

การศึกษาการวัดความถี่จำเพาะของของเหลวโดยใช้เทคนิคทางแสง



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เลขหน้.....
เลขทะเบียน 36706
วัน, เดือน, ปี 23 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**The study of the measurement of the relative density of fluids by means
of an optical technique**



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang


1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการวัดความถ่วงจำเพาะของของเหลวโดยใช้เทคนิคทางแสง
The study of the measurement of the relative density of fluids by means
of an optical technique

โดย นายองอาจ ชัยศฤงคารสกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(รศ.สุรพล รักรวิชัย)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

(ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี)

ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน)

กรรมการ

(ผศ.อนุพงษ์ สรวงประภา)

กรรมการ

(อ.วิษณุ เพชรภา)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการวัดความถ่วงจำเพาะของของเหลวโดยใช้เทคนิคทางแสง The study of the measurement of the relative density of fluids by means of an optical technique
โดย	นายองอาจ รัชศฤงการสกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.รัชภักย์ จิตต์อารี
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2541

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษานำเส้นใยนำแสงมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการวัดความถ่วงจำเพาะของของเหลว โดยใช้หลักการสูญเสียของสัญญาณแสงในเส้นใยนำแสงซึ่งเกิดจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง และการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่อยู่รอบแกนของเส้นใยนำแสง ซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของความถ่วงจำเพาะของของเหลว ทำให้สามารถวัดความถ่วงจำเพาะของของเหลวโดยใช้เทคนิคทางแสงได้

Special Project Title The study of the measurement of the relative density of fluids by means of an optical technique

Name Ongart Thatsaringkansakul

Special Project Adviser Dr.Ratchaphak Chitaree

Department Applied Physics

Academic Year 1998

Abstract

This study shows the possibility of using plastic optical fiber for measuring specific gravity of fluid. The technique implemented relies on optical power loss by the bending of fiber optic and the variation of index of refraction of surrounding medium which relate to the value of the fluid specific gravity under test. This therefore allows the determination of the specific gravity of fluid by means of a simple optical technique.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านดังนี้
 บิดา มารดา ผู้อบรม สั่งสอนและให้การสนับสนุนการศึกษาด้วยดีตลอดมา
 ดร.รัชภักย์ จิตต์อารี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ผู้ให้คำปรึกษา และคำแนะนำในการ
 ดำเนินงาน โครงการพิเศษนี้

เพื่อนๆ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด จนโครงการพิเศษ
 นี้สำเร็จลุล่วง

ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 ขอบเขตการดำเนินงาน	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	2
2.1 ทฤษฎีทางฟิสิกส์	2
2.1.1 หลักการทรงแสดงเบื้องต้น	2
2.1.2 เส้นใยนำแสง	3
2.1.3 ความหนาแน่นของสารและความถี่ของแสง	5
2.1.4 หลักการของออปติคัล	6
2.1.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแบบจำลองแม่เหล็กควอนตัม	9
2.1.6 การหาค่าดัชนีหักเหของตัวกลางแบบไฮโดรเจน	10
2.2 ทฤษฎีทางอิเล็กทรอนิกส์	13
2.2.1 ออปแอมป์	13
2.2.2 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	15
2.2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C2051	16
2.2.4 อุปกรณ์กำเนิดแสง	17
2.2.5 อุปกรณ์ตรวจจับแสง	17
บทที่ 3 อุปกรณ์	19
3.1 ไฮโดรเจน	19
3.2 ซีเลเนียมไดออกไซด์	20

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 โพลาริเซชัน	21
3.4 คิวบิกเฟส	22
3.5 การออกแบบควอเตอร์	23
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	25
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญชตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความหนาแน่นของสารบางชนิดที่อุณหภูมิ 0 °C ความดัน 1 บรรยากาศ	5
ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความถ่วงจำเพาะกับประจุสะสม ในแบตเตอรี่	10
ตารางที่ 2.3 แสดงวัสดุที่นำมาทำ LED และความยาวคลื่นที่เกิดขึ้น	17
ตารางที่ 2.4 แสดงการตอบสนองของพิน ไฟ โตะ โตะ	18
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและค่าลู่ที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเห ของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.23 ทดลองที่มุมตกกระทบ 60 องศา	29
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและค่าลู่ที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเห ของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.23 ทดลองที่มุมตกกระทบ 65 องศา	29
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและค่าลู่ที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเห ของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.23 ทดลองที่มุมตกกระทบ 70 องศา	30
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและค่าลู่ที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเห ของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.21 ทดลองที่มุมตกกระทบ 60 องศา	30
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและค่าลู่ที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเห ของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.21 ทดลองที่มุมตกกระทบ 65 องศา	30
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและค่าลู่ที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเห ของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.21 ทดลองที่มุมตกกระทบ 70 องศา	31
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและค่าลู่ที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเห ของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.20 ทดลองที่มุมตกกระทบ 60 องศา	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเห ของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่วงจําเพาะ 1.20 ทดลองที่มุมตกกระทบ 65 องศา	31
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเห ของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่วงจําเพาะ 1.20 ทดลองที่มุมตกกระทบ 70 องศา	32
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเห ของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่วงจําเพาะ 1.19 ทดลองที่มุมตกกระทบ 60 องศา	32
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเห ของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่วงจําเพาะ 1.19 ทดลองที่มุมตกกระทบ 65 องศา	32
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเห ของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่วงจําเพาะ 1.19 ทดลองที่มุมตกกระทบ 70 องศา	33
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเห ของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่วงจําเพาะ 1.17 ทดลองที่มุมตกกระทบ 60 องศา	33
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเห ของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่วงจําเพาะ 1.17 ทดลองที่มุมตกกระทบ 65 องศา	33
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเห ของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่วงจําเพาะ 1.17 ทดลองที่มุมตกกระทบ 70 องศา	34
ตารางที่ 4.16 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่วงจําเพาะ 1.23 ทดลองที่มุมตกกระทบ 60 องศา	35
ตารางที่ 4.17 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่วงจําเพาะ 1.23 ทดลองที่มุมตกกระทบ 65 องศา	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการหักเหของแสง	3
รูปที่ 2.2 แสดงวัตถุทรงกระบอกจมอยู่ในของเหลว	6
รูปที่ 2.3 แสดงไฮโดรมิเตอร์	8
รูปที่ 2.4 แสดงทางเดินของแสงผ่านตัวกลาง 2 ตัวกลาง	10
รูปที่ 2.5 แสดงสัญลักษณ์ของออปแอมป์	13
รูปที่ 2.6 แสดงวงจรขยายกลับเฟส	13
รูปที่ 2.7 แสดงวงจรขยายไม่กลับเฟส	14
รูปที่ 2.8 แสดงวงจรขยายตามสัญญาณยูนิต	15
รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานของ successive approximation ADC	16
รูปที่ 2.10 แสดงการจัดขาของ AT89C2051	17
รูปที่ 2.11 แสดงรอยต่อของพิน ไฟ โด โด โด	18
รูปที่ 3.1 แสดงไฮโดรมิเตอร์	19
รูปที่ 3.2 แสดงการทรานส์ดัซันในฮีเลียม ซีออน เลเซอร์	20
รูปที่ 3.3 แสดงการวาง โทลา โรเซอร์และตัววิเคราะห์ในลักษณะที่ TA ตั้งฉากกัน	21
รูปที่ 3.4 แสดงหลักการทำงานของตัวหน่วงเฟส	22
รูปที่ 3.5 แสดงบล็อก ไดอะแกรมการทำงานของเครื่องมือ	23
รูปที่ 4.1 แสดงการจับคู่ปรอท	25
รูปที่ 4.2 แสดงการจับคู่ $\lambda/4$	26
รูปที่ 4.3 แสดงการจับคู่ปรอทที่มุม 60 องศา	26
รูปที่ 4.4 แสดงการจับคู่ปรอทที่ใช้ในการทดลองที่มุม 60 องศา	27
รูปที่ 4.5 แสดงการจับคู่ปรอทที่ใช้ในการทดลองที่มุม 60 องศา	41
รูปที่ 4.6 แสดงเครื่องมือที่สร้างขึ้น	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันเส้นใยนำแสงได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานทางด้านการศึกษา นอกจากนี้เส้นใยนำแสงยังสามารถนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัด (Detector) ได้อีกด้วย ด้วยเหตุที่เส้นใยนำแสงมีความสามารถในการทำงานในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง การไม่ถูกรบกวนจากคลื่นวิทยุและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำเส้นใยนำแสงมาใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ เช่น อุณหภูมิ สนามแม่เหล็ก อัตราการไหลของของเหลว และระดับของของเหลว เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการการนำเส้นใยนำแสงมาใช้ในงานด้านการตรวจวัดได้ดียิ่งขึ้น ในโครงการพิเศษนี้จะทำการศึกษาการนำเส้นใยนำแสงมาใช้เป็นอุปกรณ์วัดความถี่เฉพาะของของเหลว โดยจะได้ทำการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความถี่เฉพาะของอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่แบบ ตะกั่ว-กรด (Lead Acid) โดยอาศัยคุณสมบัติการสูญเสียของสัญญาณแสงที่เกิดจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง ซึ่งการสูญเสียของสัญญาณแสงนี้จะมากขึ้นอยู่กับค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่อยู่รอบรอบแกนของเส้นใยนำแสง ซึ่งในที่นี้ก็คือสารอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่นั่นเอง

1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการนำเส้นใยนำแสงไปใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความถี่เฉพาะของของเหลว
2. เพื่อสร้างเครื่องมือต้นแบบเพื่อใช้วัดความถี่เฉพาะของอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่

1.2 ขอบเขตการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีและคุณสมบัติของเส้นใยนำแสง
2. ศึกษาทฤษฎีทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับความถี่เฉพาะและการวัดความถี่เฉพาะ
3. ออกแบบและสร้างเครื่องมือที่จะใช้วัดความถี่เฉพาะ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำเส้นใยนำแสงไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทัศนศาสตร์

2.1 ทัศนศาสตร์ทางฟิสิกส์

2.1.1 หลักการทางแสงเบื้องต้น

ดัชนีหักเห (Index of Refraction)

แสงสามารถเดินทางในสุญญากาศได้เร็วกว่าในตัวกลางอื่นๆ อัตราส่วนของความเร็วของแสงในสุญญากาศกับความเร็วของแสงในตัวกลาง เรียกว่า ดัชนีหักเห (n) ดังความสัมพันธ์

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.1)$$

c คือความเร็วของแสงในสุญญากาศ

v คือความเร็วของแสงในตัวกลาง

n คือค่าดัชนีหักเหของตัวกลาง

การสะท้อน กฎการสะท้อน และการหักเหของแสง

เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหต่างกัน ที่บริเวณผิวรอยต่อของตัวกลางจะเกิดแสงสะท้อนขึ้นที่ผิวรอยต่อ ซึ่งมุมที่แสงตกกระทบผิวรอยต่อจะมีค่าเท่ากับมุมของแสงสะท้อน ซึ่งเป็นไปตามกฎการสะท้อน ดังสมการที่ 2.2 และที่ผิวรอยต่อจะมีลำแสงบางส่วนทะลุผ่านไปยังตัวกลางที่สองได้ เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การหักเหของแสง

$$\theta_i = \theta_r \quad (2.2)$$

θ_i คือมุมตกกระทบ

θ_r คือมุมสะท้อน

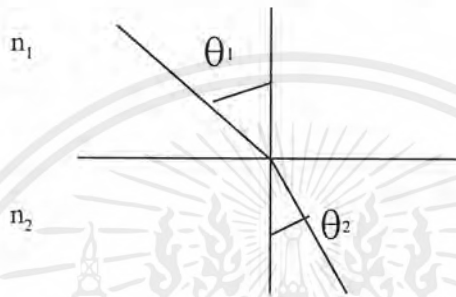
กฎของสเนลล์ (Snell's Law)

กฎของสเนลล์ บอกลถึงความสัมพันธ์ของมุมตกกระทบและมุมหักเห ดังนี้

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.3)$$

θ_1 เป็นมุมตกกระทบ และ θ_2 เป็นมุมหักเห

n_1 และ n_2 คือดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 แสดงการหักเหของแสง

การสะท้อนกลับหมด

เมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีดัชนีหักเหสูงกว่าไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเหต่ำกว่า ที่มุมตกกระทบมุมหนึ่ง จะเกิดปรากฏการณ์ที่แสงไม่สามารถทะลุผ่านไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเหต่ำกว่าได้ เรียกมุมที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวว่า มุมวิกฤต (Critical Angle, θ_c) และเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การสะท้อนกลับหมด ค่ามุมวิกฤตหาได้จากความสัมพันธ์

$$\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (2.4)$$

2.1.2 เส้นใยนำแสง

เส้นใยนำแสง ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ แกน (Core) แคลด (Cladding) และส่วนป้องกัน (Jacket) โดยทั่วไป เส้นใยนำแสงสามารถแบ่งตามความสามารถในการที่จะให้แสงผ่านได้ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. เส้นใยนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว (Single Mode) เป็นเส้นใยแสงที่ยอมให้แสงผ่านได้ทิศทางเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เส้นใยนำแสงชนิดหลายโหมด (Multimode) เป็นเส้นใยนำแสงที่แสงสามารถเดินทางในเส้นใยนำแสงได้หลายทิศทาง ซึ่งเกิดจากการที่แสงสะท้อนกลับไปกลับมาในเส้นใยนำแสง เส้นใยนำแสงชนิดหลายโหมดสามารถแบ่งตามการเปลี่ยนแปลงของดัชนีหักเหในส่วนของ Core ได้ 2 ชนิด คือ

2.1 เส้นใยนำแสงชนิดหลายโหมดแบบสเต็ปอินเด็กซ์ (Step Index) เป็นเส้นใยนำแสงที่มีการลดลงของดัชนีหักเหของแกน (Core) กับเคลด (Clad) แบบขั้นบันได

2.2 เส้นใยนำแสงชนิดหลายโหมดแบบเกรดอินเด็กซ์ (Graded Index) เป็นเส้นใยนำแสงที่มีการลดลงของดัชนีหักเหของแกนกับเคลด แบบที่ละน้อย

การสูญเสียของแสงในเส้นใยนำแสงมีหลายประเภท จะขอกล่าวถึงการสูญเสียของสัญญาณแสงที่เกิดจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง

การสูญเสียของแสงจากการโค้งงอ (Bending Loss) แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ การโค้งงอชนิดแมคโครเบนด (Macrobend) ซึ่งมีรัศมีส่วนโค้งมากกว่า 10 มิลลิเมตร เกิดจากเส้นใยนำแสงม้วนอยู่ในหลอดม้วน การสูญเสียแบบนี้รังสีของแสงที่เคลื่อนที่ในเส้นใยนำแสงตรงบริเวณที่โค้งงอจะมีมุมตกกระทบตรงรอยต่อระหว่างแกนและเคลดน้อยกว่ามุมวิกฤต ทำให้รังสีของแสงกระจายออกไปนอกเส้นใยนำแสง และการโค้งงอแบบไมโครเบนด (Microbend) เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้างทางเรขาคณิตของเส้นใยนำแสงในขบวนการผลิต การสูญเสียแบบแมคโครเบนดของเส้นใยนำแสงชนิดหลายโหมดจะขึ้นกับรัศมีวิกฤต (Critical Radius of Curvature, R_c) ซึ่งหาได้จาก

$$R_c = \frac{3n_1^2 \lambda}{4\pi(n_1^2 - n_2^2)^{3/2}} \quad (2.5)$$

R_c คือรัศมีวิกฤต

n_1 คือดัชนีหักเหของแกนเส้นใยนำแสง

n_2 คือดัชนีหักเหของเคลดของเส้นใยนำแสง

λ คือความยาวคลื่นที่เคลื่อนที่ในเส้นใยนำแสง

จากสมการที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่าสามารถลดการสูญเสียของการโค้งงอแบบแมคโครเบนดได้โดย

1. ออกแบบให้เส้นใยนำแสงมีผลต่างของค่าดัชนีหักเหของแกนและเคลดให้มีค่าแตกต่างกันมากๆ

2. ใช้ความยาวคลื่นสั้นๆ

2.1.3 ความหนาแน่นของสารและความถ่วงจำเพาะ

ความหนาแน่นของสาร (Density, ρ) สามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.6)$$

เมื่อ m คือ มวลของสาร

V คือ ปริมาตรของสาร

ความหนาแน่นของสาร เป็นคุณลักษณะเฉพาะของสารแต่ละชนิด ขนาดและมวลของสาร จะไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่น แต่อุณหภูมิและความดันจะมีผลต่อค่าความหนาแน่นของสาร หน่วยของความหนาแน่นของสารคือ kg/m^3 หรือ g/cm^3 ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความหนาแน่นของสารบางชนิด

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความหนาแน่นของสารบางชนิดที่อุณหภูมิ 0°C ความดัน 1 บรรยากาศ

Substance	Density, ρ (kg/m^3)
<i>Solids</i>	
Aluminum	2.70×10^3
Copper	8.9×10^3
Lead	11.3×10^3
Gold	19.3×10^3
Granite	2.7×10^3
<i>Liquids</i>	
Water (4°C)	1.00×10^3
Mercury	13.6×10^3
Gasoline	0.68×10^3

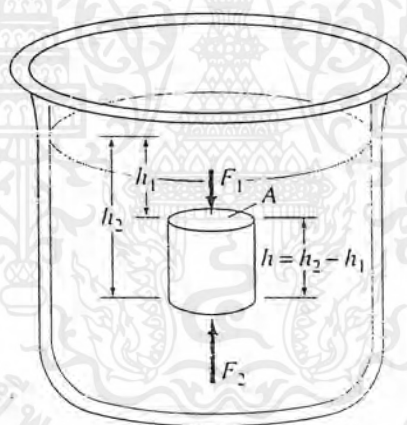
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของสารคือ อัตราส่วนของความหนาแน่นของสาร เทียบกับความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.1.4 หลักการของอาร์คิมิดีส (Archimedes' Principle)

แรงลอยตัว (Buoyant Force, F_B) คือแรงที่ของเหลวพยุงวัตถุที่อยู่ในของเหลว เกิดจากความดันในของเหลวซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึก กล่าวคือความดันของของเหลวที่กระทำต่อพื้นผิวด้านล่าง (กระทำในทิศขึ้น) ของวัตถุที่จมในของเหลวจะมีค่ามากกว่าความดันของของเหลวที่กระทำต่อพื้นผิวด้านบน (กระทำในทิศลง)

รูปที่ 2.2 แสดงวัตถุทรงกระบอกที่มีความสูง h มีพื้นที่ผิวทั้งด้านบนและล่างเป็น A ซึ่งจมอยู่ในของเหลวที่มีความหนาแน่น ρ_F ความดันที่ของเหลวกระทำต่อพื้นผิวด้านบนของวัตถุคือ $P_1 = \rho_F gh_1$ แรงที่เกิดจากความดันนี้คือ $F_1 = P_1 A = \rho_F gh_1 A$ จะกระทำกับพื้นผิวด้านบนของวัตถุในทิศลง และแรงที่เกิดจากความดันที่ของเหลวกระทำต่อพื้นผิวด้านล่างของวัตถุคือ $F_2 = P_2 A = \rho_F gh_2 A$ ซึ่งจะกระทำกับพื้นผิวด้านล่างของวัตถุในทิศขึ้น



รูปที่ 2.2 แสดงวัตถุทรงกระบอกจมอยู่ในของเหลว

แรงสุทธิที่ของเหลวกระทำกับวัตถุ เรียกว่า แรงลอยตัว (F_B)

$$\begin{aligned}
 F_B &= F_2 - F_1 \\
 &= \rho_F g A (h_2 - h_1) \\
 &= \rho_F g A h \\
 &= \rho_F g V
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาร์คิมิดีส กล่าวว่า “แรงลอยตัวของวัตถุที่อยู่ในของเหลวมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่” หรือ

$$F_B = w \quad (2.8)$$

$$\rho_F V_{displ} g = \rho_0 V_0 g \quad (2.9)$$

$$\frac{V_{displ}}{V_0} = \frac{\rho_0}{\rho_F} \quad (2.10)$$

ρ_F คือความหนาแน่นของของเหลว

ρ_0 คือความหนาแน่นของวัตถุ

V_0 คือปริมาตรของวัตถุ

V_{displ} คือปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่ (มีค่าเท่ากับปริมาตรของวัตถุส่วนที่จม)

จากหลักการของอาร์คิมิดีสนี้นำไปประยุกต์ทำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความถ่วงจำเพาะของของเหลวได้กล่าวคือ ถ้านำวัตถุ (ซึ่งทราบปริมาตร) ไปจุ่มและปล่อยให้อยู่ในของเหลว วัตถุนั้นจะลอยหรือจมในของเหลวก็ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัตถุ ถ้าวัตถุมีความหนาแน่นมากกว่าของเหลววัตถุนั้นก็จะจมอยู่ในของเหลว และถ้าวัตถุมีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลววัตถุนั้นก็จะลอยอยู่ในของเหลว จากสมการที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่าถ้าทราบปริมาตรของวัตถุที่ใช้ ความหนาแน่นของวัตถุ และทราบปริมาตรของวัตถุส่วนที่จม จะสามารถหาความหนาแน่นของของเหลวได้ และจากการที่ทราบค่าความหนาแน่นของของเหลวนี้แล้วจะสามารถหาค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวได้ เพราะความถ่วงจำเพาะของสารคือ อัตราส่วนความหนาแน่นของสารต่อความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (มีค่าเท่ากับ $1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) ซึ่งเครื่องมือที่ใช้หลักการนี้เรียกว่า ไฮโดรมิเตอร์(Hydrometer)อาศัยความสัมพันธ์

$$\begin{aligned} \text{แรงลอยตัว} &= \text{น้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่} = mg \\ &= \text{น้ำหนักของวัตถุที่จุ่มในของเหลว} = Mg \end{aligned}$$

$$\therefore mg = Mg$$

$$\rho_f V_f g = \rho_s V_s g$$

$$\frac{\rho_s}{\rho_f} = \frac{V_f}{V_s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho_f = \frac{V_s}{V_f} \rho_s \quad (2.11)$$

ρ_f คือความหนาแน่นของของเหลว

ρ_s คือความหนาแน่นของวัตถุ

V_f คือปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่

V_s คือปริมาตรของวัตถุทั้งหมด

ความถ่วงจำเพาะของสาร(sg) = ความหนาแน่นของสาร(ρ)/ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส(ρ_w)

จากสมการ 2.11

$$\begin{aligned} \frac{\rho_f}{\rho_w} &= \frac{V_s \rho_s}{V_f \rho_w} \\ \therefore sg &= \frac{\rho_f}{\rho_w} = \frac{V_s \rho_s}{V_f \rho_w} \quad (2.12) \end{aligned}$$

ρ_w คือความหนาแน่นของน้ำ

โดยทั่วไปไฮโดรมิเตอร์จะมีสเกลบอกความถ่วงจำเพาะของของเหลว ซึ่งกำหนดจากการคำนวณปริมาตรส่วนที่จมของไฮโดรมิเตอร์ที่ค่าความถ่วงจำเพาะ(ความหนาแน่น)นั้นๆ



รูปที่ 2.3 แสดงไฮโดรมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

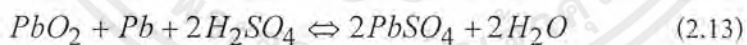
2.1.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด (Lead Acid)

เซลล์แบบทุติยภูมิชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันมากก็คือ เซลล์แบบตะกั่ว-กรด ซึ่งใช้กันทั่วไปในรถยนต์ มันจะประกอบไปด้วยแผ่นอาโนดและคาโทดวางสลับกันจุ่มอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ที่ทำจากสารละลายกรดกำมะถัน แผ่นเพลทจะวางสลับกันเพื่อจะได้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ได้มาก ในขณะที่รักษาปริมาตรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรไลต์มากเท่าไรปฏิกิริยาเคมีก็จะเกิดขึ้นมากเท่านั้น นอกจากนี้ค่าความต้านทานภายในเซลล์จะยังมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นในการค้นคว้าจึงมุ่งทางด้านเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสวิธีที่นิยมใช้กันก็คือ ใช้แผ่นเพลทบางๆคั่นด้วยฉนวนแบบมีรูพรุน

อิเล็กโทรดที่เป็นอาโนดจะสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ ในขณะที่คาโทดจะสร้างจากส่วนผสมของตะกั่วและตะกั่วเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมานั้นอะตอมของตะกั่วจากแผ่นอาโนดจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวกเข้าไปอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ และทิ้งอิเล็กตรอนให้ไหลเข้าสู่วงจรที่นำมาต่อภายนอก

ที่คาโทด ตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนของตะกั่วซึ่งมีประจุบวกสูง และเป็นไอออนที่มีประจุลบสูง ไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงจะดึงเอาอิเล็กตรอนจากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอก เพื่อรวมตัวกลายเป็นไอออนตะกั่วที่มีประจุบวก ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่อาโนดทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโทดผ่านไปยังวงจรภายนอก

ไอออนของตะกั่วจากแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันซึ่งเป็นอิเล็กโทรไลต์ กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (Lead Sulphate) ซึ่งจะเห็นเป็นตะกอนสีขาวเกาะอยู่ที่อิเล็กโทรดทั้งสอง และก๊าซไฮโดรเจนซึ่งจะรวมกับไอออนของออกซิเจนจากคาโทดกลายเป็นน้ำ เราสามารถจะเขียนสูตรสำหรับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



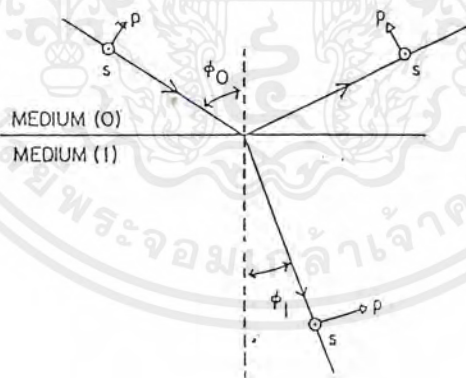
ซึ่งแสดงโดยลูกศร 2 ทิศทางว่าเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นจึงสามารถที่จะประจุเซลล์ใหม่โดยการต่อวงจรซึ่งจะขับอิเล็กตรอนให้ไหลจากคาโทดไปสู่อาโนด

สูตรทางเคมีแสดงให้เห็นว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะเจือจางลงโดยโมเลกุลของน้ำที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นขณะเดียวกับที่เซลล์คายประจุ ทำให้เราสามารถใช้เป็นวิธีการหาสถานะการประจุและคายประจุของเซลล์ได้ โดยการวัดความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะบอกว่าเซลล์ใกล้จะถึงสถานะคายประจุหมดหรือยัง เพื่อจะได้ประจุไฟฟ้ากลับเข้าไปใหม่ แรงดันของเซลล์โดยปกติจะมีค่าเท่ากับ 2 โวลต์

ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความถ่วงจำเพาะกับประจุสะสมในแบตเตอรี่

ประจุสะสม(State of Charge)	ความถ่วงจำเพาะ
100	1.26
87	1.24
75	1.22
62	1.20
50	1.18
37	1.16
25	1.14
12	1.12
0	1.10

2.1.6 การหาค่าดัชนีหักเหของตัวกลางแบบไอโซทรอปิก



รูปที่ 2.4 แสดงทางเดินของแสงผ่านตัวกลาง 2 ตัวกลาง

จากรูปที่ 2.4 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นระนาบ (Plane Wave) จากตัวกลางที่ 0 ไปตัวกลางที่ 1 ที่มีค่าดัชนีหักเหเชิงซ้อน (Complex Index of Refraction, N) เป็น N_0 และ N_1 ตามลำดับ ด้วยมุมตกกระทบ ϕ_0 และมุมหักเห ϕ_1 จากกฎของสเนลล์จะมีความสัมพันธ์

$$N_0 \sin \phi_0 = N_1 \sin \phi_1 \tag{2.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำหนดให้ (E_{ip}, E_{is}) (E_{rp}, E_{rs}) (E_{tp}, E_{ts}) เป็นแอมพลิจูดเชิงซ้อนของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของแสง ที่ตกกระทบ สะท้อน และหักเห ตามลำดับ จะได้ความสัมพันธ์

$$\frac{E_{rp}}{E_{ip}} = r_p = \frac{N_1 \cos \phi_0 - N_0 \cos \phi_1}{N_1 \cos \phi_0 + N_0 \cos \phi_1} \quad (2.15)$$

$$\frac{E_{rs}}{E_{is}} = r_s = \frac{N_0 \cos \phi_0 - N_1 \cos \phi_1}{N_0 \cos \phi_0 + N_1 \cos \phi_1} \quad (2.16)$$

$$\frac{E_{tp}}{E_{ip}} = t_p = \frac{2N_0 \cos \phi_0}{N_1 \cos \phi_0 + N_0 \cos \phi_1} \quad (2.17)$$

$$\frac{E_{ts}}{E_{is}} = t_s = \frac{2N_0 \cos \phi_0}{N_0 \cos \phi_0 + N_1 \cos \phi_1} \quad (2.18)$$

จากความสัมพันธ์ข้างต้นเรียกว่า สัมประสิทธิ์การสะท้อนของเฟรสเนล หรืออาจเขียนได้
เป็น

$$r_p = |r_p| e^{j\delta_{rp}} \quad (2.19)$$

$$r_s = |r_s| e^{j\delta_{rs}} \quad (2.20)$$

$$t_p = |t_p| e^{j\delta_{tp}} \quad (2.21)$$

$$t_s = |t_s| e^{j\delta_{ts}} \quad (2.22)$$

ค่าอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การสะท้อนของ p และ s polarization (ρ) คือ

$$\rho = \frac{r_p}{r_s} \quad (2.23)$$

หรือ

$$\rho = \tan \psi e^{j\Delta} \quad (2.24)$$

ซึ่ง

$$\tan \psi = \frac{|r_p|}{|r_s|} \quad (2.25)$$

และ

$$\Delta = \delta_{rp} - \delta_{rs} \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ของสเนลล์ (สมการที่ 2.7) สามารถหาความสัมพันธ์ของ N_1/N_2 ในเทอมของ ρ และ ϕ_0 ดังความสัมพันธ์

$$\frac{N_1}{N_0} = \sin \phi_0 \left[1 + \left(\frac{1-\rho}{1+\rho} \right)^2 \tan^2 \phi_0 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.27)$$

N_0 คือค่าดัชนีหักเหของตัวกลางตัวที่ 0

N_1 คือค่าดัชนีหักเหของตัวกลางตัวที่ 1

ϕ_0 คือมุมตกกระทบ

ρ คือ r_p/r_s

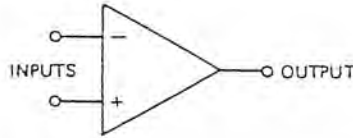


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีทางอิเล็กทรอนิกส์

2.2.1 ออปแอมป์

ออปแอมป์ (Operational Amplifier) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอัตราขยายสูง มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูง และค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำ สัญลักษณ์ของออปแอมป์แสดงดังรูปที่ 2.5

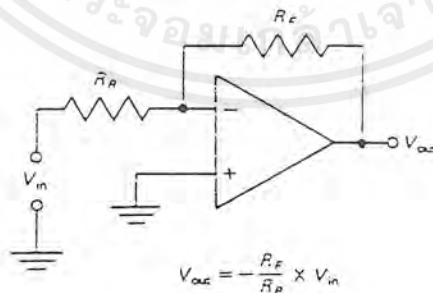


รูปที่ 2.5 แสดงสัญลักษณ์ของออปแอมป์

จากรูปที่ 2.5 ขาอินพุตของออปแอมป์ที่มีเครื่องหมาย (-) เรียกว่า ขาอินพุตกลับเฟส (Inverting Input) หมายถึง เมื่อมีสัญญาณอินพุตจ่ายให้กับขาอินพุตกลับเฟส จะได้เอาต์พุตที่มีเฟสของสัญญาณต่างจากอินพุต 180 องศา ส่วนขาอินพุตของออปแอมป์ที่มีเครื่องหมาย (+) เรียกว่า ขาอินพุตไม่กลับเฟส (Noninverting Input) เมื่อมีสัญญาณอินพุตจ่ายให้กับขาอินพุตไม่กลับเฟสจะได้เอาต์พุตที่มีเฟสตรงกันกับอินพุต

วงจรรขยายที่นำออปแอมป์มาประกอบเป็นวงจรรขยายมีหลายประเภท ในที่นี้จะกล่าวถึงการนำออปแอมป์ไปใช้ในวงจบบางประเภท ได้แก่ วงจรรขยายกลับเฟส วงจรรขยายไม่กลับเฟส วงจรรขยายตามสัญญาณยูนิตี

วงจรรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)



รูปที่ 2.6 แสดงวงจรรขยายกลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 แสดงวงจรขยายกลับเฟส ซึ่งแรงดันเอาต์พุตสามารถหาได้จาก ความสัมพันธ์

$$V_{out} = -\left(\frac{R_F}{R_R}\right)V_{in} \quad (2.28)$$

V_{out} คือ แรงดันเอาต์พุต

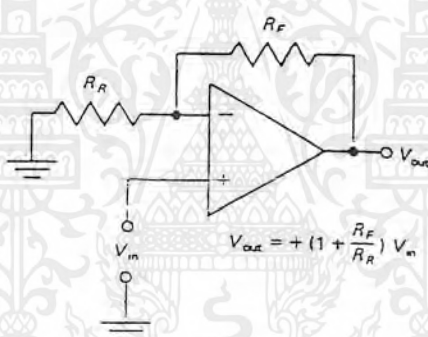
V_{in} คือ แรงดันอินพุต

R_F คือ ความต้านทานป้อนกลับ (Feedback Resistor)

R_R คือ ความต้านทานอินพุต

เครื่องหมายลบแสดงให้เห็นว่า แรงดันเอาต์พุตมีเฟสต่างจากแรงดันอินพุต 180 องศา และอัตราส่วน R_F/R_R เป็นค่าอัตราขยาย (Gain)

วงจขยายไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)



รูปที่ 2.7 แสดงวงจขยายไม่กลับเฟส

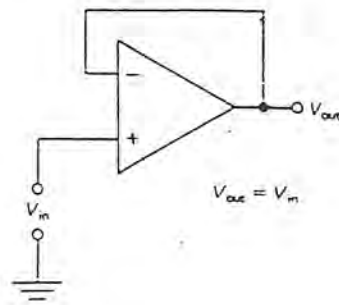
จากรูปที่ 2.7 แสดงวงจขยายไม่กลับเฟส ซึ่งแรงดันเอาต์พุตสามารถหาได้จากสมการ

$$V_{out} = \left[1 + \left(\frac{R_F}{R_R}\right)\right]V_{in} \quad (2.29)$$

แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจขยายนี้ จะมีเฟสตรงกันกับแรงดันอินพุต และมีอัตราขยายเป็น $1 + (R_F/R_R)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขยายตามสัญญาณยูนิตี (Unity Follower)



รูปที่ 2.8 แสดงวงจขยายตามสัญญาณยูนิตี

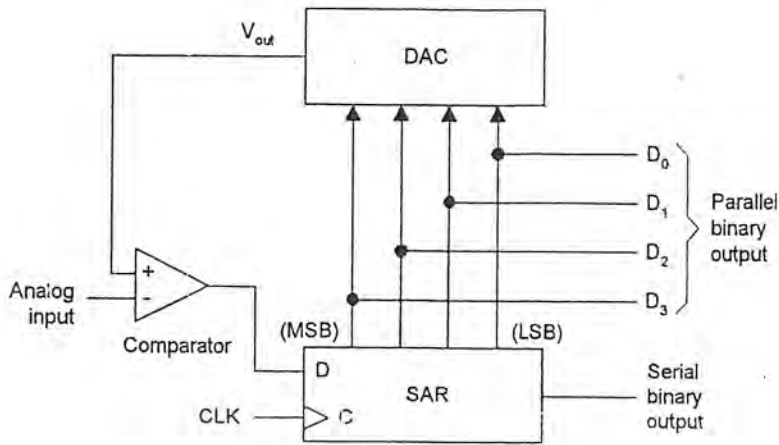
จากรูปที่ 2.8 แสดงวงจขยายตามสัญญาณยูนิตี ซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับ 1 สัญญาณเอาต์พุต จะมีเฟสตรงกับสัญญาณอินพุต

2.2.2 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Conversion)

ปริมาณในธรรมชาติ ส่วนมากเป็นปริมาณอนาลอก เช่น เวลา ความดัน เราสามารถแปลงปริมาณเหล่านี้ไปเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อนำปริมาณต่างๆ ที่วัดได้ไปแสดงเป็นตัวเลข หรือนำไปคำนวณทางคณิตศาสตร์ วงจร A/D (Analog to Digital Converter) มีหลายแบบในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะแบบ Successive approximation

วงจร successive approximation ADC เป็นวงจร ADC ที่ใช้กันแพร่หลายวงจรหนึ่งเนื่องจากการแปลงสัญญาณเร็วกว่าแบบอื่นๆ ยกเว้นแบบ Flash ADC วงจร successive approximation ADC ประกอบด้วย DAC successive approximation register (SAR) และ วงจรเปรียบเทียบ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

วงจรจะทำงาน โดยทำให้บิตภายในของ SAR เป็นลอจิก 1 ทีละบิต โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดก่อน และค่าของบิตต่างๆใน SAR จะถูกส่งไปยัง DAC เพื่อเป็นสัญญาณอนาลอก ทุกๆครั้งที่แต่ละบิตถูกกำหนดให้เป็นลอจิก 1 ตัวเปรียบเทียบจะเปรียบเทียบเอาต์พุตของ DAC ว่ามากกว่าหรือน้อยกว่าสัญญาณอนาลอกที่อินพุต ถ้าเอาต์พุตของ DAC มีค่ามากกว่าสัญญาณอนาลอกที่อินพุต เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบจะเป็นลอจิก 0 เป็นผลให้บิตนั้นๆใน SAR ถูกรีเซ็ตเป็น 0 แต่ถ้าเอาต์พุตของ DAC มีค่าน้อยกว่าสัญญาณอนาลอกที่อินพุต เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบจะเป็นลอจิก 1 และบิตนั้นๆใน SAR ถูกเก็บค่าเป็น 1 ไว้ และวงจรจะทำเช่นนี้กับบิตที่มีนัยสำคัญต่ำลงไปที่ละบิตจนครบ หลังจากครบทุกบิตแล้วรหัสดิจิทัลใน SAR จะแทนสัญญาณอนาลอกที่อินพุต



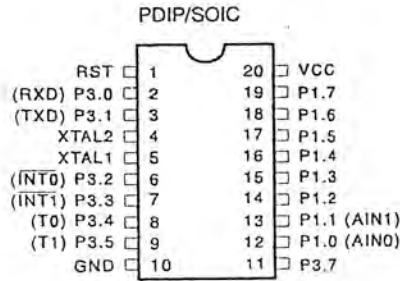
รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานของ successive approximation ADC

2.2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C2051

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C2051 เป็นชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 20 ขา ผลิตโดย ATMEL ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมภายในจะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ของ INTEL จุดเด่นของชิป 89C2051 มีดังนี้

1. สามารถใช้แทนไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51
2. หน่วยความจำเป็นแบบ Flash memory ขนาด 2 KB สามารถเขียนและลบใหม่ได้ 1,000 ครั้ง
3. ใช้ไฟเลี้ยงได้ตั้งแต่ 2.7-6 V
4. ออสซิลเลเตอร์สามารถป้อนได้ตั้งแต่ 0-24 Hz
5. สามารถล๊อคโปรแกรมได้สองระดับ
6. หน่วยความจำข้อมูลบนชิปขนาด 128 ไบท์
7. มีอินพุท เอาท์พุทพอร์ท 15 บิต
8. มีตัวนับและตั้งเวลาขนาด 16 บิต 2 ตัว
9. มีแหล่งอินเทอร์รัพท์ 5 แหล่ง
10. พอร์ทอนุกรมแบบ UART โปรแกรมความเร็วในการส่งข้อมูลได้
11. เอาท์พุทพอร์ทสามารถขับ LED ได้โดยตรงด้วยกระแส sink 20 mA
12. มีอนาล็อกคอมพาราเตอร์บนชิป
13. มีโหมด Idle และ Power down

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงการจัดขาของ AT89C2051

2.2.4 อุปกรณ์กำเนิดแสง

อุปกรณ์กำเนิดแสงที่นิยมใช้กันมากในระบบสัญญาณแสง ได้แก่ ไดโอดเลเซอร์ (Laser Diode) และ ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitter Diode, LED) LED เป็นสารกึ่งตัวนำแบบรอยต่อพีเอ็น ซึ่งสามารถเปล่งแสงได้เมื่อ LED นำกระแส โดยต้องทำการไบอัสตรงให้กับ LED สำหรับแสงที่เปล่งออกมาจาก LED มีได้หลายสี (หลายความยาวคลื่น) ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาสร้าง LED ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงวัสดุที่นำมาทำ LED และความยาวคลื่นที่เกิดขึ้น

Material	Wavelength (nm)
AlGaInP	630-680
GaInP	670
GaAlAs	620-895
GaAs	904
InGaAs	980
InGaAsP	1,100-1,650
InGaAsSb	1,700-4,400

2.2.5 อุปกรณ์ตรวจวัดแสง

อุปกรณ์ตรวจวัดแสงที่นิยมใช้กันมากในระบบสัญญาณแสงคือ ฟิโนไฟโตไดโอด (PIN Photodiode) เป็นอุปกรณ์ที่มีรอยต่อแบบสารพี-สารบริสุทธิ์ (Intrinsic)-สารเอ็น ทำให้เกิดการนำกระแสได้มากขึ้นเมื่อมีแสงมาตกกระทบ ในการใช้งานต้องทำการต่อแบบไบอัสกลับให้กับ PIN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Photodiode สำหรับสารที่นำมาทำ PIN Photodiode ต่างชนิดกัน จะมีการตอบสนองต่อแสงที่มีความยาวคลื่นได้ต่างกัน ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงการตอบสนองของพินโฟโตไดโอด

Material	Wavelength Range	Wavelength of Peak Response
	(μm)	(μm)
Silicon	0.3-1.1	0.8
Germanium	0.5-1.8	1.55
InGaAs	1.0-1.7	1.7



รูปที่ 2.11 แสดงรอยต่อของพินโฟโตไดโอด

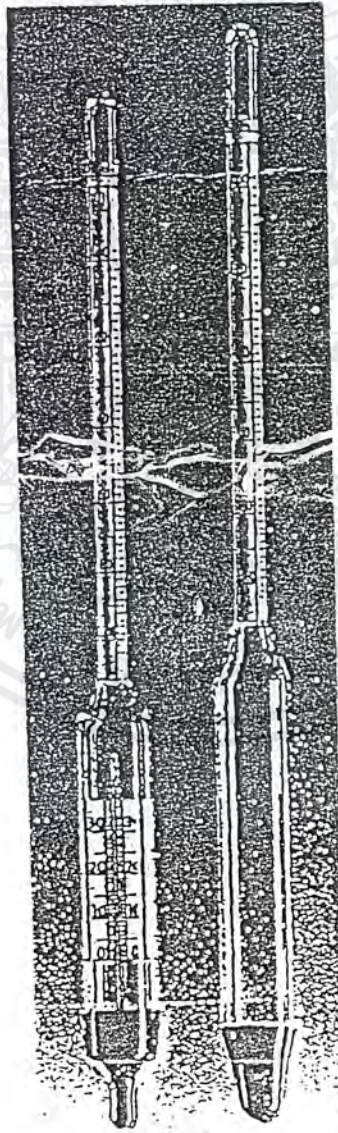
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 อุปกรณ์

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในโครงการพิเศษนี้

3.1 ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)

ไฮโดรมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความถ่วงจำเพาะของของเหลว แสดงดังรูปที่ 3.1 ไฮโดรมิเตอร์มีลักษณะเป็นหลอดปิด และมีการออกแบบให้มีน้ำหนักที่เหมาะสมกับการวัดความถ่วงจำเพาะของของเหลวแต่ละชนิดที่จะทำการวัด ไฮโดรมิเตอร์จะมีสเกลบอกค่าความถ่วงจำเพาะไว้ที่บริเวณด้านบนของไฮโดรมิเตอร์



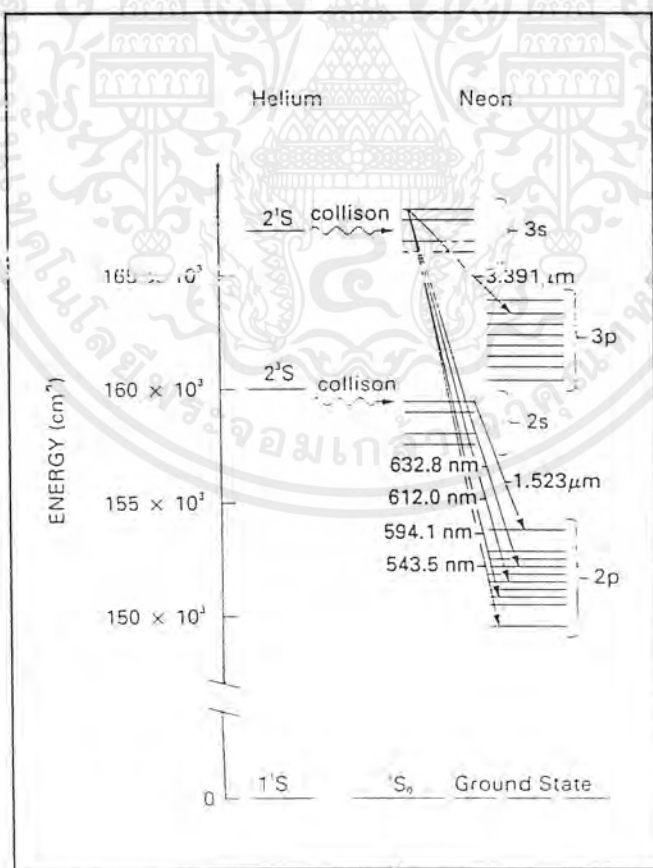
รูปที่ 3.1 แสดงไฮโดรมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปจะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าดัชนีหักเหของของเหลว

3.2 ฮีเลียม นีออน เลเซอร์

ฮีเลียม นีออน เลเซอร์ จะใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงในการทดลอง ฮีเลียม นีออน เลเซอร์ จะใช้การบรรจุ ก๊าซฮีเลียมและนีออนในหลอดแก้วที่ความดันต่ำ โดยก๊าซส่วนใหญ่จะเป็นฮีเลียม จะมีก๊าซนีออนอยู่ต่ำกว่า 15 % เมื่อให้กระแสไฟฟ้าเข้าไปในก๊าซจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระ อิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้จะไปกระตุ้นให้ก๊าซฮีเลียมเคลื่อนที่จากสถานะพื้น (Ground State) ไปยังสถานะกระตุ้นที่ระดับ 2^1s และ 2^3s ดังรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าสถานะกระตุ้นของนีออนที่ตรงกันกับของฮีเลียมคือ $3s$ และ $2s$ ตามลำดับ การชนกันของอะตอมฮีเลียมในสถานะกระตุ้นกับอะตอมนีออนในสถานะพื้น ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของอะตอมนีออนจากสถานะพื้นไปที่ สถานะ $2s$ และ $3s$ จากนั้นจะเกิดการเคลื่อนย้ายของอะตอมนีออนลงสู่ระดับ $2p$ หรือ $3s$ ซึ่งในการเคลื่อนย้ายนี้จะเกิดการปล่อยพลังงานออกมาซึ่งก็คือแสงเลเซอร์นั่นเอง แสงเลเซอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีความยาวคลื่น 632.8 nm เป็นแสงสีแดง



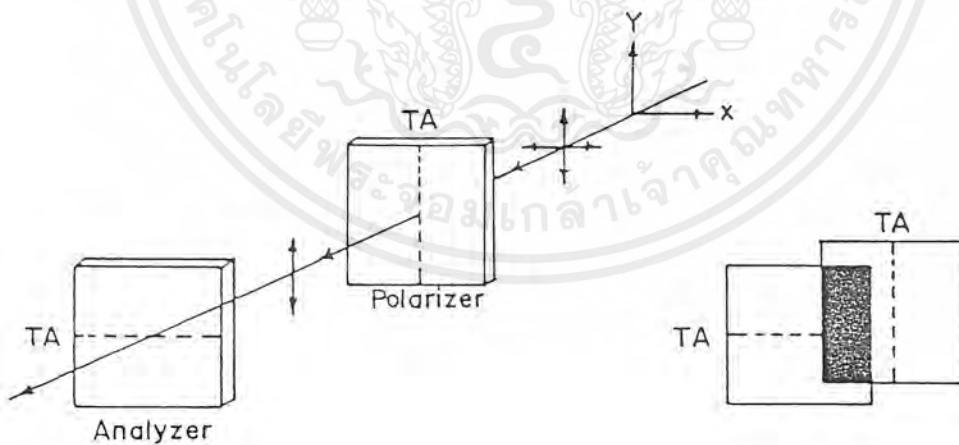
รูปที่ 3.2 แสดงการทรานสิชันในฮีเลียม นีออน เลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โพลาริเซอร์

โพลาริเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำให้แสงที่ไม่เป็นโพลาริซ์ให้เป็นแสงโพลาริซ์ในการทดลองจะใช้ ไดโครอิกโพลาริเซอร์ (Dichroic Polariser) ซึ่งปล่อยให้แสงผ่านไปได้ในแนวเดียวเท่านั้น โดยโพลาริเซอร์นี้จะมีเฉพาแสงที่มีสนามไฟฟ้าในแนวที่ตั้งฉากกับแนวที่ถูกดูดกลืนเท่านั้นที่ผ่านออกไปได้ แนวของสนามไฟฟ้าที่แสงผ่านไปได้นี้ เรียกว่า Transmission Axis หรือ TA ของโพลาริเซอร์นั่นเอง สำหรับโพลาริเซอร์ในอุดมคติ แสงที่ผ่านไปจะเป็นแสงโพลาริซ์เชิงเส้นในแนวของ TA สถานะทางโพลาริเซชันของแสงนี้สามารถตรวจสอบได้ โดยการใช้ไดโครอิกโพลาริเซอร์อีกชิ้นหนึ่ง มาทำหน้าที่เป็นตัววิเคราะห์หรือ Analyser ดังรูปที่ 3.3 ถ้า TA ของตัววิเคราะห์ทำมุม 90 องศา กับ TA ของโพลาริเซอร์ จะไม่มีแสงใดๆ ผ่านตัววิเคราะห์ออกไปได้ และแสงที่ผ่านออกมาจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ถ้าทำการหมุนตัววิเคราะห์ไปเป็นมุมอื่นที่น้อยกว่า 90 องศา และจะได้ความเข้มแสงสูงสุด เมื่อมุมระหว่างโพลาริเซอร์กับตัววิเคราะห์เป็น 0 องศา ถ้าให้ I_0 แทน Irradiance สูงสุดของแสงที่ผ่านออกมา และ θ เป็นมุมระหว่าง TA ทั้งสอง จะได้ค่า Irradiance สำหรับแต่ละค่า θ เป็นไปตาม กฎของมาลัส (Malus' Law) ดังสมการ

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (3.1)$$

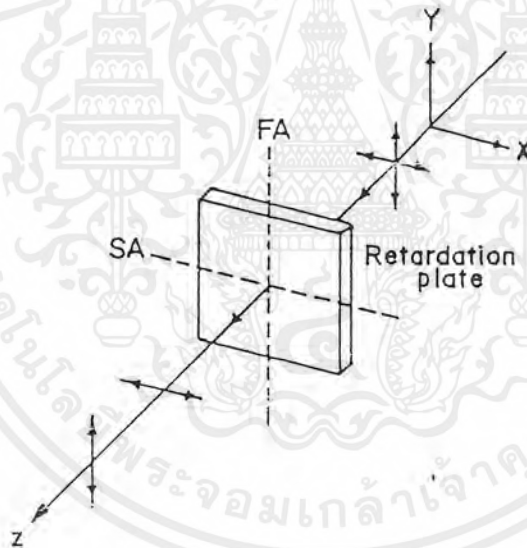


รูปที่ 3.3 แสดงการวางโพลาริเซอร์และตัววิเคราะห์ ในลักษณะที่ TA ตั้งฉากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ตัวหน่วงเฟส

อุปกรณ์ชนิดนี้จะไม่กำจัดสนามไฟฟ้าในแนวหนึ่งแนวใดให้หมดไป แต่จะทำให้มีความต่างเฟสระหว่างสนามไฟฟ้าในแนวที่ตั้งฉากกัน สนามไฟฟ้าในแต่ละแนวที่เคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีความเร็วต่างกันซึ่งมีผลทำให้เกิดการสะสมความต่างเฟส $\Delta\phi$ จนกระทั่งสนามไฟฟ้าทั้งสองผ่านพื้นอุปกรณ์นี้ออกมา จากรูปที่ 3.4 แสงไม่โพลาไรซ์เดินทางผ่านตัวหน่วงเฟส โดยที่สนามไฟฟ้าในแนวตั้งเดินทางผ่านได้ด้วยความเร็วที่มากกว่าสนามไฟฟ้าในแนวราบ และแสดงด้วยการแยกห่างกันของสนามไฟฟ้าทั้งสองเมื่อพ้นตัวหน่วงเฟสออกมา อย่างไรก็ตามที่ทุกๆจุด จะมีสนามไฟฟ้าทั้งสองอยู่พร้อมๆกัน แต่มีลักษณะต่างกัน แนวที่สนามไฟฟ้าผ่านด้วยความเร็วที่สูงกว่า เรียกว่า Fast Axis หรือ FA ขณะที่แนวที่สนามไฟฟ้าผ่านด้วยความเร็วที่น้อยกว่า เรียกว่า Slow Axis หรือ SA ถ้าความต่างเฟสเมื่อผ่านตัวหน่วงเฟสออกมามีค่าเป็น $\Delta\phi = 90$ องศา เราเรียกตัวหน่วงเฟสนี้ว่า Quarter Wave Plate ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้

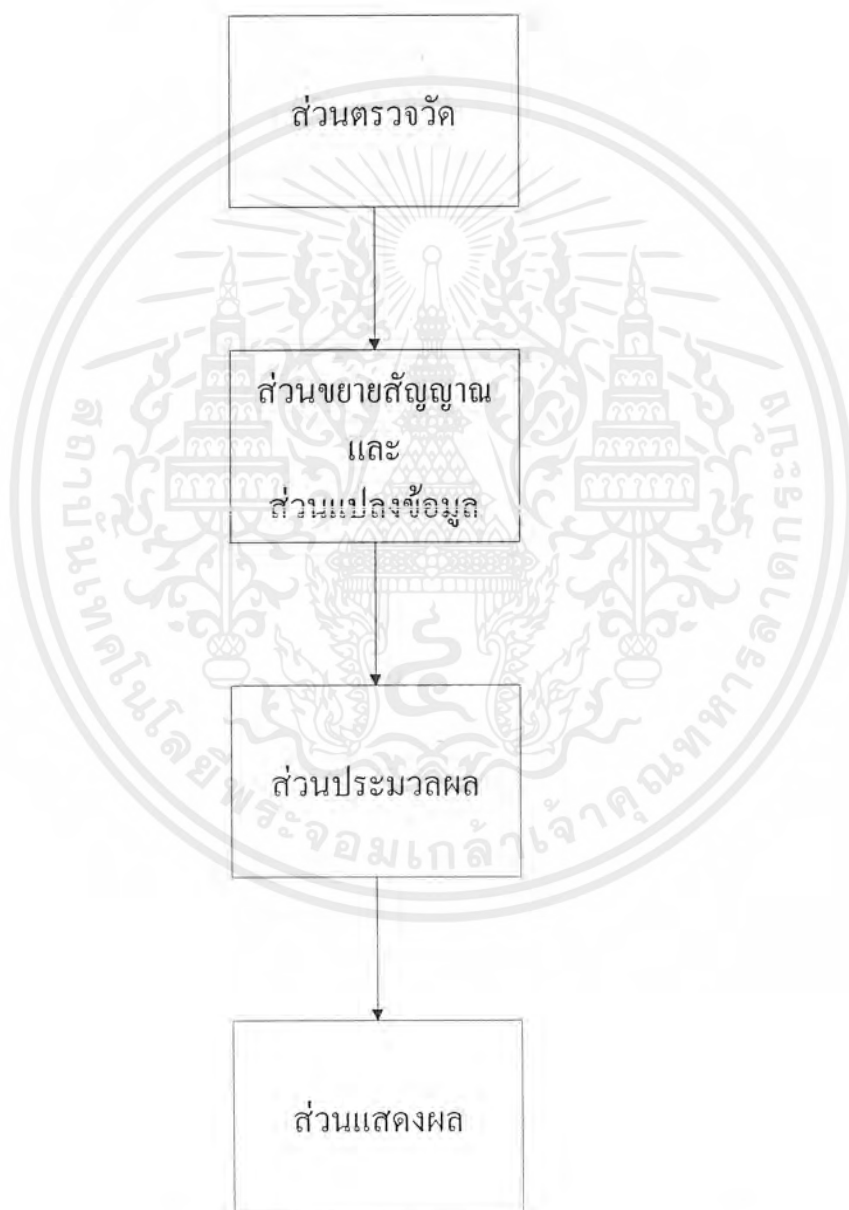


รูปที่ 3.4 แสดงหลักการของตัวหน่วงเฟส

3.5 การออกแบบเครื่องมือ

สำหรับเครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อวัดความถ่วงจำเพาะของอิเล็กทรอนิกส์ในแบตเตอรี่ จะประกอบไปด้วยส่วนการทำงาน 4 ส่วน คือ

1. ส่วนตรวจวัด
2. ส่วนขยายสัญญาณและแปลงข้อมูล
3. ส่วนประมวลผล
4. ส่วนแสดงผล



รูปที่ 3.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนตรวจวัดของเครื่องมือจะประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง เส้นใยนำแสง และตัวตรวจจับแสง

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ส่งสัญญาณแสงเข้าสู่เส้นใยนำแสงเป็น LED MFOE 71 ที่ให้แสงความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรด ในส่วนของเส้นใยนำแสงใช้เส้นใยนำแสงพลาสติกแบบหลายโหมดชนิดสเต็ปอินเด็กซ์ โดยทำการปลอกส่วนของเคลดออก และงอให้รัศมีความโค้ง 0.5 cm สำหรับตัวตรวจจับแสงใช้สำหรับตรวจวัดระดับความเข้มของแสงที่ผ่านมาจากเส้นใยนำแสง โดยใช้พินโฟโตไดโอด MFOD 71 เป็นตัวตรวจจับแสง

ส่วนขยายสัญญาณและแปลงข้อมูล เนื่องจากสัญญาณที่ตรวจจับได้นั้นมีค่าน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณเพื่อให้มีค่ามากพอที่จะนำไปประมวลผล ในการขยายสัญญาณใช้ออปแอมป์ LM 358 โดยจะต่อในลักษณะวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส ด้วยอัตราขยายประมาณ 3.0 เท่าของสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจจับแสง

สัญญาณที่ได้จากออปแอมป์เป็นสัญญาณอนาล็อก แต่ในส่วนประมวลผลของเครื่องมือเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นระบบสัญญาณดิจิทัล จึงจำเป็นต้องแปลงสัญญาณอนาล็อกที่ได้จากออปแอมป์ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ในส่วนของการแปลงสัญญาณนี้ใช้ A/D Converter เป็นตัวแปลงสัญญาณ (ADC 0832)

ส่วนประมวลผลข้อมูลที่ได้จาก A/D Converter ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051 ของ ATMEL โดยเขียนโปรแกรมรับค่าที่ได้จาก A/D Converter แล้วคำนวณเป็นค่าแรงดัน เพื่อแสดงผลต่อไป

ส่วนแสดงผลเป็นส่วนแสดงค่าแรงดันที่วัดได้ โดยแสดงผลเป็นเลขจำนวนเต็มหนึ่งหลัก และทศนิยมสามตำแหน่ง สำหรับส่วนแสดงผลประกอบด้วย 7 Segment IC TTL เบอร์ 74LS247 ช่วยในการแสดงค่าตัวเลข IC TTL เบอร์ 74LS156 เพื่อเลือกหลักของ 7 Segment ขณะแสดงผลตัวเลข

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

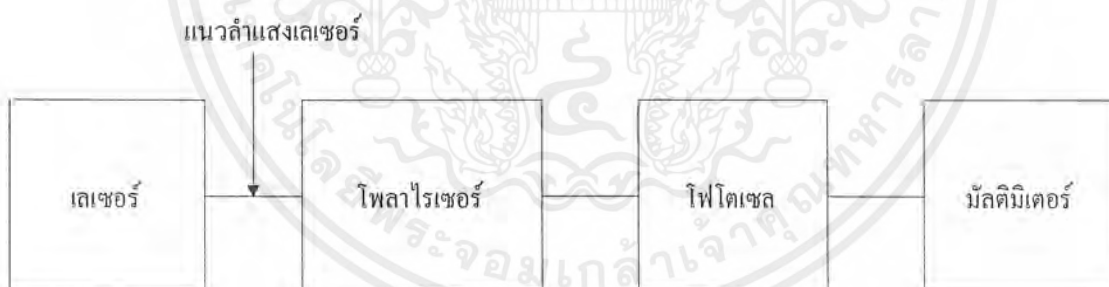
สำหรับโครงการพิเศษนี้จะมีการทดลองประกอบการศึกษาการวัดความถ่วงจำเพาะของของเหลว ดังต่อไปนี้

การทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าดัชนีหักเหกับความถ่วงจำเพาะที่เปลี่ยนแปลงไปของกรดซัลฟิวริก

ในการทดลองนี้จะเป็นการแสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปของค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกเมื่อความถ่วงจำเพาะของกรดซัลฟิวริกเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงไปของค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกเมื่อความถ่วงจำเพาะของกรดซัลฟิวริกเปลี่ยนแปลงไป จะมีผลต่อปริมาณแสงที่ตัวตรวจจับแสงของเครื่องมือที่สร้างขึ้นจะสามารถวัดได้

วิธีทดลอง

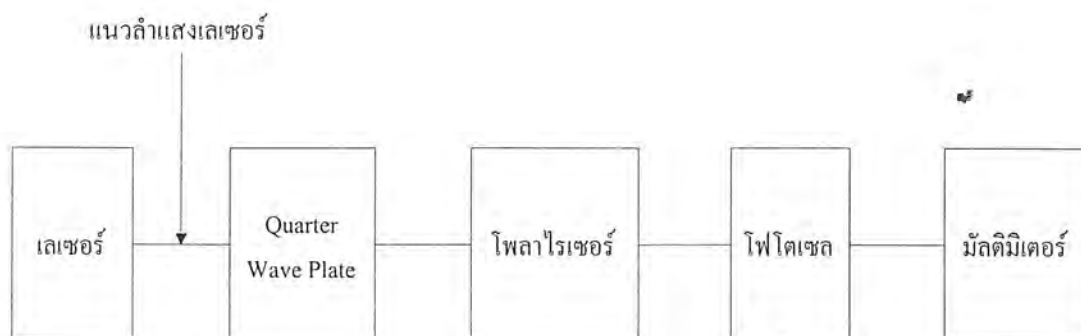
1. จัดแนวลำแสงเลเซอร์ให้ตกลงบนกลางโฟโตเซลล์พอดี
2. วางโพลาริเซอร์ระหว่างเลเซอร์และโฟโตเซลล์ โดยให้แสงสะท้อนที่เกิดจากโพลาริเซอร์ไปตกลงบนหน้าเลเซอร์ เพื่อให้ได้มุมตกกระทบเป็นศูนย์องศา ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดอุปกรณ์

3. หมุนโพลาริเซอร์ให้ได้ค่าโวลเตจที่น้อยที่สุด (V_{\min})

4. นำ Quarter Wave Plate ($\lambda/4$) มาวางให้อยู่ระหว่าง เลเซอร์กับโพลาริเซอร์ ดังรูปที่ 4.2 โดยให้แนวแสงสะท้อนที่เกิดจาก $\lambda/4$ ไปตกลงบนหน้าเลเซอร์ให้มากที่สุด จะเห็นได้ว่าเอาท์พุทที่อ่านได้จากมิเตอร์เปลี่ยนแปลงไป

รูปที่ 4.2 แสดงการจัดวาง $\lambda/4$

5. หมุน $\lambda/4$ ไปเรื่อยๆ จนอ่านค่าได้ V_{\min} อีกครั้งหนึ่ง

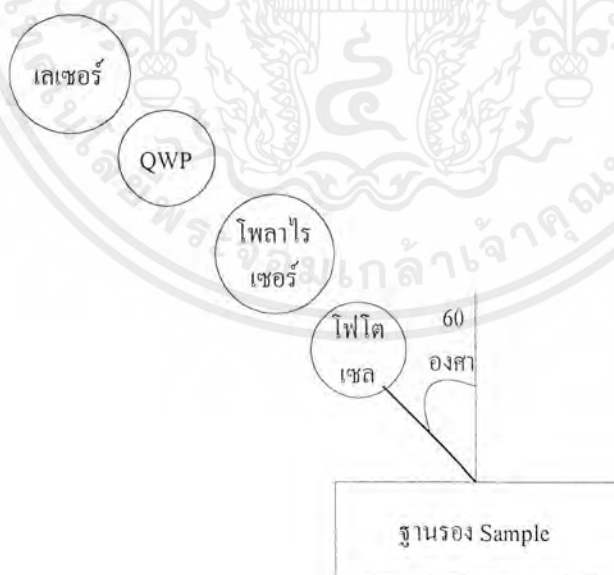
6. จากค่ามุมของ $\lambda/4$ ที่ให้ค่า V_{\min} ให้หมุน $\lambda/4$ ไปอีก 45 องศาเพื่อทำให้เกิดแสงโพลาริซ์

แบบวงกลม

7. หมุน โพลาริเซอร์ เพื่อหาค่า V_{\min}, V_{\max} บันทึกค่าทั้งสองไว้

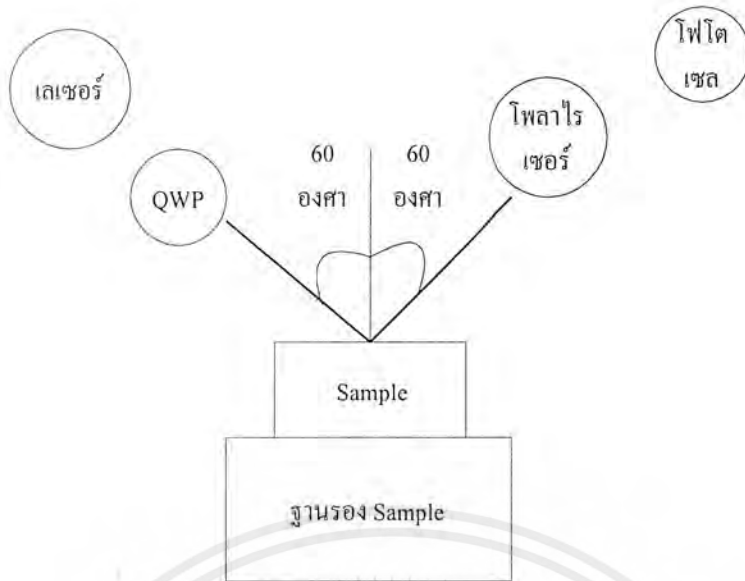
8. เอียงเลเซอร์ให้ได้แนวลำแสงตกกระทบบนฐานวาง Sample เป็นมุม 60 องศา

9. จัดวาง โฟโตเซล โพลาริเซอร์ และ $\lambda/4$ ให้เหมาะสม ดังรูปที่ 4.3 โดยเราจะไม่ทำการปรับมุมของ $\lambda/4$ ที่ได้ปรับไว้แล้วในข้อ 6



รูปที่ 4.3 แสดงการจัดอุปกรณ์ที่มุม 60 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงการจัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่มุม 60 องศา

10. วัดค่า V_{\min} และ V_{\max} อีกครั้ง โดยค่าที่ได้ควรใกล้เคียงกับค่าที่ได้ในข้อ 7
11. นำ Sample ซึ่งก็คือกรดซัลฟิวริกมาวางบนฐานรอง
12. จัดวาง โฟลาริเซอริ และ โฟโตเซล ให้สามารถวัดค่าแสงสะท้อนจาก Sample ได้
13. หมุน โฟลาริเซอริ เพื่อหาค่า $V_{\max}(I_s)$ และ $V_{\min}(I_p)$ บันทึกค่าทั้งสองไว้
14. ทำการทดลองตามข้อ 13 ซ้ำอีก 4 ครั้ง
15. เปลี่ยนมุมตกกระทบเป็น 65 และ 70 องศาตามลำดับ ที่แต่ละมุมตกกระทบ ให้ทำการทดลองตามข้อ 10 ถึง 14
16. สำหรับกรดซัลฟิวริกที่ทำการทดลองจะทำการทดลองที่ค่าความถ่วงจำเพาะ 1.23 1.21 1.20 1.19 และ 1.17 ตามลำดับ
17. นำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าดัชนีหักเหของ Sample โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$I = \frac{V_{\max} + V_{\min}}{2} \quad (4.1)$$

$$R_p = \frac{I_p}{I} \quad (4.2)$$

$$R_s = \frac{I_s}{I} \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho = \frac{r_p}{r_s} = \left(\frac{R_p}{R_s} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.4)$$

$$N = N_0 \sin \phi_0 \left[1 + \left(\frac{1-\rho}{1+\rho} \right)^2 \tan^2 \phi_0 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.5)$$

ϕ_0 คือมุมตกกระทบ

N_0 คือดัชนีหักเหของอากาศมีค่าเท่ากับ 1

การทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของแรงดันที่อ่านได้จากเครื่องมือกับความถ่วงจำเพาะที่เปลี่ยนแปลงไป

การทดลอง

นำเครื่องมือที่สร้างขึ้นทดสอบกับกรดซัลฟิวริกที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่างๆ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.15 – 1.23 แล้วบันทึกค่าแรงดันที่อ่านได้ ณ ค่าความถ่วงจำเพาะต่างๆ

ผลการทดลอง

ผลการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ของค่าดัชนีหักเหกับความถ่วงจำเพาะที่เปลี่ยนไปของกรดซัลฟิวริก

$$\begin{aligned}
 V_{\max} &= 320 \text{ mV} \\
 V_{\min} &= 315 \text{ mV} \\
 I &= (V_{\max} + V_{\min}) / 2 \text{ mV} \\
 &= (320 + 315) / 2 \text{ mV} \\
 &= 317.5 \text{ mV}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.23 ทดลองที่มุมตกกระทบ 60 องศา

ครั้งที่	แรงดันต่ำสุด V_{\min} (mV)	แรงดันสูงสุด V_{\max} (mV)
1	30	175
2	32	175
3	32	180
4	34	180
5	36	180

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.23 ทดลองที่มุมตกกระทบ 65 องศา

ครั้งที่	แรงดันต่ำสุด V_{\min} (mV)	แรงดันสูงสุด V_{\max} (mV)
1	78	195
2	82	200
3	80	200
4	80	195
5	82	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.23 ทดลองที่มุมตกกระทบ 70 องศา

ครั้งที่	แรงดันต่ำสุด V_{\min} (mV)	แรงดันสูงสุด V_{\max} (mV)
1	120	215
2	120	215
3	120	212
4	118	210
5	118	210

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.21 ทดลองที่มุมตกกระทบ 60 องศา

ครั้งที่	แรงดันต่ำสุด V_{\min} (mV)	แรงดันสูงสุด V_{\max} (mV)
1	36	170
2	35	170
3	37	175
4	38	180
5	38	175

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.21 ทดลองที่มุมตกกระทบ 65 องศา

ครั้งที่	แรงดันต่ำสุด V_{\min} (mV)	แรงดันสูงสุด V_{\max} (mV)
1	72	195
2	72	195
3	71	195
4	74	195
5	73	195

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.21 ทดลองที่มุมตกกระทบ 70 องศา

ครั้งที่	แรงดันต่ำสุด V_{\min} (mV)	แรงดันสูงสุด V_{\max} (mV)
1	120	218
2	120	218
3	120	215
4	120	218
5	120	220

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.20 ทดลองที่มุมตกกระทบ 60 องศา

ครั้งที่	แรงดันต่ำสุด V_{\min} (mV)	แรงดันสูงสุด V_{\max} (mV)
1	28	170
2	27	165
3	28	165
4	28	168
5	28	168

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.20 ทดลองที่มุมตกกระทบ 65 องศา

ครั้งที่	แรงดันต่ำสุด V_{\min} (mV)	แรงดันสูงสุด V_{\max} (mV)
1	65	185
2	66	185
3	66	188
4	65	185
5	66	188

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.20 ทดลองที่มุมตกกระทบ 70 องศา

ครั้งที่	แรงดันต่ำสุด V_{\min} (mV)	แรงดันสูงสุด V_{\max} (mV)
1	118	215
2	120	218
3	120	218
4	120	218
5	120	218

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.19 ทดลองที่มุมตกกระทบ 60 องศา

ครั้งที่	แรงดันต่ำสุด V_{\min} (mV)	แรงดันสูงสุด V_{\max} (mV)
1	28	165
2	28	165
3	28	165
4	28	165
5	27	165

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.19 ทดลองที่มุมตกกระทบ 65 องศา

ครั้งที่	แรงดันต่ำสุด V_{\min} (mV)	แรงดันสูงสุด V_{\max} (mV)
1	64	180
2	64	180
3	64	180
4	66	180
5	66	180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของ
กรดซัลฟิวริกที่ความถี่จำเพาะ 1.19 ทดลองที่มุมตกกระทบ 70 องศา

ครั้งที่	แรงดันต่ำสุด V_{\min} (mV)	แรงดันสูงสุด V_{\max} (mV)
1	120	210
2	118	210
3	118	212
4	118	212
5	118	212

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของ
กรดซัลฟิวริกที่ความถี่จำเพาะ 1.17 ทดลองที่มุมตกกระทบ 60 องศา

ครั้งที่	แรงดันต่ำสุด V_{\min} (mV)	แรงดันสูงสุด V_{\max} (mV)
1	32	165
2	30	165
3	29	165
4	30	165
5	30	165

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของ
กรดซัลฟิวริกที่ความถี่จำเพาะ 1.17 ทดลองที่มุมตกกระทบ 65 องศา

ครั้งที่	แรงดันต่ำสุด V_{\min} (mV)	แรงดันสูงสุด V_{\max} (mV)
1	64	180
2	68	185
3	66	180
4	64	180
5	64	180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่วัดได้ในการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของ
กรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.17 ทดลองที่มุมตกกระทบ 70 องศา

ครั้งที่	แรงดันต่ำสุด V_{\min} (mV)	แรงดันสูงสุด V_{\max} (mV)
1	115	210
2	118	210
3	118	210
4	120	210
5	118	210

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าดัชนีหักเห

จากการทดลองที่ความถี่เฉพาะ 1.17 ที่มุมตกกระทบ 70 องศา ในการวัดครั้งที่ 1
 $V_{\min}(I_p) = 115 \text{ mV}$ และ $V_{\max}(I_s) = 210 \text{ mV}$ สามารถหาค่าดัชนีหักเห ได้ดังนี้

$$I = 317.5 \text{ mV}$$

$$\begin{aligned} R_p &= I_p(V_{\min})/I \\ &= 115/317.5 \\ &= 0.3622 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_s &= I_s(V_{\max})/I \\ &= 210/317.5 \\ &= 0.6614 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \left(\frac{R_p}{R_s} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= \left(\frac{0.3622}{0.6614} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= 0.74 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = N_0 \sin \phi_0 \left[1 + \left(\frac{1-\rho}{1+\rho} \right)^2 \tan^2 \phi_0 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$N_0 = 1$$

$$\sin 70^\circ = 0.9397$$

$$\tan^2 70^\circ = 7.5486$$

$$N = 1.0157$$

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.23 ทดลองที่มุมตกกระทบ 60 องศา

ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 1)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 2)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 3)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 4)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 5)
1.066	1.0544	1.0594	1.0485	1.0383
ดัชนีหักเหเฉลี่ย	1.0533			

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.23 ทดลองที่มุมตกกระทบ 65 องศา

ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 1)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 2)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 3)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 4)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 5)
1.0064	1.0015	1.0064	1.0013	1.0015
ดัชนีหักเหเฉลี่ย	1.0034			

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.23 ทดลองที่มุมตกกระทบ 70 องศา

ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 1)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 2)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 3)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 4)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 5)
1.0114	1.0114	1.0081	1.0098	1.0098
ดัชนีหักเหเฉลี่ย	1.0101			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.21 ทดลองที่มุมตกกระทบ 60 องศา

ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 1)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 2)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 3)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 4)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 5)
1.0284	1.0333	1.0287	1.0288	1.024
ดัชนีหักเหเฉลี่ย	1.0286			

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.21 ทดลองที่มุมตกกระทบ 65 องศา

ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 1)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 2)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 3)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 4)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 5)
1.0228	1.0228	1.0259	1.0171	1.02
ดัชนีหักเหเฉลี่ย	1.0217			

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.21 ทดลองที่มุมตกกระทบ 70 องศา

ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 1)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 2)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 3)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 4)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 5)
1.0144	1.0144	1.0114	1.0144	1.0167
ดัชนีหักเหเฉลี่ย	1.0143			

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.20 ทดลองที่มุมตกกระทบ 60 องศา

ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 1)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 2)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 3)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 4)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 5)
1.0732	1.0746	1.0677	1.071	1.071
ดัชนีหักเหเฉลี่ย	1.0715			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.20 ทดลองที่มุมตก
กระทบ 65 องศา

ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 1)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 2)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 3)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 4)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 5)
1.0336	1.0304	1.0336	1.0336	1.0336
ดัชนีหักเหเฉลี่ย	1.033			

ตารางที่ 4.24 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.20 ทดลองที่มุมตก
กระทบ 70 องศา

ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 1)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 2)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 3)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 4)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 5)
1.0154	1.0144	1.0144	1.0144	1.0144
ดัชนีหักเหเฉลี่ย	1.0397			

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.19 ทดลองที่มุมตก
กระทบ 60 องศา

ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 1)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 2)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 3)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 4)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 5)
1.0677	1.0677	1.0677	1.0677	1.0746
ดัชนีหักเหเฉลี่ย	1.0691			

ตารางที่ 4.26 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.19 ทดลองที่มุมตก
กระทบ 65 องศา

ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 1)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 2)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 3)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 4)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 5)
1.0311	1.0311	1.0311	1.0245	1.0245
ดัชนีหักเหเฉลี่ย	1.0285			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.27 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.19 ทดลองที่มุมตก
กระทบ 70 องศา

ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 1)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 2)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 3)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 4)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 5)
1.0058	1.0098	1.0118	1.0118	1.0118
ดัชนีหักเหเฉลี่ย	1.0102			

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.17 ทดลองที่มุมตก
กระทบ 60 องศา

ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 1)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 2)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 3)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 4)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 5)
1.0755	1.0553	1.0616	1.0553	1.0553
ดัชนีหักเหเฉลี่ย	1.0606			

ตารางที่ 4.29 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.17 ทดลองที่มุมตก
กระทบ 65 องศา

ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 1)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 2)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 3)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 4)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 5)
1.0311	1.0256	1.0243	1.0311	1.0311
ดัชนีหักเหเฉลี่ย	1.0286			

ตารางที่ 4.30 แสดงค่าดัชนีหักเหของกรดซัลฟิวริกที่ความถี่เฉพาะ 1.17 ทดลองที่มุมตก
กระทบ 70 องศา

ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 1)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 2)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 3)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 4)	ดัชนีหักเห (ครั้งที่ 5)
1.0157	1.0098	1.0098	1.0058	1.0098
ดัชนีหักเหเฉลี่ย	1.0331			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.31 แสดงค่าดัชนีหักเหที่ทดลอง

ความถี่เฉพาะ	ดัชนีหักเหที่มุม		
	60 องศา	65 องศา	70 องศา
1.23	1.0533	1.0034	1.0101
1.21	1.0286	1.0217	1.0143
1.20	1.0715	1.033	1.0146
1.19	1.0691	1.0285	1.0102
1.17	1.0606	1.0286	1.0102

ผลการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ของแรงดันที่อ่านได้จากเครื่องมือกับความถี่เฉพาะที่เปลี่ยนไป

ตารางที่ 4.32 แสดงแรงดันที่อ่านได้ที่ความถี่เฉพาะต่างๆ

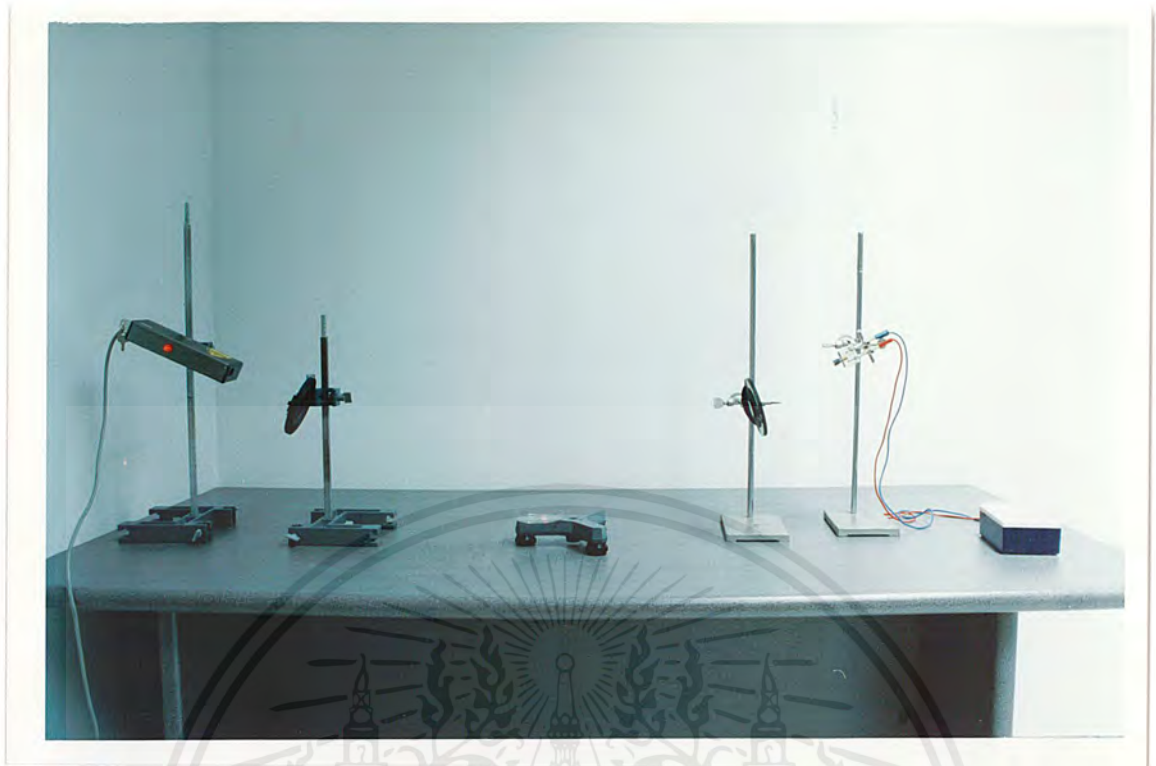
ความถี่เฉพาะ	แรงดันที่อ่านได้ (V)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
1.25	2.470	2.470	2.470	2.470	2.470
1.24	2.529	2.529	2.529	2.529	2.529
1.23	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
1.22	2.608	2.608	2.608	2.608	2.608
1.21	2.647	2.627	2.627	2.627	2.627
1.20	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627
1.19	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666
1.18	2.686	2.706	2.686	2.686	2.686
1.17	2.725	2.725	2.725	2.706	2.706
1.16	2.745	2.745	2.745	2.725	2.725
1.15	2.745	2.745	2.745	2.745	2.745

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.33 แสดงแรงดันเฉลี่ย

ความถ่วงจำเพาะ	แรงดันที่อ่านได้เฉลี่ย (V)
1.25	2.470
1.24	2.529
1.23	2.549
1.22	2.608
1.21	2.631
1.20	2.627
1.19	2.666
1.18	2.690
1.17	2.717
1.16	2.737
1.15	2.745

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



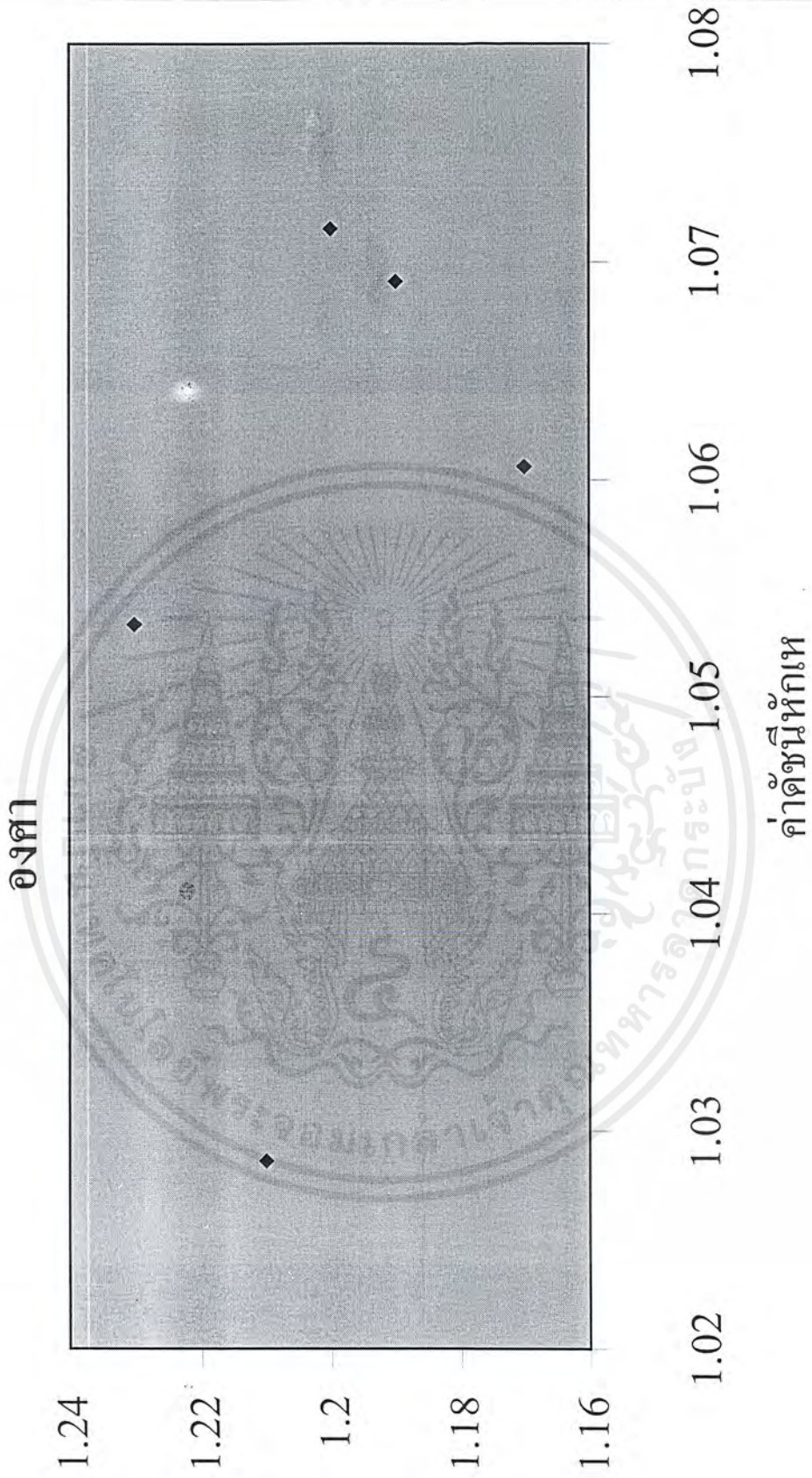
รูปที่ 4.5 แสดงการจัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่มุม 60 องศา



รูปที่ 4.6 แสดงเครื่องมือที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

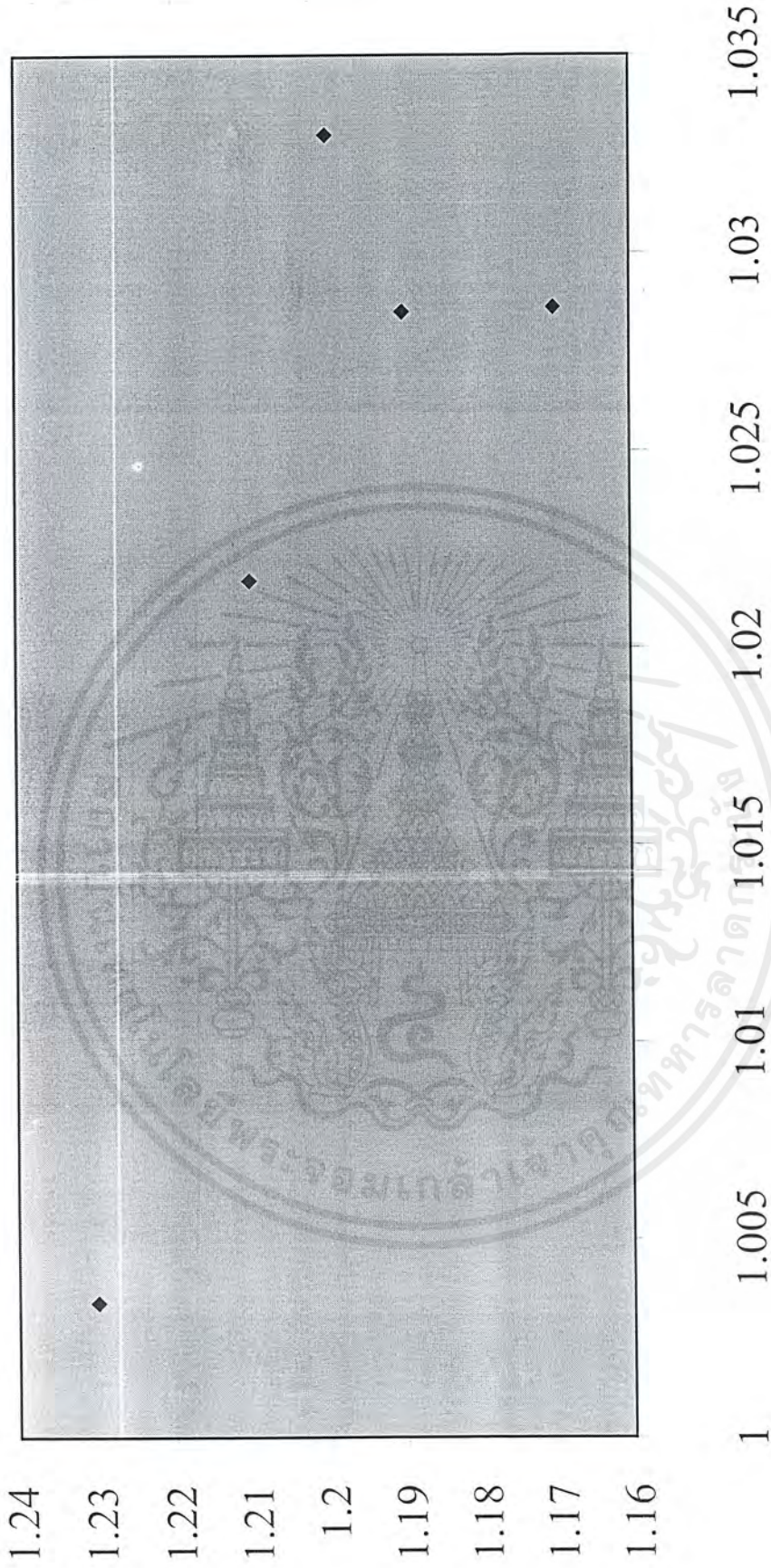
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่จำเพาะกับค่าดัชนีหักเหที่มุม 60 องศา



๑๒๓๔๕๖๗๘๙๑๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าจ้างประจำกับค่าดัชนีหักเหที่มุม 65 องศา



ค่าดัชนีหักเห

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

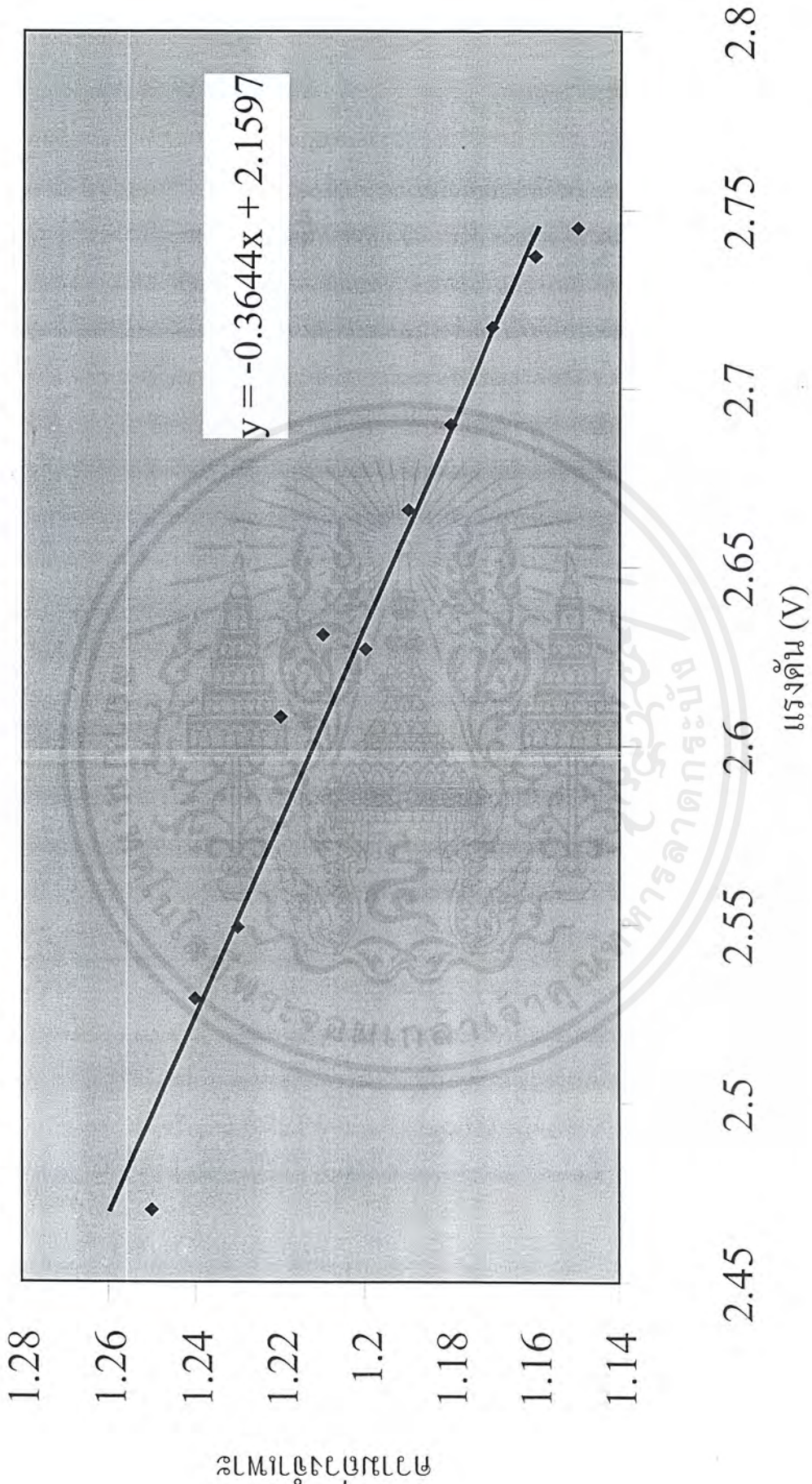
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถ่วงจำเพาะกับค่าดัชนีหักเหที่มุม 70 องศา



ความถ่วงจำเพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่ของค่าพ้องกับแรงดันที่อ่านได้จากเครื่องมือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ของความถี่ของความถี่กับความถี่ของกรดซัลฟิวริก พบว่าที่ทุกๆมุมที่ใช้ทดลอง เมื่อความถี่ของความถี่ของกรดซัลฟิวริกลดลง ค่าความถี่ของความถี่ของกรดซัลฟิวริกมีการเปลี่ยนแปลงไป แสดงว่าเมื่อนำเส้นใยนำแสงที่ปลอกส่วนของแคลคอก แล้วปล่อยแสงให้ผ่านไปในเส้นใยนำแสง และนำส่วนที่ปลอกแคลคอกนั้น มาจุ่มลงในกรดซัลฟิวริกที่มีความถี่ของความถี่ต่างๆ ย่อมจะได้ค่าแรงดันที่แตกต่างกัน

จากการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ของค่าแรงดันที่อ่านได้จากเครื่องมือกับความถี่ของความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าแรงดันที่อ่านได้มีความสัมพันธ์กับความถี่ของความถี่ในลักษณะเชิงเส้น กล่าวคือเมื่อความถี่ของความถี่มีค่าลดลงแรงดันที่อ่านได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยความสัมพันธ์

$$y = -0.3644x + 2.1597 \quad (3.1)$$

โดย y คือความถี่ของความถี่ของกรดซัลฟิวริก

x คือแรงดันที่อ่านได้จากเครื่องมือ

ซึ่งจากความสัมพันธ์ข้างต้นจะเห็นได้ว่า หากทราบค่าแรงดันที่อ่านได้ ก็จะสามารถรู้ได้ว่า กรดซัลฟิวริกที่วัดนั้นมีความถี่ของความถี่ประมาณเท่าใด และจากความสัมพันธ์ข้างต้นแสดงให้เห็นว่าสามารถนำเส้นใยนำแสงมาเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความถี่ของความถี่ของกรดซัลฟิวริกได้

แนวทางการพัฒนา

1. ทำการเก็บข้อมูลความสัมพันธ์ของความถี่กับความถี่กับแรงดันที่อ่านได้ให้มีจำนวนมาก แล้วนำมาพลอตกราฟ เพื่อให้ได้สมการความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองที่ถูกต้องมากที่สุด ซึ่งจะประโยชน์ในการเขียนโปรแกรมให้เครื่องมือมีการแสดงผลของข้อมูลในลักษณะที่เป็นค่าความถี่ของความถี่ออกมา หรือมีการแสดงผลในลักษณะที่บอกถึงสถานะของประจุที่อยู่ในแบตเตอรี่ (ดังตารางที่ 2.2)

2. สามารถนำไปประยุกต์เป็นเครื่องมือวัดค่า pH ของของเหลวได้

เอกสารอ้างอิง

- 1.“แหล่งจ่ายไฟสำหรับนักอิเล็กทรอนิกส์ ชุดแบตเตอรี่และเครื่องชาร์จ”,ซีอีเคยูเคชั่น,2538.
- 2.สุวรรณ คุณสำราญ,“ทัศนศาสตร์กายภาพ”,ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2537.
- 3.“Melles Griot catalog”,1995/96.
- 4.AZZAM,R.M.A and BASHARA,N.M.(1977),“Ellipsometry and Polarised Light”. (Amsterdam:North Holland.).
- 5.Douglas C.Giancoli,“ Physics”,Prentice Hall,1995.
- 6.G.P.Hancke,“A fiber optic density sensor for monitoring the state of charge of a lead acid battery”,IEEE Trans.Instru.Meas.,vol 39,Feb 1990.
- 7.G.P.Hancke,“ The measurement of the relative density of homogenous fluid by means of an optical technique”,IEEE Tran.Instru.Meas.,vol 41,Dec 1992.
- 8.Kraut,George P.,“ Fluid mechanics for technicians”,Macmillian Publishing Company,1992.
- 9.Senior,John M.,“Optical fiber communication:principles and practice”.Prentice Hall,1992.
- 10.Shotwell,R.Allen,“ An introduction to fiber optic ”,Prentice Hall,1997.
- 11.Zbar,Paul B.,“ Basic electronics:a text lab manual”,McGraw-Hill,1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ORG 0000H	NOP
LJMP MAIN	NOP
ORG 0040H	NOP
	SETB P3.4
; ** SET UP ADC 0832 **	NOP
	NOP
MAIN: CLR P3.4	
NOP	; ** GET DATA FROM ADC 0832 **
CLR P3.5	
SETB P3.3	CLR P3.4
NOP	NOP
SETB P3.4	NOP
NOP	MOV C,P3.7
NOP	MOV ACC.7,C
	SETB P3.4
CLR P3.4	NOP
NOP	NOP
NOP	CLR P3.4
NOP	NOP
SETB P3.4	NOP
NOP	MOV C,P3.7
NOP	MOV ACC.6,C
	SETB P3.4
CLR P3.4	NOP
NOP	NOP
NOP	
NOP	CLR P3.4
NOP	NOP
SETB P3.4	NOP
NOP	MOV C,P3.7
NOP	MOV ACC.5,C
	SETB P3.4
CLR P3.4	NOP
NOP	NOP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	NOP
MOV ACC.2,C	NOP
CLR P3.4	
NOP	CLR P3.4
NOP	NOP
MOV C,P3.7	NOP
MOV ACC.4,C	MOV C,P3.7
SETB P3.4	MOV ACC.0,C
NOP	SETB P3.4
NOP	NOP
	SETB P3.5
CLR P3.4	NOP
NOP	
NOP	; ** CONVERT DATA FROM ADC
MOV C,P3.7	0832 FOR DISPLAY **
MOV ACC.3,C	
SETB P3.4	MOV 05H,#61H
NOP	MOV 06H,#19H
NOP	MOV 07H,#00H
	MOV 23H,05H
CLR P3.4	MOV 24H,06H
NOP	MOV 25H,07H
NOP	CLR C
MOV C,P3.7	
MOV ACC.2,C	MOV 36H,A
SETB P3.4	CJNE A,#00H,NO_1
NOP	LJMP ZERO
NOP	
	NO_1: CJNE A,#01H,CALCULATE
CLR P3.4	LJMP ONE
NOP	
NOP	CALCULATE: DEC 36H
MOV C,P3.7	CAL: LCALL SUM
MOV ACC.1,C	DJNZ 36H,CAL
SETB P3.4	LCALL DISPLAY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCALL SEND	MOV 25H,#00H
LCALL DISPLAY1	LCALL DISPLAY
LCALL SEND	LCALL SEND
LCALL DISPLAY2	LCALL DISPLAY1
LCALL SEND	LCALL SEND
LCALL DISPLAY3	LCALL DISPLAY2
LCALL SEND	LCALL SEND
LJMP CLR_DIS	LCALL DISPLAY3
	LCALL SEND
SUM: MOV R0,#23H	LJMP CLR_DIS
MOV R1,#05H	
MOV 37H,#03H	DISPLAY: MOV R0,#25H
	MOV R1,#03H
SUB_SUM: MOV A,@R0	MOV A,@R0
ADDC A,@R1	LCALL PRE_DIS
DA A	RET
MOV @R0,A	DISPLAY1: DEC R1
INC R0	MOV A,@R0
INC R1	LCALL PRE_DIS1
DJNZ 37H,SUB_SUM	RET
RET	
ZERO: MOV 24H,#00H	DISPLAY2: DEC R1
MOV 25H,#00H	DEC R0
LCALL DISPLAY	MOV A,@R0
LCALL SEND	LCALL PRE_DIS
LCALL DISPLAY1	RET
LCALL SEND	
LCALL DISPLAY2	CLR_DIS: MOV R1,#00H
LCALL SEND	MOV A,#0FH
LCALL DISPLAY3	LCALL SEND1
LCALL SEND	LJMP MAIN
LJMP CLR_DIS	
	DISPLAY3: DEC R1
ONE: MOV 24H,#19H	MOV A,@R0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                LCALL PRE_DIS1
                RET
                MOV P3.1,C
                LCALL DELAY
                RET

PRE_DIS: SWAP A
                ANL A,#0FH
                RET

PRE_DIS1: ANL A,#0FH
                RET
                END

```

```

SEND: MOV 20H,R1
       CJNE R1,#03H,DOT
       CLR P3.2
       MOV P1,A
       MOV C,00H
       MOV P3.0,C
       MOV C,01H
       MOV P3.1,C
       LCALL DELAY
       RET

```

```

DOT: SETB P3.2
     MOV P1,A
     MOV C,00H
     MOV P3.0,C
     MOV C,01H
     MOV P3.1,C
     LCALL DELAY
     RET

```

```

SEND1: MOV P1,A
        MOV 20H,R1
        MOV C,00H
        MOV P3.0,C

```

```

        MOV C,01H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54156 / 74156 Dual 2-Line-to-4-Line Decoder / Demultiplexer with Open-Collector Output

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL				
	Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			
		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF	
T. I.																					
FAIRCHILD																					
MOTOROLA																					
N. S. C.																					
PHILIPS																					
SIGNETICS																					
SIEMENS																					
FUJITSU																					
HITACHI																					
MITSUBISHI																					
NEC																					
TOSHIBA																					

Electrical Characteristics SN54LS156/SN74LS156

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V	Storage temperature range	SN74LS	0°C to 70°C
				-65°C to 150°C

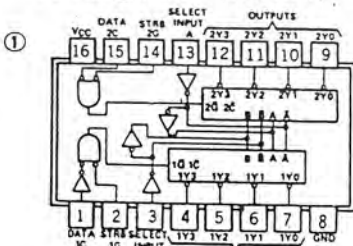
recommended operating conditions

	SN54LS156			SN74LS156			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output voltage, V _{OH}			5.5			5.5	V
Low-level output current, I _{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T _A	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER*	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V _{IH} High-level input voltage		2			V
V _{IL} Low-level input voltage				0.8	V
V _I Input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = -18 mA			-1.5	V
I _{OH} High-level output current	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, V _{IL} = 0.8V, V _{OH} = 5.5V			100	µA
V _{OL} Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, V _{IL} = 0.8V, I _{OL} = 8 mA	0.35		0.5	V
I _I Input current at maximum input voltage	V _{CC} = MAX, V _I = 7V			0.1	mA
I _{IH} High-level input current	V _{CC} = MAX, V _I = 2.7V			20	µA
I _{IL} Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _I = 0.4V			-0.4	mA
I _{CC} Supply current	V _{CC} = MAX, See Note 2			6.1	10 mA
				6.1	10 mA
I _{PLH} from A, B, 2C, 1C, or 2G to output Y	2 V _{CC} = 5V, T _A = 25°C			25	40 ns
I _{PHL} from A or B to output Y	2 LEVELS OF LOGIC			34	51 ns
I _{PLH} from A or B to output Y	3 C _L = 15pF, R _L = 2kΩ			31	46 ns
I _{PHL} from A or B to output Y	3 See Note 3			34	51 ns
I _{PLH} from 1C to output Y	3			32	48 ns
I _{PHL} from 1C to output Y	3			32	48 ns

Pin Assignment (Top View)



positive logic: see function table

Function Tables

156. 156. 'LS156 2-LINE-TO-4-LINE DECODER OR 1-LINE-TO-4-LINE DEMULTIPLEXER

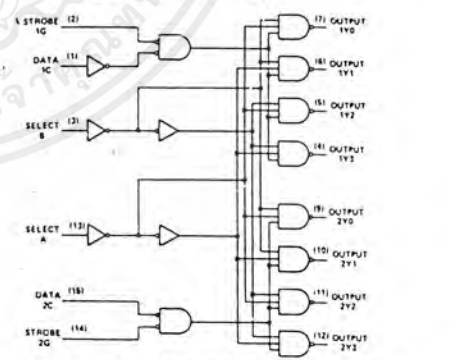
INPUTS				OUTPUTS			
SELECT	STROBE	DATA	IC	1Y0	1Y1	1Y2	1Y3
B	A	10	10	H	H	H	H
L	L	L	L	H	H	H	H
L	L	L	H	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L
L	L	H	H	L	L	L	L
L	H	L	L	L	L	L	L
L	H	L	H	L	L	L	L
L	H	H	L	L	L	L	L
L	H	H	H	L	L	L	L
X	X	X	L	H	H	H	H

156. 'LS156 3-LINE-TO-8-LINE DECODER OR 1-LINE-TO-8-LINE DEMULTIPLEXER

INPUTS				OUTPUTS							
SELECT	STROBE	OR DATA	Q1	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
C	B	A	Q1	2Y0	2Y1	2Y2	2Y3	1Y0	1Y1	1Y2	1Y3
X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L
L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	H	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L
L	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L
H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
H	H	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L
H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L
H	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L

1C = inputs 1C and 2C connected together
1G = inputs 1G and 2G connected together
H = high level, L = low level, X = irrelevant

Functional Block Diagram



156. 'LS156 DUAL 2-LINE-TO-4-LINE DECODER/DEMULTIPLEXER

NOTE 2: I_{CC} is measured with outputs open, A, B, and 1C inputs at 4.5V, and 2C, 1G, and 2G inputs grounded.

†For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operations conditions.
‡All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
*I_{PLH} = propagation delay time, low-to-high level output
*I_{PHL} = propagation delay time, high-to-low level output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54247/74247 BCD-to-seven-segment Decoder/Driver with Open-Collector Output

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL						
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package				
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	R	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF			
T.I.									SN54LS247	J	L			SN54247	J	L							
FAIRCHILD									SN74LS247	J	L	N		SN74247	J	L	N						
MOTOROLA																							
N.S.C.																							
PHILIPS																							
SIGNETICS																							
SIEMENS																							
FUJITSU																							
HITACHI									HD74LS247			P											
MITSUBISHI																							
NEC																							
TOSHIBA																	TD74247			P			

Electrical Characteristics SN54LS247/SN74LS247

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C
Current forced into any output in the off state	1mA	Storage temperature range		-65°C to 150°C

recommended operating conditions

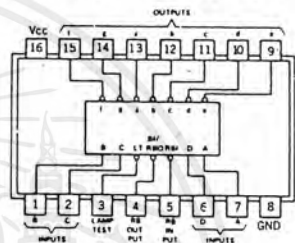
	SN54LS247			SN74LS247			UNIT		
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX			
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V		
Off-state output voltage, V _O (off)	a thru g						15	V	
On-state output current, I _O (on)	a thru g						12	mA	
High-level output current, I _{OH}	BI/RBO						-50	μA	
Low-level output current, I _{OL}	BI/RBO						1.6	3.2	mA
Operating free-air temperature, T _A	-55			125			0	70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER*	TEST CONDITIONS†	MIN	NOM‡	MAX	UNIT
V _{IH} High-level input voltage		2			V
V _{IL} Low-level input voltage		0.8			V
V _I Input clamp voltage	V _{CC} =MIN, I _I =-18mA	-1.5			V
V _{OH} High-level output voltage	BI/RBO, V _{CC} =MIN, V _{IH} =2V, V _{IL} =0.8V, I _{OH} =-50μA	2.4	4.2		V
V _{OL} Low-level output voltage	BI/RBO, V _{CC} =MIN, V _{IH} =2V, V _{IL} =0.8V, I _{OL} =3.2mA	0.35	0.5		V
I _O (off) Off-state output current	a thru g, V _{CC} =MAX, V _{IH} =2V, V _O (off)=MAX	250			μA
I _O (on) On-state output current	a thru g, V _{CC} =MAX, V _{IH} =2V, V _{IL} =0.8V, I _O (on)=24mA	0.35	0.5		V
I _I Input current at maximum input voltage	Any input except BI/RBO, V _{CC} =MAX, V _I =7V	0.1			mA
I _{IH} High-level input current	Any input except BI/RBO, V _{CC} =MAX, V _I =2.7V	20			μA
I _{IL} Low-level input current	Any input except BI/RBO, V _{CC} =MAX, V _I =0.4V	0.4			mA
I _{OS} Short-circuit output current	BI, RBO, V _{CC} =MAX	-0.3 -2			mA
I _{CC} Supply current	V _{CC} =MAX, See Note 1	7	13		mA
t _{off} Turn-off time from A input	V _{CC} =5V, T _A =25°C, C _L =15pF, R _L =66Ω	100			ns
t _{on} Turn-on time from A input		100			ns
t _{off} Turn-off time from RBI input		100			ns
t _{on} Turn-on time from RBI input		100			ns

- NOTES: 1. I_{CC} is measured with all outputs open and all inputs at 4.5V.
 2. The blanking input (BI) must be open or held at a high logic level when output functions 0 through 15 are desired. The ripple-blanking input (RBI) must be open or high if blanking of a decimal zero is not desired.
 3. When a low logic level is applied directly to the blanking input (BI), all segment outputs are off regardless of the level of any other input.

Pin Assignment (Top view)



positive logic: see function table

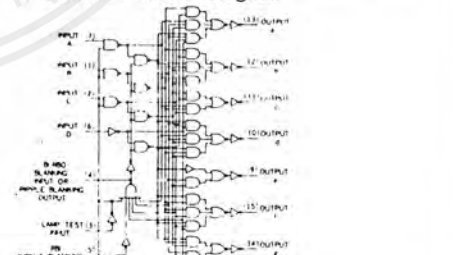
Function Table

DECIMAL FUNCTION	A	B	C	D	E	F	BI	RBI	RBO	0	1	2	3	4	5	6	7
0	H	L	L	L	L	L	H	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
1	H	L	L	L	L	H	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
2	H	L	L	L	H	L	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
3	H	L	L	H	L	L	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
4	H	L	H	L	L	L	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
5	H	L	H	L	H	L	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
6	H	L	H	H	L	L	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
7	H	L	H	H	H	L	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
8	H	H	L	L	L	L	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
9	H	H	L	L	L	H	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
10	H	H	L	L	H	L	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
11	H	H	L	H	L	L	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
12	H	H	L	H	H	L	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
13	H	H	L	H	H	H	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
14	H	H	H	L	L	L	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
15	H	H	H	L	L	H	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
16	H	H	H	H	L	L	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
17	H	H	H	H	L	H	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
18	H	H	H	H	H	L	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH
19	H	H	H	H	H	H	H	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH

*247, *LS247



Functional Block Diagram



4. When ripple-blanking input (RBI) and inputs A, B, C, and D are at a low level with the lamp test input high, all segment outputs go off and the ripple-blanking output (RBO) goes to a low level (response condition).
 5. When the blanking input/ripple blanking output (BI/RBO) is open or held high and a low is applied to the lamp-test input, all segment outputs are on.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
 ‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
 * t_{off} corresponds to t_{PLH} and t_{on} corresponds to t_{PHL}.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fiber Optics — FLCS Family Infrared LED

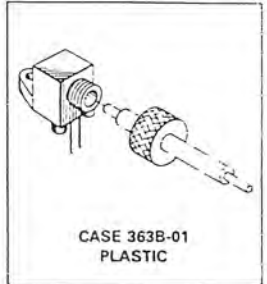
MFOE71

FLCS FAMILY
FIBER OPTICS
INFRARED LED
820 nm

... designed for low cost, medium frequency, short distance Fiber Optics Systems using 1000 micron core plastic fiber.

Typical applications include: high isolation interconnects, disposable medical electronics, consumer products, and microprocessor controlled systems such as coin operated machines, copy machines, electronic games, industrial clothes dryers, etc.

- Fast Response — > 10 MHz
- Spectral Response Matched to FLCS Detectors: MFOD71, 72, 73, 75
- FLCS Package
 - Low Cost
 - Includes Connector
 - Simple Fiber Termination and Connection
 - Easy Board Mounting
 - Molded Lens for Efficient Coupling
 - Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber (Eska SH4001)



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	V_R	6	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
— Peak Pulse		1	A
Total Power Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C)	$P_D(1)$	150 2	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-40 to +100	°C
Lead Solder Temperature (5 sec. max; 1/16 inch from case)	—	260	°C

(1) Measured with the device soldered into a typical printed circuit board.

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

Characteristic	Fig. No.	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Reverse Breakdown Voltage ($I_R = 100 \mu\text{A}$)	—	$V_{(BR)R}$	2	4	—	Volts
Forward Voltage ($I_F = 100 \text{ mA}$)	—	V_F	—	1.5	2	Volts

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

Characteristic	Fig. No.	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Power Launched ($I_F = 100 \text{ mA}$)	4, 5	P_L	110	165	—	μW
Optical Rise and Fall Time ($I_F = 100 \text{ mA}$) Figure 5	2	t_r, t_f	—	25	35	ns
Peak Wavelength ($I_F = 100 \text{ mA}$)	1	λ_p	—	820	—	nm

For simple fiber termination instructions, see the MFOD71, 72 and 73 data sheets.

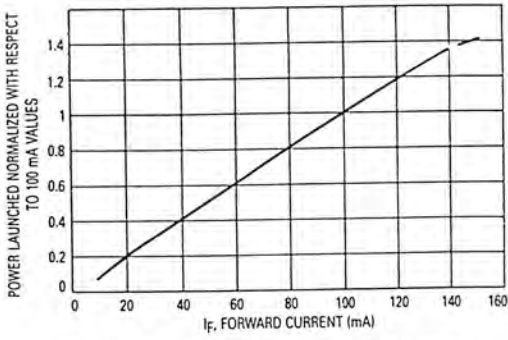


Figure 1. Normalized Power Launched versus Forward Current

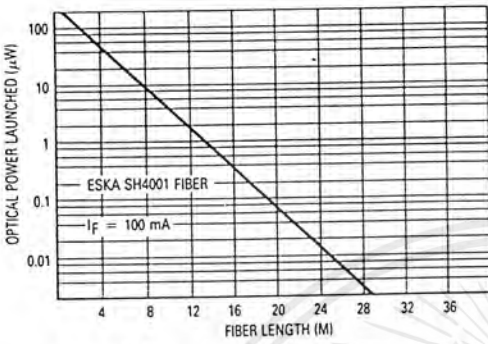


Figure 2. Power Launched versus Fiber Length

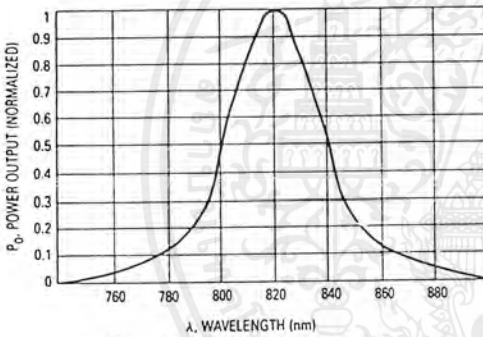


Figure 3. Typical Spectral Output versus Wavelength

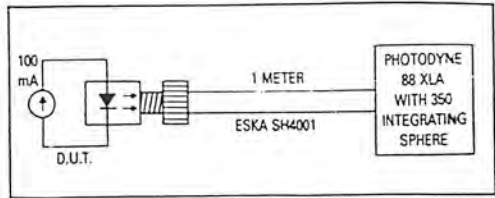


Figure 4. Power Launched Test Set

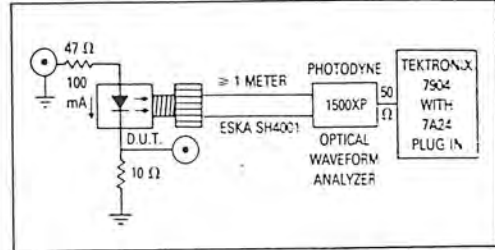
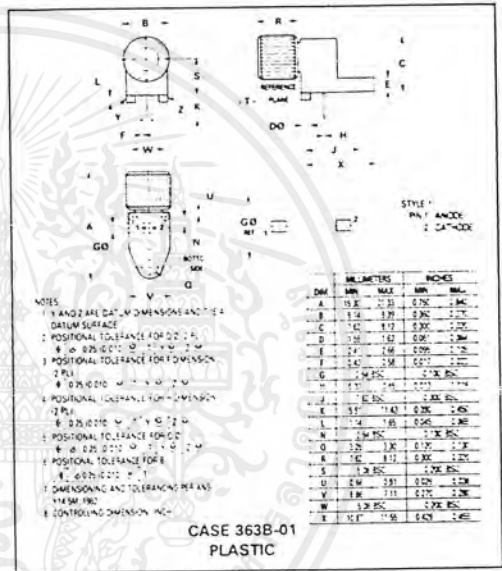


Figure 5. Optical Rise and Fall Time Test Set (10%-90%)



Fiber Optics — FLCS Family Photo Detector Diode Output

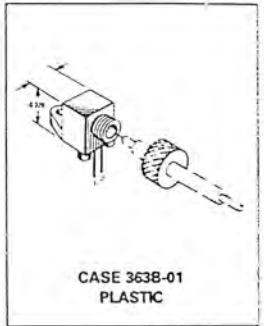
MFOD71

FLCS FAMILY
FIBER OPTICS
PHOTO DETECTOR
DIODE OUTPUT

... designed for low cost, short distance Fiber Optic Systems using 1000 micron core plastic fiber.

Typical applications include: high isolation interconnects, disposable medical electronics, consumer products, and microprocessor controlled systems such as coin operated machines, copy machines, electronic games, industrial clothes dryers, etc.

- Fast PIN Photodiode: Response Time <5 ns
- Ideally Matched to MFOE76 Emitter for Plastic Fiber Systems
- Annular Passivated Structure for Stability and Reliability
- FLCS Package
 - Includes Connector
 - Simple Fiber Termination and Connection (Figure 4)
 - Easy Board Mounting
 - Molded Lens for Efficient Coupling
 - Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber (Eska SH4001)



5

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

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	V_R	100	Volts
Total Power Dissipation (θ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C)	P_D	150 2	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-40 to +100	°C

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Dark Current ($V_R = 20\text{ V}, R_L = 1\text{ M}\Omega$) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 85^\circ\text{C}$	I_D	—	0.06 10	10	nA
Reverse Breakdown Voltage ($I_R = 10\ \mu\text{A}$)	$V_{(BR)R}$	50	100	—	Volts
Forward Voltage ($I_F = 50\text{ mA}$)	V_F	—	—	1.1	Volts
Series Resistance ($I_F = 50\text{ mA}$)	R_s	—	8	—	Ohms
Total Capacitance ($V_R = 20\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$)	C_T	—	3	—	pF

OPTICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Responsivity ($V_R = 5\text{ V}$, Figure 2)	R	0.15	0.2	—	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Response Time ($V_R = 5\text{ V}, R_L = 50\ \Omega$)	$t_{(resp)}$	—	5	—	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL COUPLED CHARACTERISTICS

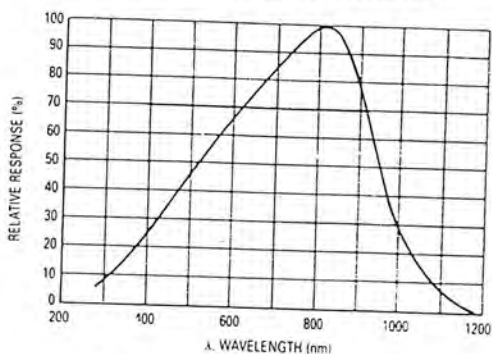


Figure 1. Relative Spectral Response

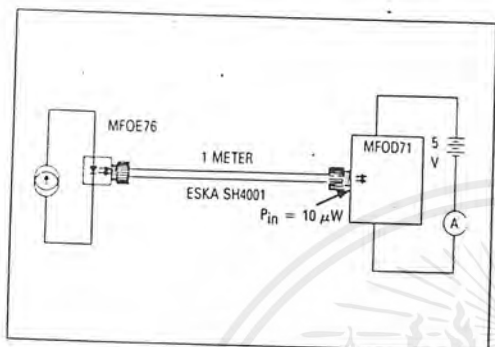


Figure 2. Responsivity Test Configuration

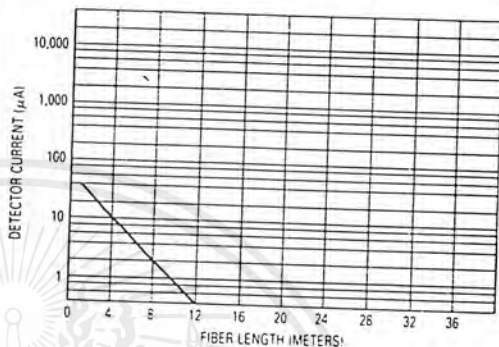


Figure 3. Detector Current versus Fiber Length

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eskas SH4001 or equivalent), depends on the LED forward

current (I_f) and the responsivity of the detector chosen. Each detector will perform with the MFOE76 up to the distances shown below.



Figure 4. MFOE76 Working Distances

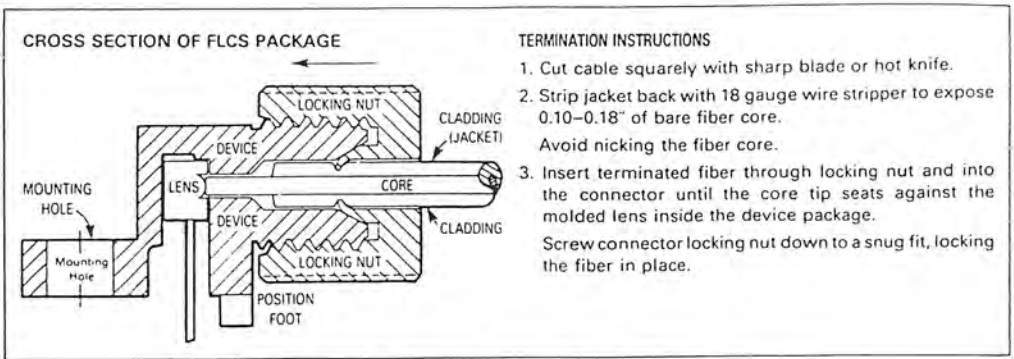


Figure 5. FO Cable Termination and Assembly

INPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuits are suggested to provide the desired forward current through the emitter.

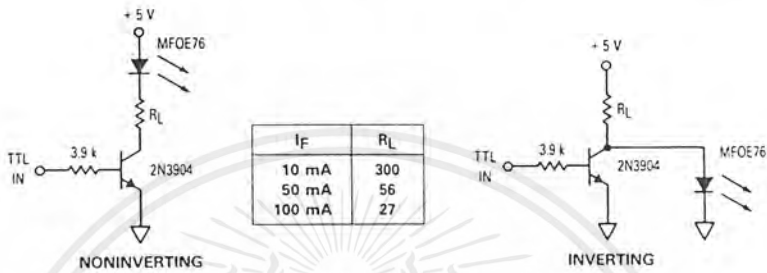


Figure 6. TTL Transmitters

OUTPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuit is suggested to take the MFOD71 detector output and condition it to drive TTL with an acceptable bit error rate.

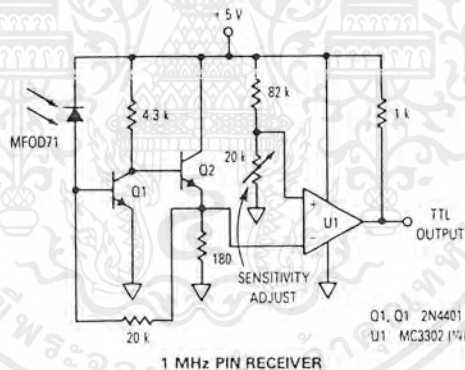
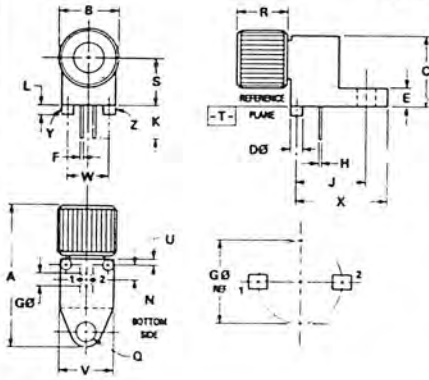


Figure 7. TTL Receiver

OUTLINE DIMENSIONS



- NOTES:
1. Y AND Z ARE DATUM DIMENSIONS AND T IS A DATUM SURFACE
 2. POSITIONAL TOLERANCE FOR D Ø (2 PL):
 $\left(\begin{array}{c} \oplus \\ \ominus \end{array} \right) \pm 0.25 \text{ (0.010)} \left(\begin{array}{c} \text{T} \\ \text{Y} \\ \text{Z} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{Z} \\ \text{Y} \\ \text{Z} \end{array} \right)$
 3. POSITIONAL TOLERANCE FOR F DIMENSION (2 PL):
 $\left(\begin{array}{c} \oplus \\ \ominus \end{array} \right) 0.25 \text{ (0.010)} \left(\begin{array}{c} \text{T} \\ \text{Y} \\ \text{Z} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{Z} \\ \text{Y} \\ \text{Z} \end{array} \right)$
 4. POSITIONAL TOLERANCE FOR H DIMENSION (2 PL):
 $\left(\begin{array}{c} \oplus \\ \ominus \end{array} \right) 0.25 \text{ (0.010)} \left(\begin{array}{c} \text{T} \\ \text{Y} \\ \text{Z} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{Z} \\ \text{Y} \\ \text{Z} \end{array} \right)$
 5. POSITIONAL TOLERANCE FOR Ø B:
 $\left(\begin{array}{c} \oplus \\ \ominus \end{array} \right) \pm 0.25 \text{ (0.010)} \left(\begin{array}{c} \text{T} \\ \text{Y} \\ \text{Z} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{Z} \\ \text{Y} \\ \text{Z} \end{array} \right)$
 6. POSITIONAL TOLERANCE FOR B:
 $\left(\begin{array}{c} \oplus \\ \ominus \end{array} \right) \pm 0.25 \text{ (0.010)} \left(\begin{array}{c} \text{T} \\ \text{Y} \\ \text{Z} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{Z} \\ \text{Y} \\ \text{Z} \end{array} \right)$
 7. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANS: Y14.5M, 1982
 8. CONTROLLING DIMENSION: INCH

STYLE 3
 PIN 1, CATHODE
 2, ANODE

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	19.30	21.33	0.760	0.840
B	9.14	9.38	0.360	0.370
C	7.62	8.12	0.300	0.320
D	1.55	1.62	0.061	0.064
E	2.41	2.66	0.095	0.105
F	0.43	0.58	0.017	0.023
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	0.33	0.45	0.013	0.018
J	7.62 BSC		0.300 BSC	
K	9.91	11.43	0.390	0.450
L	1.14	1.65	0.045	0.065
N	2.54 BSC		0.100 BSC	
Q	3.05	3.30	0.120	0.130
R	7.62	8.12	0.300	0.320
S	5.08 BSC		0.200 BSC	
U	0.66	0.91	0.026	0.036
V	6.85	7.11	0.270	0.280
W	5.08 BSC		0.200 BSC	
X	10.87	11.55	0.428	0.455

CASE 3638-01
 PLASTIC



ADC0831/ADC0832/ADC0834 and ADC0838 8-Bit Serial I/O A/D Converters with Multiplexer Options

General Description

The ADC0831 series are 8-bit successive approximation A/D converters with a serial I/O and configurable input multiplexers with up to 8 channels. The serial I/O is configured to comply with the NSC MICROWIRE™ serial data exchange standard for easy interface to the COPSTM family of processors, and can interface with standard shift registers or μ Ps.

The 2-, 4- or 8-channel multiplexers are software configured for single-ended or differential inputs as well as channel assignment.

The differential analog voltage input allows increasing the common-mode rejection and offsetting the analog zero input voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

Features

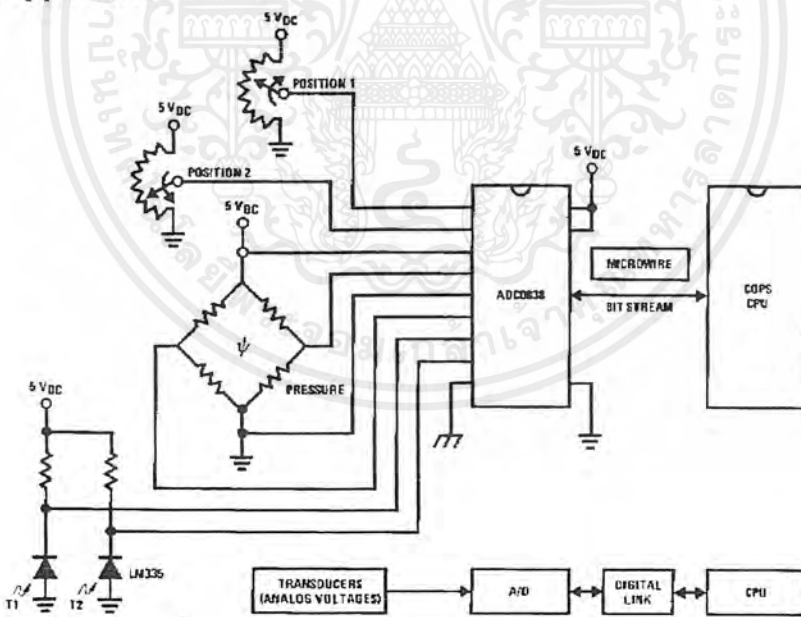
- NSC MICROWIRE compatible—direct interface to COPS family processors
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand-alone"

- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} voltage reference
- No zero or full-scale adjust required
- 2-, 4- or 8-channel multiplexer options with address logic
- Shunt regulator allows operation with high voltage supplies
- 0V to 5V input range with single 5V power supply
- Remote operation with serial digital data link
- TTL/MOS input/output compatible
- 0.3" standard width, 8-, 14- or 20-pin DIP package
- 20 Pin Molded Chip Carrier Package (ADC0838 only)
- Surface-Mount Package

Key Specifications

- | | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| ■ Resolution | 8 Bits |
| ■ Total Unadjusted Error | $\pm \frac{1}{2}$ LSB and ± 1 LSB |
| ■ Single Supply | 5 V _{DC} |
| ■ Low Power | 15 mW |
| ■ Conversion Time | 32 μ s |

Typical Application



TL/H/5683-1

TRI-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.
COPSTM and MICROWIRE™ are trademarks of National Semiconductor Corporation.

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Current into V ⁺ (Note 3)	15 mA
Supply Voltage, V _{CC} (Note 3)	6.5V
Voltage	
Logic Inputs	-0.3V to V _{CC} + 0.3V
Analog Inputs	-0.3V to V _{CC} + 0.3V
Input Current per Pin (Note 4)	± 5 mA
Package	± 20 mA
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Package Dissipation	
at T _A = 25°C (Board Mount)	0.8W

Lead Temperature (Soldering 10 sec.)	260°C
Dual-In-Line Package (Plastic)	300°C
Dual-In-Line Package (Ceramic)	
Molded Chip Carrier Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C
ESD Susceptibility (Note 5)	2000V

Operating Ratings (Notes 1 & 2)

Supply Voltage, V _{CC}	4.5 V _{DC} to 6.3 V _{DC}
Temperature Range	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}
ADC0831/8BCJ, ADC0831/4/8CCJ, ADC0832BIWM, ADC0831/2/4/8CIWM	-40°C to +85°C
ADC0831/2/4/8BCN, ADC0838BCV, ADC0831/2/4/8CCN, ADC0838CCV, ADC0831/2/4/8CCWM	0°C to +70°C

Converter and Multiplexer Electrical Characteristics

The following specifications apply for V_{CC} = V⁺ = V_{REF} = 5V, V_{REF} ≤ V_{CC} + 0.1V, T_A = T_J = 25°C, and f_{CLK} = 250 kHz unless otherwise specified. **Boldface limits apply from T_{MIN} to T_{MAX}.**

Parameter	Conditions	BCJ, BIWM, CIWM and CCJ Devices			BCV, CCV, CCWM, BCN and CCN Devices			Units
		Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	
CONVERTER AND MULTIPLEXER CHARACTERISTICS								
Total Unadjusted Error	V _{REF} = 5.00 V (Note 6)							
ADC0838BCV					± ½		± ½	LSB
ADC0831/2/4/8BCN			± ½		± ½		± ½	
ADC0831/8BCJ			± ½					
ADC0832BIWM			± ½					
ADC0838CCV					± 1		± 1	
ADC0831/2/4/8CCN					± 1		± 1	
ADC0831/2/4/8CCWM					± 1		± 1	
ADC0831/4/8CCJ			± 1					
ADC0831/2/4/8CIWM			± 1					
Minimum Reference Input Resistance (Note 7)		3.5	1.3		3.5	1.3	1.3	kΩ
Maximum Reference Input Resistance (Note 7)		3.5	5.9		3.5	5.4	5.9	kΩ
Maximum Common-Mode Input Range (Note 8)			V_{CC} + 0.05		V _{CC} + 0.05	V_{CC} + 0.05	V_{CC} + 0.05	V
Minimum Common-Mode Input Range (Note 8)			GND - 0.05		GND - 0.05	GND - 0.05	GND - 0.05	V
DC Common-Mode Error		± 1/16	± ¼		± 1/16	± ¼	± ¼	LSB

Converter and Multiplexer Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for $V_{CC} = V_{+} = 5V$, $T_A = T_J = 25^{\circ}C$, and $f_{CLK} = 250\text{ kHz}$ unless otherwise specified. Boldface limits apply from T_{MIN} to T_{MAX} .

Parameter	Conditions	BCJ, BIWM, CIWM and CCJ Devices			BCV, CCV, CCWM, BCN and CCN Devices			Units
		Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	
CONVERTER AND MULTIPLEXER CHARACTERISTICS (Continued)								
Change in zero error from $V_{CC} = 5V$ to internal zener operation (Note 3)	15 mA into V_{+} $V_{CC} = N.C.$ $V_{REF} = 5V$		1			1	1	LSB
V_Z , internal diode breakdown (at V_{+}) (Note 3)	MIN MAX 15 mA into V_{+}		6.3 8.5			6.3 8.5	6.3 8.5	V
Power Supply Sensitivity	$V_{CC} = 5V \pm 5\%$	$\pm 1/16$	$\pm 1/4$	$\pm 1/4$	$\pm 1/16$	$\pm 1/4$	$\pm 1/4$	LSB
I_{OFF} , Off Channel Leakage Current (Note 9)	On Channel = 5V, Off Channel = 0V		-0.2 -1			-0.2	-1	μA
	On Channel = 0V, Off Channel = 5V		+0.2 +1			+0.2	+1	μA
I_{ON} , On Channel Leakage Current (Note 9)	On Channel = 0V, Off Channel = 5V		-0.2 -1			-0.2	-1	μA
	On Channel = 5V, Off Channel = 0V		+0.2 +1			+0.2	+1	μA
DIGITAL AND DC CHARACTERISTICS								
$V_{IN(1)}$, Logical "1" Input Voltage (Min)	$V_{CC} = 5.25V$		2.0			2.0	2.0	V
$V_{IN(0)}$, Logical "0" Input Voltage (Max)	$V_{CC} = 4.75V$		0.8			0.8	0.8	V
$I_{IN(1)}$, Logical "1" Input Current (Max)	$V_{IN} = 5.0V$	0.005	1		0.005	1	1	μA
$I_{IN(0)}$, Logical "0" Input Current (Max)	$V_{IN} = 0V$	-0.005	-1		-0.005	-1	-1	μA
$V_{OUT(1)}$, Logical "1" Output Voltage (Min)	$V_{CC} = 4.75V$ $I_{OUT} = -360\ \mu A$ $I_{OUT} = -10\ \mu A$		2.4			2.4	2.4	V
			4.5			4.5	4.5	V
$V_{OUT(0)}$, Logical "0" Output Voltage (Max)	$V_{CC} = 4.75V$ $I_{OUT} = 1.6\text{ mA}$		0.4			0.4	0.4	V
I_{OUT} , TRI-STATE Output Current (Max)	$V_{OUT} = 0V$ $V_{OUT} = 5V$	-0.1	-3		-0.1	-3	-3	μA
		0.1	3		0.1	+3	+3	μA
I_{SOURCE} , Output Source Current (Min)	$V_{OUT} = 0V$	-14	-6.5		-14	-7.5	-6.5	mA
I_{SINK} , Output Sink Current (Min)	$V_{OUT} = V_{CC}$	16	8.0		16	9.0	8.0	mA
I_{CC} , Supply Current (Max) ADC0831, ADC0834, ADC0838		0.9	2.5		0.9	2.5	2.5	mA
		2.3	6.5		2.3	6.5	6.5	mA
ADC0832	Includes Ladder Current	2.3	6.5		2.3	6.5	6.5	mA

AC Characteristics

The following specifications apply for $V_{CC} = 5V$, $t_r = t_f = 20$ ns and $25^\circ C$ unless otherwise specified.

Parameter	Conditions	Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	Limit Units
f_{CLK} , Clock Frequency	Min Max		10	400	kHz kHz
t_c , Conversion Time	Not including MUX Addressing Time		8		$1/f_{CLK}$
Clock Duty Cycle (Note 10)	Min Max			40 60	% %
t_{SET-UP} , t_{FALL} Falling Edge or Data Input Valid to CLK Rising Edge				250	ns
t_{HOLD} , Data Input Valid after CLK Rising Edge				90	ns
t_{pd1} , t_{pd0} —CLK Falling Edge to Output Data Valid (Note 11)	$C_L = 100$ pF Data MSB First Data LSB First	650 250		1500 600	ns ns
t_{1H} , t_{0H} —Rising Edge of CS to Data Output and SARS Hi–Z	$C_L = 10$ pF, $R_L = 10k$ (see TRI-STATE® Test Circuits)	125		250	ns
	$C_L = 100$ pF, $R_L = 2k$		500		ns
C_{IN} , Capacitance of Logic Input		5			pF
C_{OUT} , Capacitance of Logic Outputs		5			pF

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: All voltages are measured with respect to the ground pins.

Note 3: Internal zener diodes (6.3 to 8.5V) are connected from V_{+} to GND and V_{CC} to GND. The zener at V_{+} can operate as a shunt regulator and is connected to V_{CC} via a conventional diode. Since the zener voltage equals the A/D's breakdown voltage, the diode insures that V_{CC} will be below breakdown when the device is powered from V_{+} . Functionality is therefore guaranteed for V_{+} operation even though the resultant voltage at V_{CC} may exceed the specified Absolute Max of 6.5V. It is recommended that a resistor be used to limit the max current into V_{+} . (See Figure 3 in Functional Description Section 6.0)

Note 4: When the input voltage (V_{IN}) at any pin exceeds the power supply rails ($V_{IN} < V_{-}$ or $V_{IN} > V_{+}$) the absolute value of current at that pin should be limited to 5 mA or less. The 20 mA package input current limits the number of pins that can exceed the power supply boundaries with a 5 mA current limit to four.

Note 5: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Note 6: Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplexer errors.

Note 7: Cannot be tested for ADC0632.

Note 8: For $V_{IN}(-) \geq V_{IN}(+)$ the digital output code will be 0000 0000. Two on-chip diodes are tied to each analog input (see Block Diagram) which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. Be careful, during testing at low V_{CC} levels (4.5V), as high level analog inputs (5V) can cause this input diode to conduct—especially at elevated temperatures, and cause errors for analog inputs near full-scale. The spec allows 50 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} or V_{REF} does not exceed the supply voltage by more than 50 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0 V_{CC} to 5 V_{DG} input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.950 V_{DG} over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 9: Leakage current is measured with the clock not switching.

Note 10: A 40% to 60% clock duty cycle range insures proper operation at all clock frequencies. In the case that an available clock has a duty cycle outside of these limits, the minimum time the clock is high or the minimum time the clock is low must be at least 1 μs . The maximum time the clock can be high is 60 μs . The clock can be stopped when low so long as the analog input voltage remains stable.

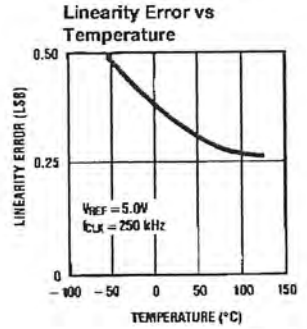
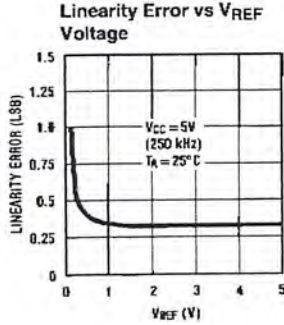
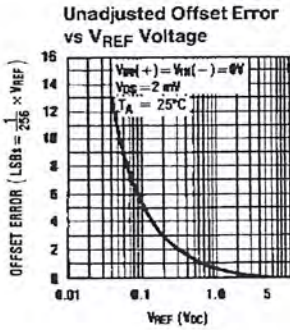
Note 11: Since data, MSB first, is the output of the comparator used in the successive approximation loop, an additional delay is built in (see Block Diagram) to allow for comparator response time.

Note 12: Typical values are at $25^\circ C$ and represent most likely parametric norm.

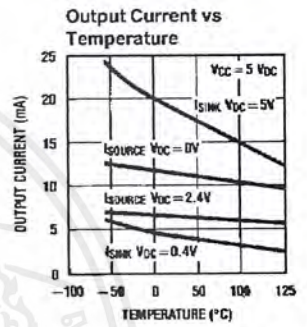
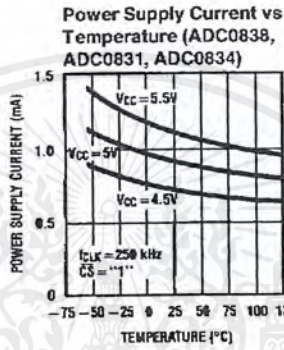
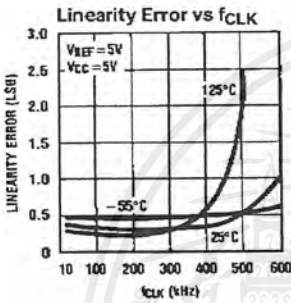
Note 13: Tested limits are guaranteed to National's AOQL (Average Outgoing Quality Level).

Note 14: Guaranteed but not 100% production tested. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

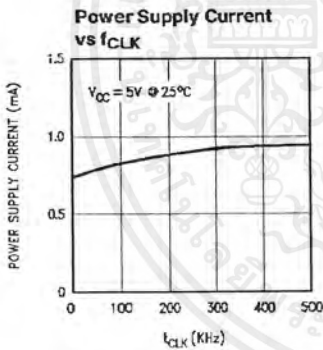
Typical Performance Characteristics



TL/H/5583-2

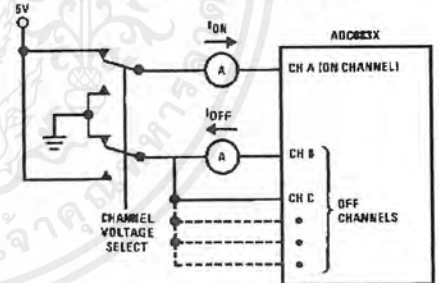


TL/H/5583-40



Note: For ADC0832 add 1 REF.

Leakage Current Test Circuit

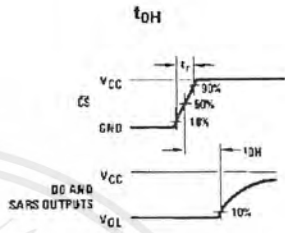
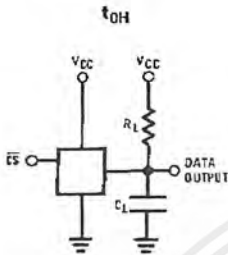
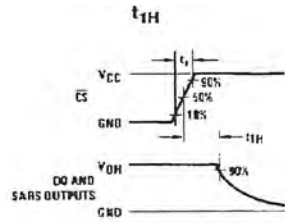
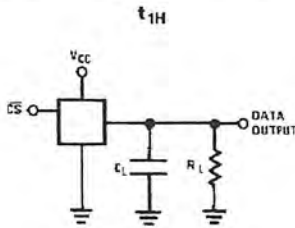


TL/H/5583-29

TL/H/5583-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

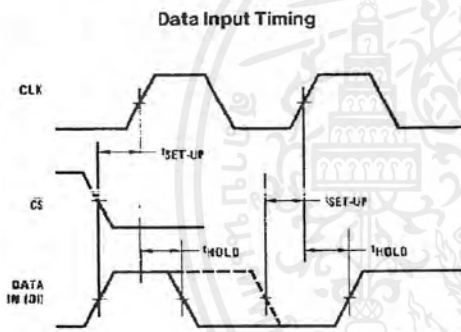
TRI-STATE Test Circuits and Waveforms



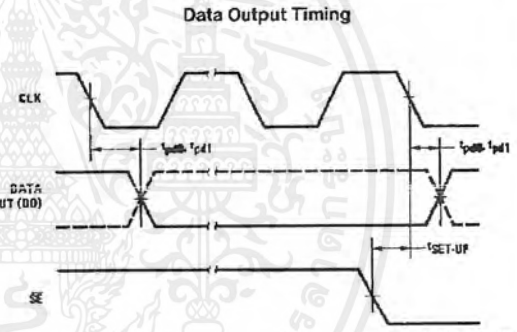
TL/H/5583-4

TL/H/5583-23

Timing Diagrams

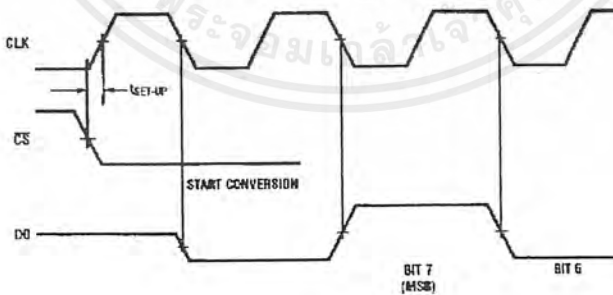


TL/H/5583-24



TL/H/5583-25

ADC0831 Start Conversion Timing

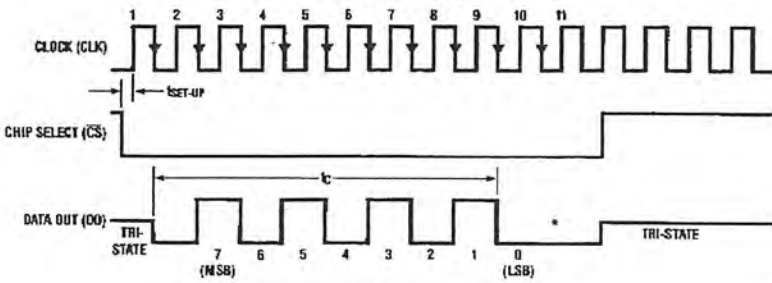


TL/H/5583-26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timing Diagrams (Continued)

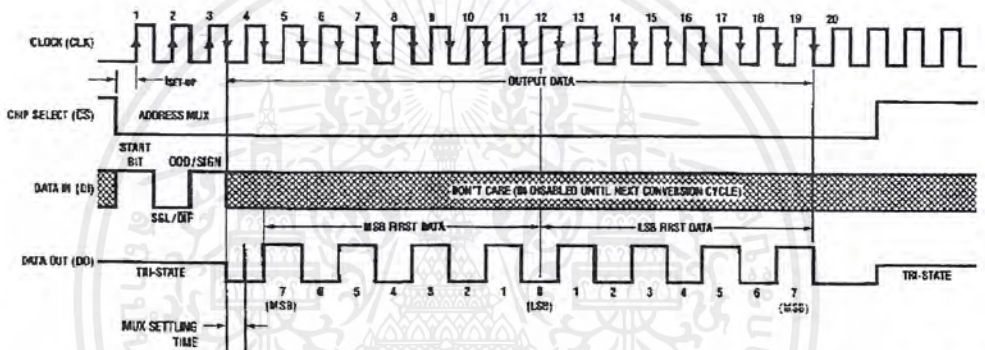
ADC0831 Timing



TL/H/5583-27

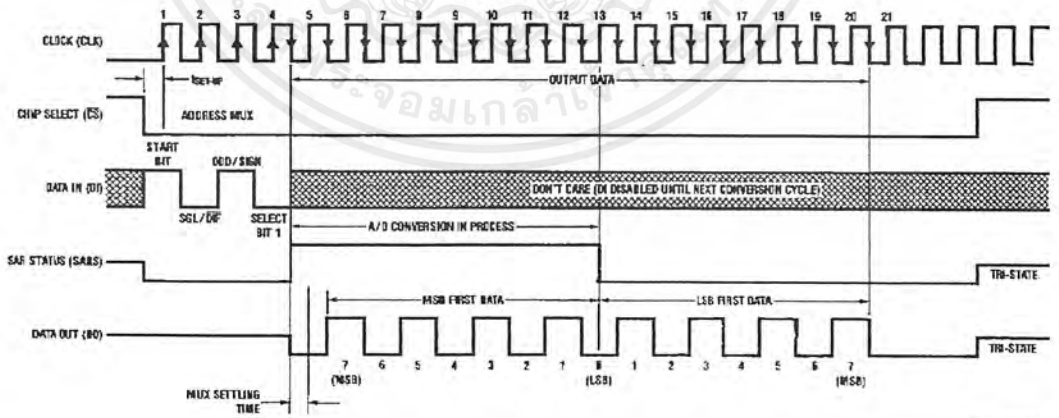
*LSB first output not available on ADC0831.

ADC0832 Timing



TL/H/5583-28

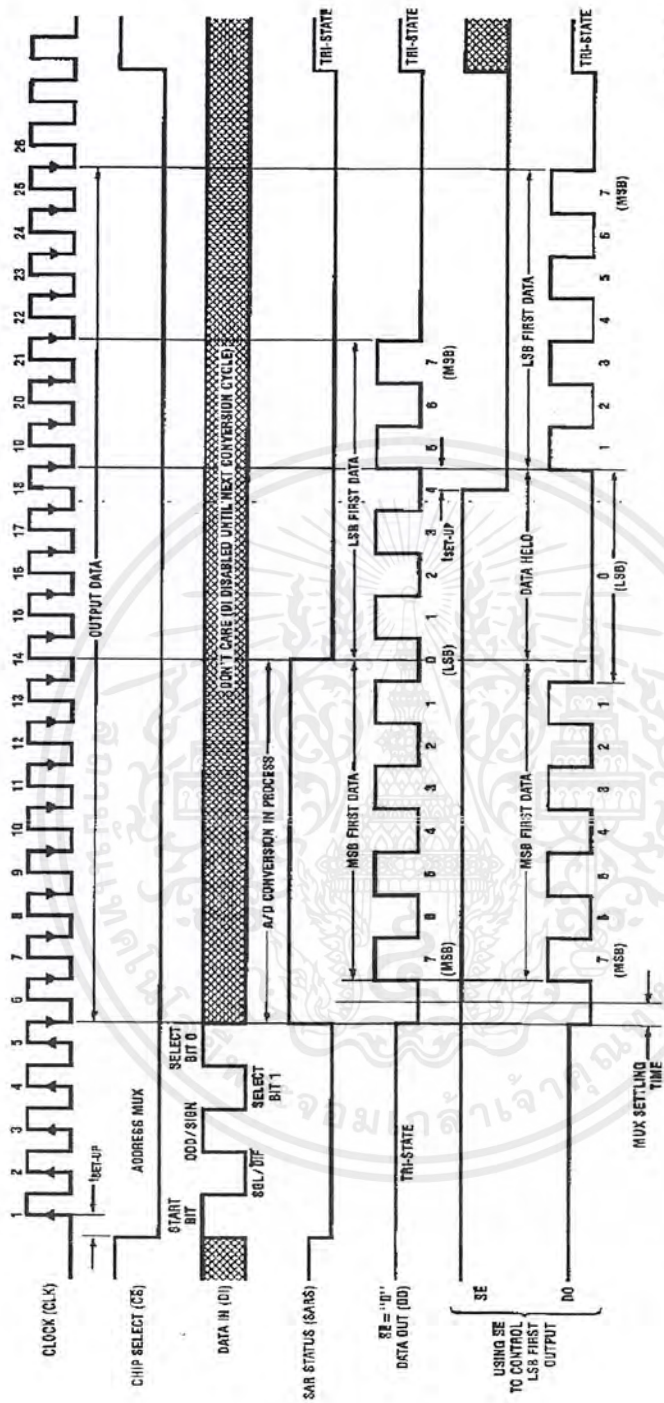
ADC0834 Timing



TL/H/5583-5

Timing Diagrams (Continued)

ADC0838 Timing



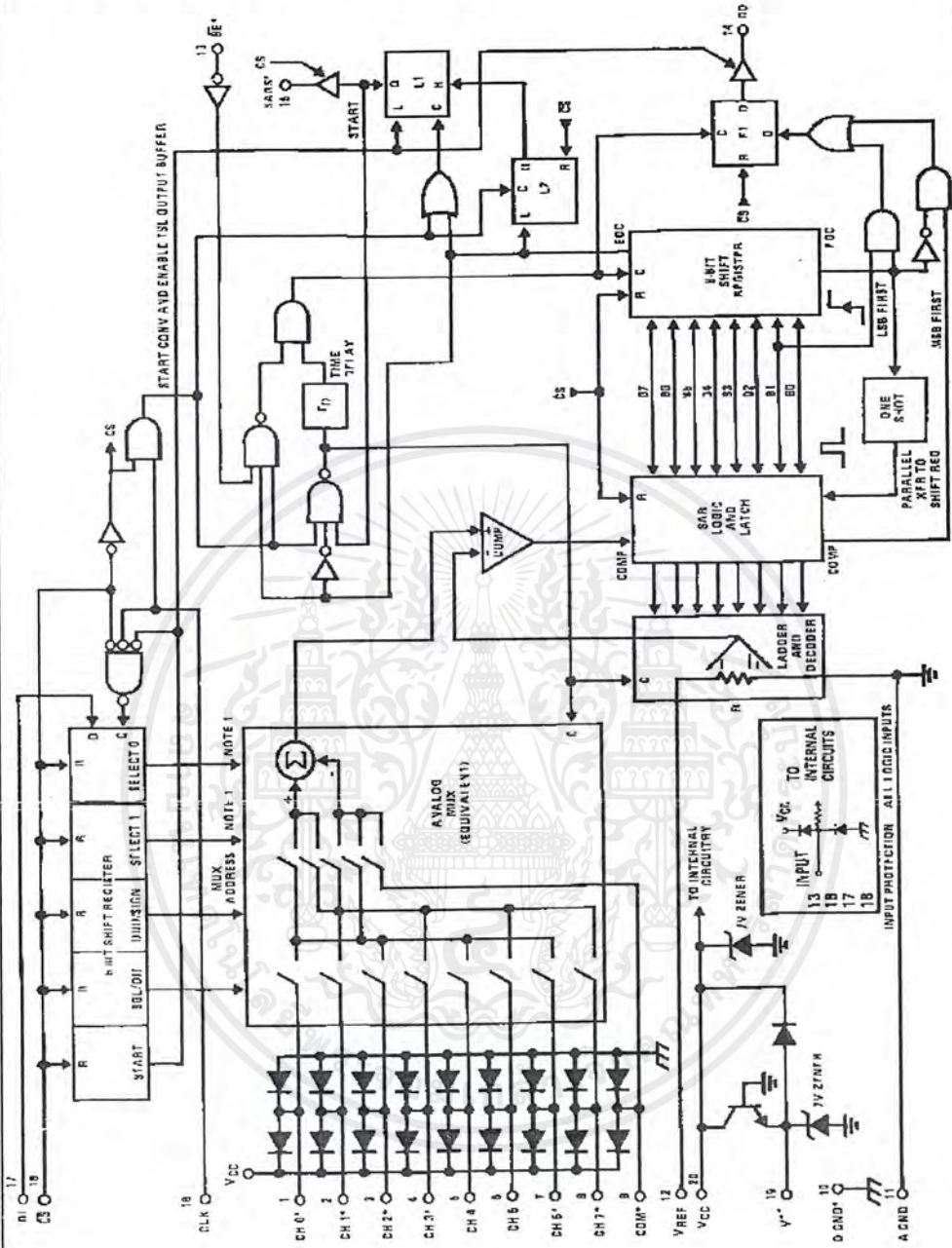
TLH/6583-6

* Make sure clock edge #18 clocks in the LSB before SE is taken low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0838 Functional Block Diagram

TL/H/5583-7



*Some of these functions/pins are not available with other options.

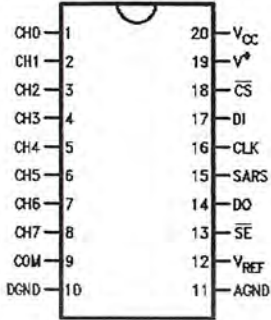
Note 1: For the ADC0834, D1 is input directly to the D input of SELECT 1, SELECT 0 is forced to a "1". For the ADC0832, D1 is input directly to the DI input of ODD/SIGN, SELECT 0 is forced to a "0" and SELECT 1 is forced to a "1".

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

ADC0838 8-Channel MUX

Small Outline/Dual-In-Line Package (J, M and N)

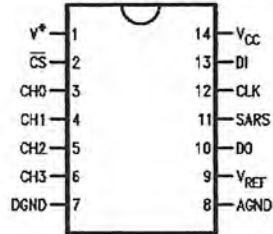


Top View

TL/H/5583-8

ADC0834 4-Channel MUX

Small Outline/Dual-In-Line Package (J, M, and N)



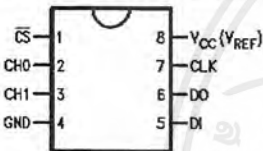
Top View

COM internally connected to A GND

TL/H/5583-30

ADC0832 2-Channel MUX

Dual-In-Line Package (J and N)



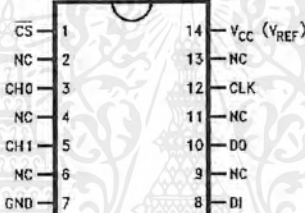
Top View

TL/H/5583-31

COM internally connected to GND.
V_{REF} internally connected to V_{CC}.

ADC0832 2-Channel MUX

Small Outline Package (M)

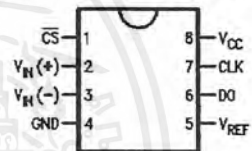


Top View

TL/H/5583-41

ADC0831 Single Differential Input

Dual-In-Line Package (J and N)

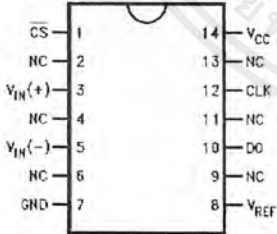


Top View

TL/H/5583-32

ADC0831 Single Differential Input

Small Outline Package (M)

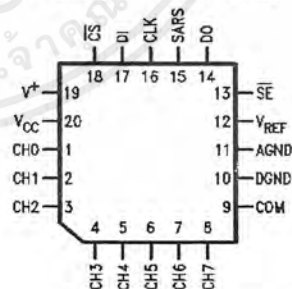


Top View

TL/H/5583-42

ADC0838 8-Channel MUX

Molded Chip Carrier (PCC) Package (V)



TL/H/5583-33

LM158/LM258/LM358/LM2904 Low Power Dual Operational Amplifiers

General Description

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15V$ power supplies.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

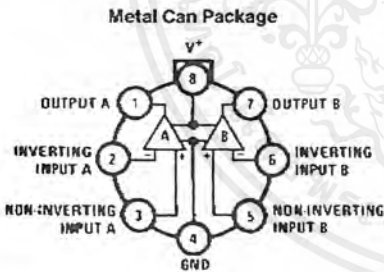
Advantages

- Two internally compensated op amps in a single package
- Eliminates need for dual supplies
- Allows directly sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation
- Pin-out same as LM1558/LM1458 dual operational amplifier

Features

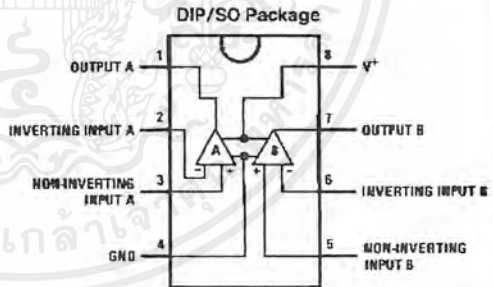
- Internally frequency compensated for unity gain
- Large dc voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz
(temperature compensated)
- Wide power supply range:
Single supply 3V to 32V
or dual supplies $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Very low supply current drain (500 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input offset voltage 2 mV
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing $0V$ to $V^+ - 1.5V$

Connection Diagrams (Top Views)



TL/H/7787-1

Order Number LM158AH, LM158AH/883*,
LM158H, LM158H/883*, LM258H or LM358H
See NS Package Number H08C



TL/H/7787-2

Order Number LM158J, LM158J/883*,
LM158AJ or LM158AJ/883*
See NS Package Number J08A
Order Number LM358M, LM358AM or LM2904M
See NS Package Number M08A
Order Number LM358AN, LM358N or LM2904N
See NS Package Number N08E

*LM158 is available per SMD #5962-8771001
LM158A is available per SMD #5962-8771002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 9)

	LM158/LM258/LM358 LM158A/LM258A/LM358A	LM2904	LM158/LM258/LM358 LM158A/LM258A/LM358A	LM2904	LM158/LM258/LM358 LM158A/LM258A/LM358A
Supply Voltage, V^+	32V	26V	0°C to +70°C	26V	0°C to +70°C
Differential Input Voltage	32V	26V	–25°C to +85°C	26V	–25°C to +85°C
Input Voltage	–0.3V to +32V	–0.3V to +26V	–55°C to +125°C	–0.3V to +26V	–55°C to +125°C
Power Dissipation (Note 1) Molded DIP	830 mW	830 mW	–65°C to +150°C	830 mW	–65°C to +150°C
Metal Can	550 mW	530 mW		530 mW	
Small Outline Package (M)	530 mW	530 mW		530 mW	
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2)	Continuous	Continuous		Continuous	
$V^- = 1.5V$ and $T_A = 25^\circ C$	50 mA	50 mA		50 mA	
Input Current ($V_{IN} < -0.3V$) (Note 3)	Continuous	Continuous		Continuous	

Operating Temperature Range
LM358 0°C to +70°C
LM258 –25°C to +85°C
LM158 –55°C to +125°C

Storage Temperature Range
Lead Temperature, DIP (Soldering, 10 seconds) 260°C
Lead Temperature, Metal Can (Soldering, 10 seconds) 300°C
Soldering Information
Dual-In-Line Package Soldering (10 seconds) 260°C
Small Outline Package Vapor Phase (60 seconds) 215°C
Infrared (15 seconds) 220°C

ESD Tolerance (Note 10) 250V

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics $V^+ = +5.0V$, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			LM358			LM2904				
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Input Offset Voltage (Note 5), $T_A = 25^\circ C$		1	2	2	2	2	3	2	2	5	2	2	2	2	2	7	7	
Input Bias Current $I_{IN(-)}$ or $I_{IN(-)}$, $T_A = 25^\circ C$, $V_{CM} = 0V$, (Note 6)		20	50	45	45	100	150	45	45	150	45	250	45	250	45	250	nA	
Input Offset Current $I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$		2	10	5	5	30	30	3	3	30	5	50	5	50	5	50	nA	
Input Common-Mode Voltage Range $V^+ = 30V$, (Note 7) (LM2904, $V^+ = 26V$), $T_A = 25^\circ C$		0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	V	
Supply Current Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ on All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2904 $V^+ = 26V$) $V^+ = 5V$		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	mA
		0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	mA

Electrical Characteristics (Continued) $V^+ = +5.0V$, Note 4, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			LM358			LM2504			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V, T_A = 25^\circ C,$ $R_L \geq 2k\Omega, (For V_O = 1V$ $to 11V)$	50	100	25	100	25	100	50	100	25	100	25	100	25	100	V/mV	
Common-Mode Rejection Ratio	$T_A = 25^\circ C,$ $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$	70	85	65	85	70	85	70	85	65	85	65	85	50	70	dB	
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V$ to $30V$ (LM2904, $V^+ = 5V$ to $26V$), $T_A = 25^\circ C$	65	100	65	100	65	100	65	100	65	100	65	100	50	100	dB	
Amplifier-to-Amplifier Coupling	$f = 1$ kHz to 20 kHz, $T_A = 25^\circ C$ (Input Referred), (Note 8)	-120		-120		-120		-120		-120		-120		-120		dB	
Output Current	Source $V_{IN}^+ = 1V,$ $V_{IN}^- = 0V,$ $V^+ = 15V,$ $V_O = 2V, T_A = 25^\circ C$	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	mA	
	Sink $V_{IN}^- = 1V, V_{IN}^+ = 0V$ $V^+ = 15V, T_A = 25^\circ C,$ $V_O = 2V$	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	mA	
Short Circuit to Ground	$V_{IN}^- = 1V,$ $V_{IN}^+ = 0V$ $T_A = 25^\circ C, V_O = 200$ mV, $V^+ = 15V$	12	50	12	50	12	50	12	50	12	50	12	50	12	50	μA	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ C,$ (Note 2), $V^+ = 15V$ (Note 5)	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60	mV	
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$	7	15	7	20	7	20	7	20	7	20	7	20	7	20	$\mu V/^\circ C$	
Input Offset Current	$ I_{IN(+)} - I_{IN(-)} $	30		75		30		75		30		75		45	200	nA	
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$	10	200	10	300	10	300	10	300	10	300	10	300	10	300	$pA/^\circ C$	
Input Bias Current	$ I_{IN(+)} $ or $ I_{IN(-)} $	40	100	40	200	40	200	40	300	40	500	40	500	40	500	nA	

Electrical Characteristics (Continued) $V^+ = +5.0V$, Note 4, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A		LM358A		LM158/LM258		LM358		LM2904		Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min		Typ
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$, (Note 7) (LM2904, $V^+ = 28V$)	0		$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	V
	Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15V$ ($V_O = 1V$ to $11V$) $R_L \geq 2k\Omega$	25		15		25		15		15		V/mV
Output Voltage Swing	V_{OH}	26		26		26		26		22		V	
	V_{OL}	27	28	27	28	27	28	27	28	23	24	V	
Output Current	Source	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	mA	
	Sink	10	15	5	8	5	8	5	8	5	8	mA	

Note 1: For operating at high temperatures, the LM358/LM358A, LM2904 must be derated based on a $+125^\circ C$ maximum junction temperature and a thermal resistance of $120^\circ C/W$ which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM258/LM258A and LM158/LM158A can be derated based on a $+150^\circ C$ maximum junction temperature. The dissipation is the total of both amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

Note 2: Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of $+15V$, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Note 3: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to $-0.3V$ (at $25^\circ C$).

Note 4: These specifications are limited to $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$, the LM358/LM358A temperature specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$, and the LM2904 specifications are limited to $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$.

Note 5: $V_O \approx 1.4V$, $R_S = 0\Omega$ with V^- from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to $V^+ - 1.5V$) at $25^\circ C$. For LM2904, V^- from 5V to 28V.

Note 6: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

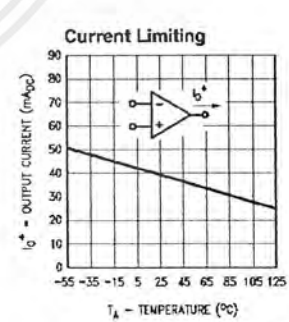
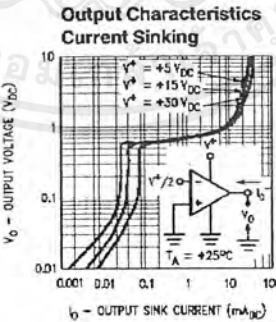
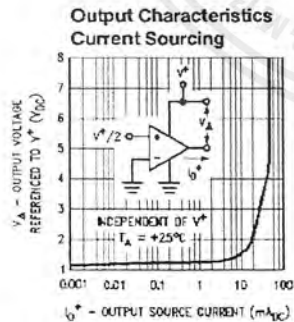
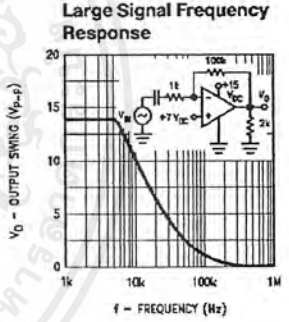
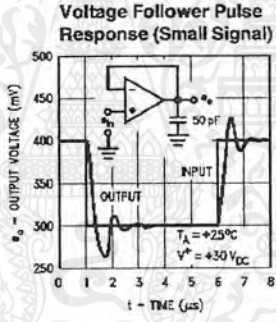
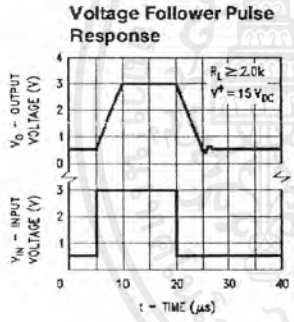
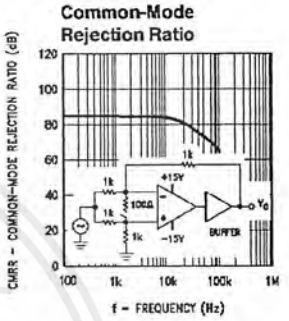
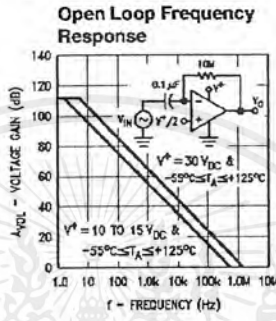
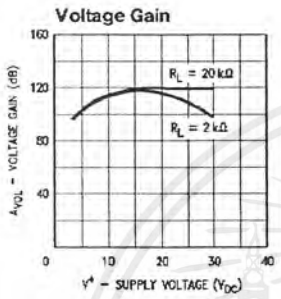
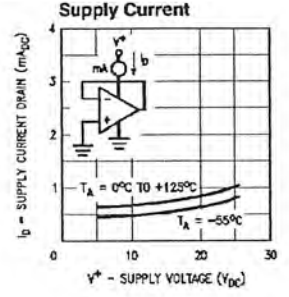
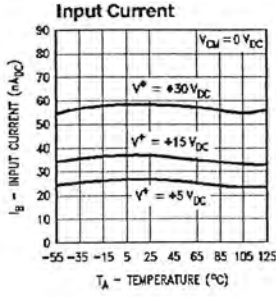
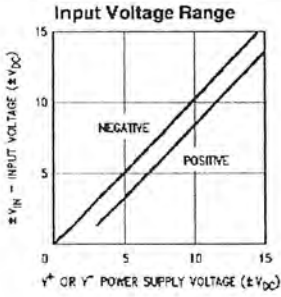
Note 7: The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at $25^\circ C$). The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5V$ (at $25^\circ C$), but either or both inputs can go to $+32V$ without damage ($+28V$ for LM2904), independent of the magnitude of V^+ .

Note 8: Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

Note 9: Refer to RETS158AX for LM158A military specifications and to RETS158X for LM158 military specifications.

Note 10: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

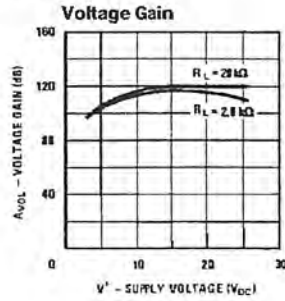
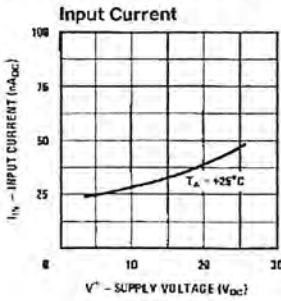
Typical Performance Characteristics



TL/H7787-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued) (LM2902 only)



TL/H/7767-5

Application Hints

The LM158 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of 0 V_{DC}. These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At 25°C amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of 2.3 V_{DC}.

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than V⁺ without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than -0.3 V_{DC} (at 25°C). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply current drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion. Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of 50 pF can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

The bias network of the LM158 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of 3 V_{DC} to 30 V_{DC}.

Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC chip dissipation which will cause eventual failure due to excessive junction temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total IC power dissipation to destructive levels, if not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at 25°C provides a larger output current capability at elevated temperatures (see typical performance characteristics) than a standard IC op amp.

The circuits presented in the section on typical applications emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of V⁺/2) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.