

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวิเคราะห์คุณภาพน้ำเคลื่อนที่

PORTABLE WATER ANALYSIS



โดย

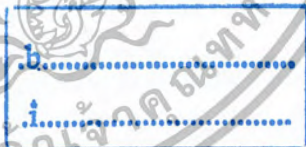
พิศัลย์ ด้วงเจ็ย



เลขหมู่.....

เลขทะเบียน... 64204

วัน,เดือน,ปี... 7 ก.ย. 2549



ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวิเคราะห์คุณภาพน้ำเคลื่อนที่

PORTABLE WATER ANALYSIS

โดย

นายพิศัลย์ ค้วงเจ็ย 43010307



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. กิติพล ชิตสกุล

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2546

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวิเคราะห์คุณภาพของน้ำ

PORTABLE WATER ANALYSIS

ผู้จัดทำ

นาย พิศลย์ ค้วงเจ็ย เลขประจำตัว 43010307



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวิเคราะห์คุณภาพน้ำเคลื่อนที่

นาย พิศัลย์ ค้วงเจ็ย 43010307

ดร. กิตติพล ชิตสกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

ในโครงการนี้มีการศึกษาคุณสมบัติของน้ำและได้ทำการวัดเพื่อมาทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติของน้ำ การใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาทำเป็นเครื่องมือวัด ได้แก่ การวัดหาความเป็นกรดเป็นด่างโดยการใช้หัววัดชนิด pH การวัดหาอุณหภูมิของน้ำโดยใช้ไอซีเบอร์ LM 335 และการวัดหาความขุ่น โดยการหาผลการลดทอนของความเข้มแสงต่อสารแขวนลอย แล้วนำค่าที่ได้จากสัญญาณอานาล็อกมาทำการเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยการใช้ไอซีเบอร์ ADC 0809 เพื่อส่งข้อมูลไปให้คอมพิวเตอร์ทำการวิเคราะห์และประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Portable Water Analysis

Mr. Pisal Doungjaiy 43010307

Dr. Kitiphol Chitsakol (Advisor)

Academic Year 2003

Abstract

An analysis instrument for water quality is construction. The acidity and alkalinity are sensed by a commercial type pH. The temperature is measurement by a probe construction from a LM 335. The clarity of sample in the density of tube depend on the suspended chemical compound is verified by transmitting quality at light. The analog signal from the sensor is control to digital by ADC 0809 for analysis and processing by a PC

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้จะสำเร็จลงไม่ได้เลย ถ้าไม่ได้รับคำปรึกษาและการแนะนำตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆ จากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กิตติพล ชิตสกุล จึงขอขอบพระคุณท่านอาจารย์มา ณ โอกาสนี้ด้วย และที่ขาดไม่ได้เลยก็คือ เพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำเกี่ยวกับข้อผิดพลาดต่างๆ ขอบคุณมากๆ

นาย พิศัลย์ ค้วงเจ็ย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.2 ขอบเขตของโครงการ	3
บทที่ 2 หลักการวัดคุณภาพของน้ำ	4
2.1 อุณหภูมิของน้ำ	4
2.2 ค่า pH	6
- การปรับ pH ของน้ำ	6
2.3 ความขุ่นหรือตกตะกอนแขวนลอย	9
บทที่ 3 กระบวนการออกแบบ	10
3.1 ตัวตรวจจับอุณหภูมิ	11
3.1.1 โครงสร้าง	11
3.1.2 คุณสมบัติเฉพาะตัว	11
3.1.3 วงจรตรวจจับอุณหภูมิ	14
3.2 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์	16
3.3 วงจรวัดความขุ่น	18
3.4 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	19
3.4.1 ความสัมพันธ์ขั้นพื้นฐานของอินพุทและเอาต์พุท	19
3.4.2 Converter Resolution and Converter Accuracy	20
3.4.3 Converter Input and Output	21
3.4.4 วงจร A/D	22
3.4.5 การหาค่าสัญญาณอนาล็อก	23
3.4.6 คุณสมบัติของพอร์ตขนาน	25
3.5 โปรแกรมประมวลผล	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	27
4.1 การทดลองตัวตรวจจับอนุมูลอนุมูล	27
4.2 การทดลองห้วงวัด pH	29
4.3 การทดลองห้วงวัดความขุ่น	31
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์	32
หนังสืออ้างอิง	
ภาคผนวก	



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
4.1 ค่าแรงดันเอาต์พุตของ LM335 เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป	27
4.2 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ค่า pH4 และ pH7	29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้าที่
1.1 แสดง Block diagram โดยรวมของโครงการ	1
1.2 ตัวอย่างรูปแบบและขอบเขตของโครงการ	3
2.1 แสดงรูปของหัววัดค่า pH Typical pH plastic measuring electrode	7
2.2 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH กับแรงดันไฟฟ้า (millivolt)	8
3.1 แสดง Block diagram ของระบบโดยรวม	10
3.2 (ก) ลักษณะรูปร่างและการต่อขาของ LM335 ในตัวถังพลาสติกสีดำแบบ TQ-92	11
(ข) ลักษณะรูปร่างและการต่อขาของ LM335 ในตัวถังแบบโลหะแบบ TO-46	
3.3 เวลาการตอบสนองของ LM 335 ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ	13
3.4 (ก) วงจรพื้นฐานการใช้งานของ LM335	14
(ข) วงจรปรับแต่งความถูกต้อง โดยใช้ความต้านทานปรับค่าได้	14
3.5 วงจรสร้างแรงดัน 2.73 โวลต์โดยใช้ LM308	15
3.6 วงจรตรวจวัดอุณหภูมิที่แปรตามอุณหภูมิในหน่วยของเซลเซียส	15
3.7 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์	16
3.8 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์ที่มีอัตราขยาย 10 เท่า	17
3.9 วงจรวัดค่าความชื้น	18
3.10 Analog To Digital Converter	19
3.11 แสดงไอซีเบอร์ ADC0809	22
3.12 แสดงการต่อใช้งาน ADC0809	23
3.13 แสดง Flowchart การทำงานของโปรแกรม	26
4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิและแรงดันที่ LM335	28
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับ pH	30
4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความชื้น	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

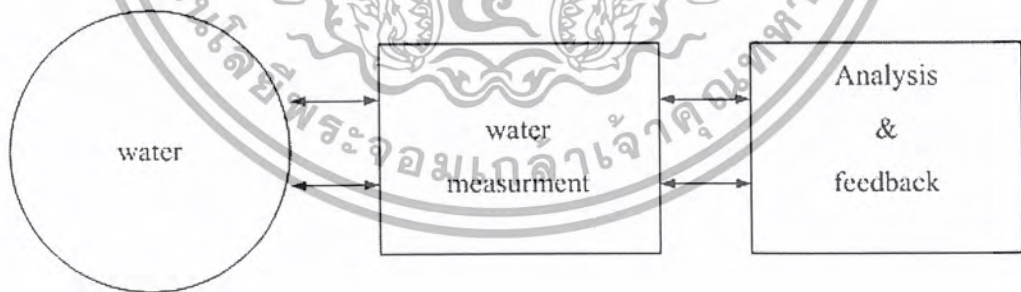
บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

เนื่องจากปัจจุบันได้มีการพัฒนาการเกษตรและการอุตสาหกรรมอย่างมาก ทำให้ไม่มีการควบคุมทำให้มีการปล่อยของเสีย ทำให้เกิดมลภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ อันได้แก่ การปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำลำคลองทำให้น้ำในแม่น้ำลำคลองตลอดจนดินในบริเวณนั้นเกิดการเสียหาย ดังนั้นเราจึงจะต้องมีเครื่องมือมาตรฐานมาทำการวัดเพื่อทำการตรวจสอบ แต่เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มาจากต่างประเทศมีราคาแพง ทำให้อุตสาหกรรมขนาดเล็กตลอดจนเกษตรกรไม่สามารถซื้อเครื่องมือที่เครื่องมือวัดและอุปกรณ์นั้นได้ ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำ ซึ่งมีราคาถูกกว่าเครื่องมือวัดที่มาจากต่างประเทศ เครื่องมือวัดที่ว่านี้คือ เครื่องมือวัด pH หรือ เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง (มีค่า 0 pH ถึง 14 pH)

โดยอุปกรณ์เครื่องมือวัดนี้มีหลักการคร่าวๆดังนี้คือ จากรูปที่ 1.1 การทำงานของระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำ เริ่มต้นจากหัววัด pH ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยหัววัดนี้จะมีลักษณะเป็นแท่งแก้ว ตรงบริเวณส่วนปลายจะเป็นแก้วที่มีลักษณะบางและจะมีโลหะที่แตกต่างจากตรงกลางของหัววัด บริเวณนี้จะเป็นขั้วที่ต่อออกไปใช้งานและสารเคมีที่อยู่ในบริเวณหลอดแก้วจะเป็นสารที่มีสภาพเป็นกลาง ได้แก่สาร KCl ประกอบด้วย เมื่อเราทำการจุ่มหัวลงในน้ำจะทำให้เกิดแรงดันขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีบริเวณผิวของขอบแก้วตรงบริเวณหัววัด ซึ่งหัววัดจะมี impedance สูงมาก



รูปที่ 1.1 แสดง Block diagram โดยรวมของโครงการ

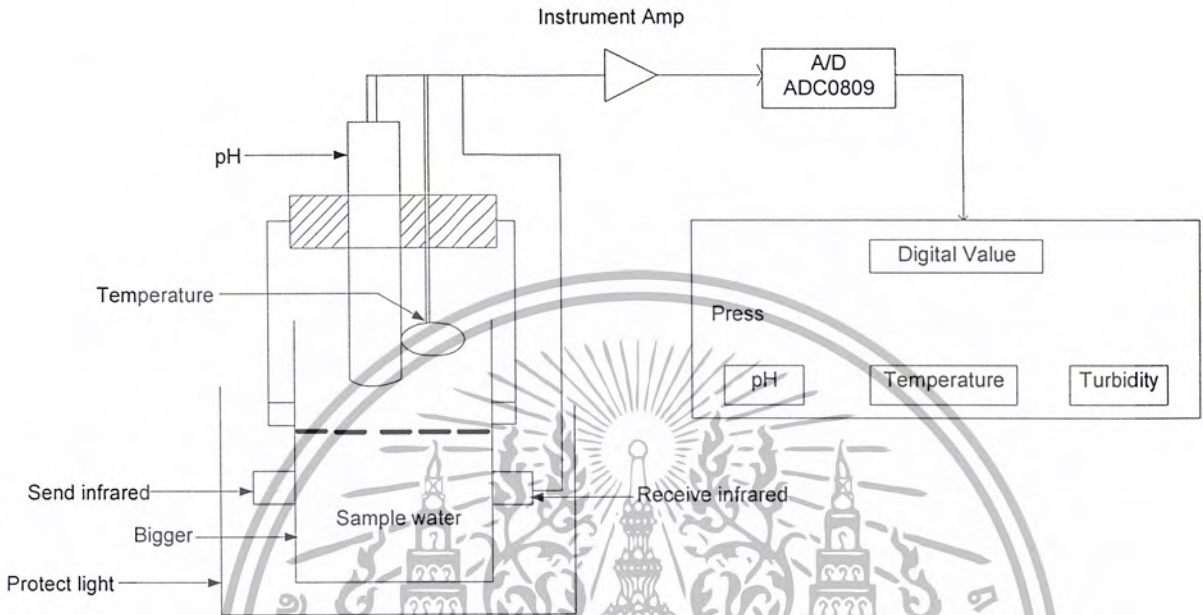
จากนั้นเราก้ทำการต่อเข้ากับวงจรภาค Differential Amp ทำการขยายเท่ากับ 10 เท่าเพื่อส่งต่อไปทำการเปลี่ยนสัญญาณอานาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D) จากนั้นก็ทำการประมวลผลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ว่าน้ำมีคุณภาพเป็นอย่างไรบ้าง แต่การวัดจะมีผลกระทบต่ออุณหภูมิ ดังนั้นเราจะต้องมี วงจรวัดอุณหภูมิด้วยเพื่อเปรียบเทียบค่า pH ที่วัดได้จากหัววัด pH ทำให้ค่ามาตรฐานตรงกับความต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ในการทำโครงการเรื่องการวิเคราะห์น้ำ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการจัดทำดังนี้

1. เพื่อสามารถศึกษาและออกแบบวงจรหัววัด pH ได้ถูกต้องใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน
2. เพื่อศึกษาและออกแบบหลักการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอานาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลแล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้
3. เพื่อศึกษาการติดต่อ การรับและการส่งข้อมูล กับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ทขนาน (parallel port) และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้
4. สามารถศึกษาและออกแบบวงจรอุณหภูมิ โดยใช้ IC เบอร์ LM35 ได้อย่างถูกต้อง
5. สามารถเขียน โปรแกรมเพื่อควบคุมและประมวลผล โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

1.3 ลักษณะของโครงการ



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างรูปแบบและขอบเขตของโครงการ

จากรูปแสดงการทำงานของวงจร Portable water analysis จะมีเครื่องวัดค่า pH , วัดอุณหภูมิ และ วัดค่าความขุ่น โดยค่าต่างๆที่วัดได้ จะต่อเข้าไปยังวงจร อินสตรูเมนต์ (Instrument Amp) เพื่อขยายสัญญาณ และกำจัดสัญญาณรบกวนออกไป แล้วส่งไปยังอินพุท (Input) ของ ADC 0809 เพื่อแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ค่าดิจิทัลที่ได้จะแสดงออกมาโดยขึ้นอยู่กับว่าเราต้องการรู้ค่าอะไรก่อนก็ให้กดค่านั้นออกมา ซึ่งค่าที่ได้จะถูกส่งไปประมวลผลยังคอมพิวเตอร์ (Computer) เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน เพื่อที่จะดูว่า น้ำนั้นมีคุณสมบัติอย่างไร เหมาะกับการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านไหนหรือว่าถ้าน้ำนั้นไม่ได้มาตรฐานก็ควรแก้ไขอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการวัดคุณภาพน้ำ

ในการกำหนดคุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้น้ำในรูปแบบต่างๆ เราอาจใช้เกณฑ์คุณภาพน้ำในการประเมินคุณภาพแหล่งน้ำว่าเหมาะสมกับการใช้ประโยชน์รูปแบบหนึ่งๆ หรือไม่ เพียงใดและหากมีปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำแหล่งน้ำ ก็อาจใช้เกณฑ์คุณภาพน้ำดังกล่าวเป็นแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข

ค่า pH 5-9 สำหรับน้ำใช้ในชุมชน pH 6.5-9 สำหรับสิ่งมีชีวิตในน้ำจืด pH 6.5-8 สำหรับสิ่งมีชีวิตในทะเล

ความขุ่นของน้ำ เกิดจากที่น้ำมีสิ่งห้อยแขวนอยู่ เช่น ดินละเอียด และสิ่งเจือปนที่มีขนาดเล็กๆ สิ่งพวกนี้ จะทำให้เกิดการกระจัดกระจาย ทำให้น้ำเกิดความไม่สะอาดที่มีวิธีตรวจสอบ โดยการฉายแสงเข้าไปแล้วตรวจวัดปริมาณแสง

2.1 อุณหภูมิของน้ำ

อุณหภูมิ หมายถึง ระดับความร้อน อุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยลงสู่แม่น้ำสาธารณะมีผลต่อสิ่งแวดล้อมในน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยสิ่งมีชีวิตในน้ำอาจถึงตายได้ในกรณีของอุณหภูมิของน้ำที่สูงเกินไป ตามประกาศอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2513 ขอมให้อุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยลงสู่ลำน้ำสาธารณะได้ไม่เกิน 40 องศา

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแหล่งน้ำเกิดได้จากการที่มีแสงส่องผ่านลงไปในแหล่งน้ำต่อมา มีการเปลี่ยนแปลงงานเป็นพลังงานความร้อน อุณหภูมิมีส่วนที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำมาก เช่น เป็นตัวควบคุมการแพร่พันธุ์ การเจริญเติบโตของสัตว์และพืช ความร้อนยังมีอิทธิพลต่อการหมุนเวียนและการผสมกลมกลืนของน้ำในแหล่งน้ำต่างๆ ในบริเวณเขตอบอุ่นค่อนข้างลึกจะมีชั้นของน้ำที่อุณหภูมิแตกต่างกันในฤดูร้อน การที่แหล่งน้ำมีการแบ่งชั้นของอุณหภูมิตามระดับความลึกเราเรียกว่า “Thermal stratification” ชั้นบนที่มีอุณหภูมิสูงเราเรียกว่า epilimnion ชั้นกลางที่มีการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วเราเรียกว่า thermocline และชั้นล่างมีอุณหภูมิต่ำและค่อนข้างคงที่เราเรียกว่า hypolimnion กระบวนการดังกล่าวมีอิทธิพลต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำมาก thermocline เป็นที่อยู่อาศัยของปลาบางชนิด โดยธรรมชาติแล้วปลาชนิดต่างๆจะมีการชอบอุณหภูมิต่างกัน ฉะนั้นใน thermocline มันจะวางตัวในระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยทั้งนี้อาจเป็นการหลีกเลี่ยงการกินกันเอง ในแหล่งน้ำของเขตอบอุ่น เช่น ปลาเทราต์อาศัยอยู่ในชั้นของ thermocline ส่วนปลากระพงน้ำจืดจะอาศัยในชั้นของ epilimnion อุณหภูมิทำลายชีวิตของปลาทะเล 24 ชนิดของอ่าวไทย ผลการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิกดของอ่าวไทย (28°) อุณหภูมิทำลายชีวิตขั้นต้นของปลาทั้ง 24 ชนิดแปรผันอยู่ในพิสัย 34°C ถึง 37.5°C นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ปลาได้ปรับตัวอยู่แล้วมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงขึ้น ก็จะทำให้อุณหภูมิหลีกหนีอุณหภูมิทำลายชีวิตขั้นสูงสุด อุณหภูมิทำลายชีวิตขั้นต้นของปลามีค่าสูงขึ้นไปด้วย

ถ้าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นไม่สูงมากนัก สิ่งมีชีวิตในบริเวณนั้นก็อาจสามารถปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่นี้ได้ ซึ่งอาจจะใช้เวลาไม่นานหรืออาจจะใช้เวลาหลายๆชั่วชีวิต ถ้าปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่นี้ไม่ได้ก็ต้องอพยพย้ายถิ่นไปอยู่ที่อื่นและอุณหภูมิก็จะมีผลต่อค่า pH เหมือนกัน โดยถ้าอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิมาตรฐาน 25°C ก็จะทำให้ค่า pH มีค่าความเข้มข้นน้อยกว่าเดิม แต่ถ้าอุณหภูมิของน้ำที่วัดได้ต่ำกว่าอุณหภูมิจะทำให้กราฟของค่า pH มีค่าความเข้มข้นมากขึ้นกว่าเดิม

ในการวิเคราะห์น้ำเพื่อนำไปใช้งานด้านต่างๆ นั้นคุณสมบัติเฉพาะตัวเกี่ยวกับอุณหภูมิจะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่นำไปใช้ ในงานบางประเภทอุณหภูมิของน้ำเป็นตัวแปรสำคัญในการกำหนดคุณภาพน้ำ เช่น บ่อเลี้ยงปลา เลี้ยงกุ้ง เป็นต้น แต่ในทางกลับกันงานบางประเภทอุณหภูมิอาจจะไม่ใช่ตัวแปรสำคัญมากนัก เช่น น้ำดื่ม น้ำใช้ ดังนั้นในการวิเคราะห์น้ำโดยอุณหภูมิเป็นตัวแปรตัวหนึ่งจะต้องรู้ขอบเขตของตัวแปรดังนี้

ชนิดของน้ำ	ขอบเขตอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
น้ำประปา	22-35
บ่อเลี้ยงสัตว์	25-34
น้ำดื่ม	10-50
น้ำบริสุทธิ์	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ค่า PH

ค่าพีเอช แสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำ น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจะมีค่าพีเอชน้อยกว่า 7 เป็นด่างจะมีค่าพีเอชมากกว่า 7 และเป็นกลางจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 ค่าพีเอชของน้ำทั้งมีความสำคัญในการกำจัดด้วยวิธีการทางเคมี ฟิสิกส์และชีววิทยา ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมค่าพีเอชของน้ำให้คงที่หรือควบคุมให้อยู่ในช่วงที่จำกัดไว้โดยจะมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.5-8.5 ในแหล่งน้ำ

การปรับพีเอชของน้ำ

ความเป็นด่าง (alkalinity)

ความเป็นด่าง หมายถึง ความสามารถของน้ำในการทำให้กรดเป็นกลางและมีค่าเท่ากับปริมาณของกรดแก่ (strong acid) ที่ต้องใช้ในการไตเตรตน้ำจากสภาวะเริ่มต้น จนถึงจุดสุดท้ายของกรดคาร์บอนิก (Carbonic Acid End point) อุณหภูมิของน้ำไม่มีอิทธิพลโดยตรงต่อระดับความเป็นด่าง กล่าวคือ ความเป็นด่างของน้ำจะมีค่าคงที่เสมอไม่ว่าจะวัดที่อุณหภูมิใดๆก็ตาม แต่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก็มีผลกระทบต่อความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบคาร์บอเนต เช่น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หินปูนตกผลึกได้เพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้ CO_3^{2-} ลดลงความเป็นด่างจึงลดลงด้วยเหตุนี้อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความเป็นด่าง จึงขึ้นอยู่กับระดับการตกผลึกของหินปูนหรือสารประกอบคาร์บอเนตตัวอื่น ความเป็นด่างจะไม่เปลี่ยนแปลงถ้าไม่มีการตกผลึกหรือการละลายของหินปูน

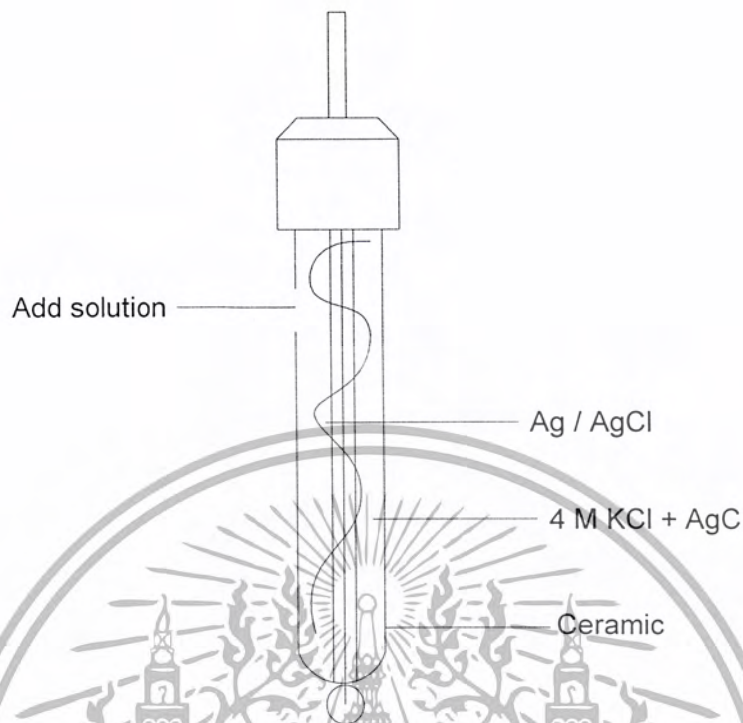
ความเป็นกรด (Acidity)

ความเป็นกรดเป็นพารามิเตอร์ที่มีความหมายคู่ไปกับความเป็นด่าง กล่าวคือ ความเป็นกรด หมายถึงความสามารถในการให้ด่างเป็นกลางจะเห็นได้ว่า ความเป็นกรดไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอเนต ดังนั้นความเป็นกรดจึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ไม่ว่าจะมีการตกผลึกหรือการละลายตัวของหินปูนเกิดขึ้นหรือไม่ก็ตาม ในทางตรงกันข้าม ความเป็นกรดขึ้นอยู่กับ CO_2 ในน้ำในอุณหภูมิน้ำที่สูงเกินไปและยังมีผลต่อการละลายของออกซิเจนในน้ำลดลงอีกด้วย ดังนั้นอุณหภูมิจึงทำให้กรดมีการเปลี่ยนแปลง

หัววัดค่า pH ซึ่งมักจะเป็นหัวแก้วอิเล็กโตรด (Glass Electrode) ซึ่งเป็นขั้วที่ทำให้แรง

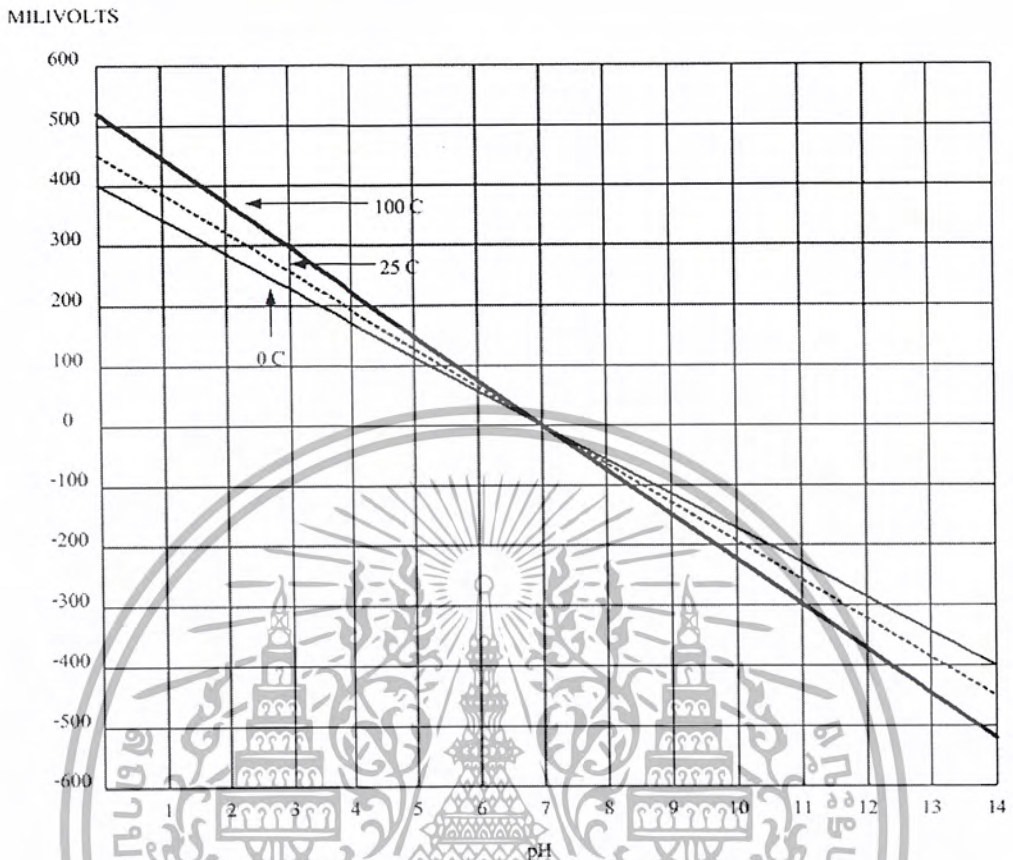
ดันไฟฟ้าโดยแปรตามปริมาณความเข้มข้น H^+ ของสารละลาย และถูกส่งต่อให้วงจรวัด วัดค่าแรงดันไฟฟ้านั้น จากนั้นจึงจะเปลี่ยนแปลงเป็นค่า pH อีกครั้งหนึ่ง ที่หัววัดประกอบไปด้วยหลอดแก้วชนิดพิเศษซึ่งมีความไวต่อไอออน H^+ ภายในขั้วจะบรรจุสารละลายบัฟเฟอร์ (buffer solution) ซึ่งมีค่า pH คงที่ (ประมาณ pH 7) อยู่ตลอดเวลา สารละลาย KCl อิ่มตัวในสารละลายนี้จะมีขั้วไฟฟ้าจุ่มอยู่ ขั้ว ไฟฟ้ามักทำด้วยโลหะเงิน ซึ่งจะฉาบด้วย silver chloride ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงรูปของหัววัดค่า pH Typical pH glass measuring electrode

การทำงานของหัววัดเป็นดังนี้ เมื่อหัววัดถูกจุ่มอยู่ในสารละลายที่จะทำการวัดค่า pH จะเกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างผิวทั้งสองด้านของหลอดแก้วซึ่งชั้นระหว่างสารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer Solution) ภายในหลอดแก้ว กับสารละลายภายนอกหลอดแก้วนั้น ศักย์ไฟฟ้านี้จะแปรตามอัตราส่วนของความเข้มข้นของไอออน H^+ ของสารละลายทั้งสอง ถ้าสารละลายมีค่า pH เท่ากับ ศักย์ไฟฟ้านี้จะมีค่าเป็นศูนย์ ถ้าสารละลายที่วัดมีความแตกต่างของ pH มากกว่า 7.0 ศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าเป็นลบและในทางตรงข้ามถ้าสารละลายมี pH น้อยกว่า 7.0 ศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าเป็นบวก ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างแก้วกับความเข้มข้นของไอออน H^+



รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ของค่า pH กับแรงดันไฟฟ้า (millivolt)

pH meter ใช้ได้กว้างขวางมากแม้แต่กับน้ำตัวอย่างซึ่งขุ่นหรือกับน้ำเสียก็ตาม นี่เป็นข้อดีของ pH meter ข้อควรระวังคือการรักษา electrode อุณหภูมิก็มีผลต่อการวัด เพราะการเปลี่ยนแปลงของ potential ต่อหน่วย pH จะแปรผันกับอุณหภูมิจะตัดปัญหาได้เพราะสามารถชดเชยอุณหภูมิได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความขุ่น (Turbidity) หรือตกตะกอนแขวนลอย

ความขุ่นของน้ำเกิดจากการมีสารละลายแขวนลอยต่างๆอยู่ เช่น ดิน ตะกอน สารอินทรีย์ แพลงตอน และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอื่นๆ ควรทำการวิเคราะห์ทันทีเมื่อเก็บตัวอย่างมา แต่ถ้าจำเป็น ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในวันนั้น จะต้องเก็บตัวอย่างนั้นไว้ในที่มืด และควรทำการวิเคราะห์ภายใน 24 ชั่วโมง น้ำที่นำมาวิเคราะห์จะต้องไม่มีเศษหรือชิ้นส่วนที่ตกตะกอนเร็ว ฟองอากาศ เครื่องแก้วจะต้องสะอาด จะต้องไม่มีค่าสันสะท้อนซึ่งอาจทำให้อ่านผิด

อิทธิพลของความขุ่น

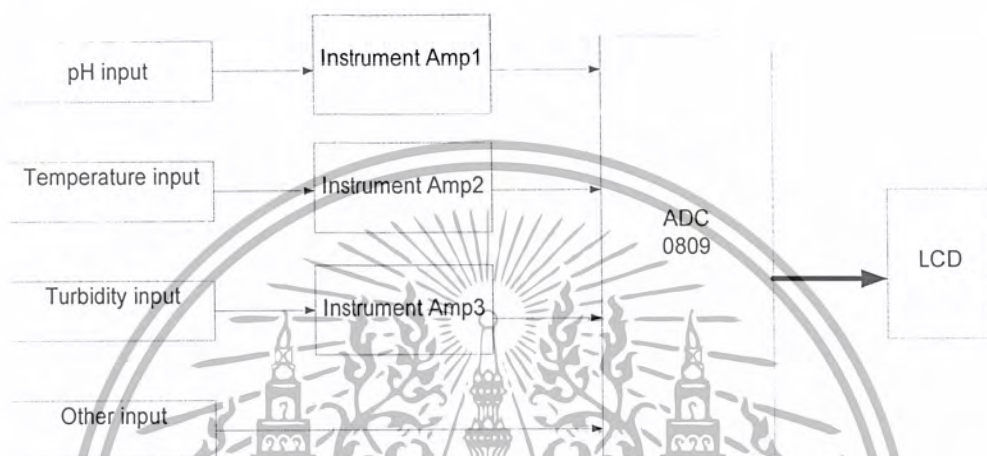
ความขุ่น ทำให้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น น้ำที่มีตะกอนแขวนลอย 100 มก./ล. จะมีความหนาแน่น 1.00006 มก./ล. แต่ถ้าตะกอนแขวนลอยเพิ่มขึ้นเป็น 1,000 มก./ล. ความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.0006 มก./ล. เป็นต้น การเพิ่มความขุ่นของน้ำอย่างกะทันหัน (ดังเช่น เมื่อมีฝนตกหนักหรือน้ำหลากกะทันหัน) ก่อให้เกิดกระแสความหนาแน่นในถังตกตะกอน และมีการไหลลัดทางเกิดขึ้นน้ำที่มีความขุ่นสูงจะไหลจมลงก้นถังเหมือนในกรณีของน้ำเย็น



บทที่ 3

กระบวนการออกแบบ

โครงการนี้ได้ออกแบบระบบของวงจรถรววัดคุณภาพน้ำ (Water Analysis) โดยมีโครงสร้างของการทำงานของระบบเป็นไปดังรูป บล็อกไดอะแกรม ดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดง Block diagram ของระบบโดยรวม

จาก Block diagram สามารถจำแนกหลักการทำงานเบื้องต้นดังนี้เมื่อต้องการวัดค่า pH ของสภาพน้ำ หัววัดจะถูกจุ่มลงในน้ำแล้วเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานทางไฟฟ้าออกมาที่ขั้วของหัววัดอิเล็กโตรด (electrode) แล้วต่อเข้าไปยังวงจร อินสตรูเมนต์ (Instrument Amp) เพื่อขยายสัญญาณและกำจัดสัญญาณรบกวนออกไป แล้วส่งไปยัง อินพุท (Input) ของ ADC0809

เมื่อต้องการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำขณะนั้น หัววัดจะถูกจุ่มลงในน้ำแล้วหัววัดจะเปลี่ยนพลังงานทางฟิสิกส์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าออกมา สัญญาณที่ได้จะทำการขยายสัญญาณโดยวงจร อินสตรูเมนต์ แล้วส่งไปยังอินพุทของ ADC0809

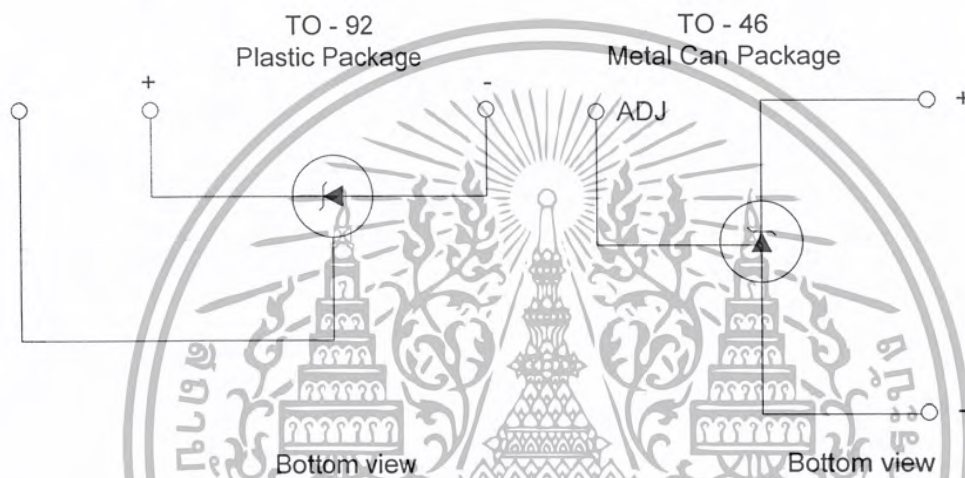
ในการวัดค่าความขุ่นของน้ำวัดโดยการปล่อยแสงผ่านตัวอย่างน้ำแล้ว ทางด้านเข้าที่พุทจะวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาส่งค่าที่ได้เข้าอินพุทของ ACD0809

ในส่วนของ ACD0809 จะเปลี่ยนสัญญาณที่เข้ามาทางอินพุทเป็นสัญญาณดิจิตอล (Digital) ขนาด 8 บิต (Bit) ส่งออกมาทางเข้าที่พุท แล้วเข้าไปประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer)

3.1 ตัวตรวจจับอุณหภูมิ

3.1.1 โครงสร้าง

ไอซีเบอร์ LM 335 เป็นวงจรรวม ซึ่งทำเป็นตัวตรวจจับอุณหภูมิ สำหรับใช้ในย่านอุณหภูมิ ตั้งแต่ 0 องศาเซลเซียส จนถึง 100 องศาเซลเซียส โดยได้ผลิตออกมาอยู่ในตัวถังพลาสติกสีดำ ซึ่งมีลักษณะการต่อขา ดังรูปที่ 3.2 ก. และในตัวถังโลหะแบบ TO-46 ซึ่งมีลักษณะการต่อขา ดังรูปที่ 3.2 ข



รูปที่ 3.2 (ก) ลักษณะรูปร่างและการต่อขาของ LM335 ในตัวถังพลาสติกสีดำแบบ TO-92

(ข) ลักษณะรูปร่างและการต่อขาของ LM335 ในตัวถังแบบโลหะแบบ TO-46 เมื่อมองจากด้านล่าง

3.1.2 คุณสมบัติเฉพาะตัว

LM 335 เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูกซึ่งเป็นแบบเดียวกับเบอร์ LM 235 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ชนิดเดียวกันที่ใช้ในย่านอุณหภูมิตั้งแต่ -25 องศาเซลเซียส จนถึง +10 องศาเซลเซียส ส่วนเบอร์ LM 135 ได้ออกแบบมาใช้ทางทหาร โดยใช้ในงานย่านอุณหภูมิตั้งแต่ -53 องศาเซลเซียส จนถึง +150 องศาเซลเซียส โดยที่ไอซีสองเบอร์หลังนี้มีความคลาดเคลื่อน จากรายละเอียดทางเทคนิคน้อยกว่าเบอร์ LM 335 ส่วนตัวท้าย A ตามหลัง เช่น LM 335A หมายความว่า ทำการผลิตโดยมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับรายละเอียดทางเทคนิคมากกว่า และก็มีราคาถูก เบอร์ LM335 ก็สามารถใช้ได้ดีในวงจรที่ใช้เบอร์ LM335A

โดยพื้นฐานแล้ว LM335 ก็ทำงานเช่นเดียวกับซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) แรงดันพังทลาย หมายถึง แรงดันเอาต์พุตจากวงจรนี้ จะแปรผัน โดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ โดยที่ค่าเท่ากับ 10 มิลลิโวลต์ ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลวิน (10 mV/°K) ในย่านอุณหภูมิที่ออกแบบมาใช้งาน และ LM 335 มีค่า ไดนามิกพีแดนซ์ (Dynamic impedence) ที่กระแสมีค่าโดยปกติ 0.6 โอห์ม

อุปกรณ์ตัวนี้จึงสามารถทำงานได้ในย่านกระแสตั้งแต่ 400 ไมโครแอมป์จนถึง 5 มิลลิแอมป์ โดยเสมือนว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของตัวมันเลย และข้อที่น่าสังเกต ก็คือ ค่ากระแสตรง (Forward current) หรือกระแสย้อนกลับ (Reverse current) สูงสุด ซึ่งไหลผ่านอุปกรณ์ตัวนี้ อย่างปลอดภัยแม้ว่าจะเป็นเพียงชั่วขณะ ควรจะเป็น 10 มิลลิแอมป์ ถ้ากระแสสูงกว่านี้จะทำให้เกิดความเสียหายต่อไอซีได้

ประโยชน์ที่สำคัญของ ไอซี LM 335 ก็คือ จะให้เอาต์พุตที่เป็นเชิงเส้น ซึ่งไม่เหมือนกับเอาต์พุตที่ได้จากตัวตรวจจับอุณหภูมิส่วนใหญ่ ซึ่งเอาต์พุตจะไม่เป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิ แต่ที่จริงแล้ว ถ้าเรานำเอาค่าแรงดันเอาต์พุตมาเขียนกราฟระหว่างค่าแรงดันเอาต์พุต กับอุณหภูมิตลอดย่านการทำงานของไอซีตัวนี้ เมื่อลากเส้นกราฟไปตัดกับแกนอุณหภูมิที่ศูนย์องศาสัมบูรณ์ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ท่านได้จากกราฟจะเป็นศูนย์โวลต์เลยทีเดียว

เช่นเดียวกับระบบตรวจจับอุณหภูมิทั่วไป ความร้อนใดๆที่เกิดขึ้นจากกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ที่ตรวจจับจะมีผลต่อค่าอุณหภูมิของตัวมันตลอดจนค่าแรงดันเอาต์พุตที่เกิดขึ้น สำหรับ LM 335 นั้นควรจะให้ทำงานที่กระแสต่ำสุด ซึ่งเพียงพอที่จะขับให้วงจรภายในไอซีทำงานได้ เมื่อคำนวณค่าของ R จะยอมให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อขนานกับไอซีสำหรับที่กระแสเอาต์พุตใดๆโดยกระแสประมาณ 400 ไมโครแอมป์จะเป็นกระแสต่ำสุดที่ไอซีนีจะทำงานได้เป็นปกติ ถ้าตัวตรวจจับอุณหภูมิใช้ในสถานที่ซึ่งค่าความต้านทานทางอุณหภูมิต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมีค่าคงที่ ค่าความผิดพลาดจากความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวเอง สามารถที่จะปรับปรุงให้ถูกต้องได้ ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์นั้นทำงานด้วยกระแสที่โดย ไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความร้อนที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ จะแปรผันโดยตรงกับแรงดันซีเนอร์และอุณหภูมิสัมบูรณ์ ดังนั้น ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากความร้อนในตัวของมันเองจะแปรผันโดยตรงกับค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ และความเป็นเชิงเส้นของสเกลอุณหภูมิที่รักษาไว้

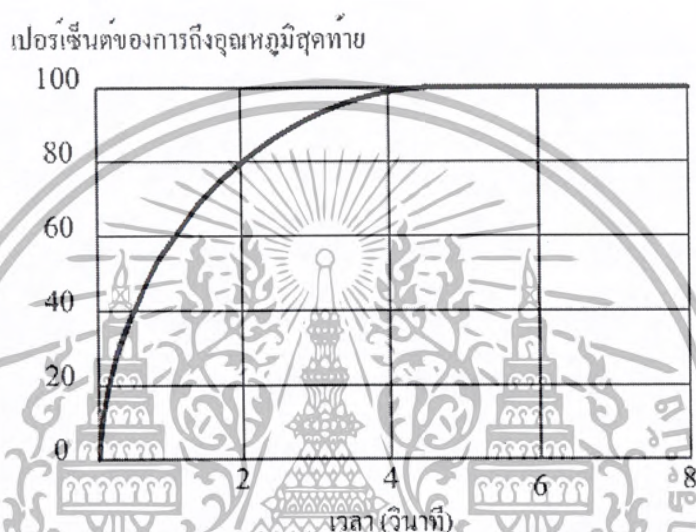
ในวงจรต่างๆไปของ LM 335 ซึ่งไม่ได้ปรับค่าตัวมิลลิแอมป์ ค่าความผิดพลาด เนื่องจากอุณหภูมิจะเท่ากับ 2 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หรือ 4 องศาตลอดย่านการทำงาน เมื่อได้มีการปรับค่าความถูกต้องไว้ ค่าความผิดพลาดเป็น 2 องศาเซลเซียส ความไม่เป็นเชิงเส้นที่กระแส 1 มิลลิแอมป์ จะเท่า 0.3 องศาเซลเซียส ตลอดย่านในอากาศอุปกรณ์ตัวนี้ต้องใช้เวลาระมาณ 3 นาที ที่จะมีอุณหภูมิถึงสุดท้ายหลังจากที่อุณหภูมิเปลี่ยนไป (ในรูปที่ 3.2) ค่าคงที่ของเวลาจะมีค่า

ตามที่ออกแบบไว้เท่ากับ 80 วินาที ในน้ำมันที่กวนให้เคลื่อนที่ค่าอุณหภูมิสุดท้ายจะถึงภายในเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 3 วินาที (ค่าคงที่ของเวลาจะเท่ากับ 1 วินาที ตามที่ออกแบบไว้) ตลอด 1000 ชั่วโมง ถึงแม้ที่ อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส

ค่าไดนามิกอิมพีแดนซ์จะน้อยกว่า 1 โห้้ม ที่ความถี่สูงกว่า 1 กิโลเฮิร์ตซ์ (ตามที่ออกแบบไว้) ค่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 20 ถึง 30 โห้้ม ที่ความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์



รูปที่ 3.3 เวลาการตอบสนองของ LM 335 ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

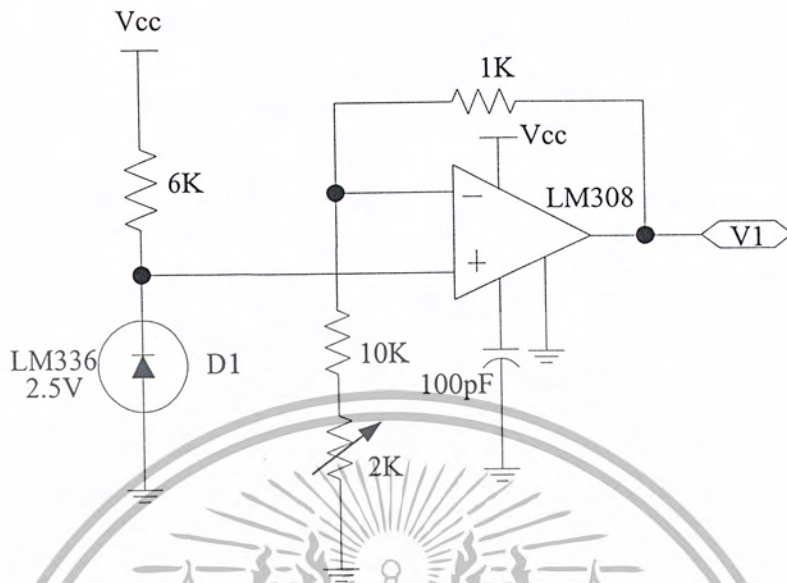
3.1.3 วงจรตรวจจับอุณหภูมิด้วย LM335

เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ LM335 มีลักษณะการทำงานคล้าย ZENER DIODE โดยแรงดันพังทลายหรือแรงดันเอาท์พุทจะแปรผันตามอุณหภูมิสัมบูรณ์ในหน่วยของสเกลวิน โดยมีค่าเท่ากับ $10 \text{ mV} / 1\text{K}$ และคุณสมบัติที่สำคัญของ LM335 คือให้แรงดันเอาท์พุทเป็นเชิงเส้น ซึ่งถ้าเอาท์พุทมาพลอตกราฟระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิตลอดย่านการทำงานของ LM335 เส้นกราฟไปตัดแกนที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีการปรับแต่งอุณหภูมิให้ถูกต้องโดยการต่อความต้านทานปรับค่าได้คร่อม LM335 ดังรูป

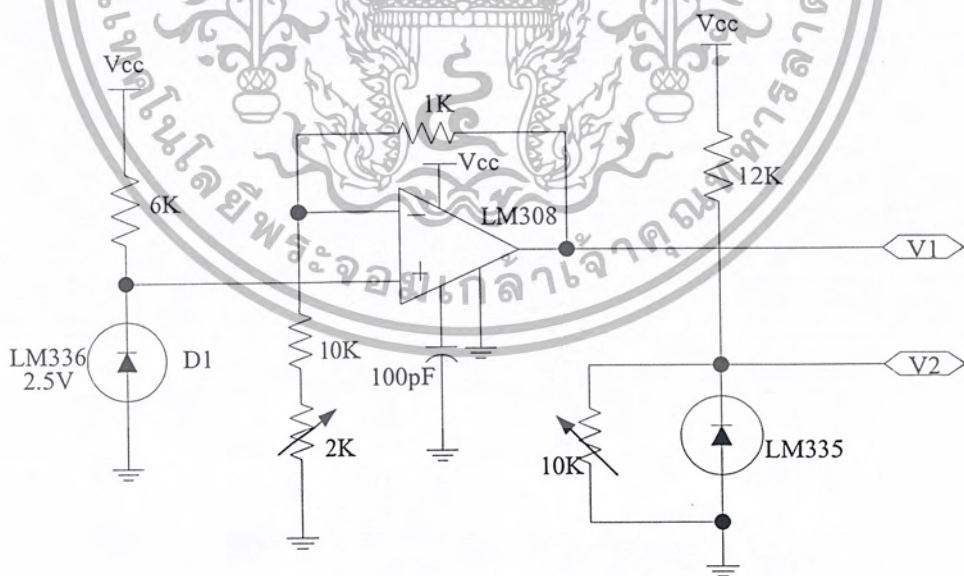


รูปที่ 3.4 ก วงจรพื้นฐานการใช้งานของ LM335 รูปที่ 3.4 ข วงจรปรับแต่งความถูกต้องโดยใช้ความต้านทานปรับค่าได้

ในโครงการนี้ต้องทำการควบคุมการแปรผันตามอุณหภูมิของแรงดันเอาท์พุทนั้นให้แปรผันตามอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียสแต่เนื่องจาก LM335 นั้นจะมีแรงดันแปรผันตามอุณหภูมิเป็นเคลวิน และอุณหภูมิในหน่วยองศาเคลวินต่างจากอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียสอยู่ 273 องศา ดังนั้นเพื่อการแปลงหน่วยอุณหภูมิออกมาในหน่วยองศาเซลเซียสที่คุ้นเคยกับคนไทยนั้นจึงต้องทำการสร้างแรงดันขนาด 2.73 โวลต์คงที่ขึ้นมาโดยใช้ IC Op-Amp เบอร์ LM308 สร้างแรงดันขนาด 2.73 โวลต์เพื่อนำมาหาผลต่างกับแรงดันเอาท์พุทจาก LM335 ที่แปรผันตามอุณหภูมิในหน่วยองศาเคลวิน ผลที่ได้ออกมาคือแรงดันที่แปรผันตามอุณหภูมิองศาเซลเซียส



รูปที่ 3.5 วงจรสร้างแรงดัน 2.73 โวลต์โดยใช้ LM308



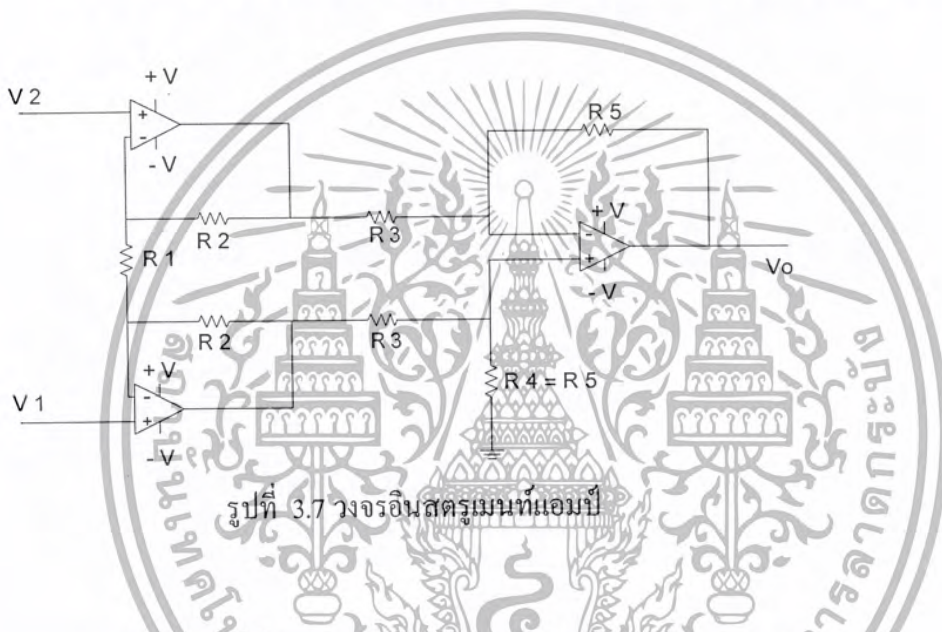
รูปที่ 3.6 วงจรตรวจวัดอุณหภูมิที่แปรตามอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นก่อนทำการวัดอุณหภูมิจึงต้องปรับค่าความต้านทานเพื่อให้แรงดันเอาต์พุตที่ออกมาแปรผันตามอุณหภูมิแบบเชิงเส้นเพื่อความถูกต้องแม่นยำ ตัวอย่างเช่นที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส เราจึงต้องทำการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้จนได้ค่าแรงดันเอาต์พุตเป็น 3.03 โวลต์ ทำให้การวัดอุณหภูมิตลอดทั้งย่านถูกต้องแม่นยำ

3.2 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

เราสามารถสร้างวงจรรขยายอินสตรูเมนต์ได้โดยนำออปแอมป์ 3 ตัวมาต่อดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

จากวงจรรูปที่ 3.7 เราสามารถหาค่าอัตราขยายแรงดันได้จากสมการที่ 3.2

คุณสมบัติโดยย่อของวงจรรขยายอินสตรูเมนต์ได้ดังนี้

1. อัตราขยายแรงดันซึ่งจะนำมาคูณกับค่า $V_1 - V_2$ เราสามารถกำหนดได้โดยปรับค่าความต้านทานเพียงตัวเดียว
2. ความต้านทานทางอินพุตจะมีค่าสูงมาก และไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราขยาย
3. V_{out} ไม่ขึ้นอยู่กับการค่าแรงดันคอมมอนที่มาจากทั้ง V_1 และ V_2 แต่จะเป็นผลที่ขึ้นกับแรงดันแตกต่าง หรือแรงดันดิฟเฟอเรนเชียลเท่านั้น

สำหรับการออกแบบวงจรรขยายอินสตรูเมนต์นี้จะให้อัตราขยาย 10 เท่า เพื่อใช้ขยายสัญญาณสำหรับหัววัด pH และที่ตรวจจับอุณหภูมิ LM 335 จะใช้วงจรบัฟเฟอร์ซึ่งใช้การออกแบบ

$$Gain = \frac{R_4}{R_3} \left[1 + \frac{2R_2}{R_1} \right] \quad 3.2$$

ให้ค่า R_3 เท่ากับ 10 K จะได้

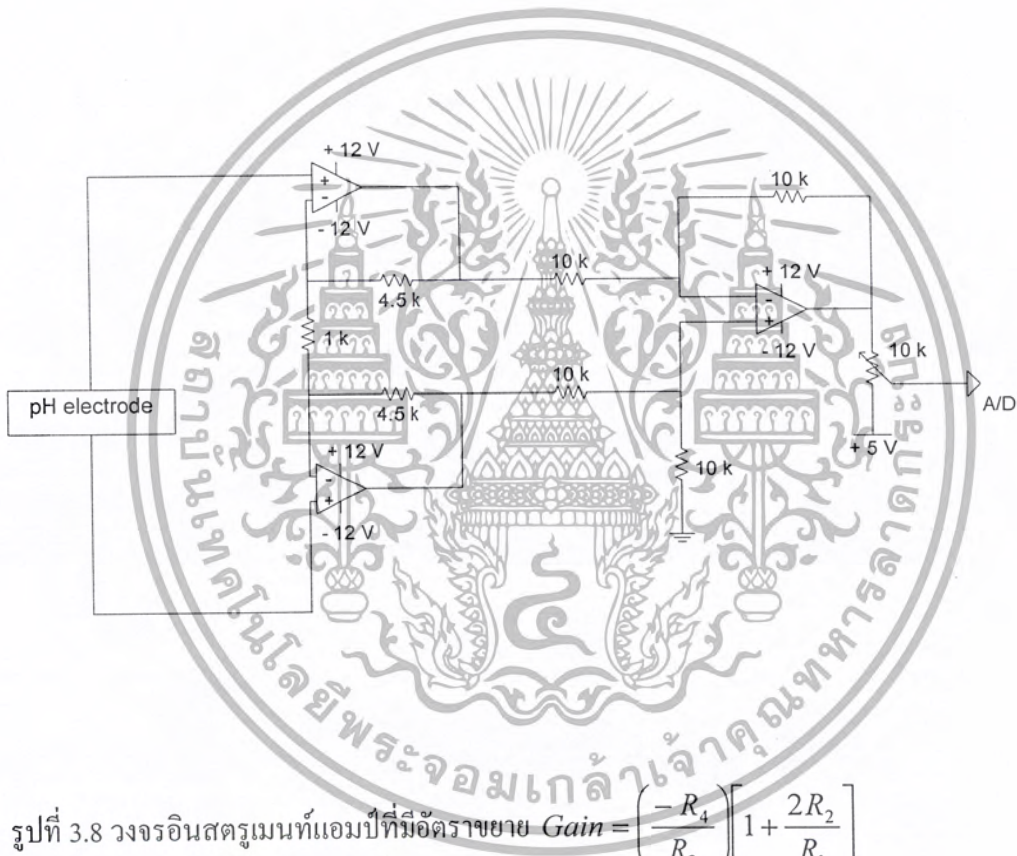
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Gain = 1 + \frac{2R_2}{R_1}$$

ที่อัตราขยาย 10 เท่า : ใช้ $R_2 = 45 K$

$$10 = \left[1 + \frac{2 * 4.5K}{R_1} \right]$$

$$R_1 = 1K$$



รูปที่ 3.8 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์ที่มีอัตราขยาย $Gain = \left(\frac{-R_4}{R_3} \right) \left[1 + \frac{2R_2}{R_1} \right]$

3.3 วงจรวัดค่าความขุ่น

หลักการในการออกแบบโดยอาศัยการปล่อยแสงอินฟราเรด ผ่านตัวอย่างน้ำแล้วใช้โฟโตดีเทคเตอร์ (Photodetector) วัดความเข้มแสงแล้วนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ ในครั้งนี้ใช้ตัวส่งอินฟราเรดเบอร์ MLED 71 ส่วนตัวรับใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) เบอร์ MLED 76 แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรวัดค่าความขุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

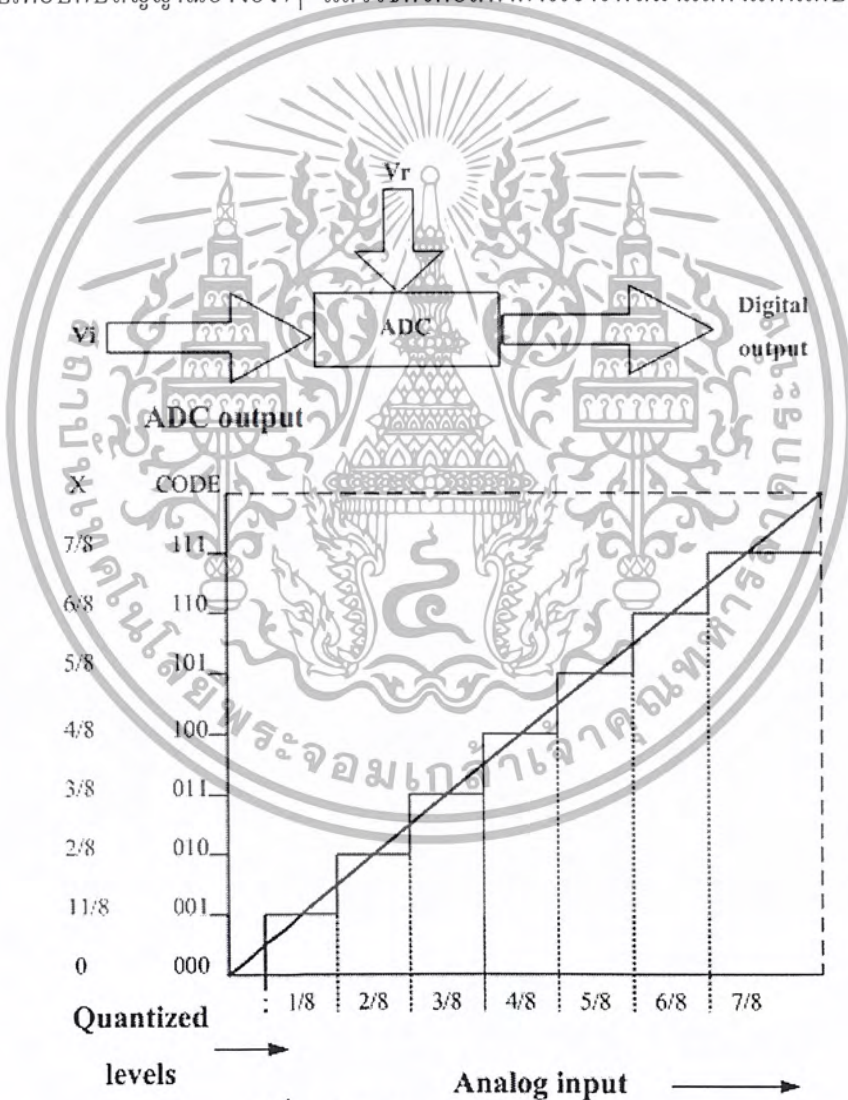
3.4 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล (Analog To Digital Conversion)

ในโครงการนี้ใช้ ADC 0809 การเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล จำจำกัดความที่ใช้กันทั่วไป และสัญญาณด้านอินพุต และเอาต์พุตในทางปฏิบัติของ ADC

3.4.1 ความสัมพันธ์ขั้นพื้นฐานของอินพุตและเอาต์พุต

การเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล ก็คือ การกระทำการเปลี่ยนแปลงที่มีสัดส่วนต่อเนื่องกัน ไปตลอดเวลา สัญญาณอินพุตแอนะล็อก V_i จะถูกเปลี่ยนให้อยู่รูปเศษส่วนของ X โดยทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง V_r แล้วใช้ดิจิตอลทำการเข้ารหัสมาแสดงแทนเศษส่วนดังรูป 3.8

(ก)



รูปที่ 3.10 Analog To Digital Converter

(ก) ความสัมพันธ์พื้นฐาน

(ข) คุณสมบัติของ ADC0809 ขนาด 8 บิต

ถ้าเอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ให้รหัสเลขฐานสองออกมา n บิต นั้นหมายความว่า จะสามารถแบ่งระดับสัญญาณออกเป็นคิสกริตเอาท์พุทได้ครั้งที่ 2^n แต่ละรหัสจะมีค่าห่างเท่าๆกัน ด้วยเหตุนี้ช่วงสัญญาณด้านอินพุทจะสามารถควอนไตซ์ได้เท่ากับจำนวนระดับ แต่ละระดับจะแสดงค่าความแตกต่างของแต่ละสัญญาณอานาล็อกด้วยรหัสที่แตกต่างกันสองรหัส หรือเรียกว่า ขนาดของบิตที่มีนัยสำคัญต่ำ (LSB) ดังนั้นค่าอานาล็อกทุกๆค่าในควอนตัมที่กำหนดให้ จะถูกแทนที่ด้วยดิจิตอลเพียงค่าเดียวเท่านั้น ดังนั้น (ตัวอย่างเช่น ถ้าสมมติว่าระดับของการควอนไตซ์ ห่างกันช่วงลบหนึ่ง โวลท์ ระดับแรกคือ ช่วง $0 - 1$ โวลท์ ดังนั้น ไม่ว่าขนาดของสัญญาณอานาล็อกจะมีค่าเป็น $0.1 - 0.9$ โวลท์ ก็จะถูกแทนด้วยรหัส 00 เหมือนกันทั้งหมด เนื่องจากถือว่าอยู่ในระดับควอนตัม) โดยทั่วไปจะเปรียบเทียบกับค่ากึ่งกลางของแต่ละช่วง เทรดโฮลด์ (Threshold) ดังนั้น สัญญาณอินพุทจะต่างจากระดับเทรดโฮลด์มากที่สุดคือ $\pm 1/2$ LSB และยังคงใช้รหัสเดียวกันแทนค่า หรือพูดได้ว่าการควอนไตซ์จะไม่แน่นอนในช่วง $\pm 1/2$ LSB ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากอานาล็อกเป็นดิจิตอล ผลกระทบอันนี้สามารถลดให้ต่ำลงได้ถ้าเพิ่มจำนวนบิตของเอาท์พุทของ ADC รูปที่ 3.8 (ข) แสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงสัญญาณโดยใช้ ADC ขนาด 3 บิต ทางอุดมคติขนาด LSB จะมีค่าเท่ากับ $1/8$ LSB และขนาดของอินพุทจะถูกควอนไตซ์เป็น 8 ระดับ คือ จาก 0 ถึง $7/8$ FS พึงสังเกตว่าค่าเอาท์พุทสูงสุดของเลข ไบนารี คือ 111 จะไม่เท่ากับ FULL SCALE แต่จะเท่ากับ $7/8$ FS หรือพูดได้ว่าค่าเอาท์พุทสูงสุดของ ADC จะเท่ากับ full scale - 1 LSB

3.4.2 Converter Resolution and Converter Accuracy

Converter Resolution หมายถึง การเปลี่ยนแปลงค่าอานาล็อกที่น้อยที่สุดที่ทำให้ ADC เปลี่ยนรหัสเอาท์พุทของมัน ไประดับ โดยทั่วไปจะใช้เป็นตัวย่อว่า ADC เข้าใกล้อุดมคติมากที่สุด และมันจะสะท้อนให้เห็นถึง Converter's capability แทนที่จะหมายถึงประสิทธิภาพที่แท้จริงของมัน Converter Resolution สามารถบอกอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ของ full scale หรือ ค่าเป็นมิลลิโวลท์เมื่อเทียบกับช่วงของอินพุท และค่าที่ใช้บ่อยๆคือ การระบุเป็นจำนวนบิตของ ADC

สำหรับ ADC ได้รับคำสั่ง start มันจะต้องอาศัยเวลาช่วงหนึ่งซึ่งเรียกว่า converter time, t_c หลังจากนั้นจึงจะได้ข้อมูลออกมาที่เอาท์พุท ในขณะที่กำลังทำการเปลี่ยนสัญญาณจากอานาล็อกเป็นดิจิตอล ถ้าแรงดันที่อินพุทเปลี่ยนแปลงไปทำให้ผลที่ได้จากเอาท์พุทไม่แน่นอน (ไม่ถูกต้อง) ถ้า ADC ขนาด n บิตมี converter time

$$f_{\max} = \frac{1}{2^n t_c \pi} = 12.4 \text{ Hz}$$

จาก ADC 0809 ข้อกำหนดที่ว่า ความแม่นยำที่ได้จาก full converter จะเป็นจริงก็ต่อเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของอานาล็อกอินพุทจะต้องต่ำกว่า converter's resolution เมื่อรักษาข้อกำหนดนี้ให้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จริง จากตัวอย่างสัญญาณคลื่นรูปขายนอินพุทจะถูกจำกัดให้มีความถี่ไม่เกิน 12.4 เฮิร์ตซ์ ถ้าเป็นเช่นนี้ การนำ ADC ไปใช้งานคงเป็นไปอย่างมีข้อจำกัด

เพื่อแก้ปัญหานี้ จึงใช้วงจรสุ่มและค้างค่า (Sample and Hold, S/H) มาอยู่ระหว่างกลางของ อินพุทกับ ADC วงจรสุ่ม และค้างค่าจะเป็นวงจรง่ายๆที่ทำหน้าที่สุ่มสัญญาณอนาล็อกอินพุทเข้ามา และรักษาค่าให้คงที่เอาไว้ในขณะที่ ADC กำลังทำการเปลี่ยนสัญญาณจากเดิมช่วงเวลาที่ต้องการรักษาค่าอินพุทอนาล็อกให้ค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ทำการเปลี่ยนสัญญาณจะไม่จำเป็นอีกต่อไป เนื่องจากการคงค่าของวงจรสุ่มและค้างค่าจะทำหน้าที่นี้แทน ฉะนั้นเวลาที่ต้องนำมาพิจารณาจะเป็น วงจรสุ่มและค้างค่าเรียกว่า aperture delay, t_a ซึ่งหมายถึง ช่วงเวลาที่วงจรสุ่มและค้างค่าได้รับคำสั่งให้ Hold แล้วจะต้องใช้เวลานานเท่าใด ค่าที่สุ่มเข้าจึงจะคงที่

ถ้าใช้วงจร S/H มี Aperture time เป็น 20 นาโนวินาที ความถี่ของการสุ่มและค้างค่าสูงสุดจะเป็น

$$f_{\max} = \frac{1}{2 \cdot t_c \cdot \pi} = 62.17 \text{ Hz}$$

เป็นตัวเลขที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับใช้ ADC ที่มี conversion time 100 ไมโครวินาที จะเห็นว่าเพิ่มมากขึ้น 100 เท่า เมื่อใช้วงจร S/H เข้าช่วย

3.4.3 Converter Input and Output

Analog input signal ADC ที่เป็น monolithic มักจะถูกออกแบบให้รับสัญญาณอินพุทแบบ ดิฟเฟอเรนเชียล หรือ signal ended ที่มีทิศทางเดียวกันก็ได้สัญญาณอินพุทป้อนเข้ามาจะต้องอยู่ในช่วง อินพุทที่กำหนด ท้ายๆไปก็จะอยู่ในช่วง 0-10 โวลต์ และ 0-5 โวลต์ ถ้าสัญญาณอินพุทที่ใช้งานไม่ กระจายเต็มช่วงอินพุทสูงสุดที่ ADC สามารถรับได้ เข้าที่พวทบางรหัสจะไม่ถูกใช้งาน ทำให้สูญเสียไป โดยเปล่าประโยชน์ เพื่อแก้ปัญหานี้ควรทำการสเกลสัญญาณอินพุทที่รับเข้ามาให้เต็มตลอดช่วงอินพุท ที่ได้รับของ ADC โดยการใช่วงจรออปแอมป์เข้าช่วยเล็กน้อยแล้ว จึงป้อนเข้าเป็นอินพุทของ ADC

ADC 0809 ต้องการสัญญาณอนาล็อกอ้างอิงเพื่อให้เปลี่ยนสัญญาณอินพุทให้อยู่ ในรูปของ อัตราส่วนของสัญญาณอ้างอิงความผิดพลาดใดๆที่เกิดจากการสัญญาณอ้างอิง ไม่ว่าจะเกิดจากการ ปรับแต่งช่วงเริ่มต้นหรือเกิดการดิฟท์ (diff) เมื่อเวลาเปลี่ยนไปและอุณหภูมิเปลี่ยนไป จะทำให้เกิด ความผิดพลาดแบบ “gain error” ขึ้นที่การส่งผ่านสัญญาณของ ADC ไอซีปรับแรงดันที่มีราคาถูก ท้ายๆไปก็ใช้งานได้ แม้ว่าแรงดันจะเปลี่ยนไปบ้างเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป แต่ก็ไม่ถึงว่าไม่มากนัก อย่างไรก็ตาม ถ้าต้องการให้มีเสถียรต่ออุณหภูมิได้ดีควรเลือก ไอซี ที่ทำหน้าที่เป็นแรงดันอ้างอิง โดยเฉพาะมาใช้งาน

Output ดิจิตอลเอาท์พุทของ ADC จะถูกกำหนดด้วยบิต (resolution) และชนิดของรหัสที่ใช้ โดยทั่วไปจะมี resolution หรือความละเอียดขนาด 8 บิต หรือ 12 บิต อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันนี้มี 10 บิต, $3\frac{1}{2}$ digit BCD, 14 บิต และ 16 บิต ให้เลือกใช้งาน รหัสเอาท์พุทมักจะเป็น Unipolar converter และเป็นแบบไบนารีธรรมชาติส่วน ADC ที่ออกแบบมาสำหรับใช้เป็นจอแสดงผลของดิจิตอล มิเตอร์ (digital panel meter หรือ digital meter) มักจะให้เอาท์พุทออกมาเป็นแบบ BCD

3.4.4 วงจร A/D

ในโครงการให้เลือกใช้ A/D เบอร์ ADC 0809 เพราะมีคุณสมบัติเหมาะสมกับโครงการในที่นี้



รูปที่ 3.11 แสดง ไอซีเบอร์ ADC0809

1. ขนาดอินพุทของ ADC 0809 มีขนาด 8 CHANNEL ซึ่งโครงการนี้สัญญาณที่ส่งผ่าน ADC เข้า Computer มีหลายแขนง มีหลายแขนง เช่น

- 1.1 สัญญาณการวัดหัว pH
- 1.2 สัญญาณการวัดอุณหภูมิ
- 1.3 สัญญาณการวัดฝุ่นละออง
- 1.4 ฯลฯ

2. ADC 0809 มีคุณสมบัติในการสลับบิตข้อมูลทางด้านเอาท์พุท เพื่อส่งข้อมูลเข้าทางพอร์ตขนาน ได้โดยสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ต่อใช้งานง่ายและราคาถูก กล่าวคือ

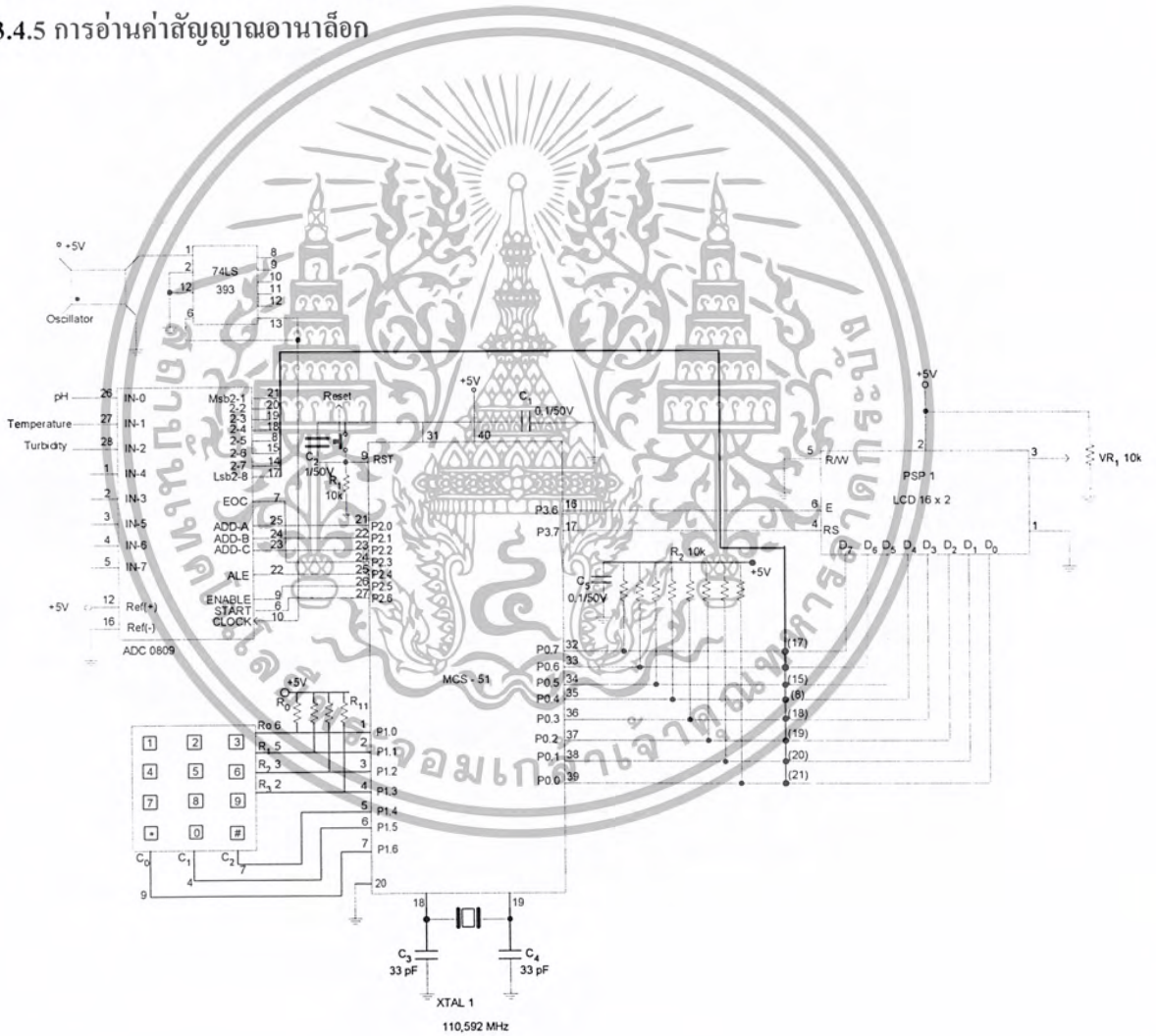
3.1 การคำนวณค่า clock

สูตร

$$f = \frac{0.7}{RC}$$

ในที่นี้จะเสนอวิธีการใช้สัญญาณขนาด 17 บิตของพอร์ตเพื่อป้อนสัญญาณออกไปภายนอก และส่งค่าสัญญาณเข้ามายังพอร์ตขนาน ก่อนอื่นเพื่อให้มีความเข้าใจตรงกัน โค้ดสำหรับบิตข้อมูลขนาด 8 บิต จะใช้เป็น D_0 ถึง D_7 , โค้ดสำหรับพอร์ตแสดงสถานะ (Status Port) จะใช้เป็น $S_3 - S_7$ และพอร์ตควบคุมจะใช้เป็น $C_0 - C_3$

3.4.5 การอ่านค่าสัญญาณแอนาล็อก



รูปที่ 3.12 แสดงการต่อใช้งาน ADC0809

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในรูปที่ 3.12 จะแสดงการอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในด้านอินพุท ซึ่งเป็นสัญญาณแอนาล็อกโดยใช้ ไอซีเบอร์ ADC 0809 ไอซีแปลงสัญญาณแอนาล็อกขนาด 8 บิต สาเหตุที่ใช้ ไอซีเบอร์นี้เนื่องจากหาซื้อได้ง่ายและราคาไม่แพง สามารถนำมาใช้งานต่อเชื่อมกับอุปกรณ์ต่างๆ ได้ง่าย ไอซี ADC 0809 สามารถอ่านค่าสัญญาณจากอินพุทได้ถึง 7 ช่อง ($IN_0 - IN_7$) มีช่วงระดับการวัดปกติในช่วง 0-5 โวลต์ สามารถเลือกช่องสัญญาณโดยการป้อนอินพุท 0-7 เข้าไปยังขา A ของ ไอซี ADC 0809 เมื่อต้องการเริ่มป้อนสัญญาณก็ต้องป้อนสัญญาณพัลส์เข้าที่ขา Star และขา ALE จากนั้นรอกจนกว่าขา ECC มีลอจิกเป็น 1 แสดงว่าการแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิทัลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็พร้อมที่จะอ่านค่าข้อมูลออกไปทางขา $DB_0 - DB_7$ ได้ ไอซี ADC 0809 นั้นต้องมีสัญญาณนาฬิกาป้อนให้กับตัวมันด้วย ช่วงความถี่ที่ไอซีตัวนี้ต้องการ คือ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 1,280 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยจะใช้เวลาแปลงสัญญาณประมาณ 100 ไมโครวินาทีที่สัญญาณนาฬิกา 640 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยวงจรนี้จะใช้ไอซี 74LS393 เป็นอินเวอร์เตอร์ชนิดทริกเกอร์ ตัวด้านทาน 1 กิโลโอห์มและตัวเก็บประจุ 0.002 ไมโครฟารัด เป็นตัวสร้างสัญญาณนาฬิกา โดยมีสูตรการคำนวณ

$$\text{หาค่าความถี่ คือ สัญญาณนาฬิกา} = \frac{0.7}{(RC)}$$

ขา Vref+ และขา Vref- จะเป็นตัวกำหนดแรงดันอ้างอิงสำหรับสัญญาณแอนาล็อกที่ป้อนเข้ามาทางอินพุท ถ้าสัญญาณที่ป้อนเข้ามามีค่าเท่ากับ Vref- สัญญาณที่เอาต์พุทก็จะเป็น 0 ถ้าสัญญาณที่ป้อนเข้ามามีค่าเท่ากับ Vref+ สัญญาณที่เอาต์พุทก็จะเป็น 255 ดังนั้น จึงสามารถต่อแรงดันอ้างอิงเข้ากับไฟเลี้ยง 5 โวลต์ และกราวด์ได้เพื่อใช้วัดแรงดันในช่วง 0-5 โวลต์

วงจรในรูปที่ 3.6 นั้น การอ่านค่าข้อมูลดิจิทัลจาก ADC 0809 จะใช้การอ่านค่า 2 ครั้งจากขา S_3, S_4, S_5 และ S_7 เอาต์พุท D_0, D_1 และ D_2 จะทำหน้าที่เลือกช่องสัญญาณอินพุทที่จะทำการแปลงขา D_3 จะเป็นการกำหนดการเริ่มต้นการแปลงขา D_4 จะทำหน้าที่เลือกสัญญาณ 4 บิตบน และ 4 บิตล่าง เพื่อที่จะนำเข้ามาอ่านค่าขา S_6 จะคอยรับสัญญาณจาก ADC 0809 เมื่อการแปลงสัญญาณเรียบร้อยแล้ว

จากวงจรในรูปที่ 3.12 ซึ่งจะเริ่มด้วยการส่งค่าสัญญาณเพื่อให้ ไอซี ADC 0809 เริ่มต้นการแปลงข้อมูล และรอกจนกว่าจะมีสัญญาณ EOC ออกมาจึงทำการอ่านค่าอินพุทจากขา $DB_0 - DB_7$ เข้าไปเก็บไว้ โดยการอ่านค่าจะอ่าน 2 ครั้งกำหนดค่าการอ่าน โดยการป้อนให้ขา D_4 เป็น 0 จากนั้นอ่านค่า 4 บิตบน เข้ามาแล้วป้อน D_4 เป็น 1 อ่านค่า 4 บิตล่างเข้ามา เมื่ออ่านเรียบร้อยแล้วก็ให้เลื่อนตำแหน่งอินพุทโดยการป้อนตำแหน่งที่ขา $D_0 - D_2$ เพื่ออ่านสัญญาณอินพุทในตำแหน่งต่อไป สำหรับการป้อนค่าแรงดันที่อินพุทสำหรับที่จะใช้ในการทดลองนั้นสามารถใช้โวลุ่มแบบปรับละเอียดมาต่อเพื่อปรับค่าแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรเพื่อเปรียบเทียบแรงดันที่อ่านได้จากค่าแรงดันจริงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6 คุณสมบัติของพอร์ตขนาน

เครื่อง computer PC ส่วนมากจะมี data line อยู่ 8 เส้น control line 4 เส้น และ status line 5 เส้น พื้นฐานเครื่อง computer PC standard parallel ส่วนของ data line จะเป็น Output เพียงอย่างเดียว ด้วยการพัฒนาของ IBM ได้เสนอ “bi – direct” data line บน PS/2 model ซึ่งสามารถที่จะอ่าน data เข้ามาทาง Parallel Port ได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์มากสำหรับ Electronic Engineering

เมื่อมีการใช้ Parallel Port กันอย่างกว้างขวาง เช่น hard – drive, tape – streamers, CD – ROMs, scanners อื่นๆรูปแบบใหม่ของ enhanced parallel port ได้ถูกพัฒนาขึ้นด้วยคุณสมบัติพื้นฐานสามารถที่จะทำ data line ให้เป็น bi – direct และการเพิ่มเติมส่วนของ hardware ควบคุมการ flow control และ buffering ดังนั้น จึงเป็นการเพิ่มขึ้นมาของความเร็วอย่างมากมาย (Standard Parallel Port : ประมาณ 100 KB/sec. Enhanced – 2MB / sec)

Enhanced parallel port จะมีอยู่ 2 ประเภท แยกตาม transmission protocol : EPP (Enhanced parallel port) ซึ่งได้มีการปรับปรุงอัตโนมัติและมีการ handshaking ที่เร็วขึ้น สำหรับความสามารถของ input, และ ECP (enhanced capability port) ซึ่งมีประโยชน์อย่างเต็มที่กับ DMA data in/out และขอบเขตสำหรับ hanging multiple device off เพียง port เดียวซึ่งจะทำให้ใช้อุปกรณ์ SCSI ไม่มาก

ส่วนมาก modern PC I/O cards ซึ่งได้เข้าถึง “enhanced” และ 1284 (หรือต่ำกว่านี้) โดยจะสนับสนุนทั้ง ECP และ EEP protocol แม้ว่า setting โดยการใส่ jumperจะเป็นการวิธีที่ง่ายที่สุด

CPU ในตระกูล Intel X86 ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป จะมี special I/O space (ซึ่งแตกต่างจาก memory address space) ที่ hardware device map โดยการใส่ software. โดยทั่วไปจะมีขนาด 1024 input/output. ดังนั้น device ส่วนมาก เช่น sound card, parallel and serial port ดังนั้น จะใช้ address จำนวนมาก

I/O address เหล่านี้ เป็นกรง่ายมากที่จะติดต่อได้โดยการใช้ภาษาโปรแกรมขั้นสูง เช่น ใน C/C++, จะใช้ input () และ output () ; ใน Pascal โดยใช้ pseudo – array port () ; และใน ABASIC ใช้ INP() และ IUT()

การใช้ I/O base address สำหรับ parallel port คือ :

3BCh Parallel port on monochrome display adapter

378h First parallel port -LTP1

278h Second parallel port -LPT2

(ตัวห้อย h ที่ต่อหลังจาก address จะหมายถึง ขนาดที่เป็นเลขฐาน 16 (hexadecimal) โดยสามารถที่จะเขียนเป็น 0x378 ใน C, & H378 ใน QBASIC, \$378 ใน PASCAL)

3.5 โปรแกรมประมวลผล

ในส่วนของโปรแกรมประมวลผลในปริิณญาณิพนธ์ในเทอมนี้ ใช้ภาษา C เป็นโปรแกรมปฏิบัติการตาม block diagram ต่อไปนี้



รูปที่ 3.13 แสดง Flowchart การทำงานของ โปรแกรม

จากรูปที่ 3.13 เมื่อสัญญาณ Digital ผ่าน ADC 0809 เข้ามายังพอร์ตขนาน ในส่วนของโปรแกรมจะรับค่าเข้ามาประมวลผลแบ่งได้สองกรณี คือ ส่วนอุณหภูมิ และส่วนของค่า pH ของน้ำ จากนั้นก็ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าคุณสมบัติของน้ำที่ตั้งมาตรฐานไว้ แล้วนำค่าออกแสดงผลเพื่อบ่งบอกคุณสมบัติของน้ำที่ทำการวัดมีคุณลักษณะอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ทำการต่อวงจรวัดอุณหภูมิโดยใช้ IC เบอร์ LM335 แล้วนำมาขยายสัญญาณด้วย Instrumentation Amplifier วัด Output เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงด้วย Digital Multimeter เปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์แล้วบันทึกผลลงในตาราง จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟอุณหภูมิกับแรงดัน Output

วิธีการทดลอง

1. ทำการปรับอุณหภูมิให้กับ LM335 ในช่วง 20-50 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นทีละ 2 องศาเซลเซียส โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์เป็นตัววัด
2. วัดแรงดันเอาต์พุทของ IC เบอร์ LM335
3. บันทึกค่าลงในตารางแล้วนำค่าไปเขียนกราฟ

ผลการทดลอง

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	แรงดันเอาต์พุท (โวลต์)
20	2.932
22	2.950
24	2.975
26	2.992
28	3.010
30	3.035
32	3.051
34	3.072
36	3.089
38	3.107
40	3.125
42	3.151
44	3.172
46	3.189
48	3.216
50	3.226

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองห่าวัด pH

นำห่าวัด pH มาจุ่มลงในสารละลาย pH4 กับ pH7 แล้ววัดแรงดันทางด้าน Output ด้วย Digital Multimeter บันทึกผลลงในตารางที่ 4.2

ผลการทดลอง

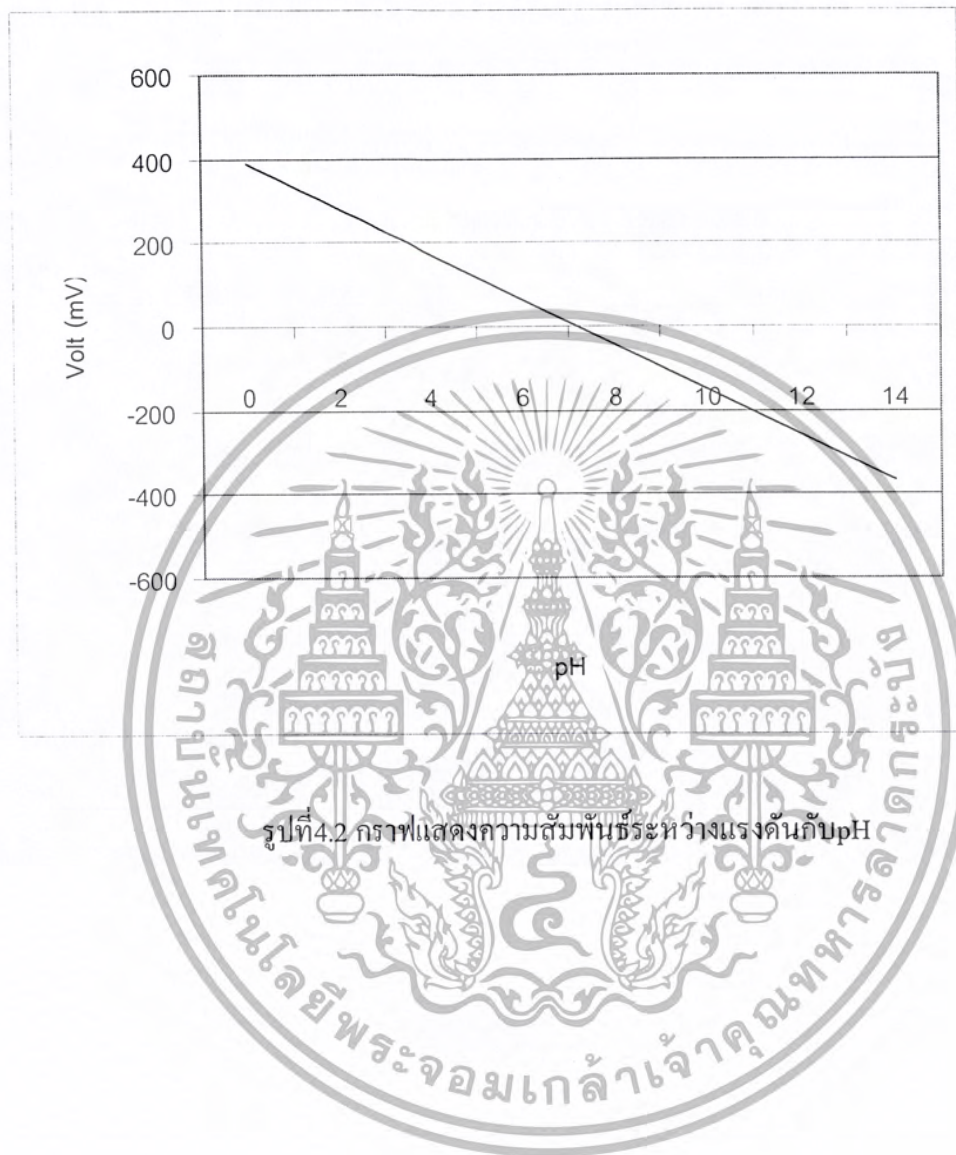
ค่าโวลท์ที่วัดได้โดย Digital Multimeter

ครั้งที่	ค่า pH	แรงดันที่อ่านได้(mV)
1	4	174.2
2	4	176.6
3	4	178.3
4	4	173.4
5	4	174.2
6	7	12.8
7	7	14.5
8	7	13.6
9	7	12.8
10	7	12.6

สรุปผลการทดลอง

ค่าที่วัดได้จากห่าวัดจะพบว่าค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้งจะมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้อิเล็กตรอนในสารละลายแตกตัวไม่เท่ากัน และอาจเป็นเพราะสารละลายไม่ทั่วถึง และการวัดถ้าจุ่มสารละลาย pH7 จะต้องล้างหรือเช็ดให้สะอาดก่อนแล้วค่อยจุ่มลงในสารละลาย pH4 ในการจุ่มสารละลายสลับกันไปมาจะทำให้การวัดเปลี่ยนแปลงไปไม่เท่ากับค่าที่วัดได้เดิมเนื่องจากห่าวัดอาจมีสารติดค้างอยู่ จึงมีค่าที่แตกต่างกัน

กราฟแสดงค่า pH ที่ได้จากการวัดและการคำนวณ

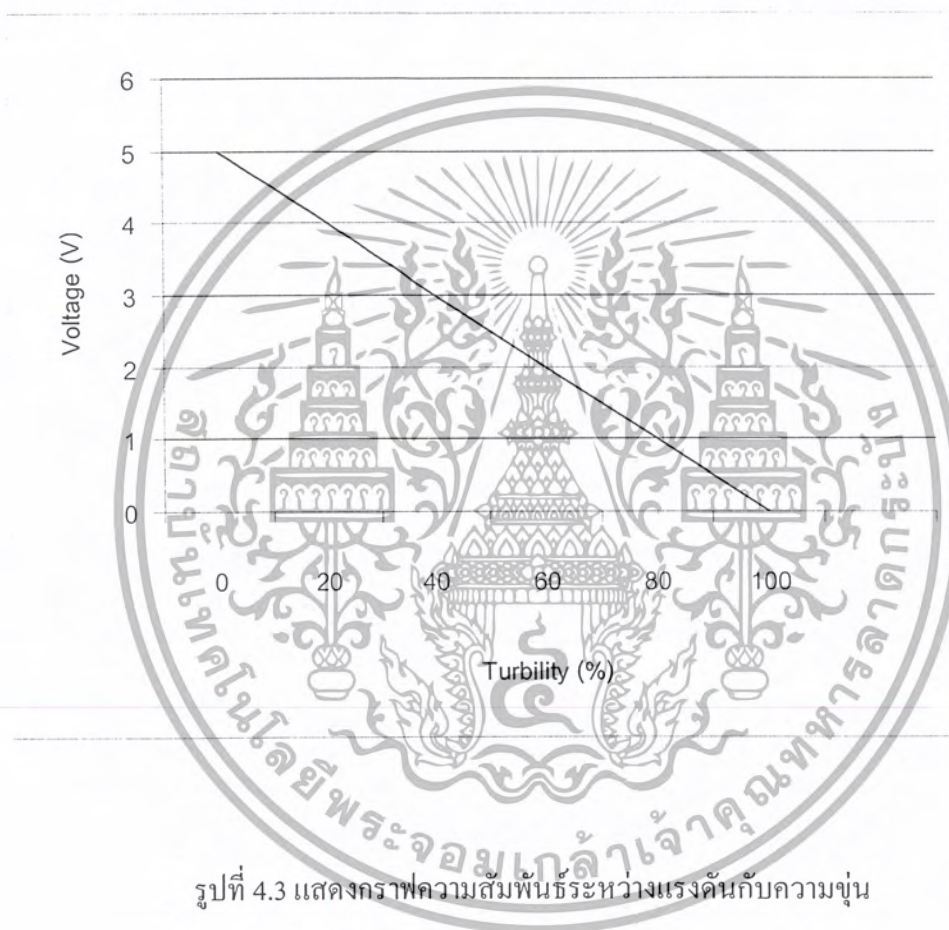


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับ pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองวัดค่าความขุ่น

ทำการต่อวงจรวัดค่าความขุ่นโดยใช้หลักการของความเข้มแสงที่สามารถส่งผ่านไปยังตัวรับว่ามีค่าเท่าไร โดยวิธีการทดสอบก็คือ ทดสอบในน้ำที่ใสที่สุดความเข้มแสงจะส่งไปถึงตัวรับได้มากที่สุดคิดค่าแรงดันทางด้านเอาต์พุต น้ำจะมีความขุ่น 0% ในทางตรงกันข้ามทดสอบกับน้ำที่ขุ่นมากที่สุดความเข้มแสงที่ส่งไปถึงตัวรับมีค่าน้อยจะทำให้ได้ค่าความขุ่น 100%



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับค่าความขุ่น

บทที่ 5

สรุปผลและวิจารณ์

การออกแบบวงจรมีปัญหาดังนี้

วงจรตรวจจับอุณหภูมิ โดยใช้ IC เบอร์ LM335 ในวงจรจริงเราจะต้องมีหลอดแก้วไปครอบเพื่อป้องกันการช็อคกันของขาอุปกรณ์แต่จะมีผลเสียคือเวลาวัดทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิช้ากว่าการวัดโดยตรง

วงจร Analog to Digital converter โดยใช้ IC เบอร์ ADC0809 Referent ค่าลบไม่ได้ ดังนั้น สัญญาณจาก Instrument Amp ต้องยกระดับมาอยู่ที่ 2.5 V

ในวงจรหัววัด pH จะต้องมียค่า Impedance ทางด้าน Input สูงเนื่องจากหัววัดมีค่า Impedance สูงดังนั้นเราจึงใช้วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์ ทำให้มีการกำจัด Noise ทางด้าน Input ให้ลดลงและมีการขยายสัญญาณให้แรงพอที่จะส่งต่อไปยังวงจร A/D หัววัด pH เป็นอุปกรณ์ที่มีความบอบบางมากเนื่องจากตรงส่วนหัวเป็นแก้วที่บางมาก ในเวลาการทำงานทดลองจะต้องทำอย่างระมัดระวังและในการจุ่มสารละลายก่อนที่เราจะเปลี่ยนการจุ่มสารละลายเราจะต้องล้างหัววัดให้สะอาดเสียก่อนเพื่อที่จะทำให้การวัดมีค่าที่เที่ยงตรง

ในการวัดความขุ่นจะต้องนำน้ำตัวอย่างที่จะทำการวัดขึ้นมาจากแหล่งน้ำเนื่องจากการวัดจะต้องนำแสงอินฟราเรดผ่านหลอดทดลองและหลอดทดลองจะต้องมีความใสและมีการสะท้อนของแสงน้อยที่สุดเพื่อให้ค่าที่วัดได้มีความถูกต้อง

หนังสืออ้างอิง

1. MCS-51 Microcontroller Theory & Practical Approach : Atmel AT89C5x
2. Byron S.Gottfried แปลและเรียบเรียงโดย ศรัณย์ อินทโกสุม,การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี,MC Graw-Hill;Inc,1990
3. J.R.Parker,Algorithms for image processing and computer vision ,Wwiley Computer Publishing,1996
4. James C.Bezdex,"Clustering In Banach Spaces ",Division of Computer Science, University of West Florida, USA
5. Nabajyoti Barkakati,X Window System Programing, SAMS Publishing , 1994



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบำรุงรักษา pH electrode

1. การปรับสภาพก่อนการใช้งาน

ก่อนการใช้งานจะต้องล้าง pH electrode ด้วยน้ำกลั่นหรือน้ำที่ปราศจากไอออนเช่น แสง pH electrode ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.0 หรือ สารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.0 ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที ยาน้ำ pH electrode ใหม่แช่ในน้ำกลั่นบริสุทธิ์นานๆ จะทำให้ glass membrane เสียหาย

หลังจาก 20 นาที ล้าง pH electrode ด้วยน้ำกลั่นหรือน้ำบริสุทธิ์ จึงพร้อมสำหรับการนำไปใช้งาน

2. การใช้งาน

ล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นก่อนและหลังการวัดตัวอย่าง ชั้บส่วนหนึ่งของ glass membrane ด้วยกระดาษอ่อนนุ่มหรือสำลีเท่านั้น อย่าถู glass membrane แรงๆ เพราะจะทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ที่รบกวนการวัดในครั้งต่อไป

3. การเก็บรักษา

ควรเก็บ pH electrode ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.0 ไม่ควรเก็บอิเล็กโทรดไว้ในน้ำกลั่นเพราะจะทำให้ electrolyte อีออน ไหลออกและทำให้อิเล็กโทรดทำงานไม่ได้

: PROJECT 4/2

SDA	BIT	P3.4	: SDA I2C Bus
SCL	BIT	P3.5	: SCL I2C Bus
KPAD_ROW0	BIT	P1.0	
KPAD_ROW1	BIT	P1.1	
KPAD_ROW2	BIT	P1.2	
KPAD_ROW3	BIT	P1.3	
KPAD_COL2	BIT	P1.4	
KPAD_COL1	BIT	P1.5	
KPAD_COL0	BIT	P1.6	
LCD_EN	BIT	P2.7	: 3.6 old
LCD_RS	BIT	P2.2	: 3.7 old
START	BIT	P2.5	
ALE	BIT	P2.4	
OUT_ENABLE	BIT	P2.6	
ADDRESS_A	BIT	P2.0	
ADDRESS_B	BIT	P2.1	
:ADDRESS_C	FIX 0		
EOC	BIT	P2.3	
: Define User Register			
FLAG	EQU	02FH	: User FLAG
I2C_ACK	BIT	FLAG.0	: Define I2C Acknowledge as bit
: Define User Register			
LCD_ADDR	EQU	030H	: For keep LCD Address
LCD_DATA	EQU	031H	: For keep LCD Data
LCD_PTR	EQU	032H	: For keep LCD 3 Char Pointer
KPAD_DATA	EQU	035H	: For keep Keypad Data
BUFFER	EQU	036H	: Buffer
RA0	EQU	37H	
RA1	EQU	38H	
RA2	EQU	39H	
A1	EQU	41H	
C1	EQU	42H	
C2	EQU	43H	
C3	EQU	44H	
CHECK	EQU	45H	: +=1, -=0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

                ACALL SET_ADDR_LCD
                ACALL ADC_CH1

LOOP2:  ACALL  GET_KPAD
                ACALL  WAIT_KEY
                CJNE      R0,#10,LOOP2
                ACALL  LCD_CLR
                MOV      LCD_ADDR,#00H
                ACALL  SET_ADDR_LCD
                MOV      DPTR,#TITLE3
                ACALL  WRLINE_LCD
                MOV      LCD_ADDR,#40H
                ACALL  SET_ADDR_LCD
                ACALL  ADC_CH2

LOOP3:  ACALL  GET_KPAD
                ACALL  WAIT_KEY
                CJNE      R0,#10,LOOP3
                AJMP    HOME
ADC_CH0: MOV      P3,#0FFH ;temperature 0 0 0 abc
                SETB    EOC
                CLR     ADDRESS_A
                CLR     ADDRESS_B
                CLR     ADDRESS_C
:
ADC_0:  NOP
                NOP
                SETB    ALE
                SETB    START
                NOP
                CLR     ALE
                CLR     START
                CLR     EOC
                MOV     R2,#01000000B

ADC_1:  NOP
                DJNZ   R2,ADC_1
                SETB    EOC
                SETB    OUT_ENABLE
                NOP
                NOP
                MOV     A,P3 ;receive data p3
                CLR     OUT_ENABLE

                LCALL  CON_HD
: WRITE R1R2R3 TO LCD
:R1
: MOV     A,R1

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

:      ADD      A,#030H
:      MOV      LCD_DATA,A
:      ACALL   WRCHAR_LCD

:R2
      MOV      A,R2
      ADD      A,#030H
      MOV      LCD_DATA,A
      ACALL   WRCHAR_LCD

:
:      MOV      LCD_DATA,#2EH
:      ACALL   WRCHAR_LCD

:R3
      MOV      A,R3
      ADD      A,#030H
      MOV      LCD_DATA,A
      ACALL   WRCHAR_LCD

:SPACE
      MOV      LCD_DATA,#20
      ACALL   WRCHAR_LCD

:C
      MOV      LCD_DATA,#C
      ACALL   WRCHAR_LCD
      MOV      R4,#00
      MOV      R5,#00
      MOV      R6,#00
      RET

ADC_CH1:  MOV      P3,#0FFH
          SETB   EOC
          SETB   ADDRESS_A
          CLR    ADDRESS_B
          SETB   ADDRESS_C
          NOP
          NOP
          SETB   ALE
          SETB   START
          NOP
          CLR    ALE
          CLR    START
          CLR    EOC
          MOV      R2,#01000000B

ADC_2:   NOP
          DJNZ   R2,ADC_2
          SETB   EOC
          SETB   OUT_ENABLE
          NOP
          NOP
          MOV      A,P3
          ;receive data p3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                CLR                OUT_ENABLE

MOV                A,P3                ;receive data p3
MOV                B,A                pH
MOV                A,#168

MUL                AB
MOV                RA2,B

SUBB1P:            SUBB                A,#51
INC                R6
JNC                SUBB1P
ADD                A,#51
MOV                R5,A
DEC                R6
MOV                A,B
CJNE                A,#00,SUBB2_0P
MOV                A,R6
MOV                R2,A
AJMP                N1P

SUBB2_0P:         CLR                C
MOV                A,#0FEH
SUBB2P:           SUBB                A,#51
INC                R6
JNC                SUBB2P
DJNZ                B,SUBB2P
DEC                R6
ADD                A,#51
ADD                A,R5
MOV                R4,A
MOV                A,R6
MOV                R2,A
MOV                RA0,A                ; RA0 = MUL51

N1P:              NOP

-----
                                CLR                C
                                MOV                A,#086H
                                MOV                RA1,#01H

SUBB1X:           SUBB                A,RA0
JNC                CS1
MOV                R7,A
MOV                R6,#00
AJMP                DIV1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CS1:      NOP
          MOV      R7,A
          MOV      A,#01
          CLR      C
          SUBB    A,RA2
          CJNE    A,#00,N2
          MOV      R6,#00
          AJMP    DIV1

N2:      MOV      R6#01
          ;//////////////////////DIV R2
DIV1:    MOV      A,R7
          MOV      B,R6
          MOV      R6,#00
          CLR      C
SUBB1Y:  SUBB    A,#51
          INC      R6
          JNC     SUBB1Y
          ADD     A,#51
          MOV     R5,A
          DEC     R6
          MOV     A,B
          CJNE   A,#00,SUBB2_0Y
          MOV     A,R6
          MOV     R2,A
          AJMP   N3

SUBB2_0Y:CLR C
          MOV     A,#0FFH
SUBB2Y:  SUBB    A,#51
          INC     R6
          JNC     SUBB2Y
          DJNZ   B,SUBB2Y
          DEC     R6
          MOV     A,R6
          MOV     R2,A

N3:      NOP
;WRITE LCD
          MOV     A,R2
          ADD     A,#031H      ;7777777
          MOV     LCD_DATA,A
          ACALL  WRCHAR_LCD

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

RET

ADC_CH2:  MOV     P3,#0FFH           ; teri 0 1 0 abc
          SETB   EOC
          CLR    ADDRESS_A
          SETB   ADDRESS_B
          SETB   ADDRESS_C
          NOP
NOP
NOP
SETB     ALE
SETB     START
NOP
CLR     ALE
CLR     START
CLR     EOC
MOV     R2,#01000000B

ADC_3:   NOP
DJNZ    R2,ADC_3
          SETB   EOC
          SETB   OUT_ENABLE
          NOP
          NOP
          MOV    A,P3
          CLR    OUT_ENABLE
          LCALL  CON_HD

:START MUL 2
ADD3:   MOV     A,R3
          CLR    C
          ADD   A,R3
          MOV   R7,A
          MOV   A,#09
          CLR   C
          SUBB  A,R7
          JNC  ADD3T
          MOV   A,R7
          SUBB  A,#09
          MOV   R3,A
          MOV   R4,#01
          AJMP  ADD2

ADD3T:  MOV     A,R7
          MOV   R3,A
          MOV   R4,#00

:/R3
ADD2:   MOV     A,R2

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ADD      A,R2
MOV      R7,A

MOV      A,#09
CLR      C
SUBB    A,R7
JNC     ADD2T
MOV      A,R7
SUBB    A,#09
ADD     A,R4
MOV     R2,A
MOV     R4,#01
AJMP    ADD1

ADD2T:  MOV     A,R7

MOV     R2,A
MOV     R4,#00

:/R2
ADD1:   MOV     A,R1
ADD     A,R4
MOV     R1,A
WRITE LCD
MOV     A,R1
ADD     A,#030H
MOV     LCD_DATA,A
ACALL  WRCHAR_LCD
MOV     A,R2
ADD     A,#030H
MOV     LCD_DATA,A
ACALL  WRCHAR_LCD
MOV     LCD_DATA,#2EH
ACALL  WRCHAR_LCD

MOV     A,R3
ADD     A,#030H
MOV     LCD_DATA,A
ACALL  WRCHAR_LCD

:SPACE
MOV     LCD_DATA,#20
ACALL  WRCHAR_LCD

MOV     LCD_DATA,#%'
ACALL  WRCHAR_LCD
RET

```

; Keypad Scan key Subroutine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

-----
GET_KPAD:      MOV          P1,#0FFH          ; Pull P1 to High
               MOV          KPAD_DATA,#00      ; Clear Keypad Data
               MOV          R0,KPAD_DATA

CHK_COL0:      CLR          KPAD_COL0          ; Begin Scan Column 0
               MOV          A,P1              ; Get Port I Value
               ANL          A,#00FH          ; Get only lower 4 bit
               CJNE        A,#00FH,COLO_DETECT ; Check All rows '1'?
               AJMP        CHK_COL1          ; All rows '1' => check next column

COLO_DETECT:   MOV          KPAD_DATA,#01      ; Initial KPAD_DATA = 1
               MOV          R0,KPAD_DATA
               AJMP        GET_ROW          ; Jump to get row value

CHK_COL1:      SETB        KPAD_COL0          ; Stop Scan Column 0
               CLR          KPAD_COL1          ; Begin Scan Column 1
               MOV          A,P1              ; Get Port I Value
               ANL          A,#00FH          ; Get only lower 4 bit
               CJNE        A,#00FH,COL1_DETECT ; Check All rows '1'?
               AJMP        CHK_COL2          ; All rows '1' => check next column

COL1_DETECT:   MOV          KPAD_DATA,#02      ; Initial KPAD_DATA = 2
               MOV          R0,KPAD_DATA
               AJMP        GET_ROW          ; Jump to get row value

CHK_COL2:      SETB        KPAD_COL1          ; Stop Scan Column 1
               CLR          KPAD_COL2          ; Begin Scan Column 2
               MOV          A,P1              ; Get Port I Value
               ANL          A,#00FH          ; Get only lower 4 bit
               CJNE        A,#00FH,COL2_DETECT ; Check All rows '1'?
               RET          ; All rows '1' => return

COL2_DETECT:   MOV          KPAD_DATA,#03      ; Initial KPAD_DATA = 2
               MOV          R0,KPAD_DATA

GET_ROW:       CLR          KPAD_COL0          ; Enable all Column to find Crosspoint
               CLR          KPAD_COL1          ;
               CLR          KPAD_COL2          ;

               JB          KPAD_ROW0,CHK_ROW1 ; Check Row 0 Detect?
               RET          ; Row 0 Detect => return

CHK_ROW1:      JB          KPAD_ROW1,CHK_ROW2 ; Check Row 2 Detect?
               MOV          A,KPAD_DATA      ; Add 3 with KPAD_DATA
               ADD          A,#3            ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV          KPAD_DATA,A          ;
MOV          R0,KPAD_DATA
RET                                     ; Return

CHK_ROW2:   JB          KPAD_ROW2,CHK_ROW3 ; Check Row 2 Detect?

MOV          A,KPAD_DATA          ; Add 6 with KPAD_DATA
ADD          A,#6                  ;
MOV          KPAD_DATA,A          ;
MOV          R0,KPAD_DATA
RET                                     ; Return

CHK_ROW3:   MOV          A,KPAD_DATA          ; Add 9 with KPAD_DATA
ADD          A,#9                  ;
MOV          KPAD_DATA,A          ;
MOV          R0,KPAD_DATA
RET                                     ; Return

-----
KEY_COME:   ACALL      GET_KPAD
CJNE        R0,#00,LOG_END
AJMP        CONTINUE
LOG_END:    ACALL      LCD_ON
AJMP        HOME
CONTINUE:   NOP
RET

-----
: LCD Initialize
-----
INIT_LCD:   LCALL      DELAY_100ms          ; Delay
CLR         LCD_RS          ; Clear LCD_RS Pin
MOV         P0,#00111000B    ; 8bit Mode
ACALL      LCD_CLK          ; Pulse LCD Clock
LCALL      DELAY_10ms       ; Delay
MOV         P0,#00111000B    ; 8bit Mode
ACALL      LCD_CLK          ; Pulse LCD Clock

ACALL      LCD_OFF          ; Display Off

ACALL      LCD_CLR          ; Clear Display

MOV         P0,#00000110B    ; Entry Mode
ACALL      LCD_CLK          ; Pulse LCD Clock

ACALL      LCD_HOME        ; Return Home Display

-----
: LCD Clear Display
-----
LCD_CLR:   CLR         LCD_RS          ; Clear LCD_RS Pin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV          P0,#0000001B      : Display Clear
ACALL       LCD_CLK            : Pulse LCD Clock
RET

-----

: LCD Return Home
-----

LCD_HOME:    CLR              LCD_RS          : Clear LCD_RS Pin
MOV          P0,#0000010B      : Return Home
ACALL       LCD_CLK            : Pulse LCD Clock
RET

-----

: LCD Display Off
-----

LCD_OFF:     CLR              LCD_RS          : Clear LCD_RS Pin
MOV          P0,#00001000B     : Display Off
ACALL       LCD_CLK            : Pulse LCD Clock
RET

-----

: LCD Clk
-----

LCD_CLK:     SETB             LCD_EN          : Pulse Clock to LCD_EN
LCALL       LCD_DELAY
CLR         LCD_EN
LCALL       LCD_DELAY
RET

-----

: LCD Display On
-----

LCD_ON:      CLR              LCD_RS          : Clear LCD_RS Pin
MOV          P0,#00001100B     : Display On
LCALL       LCD_CLK            : Pulse LCD Clock
RET

-----

: LCD Cursor On
-----

LCD_BLINK:   CLR              LCD_RS          : Clear LCD_RS Pin
MOV          P0,#00001111B     : Display Cursor and Blink
LCALL       LCD_CLK            : Pulse LCD Clock
RET

-----

: Set LCD Address
: I/P:       LCD_ADDR
-----

SET_ADDR_LCD: CLR           LCD_RS          : Clear LCD_RS Pin
MOV          A,LCD_ADDR        : Move LCD_ADDR to ACC.
SETB        ACC.7              : Set bit ACC.7
MOV         P0,A               : Move to DATABUS
LCALL       LCD_CLK            : Pulse LCD Clock
RET

-----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

; BUFFER to ACC

; I/P: BUFFER,BUFFER+1

; O/P: ACC

```
-----  
BUFFER2ACC_1:      MOV          A,BUFFER          ; Restore BUFFER  
                   ANL          A,#00FH         ; Get lower 4 bit  
                   SWAP        A              ; Swap nibble  
                   MOV         B,A           ; Move to B  
                   MOV         A,BUFFER+1     ; Restore BUFFER+1  
                   ANL          A,#00FH         ; Get lower 4 bit  
                   ADD         A,B          ; Add BUFFER to make RTC BCD  
                   RET
```

; KEYPAD to show LCD

; I/P: KPAD_DATA

```
-----  
KPAD2LCD:          MOV          A,KPAD_DATA     ; Get Keypad Data  
                   ADD         A,#030H        ; Convert to ASCII  
                   MOV         LCD_DATA,A     ; Write to LCD  
                   ACALL       WRCHAR_LCD     ;  
                   RET
```

; BCD Code to show LCD

; I/P: LCD_DATA

```
-----  
BCD2LCD_1:        PUSH        ACC           ; Push ACC. To Stack  
                   PUSH        B            ; Push B to Stack  
                   MOV         A,LCD_DATA     ; Get input data value  
                   MOV         B,A          ; Copy to B  
                   ANL         A,#11110000B ; Get higher 4 bit  
                   SWAP        A           ; Swap nibble  
                   ADD         A,#030H        ; Convert to ASCII  
                   MOV         LCD_DATA,A     ; Write LCD  
                   ACALL       WRCHAR_LCD     ;  
                   MOV         A,B          ; Restore value  
                   ANL         A,#00001111B ; Get lower 4 bit  
                   ADD         A,#030H        ; Convert to ASCII  
                   MOV         LCD_DATA,A     ; Write LCD  
                   ACALL       WRCHAR_LCD     ;  
                   POP         B            ; Pop B from Stack  
                   POP         ACC          ; Pop ACC. from Stack  
                   RET
```

; Wait keypad depressed

```
-----  
WAIT_KEY:         MOV         A,P1           ; Move P1 to ACC.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ANL          A,#00FH          ; Get only Lower 4 bit
CJNE        A,#00FH,WAIT_KEY ; All bit are high ?
RET

```

: Wait keypad pressed 0-9 Only

```

WAIT_KEYPRESSED: ACALL  GET_KPAD      ; Check keypad Data
                MOV     A,KPAD_DATA    ;
                CJNE   A,#0,CHK_KEY_NEXT ; Check keypad pressed?
                AJMP   WAIT_KEYPRESSED ; Loop until keypad pressed

CHK_KEY_NEXT:   CJNE   A,#10,CHK_KEY_0 ; Check key *
                AJMP   WAIT_KEYPRESSED ; If key * then loop wait

CHK_KEY_0:     CJNE   A,#11,CHK_VALID_KEY ; Check key 0
                MOV     KPAD_DATA,#0   ; Replace KPAD_DATA = 0
                RET                     ; Return

CHK_VALID_KEY: JNC     WAIT_KEYPRESSED ; If KPAD_DATA > 11 then loop wait
                RET                     ; Return

```

: Write Character to show LCD

: I/P: LCD_DATA

```

WRCHAR_LCD:    SETB   LCD_RS          ; Set LCD_RS Pin
                MOV     P0,LCD_DATA   ; Move LCD_DATA to DATABUS
                ACALL  LCD_CLK        ; Pulse LCD Clock
                ACALL  LCD_ON         ; Display On
                RET

```

: Write Line of 16 Character from ROM

: I/P: DPTR : Locate ROM Address

```

WRLINE_LCD:    MOV     R0,#0          ; Clear loop counter
WRLINE_LCD_1: SETB   LCD_RS          ; Set LCD_RS Pin
                CLR     A             ; Clear ACC.
                MOVC   A,@A+DPTR     ; Move data from @DPTR to ACC.
                MOV     P0,A         ; Move ACC. to DATABUS
                ACALL  LCD_CLK        ; Pulse LCD Clock
                INC     DPTR          ; Increase Pointer
                INC     R0            ; Increase loop counter
                CJNE   R0,#16,WRLINE_LCD_1 ; Do until 8 times
                ACALL  LCD_ON         ; Display On
                RET

```

: Write 3 Character from ROM

: I/P: LCD_PTR

```

WR3CHAR_LCD:   MOV     R0,#0          ; Clear loop counter
WR3CHAR_LCD_1: SETB   LCD_RS          ; Set LCD_RS Pin
                CLR     A             ; Clear ACC.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    A,@A+DPTR          ; Move data from @DPTR to ACC.
MOV    P0,A                ; Move ACC. to DATABUS
ACALL  LCD_CLK             ; Pulse LCD Clock
INC    DPTR                 ; Increase Pointer
INC    R0                   ; Increase loop counter
CJNE   R0,#03,WR3CHAR_LCD_1 ; Do until 3 times
ACALL  LCD_ON              ; Display On
RET

```

```

-----
WAIT_ENTER:      SETB    REN
SERIAL_2:        JNB     RI,$
                  CLR     RI
                  MOV     A,SBUF
                  CJNE   A,#0DH,WAIT_ENTER2
                  AJMP   WAIT_ENTER3
WAIT_ENTER2:    CJNE   A,#41H,WAIT_ENTER
                LJMP   HOME
WAIT_ENTER3:    RET

```

: CONVERT HEX TO DEC

```

CON_HD:        MOV     R1,R2,R3
                MOV     B,#51
                DIV    AB
                MOV     R1,A
                MOV     A,B
                MOV     B,#10
                MUL   AB
                MOV     R7,B
                MOV     R4,A
                BR4 AR5
SUBB1_0:       CLR     C
                MOV     R6,#00
                MOV     A,R4
                BR4 AR5
SUBB1:        SUBB   A,#51
                INC     R6
                JNC    SUBB1
                ADD    A,#51
                MOV     R5,A
                DEC    R6
                MOV     A,R7
                CJNE  A,#00,SUBB2_0
                MOV     A,R6
                MOV     R2,A

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                AJMP     HDC3

SUBB2_0:        CLR      C

                MOV     A,#0FFH

SUBB2:         SUBB    A,#51
                INC     R6
                JNC     SUBB2
                DJNZ   B,SUBB2
                DEC     R6
                ADD    A,#51
                ADD    A,R5
                MOV    R4,A
                MOV    A,R6
                MOV    R2,A

;##2
HDC3:         MOV     A,R4
                CLR     C
                SUBB   A,#51
                JC     E1
E2:           MOV     B,#51
                MOV     A,R4
                DIV    AB
                AJMP   E3
E1:           MOV     B,#10
                MUL    AB
                MOV     B,#51
                DIV    AB
E3:           MOV     R3,A
                RET

;-----
; Dummy Delay time I2C_DELAY, LCD_DELAY, 10m, 100m, 1s
;-----
I2C_DELAY:    MOV     R6,#00CH      ; Each loop = 50 us
I2C_DELAY_1:  NOP
                NOP
                DJNZ  R6,I2C_DELAY_1
                RET

LCD_DELAY:    MOV     R7,#002        ; Do 2 times
LCD_DELAY_1:  MOV     R6,#0E6H      ; Each loop = 1 ms
LCD_DELAY_2:  NOP
                NOP
                DJNZ  R6,LCD_DELAY_2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DYNZ R7,LCD_DELAY_1
RET

DELAY_10ms: MOV R7,#010 ; Do 10 times
DELAY_10ms_1: MOV R6,#0E6H ; Each loop = 1 ms
DELAY_10ms_2: NOP

NOP
DYNZ R6,DELAY_10ms_2
DYNZ R7,DELAY_10ms_1
RET

DELAY_100ms: MOV R7,#100 ; Do 100 times
DELAY_100ms_1: MOV R6,#0E6H ; Each loop = 1 ms
DELAY_100ms_2: NOP

NOP
DYNZ R6,DELAY_100ms_2
DYNZ R7,DELAY_100ms_1
RET

DELAY_1s: MOV R5,#100 ; Do 100 times
DELAY_1s_1: LCALL DELAY_10ms
DYNZ R5,DELAY_1s_1
RET

:-----:
:-----:
:Define Constant < Store in Flash EEPROM Program Memory >
:
: 0123456789ABCDEF
TITLE1: DB 'Temperature:'
TITLE2: DB 'pH:'
TITLE3: DB 'Turbidity:'
SPACE: DB ' '
ERROR: DB 'error put new!!'

end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors

General Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at +10 mV/°K. With less than 1Ω dynamic impedance the device operates over a current range of 400 μA to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to +150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy.

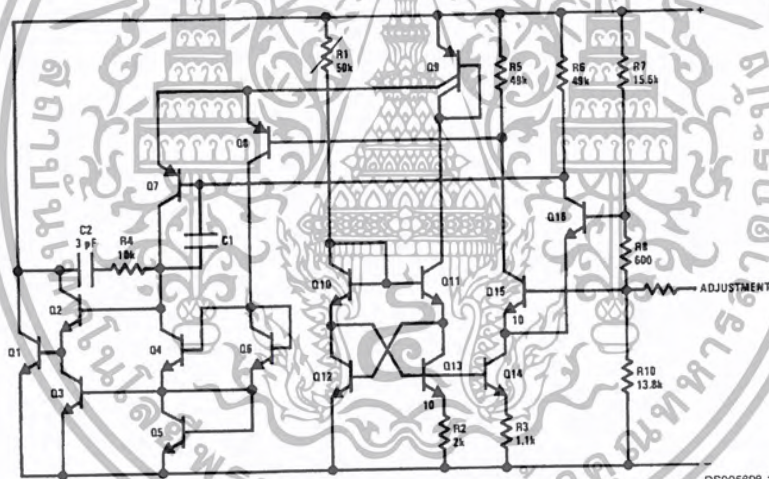
The LM135 operates over a -55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C to +125°C

temperature range. The LM335 operates from -40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

Features

- Directly calibrated in °Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400 μA to 5 mA
- Less than 1Ω dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C overrange
- Low cost

Schematic Diagram



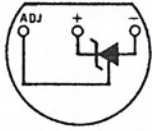
DS005698-1

LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

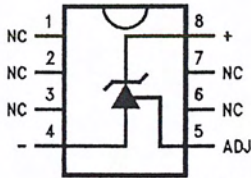
TO-92
Plastic Package



DS005698-8

Bottom View
Order Number LM335Z
or LM335AZ
See NS Package
Number Z03A

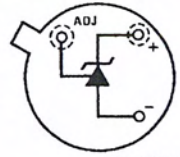
SO-8
Surface Mount Package



DS005698-25

Order Number LM335M
See NS Package
Number M08A

TO-46
Metal Can Package*



DS005698-26

*Case is connected to negative pin

Bottom View
Order Number LM135H,
LM135H-MIL, LM235H,
LM335H, LM135AH,
LM235AH or LM335AH
See NS Package
Number H03H



Absolute Maximum Ratings (Note 4)

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

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	
TO-46 Package	-60°C to +180°C
TO-92 Package	-60°C to +150°C
SO-8 Package	-65°C to +150°C

Specified Operating Temp. Range

	Continuous	Intermittent (Note 2)
LM135, LM135A	-55°C to +150°C	150°C to 200°C
LM235, LM235A	-40°C to +125°C	125°C to 150°C
LM335, LM335A	-40°C to +100°C	100°C to 125°C
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)		260°C
TO-92 Package:		300°C
TO-46 Package:		300°C
SO-8 Package:		300°C
Vapor Phase (60 seconds):		215°C
Infrared (15 seconds):		220°C

Temperature Accuracy (Note 1)

LM135/LM235, LM135A/LM235A

Parameter	Conditions	LM135A/LM235A			LM135/LM235			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.97	2.98	2.99	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	3	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		1.3	2.7		2	5	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1		0.5	1.5	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	0.5		0.3	1	°C

Temperature Accuracy (Note 1)

LM335, LM335A

Parameter	Conditions	LM335A			LM335			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

Electrical Characteristics (Note 1)

Parameter	Conditions	LM135/LM235 LM135A/LM235A			LM335 LM335A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$400\ \mu\text{A} \leq I_R \leq 5\text{ mA}$		2.5	10		3	14	mV
Change with Current	At Constant Temperature							
Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.5			0.6		Ω
Output Voltage Temperature Coefficient			+10			+10		mV/°C
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 ft/Min Air		10			10		sec
	Stirred Oil		1			1		sec
Time Stability	$T_C = 125^\circ\text{C}$		0.2			0.2		°C/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 1) (Continued)

Note 1: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

Note 2: Continuous operation at these temperatures for 10,000 hours for H package and 5,000 hours for Z package may decrease life expectancy of the device.

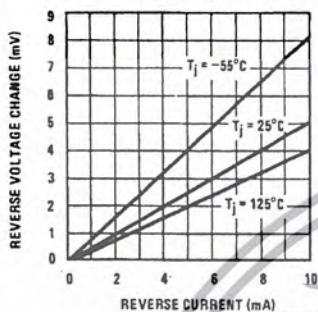
Note 3:

Thermal Resistance	TO-92	TO-46	SO-8
θ_{JA} (junction to ambient)	202°C/W	400°C/W	165°C/W
θ_{JC} (junction to case)	170°C/W	N/A	N/A

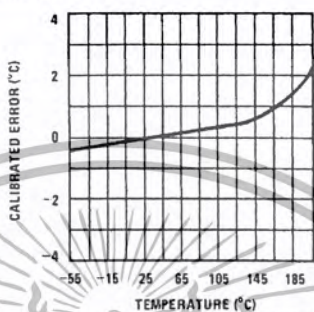
Note 4: Refer to RETS135H for military specifications.

Typical Performance Characteristics

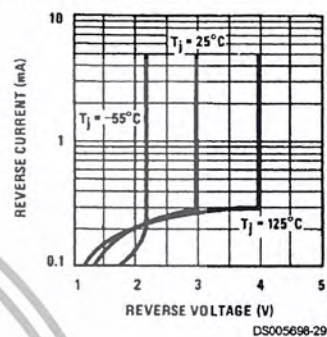
Reverse Voltage Change



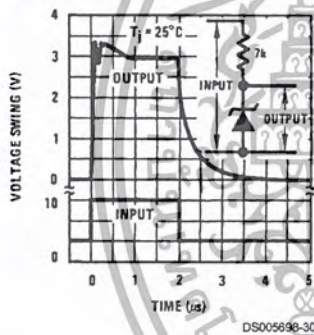
Calibrated Error



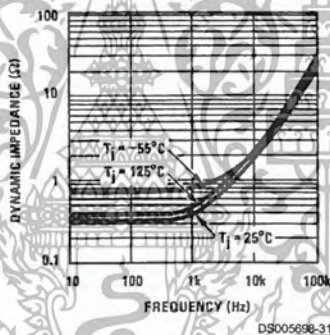
Reverse Characteristics



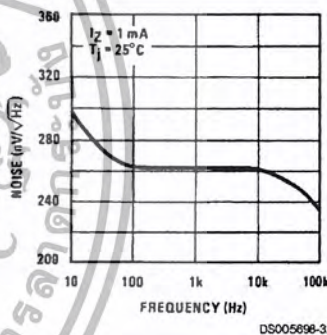
Response Time



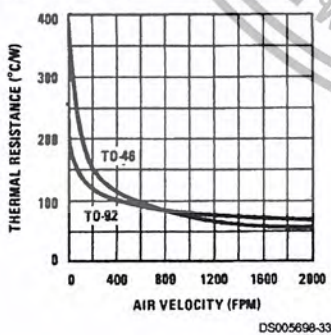
Dynamic Impedance



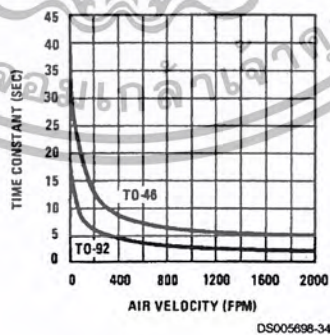
Noise Voltage



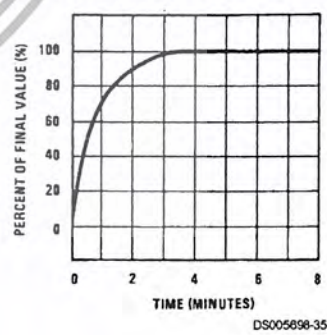
Thermal Resistance Junction to Air



Thermal Time Constant

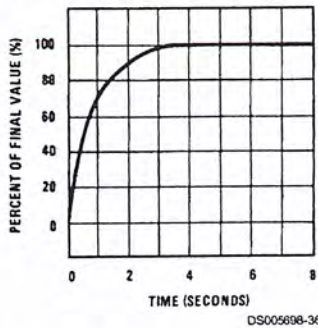


Thermal Response in Still Air

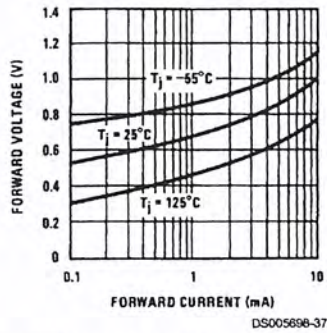


Typical Performance Characteristics (Continued)

Thermal Response in Stirred Oil Bath



Forward Characteristics



Application Hints

CALIBRATING THE LM135

Included on the LM135 chip is an easy method of calibrating the device for higher accuracies. A pot connected across the LM135 with the arm tied to the adjustment terminal allows a 1-point calibration of the sensor that corrects for inaccuracy over the full temperature range.

This single point calibration works because the output of the LM135 is proportional to absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V output at 0°K (-273.15°C). Errors in output voltage versus temperature are only slope (or scale factor) errors so a slope calibration at one temperature corrects at all temperatures.

The output of the device (calibrated or uncalibrated) can be expressed as:

$$V_{OUT_T} = V_{OUT_{T_0}} \times \frac{T}{T_0}$$

where T is the unknown temperature and T₀ is a reference temperature, both expressed in degrees Kelvin. By calibrating the output to read correctly at one temperature the output at all temperatures is correct. Nominally the output is calibrated at 10 mV/°K.

To insure good sensing accuracy several precautions must be taken. Like any temperature sensing device, self heating can reduce accuracy. The LM135 should be operated at the lowest current suitable for the application. Sufficient current, of course, must be available to drive both the sensor and the calibration pot at the maximum operating temperature as well as any external loads.

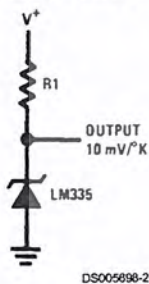
If the sensor is used in an ambient where the thermal resistance is constant, self heating errors can be calibrated out. This is possible if the device is run with a temperature stable current. Heating will then be proportional to zener voltage and therefore temperature. This makes the self heating error proportional to absolute temperature the same as scale factor errors.

WATERPROOFING SENSORS

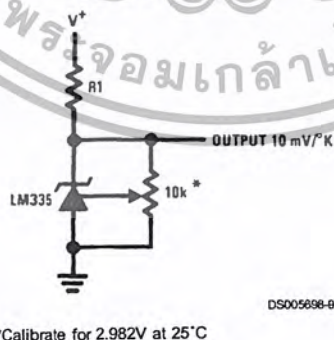
Melttable inner core heat shrinkable tubing such as manufactured by Raychem can be used to make low-cost waterproof sensors. The LM335 is inserted into the tubing about 1/2" from the end and the tubing heated above the melting point of the core. The unfilled 1/2" end melts and provides a seal over the device.

Typical Applications

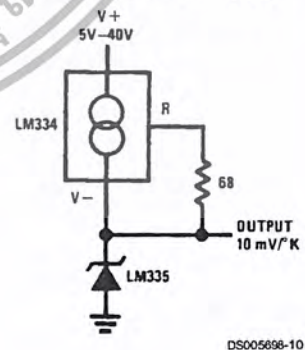
Basic Temperature Sensor



Calibrated Sensor

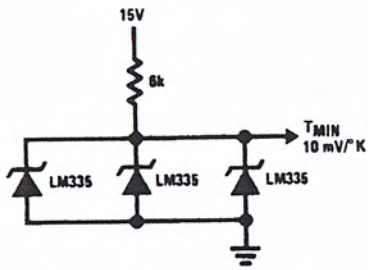


Wide Operating Supply



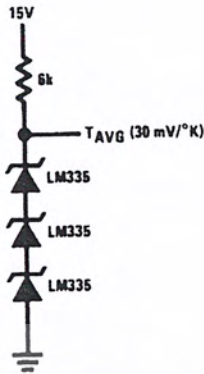
Typical Applications (Continued)

Minimum Temperature Sensing



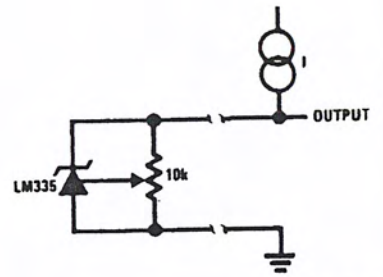
DS005698-4

Average Temperature Sensing



DS005698-18

Remote Temperature Sensing



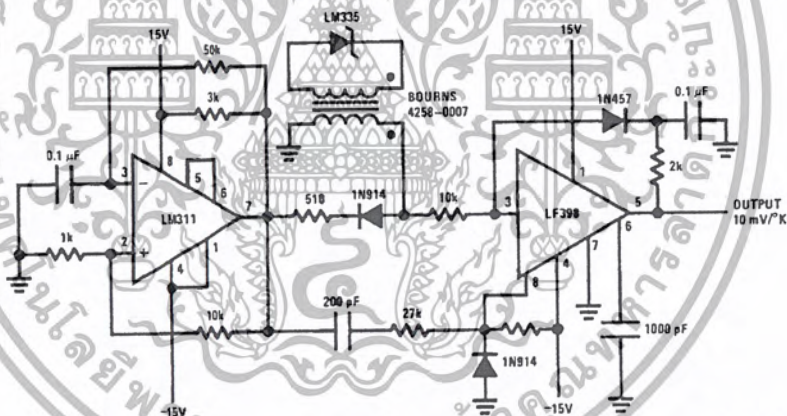
DS005698-19

Wire length for 1°C error due to wire drop

AWG	$I_R = 1$	$I_R = 0.5 \text{ mA}^*$
	FEET	FEET
14	4000	8000
16	2500	5000
18	1600	3200
20	1000	2000
22	625	1250
24	400	800

*For $I_R = 0.5 \text{ mA}$, the trim pot must be deleted.

Isolated Temperature Sensor



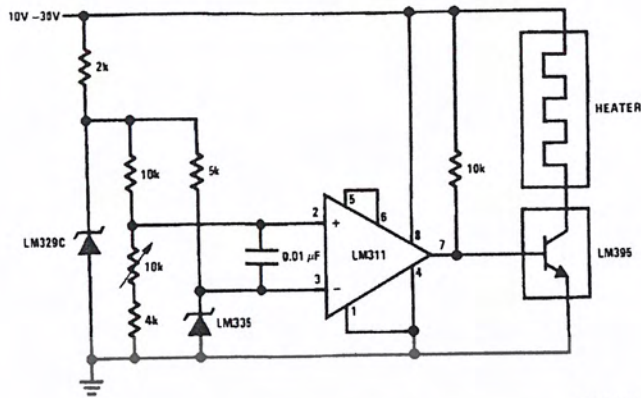
DS005698-20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

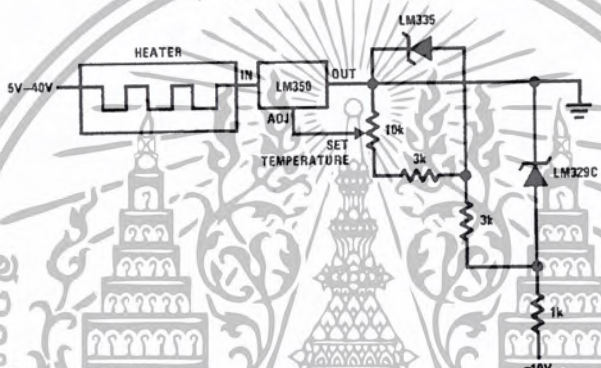
LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A

Simple Temperature Controller



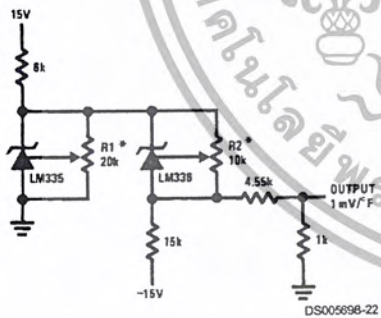
DS005698-5

Simple Temperature Control



DS005698-21

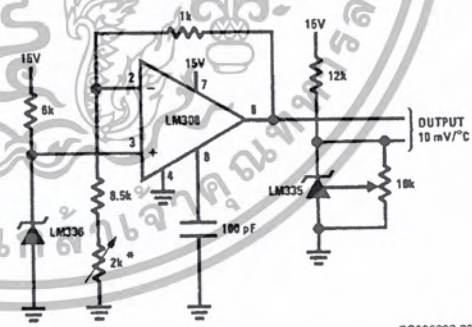
Ground Referred Fahrenheit Thermometer



DS005698-22

*Adjust R2 for 2.554V across LM336.
Adjust R1 for correct output.

Centigrade Thermometer



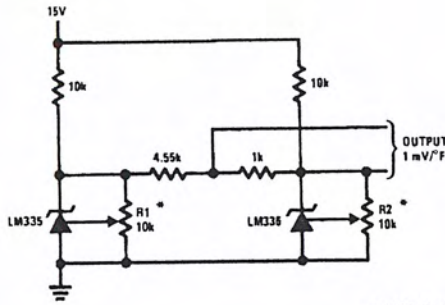
DS005698-23

*Adjust for 2.7315V at output of LM308

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

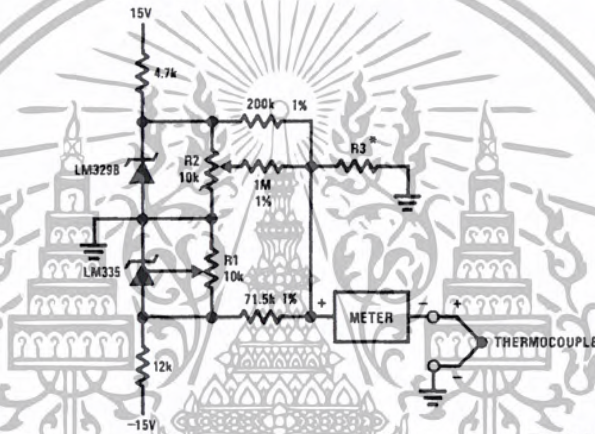
Fahrenheit Thermometer



DS005698-24

*To calibrate adjust R2 for 2.554V across LM336.
Adjust R1 for correct output.

THERMOCOUPLE COLD JUNCTION COMPENSATION
Compensation for Grounded Thermocouple



DS005698-6

*Select R3 for proper thermocouple type

THERMO- COUPLE	R3 (±1%)	SEEBECK COEFFICIENT
J	377Ω	52.3 μV/°C
T	308Ω	42.8 μV/°C
K	293Ω	40.8 μV/°C
S	45.8Ω	6.4 μV/°C

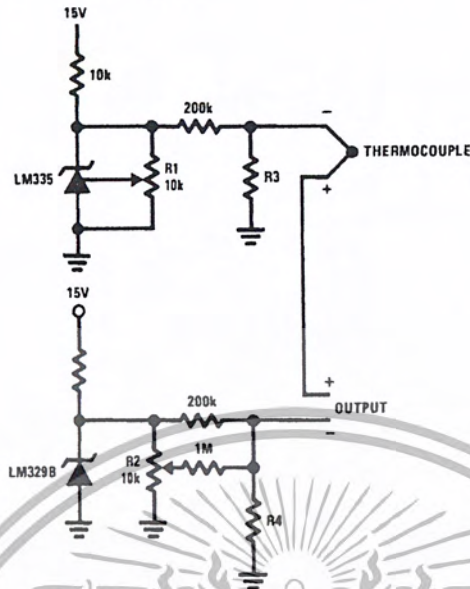
Adjustments: Compensates for both sensor and resistor tolerances

1. Short LM329B
2. Adjust R1 for Seebeck Coefficient times ambient temperature (in degrees K) across R3.
3. Short LM335 and adjust R2 for voltage across R3 corresponding to thermocouple type

J	14.32 mV	K	11.17 mV
T	11.79 mV	S	1.768 mV

Typical Applications (Continued)

Single Power Supply Cold Junction Compensation



DS005698-11

*Select R3 and R4 for thermocouple type

THERMO-COUPLE	R3	R4	SEEBECK COEFFICIENT
J	1.05K	385Ω	52.3 μV/°C
T	856Ω	315Ω	42.8 μV/°C
K	816Ω	300Ω	40.8 μV/°C
S	128Ω	46.3Ω	6.4 μV/°C

Adjustments:

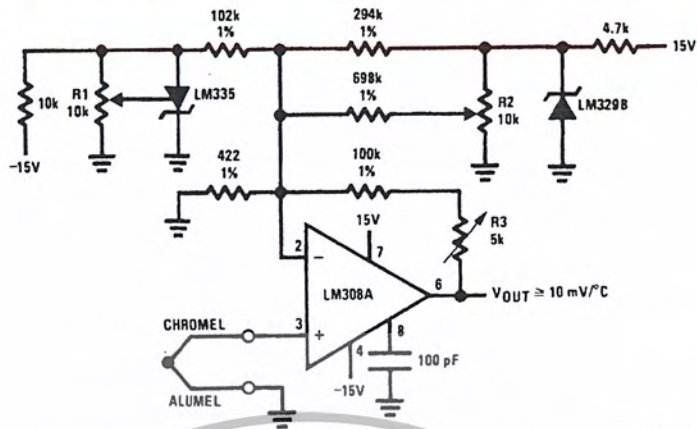
1. Adjust R1 for the voltage across R3 equal to the Seebeck Coefficient times ambient temperature in degrees Kelvin.
2. Adjust R2 for voltage across R4 corresponding to thermocouple

J	14.32 mV
T	11.79 mV
K	11.17 mV
S	1.768 mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Centigrade Calibrated Thermocouple Thermometer



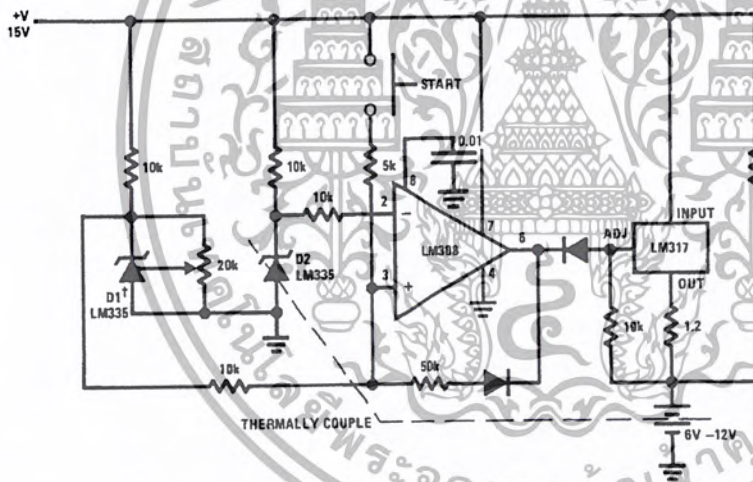
DS005696-12

Terminate thermocouple reference junction in close proximity to LM335.

Adjustments:

1. Apply signal in place of thermocouple and adjust R3 for a gain of 245.7.
2. Short non-inverting input of LM308A and output of LM329B to ground.
3. Adjust R1 so that $V_{OUT} = 2.982V @ 25^{\circ}C$.
4. Remove short across LM329B and adjust R2 so that $V_{OUT} = 246 mV @ 25^{\circ}C$.
5. Remove short across thermocouple.

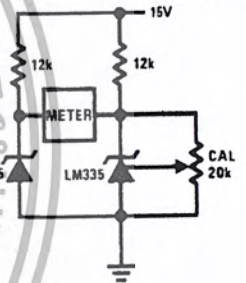
Fast Charger for Nickel-Cadmium Batteries



DS005698-13

†Adjust D1 to 50 mV greater V_Z than D2.
Charge terminates on 5°C temperature rise. Couple D2 to battery.

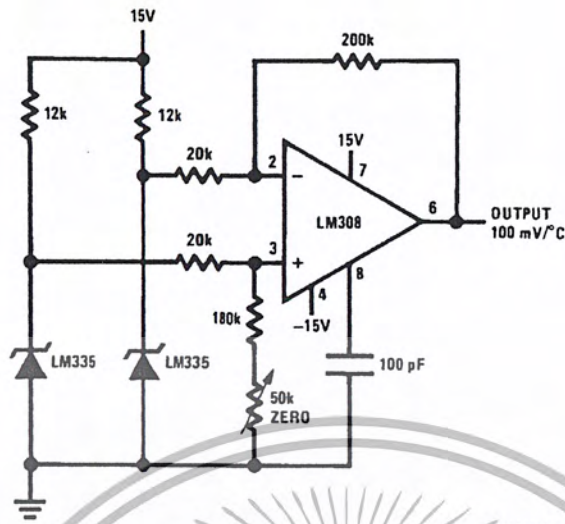
Differential Temperature Sensor



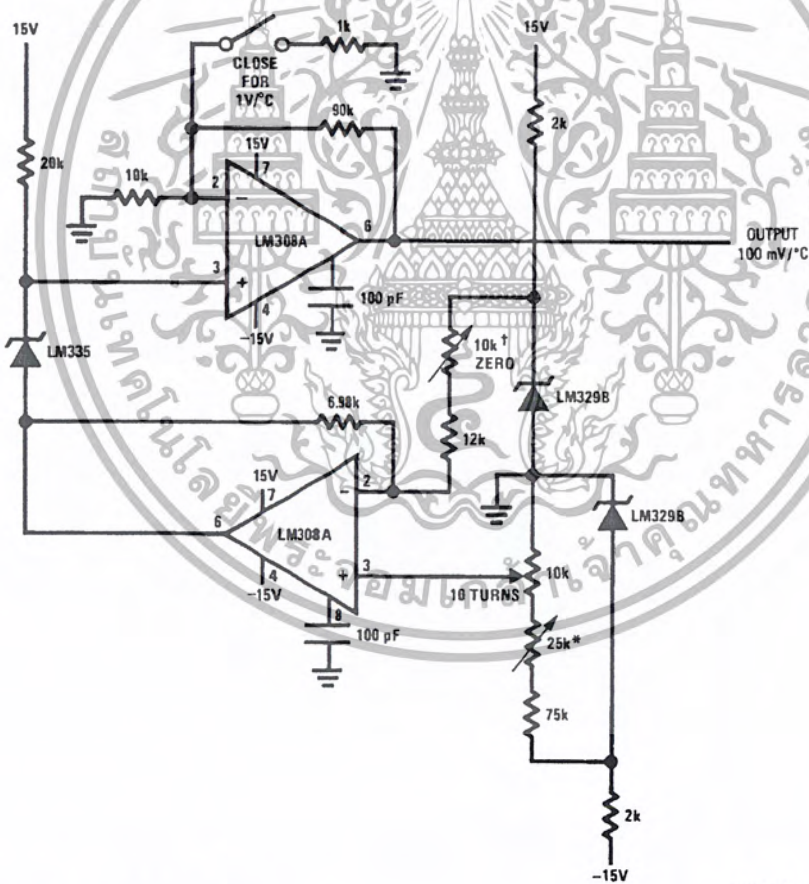
DS005696-7

Typical Applications (Continued)

Differential Temperature Sensor



Variable Offset Thermometer



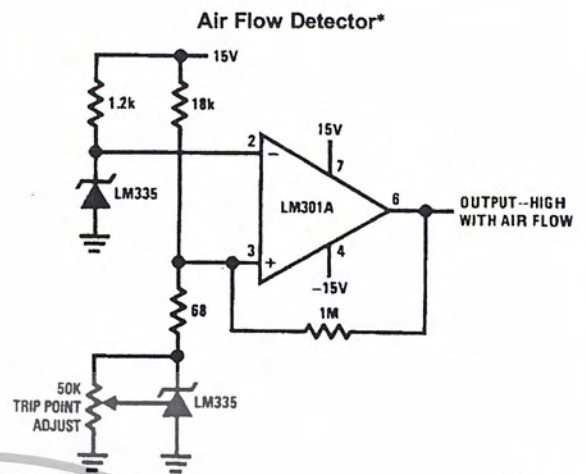
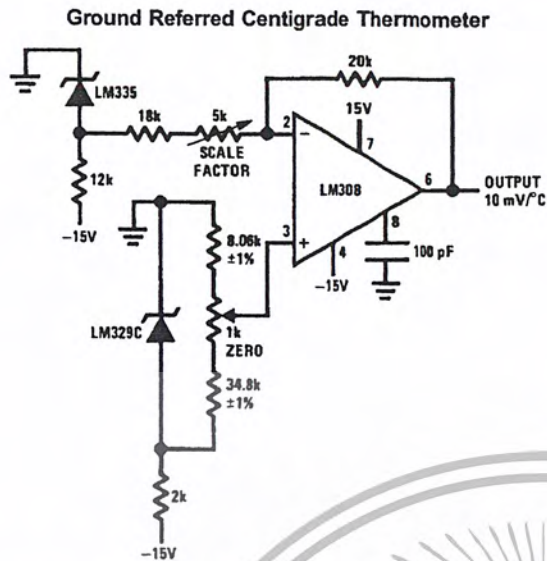
†Adjust for zero with sensor at 0°C and 10T pot set at 0°C

*Adjust for zero output with 10T pot set at 100°C and sensor at 100°C

Output reads difference between temperature and dial setting of 10T pot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)



*Self heating is used to detect air flow

DS005696-17

DS005696-18

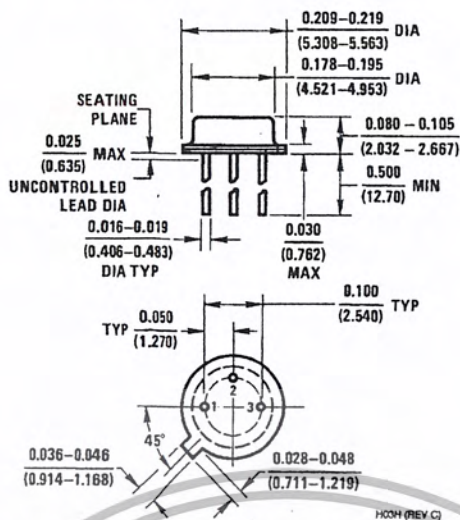
Definition of Terms

Operating Output Voltage: The voltage appearing across the positive and negative terminals of the device at specified conditions of operating temperature and current.

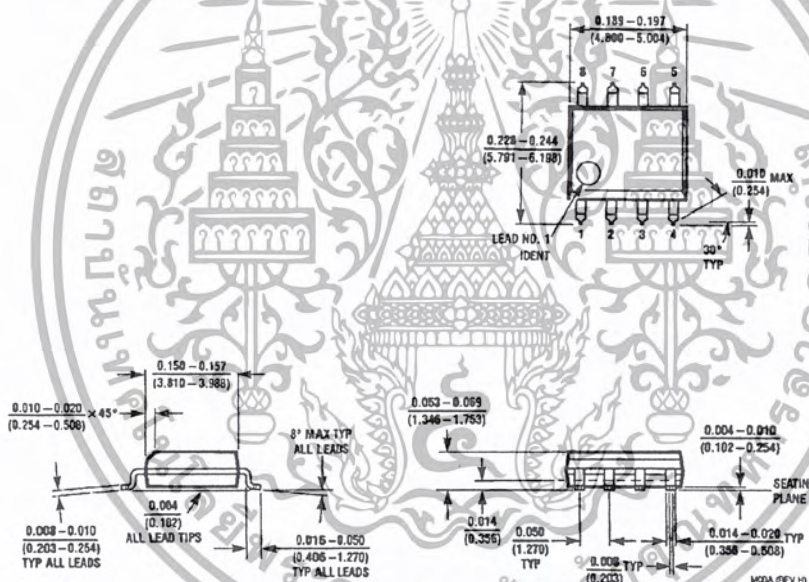
Uncalibrated Temperature Error: The error between the operating output voltage at 10 mV/K and case temperature at specified conditions of current and case temperature.

Calibrated Temperature Error: The error between operating output voltage and case temperature at 10 mV/K over a temperature range at a specified operating current with the 25°C error adjusted to zero.

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



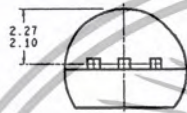
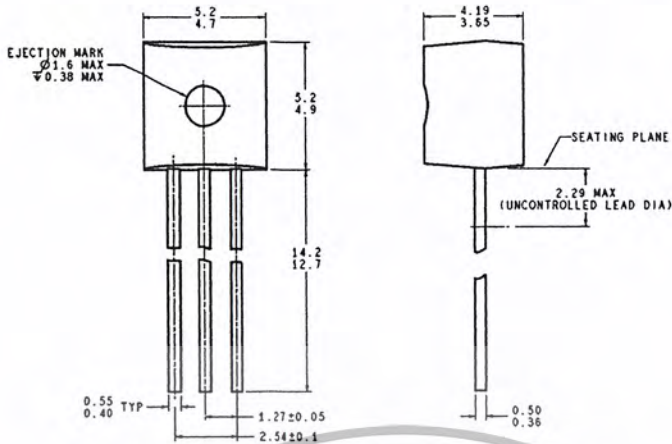
Metal Can Package (H)
 Order Number LM135H, LM235H, LM335H, LM135AH, LM235AH or LM335AH
 NS Package Number H03H



8-Lead Molded Small Outline Package (M)
 Order Number LM335M
 NS Package Number M08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

Plastic Package
Order Number LM335Z or LM335AZ
NS Package Z03A

Z03A (Rev. 0)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808/ADC0809

8-Bit μ P Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

General Description

The ADC0808, ADC0809 data acquisition component is a monolithic CMOS device with an 8-bit analog-to-digital converter, 8-channel multiplexer and microprocessor compatible control logic. The 8-bit A/D converter uses successive approximation as the conversion technique. The converter features a high impedance chopper stabilized comparator, a 256R voltage divider with analog switch tree and a successive approximation register. The 8-channel multiplexer can directly access any of 8-single-ended analog signals.

The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE outputs.

The design of the ADC0808, ADC0809 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0808, ADC0809 offers high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For 16-channel multiplexer with common output (sample/hold port) see ADC0816 data sheet. (See AN-247 for more information.)

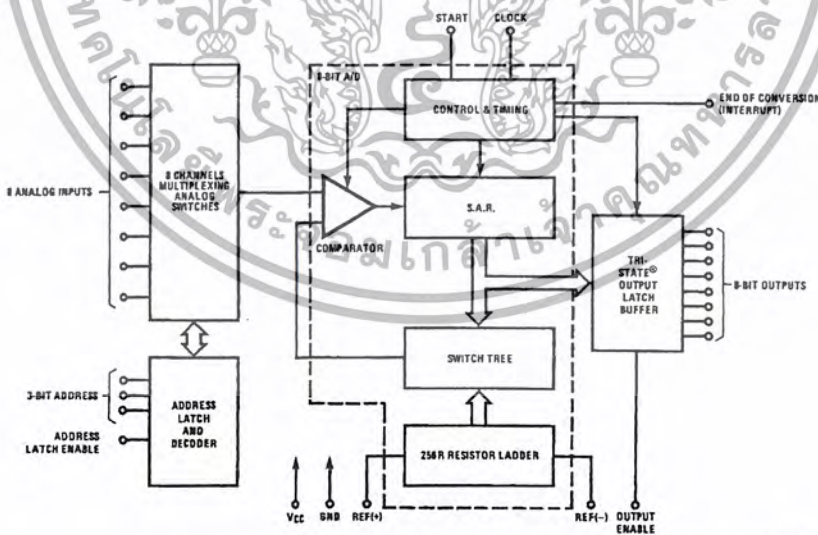
Features

- Easy interface to all microprocessors
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} or analog span adjusted voltage reference
- No zero or full-scale adjust required
- 8-channel multiplexer with address logic
- 0V to 5V input range with single 5V power supply
- Outputs meet TTL voltage level specifications
- ADC0808 equivalent to MM74C949
- ADC0809 equivalent to MM74C949-1

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 | 100 μ s |

Block Diagram

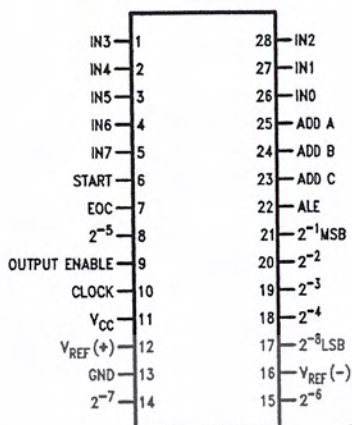


See Ordering
Information

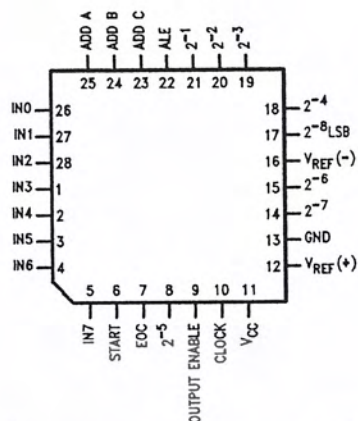
00567201

Connection Diagrams

Dual-In-Line Package



Molded Chip Carrier Package



Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
See NS Package J28A or N28A

Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
See NS Package V28A

Ordering Information

TEMPERATURE RANGE		-40°C to +85°C	
Error	±½ LSB Unadjusted	ADC0808CCN	ADC0808CCV
	±1 LSB Unadjusted	ADC0809CCN	ADC0809CCV
Package Outline		N28A Molded DIP	V28A Molded Chip Carrier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Notes 2, 1)

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

Supply Voltage (V _{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage at Any Pin	-0.3V to (V _{CC} +0.3V)
Except Control Inputs	
Voltage at Control Inputs (START, OE, CLOCK, ALE, ADD A, ADD B, ADD C)	-0.3V to +15V
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at T _A =25°C	875 mW
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	

Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Molded Chip Carrier Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 8)	400V

Operating Conditions (Notes 1, 2)

Temperature Range (Note 1)	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}
ADC0808CCN, ADC0809CCN	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C
ADC0808CCV, ADC0809CCV	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C
Range of V _{CC} (Note 1)	4.5 V _{DC} to 6.0 V _{DC}

Electrical Characteristics

Converter Specifications: V_{CC}=5 V_{DC}=V_{REF(+)}, V_{REF(-)}=GND, T_{MIN} ≤ T_A ≤ T_{MAX} and f_{CLK}=640 kHz unless otherwise stated.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
	ADC0808					
	Total Unadjusted Error (Note 5)	25°C T _{MIN} to T _{MAX}			±1/2 ±3/4	LSB LSB
	ADC0809					
	Total Unadjusted Error (Note 5)	0°C to 70°C T _{MIN} to T _{MAX}			±1 ±1 1/4	LSB LSB
	Input Resistance	From Ref(+) to Ref(-)	1.0	2.5		kΩ
	Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(-)	GND-0.10		V _{CC} +0.10	V _{DC}
V _{REF(+)}	Voltage, Top of Ladder	Measured at Ref(+)		V _{CC}	V _{CC} +0.1	V
$\frac{V_{REF(+)} + V_{REF(-)}}{2}$	Voltage, Center of Ladder		V _{CC} /2-0.1	V _{CC} /2	V _{CC} /2+0.1	V
V _{REF(-)}	Voltage, Bottom of Ladder	Measured at Ref(-)	-0.1	0		V
I _{IN}	Comparator Input Current	f _c =640 kHz, (Note 6)	-2	±0.5	2	μA

Electrical Characteristics

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, 4.75 ≤ V_{CC} ≤ 5.25V, -40°C ≤ T_A ≤ +85°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ANALOG MULTIPLEXER						
I _{OFF(+)}	OFF Channel Leakage Current	V _{CC} =5V, V _{IN} =5V, T _A =25°C T _{MIN} to T _{MAX}		10	200 1.0	nA μA
I _{OFF(-)}	OFF Channel Leakage Current	V _{CC} =5V, V _{IN} =0, T _A =25°C T _{MIN} to T _{MAX}	-200 -1.0	-10		nA μA
CONTROL INPUTS						
V _{IN(1)}	Logical "1" Input Voltage		V _{CC} -1.5			V
V _{IN(0)}	Logical "0" Input Voltage				1.5	V
I _{IN(1)}	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	V _{IN} =15V			1.0	μA
I _{IN(0)}	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	V _{IN} =0	-1.0			μA
I _{CC}	Supply Current	f _{CLK} =640 kHz		0.3	3.0	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, $4.75 \leq V_{CC} \leq 5.25V$, $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)						
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$V_{CC} = 4.75V$ $I_{OUT} = -360\mu A$ $I_{OUT} = -10\mu A$		2.4 4.5		V(min) V(min)
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$I_O = 1.6 \text{ mA}$			0.45	V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage EOC	$I_O = 1.2 \text{ mA}$			0.45	V
I_{OUT}	TRI-STATE Output Current	$V_O = 5V$ $V_O = 0$	-3		3	μA μA

Electrical Characteristics

Timing Specifications $V_{CC} = V_{REF(+)} = 5V$, $V_{REF(-)} = GND$, $t_r = t_f = 20 \text{ ns}$ and $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{WS}	Minimum Start Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_{WALE}	Minimum ALE Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_s	Minimum Address Set-Up Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_H	Minimum Address Hold Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_D	Analog MUX Delay Time From ALE	$R_S = 0\Omega$ (Figure 5)		1	2.5	μs
t_{H1}, t_{H0}	OE Control to Q Logic State	$C_L = 50 \text{ pF}$, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_{1H}, t_{0H}	OE Control to Hi-Z	$C_L = 10 \text{ pF}$, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_c	Conversion Time	$f_c = 640 \text{ kHz}$, (Figure 5) (Note 7)	90	100	116	μs
f_c	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
t_{EOC}	EOC Delay Time	(Figure 5)	0		8+2 μs	Clock Periods
C_{IN}	Input Capacitance	At Control Inputs		10	15	pF
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance	At TRI-STATE Outputs		10	15	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 GND, unless otherwise specified.

Note 3: A zener diode exists, internally, from V_{CC} to GND and has a typical breakdown voltage of $7 V_{DC}$.

Note 4: Two on-chip diodes are tied to each analog input which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. The spec allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 100 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute $0V_{DC}$ to $5V_{DC}$ input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of $4.900 V_{DC}$ over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplexer errors. See Figure 3. None of these A/Ds requires a zero or full-scale adjust. However, if an all zero code is desired for an analog input other than 0.0V, or if a narrow full-scale span exists (for example: 0.5V to 4.5V full-scale) the reference voltages can be adjusted to achieve this. See Figure 13.

Note 6: Comparator input current is a bias current into or out of the chopper stabilized comparator. The bias current varies directly with clock frequency and has little temperature dependence (Figure 6). See paragraph 4.0.

Note 7: The outputs of the data register are updated one clock cycle before the rising edge of EOC.

Note 8: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Functional Description

Multiplexer. The device contains an 8-channel single-ended analog signal multiplexer. A particular input channel is selected by using the address decoder. *Table 1* shows the input states for the address lines to select any channel. The address is latched into the decoder on the low-to-high transition of the address latch enable signal.

TABLE 1.

SELECTED ANALOG CHANNEL	ADDRESS LINE		
	C	B	A
IN0	L	L	L
IN1	L	L	H
IN2	L	H	L
IN3	L	H	H
IN4	H	L	L
IN5	H	L	H
IN6	H	H	L
IN7	H	H	H

CONVERTER CHARACTERISTICS

The Converter

The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed to give fast, accurate, and repeatable conversions over a wide range of temperatures. The converter is partitioned into 3 major sections: the 256R ladder network, the successive approximation register, and the comparator. The converter's digital outputs are positive true.

The 256R ladder network approach (*Figure 1*) was chosen over the conventional R/2R ladder because of its inherent monotonicity, which guarantees no missing digital codes. Monotonicity is particularly important in closed loop feedback control systems. A non-monotonic relationship can cause oscillations that will be catastrophic for the system. Additionally, the 256R network does not cause load variations on the reference voltage.

The bottom resistor and the top resistor of the ladder network in *Figure 1* are not the same value as the remainder of the network. The difference in these resistors causes the output characteristic to be symmetrical with the zero and full-scale points of the transfer curve. The first output transition occurs when the analog signal has reached $+\frac{1}{2}$ LSB and succeeding output transitions occur every 1 LSB later up to full-scale.

The successive approximation register (SAR) performs 8 iterations to approximate the input voltage. For any SAR type converter, n-iterations are required for an n-bit converter. *Figure 2* shows a typical example of a 3-bit converter. In the ADC0808, ADC0809, the approximation technique is extended to 8 bits using the 256R network.

The A/D converter's successive approximation register (SAR) is reset on the positive edge of the start conversion pulse. The conversion is begun on the falling edge of the start conversion pulse. A conversion in process will be interrupted by receipt of a new start conversion pulse. Continuous conversion may be accomplished by tying the end-of-conversion (EOC) output to the SC input. If used in this mode, an external start conversion pulse should be applied after power up. End-of-conversion will go low between 0 and 8 clock pulses after the rising edge of start conversion.

The most important section of the A/D converter is the comparator. It is this section which is responsible for the ultimate accuracy of the entire converter. It is also the comparator drift which has the greatest influence on the repeatability of the device. A chopper-stabilized comparator provides the most effective method of satisfying all the converter requirements.

The chopper-stabilized comparator converts the DC input signal into an AC signal. This signal is then fed through a high gain AC amplifier and has the DC level restored. This technique limits the drift component of the amplifier since the drift is a DC component which is not passed by the AC amplifier. This makes the entire A/D converter extremely insensitive to temperature, long term drift and input offset errors.

Figure 4 shows a typical error curve for the ADC0808 as measured using the procedures outlined in AN-179.

Functional Description (Continued)

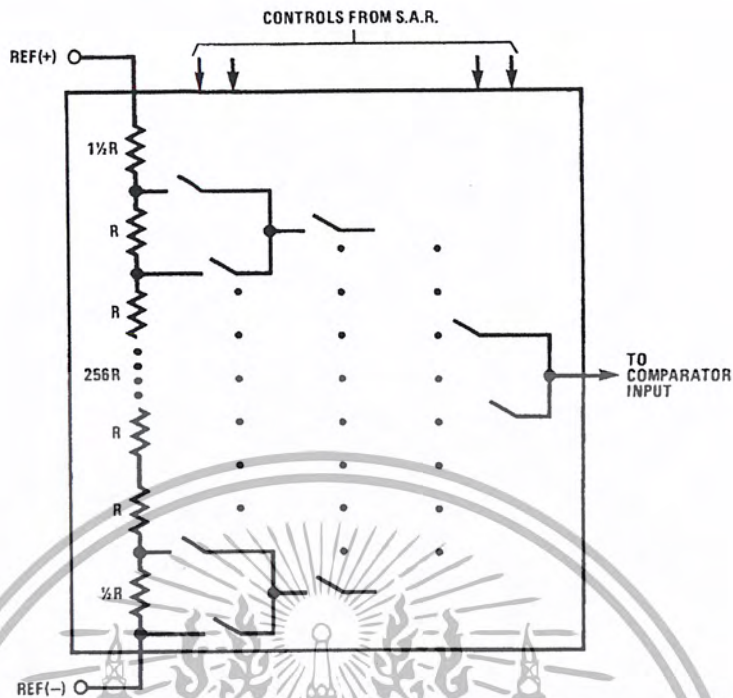


FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

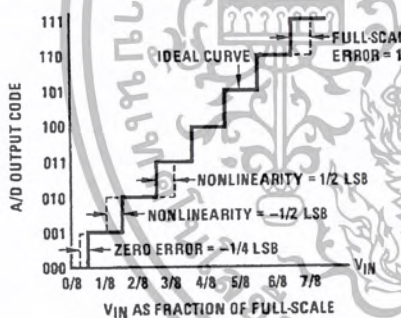


FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve

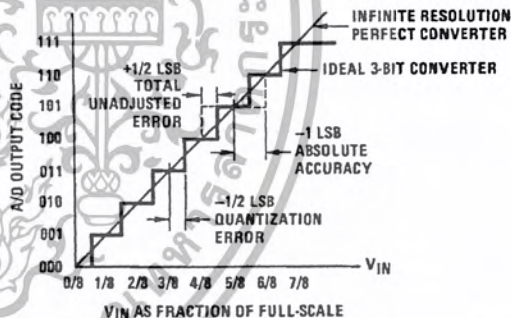


FIGURE 3. 3-Bit A/D Absolute Accuracy Curve

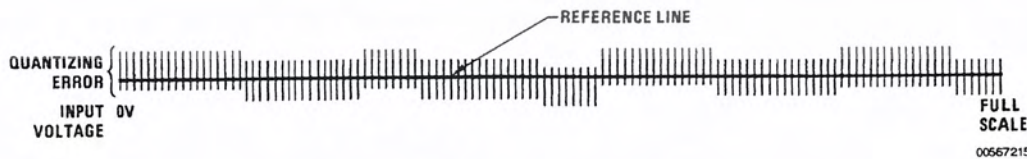


FIGURE 4. Typical Error Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timing Diagram

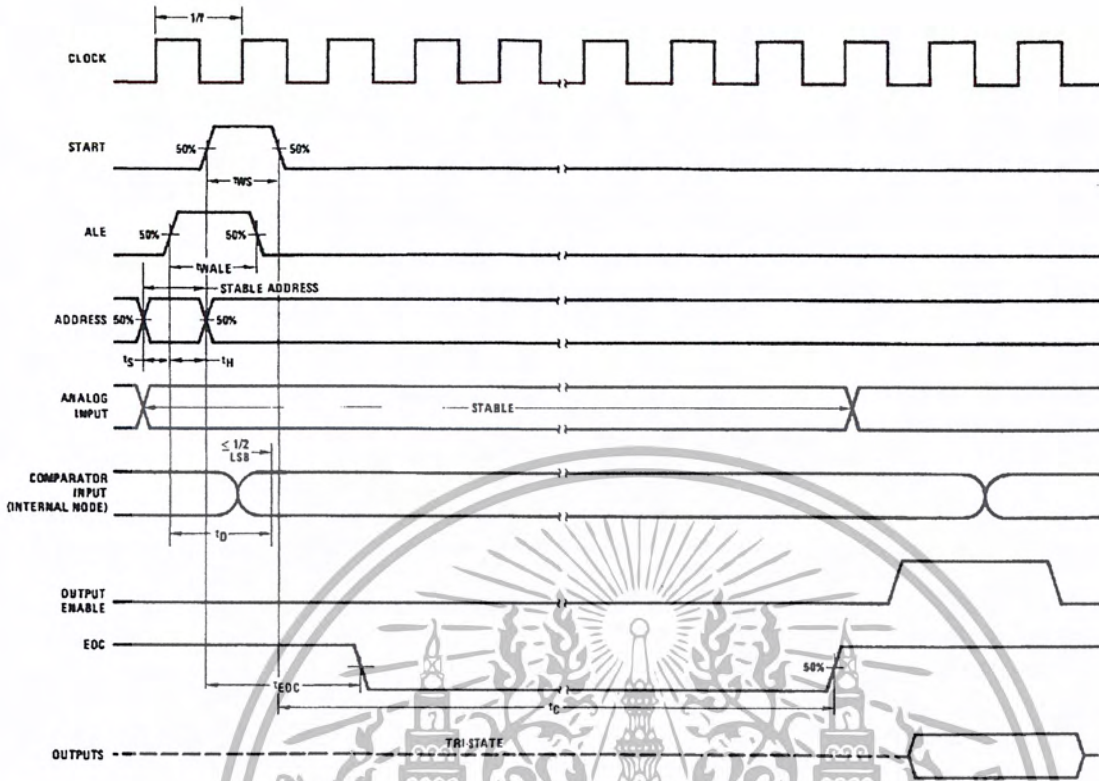
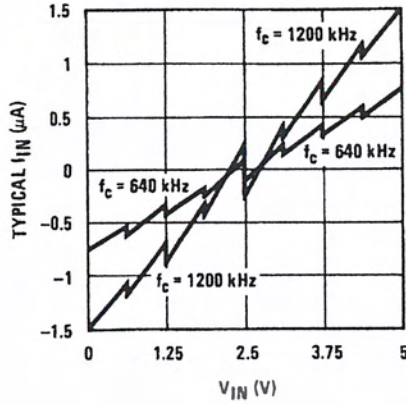


FIGURE 5.

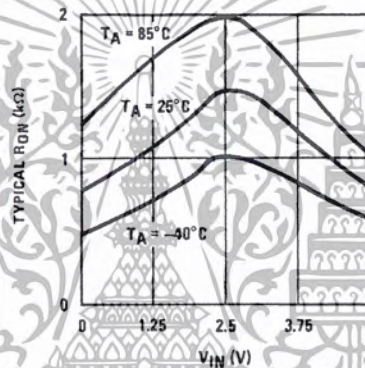
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics



00567216

FIGURE 6. Comparator I_{IN} vs V_{IN}
(V_{CC}=V_{REF}=5V)



00567217

FIGURE 7. Multiplexer R_{ON} vs V_{IN}
(V_{CC}=V_{REF}=5V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRI-STATE Test Circuits and Timing Diagrams

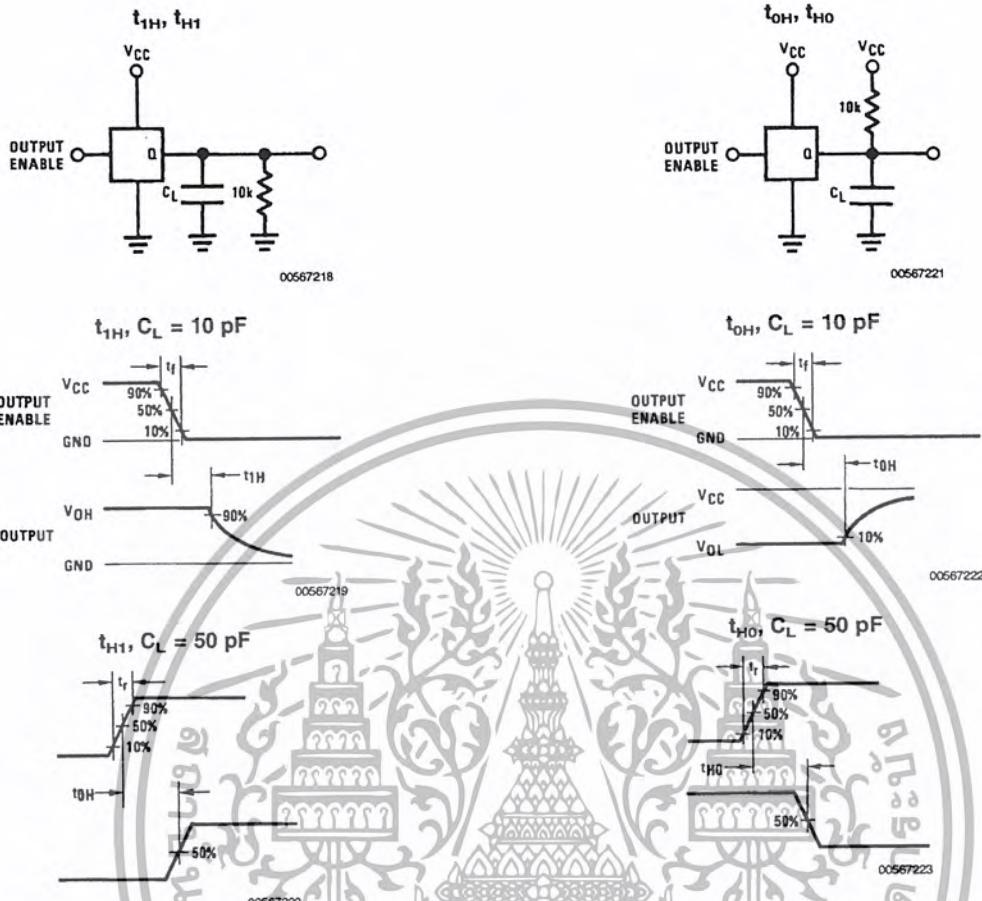


FIGURE 8.

Applications Information

OPERATION

1.0 RATIOMETRIC CONVERSION

The ADC0808, ADC0809 is designed as a complete Data Acquisition System (DAS) for ratiometric conversion systems. In ratiometric systems, the physical variable being measured is expressed as a percentage of full-scale which is not necessarily related to an absolute standard. The voltage input to the ADC0808 is expressed by the equation

$$\frac{V_{IN}}{V_{fs} - V_z} = \frac{D_x}{D_{MAX} - D_{MIN}} \quad (1)$$

- V_{IN} = Input voltage into the ADC0808
- V_{fs} = Full-scale voltage
- V_z = Zero voltage
- D_x = Data point being measured
- D_{MAX} = Maximum data limit

D_{MIN} = Minimum data limit

A good example of a ratiometric transducer is a potentiometer used as a position sensor. The position of the wiper is directly proportional to the output voltage which is a ratio of the full-scale voltage across it. Since the data is represented as a proportion of full-scale, reference requirements are greatly reduced, eliminating a large source of error and cost for many applications. A major advantage of the ADC0808, ADC0809 is that the input voltage range is equal to the supply range so the transducers can be connected directly across the supply and their outputs connected directly into the multiplexer inputs, (Figure 9).

Ratiometric transducers such as potentiometers, strain gauges, thermistor bridges, pressure transducers, etc., are suitable for measuring proportional relationships; however, many types of measurements must be referred to an absolute standard such as voltage or current. This means a system reference must be used which relates the full-scale voltage to the standard volt. For example, if $V_{CC} = V_{REF} = 5.12V$, then the full-scale range is divided into 256 standard steps. The smallest standard step is 1 LSB which is then 20 mV.

Applications Information (Continued)

2.0 RESISTOR LADDER LIMITATIONS

The voltages from the resistor ladder are compared to the selected into 8 times in a conversion. These voltages are coupled to the comparator via an analog switch tree which is referenced to the supply. The voltages at the top, center and bottom of the ladder must be controlled to maintain proper operation.

The top of the ladder, Ref(+), should not be more positive than the supply, and the bottom of the ladder, Ref(-), should

not be more negative than ground. The center of the ladder voltage must also be near the center of the supply because the analog switch tree changes from N-channel switches to P-channel switches. These limitations are automatically satisfied in ratiometric systems and can be easily met in ground referenced systems.

Figure 10 shows a ground referenced system with a separate supply and reference. In this system, the supply must be trimmed to match the reference voltage. For instance, if a 5.12V is used, the supply should be adjusted to the same voltage within 0.1V.

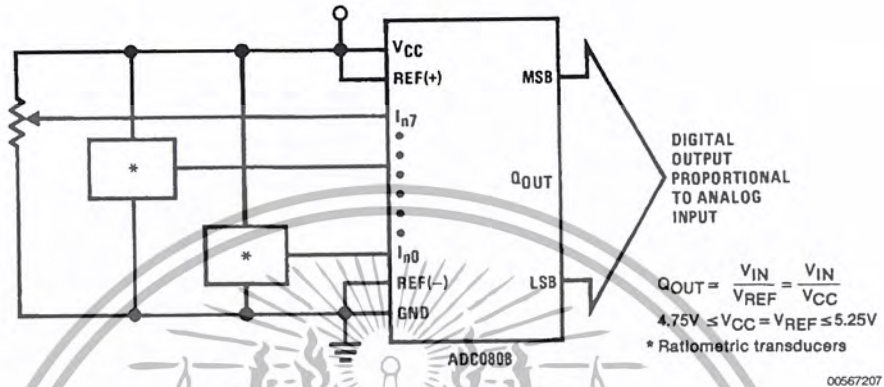
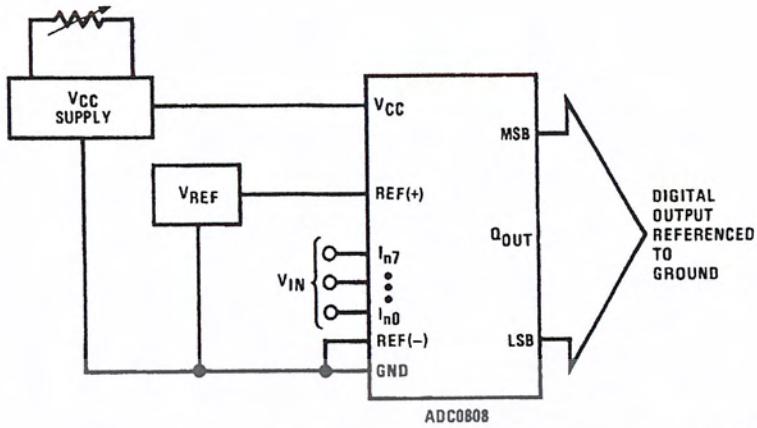


FIGURE 9. Ratiometric Conversion System

The ADC0808 needs less than a milliamp of supply current so developing the supply from the reference is readily accomplished. In Figure 11 a ground referenced system is shown which generates the supply from the reference. The buffer shown can be an op amp of sufficient drive to supply the milliamp of supply current and the desired bus drive, or if a capacitive bus is driven by the outputs a large capacitor will supply the transient supply current as seen in Figure 12. The LM301 is overcompensated to insure stability when loaded by the 10 μF output capacitor.

The top and bottom ladder voltages cannot exceed V_{CC} and ground, respectively, but they can be symmetrically less than V_{CC} and greater than ground. The center of the ladder voltage should always be near the center of the supply. The sensitivity of the converter can be increased, (i.e., size of the LSB steps decreased) by using a symmetrical reference system. In Figure 13, a 2.5V reference is symmetrically centered about V_{CC}/2 since the same current flows in identical resistors. This system with a 2.5V reference allows the LSB bit to be half the size of a 5V reference system.

Applications Information (Continued)

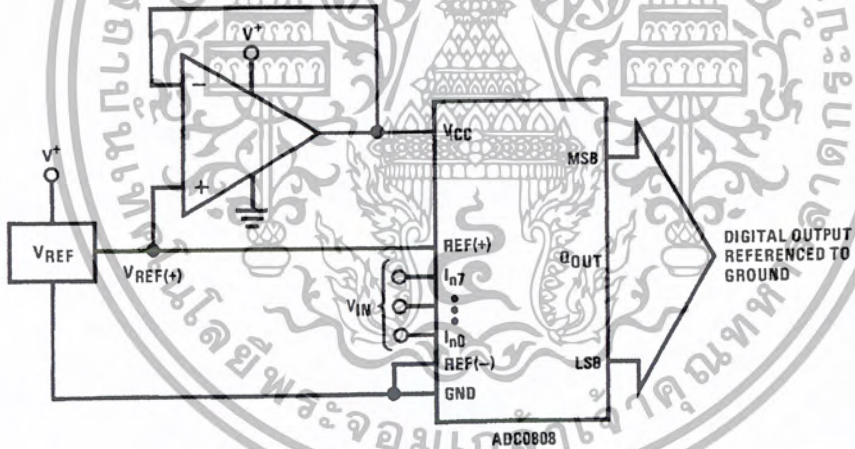


00567224

$$Q_{OUT} = \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$

$$4.75V \leq V_{CC} = V_{REF} \leq 5.25V$$

FIGURE 10. Ground Referenced Conversion System Using Trimmed Supply



00567225

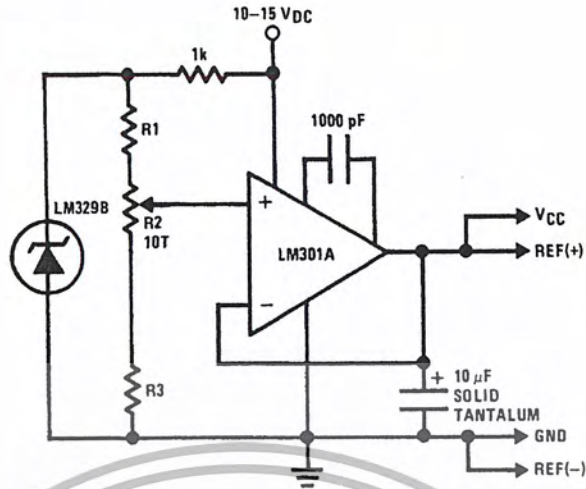
$$Q_{OUT} = \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$

$$4.75V \leq V_{CC} = V_{REF} \leq 5.25V$$

FIGURE 11. Ground Referenced Conversion System with Reference Generating V_{CC} Supply

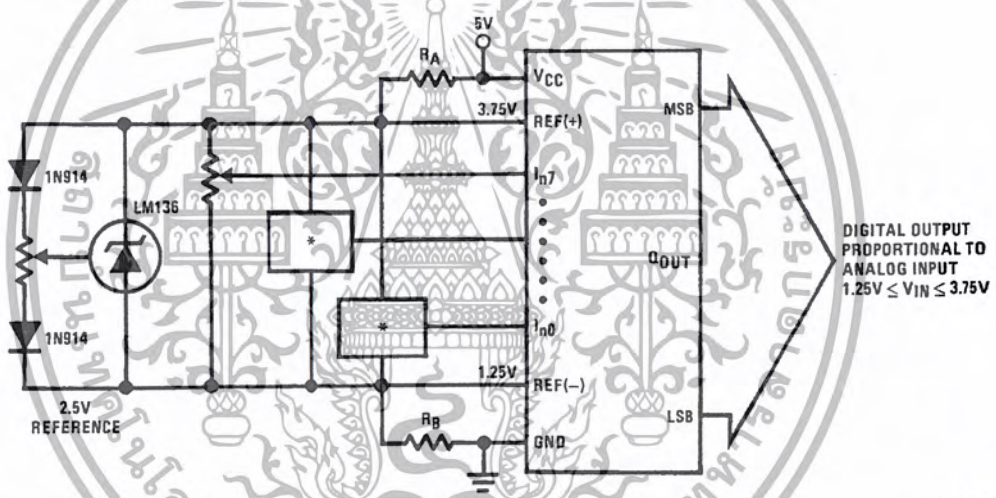
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)



00567226

FIGURE 12. Typical Reference and Supply Circuit



00567227

$R_A=R_B$
*Ratiometric transducers

FIGURE 13. Symmetrically Centered Reference

3.0 CONVERTER EQUATIONS

The transition between adjacent codes N and N+1 is given by:

$$V_{IN} = \left\{ (V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[\frac{N}{256} + \frac{1}{512} \right] \pm V_{TUE} \right\} + V_{REF(-)} \quad (2)$$

The center of an output code N is given by:

$$V_{IN} \left\{ (V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[\frac{N}{256} \right] \pm V_{TUE} \right\} + V_{REF(-)} \quad (3)$$

The output code N for an arbitrary input are the integers within the range:

$$N = \frac{V_{IN} - V_{REF(-)}}{V_{REF(+)} - V_{REF(-)}} \times 256 \pm \text{Absolute Accuracy} \quad (4)$$

Where: V_{IN} = Voltage at comparator input
 $V_{REF(+)}$ = Voltage at Ref(+)
 $V_{REF(-)}$ = Voltage at Ref(-)
 V_{TUE} = Total unadjusted error voltage (typically $V_{REF(+)} \div 512$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

4.0 ANALOG COMPARATOR INPUTS

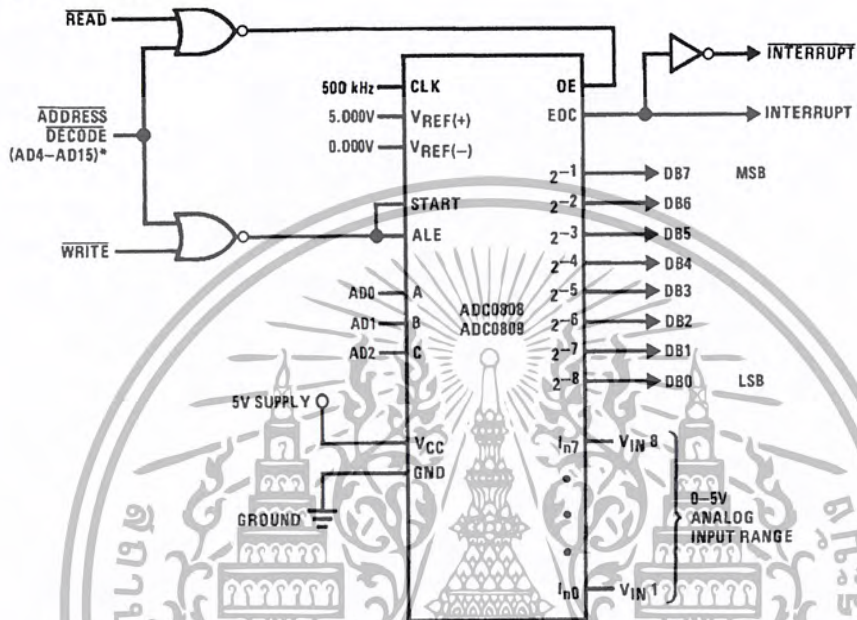
The dynamic comparator input current is caused by the periodic switching of on-chip stray capacitances. These are connected alternately to the output of the resistor ladder/switch tree network and to the comparator input as part of the operation of the chopper stabilized comparator.

The average value of the comparator input current varies directly with clock frequency and with V_{IN} as shown in Figure 6.

If no filter capacitors are used at the analog inputs and the signal source impedances are low, the comparator input current should not introduce converter errors, as the transient created by the capacitance discharge will die out before the comparator output is strobed.

If input filter capacitors are desired for noise reduction and signal conditioning they will tend to average out the dynamic comparator input current. It will then take on the characteristics of a DC bias current whose effect can be predicted conventionally.

Typical Application



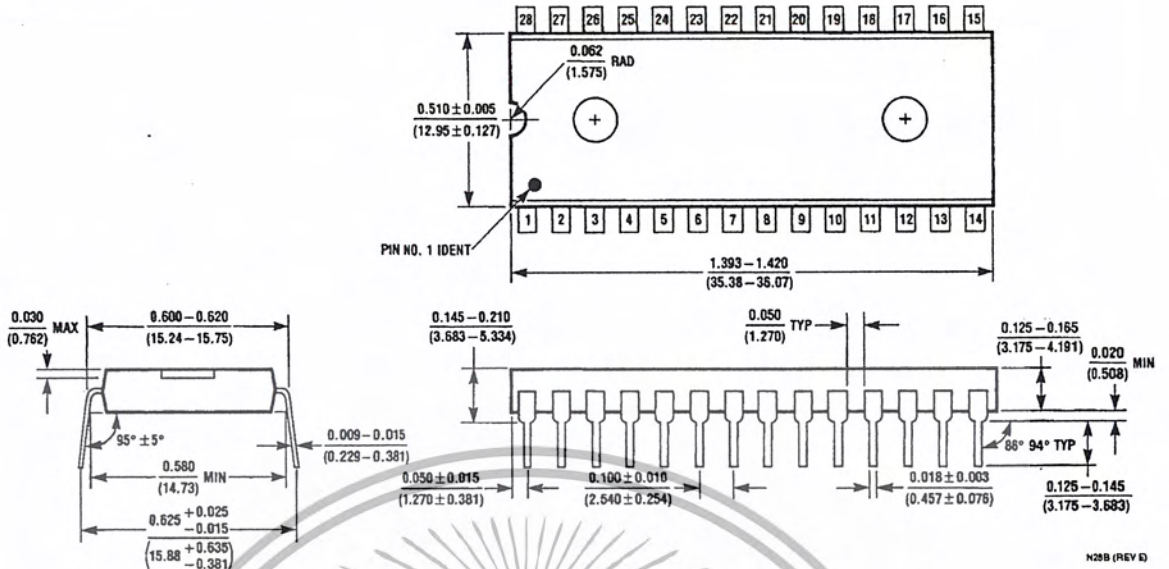
*Address latches needed for 8085 and SC/MP interfacing the ADC0808 to a microprocessor

TABLE 2. Microprocessor Interface Table

PROCESSOR	READ	WRITE	INTERRUPT (COMMENT)
8080	MEMR	MEMW	INTR (Thru RST Circuit)
8085	RD	WR	INTR (Thru RST Circuit)
Z-80	RD	WR	INT (Thru RST Circuit, Mode 0)
SC/MP	NRDS	NWDS	SA (Thru Sense A)
6800	VMA ϕ 2 \cdot R/W	VMA ϕ \cdot R/W	IRQA or IRQB (Thru PIA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters)
unless otherwise noted



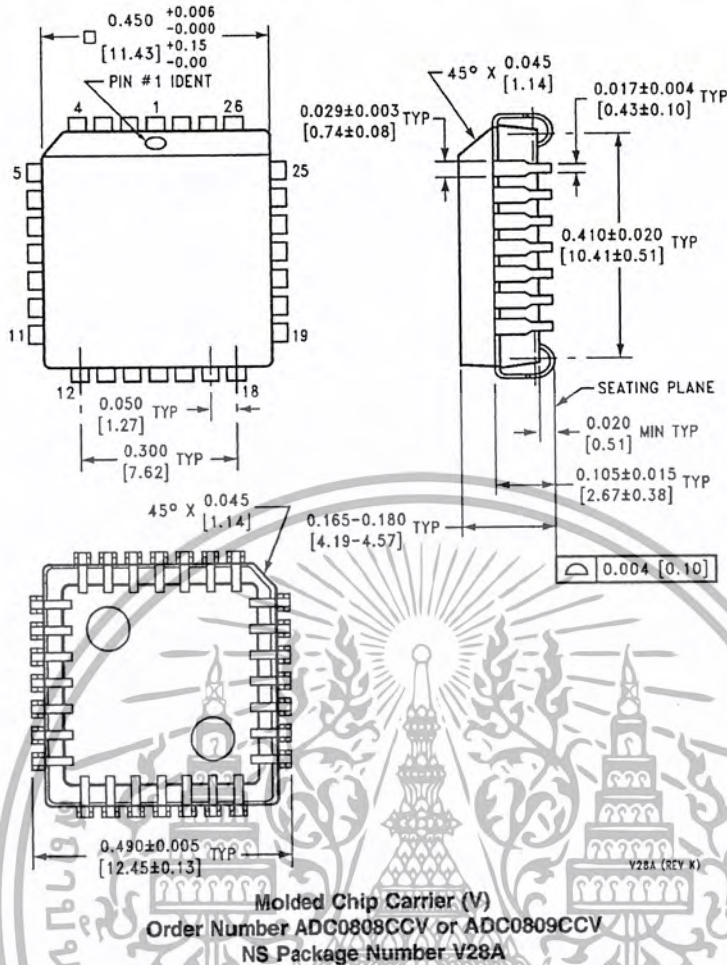
N28B (REV D)

Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
NS Package Number N28B



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation Americas
Email: support@nsc.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

www.national.com

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM108/LM208/LM308 Operational Amplifiers

General Description

The LM108 series are precision operational amplifiers having specifications a factor of ten better than FET amplifiers over a -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ temperature range.

The devices operate with supply voltages from $\pm 2\text{V}$ to $\pm 20\text{V}$ and have sufficient supply rejection to use unregulated supplies. Although the circuit is interchangeable with and uses the same compensation as the LM101A, an alternate compensation scheme can be used to make it particularly insensitive to power supply noise and to make supply bypass capacitors unnecessary.

The low current error of the LM108 series makes possible many designs that are not practical with conventional amplifiers. In fact, it operates from $10\text{ M}\Omega$ source resistances,

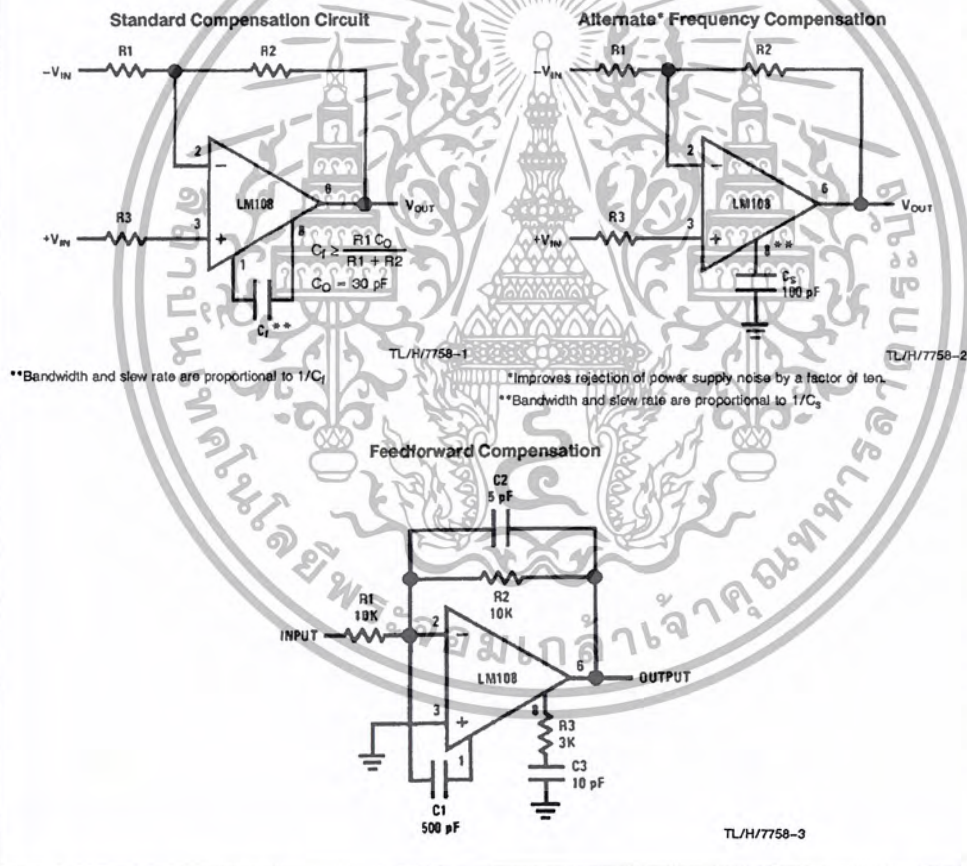
introducing less error than devices like the 709 with $10\text{ k}\Omega$ sources. Integrators with drifts less than $500\ \mu\text{V}/\text{sec}$ and analog time delays in excess of one hour can be made using capacitors no larger than $1\ \mu\text{F}$.

The LM108 is guaranteed from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$, the LM208 from -25°C to $+85^{\circ}\text{C}$, and the LM308 from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$.

Features

- Maximum input bias current of $3.0\ \text{nA}$ over temperature
- **Offset current** less than $400\ \text{pA}$ over temperature
- **Supply current** of only $300\ \mu\text{A}$, even in saturation
- Guaranteed drift characteristics

Compensation Circuits



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 5)

	LM108/LM208	LM308
Supply Voltage	±20V	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW
Differential Input Current (Note 2)	±10 mA	±10 mA
Input Voltage (Note 3)	±15V	±15V
Output Short-Circuit Duration	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range (LM108)	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
(LM208)	-25°C to +85°C	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)		
DIP	260°C	260°C
H Package Lead Temp		
(Soldering 10 seconds)	300°C	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	
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD Tolerance (Note 6)	2000V	

Electrical Characteristics (Note 4)

Parameter	Condition	LM108/LM208			LM308			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.7	2.0		2.0	7.5	mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.05	0.2		0.2	1	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.8	2.0		1.5	7	nA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$	30	70		10	40		MΩ
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.3	0.6		0.3	0.8	mA
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 15\text{V}$ $V_{OUT} = \pm 10\text{V}, R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	50	300		25	300		V/mV
Input Offset Voltage				3.0			10	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage			3.0	15		6.0	30	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current				0.4			1.5	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current			0.5	2.5		2.0	10	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current				3.0			10	nA
Supply Current	$T_A = +125^\circ\text{C}$		0.15	0.4				mA
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15\text{V}, V_{OUT} = \pm 10\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	25			15			V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15\text{V}, R_L = 10\text{ k}\Omega$	±13	±14		±13	±14		V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 4) (Continued)

Parameter	Condition	LM108/LM208			LM308			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15V$	± 13.5			± 14			V
Common Mode Rejection Ratio		85	100		80	100		dB
Supply Voltage Rejection Ratio		80	96		80	96		dB

Note 1: The maximum junction temperature of the LM108 is 150°C, for the LM208, 100°C and for the LM308, 85°C. For operating at elevated temperatures, devices in the H08 package must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W, junction to ambient, or 20°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

Note 2: The inputs are shunted with back-to-back diodes for overvoltage protection. Therefore, excessive current will flow if a differential input voltage in excess of 1V is applied between the inputs unless some limiting resistance is used.

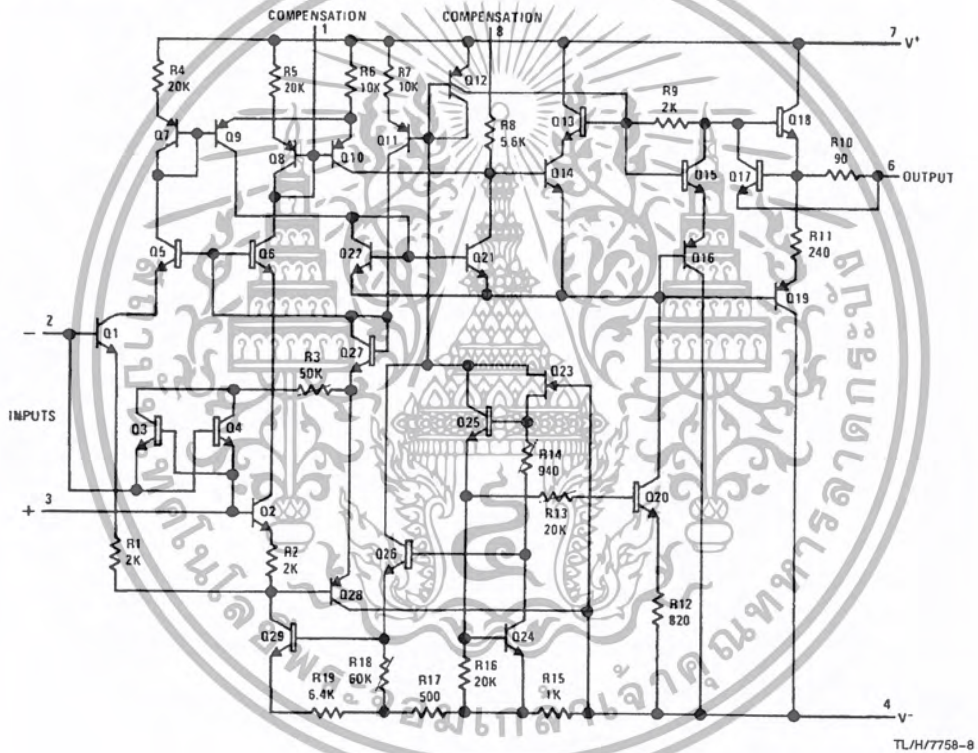
Note 3: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 4: These specifications apply for $\pm 5V \leq V_S \leq \pm 20V$ and $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$, unless otherwise specified. With the LM208, however, all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$, and for the LM308 they are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$.

Note 5: Refer to RETS108X for LM108 military specifications and RETs 108AX for LM108A military specifications.

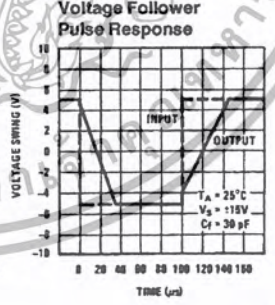
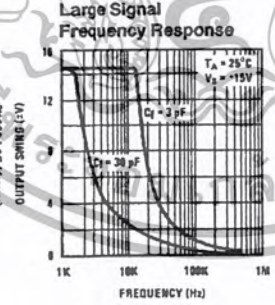
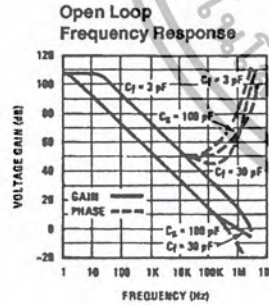
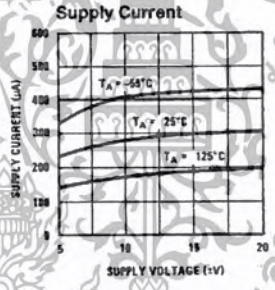
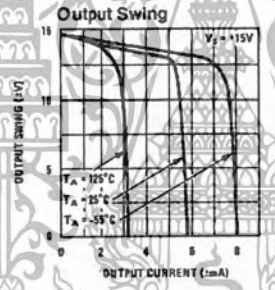
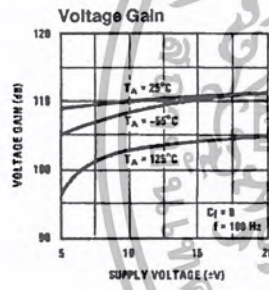
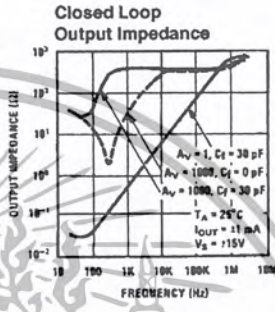
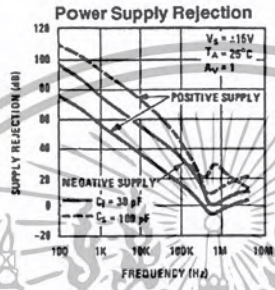
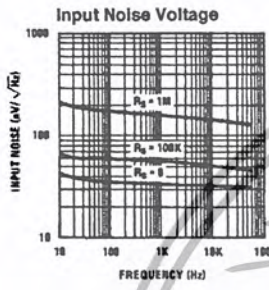
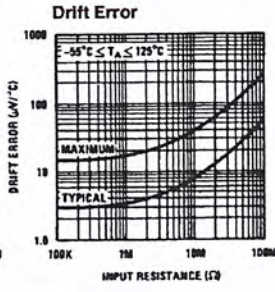
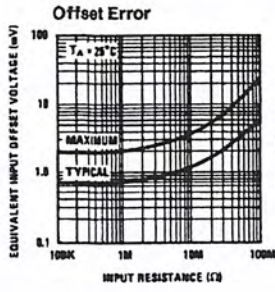
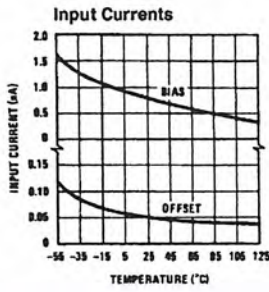
Note 6: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

Schematic Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

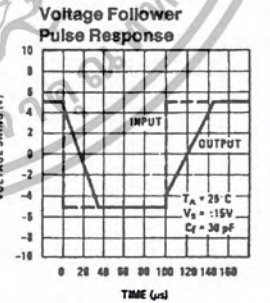
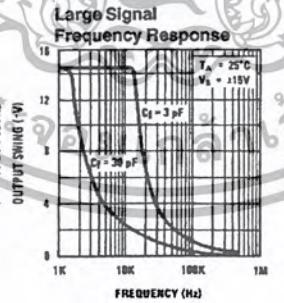
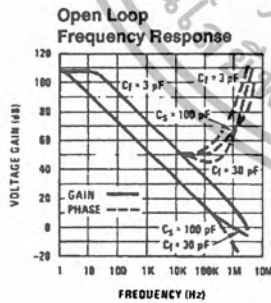
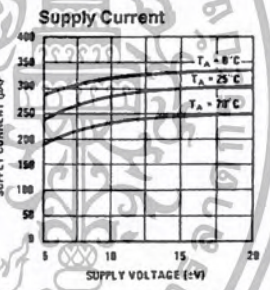
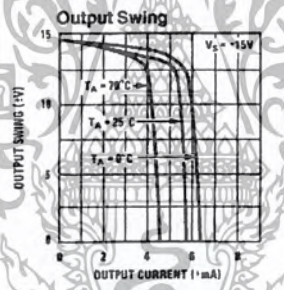
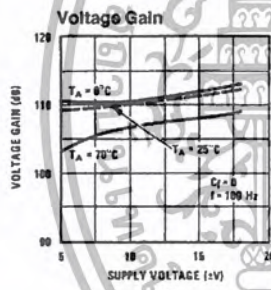
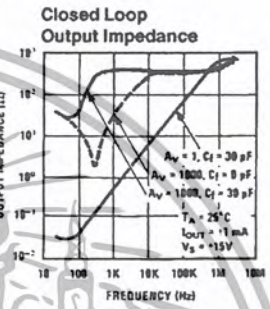
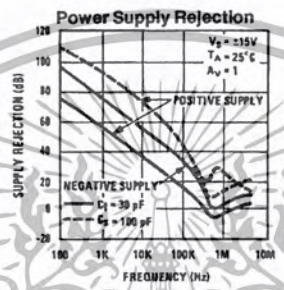
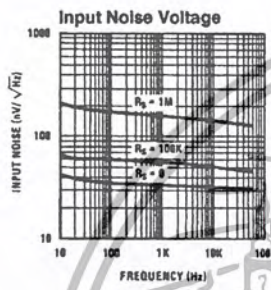
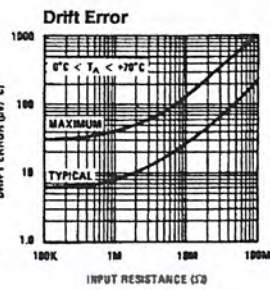
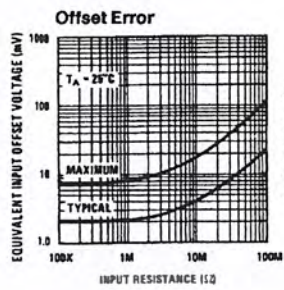
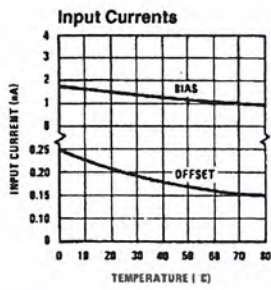
Typical Performance Characteristics LM108/LM208



TL/H/7758-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

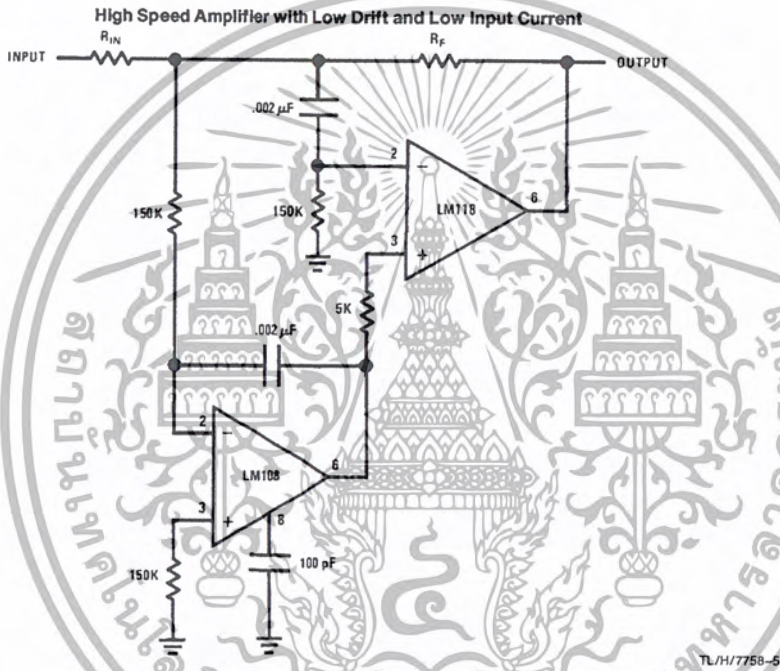
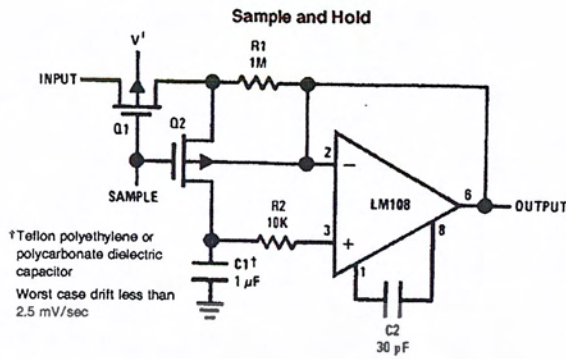
Typical Performance Characteristics LM308



TL/H/7758-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

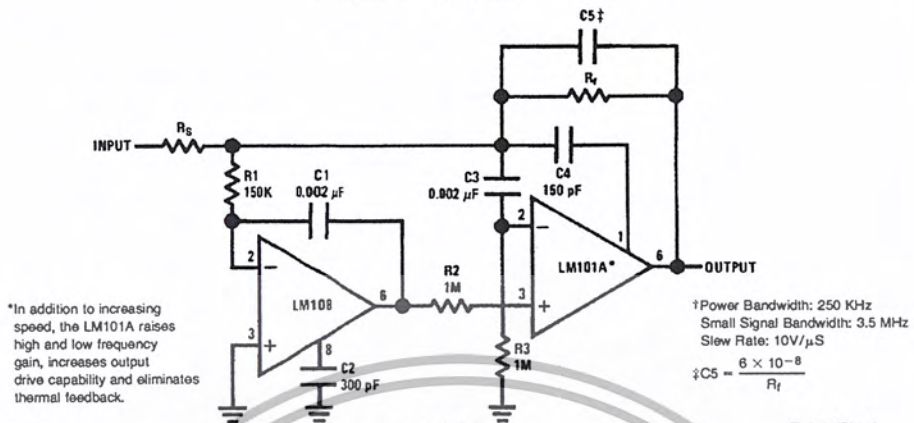
Typical Applications



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

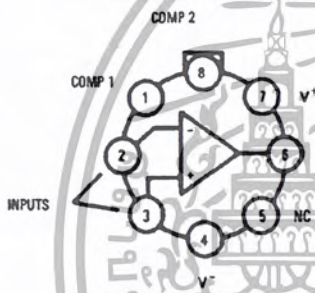
Typical Applications (Continued)

Fast† Summing Amplifier

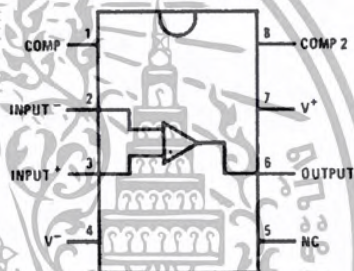


Connection Diagrams

Metal Can Package



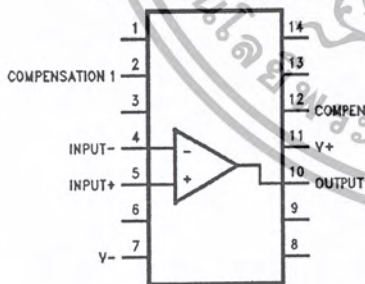
Dual-In-Line Package



*Package is connected to Pin 4 (V⁺)

**Unused pin (no internal connection) to allow for input anti-leakage guard ring on printed circuit board layout.

Order Number LM108H, LM108H/883,
LM308AH or LM308H
See NS Package Number H08C



Top View

Order Number LM108J/883
See NS Package Number J14A

Top View

Order Number LM108J-8/883, LM308M or LM308N
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

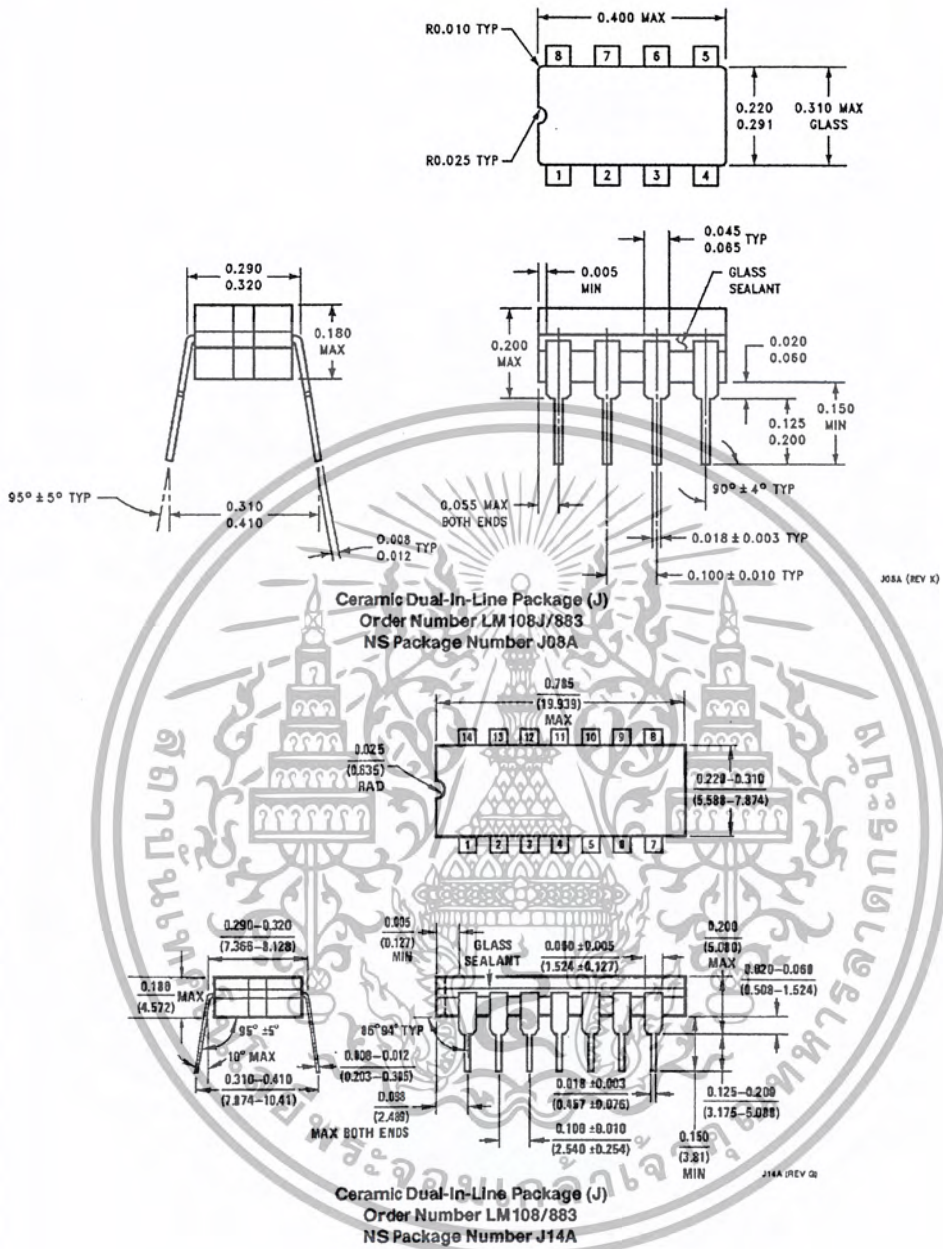


Order Number LM108W/883
See NS Package Number W10A

†Also available per JM38510/10104

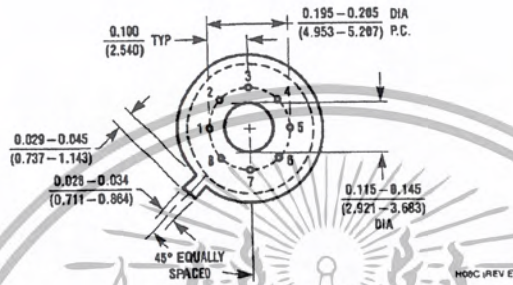
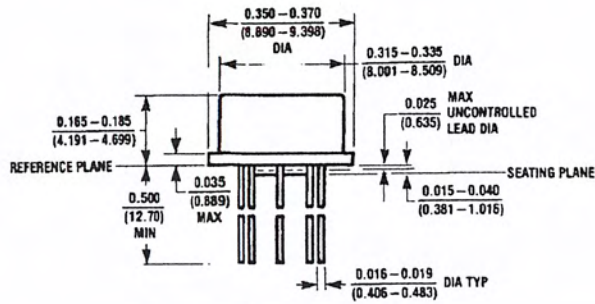
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters)

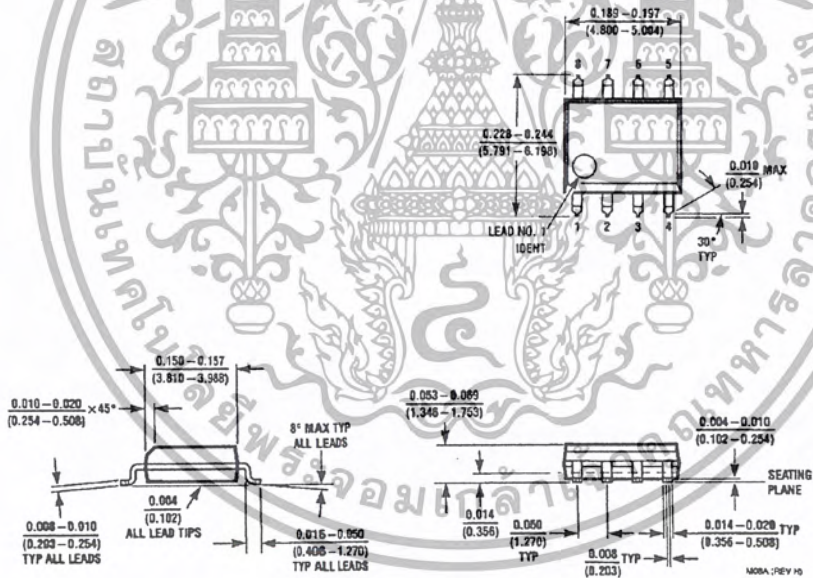


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Metal Can Package (H)
Order Number LM108H, LM108H/893 or LM308H
NS Package Number H08C

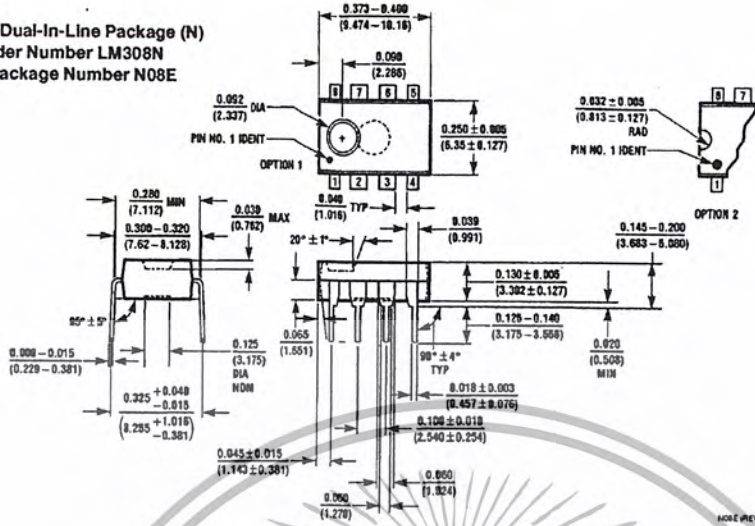


S.O. Package (M)
Order Number LM308M
NS Package Number M08A

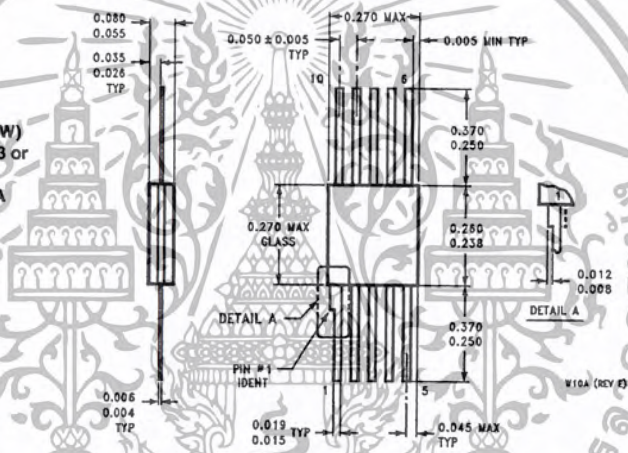
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)

Molded Dual-In-Line Package (N)
 Order Number LM308N
 NS Package Number N08E



Ceramic Flatpack Package (W)
 Order Number LM108AW/883 or
 LM108W/883
 NS Package Number W10A



LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
 1111 West Bardin Road
 Arlington, TX 76017
 Tel: 1(800) 272-9959
 Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
 Fax: (+49) 0-180-530 85 88
 Email: cnjwpe@tvm2.nsc.com
 Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
 Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
 13th Floor, Straight Block,
 Ocean Centre, 5 Canton Rd.
 Tsimshatsui, Kowloon
 Hong Kong
 Tel: (852) 2737-1600
 Fax: (852) 2736-9960

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-043-299-2309
 Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

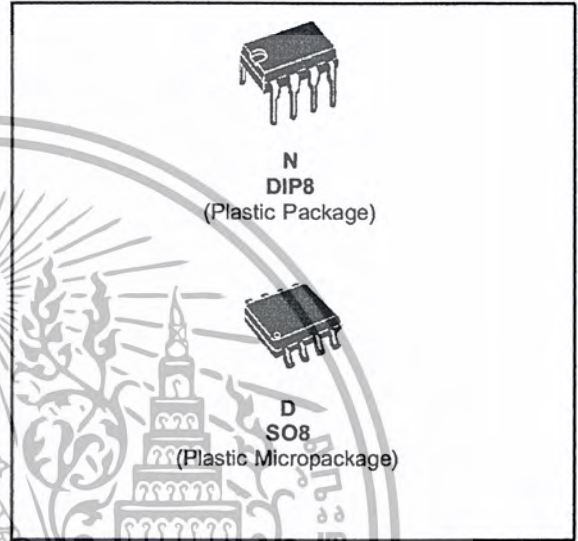
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LF151
LF251 - LF351

**WIDE BANDWIDTH
SINGLE J-FET OPERATIONAL AMPLIFIER**

- INTERNALLY ADJUSTABLE INPUT OFFSET VOLTAGE
- LOW POWER CONSUMPTION
- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : 16V/ μ s (typ)



DESCRIPTION

These circuits are high speed J-FET input single-operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

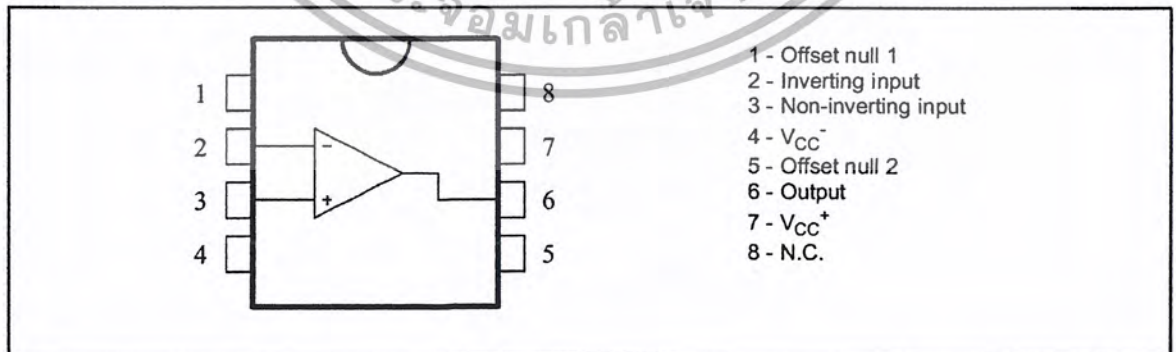
The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

ORDER CODE

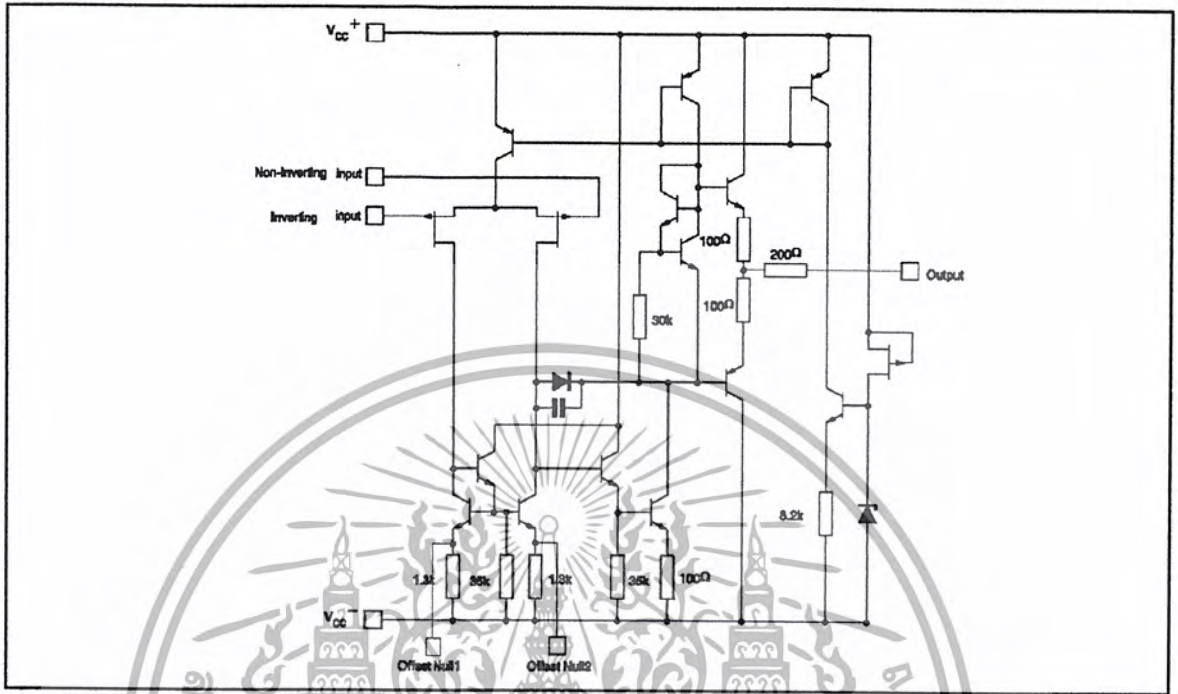
Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
LF351	0°C, +70°C	•	•
LF251	-40°C, +105°C	•	•
LF151	-55°C, +125°C	•	•

N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

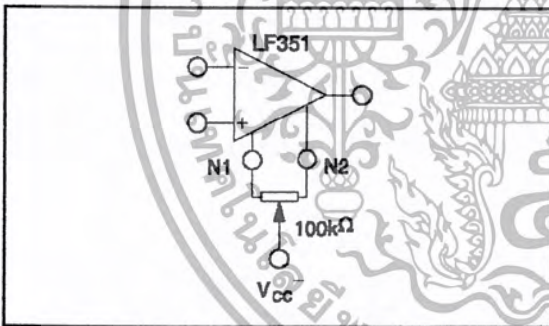
PIN CONNECTIONS (top view)



SCHEMATIC DIAGRAM



INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUIT



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LF151	LF251	LF351	Unit
V_{CC}	Supply voltage - note 1)		±18		V
V_i	Input Voltage - note 2)		±15		V
V_{id}	Differential Input Voltage - note 3)		±30		V
P_{tot}	Power Dissipation		680		mW
	Output Short-circuit Duration - note 4)		Infinite		
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range		-65 to +150		°C

1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC}^+ and V_{CC}^- .
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_S = 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		3	10 13	mV
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		10		$\mu V/^{\circ}C$
I_{io}	Input Offset Current- note 1) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	100 4	pA nA
I_{ib}	Input Bias Current -note 1 $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	200 20	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($R_L = 2k\Omega$, $V_o = \pm 10V$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S = 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		dB
I_{CC}	Supply Current, no load $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1.4	3.4 3.4	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range	± 11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S = 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 70	86		dB
I_{OS}	Output Short-circuit Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	10 10	40	60 60	mA
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	$R_L = 2k\Omega$ 10 $R_L = 10k\Omega$ 12 $R_L = 2k\Omega$ 10 $R_L = 10k\Omega$ 12	12 13.5		V
SR	Slew Rate $V_i = 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$, unity gain	12	16		V/ μs
t_r	Rise Time $V_i = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$, unity gain		0.1		μs
K_{ov}	Overshoot $V_i = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$, unity gain		10		%
GBP	Gain Bandwidth Product $f = 100kHz$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$, $V_{in} = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$	2.5	4		MHz
R_i	Input Resistance		10^{12}		Ω
THD	Total Harmonic Distortion ($f = 1kHz$, $A_v = 20dB$ $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$, $V_o = 2V_{pp}$)		0.01		
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $R_S = 100\Omega$, $f = 1KHz$		15		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
ϕ_m	Phase Margin		45		Degrees

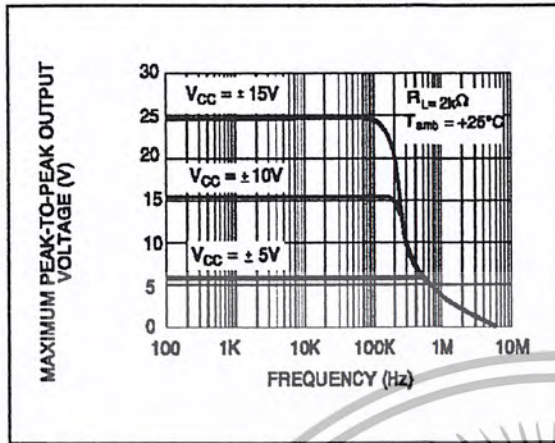
1. The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT

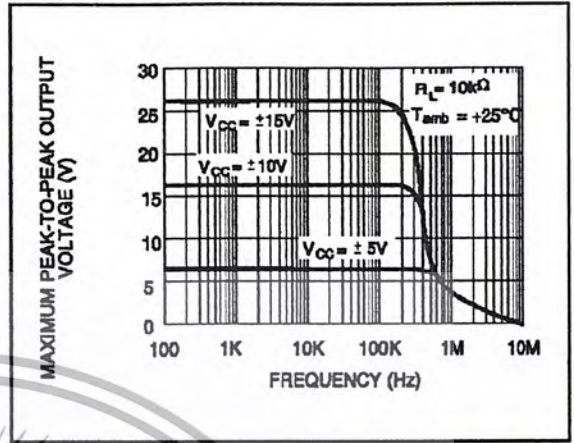


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

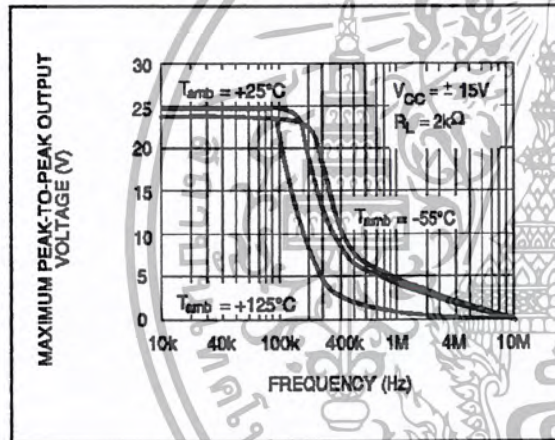
VOLTAGE versus FREQUENCY



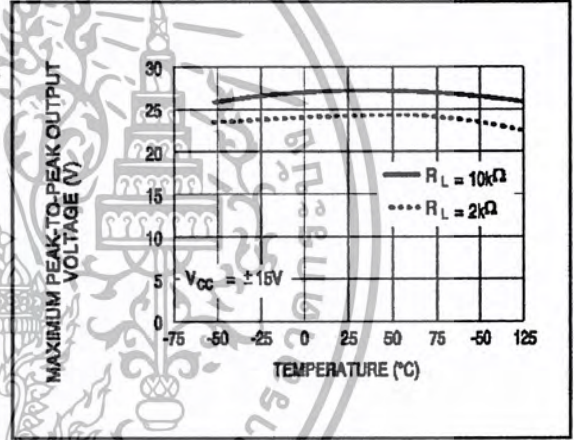
VOLTAGE versus FREQUENCY



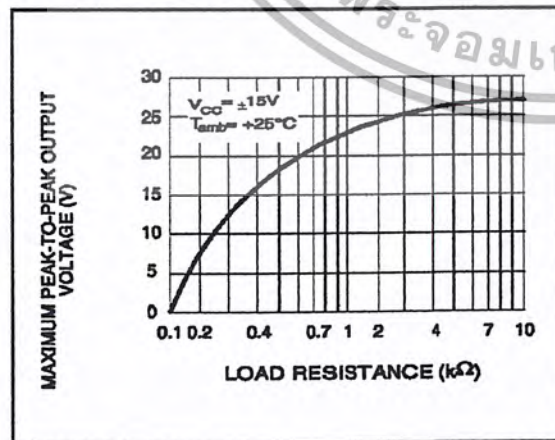
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREQUENCY



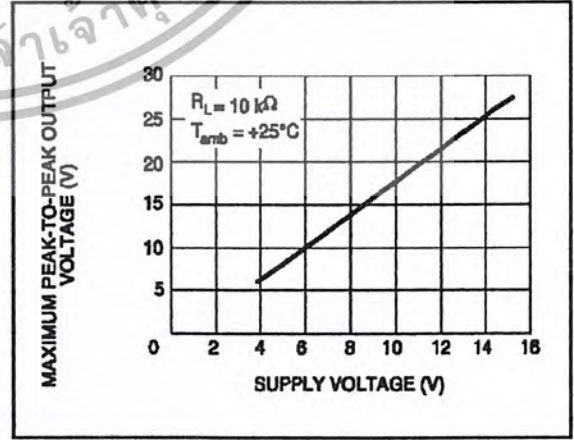
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREE AIR TEMP.



MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus LOAD RESISTANCE



MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus SUPPLY VOLTAGE



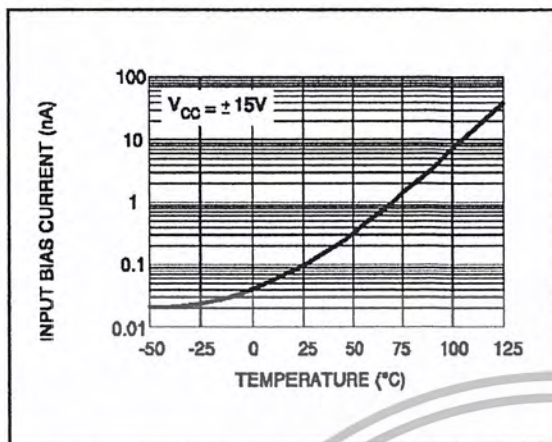
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT

INPUT BIAS CURRENT versus FREE AIR

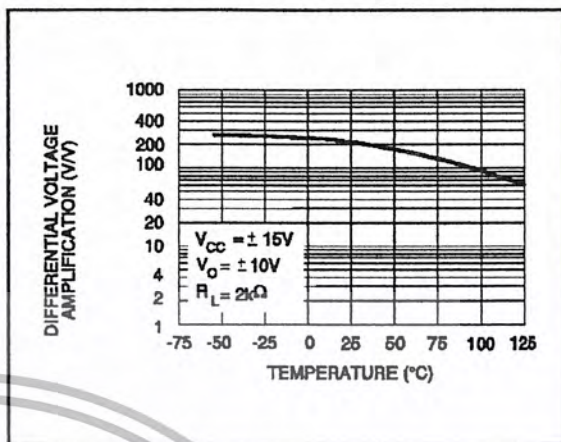


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

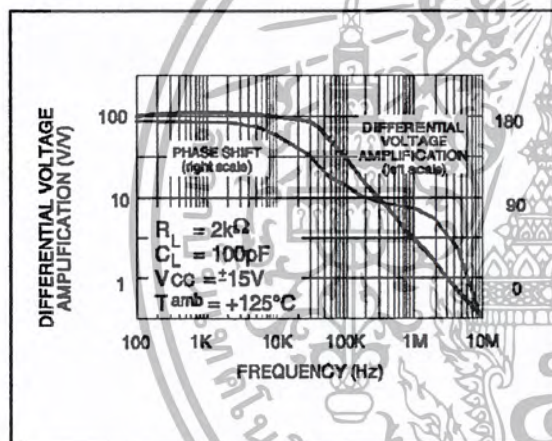
TEMPERATURE



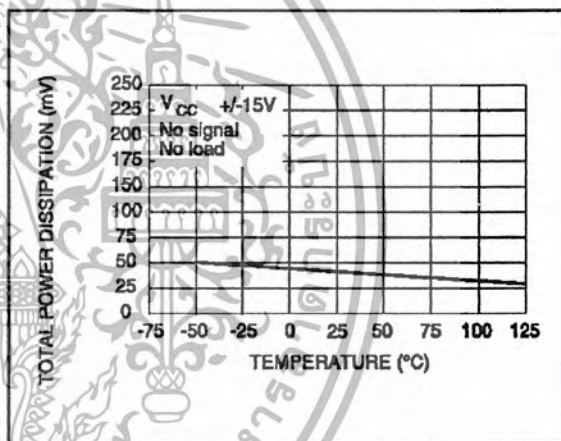
AMPLIFICATION versus FREE AIR TEMP.



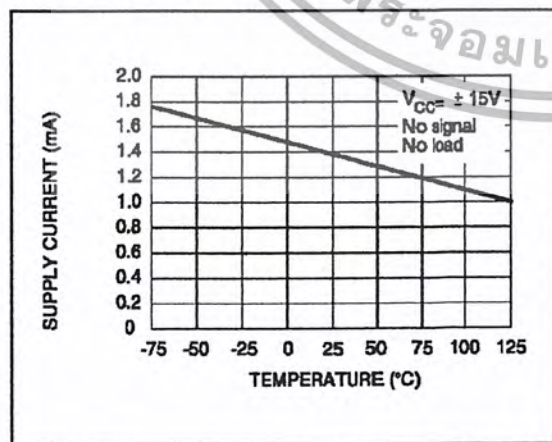
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION AND PHASE SHIFT versus FREQUENCY



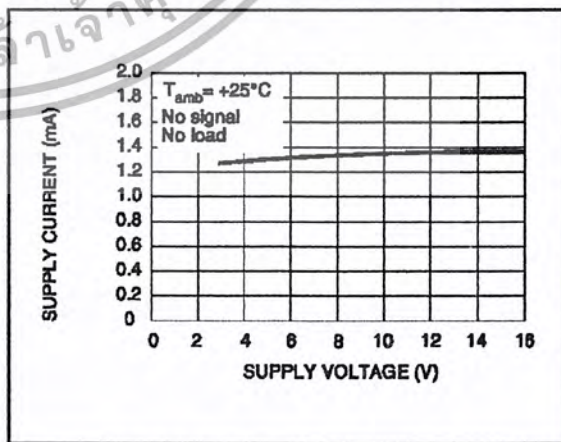
TOTAL POWER DISSIPATION versus FREE AIR TEMPERATURE



SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER versus FREE AIR TEMPERATURE



SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER versus SUPPLY VOLTAGE



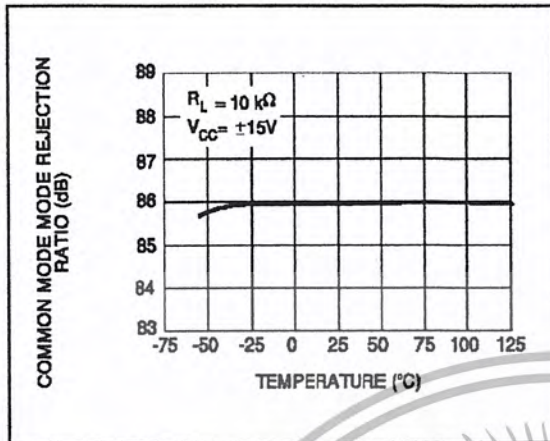
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE



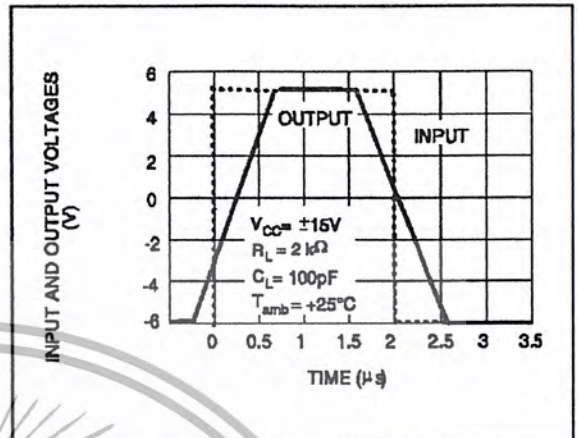
COMMON MODE REJECTION RATIO versus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

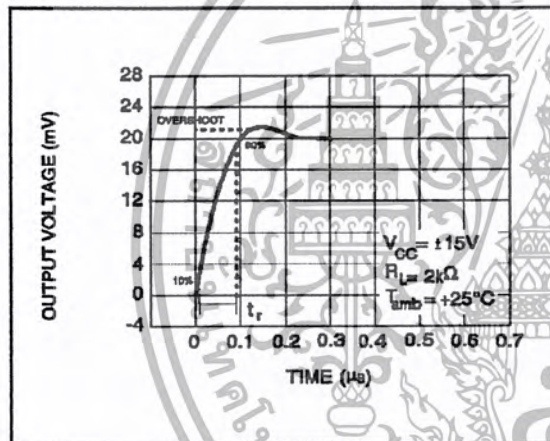
FREE AIR TEMPERATURE



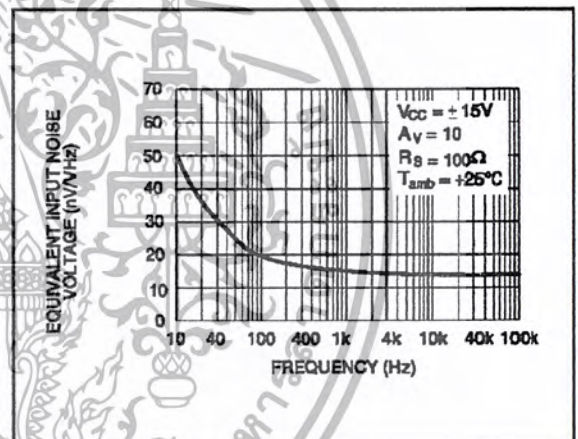
VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE



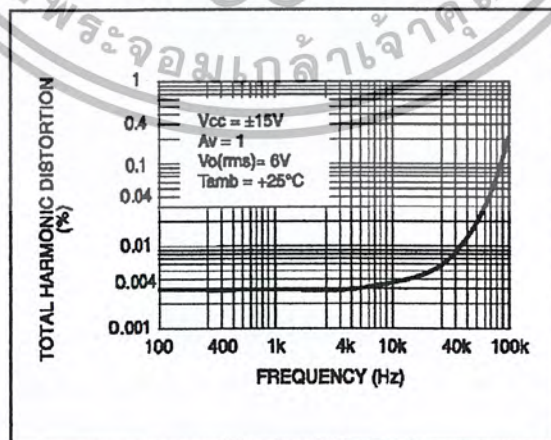
OUTPUT VOLTAGE versus ELAPSED TIME



EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE versus FREQUENCY



TOTAL HARMONIC DISTORTION versus FREQUENCY



PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

Figure 1 : Voltage Follower

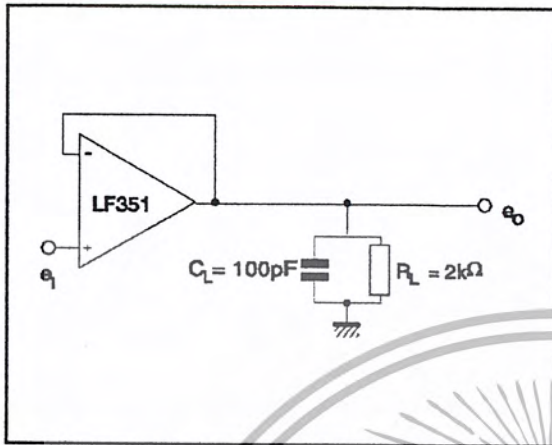
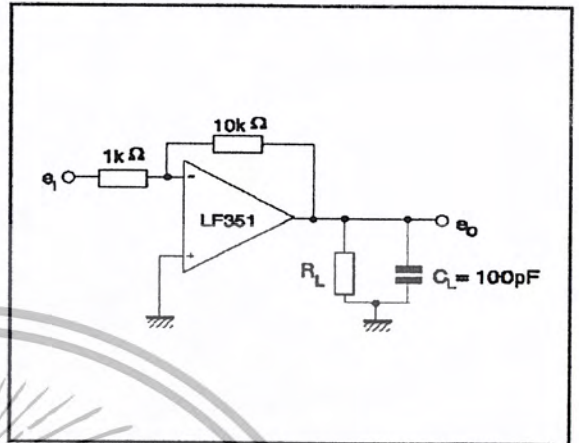
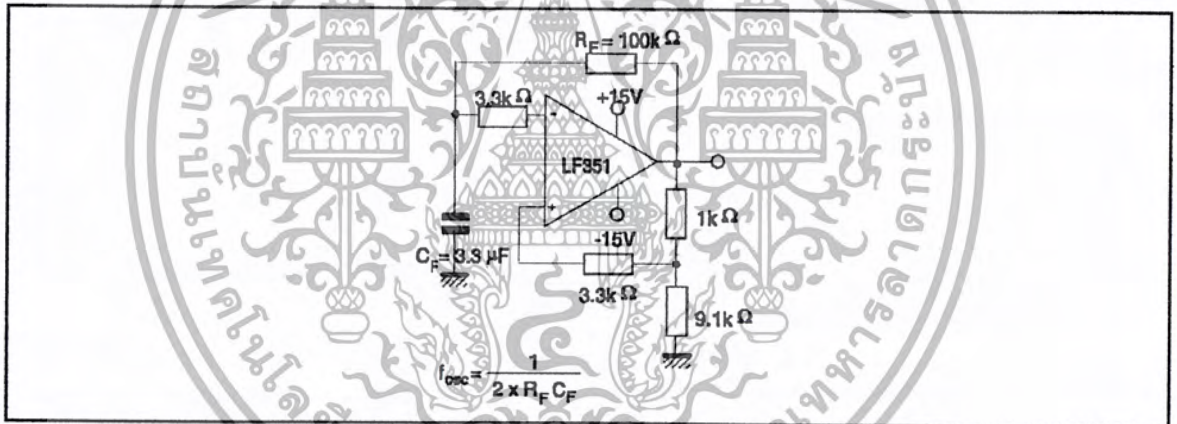


Figure 2 : Gain-of-10 inverting amplifier

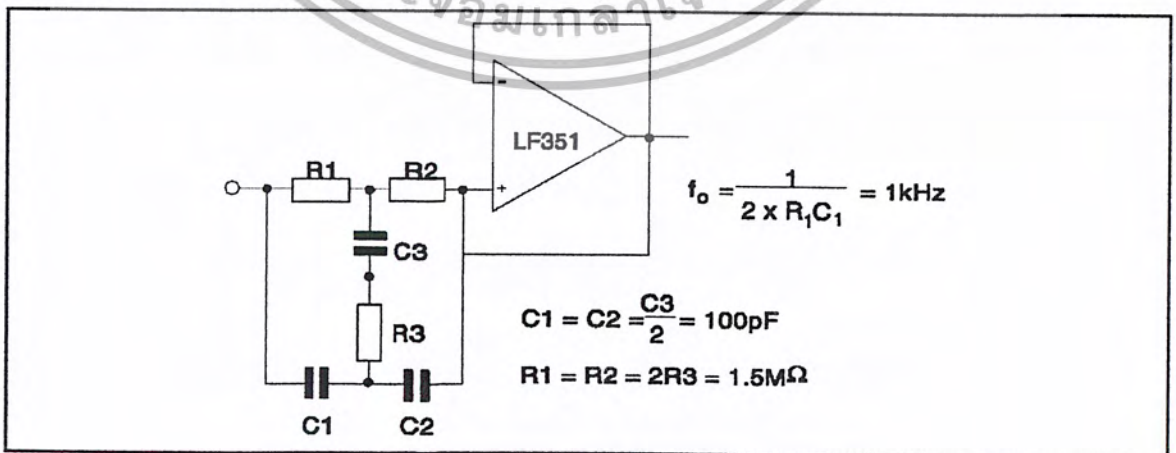


TYPICAL APPLICATION

(0.5Hz) SQUARE WAVE OSCILLATOR



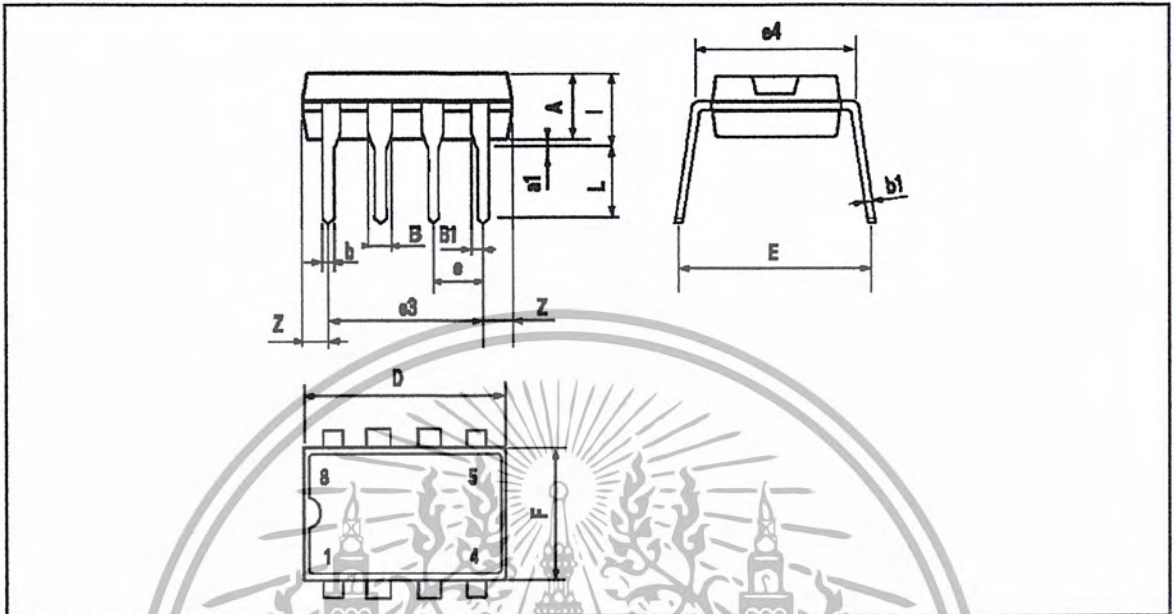
HIGH Q NOTCH FILTER



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

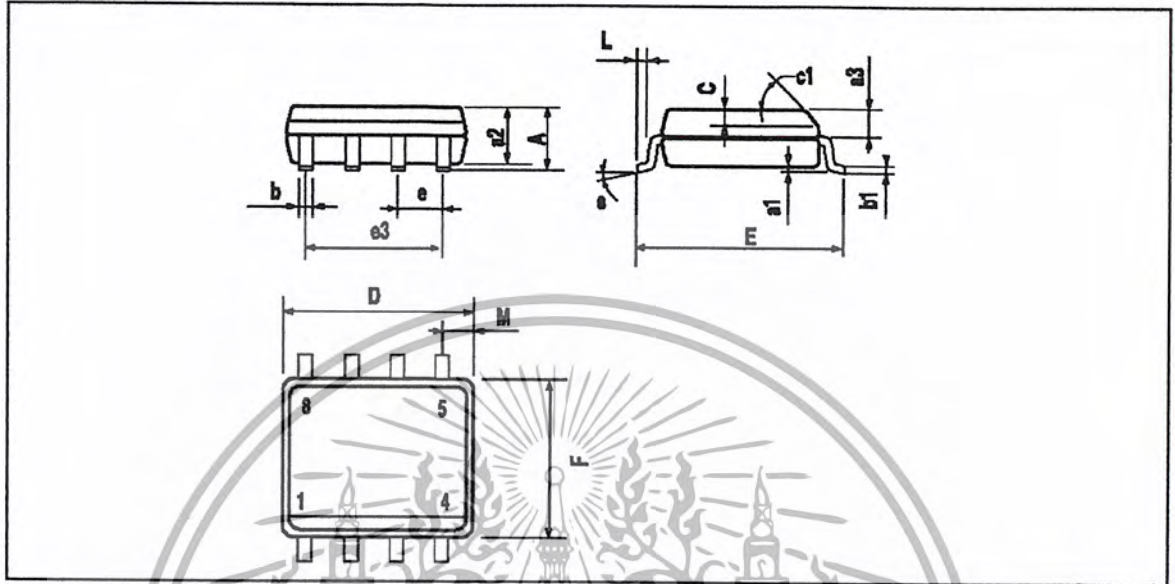
LF151 - LF251 - LF351

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC DIP



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0.260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.010
a2			1.65			0.065
a3	0.65		0.85	0.026		0.033
b	0.35		0.48	0.014		0.019
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C	0.25		0.5	0.010		0.020
c1			45° (typ.)			
D	4.8		5.0	0.189		0.197
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		3.81			0.150	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.6			0.024
S			8° (max.)			

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2001 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved
 STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco
 Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom

© <http://www.st.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้