม่เพียงพอต่อความต้องการในปัจจุบัน เนื่องจากเครื่องมือดังกล่าวต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้มีราคาสูง การศึกษาค้นคว้านี้จะทำให้สามารถผลิตอุปกรณ์บริหารที่มีต้นทุนต่ำลง ทำให้สามารถเข้าถึงผู้ใช้ได้ง่ายขึ้น ซึ่งมีประโยชน์ต่อผู้ป่วยเป็นจำนวนมาก

5.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิจัย

จากการดำเนินการวิจัย พบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นเนื่องจากผู้ทำวิจัยยังขาดความรู้และประสบการณ์ในเรื่องที่ทำกรวิจัย จึงทำให้ใช้เวลาในการศึกษานาน นอกจากนี้ยังรวมถึง เครื่องมือที่ใช้ทดสอบไม่สามารถควบคุมให้มีอัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิที่สูงขึ้นที่คงที่ตลอดเวลาได้ ทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนจึงต้องใช้การประมาณค่าระหว่างการทดลอง ผลลัพธ์ไม่ถูกต้องตามการคำนวณทางทฤษฎี

5.5 แนวทางการพัฒนาแก้ไข

1. ทำการปรับปรุงวงจร Simple wind meter โดยการเลือกใช้วงจรขยายผลต่างด้านอุปกรณ์อื่นที่มีความแม่นยำสูงกว่าทรานซิสเตอร์
2. ทำการออกแบบวงจร Current shunt monitor ให้มีค่าความต้านทาน R_{shunt} ที่ต่ำลง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดให้มีความแม่นยำมากขึ้น
3. ทำการปรับปรุงระบบแสดงผลแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกให้มีการแสดงโดยไม่ต้องใช้มิเตอร์วัดเพื่อแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Raju Baddi (2012) "Simple diode serves as a sensor for a thermal probe" <http://www.edn.com/> Tata Institute of Fundamental Research, Pune, India.
- [2] Raju Baddi. (2013) "Use a heated diode as a flow sensor" <http://www.edn.com/> Tata Institute of Fundamental Research, Pune, India.
- [3] Pete Semig and Collin Wells. (2012) "A Current Sensing Tutorial--Part 1: Fundamentals" <http://www.eetimes.com/>
- [4] G.E. Tobey, Jerald G. Graeme, Huelsman, "Operational Amplifiers: Design and Applications", McGraw-Hill, 1971.
- [5] พจนานฎ สุวรรณมณี. พ.ศ.2554 "เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์เบื้องต้น" สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
- [6] สุจิตรา กล้ายหอมทอง, วิไลวรรณ กฤษณะพันธ์, เสกสรรค์ ชัยสุขสันต์, ชุติ โจนส์. (2011) "ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ฝึกลหายใจ "BreatheMAX®" เพื่อเพิ่มการระบายเสมหะจากท่อลมในผู้ป่วยที่พึ่งเครื่องช่วยหายใจ" วารสารเทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด 2011(ปีที่23 ฉบับที่1) 95 – 108
- [7.] สายแก้ว เจือจันทร์ , วิภา รีชัยพิชิตกุล, ชุติ โจนส์ (2011) "ผลการฝึกลำมเนื้อหายใจเข้าด้วยอุปกรณ์ฝึกลำมแบบใหม่ (BreatheMAX) เป็นเวลา 7 วัน ในผู้ป่วยที่พึ่งเครื่องช่วยหายใจ: การศึกษานำร่องของ randomized controlled trial" วารสารเทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด 2011(ปีที่23 ฉบับที่2) 165 – 176

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

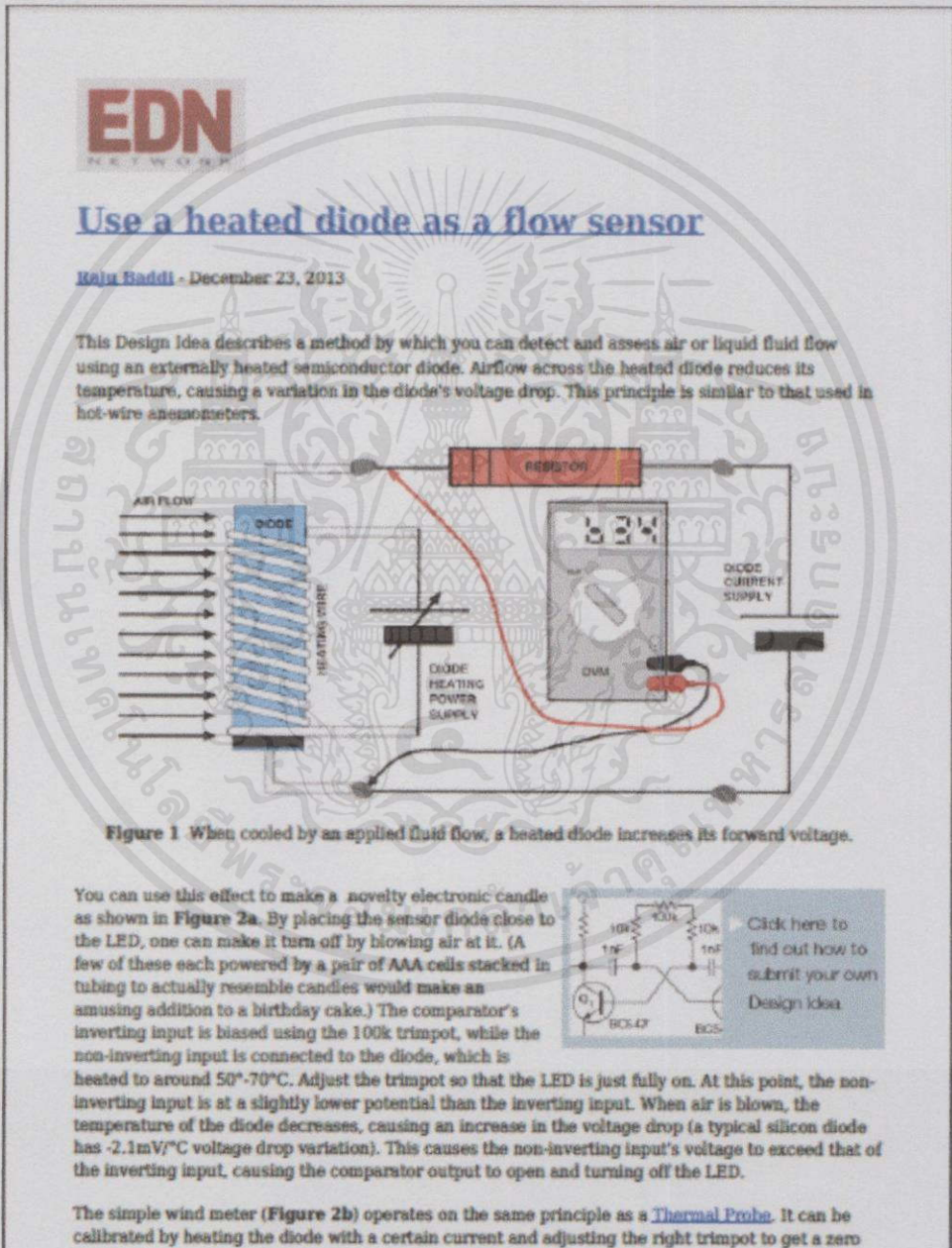


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

บทความการวิจัย

บทความการวิจัยเกี่ยวกับการใช้ไดโอดทำหน้าที่เสมือนเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลของอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

deflection in the meter at room temperature without any air flow. Air flow across the sensor diode then results in a voltage difference between the two ends of the meter causing it to deflect. The marked (*) 1N4148 diode should be exposed to the same air as the heated diode to compensate for air temperature variations.

Another possible application would be in a respiration meter where the inhaled air can cool the diode. One can also think of different methods of heating the diode so that the cool air comes in more contact with the diode surface and leads. Thin wire from a metal wire resistor is an easily available material for the diode-heater coil.

READ MORE
designideas

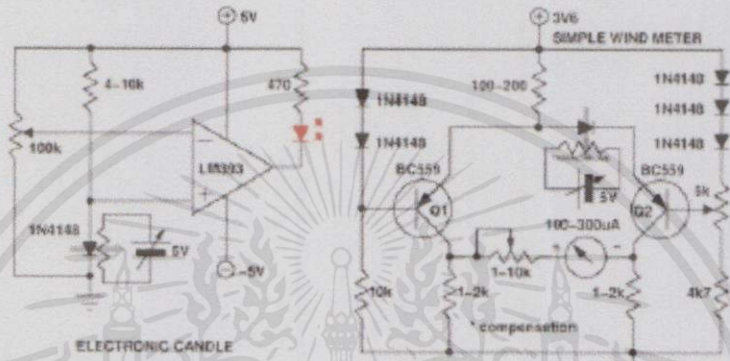


Figure 2 These circuits demonstrate applications using a diode as a temperature sensor: a) The electronic candle LED turns off when air is blown onto the 1N4148 diode. By using a resistor-trimpot combination, more precision adjustment is possible. Perhaps -5V for LM393 is not required; ground would do in this case. b) The wind meter works on the same principle as a hot-wire anemometer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

บทความทฤษฎีการวัดกระแสไฟฟ้า

A Current Sensing Tutorial--Part 1: Fundamentals

After reading this series of articles on current sensing, you will have a solid grasp of the fundamentals of current sensing, devices used for current sensing, how to calculate the accuracy of a solution, and guidelines for printed circuit board (PCB) layout and troubleshooting. This article discusses the fundamentals of current sensing, including direct versus indirect sensing, input common-mode voltage, high versus low-side sensing, directionality, and output requirements.

Why is current sensing important?

Knowing the amount of current being delivered to a load can be useful in a wide variety of applications. For example, in low-power consumer products the supply current can be monitored to understand the system's impact on battery life. The load current also can be used to make safety-critical decisions in over-current protection circuits. In motor control, knowing the magnitude and direction of the current can tell you the speed and direction of the motor. Finally, test fixtures can be developed that monitor all supply currents to gain an understanding of system subcomponent performance. Each of the aforementioned applications has different design requirements with respect to common-mode voltage, directionality, and accuracy.

Types of current sensing

There are two types of current sensing: direct and indirect. Indirect current sensing is based on Ampere's and Faraday's laws. By placing a coil (for instance Rogowski coil) around a current-carrying conductor, a voltage is induced across the coil that is proportional to the current. This allows for a non-invasive measurement where the sensing circuitry is not electrically connected to the monitored system. Since there is no direct connection between the sensing circuitry and the system, the system is inherently isolated. Indirect current sensing typically is used for load currents in the 100A-1000A

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

range. This type of sensing, however, requires relatively expensive sensors and is not conducive to sensing currents on a PCB.

Direct current sensing is based on Ohm's law. By placing a shunt resistor in series with the system load, a voltage is generated across the shunt resistor that is proportional to the system load current. The voltage across the shunt can be measured by differential amplifiers such as current shunt monitors (CSMs), operational amplifiers (op amps), difference amplifiers (DAs), or instrumentation amplifiers (IAs). This method is an invasive measurement of the current since the shunt resistor and sensing circuitry are electrically connected to the monitored system. Therefore, direct sensing typically is used when galvanic isolation is not required. The shunt resistor also dissipates power, which may not be desirable. Direct current sensing typically is implemented for load currents <100A. The remainder of this particular article series will focus on direct current sensing.

Input common-mode voltage

Input common-mode voltage is the most important specification when selecting a direct current sensing solution. It is defined as the average voltage present at the input terminals of the amplifier. Figure 1 depicts the definition of input common-mode voltage [1].

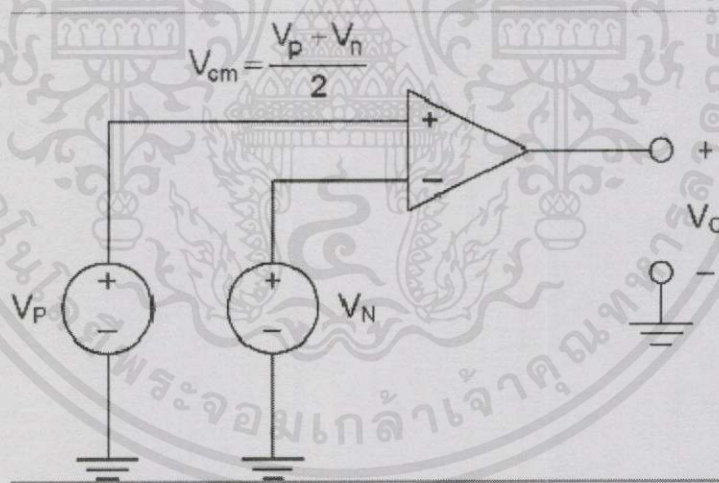


Figure 1: Definition of input common-mode voltage.

This specification is important because it limits our choice of differential amplifiers. For example, op amps and IAs require an input common-mode voltage within their power supplies. Difference amplifiers and CSMs, however, typically can accommodate input common-mode voltages in excess of their power supplies. This is useful in applications

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

where the amplifier senses the shunt voltage in the presence of a large common-mode voltage and must interface with a low-voltage analog-to-digital converter (ADC). In such a scenario the amplifier and ADC can be powered with the same supply voltage regardless of the system's common-mode voltage.

High-side versus low-side current sensing

When monitoring load current the designer can choose to place the sense resistor either between the supply voltage (V_{bus}) and load, or between the load and ground. The former is called high-side sensing whereas the latter is called low-side sensing.

Low-side sensing is desirable because the common-mode voltage is near ground, which allows for the use of single-supply, rail-to-rail input/output op amps. The drawbacks to low-side sensing are disturbances to the system load's ground potential and the inability to detect load shorts. Figure 2 depicts a typical low-side sensing scenario.

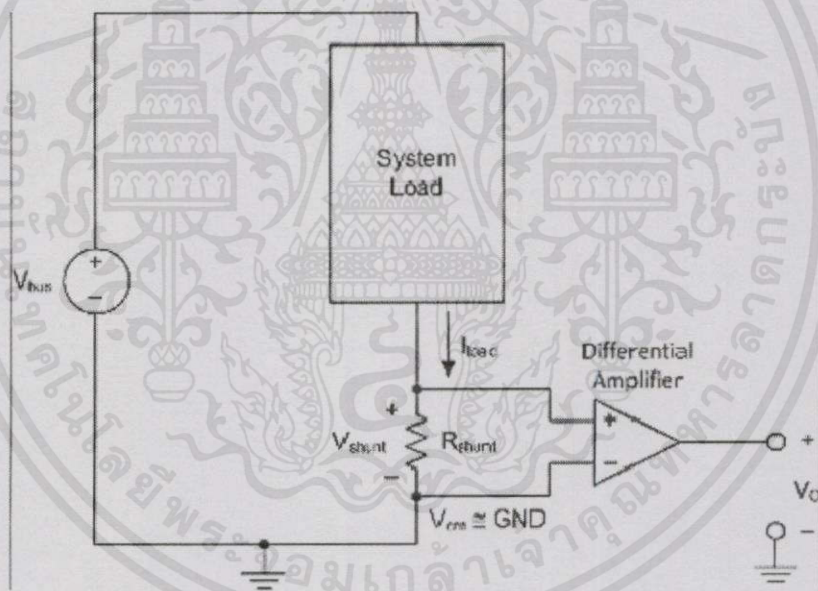


Figure 2: Low-side current sensing.

High-side sensing is desirable in that it directly monitors the current delivered by the supply, which allows for the detection of load shorts. The challenge is that the amplifier's input common-mode voltage range must include the load's supply voltage, or V_{bus} . This requirement frequently necessitates the use of DAs or dedicated CSMs, which allow for common-mode voltages outside their voltage supply range. Figure 3 depicts a typical high-side sensing scenario.

ไม่มีกรณใดทางอื่น อีกทางหนึ่ง เหตุค้ดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

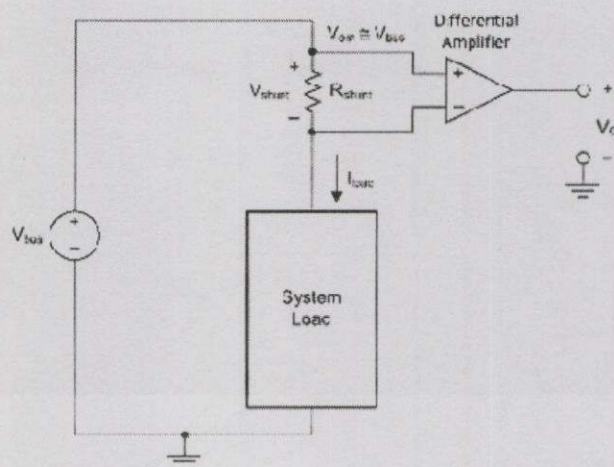


Figure 3: High-side current sensing.

Directionality

Depending on the application, the supply current may flow either in one direction (unidirectional) or both directions (bidirectional). Unidirectional designs are straightforward in that the output voltage of the amplifier does not need to distinguish direction. If a bidirectional design is required, however, how can the designer distinguish direction of current flow? Bidirectional solutions have an input for a reference, or pedestal voltage. The output of the device is then referenced to this known voltage. Output voltages above the known reference voltage are in one direction while output voltages below the known reference voltage are in the opposite direction. Figure 4 depicts the concept of current directionality.

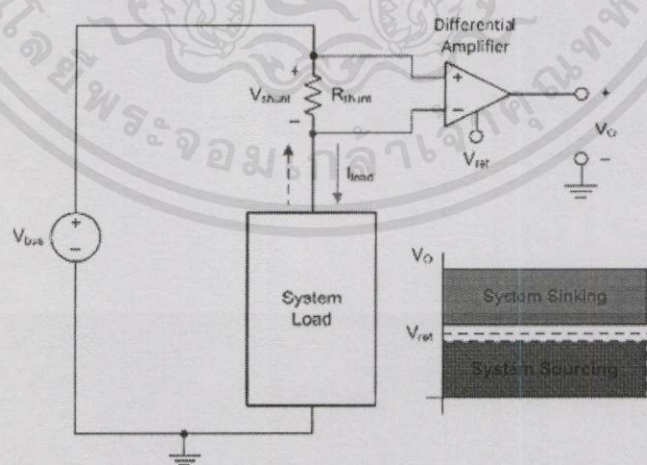


Figure 4: Directionality. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ... อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า... ไม่ว่าการฉีดยาทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output

The output of a current sensing solution can be in the form of a current, voltage, or digital word. Dedicated CSMs can have any of the aforementioned outputs while op amps, DAs, and IAs have a voltage output.

Current output CSMs typically require an external gain-setting resistor (R_L) as shown by the INA138/168 diagram in Figure 5. This allows for flexibility in choosing the gain of the device. Also, if the design requires driving a large capacitive load, a properly compensated external op amp can buffer the output of the CSM. However, since the gain of the device depends on the external resistor, the internal resistors must be trimmed to an absolute value, which can increase cost.

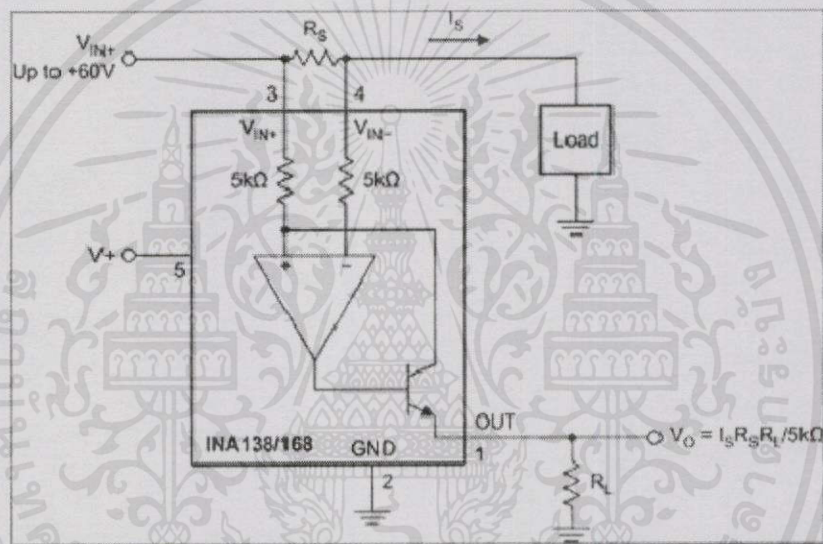


Figure 5: Current output CSM.

Voltage output CSMs integrate the gain-setting resistor and output buffer as shown by the INA193-8 diagram in Figure 6. This only requires ratio-metric trimming which is less costly than absolute trimming. The drawback is that the devices have predetermined gains (for instance 20V/V, 50V/V, 100V/V) and the designer does not have access to the feedback path of the buffer amplifier to compensate for large capacitive loads.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

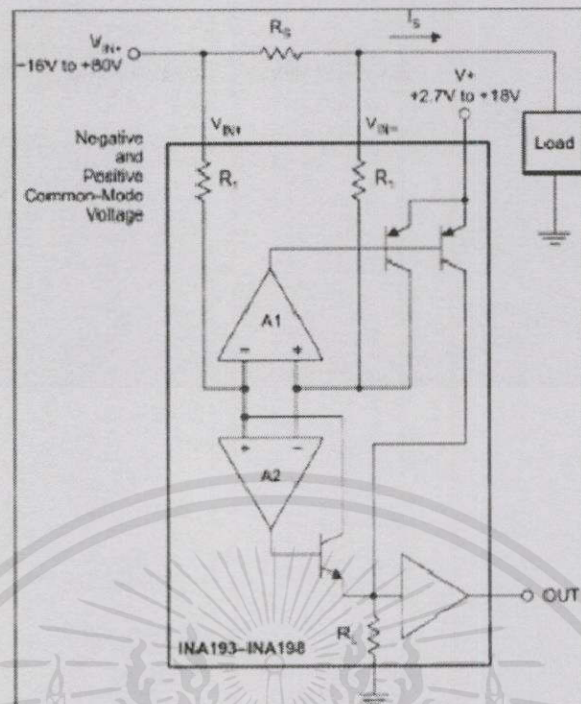


Figure 6: Voltage output CSM.

Digital output CSMs have integrated programmable-gain amplifiers (PGAs) and ADCs and report the shunt voltage as a digital word via a serial communication protocol such as I2C or SPI, as shown by the INA219 block diagram in Figure 7. While this can be highly desirable for ease-of-use, the full-scale differential input must be restricted to a range of values. Therefore, care must be taken when selecting the value of the shunt resistor.

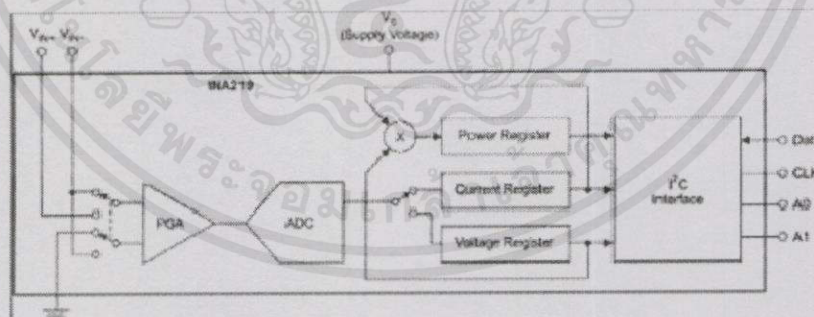


Figure 7: Digital output CSM.

After reading this series of articles on current sensing, you will have a solid grasp of the fundamentals of current sensing, devices that are used for current sensing, how to calculate the accuracy of a solution, and guidelines for printed circuit board (PCB) layout

and troubleshooting. This article introduces the four differential amplifiers that typically are used in direct current sensing solutions: operational amplifiers (op amps), difference amplifiers (DA), instrumentation amplifiers (IA), and current shunt monitors (CSM).

Operational amplifiers

The use of an op amp for current sensing is limited by input common-mode voltage. Due to the design of the input stage, input common-mode voltage of such a device is limited by the supply voltage (V_{oa}). Additionally, the large open-loop gain of a traditional op amp requires the device to have feedback, which limits its use to single-ended input signals. Such a configuration necessitates its use to only low-side current sensing. Figure 1 depicts the use of an op amp in a low-side current sensing configuration.

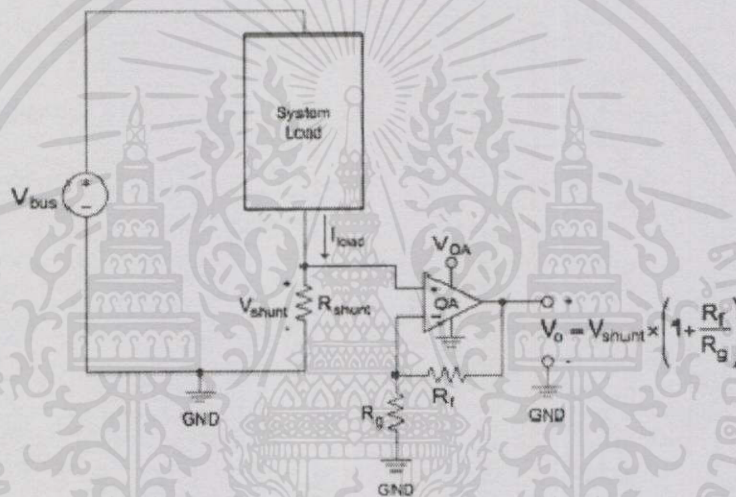


Figure 1: Low-side current sensing with an op amp.

Since the input common-mode voltage of the solution shown in Figure 1 is near ground, the op amp input common-mode range should include ground. It may also be desirable to select an op amp whose output is considered rail-to-rail. This yields the greatest range of load currents that can be accurately sensed. One drawback is any parasitic resistance between the shunt resistor and the ground trace adds to the shunt resistor value (see Figure 2).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

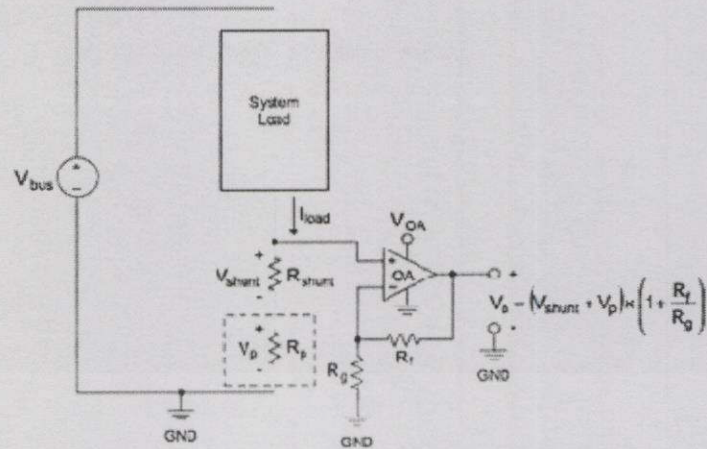


Figure 2. Effect of parasitic resistance to ground.

The voltage developed by a parasitic resistance in this location (for example, PCB trace, solder joint) will ‘pedestal’ the shunt voltage, thereby introducing error. This parasitic resistance may vary greatly in production. For greater accuracy and consistency, a differential measurement across the shunt resistor is required.

Difference amplifiers

A traditional DA is simply an op amp with a precision trimmed resistor network as shown in Figure 3. The resistors are typically trimmed during manufacturing so that $R_2/R_1 = R_4/R_3$. The differential gain (A_{dm}) of the device is therefore R_2/R_1 . The reference voltage (V_{ref}) is added to the output voltage (V_o).

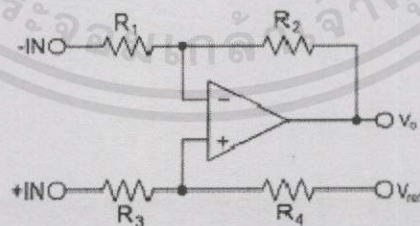


Figure 3: Difference amplifier.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

With respect to current sensing, a DA can have input common-mode voltages outside of the supply voltages due to the resistive divider at the inputs, as shown in Figure 4. This allows one to use a DA for high-side current sensing. However, a DA places a load on the system bus voltage due to its finite common-mode and differential-mode input impedances. This load draws current from the system bus voltage, which introduces uncertainty in the measurement. In order to reduce the measurement error due to these input impedances, they should be significantly larger than the system load impedance.

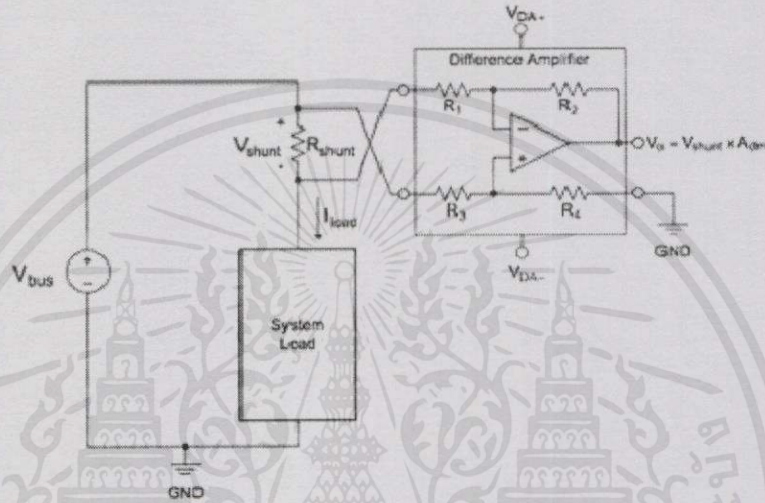


Figure 4: High-side sensing with a DA.

Since the common-mode voltage of a low-side current sensing solution is near 0V, a DA can be used as shown in Figure 5. This minimizes the effect of the common-mode input impedance, but the differential-mode input impedance is still a factor. The use of a DA for low-side measurements negates the issue caused by parasitic resistance to ground in series with the shunt resistance that was discussed in the op amp section. Finally, DAs have fixed differential gains because the resistor network must be trimmed to maintain good common-mode rejection ratio. Some DAs have an on-chip non-inverting amplifier whose gain can be adjusted. If other gains are required it is advisable to either select such a device or add gain to the output of the DA with an external op amp circuit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

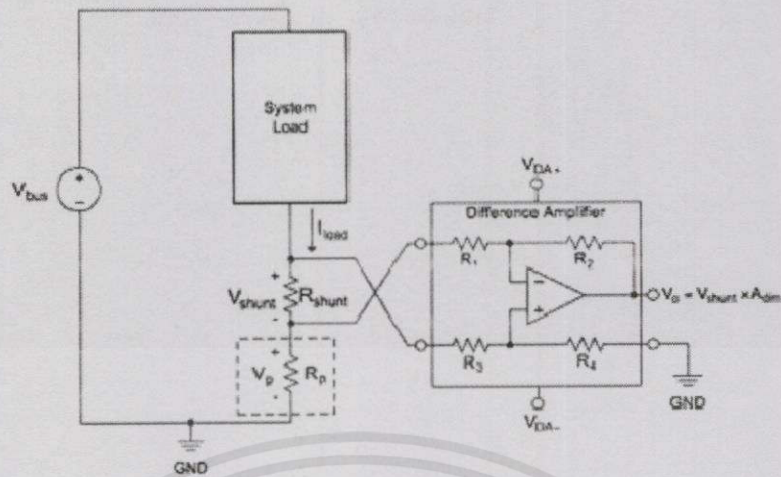


Figure 5: Low-side sensing with a DA.

In summary, a DA can be utilized for either high-side or low-side sensing. When used for high-side sensing, error can be introduced by the finite common-mode and differential-mode input impedances. When used for low-side sensing, a DA can negate the issue caused by any parasitic resistance to ground that is in series with the shunt resistance.

Instrumentation Amplifiers

Instrumentation amplifiers are typically composed of a DA output stage with buffered inputs as shown in Figure 6.

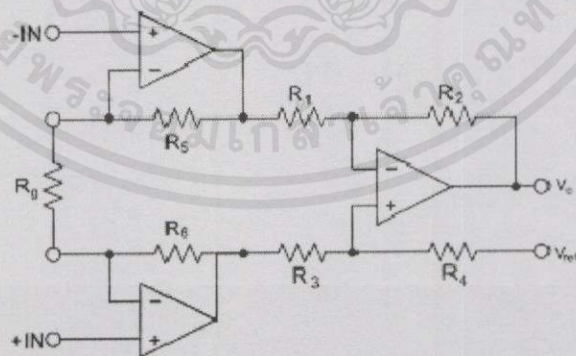
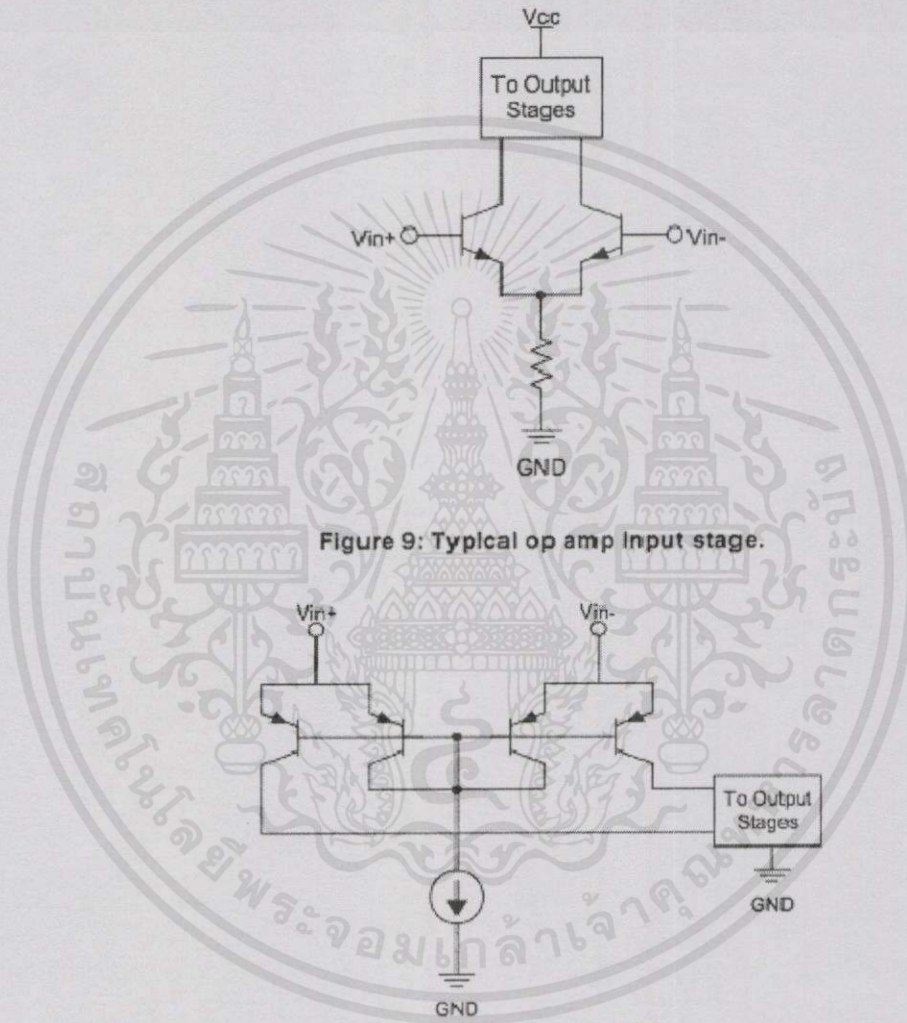


Figure 6: Instrumentation amplifier.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current shunt monitors

Current shunt monitors are devices that place little load on a system and allow for sensing current under high common-mode voltage conditions. This ability is gained through the design of unique input stages. A typical op amp common-emitter input stage is depicted in Figure 9, while a common-base input stage of a CSM is depicted in Figure 10.



To illustrate this benefit, let's look at an example where we compare a DA and a CSM for a high-side measurement ($V_{cm}=70V$).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

องค์ประกอบของวงจร

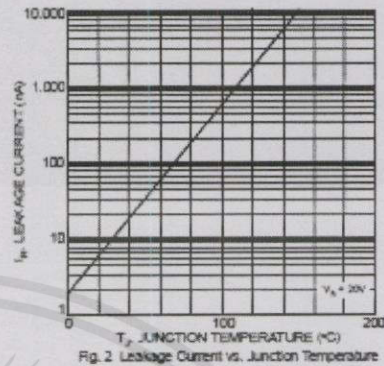
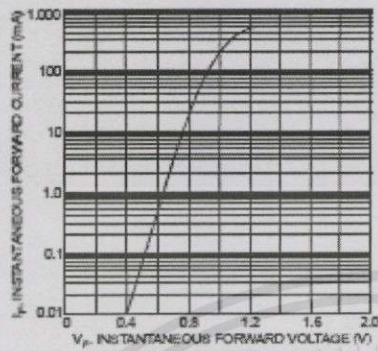
ไดโอดเบอร์ 1N4148

DIODES INCORPORATED		1N4148 / 1N4448			
Features		Mechanical Data			
<ul style="list-style-type: none"> Fast Switching Speed General Purpose Rectification Silicon Epitaxial Planar Construction Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 2) 		<ul style="list-style-type: none"> Case: DO-35 Case Material: Glass Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020D Leads: Solderable per MIL-STD-202, Method 208 Terminals: Finish — Sn65 SAg3 5; Solderable per MIL-STD-202, Method 208 Polarity: Cathode Band Marking: Type Number Ordering Information: See Page 2 Weight: 0.13 grams (approximate) 			
FAST SWITCHING DIODE Please click here to visit our online spice models database.					
Maximum Ratings @T _A = 25°C unless otherwise specified					
Characteristic	Symbol	1N4148	1N4448	Unit	
Non-Repetitive Peak Reverse Voltage	V _{WR}	100		V	
Peak Repetitive Reverse Voltage	V _{RRM}			V	
Working Peak Reverse Voltage	V _{WM}	75		V	
DC Blocking Voltage	V _B			V	
RMS Reverse Voltage	V _{RRMS}	53		V	
Forward Continuous Current (Note 1)	I _F	300	500	mA	
Average Rectified Output Current (Note 1)	I _O		150	mA	
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current	I _{FSM}			A	
	(t _F = 10µs)		1.0		
	(t _F = 1.0µs)		2.0		
Thermal Characteristics					
Characteristic	Symbol	Value	Unit		
Power Dissipation (Note 1)	P _D	500	mW		
Derate Above 25°C		1.68	mW/°C		
Thermal Resistance, Junction to Ambient Air (Note 1)	R _{θJA}	300	°C/W		
Operating and Storage Temperature Range	T _J , T _{stg}	-55 to +175	°C		
Electrical Characteristics @T _A = 25°C unless otherwise specified					
Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	Test Condition
Maximum Forward Voltage	V _{FM}	—	1.0	V	I _F = 10mA
		0.62	0.72		I _F = 5.0mA
Maximum Peak Reverse Current	I _{RM}	—	1.0	µA	V _R = 75V
		—	5.0		V _R = 70V, T _J = 150°C
		—	30		V _R = 20V, T _J = 150°C
Total Capacitance	C _T	—	4.0	pF	V _B = 0, f = 1.0MHz
		—	4.0		I _F = 10mA to I _F = 1.0mA
Reverse Recovery Time	t _r	—	4.0	ns	V _R = 5.0V, R _L = 100Ω
Notes: 1. Valid provided that device terminals are kept at ambient temperature. 2. E.C. Directive 2002/95/EC (RoHS) revision 13.2.2003. Glass and high temperature solder assemblies applied where applicable. see EU Directive Annex Notes 5 and 7.					
1N4148 / 1N4448		1 of 2		March 2008	
Document number: DS12019 Rev. 7-2		www.diodes.com		© Diodes Incorporated	

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทเอกชน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการ
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIODES
INCORPORATED

1N4148 / 1N4448

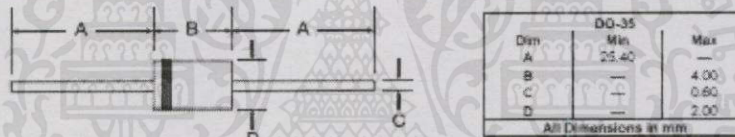


Ordering Information (Note 3)

Part Number	Case	Packaging
1N4148-A	DO-35	10K/Ammono Pack
1N4148-T	DO-35	10K/Tape & Reel, 13-inch
1N4448-A	DO-35	10K/Ammono Pack
1N4448-T	DO-35	10K/Tape & Reel, 13-inch

Note: 3. For packaging details, go to our website at <http://www.diodes.com/datasheets/dsp02007.pdf>

Package Outline Dimensions



IMPORTANT NOTICE

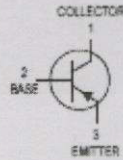
Diodes Incorporated and its subsidiaries reserves the right to make modifications, enhancements, improvements, corrections or other changes without further notice to any product herein. Diodes Incorporated does not assume any liability arising out of the application or use of any product described herein; neither does it convey any license under its patent rights, nor the rights of others. The user of products in such applications shall assume all risks of such use and will agree to hold Diodes Incorporated and all the companies whose products are represented on our website, harmless against all damages.

LIFE SUPPORT

Diodes Incorporated products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without the expressed written approval of the President of Diodes Incorporated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC 559

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATAOrder this document
by BC559C**Low Noise Transistors**
PNP Silicon**BC559, B, C**
BC560CCASE 29-04, STYLE 17
TO-18 (TO-226AA)**MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	BC559	BC560	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	-30	-45	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB0}	-30	-50	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB0}	-5.0		Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	-100		mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	PD	825	5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	PD	1.5	12	Watt mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150		°C

THERMAL CHARACTERISTICS

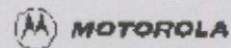
Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = -10\text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	BC559 BC560	$V_{(BR)CEC}$	-30 -45	—	Vdc
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = -10\text{ }\mu\text{A}$, $I_E = 0$)	BC559 BC560	$V_{(BR)CB0}$	-30 -50	—	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = -10\text{ }\mu\text{A}$, $I_C = 0$)		$V_{(BR)EB0}$	-5.0	—	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = -30\text{ Vdc}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = -30\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $T_A = +125^\circ\text{C}$)		I_{CB0}	—	-15 -5.0	nA μA
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = -4.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)		I_{EB0}	—	-15	nA

REV 1

© Motorola, Inc. 1986



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BC559, B, C BC560C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (TA = 25°C unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ON CHARACTERISTICS					
DC Current Gain (IC = -10 μ Adc, VCE = -5.0 Vdc) BC559B BC559C/560C	h_{FE}	100	150	—	—
(IC = -2.0 mAdc, VCE = -5.0 Vdc) BC559B BC559C/560C BC559		100 180 380 120	270 250 500 —	— 460 800 800	
Collector-Emitter Saturation Voltage (IC = -10 mAdc, IB = -0.5 mAdc) (IC = -10 mAdc, IB = see note 1) (IC = -100 mAdc, IB = -5.0 mAdc, see note 2)	VCE(sat)	—	-0.075 -0.3 -0.25	-0.26 -0.6 —	Vdc
Base-Emitter Saturation Voltage (IC = -100 mAdc, IB = -5.0 mAdc)	VBE(sat)	—	-1.1	—	Vdc
Base-Emitter On Voltage (IC = -10 μ Adc, VCE = -5.0 Vdc) (IC = -100 μ Adc, VCE = -5.0 Vdc) (IC = -2.0 mAdc, VCE = -5.0 Vdc)	VBE(on)	—	-0.52 -0.55 -0.62	—	Vdc
SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS					
Current-Gain — Bandwidth Product (IC = -10 mAdc, VCE = -5.0 Vdc, f = 100 MHz)	f _T	—	250	—	MHz
Collector-Base Capacitance (VCE = -10 Vdc, IE = 0, f = 1.0 MHz)	C _{cb0}	—	2.5	—	pF
Small-Signal Current Gain (IC = -2.0 mAdc, VCE = -5.0 V, f = 1.0 kHz) BC559B BC559C/BC560C	h_{fe}	240 400	330 600	500 900	—
Noise Figure (IC = -200 μ Adc, VCE = -5.0 Vdc, R _S = 2.0 k Ω , f = 1.0 kHz) (IC = -200 μ Adc, VCE = -5.0 Vdc, R _S = 100 k Ω , f = 1.0 kHz, M = 200 kHz)	NF ₁ NF ₂	— —	0.5 —	2.0 10	dB

NOTES:

- IB is value for which IC = -11 mA at VCE = -1.0 V.
- Pulse test = 300 μ s — Duty cycle = 2%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BC559, B, C BC560C

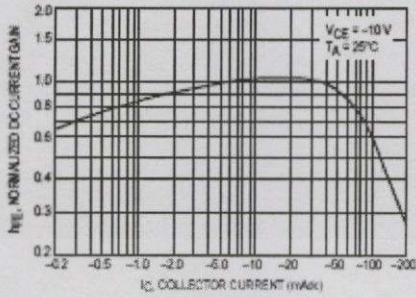


Figure 1. Normalized DC Current Gain

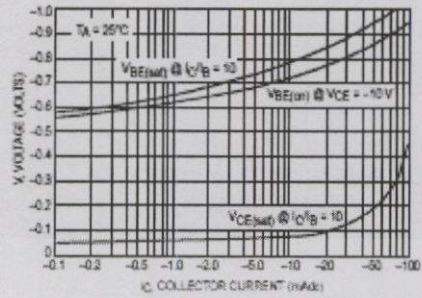


Figure 2. "Saturation" and "On" Voltages

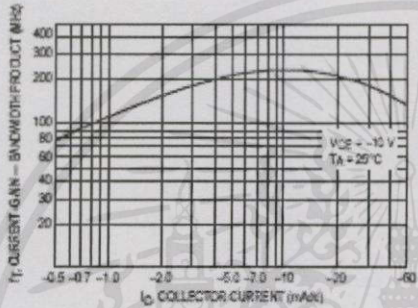


Figure 3. Current-Gain — Bandwidth Product

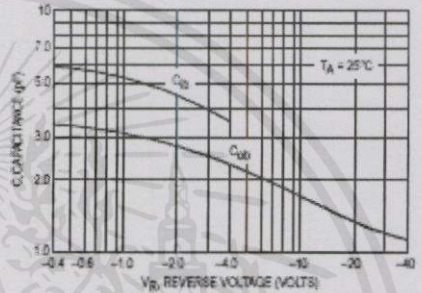


Figure 4. Capacitance

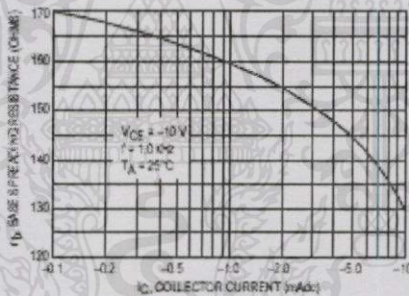


Figure 5. Base Spreading Resistance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Burr-Brown Products
from Texas Instruments



INA128
INA129

58000518 - OCTOBER 1995 - REVISED FEBRUARY 2005

Precision, Low Power INSTRUMENTATION AMPLIFIERS

FEATURES

- LOW OFFSET VOLTAGE: 50 μ V max
- LOW DRIFT: 0.5 μ V/ $^{\circ}$ C max
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 5nA max
- HIGH CMR: 120dB min
- INPUTS PROTECTED TO \pm 40V
- WIDE SUPPLY RANGE: \pm 2.25V to \pm 18V
- LOW QUIESCENT CURRENT: 700 μ A
- 8-PIN PLASTIC DIP, SO-8

APPLICATIONS

- BRIDGE AMPLIFIER
- THERMOCOUPLE AMPLIFIER
- RTD SENSOR AMPLIFIER
- MEDICAL INSTRUMENTATION
- DATA ACQUISITION

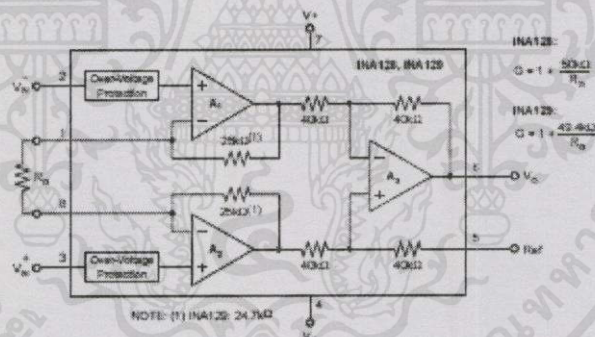
DESCRIPTION

The INA128 and INA129 are low power, general purpose instrumentation amplifiers offering excellent accuracy. The versatile 3-op amp design and small size make them ideal for a wide range of applications. Current-feedback input circuitry provides wide bandwidth even at high gain (200kHz at $G = 100$).

A single external resistor sets any gain from 1 to 10,000. The INA128 provides an industry-standard gain equation; the INA129 gain equation is compatible with the AD520.

The INA128/INA129 is laser trimmed for very low offset voltage (50 μ V), drift (0.5 μ V/ $^{\circ}$ C) and high common-mode rejection (120dB at $G \geq 100$). It operates with power supplies as low as \pm 2.25V, and quiescent current is only 700 μ A—ideal for battery-operated systems. Internal input protection can withstand up to \pm 40V without damage.

The INA128/INA129 is available in 8-pin plastic DIP and SO-8 surface-mount packages, specified for the -40° C to $+85^{\circ}$ C temperature range. The INA128 is also available in a dual configuration, the INA2128.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA: This data sheet is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

TEXAS
INSTRUMENTS
www.ti.com

Copyright © 1995–2005, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**INA128
INA129**



SBOG651H – OCTOBER 1995 – REVISED FEBRUARY 2005

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

Supply Voltage	±18V
Analog Input Voltage Range	±40V
Output Short-Circuit (to ground)	Continuous
Operating Temperature	-40°C to +125°C
Storage Temperature Range	-55°C to +125°C
Junction Temperature	+150°C
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C

⁽¹⁾ Stresses above these ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may degrade device reliability. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those specified is not implied.

ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY



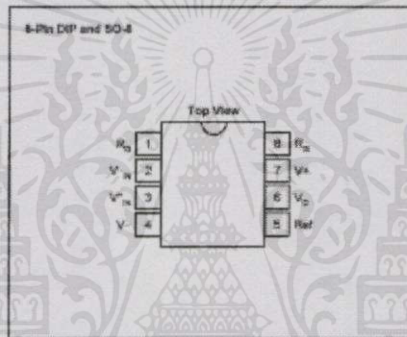
This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

ORDERING INFORMATION

For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum located at the end of this data sheet.

PIN CONFIGURATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICSAt $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = \pm 15\text{V}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA128P, U INA129P, U			INA128PA, UA INA129PA, UA			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
INPUT								
Offset Voltage, R_{TH}								
Initial	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 10 \pm 100\mu\text{V}$	$\pm 50 \pm 500\mu\text{V}$		$\pm 25 \pm 100\mu\text{V}$	$\pm 125 \pm 1000\mu\text{V}$		μV
vs Temperature	$T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX}	$\pm 0.2 \pm 0\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	$\pm 0.5 \pm 0\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		$\pm 0.2 \pm 0\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	$\pm 1 \pm 0\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
vs Power Supply	$V_{DD} = \pm 2.25\text{V}$ to $\pm 15\text{V}$	$\pm 0.2 \pm 0\mu\text{V}$	$\pm 1 \pm 0\mu\text{V}$		*	$\pm 2 \pm 0\mu\text{V}$		$\mu\text{V/V}$
Long-Term Stability		$\pm 0.1 \pm 0\mu\text{V}$			*			$\mu\text{V}/\text{mo}$
Impedance, Differential		$10^{10} \parallel 2$			*			$\Omega \parallel \text{pF}$
Common-Mode		$10^{11} \parallel 9$			*			$\Omega \parallel \text{pF}$
Common-Mode Voltage Range ⁽¹⁾	$V_{DD} = 0\text{V}$	(V^-) - 2	(V^-) + 1.4		*	*		V
Safe Input Voltage		(V^-) + 2	(V^-) + 1.7		*	*		V
Common-Mode Rejection	$V_{DD} = \pm 15\text{V}$, $A/R_G = 1\text{k}\Omega$			≥ 40		*		dB
	$G = 1$	90	95		70	*		dB
	$G = 10$	100	105		80	*		dB
	$G = 100$	120	125		110	*		dB
	$G = 1000$	120	130		110	*		dB
BIAS CURRENT								
vs Temperature				± 2	*	± 10		nA
Offset Current				± 30	*			pA/^\circ\text{C}
vs Temperature				± 1	*	± 10		nA
				± 30	*			pA/^\circ\text{C}
NOISE VOLTAGE, R_{TH}	$G = 1000$, $R_G = 0\Omega$							
$f = 10\text{Hz}$				10	*			nV/^\circ\text{C}
$f = 100\text{Hz}$				6	*			nV/^\circ\text{C}
$f = 1\text{kHz}$				4	*			nV/^\circ\text{C}
$f_0 = 0.1\text{Hz}$ to 10Hz				0.2	*			$\mu\text{V}/\text{pp}$
Noise Current				0.5	*			pA/^\circ\text{C}
$f = 10\text{Hz}$				0.3	*			pA/^\circ\text{C}
$f_0 = 0.1\text{Hz}$ to 10Hz				30	*			pA/^\circ\text{C}
GAIN								
Gain Equation, INA128 INA129				$1 + (2R_1/R_2)$ $1 + (4R_1/R_2)$	*	*		V/V
Range of Gain				1		10000	*	V/V
Gain Error	$G = 1$			± 0.07		± 0.04	*	%
	$G = 10$			± 0.05		± 0.4	*	%
	$G = 100$			± 0.05		± 0.5	*	%
	$G = 1000$			± 0.5		± 1	*	%
Gain vs Temperature ⁽²⁾	$G = 1$			± 5	*	± 10	*	ppm/^\circ\text{C}
50k Ω (or 40.4k Ω) Resistance ⁽³⁾				± 25	*	± 100	*	ppm/^\circ\text{C}
Nonlinearity	$V_{DD} = \pm 15\text{V}$, $G = 1$			± 0.0001	*	± 0.001	*	% of FS \times
	$G = 10$			± 0.0003	*	± 0.002	*	% of FS \times
	$G = 100$			± 0.0005	*	± 0.002	*	% of FS \times
	$G = 1000$			± 0.001	*	± 0.004	*	% of FS \times

NOTE: * Specification is same as INA128P, U, or INA129P, U.

(1) Input common-mode range varies with output voltage — see typical curves.

(2) Specified by wiper test.

(3) Temperature coefficient of the 50k Ω (or 40.4k Ω) term in the gain equation.(4) Nonlinearity measurements in $G = 1000$ are dominated by noise. Typical nonlinearity is $\pm 0.001\%$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INA128
INA129


SBOS051B – OCTOBER 1995 – REVISED FEBRUARY 2005

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

 At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = \pm 15\text{V}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA128P, U INA129P, U			INA128PA, UA INA129PA, UA			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
OUTPUT								
Voltage, Positive	$R_L = 10\text{k}\Omega$	(V ⁺) + 1.4	(V ⁺) + 0.9		*	*		V
Voltage, Negative	$R_L = 10\text{k}\Omega$	(V ⁻) + 1.4	(V ⁻) + 0.8		*	*		V
Load Capacitance Stability			1000		*	*		pF
Short-Circuit Current			+9/-15		*	*		mA
FREQUENCY RESPONSE								
Bandwidth, -3dB	G = 1		1.3		*	*		MHz
	G = 10		700		*	*		kHz
	G = 100		200		*	*		kHz
	G = 1000		20		*	*		kHz
Slew Rate	$V_{O} = \pm 10\text{V}$, G = 10		4		*	*		V/μs
Settling Time, 0.01%	G = 1		7		*	*		μs
	G = 10		7		*	*		μs
	G = 100		9		*	*		μs
	G = 1000		100		*	*		μs
Overload Recovery	50% Overdrive		4		*	*		μs
POWER SUPPLY								
Voltage Range		±2.25	±15	±18	*	*	*	V
Current, I _Q (I)	$V_{DD} = 0\text{V}$		1.700	1.750	*	*	*	μA
TEMPERATURE RANGE								
Specification		-40		+85	*	*	*	°C
Operating		-40		+125	*	*	*	°C
•JA	5-pin DIP		80		*	*	*	°C/W
	SO-8/SOIC		150		*	*	*	°C/W

NOTE: * Specification is same as INA128P, U, or INA129P, U.

(1) Input common-mode range varies with output voltage — see typical curves.

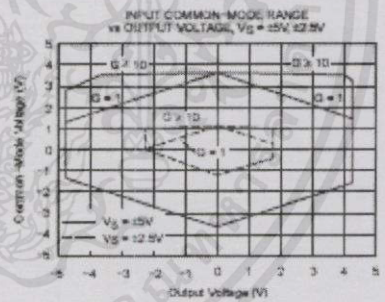
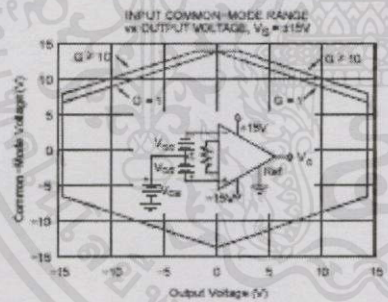
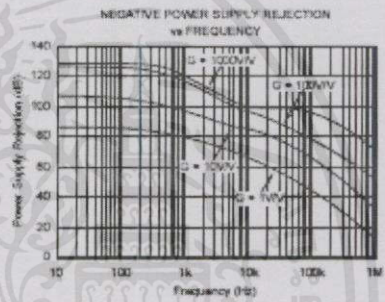
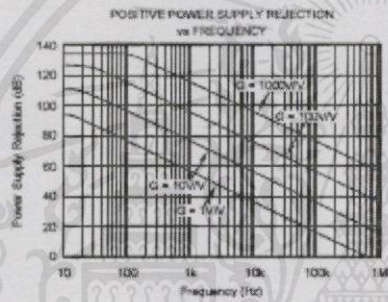
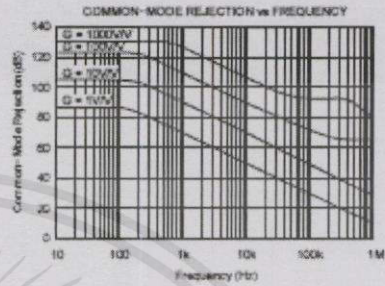
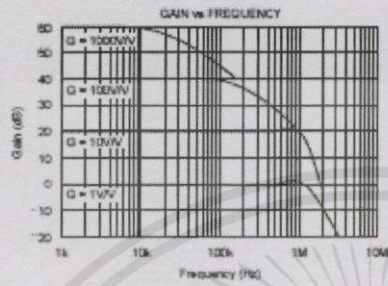
(2) Specified by water test.

(3) Temperature coefficient of the ROLDO (or AOL) term in the gain equation.

 (4) Nonlinearity measurements in G = 1000 are dominated by noise. Typical nonlinearity is $\pm 0.001\%$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

 At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_D = \pm 15\text{V}$, unless otherwise noted.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION

Figure 1 shows the basic connections required for operation of the INA128/INA129. Applications with noisy or high impedance power supplies may require decoupling capacitors close to the device pins as shown.

The output is referred to the output reference (Ref) terminal which is normally grounded. This must be a low-impedance connection to assure good common-mode rejection. A resistance of 5Ω in series with the Ref pin will cause a typical device to degrade to approximately 80dB CMR (G = 1).

resistors are laser trimmed to accurate absolute values. The accuracy and temperature coefficient of these internal resistors are included in the gain accuracy and drift specifications of the INA128/INA129.

The stability and temperature drift of the external gain setting resistor, R_G, also affects gain. R_G's contribution to gain accuracy and drift can be directly inferred from the gain equation (1). Low resistor values required for high gain can make wiring resistance important. Sockets add to the wiring resistance which will contribute additional gain error (possibly an unstable gain error) in gains of approximately 100 or greater.

SETTING THE GAIN

Gain is set by connecting a single external resistor, R_G, connected between pins 1 and 8:

INA128:
$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G} \quad (1)$$

INA129:
$$G = 1 + \frac{49.4k\Omega}{R_G} \quad (2)$$

Commonly used gains and resistor values are shown in Figure 1.

The 50kΩ term in Equation 1 (49.4kΩ in Equation 2) comes from the sum of the two internal feedback resistors of A₁ and A₂. These on-chip metal film

DYNAMIC PERFORMANCE

The typical performance curve Gain vs Frequency shows that, despite its low quiescent current, the INA128/INA129 achieves wide bandwidth, even at high gain. This is due to the current-feedback topology of the input stage circuitry. Settling time also remains excellent at high gain.

NOISE PERFORMANCE

The INA128/INA129 provides very low noise in most applications. Low frequency noise is approximately 0.2μV_{rms} measured from 0.1 to 10Hz (G ≥ 100). This provides dramatically improved noise when compared to state-of-the-art chopper-stabilized amplifiers.

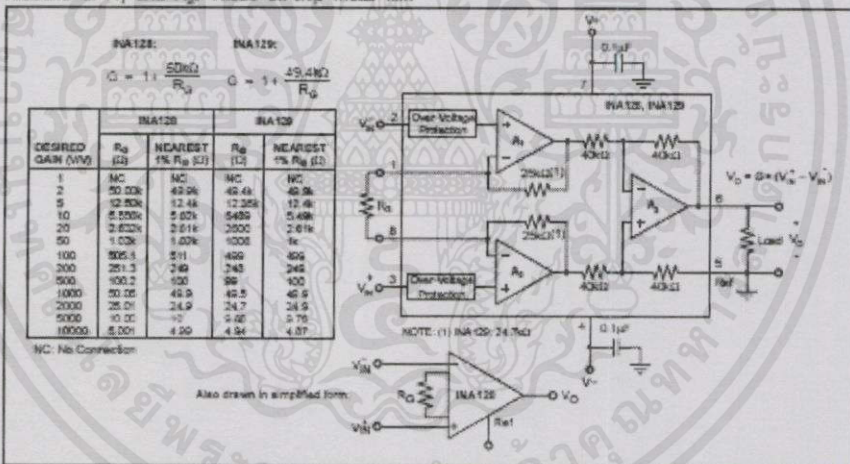


Figure 1. Basic Connections

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้