

เครื่องวัดความอิมตัวของออกซิเจนในกระแสเลือด

PULSE OXIMETER

โดย

นางสาวชมานัน วิทยานรัตนา

นายชวัลวิทย์ อิศสรารักษ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. อภินันท์ ธนชยานนท์

- ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง เครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด
PULSE OXIMETER

ผู้จัดทำ นางสาวชมนัน วิทย์ธนรัตนา เลขประจำตัว 52010214
นายชวลวิทย์ อิศสรารักษ์ เลขประจำตัว 52010235

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. อภินันท์ ธนชยานนท์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องวัดความอึมตัวของออกซิเจนในเลือด
นักศึกษา	นางสาวชมานัน วิทยารัตนา รหัส 52010214
	นายชวัลวิทย์ อีสรรารักษ์ รหัส 52010235
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	รศ.ดร.อภิรักษ์ ธนชยานนท์

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ได้อธิบายการออกแบบเครื่องวัดความอึมตัวของออกซิเจนในเลือด ซึ่งประกอบด้วยวงจรสองส่วน ได้แก่ ส่วนเซนเซอร์ และส่วนประมวลผลและแสดงผล ซึ่งส่วนเซนเซอร์ จะประกอบด้วยสองภาค คือ ภาคส่ง โดยใช้ LED ปล่อยแสง 2 ความยาวคลื่นสลับกัน และภาครับ โดยใช้ photodiode ที่สามารถวัดความเข้มของแสงที่ส่งผ่านมา จากนั้นสัญญาณที่ส่งผ่านมาจะถูกกรองและขยาย แล้วนำไปประมวลผลและแสดงผลบนหน้าจอแสดงผลโดยใช้ microprocessor เป็นตัวควบคุม

Thesis Title	Pulse Oximeter
Student	Miss Chamanun Wittayatanarattana ID : 52010214
	Mr. Chawanwit Issarak ID : 52010235
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Electronic Engineering
Year	2012
Thesis Advisor	Apinunt Thanachayanont

Abstract

This report describes a design of a pulse oximeter. The circuits used in this pulse oximeter consist of two parts which are a sensor circuit and a processor and display unit circuit. The sensor circuit consist of two parts which are a sender using two LED light wavelength and switch light emission and receiver using a photodiode to measure the intensity of light transmitted through it. This signal is filtered and amplified. Then it is processed and displayed on the result screen controlled by microprocessor.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการจากการศึกษาค้นคว้าฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจนำมากล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกและผู้ศึกษาขอขอบพระคุณคือ อาจารย์ที่ปรึกษาประจำกลุ่มรองศาสตราจารย์ ดร. อภินันท์ ธนชยานนท์ ผู้ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้โครงการฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด และขอขอบพระคุณอาจารย์ในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำเกี่ยวกับโครงการฉบับนี้ และเพื่อนๆทุกคนที่ช่วยเหลือในการสืบค้นข้อมูลแลกเปลี่ยนความรู้ความคิด และให้กำลังใจในการศึกษาค้นคว้าตลอดมา

ขอขอบพระคุณผู้ปกครองของพวกเราที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุน และให้กำลังใจตลอดมา

ชมานัน วิทยาธรรัตนา

ชวัลวิทย์ อิศสรารักษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญรูป	vii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 รายละเอียดของเนื้อหาในรายงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หลักการตรวจวัดความอืดตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจร	4
2.2 LED Driver	7
2.3 555 Timer	8
2.4 D FlipFlop	9
2.5 AND Gate	11

	หน้า
2.6 Current to voltage converter	12
2.7 วงจรกรองความถี่ (Filter Circuit)	13
2.8 วงจรขยายสัญญาณ	20
2.9 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	23
2.10 Sampling & Hold	24
2.11 Multiplexing and Demultiplexing	27
2.12 จอ lcd 16*2	29
2.13 ไมโครคอนโทรลเลอร์	30
บทที่ 3 การออกแบบ	37
3.1 LED DRIVER	37
3.2 สัญญาณ F1 และ F2	38
3.3 Low pass filter	39
3.4 Current to Voltage	40
3.5 Demultiplexer	41
3.6 Low pass filter แบบ two pole low pass filter	41
3.7 Active high pass	42
3.8 Amplifier	43
บทที่ 4 ผลการทดลอง	44

	หน้า
4.1 ส่วนสร้างสัญญาณ F1 และ F2	44
4.2 วงจร LED Driver	45
4.3 วงจรขยายสัญญาณ	46
4.4 สัญญาณของ IR LED	47
4.5 สัญญาณของ RED LED	48
4.6 รูปสัญญาณ DC และ AC ของ IR LED และ RED LED	49
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	54

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Block Diagram	4
2.2 คุณสมบัติการดูดซับคลื่นแสงของ oxyhemoglobin และ deoxyhemoglobin	5
2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ส่งและรับแสงที่ปลายนิ้ว	6
2.4 การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงต่าง ๆ	6
2.5 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการดูดกลืนคลื่นแสง(R)และค่าความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบิน(SpO ₂)	7
2.6 LED Driver	7
2.7 รูปและตำแหน่งขาของไอซี 555	8
2.8 D FlipFlop	9
2.9 ตารางแสดงค่าความจริง D FlipFlop	9
2.10 แสดงสัญญาณของ D FlipFlop	10
2.11 การนำ D FlipFlop มาใช้งาน	10
2.12 แสดงสัญญาณ input และ output ของ D FlipFlop ที่นำมาใช้งาน	10
2.13 สัญลักษณ์ของ AND Gate	11
2.14 ตารางแสดงความจริง	12
2.15 วงจรแปลงแรงดันไฟ	12

รูปที่	หน้า
2.16 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำอันดับต่างๆ และกราฟแสดงอัตราขยายแรงดันเชิงความถี่	13
2.17 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูงอันดับต่างๆ และกราฟแสดงผลการตอบสนองต่ออัตราขยายเชิงความถี่	15
2.18 วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ และกราฟแสดงผลตอบสนองอัตราขยายเชิงความถี่	16
2.19 กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ ของวงจรผสมที่เกิดจากการเอาวงจรกรองความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ทที่ให้ค่า -60 เดซิเบลต่อดีเคด กับวงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบให้ค่า 60 เดซิเบลต่อดีเคด มาต่อรวมกัน	19
2.20 แสดงวงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่และผลตอบสนองต่อความถี่	20
2.21 วงจรขยายกลับขั้วสัญญาณ	21
2.22 วงจรขยายรวมสัญญาณ	21
2.23 วงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ	22
2.24 วงจรแรงดันไฟตาม	22
2.25 วงจร Sampling & Hold	24
2.26 แสดง error จากการวัด Aperture time	25
2.27 การสุ่มสัญญาณ	26
2.28 รูปการแยกสัญญาณ	27
2.29 โมดูล LCD แบบอนุกรมขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด	29
2.30 คอมพิวเตอร์สถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด	30

รูปที่	หน้า
2.31 แสดงสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์ดแวร์	31
2.32 แสดงโครงสร้างเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์	32
3.1 วงจรขับกระแส	37
3.2 สัญญาณ F1 และ F2	38
3.3 วงจรสร้างสัญญาณ F1 และ F2	38
3.4 สัญญาณ CLK สัญญาณ Q สัญญาณ $Q^{\bar{}}$ สัญญาณ F1 และ สัญญาณ F2	39
3.5 วงจรรองความถี่ต่ำ	39
3.6 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน	40
3.7 อุปกรณ์แยกสัญญาณ	41
3.8 วงจรรองความถี่แบบ second order	41
3.9 วงจรรองความถี่สูง	42
3.10 วงจรขยายสัญญาณ	43
4.1 วงจรสร้างสัญญาณ F1 และ F2	44
4.2 วงจร LED Driver	45
4.3 Current to Voltage และ Demultiplexer	46
4.4 วงจรของสัญญาณ IR LED	47
4.5 สัญญาณของ RED LED	48

4.6 รูปสัญญาณ DC และ AC ของ IR LED และ RED LED



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ทางการแพทย์ขึ้นมามากมาย เพื่ออำนวยความสะดวกในการทำการรักษาของแพทย์ให้มีความรวดเร็วและมีความแม่นยำมากขึ้นในการวินิจฉัยทำให้รักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราการสำเร็จในการรักษาให้มากขึ้นและลดความเสี่ยงในการวินิจฉัยให้มีความผิดพลาดน้อยลงได้

เครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจร เป็นเครื่องมือที่รวมการวัดระดับออกซิเจนและคลื่นการไหลเวียนโลหิตเข้าด้วยกัน ใช้เป็นเครื่องมือต่อเนื่องแบบไม่คุกคามในการวัดระดับความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินในเลือดแดง ซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของการประเมินระดับออกซิเจนในร่างกาย แต่ไม่สามารถใช้ทดแทนการตรวจวัดออกซิเจนจากเลือดแดงได้ทั้งหมด การวัดดังกล่าวสามารถประเมินภาวะขาดออกซิเจนได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้หลักการดูดซับคลื่นแสงที่แตกต่างกัน โดยฮีโมโกลบินที่จับออกซิเจนจะดูดซับคลื่นแสงช่วงความยาวคลื่น 600-750 นาโนเมตร(คลื่นแสงสีแดง) แต่ฮีโมโกลบินที่ไม่จับออกซิเจนจะดูดซับคลื่นแสงช่วงความยาว 850-1000 นาโนเมตร(คลื่นอินฟราเรด) เป็นวิธีการประเมินระดับออกซิเจนในร่างกายที่มีความสะดวกรวดเร็ว และไม่ต้องเจาะเลือด จึงมีการใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นในปัจจุบัน การเข้าใจหลักการทำงานและข้อจำกัดของเครื่องมือ จะทำให้แปลผลได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

โดยปกติเครื่อง oximeter จะมีการวัดอัตราชีพจรด้วย เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของออกซิเจนในเลือด เช่นหากมีอัตราความเข้มข้นในเลือดต่ำ อัตราชีพจรจะสูง เป็นต้น การมีเครื่อง oximeter (ออกซิมิเตอร์) จะช่วยให้ผู้ป่วยที่มีปัญหาด้านภาวะพร่องออกซิเจน สามารถจัดการออกซิเจนได้ดีขึ้น รู้ว่าเมื่อใดต้องใช้้อตราสูงหรือต่ำ ผู้ป่วยจะรู้ได้ว่ากิจกรรมใดที่ต้องการออกซิเจนมาก กิจกรรมใดที่ต้องการออกซิเจนน้อย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องวัดความอืดตัวของอกซิเจนในเลือด และการออกแบบวงจรในกาทำงาน

1.2.2 เพื่อฝึกการวิเคราะห์วงจร และแก้ปัญหาเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ

1.2.3 ฝึกการทำงานอย่างมีระบบแบบแผน

1.3 ขอบเขต

1.3.1 สามารถขับกระแสได้ตามต้องการ

1.3.2 สามารถเปลี่ยนกระแสที่ได้รับจากโฟโตรีโอดเป็นแรงดันได้

1.3.3 สามารถรองความถี่ที่ไม่ต้องการออกได้

1.3.4 สามารถขยายสัญญาณที่ต้องการได้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถขับกระแสและเปลี่ยนกระแสที่ได้เป็นแรงดันได้ตามที่คำนวณไว้ได้

1.4.2 สามารถรองความถี่ของแรงดันที่ไม่ต้องการ และนำมาขยายสัญญาณเพื่อนำไปศึกษาต่อได้

1.4.3 ทำให้มีความรู้และทักษะจากการปฏิบัติงาน

1.5 รายละเอียดของเนื้อหาในโครงการงาน

เนื้อหาของโครงการงานฉบับนี้ ประกอบด้วยหัวข้อต่างๆรวม 5 บท แต่ละบทกล่าวดังต่อไปนี้

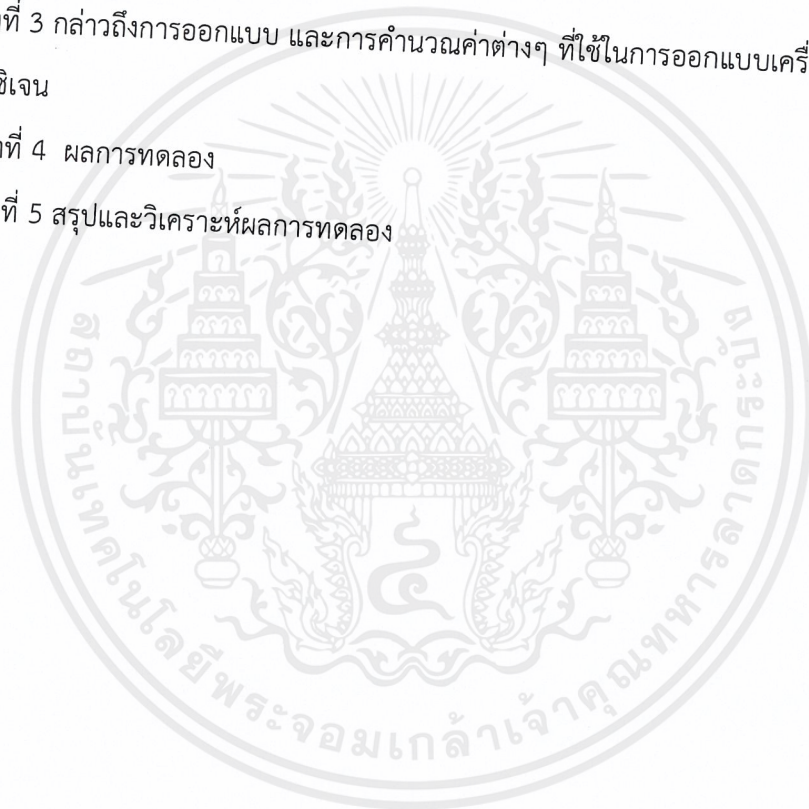
บทที่ 1 บทนำของโครงการงาน กล่าวถึงลักษณะโดยรวมของโครงการงาน วัตถุประสงค์ ขอบเขต ผลที่คาดว่าจะได้รับ และรายละเอียดของโครงการงานโดยย่อ

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎี แนวความคิด เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำโครงการงานพื้นฐานของเครื่องวัดความอิมิตัวของออกซิเจนว่าใช้อุปกรณ์ใดในการทำงาน มีระบบการทำงานอย่างไร แล้วผลที่คาดว่าจะได้รับควรเป็นอย่างไร

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบ และการคำนวณค่าต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบเครื่องวัดความอิมิตัวของออกซิเจน

บทที่ 4 ผลการทดลอง

บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

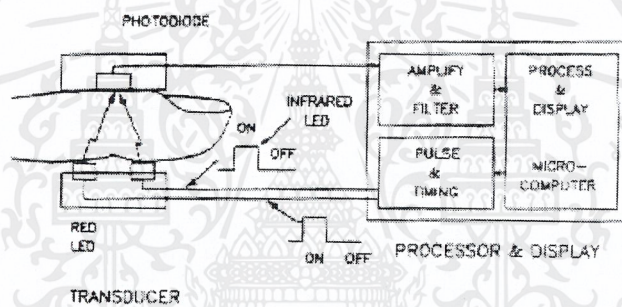


บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการตรวจวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด

เครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดประกอบด้วย 2 ส่วนคือ sensor และ processor and display unit ส่วนที่เป็น sensor มี 2 ด้าน ด้านหนึ่งเป็น light emitting diode (LED) ซึ่งจะปล่อยแสง 2 ความยาวคลื่นสลับกัน ส่วนด้านที่อยู่ตรงข้ามจะมี photodiode สามารถวัดความเข้มของแสงที่ส่งผ่านมา สัญญาณที่ส่งผ่านมาจะถูกกรองและขยายและแสดงบนหน้าจอแสดงผลโดยมี microprocessor เป็นตัวควบคุม แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Block Diagram

การตรวจวัดปริมาณการอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบิน(Hemoglobin) สามารถบ่งบอกถึงปริมาณของออกซิเจนในเลือดได้ โดยฮีโมโกลบินเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่มีอยู่ในเม็ดเลือดแดง ซึ่งฮีโมโกลบินมี 4 ชนิด คือ

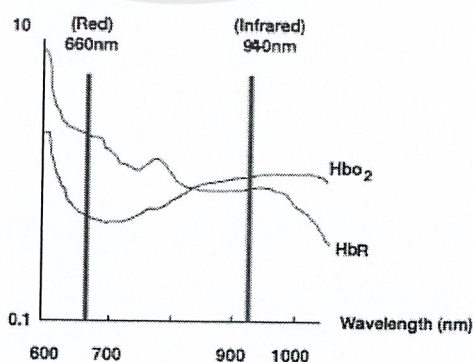
1. Oxyhemoglobin(HbO_2) เป็นฮีโมโกลบินที่จับอยู่กับออกซิเจนในเลือด
2. Deoxyhemoglobin หรือ Reduced Hemoglobin(HbR) เป็นฮีโมโกลบินที่ปลดปล่อยออกซิเจนออกไปแล้ว หรือไม่ได้จับกับออกซิเจนแต่พร้อมจะจับกับออกซิเจน โดยมากจะจับกับ carbon dioxide(CO_2) ซึ่งปลดปล่อยออกมาจากเซลล์
3. Carboxyhemoglobin หรือฮีโมโกลบินที่จับอยู่กับ carbon monoxide(CO) ปกติมีอยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย แต่จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นได้ในกรณีที่ได้รับสารพิษ carbon monoxide

4. Methemoglobin เป็น hemoglobin ที่ภายในโมเลกุล มีธาตุเหล็กที่มีประจุเป็น 3+ แทนที่จะเป็น 2+ ทำให้ไม่สามารถจับกับออกซิเจนได้ ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการได้รับสารเคมีบางชนิด

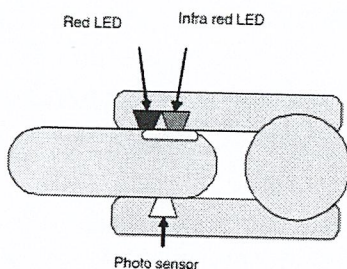
จะสังเกตได้ว่ามีฮีโมโกลบินเพียง 2 ชนิด ที่สามารถจับกับออกซิเจนได้ ดังนั้นสามารถหาปริมาณความอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบิน(Functional Hemoglobin Saturation : SpO₂) จากสัดส่วนของฮีโมโกลบินที่จับอยู่กับออกซิเจนกับปริมาณฮีโมโกลบินทั้งหมดที่สามารถจับตัวกับออกซิเจนได้ดังสมการ

$$\text{SpO}_2 (\%) = \frac{\text{HbO}_2}{\text{HbO}_2 + \text{HbR}} \times 100 \quad (2.1)$$

โดยการวัดปริมาณ Oxyhemoglobin กับ Deoxyhemoglobin นั้น อาศัยหลักการของ light-absorption คือ สารต่างชนิดกันจะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน ซึ่งหากเราใช้แสงชนิดหนึ่งที่มีความเจาะจงกับ Oxyhemoglobin ฉายผ่านบริเวณที่มี Oxyhemoglobin สารนี้ก็จะดูดกลืนแสงไป ส่วนที่เหลือก็จะทะลุผ่านไปยังฉากรับที่อยู่ด้านล่างซึ่งจะมีตัววัดปริมาณแสงที่เหลืออยู่ จากนั้นนำไปคำนวณปริมาณแสงที่หายไป จะรู้ได้ว่ามี Oxyhemoglobin อยู่เท่าใด ส่วน Deoxyhemoglobin ซึ่งมีคุณสมบัติดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นอื่น ก็ใช้ค่าความยาวคลื่นอื่นแต่ใช้วิธีการเดียวกัน จากการศึกษาพบว่า Oxyhemoglobin นั้น มีคุณสมบัติดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 940 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นระดับ infrared แต่ Deoxyhemoglobin นั้นดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 660 nm ซึ่งเป็นแสงสีแดงดังรูปที่ 2.2 เมื่อทำการวัดจะใช้วิธีการให้แสงที่ความยาวคลื่นต่างกัน 2 แบบ ผ่านลงมาจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งพร้อม ๆ กันดังรูปที่ 2.3

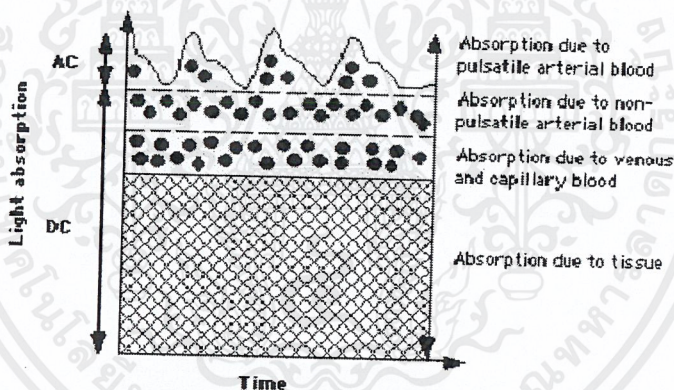


รูปที่ 2.2 คุณสมบัติการดูดซับคลื่นแสงของ oxyhemoglobin และ deoxyhemoglobin



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ส่งและรับแสงที่ปลายนิ้ว

สัญญาณที่เกิดจากการดูดกลืนแสงเมื่อแสงส่องผ่านปลายนิ้วประกอบด้วย สัญญาณแรงดัน DC และสัญญาณแรงดัน AC ซึ่งแรงดัน DC เกิดจากการดูดกลืนแสงโดยเนื้อเยื่อ โลหิตดำและโลหิตแดงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามชีพจร ส่วนแรงดัน AC เกิดจากการดูดกลืนแสงโดยโลหิตแดงที่มีการเปลี่ยนแปลงตามชีพจรดังรูปที่ 2.4

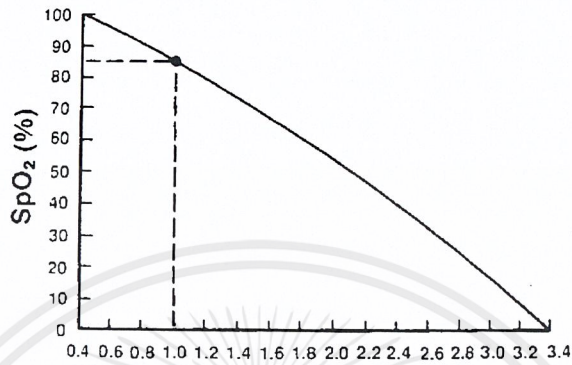


รูปที่ 2.4 การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงต่าง ๆ

จากนั้นนำค่าจากสัญญาณที่เกิดจากแสงสีแดงและแสงอินฟราเรดมาคำนวณหาอัตราส่วนของการดูดกลืนแสง (Ratio : R) ดังสมการ

$$R = \frac{AC_{RED}/DC_{RED}}{AC_{IR}/DC_{IR}} \tag{2.2}$$

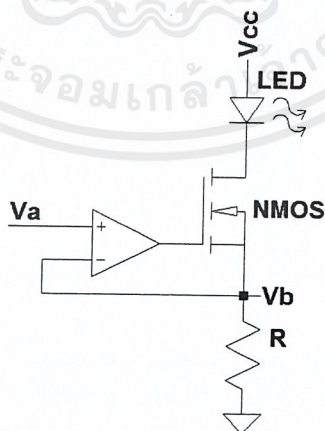
นำค่าอัตราส่วน R ไปหาค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดโดยใช้กราฟความสัมพันธ์ของค่า R กับ ความอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบิน(SpO_2) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการดูดกลืนคลื่นแสง(R) และค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบิน(SpO_2) พบว่าที่ค่า R เท่ากับ 1 SpO_2 จะเท่ากับร้อยละ 85

2.2 LED Driver

หลอด LED เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะปล่อยแสงสว่างออกมาทันที น้ำหนักเบา แสงสว่างที่เกิดขึ้นมาจากการเคลื่อนของอิเล็กตรอนภายในสารกึ่งตัวนำ



รูปที่ 2.6 LED Driver

จากวงจรในรูปที่ 2.6 จะเห็นว่า $V_a = V_b$ จากหลักการของออปแอมป์ จะทำให้สามารถหากระแสที่ผ่าน LED ได้จาก

$$I_{LED} = V_a/R \quad (2.3)$$

2.3 555 Timer



รูปที่ 2.7 รูปและตำแหน่งขาของไอซี 555

ไอซีไทมเมอร์ 555 นับเป็นวงจรรวมที่สามารถใช้งานได้หลากหลายและเป็นที่ยอมรับมากที่สุดตัวหนึ่งเท่าที่เคยผลิตมา ภายในตัวประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 23 ตัว, ไดโอด 2 ตัว และรีซิสเตอร์อีก 16 ตัวเรียงกันบนชิปซิลิกอนแผ่นเดียว โดยติดตั้งในตัวถัง 8 ขา แบบมินิ DIP (dual-in-line package) นอกจากนี้ยังมีการผลิตไอซี 556 ซึ่งเป็น DIP แบบ 14 ขา โดยอาศัยการรวมไอซี 555 จำนวน 2 ตัวบนชิปตัวเดียว ขณะที่ 558 เป็นไอซีอีกตัวหนึ่งที่พัฒนาขึ้นจาก 555 เป็น DIP แบบ 16 ขา (quad) โดยรวมเอา 555 จำนวน 4 ตัว (โดยมีการปรับแต่งเล็กน้อย) มาไว้บนชิปตัวเดียว (DIS และ THR มีการเชื่อมต่อกันภายใน ส่วน TR นั้นมีค่าความไวที่ขอบแทนที่จะเป็นความไวทั้งระดับ) นอกจากนี้ยังมีรุ่นกำลังต่ำพิเศษ (ultra-low power) ของไอซี 555 นั่นคือ เบอร์ 7555 สำหรับไอซี 7555 นี้จะมีการเดินสายที่แตกต่างไปเล็กน้อย ทั้งยังมีการใช้กำลังไฟที่น้อยกว่า และอุปกรณ์ภายนอกน้อยกว่าด้วย

ไอซี 555 มีโหมดการทำงาน 3 โหมด ดังนี้

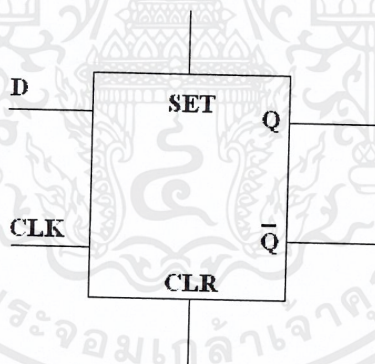
2.3.1 โมโนสเตเบิล (Monostable) ในโหมดนี้ การทำงานของ 555 จะเป็นแบบซิงเกิ้ลช็อต หรือ วันช็อต (one-shot) โดยการสร้างสัญญาณครั้งเดียว ประยุกต์การใช้งานสำหรับการนับเวลา การตรวจสอบพัลส์ สวิตช์สัมผัส ฯลฯ

2.3.2 ออสเตเบิล (Astable) ในโหมดนี้ การทำงานจะเป็นออสซิลเลเตอร์ การใช้งาน ได้แก่ ทำไฟกะพริบ, กำเนิดพัลส์, กำเนิดเสียง, เตือนภัย ฯลฯ

2.3.3 ไบสเตเบิล (Bistable) ในโหมดนี้ ไอซี 555 สามารถทำงานเป็นฟลิปฟล็อป (flip-flop) ถ้าไม่ต่อขา DIS และไม่ใช้คาปาซิเตอร์ ใช้เป็นสวิตช์ bouncefree latched switches เป็นต้น

2.4 D FlipFlop

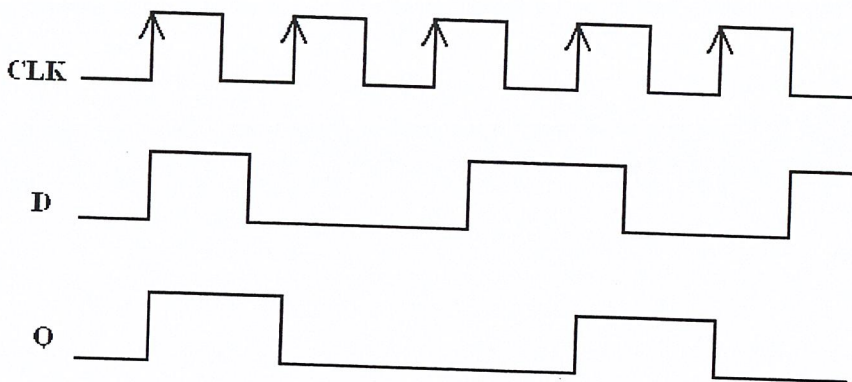
D ฟลิปฟล็อป เป็นฟลิปฟล็อป ที่มี 2 อินพุต อินพุตแรกจะเป็นสัญญาณคาตาอินพุตที่สองจะเป็นสัญญาณทริกเกอร์ เอาต์พุตที่ได้จะเหมือนข้อมูลทางด้านอินพุตเสมอ ในกรณีที่สัญญาณทริกเกอร์เข้ามาซึ่งก็แล้วแต่ว่า จะเป็นแบบขอบขาขึ้นหรือแบบขอบขาลง



รูปที่ 2.8 D FlipFlop

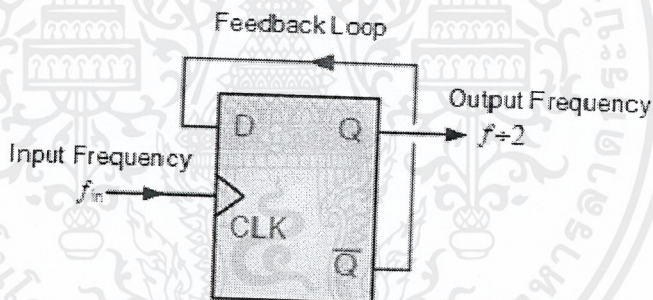
Clk	Set	Clr	D	Q	\bar{Q}	สถานะ
X	1	0	X	1	0	เซต Q
X	0	1	X	0	1	เคลียร์ Q
	0	0	1	1	0	ถ่ายข้อมูล
	0	0	0	0	1	ถ่ายข้อมูล

รูปที่ 2.9 ตารางแสดงค่าความจริง D FlipFlop

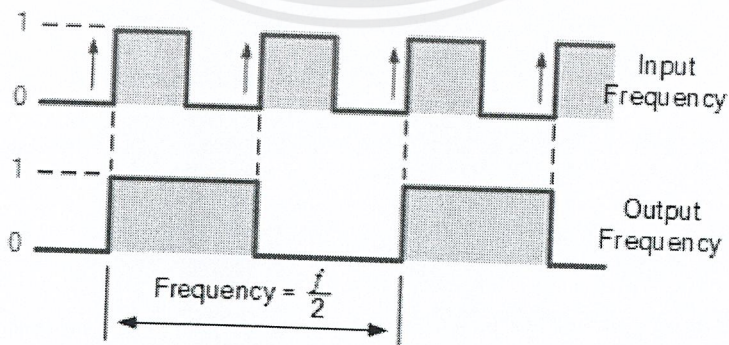


รูปที่ 2.10 แสดงสัญญาณของ D FlipFlop

ในการนำมาใช้งานเราจะต่อ ขา D ของ Flip Flop เข้ากับเอาต์พุต \bar{Q} ซึ่งจะทำให้เอาต์พุต Q มีความถี่เป็นครึ่งหนึ่งของอินพุต (สัญญาณนาฬิกา) ที่ป้อน การนำเอาต์พุต \bar{Q} เชื่อมต่อโดยการป้อนข้อมูลกลับไปให้ขา D แสดงดังรูป 2.11



รูปที่ 2.11 นำ D FlipFlop มาใช้งาน



รูปที่ 2.12 แสดงสัญญาณ input และ output ของ D FlipFlop ที่นำมาใช้งาน

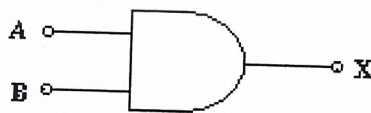
2.5 AND Gate

ลอจิกเกตพื้นฐาน (BASIC LOGIC GATES) เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องคำนวณเลข และอุปกรณ์ทางดิจิทัลมากมายที่สามารถทำงานให้กับมนุษย์ ได้อย่างน่าอัศจรรย์นั้น ล้วนประกอบขึ้นจากอุปกรณ์และวงจรทางดิจิทัล ที่มีการทำงานในลักษณะของลอจิกและวงจรถิจิตอลนั้น จะมีส่วนประกอบพื้นฐาน คือ ลอจิกเกต (Logic gate) ซึ่งจะมีการทำงานเหมือนระบบ เลขไบนารี (มีเลข 0 กับเลข 1) ดังนั้น บุคคลที่ต้องทำงานหรือเกี่ยวข้องกับระบบดิจิทัลอิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจและใช้งานได้อย่างถูกต้องของการทำงานแบบไบนารีของลอจิกเกต (logic gate) ในส่วนนี้จะศึกษาการทำงานของลอจิกเกตพื้นฐาน เช่น AND, OR, NOT, NOR และ NAND เพื่อเป็นพื้นฐาน ในการสร้างวงจรถิจิตที่ซับซ้อนต่อไป

การกระทำทางลอจิกพื้นฐานสำหรับตัวแปรลอจิกดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เราสามารถนำมากระทำกันด้วยตัวกระทำทางลอจิกพื้นฐาน มี 3 แบบ คือ

1. การคูณทางลอจิก เรียกว่า การคูณแบบ AND หรือ การกระทำ AND มีสัญลักษณ์ คือ เครื่องหมายคูณแบบจุด (.)
2. การบวกทางลอจิก เรียกว่า การบวกแบบ OR หรือ การกระทำ OR มีสัญลักษณ์ คือ เครื่องหมายบวก (+)
3. การคอมพลิเมนต์ทางลอจิก หรือการกลับค่า เรียกว่าการกระทำ NOT มีสัญลักษณ์คือขีดบน (-)

ในการนำไปใช้งานเราเลือกใช้การกระทำ AND ถ้ากำหนดให้ A และ B แทนตัวแปรอินพุตทั้งสอง ถ้าตัวแปร A มากระทำแบบ AND กับตัวแปร B ได้ผลลัพธ์ เป็น X ทำให้เขียนสมการ ลอจิก (ทางด้านเอาต์พุต x) ได้ดังนี้ $X = A \cdot B$ จากสมการลอจิก เครื่องหมาย (.) ก็คือการคูณแบบ AND ซึ่งสามารถเขียนสัญลักษณ์และตารางความจริงได้ดังรูปที่ 2.13 และ 2.14



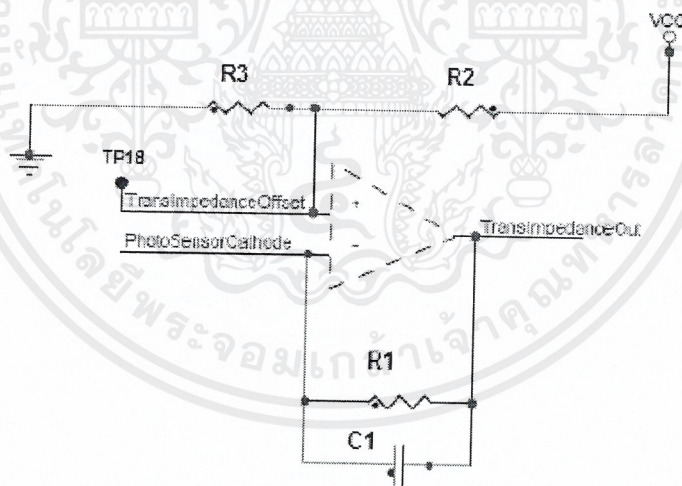
รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์ของ AND Gate

A	B	X = A . B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

รูปที่ 2.14 ตารางแสดงความจริง

2.6 Current to voltage converter

วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันหรือวงจร $I - V$ นั้นเป็นลักษณะของวงจรแบบแหล่งจ่ายแรงดันควบคุมด้วยกระแส (current – controlled voltage source, C CVS) ซึ่ง รับกระแสอินพุตแล้วมาเปลี่ยนให้เป็นแรงดันเอาต์พุตที่มีค่าเท่ากับ $V_{out} = A \cdot I_{in}$ โดยที่ A คืออัตราขยาย (gain) ของวงจรมีหน่วยเป็นโอห์ม (ohm, Ω) บางครั้งอัตราขยาย A ของวงจรลักษณะนี้ นิยมเขียนในรูปของ R (transresistance gain) มากกว่า ดังนั้นวงจร $I - V$ อาจจะถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “วงจรขยายค่าความต้านทาน (transresistance amplifier)” ก็ได้ แสดงได้ดังรูป 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน

วงจรนี้เป็นการแปลงแรงดันไฟฟ้าที่จะปรับปรุงรักษาสัญญาณและสามารถคำนวณแรงดันที่ส่งออกมาดังนี้

$$V_{out} = \text{PhotoSensorCathode Current} * R1$$

$$FC = \frac{1}{2\pi(R1 * C1)} \quad (2.4)$$

2.7 วงจรกรองความถี่ (Filter Circuit)

วงจรกรองความถี่หรือฟิลเตอร์ (Filter) คือวงจรไฟฟ้าที่ยอมให้สัญญาณไฟฟ้าที่ความถี่ใด ๆ ความถี่หนึ่งหรือช่วงความถี่ใดความถี่หนึ่งเท่านั้นผ่านไปได้ ส่วนความถี่อื่นหรือช่วงความถี่อื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกลดทอนไปซึ่งจะเป็นช่วงความถี่ใดนั้นจะขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจร

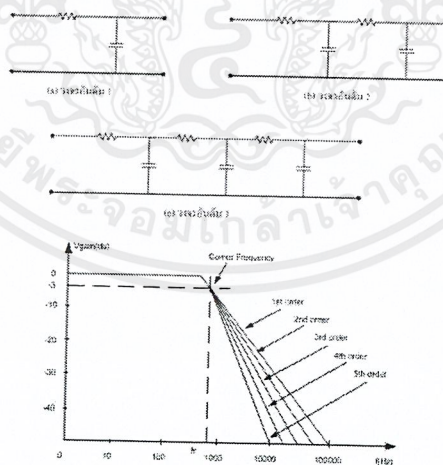
2.7.1 วงจรกรองความถี่มีด้วยกัน 2 แบบ คือ

2.7.1.1 แบบ Passive คือวงจรที่ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าเพื่อให้ทำงาน ซึ่งได้แก่อุปกรณ์ประเภท ตัวต้านทาน (R) ตัวเก็บประจุ (C) และ ขดลวดเหนี่ยวนำ (L)

2.7.1.2 แบบ Active คือ วงจรที่ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์ที่ต้องการไฟฟ้า เพื่อกระตุ้นการทำงานของตัวอุปกรณ์ ซึ่งได้แก่อุปกรณ์ประเภท ทรานซิสเตอร์ หรือ ไอซี

2.7.2 วงจรกรองความถี่แบ่งได้ 4 ประเภทคือ

2.7.2.1 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter: LPF) หมายถึง วงจรที่จะยอมให้สัญญาณความถี่ตั้งแต่ 0 Hz ถึงความถี่ที่กำหนดผ่านไปได้ ส่วนความถี่ตั้งแต่ที่กำหนดสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ จะลดทอนไปตามลำดับ ลักษณะของวงจรมีตั้งแต่อันดับหนึ่งขึ้นไป ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำอันดับต่างๆ และกราฟแสดงอัตราขยายแรงดันเชิงความถี่ (db)

จากรูปวงจรเมื่อทำการป้อนความถี่ต่ำเข้าวงจร ที่ C จะมีค่า XC สูง ทำให้ความถี่ต่ำไหลผ่าน R ที่มีค่าความต้านทานน้อยกว่า XC ได้สะดวก ระดับสัญญาณ Output จึงผ่านได้มาก แต่เมื่อความถี่สูงกว่าจุดที่กำหนด ค่า XC จะลดลง ทำให้ความถี่ ผ่านขดลวดได้ลดลง บางส่วนที่ผ่านไปได้ก็จะถูก C ดึงลงกราวด์ ระดับสัญญาณ Output จึงผ่านได้น้อยมาก

ในทางทฤษฎีวงจรกรองความถี่ต่ำจะยอมให้สัญญาณใดๆ ที่มีความถี่ตั้งแต่ 0 Hz จนถึงความถี่ที่กำหนดซึ่งเรียกว่า ความถี่คัทออฟหรือความถี่ขอบเขต(Cutoff Frequency) ผ่านไปได้โดยไม่มีการลดทอนของสัญญาณ และถ้าความถี่ของสัญญาณเข้ามีค่าเกินที่กำหนดไว้ สัญญาณออกควรจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถจะทำได้ เนื่องจาก การตอบสนองสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ ของอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟ จะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไปไม่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใด ดังนั้นผลที่ได้จึงเป็นดังรูปที่ 2.15 คือ เมื่อสัญญาณมีความถี่สูงขึ้นวงจรจะลดสัญญาณลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งจะลดลงในอัตราคงที่ค่าหนึ่ง

ขั้นตอนการคำนวณวงจรกรองความถี่ต่ำ

สิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษสำหรับการออกแบบวงจรฟิลเตอร์ชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านก็คือ ค่าความถี่คัทออฟ ω_c ที่ต้องการใช้งาน ซึ่งความถี่คัทออฟหาได้จากสมการ

$$\omega_c = \frac{1}{RC} = 2\pi f_c \quad (2.5)$$

โดยที่ ω_c มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s)

f_c มีหน่วยเป็น เฮิร์ตซ์ (Hz)

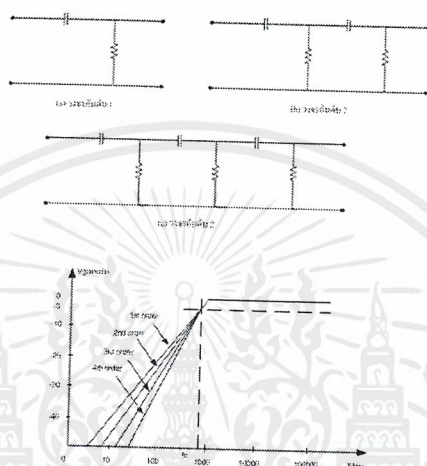
R มีหน่วยเป็น โอห์ม (W)

C มีหน่วยเป็น ฟาร์ด (F)

ในการทำงานเดียวกันเมื่อกำหนด ω_c ไว้แล้ว ต้องการจะหาค่า R ก็จะได้เป็น

$$R = \frac{1}{\omega_c C} = \frac{1}{2\pi f_c C} \quad (2.6)$$

2.7.2.2 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูง (High Pass Filter: HPF) มีคุณสมบัติตรงกันข้ามกับวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ คือการตอบสนองต่อสัญญาณของวงจรจะยอมให้สัญญาณความถี่สูงผ่านและลดทอนสัญญาณความถี่ต่ำ ซึ่งแสดงวงจรและกราฟตอบสนองอัตราขยายแรงดันความถี่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.17



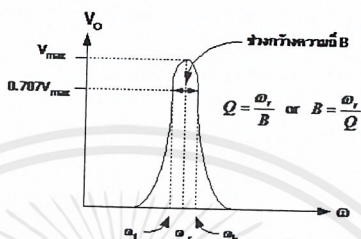
รูปที่ 2.17 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูงอันดับต่างๆ และกราฟแสดงผลการตอบสนองต่ออัตราขยายเชิงความถี่

จากรูปจะเห็นว่า C ต่ออนุกรมกับวงจร ส่วน R ต่อขนานกับวงจร เมื่อป้อนความถี่ต่ำกว่าเข้ามา C จะมีค่า X_C สูง ทำให้สัญญาณผ่านไปได้น้อย ทำให้สัญญาณที่ผ่านมาจาก C ลงกราวด์ได้หมด แต่เมื่อความถี่สูงขึ้น C จะมีค่า X_C ลดลง สัญญาณจะผ่านได้มากขึ้น สัญญาณก็จะลงกราวด์น้อยลงเพราะมี R กันไว้ สัญญาณที่ออกไปยัง Output จะมีมากขึ้น จนถึงระดับความแรงของสัญญาณประมาณ 70.7 % ของความแรงสูงสุด ระดับนี้เองที่เราเรียกว่า ช่วงความถี่ Cut off เมื่อความถี่สูงกว่า ความถี่ นี้ C จะยอมให้สัญญาณผ่านได้สะดวกและค่า R จะต้านสัญญาณไม่ให้ลงกราวด์ ความถี่จึงผ่านไปที่จุด Output ได้ทั้งหมด

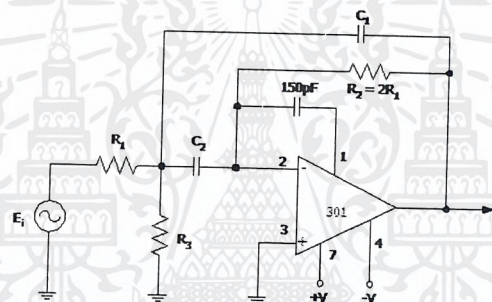
ขั้นตอนการคำนวณวงจรกรองความถี่สูง

ขั้นตอนการคำนวณของวงจรกรองความถี่สูงจะมีหลักการคำนวณเช่นเดียวกับวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ

2.7.2.3 วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (Band Pass Filter: BPF) เนื่องจากเป็นวงจรที่มีลักษณะคล้ายกับการนำเอาวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ และความถี่สูง มาต่อร่วมกัน (Cascade) ดังนั้น วงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วง จะยอมให้สัญญาณผ่านไปได้เฉพาะช่วงที่กำหนดเท่านั้น ความถี่ที่นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกจำกัดโดยการลดทอนให้หมดไป



(ก) กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วง



(ข) อธิบายการทำงานของวงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วง

รูปที่ 2.18 วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ และกราฟแสดงผลตอบสนองอัตรายายเชิงความถี่

รูปที่ 2.18(ก) แสดงถึงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรแบบนี้ ค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุด V_{max} จะปรากฏขึ้นเฉพาะบางช่วงของความถี่เท่านั้น เรียกความถี่นั้นว่า ความถี่เรโซแนนต์ (resonant frequency) แทนได้ด้วย ω_r ตำแหน่งของความถี่ที่มีค่าแรงดันลดลงเป็น $0.707 V_{max}$ จะมีอยู่ 2 ความถี่คือ ความถี่ที่สูงกว่า ω_r ค่าหนึ่ง และที่ต่ำกว่า ω_r อีกค่าหนึ่งเรียกความถี่ที่ $V_o = 0.707 V_{max}$ ที่สูงกว่า ω_r นี้ว่า ความถี่คัตออฟช่วงสูง (high cutoff frequency) แทนด้วย ω_2 และความถี่ที่ต่ำกว่า ω_r ว่า ความถี่คัตออฟช่วงต่ำ (low cutoff frequency) แทนได้ด้วย ω_1 จากความถี่ทั้งสอง เราจะได้ช่วงกว้างความถี่ B เป็น

$$\dots\dots\dots(1)$$

$$B = \omega h - \omega_1$$

วงจรรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วงนี้แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงแคบ (narrow Band) และชนิดที่ยอมให้ผ่านได้ในช่วงกว้าง (wide band) สำหรับวิธีการกำหนดว่าวงจรชนิดใดเป็นชนิดที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงแคบหรือช่วงกว้างนั้น กำหนดได้ดังนี้ถ้ามีช่วงกว้างความถี่น้อยกว่าหนึ่งในสิบของความถี่เรโซแนนต์ ($B < 0.1 \omega_r$) เราจะเรียกวางจรชนิดที่ยอมให้ผ่านได้ในช่วงแคบ ถ้ามีช่วงกว้างความถี่มากกว่าหนึ่งในสิบของความถี่เรโซแนนต์ ($B > 0.1 \omega_r$) เราจะเรียกวางจรชนิดที่ยอมให้ผ่านได้ในช่วงกว้าง

ในวงจรแบบเลือกความถี่ผ่านนี้จะมีอัตราส่วนระหว่างความถี่เรโซแนนต์และช่วงกว้างความถี่เรียกว่า คอวลิตีแฟกเตอร์ (quality factor) แทนได้ด้วย Q ค่า Q นี้เป็นค่าที่มีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการเลือกความถี่ใช้งาน ยิ่งค่า Q มีค่าสูงมากขึ้นเท่าใด วงจรก็ยิ่งมีความสามารถในการเลือกความถี่ได้ดีมากขึ้นเท่านั้น ค่า Q แสดงได้ดังในสมการ

$$Q = \frac{\omega_r}{B} \dots\dots\dots(2)$$

หรือ

$$B = \frac{\omega_r}{Q} \dots\dots\dots(3)$$

โดยที่ B มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที สำหรับวงจรในแบบที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงแคบ ๆ นั้นจะมีค่า Q ที่สูงมากกว่า 10 และ ในวงจรผ่านแบบช่วงกว้างจะมีค่า Q น้อยกว่า 10

สรุป ช่วงความถี่แคบคือ มีค่า $B < 0.01$; $Q > 10$

ช่วงความถี่กว้างคือ มีค่า $B > 0.01$; $Q < 10$

3.1 วงจรรองความถี่เฉพาะ ช่วงแคบผ่าน

ขั้นแรกในการออกแบบวงจรต้องกำหนดค่าของช่วงกว้างความถี่ B ที่จะใช้งาน และคำนวณค่า Q ของวงจรเสีย ก่อน โดยคำนวณได้จากสมการที่ (2) (หรืออาจกำหนดค่า Q และคำนวณค่า B ก็ได้) หลังจากนั้นจึงจะเป็นการเลือกและคำนวณค่าของอุปกรณ์เพิ่มเติมอื่น ๆ ขั้นตอนในการพิจารณา

ต่อไป เพื่อให้ง่ายแก่การพิจารณาจะกำหนดให้ $A_r = 1$ เลือก $C_1 = C_2 = C$ ให้มีค่าที่เหมาะสม ต่อจากนั้นก็คำนวณค่า R_1 , R_2 และ R_3 โดยได้จากสมการ

$$R_2 = \frac{2}{BC} \dots\dots\dots(4)$$

$$R_1 = \frac{R_2}{2} \dots\dots\dots(5)$$

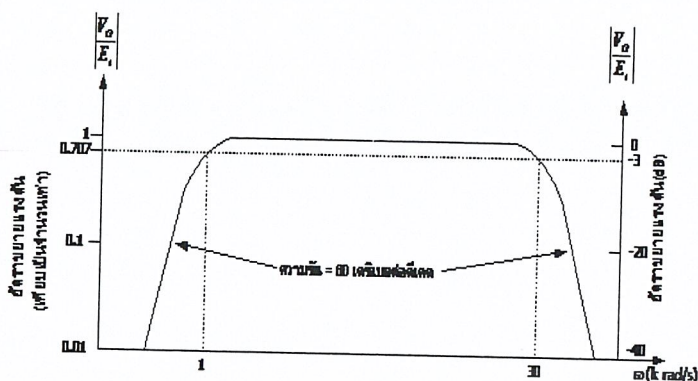
$$R_3 = \left(\frac{R_2}{4Q^2 - 2} \right) = \frac{R_2}{4Q^2} \dots\dots\dots(6)$$

B ในสมการที่ (3) มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที

3.2 วงจรกรองความถี่ผ่านในช่วงกว้าง

วงจรใช้งานสามารถใช้เป็นวงจรเดียวกับ วงจรกรองความถี่แบบผ่านในช่วงแคบได้ ดังในรูปที่ 2.18(ข) โดยเลือกให้ Q มีค่าน้อยกว่า 10 ($Q < 10$) การคำนวณค่าของอุปกรณ์จะเหมือนกับในหัวข้อที่แล้ว คือใช้สมการที่ (4) ถึงสมการที่ (6) ได้ (เฉพาะในกรณีที่ $4Q^2 > 2$ เท่านั้น)

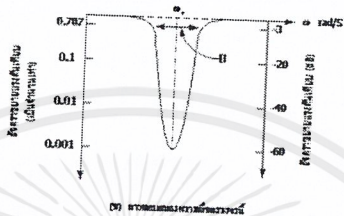
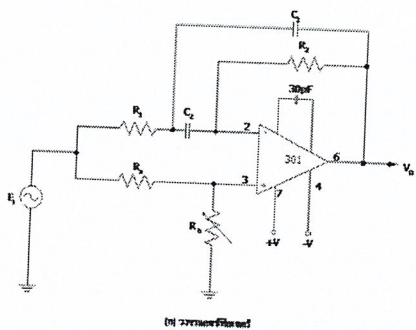
มีแนวความคิดบางอย่างเกี่ยวกับวงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วงนี้ว่า วงจรชนิดนี้น่าจะสามารถ สร้างได้จากการนำเอาวงจรกรองความถี่ต่ำ มาต่อร่วมกับวงจรกรองความถี่สูง ตัวอย่างเช่น นำวงจรกรอง ความถี่ต่ำ แบบบัตเตอร์เวิร์ทที่ให้ค่า -60 เดซิเบลต่อดีเคด มาต่อร่วมกับวงจรกรองความถี่สูง ซึ่งจะให้ ผลตอบสนองทางความถี่ดังในรูปที่ 2.19 ถึงแม้ว่าวงจรใหม่ที่สร้างขึ้น จะต้องใช้อุปกรณ์ถึง 4 ตัวก็ตาม แต่ก็มีข้อดีอยู่คือจะทำให้อัตราความชันสูงถึง 60 เดซิเบลต่อดีเคดเลยทีเดียวทั้งในค้ตอพอช่วงความถี่ต่ำ ช่วงความถี่สูง และมีอัตราขยายเป็น 1 ตลอดในความถี่ช่วงผ่าน



รูปที่ 2.19 กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ ของวงจรผสมที่เกิดจากการเอาวงจรกรองความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ทที่ให้ค่า -60 เดซิเบลต่อเดคาเด กับวงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบให้ค่า 60 เดซิเบลต่อเดคาเด มาต่อรวมกัน

การนำเอาวงจรกรองความถี่ต่ำและความถี่สูงมาต่อรวมกัน เพื่อให้ได้วงจรกรองความถี่เฉพาะช่วงแบบนี้มีข้อน่าสังเกตว่า ในการนำมาต่อรวมกันนั้น สามารถสลับตำแหน่งกันระหว่างวงจรทั้งสองได้ ซึ่งได้ผลการทำงานเหมือนกัน ข้อสำคัญคือว่า ต้องเลือกความถี่คัตออฟให้ถูกต้องตามที่ต้องการเท่านั้น

2.7.2.4 วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ (Band Reject Filter: BRF) เป็นวงจรที่กำจัดความถี่บางช่วงออกไป บางครั้งเราเรียกว่า นอตช์ฟิลเตอร์ (notch filter) ตัวอย่างของวงจรแสดงได้ในรูปที่ 2.20(ก) ซึ่งจะให้เห็นผลตอบสนองทางความถี่ดังในรูปที่ 2.20(ข) จากรูปจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีความถี่ช่วงผ่านอยู่สองช่วงทั้งซ้ายและขวา และมีความถี่ที่อยู่ตรงกลางถูกกำจัดหายไปความถี่นี้เราจะเรียกว่า ความถี่เรโซแนนต์ (ω_r) เช่นเดียวกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเฉพาะช่วงตัวอย่าง ของวงจรประเภทนี้ได้แก่ การกำจัดความถี่ 50 เฮิรตซ์ หรือ 400 เฮิรตซ์ในการใช้งานมอเตอร์เจเนอเรเตอร์ เพื่อเป็นการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น เป็นต้นการคำนวณและออกแบบวงจรก็เช่นเดียวกับวงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วงคือ ต้องนำเอาช่วงกว้างความถี่ B และค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ Q มาคิดร่วมกับ ω_r ด้วย



รูปที่ 2.20 แสดงวงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่และผลตอบสนองต่อความถี่

ขั้นตอนการออกแบบ

- กำหนดให้ $C1 = C2 = C$ และเลือกค่าที่จะใช้ โดยควรมีค่าอยู่ระหว่าง 100 พิโกฟาร์ต ถึง 0.1 ไมโครฟาร์ต
- คำนวณ $R2$ จากสมการ

$$R_2 = \frac{2}{BC} \dots\dots\dots(7)$$

เมื่อ B มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที

- คำนวณ $R1$ จากสมการ

$$R_1 = \frac{R_2}{4Q^2} \dots\dots\dots(8)$$

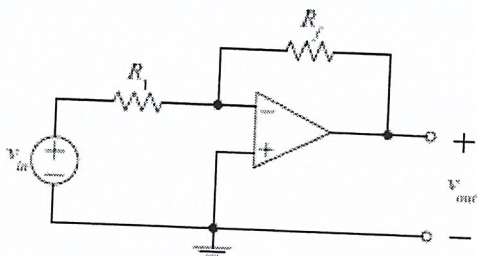
- เลือก Ra ให้มีค่าเหมาะสม ควรมีค่าประมาณ 1 กิโลโอห์ม

- คำนวณ Rb จากสมการ

$$Rb = 2Q2Ra \dots\dots\dots(9)$$

2.8 วงจรขยายสัญญาณ

- วงจรขยายกลับขั้วสัญญาณ (inverting amplifier)



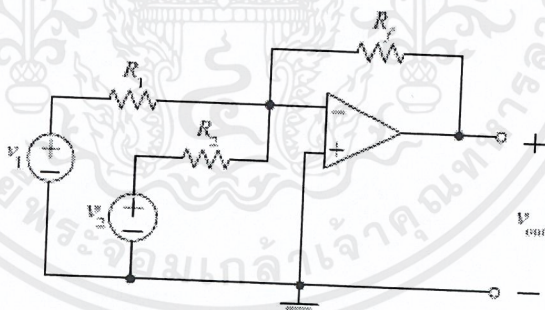
รูปที่ 2.21 วงจรขยายกลับขั้วสัญญาณ

วงจรถ่ายกลับขั้วสัญญาณนี้จะมีแรงดันทางด้านเอาต์พุตเป็น

$$v_{out} = -\frac{R_f}{R_1} v_{in} \tag{2.7}$$

ดังนั้นวงจรมีอัตราขยายเป็น $-R_f / R_1$ ซึ่งเราสามารถปรับอัตราขยายได้ตามค่าของ R_1 และ R_f นั้นเอง ส่วนเครื่องหมายลบแสดงถึงการกลับขั้วของสัญญาณ คือถ้าแรงดันอินพุตมีค่าเป็นบวกแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็นลบ ในทางกลับกันถ้าแรงดันอินพุตมีค่าเป็นลบแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็นบวก

- วงจรขยายสัญญาณรวม (summing amplifier)



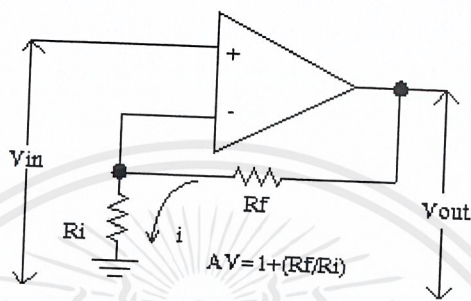
รูปที่ 2.22 วงจรขยายรวมสัญญาณ

มีแรงดันทางด้านเอาต์พุตเป็น

$$v_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_1} v_1 + \frac{R_f}{R_2} v_2 \right) \tag{2.8}$$

ดังนั้นวงจรนี้จะมีอัตราขยายสำหรับ v_1 เป็น $-R_f / R_1$ และมีอัตราขยายสำหรับ v_2 เป็น $-R_f / R_2$ ซึ่งเราสามารถปรับอัตราขยายได้ตามค่าของ R_1 R_2 และ R_f นั้นเอง โดยแรงดันทางด้านเอาต์พุตจะเป็นการบวกกันของแรงดันทั้งสอง

- วงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ (non-inverting amplifier)



รูปที่ 2.23 วงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ

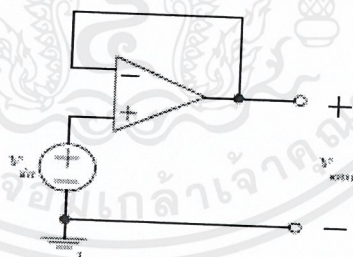
จากรูป กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน R_i และ R_f มีค่า i เท่ากันดังนั้น

$$V_{in} = iR_i$$

$$V_{out} = i(R_i + R_f)$$

$$AV = i(R_i + R_f) / iR_i = (R_i + R_f) / R_i = 1 + (R_f / R_i)$$

- วงจรแรงดันไฟตาม



รูปที่ 2.24 วงจรแรงดันไฟตาม

เมื่อพิจารณาโดยกำหนดค่าตัวต้านทาน $R_f = 0$ และ $R_1 = \infty$ แล้ววงจรนี้จะมีแรงดันทางด้านเอาต์พุตเป็น

$$V_{out} = V_{in}$$

(2.9)

ดังนั้นวงจรนี้จะมีอัตราขยายเป็น 1 หรือก็คือไม่มีอัตราขยายสัญญาณนั่นเอง จึงเรียกว่าวงจรแรงดันไฟตาม (voltage follower)

2.9 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

Analog to Digital Converter (A/D)ทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลที่มนุษย์รับรู้ สัมผัสได้ เป็นข้อมูลทางไฟฟ้า เพื่อป้อนเข้าสู่การประมวลผล จึงเป็นขบวนการหนึ่งของการรับข้อมูล (Input Unit)เป็นกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์ ที่สัญญาณแปรผันต่อเนื่อง (analog) ได้รับการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยไม่มีการลบข้อมูลสำคัญผลลัพธ์ของ ADC มีลักษณะตรงข้าม คือ กำหนดระดับหรือสถานะ ตัวเลขของสถานะมักจะเป็นการยกกำลังของ 2 คือ 2, 4, 8, 16 เป็นต้น สัญญาณดิจิทัลพื้นฐานมี 2 สถานะและเรียกว่า binary ตัวเลขทั้งหมดสามารถแสดงในรูปของไบนารี ในฐานะข้อความของ หนึ่งและศูนย์

วงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลมีมากมายหลายชนิด โดยทั่วไปแล้ววงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (A/D converters) มีใช้งานอยู่ประมาณ 7 ชนิดคือ

1. Parallel Comparator, Simultaneous, หรือ Flash A/D converter
2. Single – Ramp หรือ Single – Slope A/D converter
3. Dual – Slope A/D converter
4. Charge balance A/D converter
5. A/D converters using Counters and D/A converters
6. Tracking A/D converters
7. Successive – Approximation A/D converters

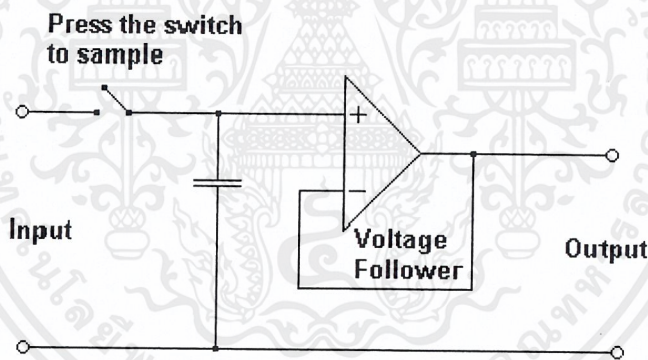
● Counting Converter

เป็นการแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึม การนับค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แล้วนำผลที่ได้จากการนับไปเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการที่ตั้งไว้ การแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล มีประโยชน์มากในการควบคุมอุปกรณ์สวิตชิง ซึ่งมีลักษณะการแปลงสัญญาณได้หลายวิธี แต่ละวิธีจะมีอัลกอริทึม ความรวดเร็วในการทำงาน และการใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่างกันด้วย

- ข้อกำหนดเฉพาะของการแปลงสัญญาณ A/D (A/D SPECIFICATIONS)

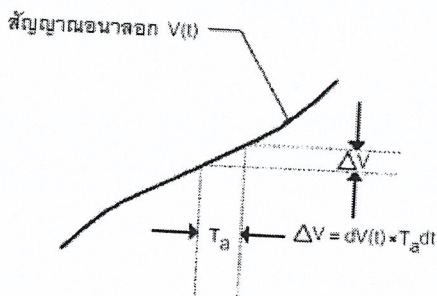
ข้อกำหนดจะบอกถึงขีดความสามารถของ converter โดยทั่วไปแล้วจะมีอยู่หลายค่า เช่น ความแม่นยำ, ความเที่ยงตรง และความเที่ยงตรงเป็นเส้นตรง ซึ่งค่าเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละวงจร แต่มีข้อกำหนดอีกข้อหนึ่งที่ไม่ขึ้นอยู่กับลักษณะของวงจรคือ ค่าผิดพลาดระหว่างค่าจริงของสัญญาณอนาล็อก กับค่าของดิจิตอลที่ใช้แทนค่า (ค่าของ Output ของ A/D converter) ซึ่งเรียกว่า Quantizing error จะมีค่าอยู่ประมาณ $+1/2$ digit ต่ำสุด (LSB)ของการแปลงสัญญาณซึ่งก็เป็นการบ่งถึงความแม่นยำได้อีกทางหนึ่งด้วยค่า พารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งสำหรับ A/D converter คือ conversiontime หรือค่าเวลาสำหรับการแปลงสัญญาณ ซึ่งมีช่วงเวลาอยู่ประมาณ 10^{-9} วินาที ถึง 10^{-3} วินาที ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของ converter และจำนวน bit

2.10 Sampling & Hold



รูปที่ 2.25 วงจร Sampling & Hold

ในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล ADC จะต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการจัดการซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวนั้นขึ้นอยู่กับหลายๆแฟคเตอร์ เช่น ความละเอียดของการเปลี่ยนสัญญาณ เทคนิคของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ และความเร็วในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณขึ้นอยู่กับภาระที่ใช้ งานเฉพาะอย่าง และความแม่นยำที่ต้องการ



รูปที่ 2.26 แสดง error จากการวัด Aperture time

ช่วงเวลาในการแปลงสัญญาณบางครั้งอาจเรียกว่า Aperture time ซึ่งความหมายโดยทั่วไป หมายถึงช่วงเวลาที่เกิดความไม่แน่นอนขึ้นในการวัดและผลก็คือเกิดความผิดพลาด ต่อค่าที่วัดได้ สัญญาณอนาลอก $V(t)$ มีอัตราการเปลี่ยนแปลง dV/dt ในช่วง Aperture time T_a ดังนั้นช่วงการเปลี่ยนแปลงอนาลอกจะเท่ากับ ΔV โดย

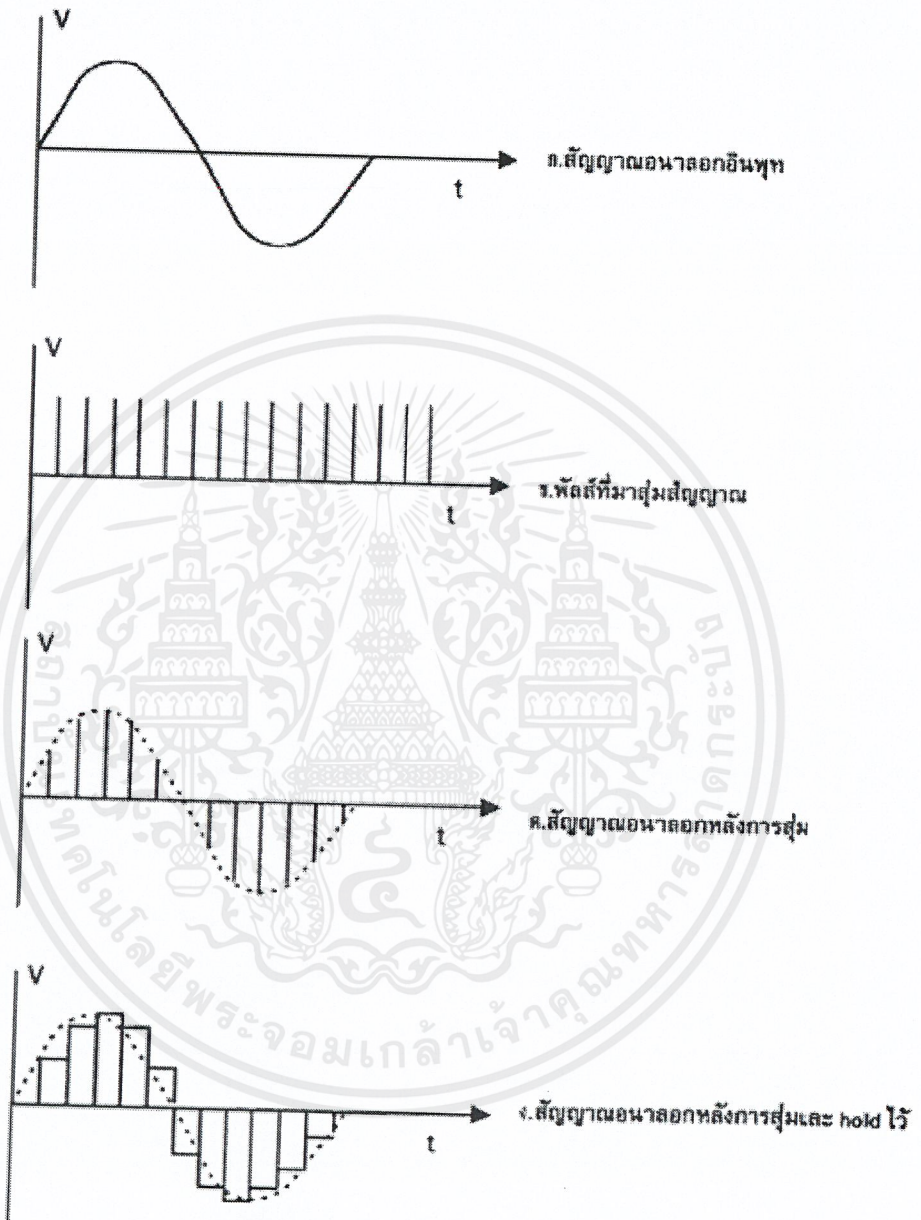
$$\Delta v = T_a \frac{dV(t)}{dt} \quad (2.10)$$

ดังนั้นหากเวลาที่ ADC ใช้ในการแปลงสัญญาณในช่วง T_a นี้รหัสดิจิทัลที่ได้อาจจะตรงกับขนาดของสัญญาณอนาลอกค่าใดค่าหนึ่งช่วงนี้ และส่วนอื่นๆที่เหลือคือ error ที่เกิดขึ้นนี้ว่า Aperture time error

Sample and hold จะทำการสุ่ม สัญญาณอินพุตและนำสัญญาณที่สุ่มนั้นมาเก็บไว้ในช่วงเวลาหนึ่งได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้การประจุแรงดันไว้ในตัวเก็บประจุที่เร็วไหลต่ำ Aperture time ของ Sample and hold คือเวลาตั้งแต่เริ่มสุ่มสัญญาณจนเก็บประจุค่าที่สุ่มซึ่งสำหรับ Sample and hold แล้ว Aperture time ขึ้นอยู่กับแบนด์วิดธ์ และ Switching time ของอุปกรณ์แอกทีฟที่ใช้ในวงจร ซึ่งหาและสร้างได้ง่ายและราคาถูกกว่าการสร้าง ADC ความเร็วสูง

ในการสุ่มสัญญาณอนาลอกจะถูกสุ่มเป็นระยะๆคงที่ การสุ่มจะเป็นการตัดต่อสัญญาณอนาลอกในช่วงเวลาอันสั้นด้วยสวิทซ์ที่ทำงานด้วยความเร็วสูง ผลของการสุ่มสัญญาณด้วยความเร็วเสมือนกับการคูณขบวนสัญญาณพัลส์แคบๆกับสัญญาณอนาลอก โดยเสมือนว่าสัญญาณอนาลอกจะขึ้นมาบนขบวนพัลส์

หากสัญญาณอนาลอกที่ถูกสุ่มสัญญาณอนาลอกที่ถูกสุ่มถูก Hold จนกว่าสัญญาณค่าใหม่ถูกสุ่มขึ้นเข้ามา ซึ่งได้ลักษณะของเอาต์พุต

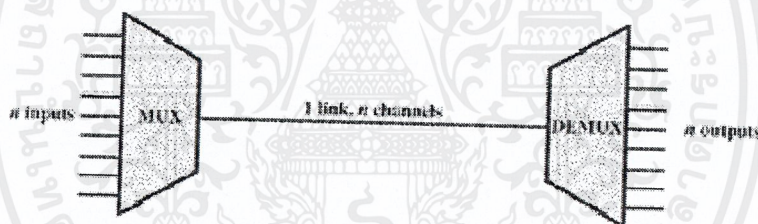


รูปที่ 2.30 การสุ่มสัญญาณ

2.11 Multiplexing (MUX) และ Demultiplexing (DEMUX)

Multiplexing (MUX) และ Demultiplexing (DEMUX) หมายถึง เทคนิคอย่างหนึ่งที่น่านำมาใช้ในการสื่อสารและในการทำงานของ input/output เพื่อการถ่ายทอดสัญญาณต่างๆ หลายชนิดผ่านช่องสัญญาณหรือสาย การสื่อสารไปพร้อมๆ กันในสายเดียวเทคนิคของ multiplexing สามารถแยกความแตกต่างของสัญญาณต่างๆ เช่น แยกเวลา แยกพื้นที่ และแยกความถี่ของสัญญาณแต่ละชนิดออกจากกัน

วิธีการทำ Multiplexing ถูกนำมาใช้งานสำหรับการติดต่อสื่อสารที่เป็นระยะทางไกล (long-haul communication) ชุดของสายสัญญาณ (Trunk) ที่นำมาใช้ในการติดต่อระยะทางไกล (long-haul network) เป็นเส้นใยนำแสงที่มีประสิทธิภาพสูง หรือสายโคแอกเซียล หรือผ่านไมโครเวฟ การเชื่อมต่อนี้สามารถนำเสียงผ่านไปได้ในอัตราสูงในปริมาณมาก และสามารถส่งผ่านสัญญาณเสียงไปได้ทันทีโดยใช้วิธีการ multiplexing



รูปที่ 2.28 รูปการแยกสัญญาณ

จากรูป 2.28 แสดงให้เห็นหน้าที่ของการทำ multiplexing ในรูปแบบที่ง่ายมีจำนวนอินพุตจำนวน n อินพุตเข้าไปที่มัลติเพลกเซอร์ (multiplexer) ตัวมัลติเพลกเซอร์ต่อเชื่อมเข้ากับสายเชื่อมต่อ (link) เส้นเดียวเข้ากับ demultiplexer ด้วย link มีความสามารถในการส่งผ่านสัญญาณได้จำนวน n ช่องสัญญาณ(channel) ตัว multiplexer จะรวมเอาข้อมูล (multiplex) จาก input line จำนวน n line และส่งผ่านสายสัญญาณเชื่อมต่อ (data link) ที่มีความสามารถสูง เมื่อ demultiplexer รับ stream ข้อมูลที่เป็น multiplexed มาแยก (demultiplexers) ออกไปตามช่องสัญญาณแล้วนำส่งไปยัง output line ที่ต้องการนำเอาวิธีการ multiplexing มาใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น เป็นเพราะเหตุผลดังนี้

อัตราการส่งข้อมูลยิ่งสูงมากขึ้นเท่าไร cost - effective การลงทุนสำหรับ transmission facility นั้นคือสำหรับ application ที่กำหนดให้และภายใต้ระยะทางที่กำหนดให้ค่าใช้จ่ายต่อ Kbps ลดลง เมื่อเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลของ transmission facility ในทำนองเดียวกันค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์สำหรับส่งกระจายข้อมูล (transmission) และการรับต่อ Kbps มีค่าลดลงเมื่อเพิ่ม data rate อุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแต่ละอย่างต้องการอัตราการรับส่งข้อมูลในอัตราที่พอเหมาะเช่น สำหรับ terminal และ personal computer application อัตราการรับส่งข้อมูลขนาด 9600 bps และ 64 kbps ก็ถือว่าเพียงพอ Multiplexing เป็นเทคนิควิธีการส่งข้อมูลไปพร้อมกันในเส้นทางเดียวกัน ระบบ Multiplexing มีอยู่ 2 ระบบ คือ

- MUX เข้ารหัส

- DEMUX ถอดรหัส

ประเภทของ Multiplexing

Frequency - Division Multiplexing (FDM)

Wave - Division Multiplexing (WDM)

Time - Division Multiplexing (TDM)

- Synchronous TDM

- Asynchronous TDM

- **Frequency - Division Multiplexing (FDM)**

Frequency - division Multiplexing (FDM) FDM ส่งข้อมูลแบบ Analog จะสนใจเรื่องความถี่ ทำหน้าที่เป็นทั้ง Input และ Output จะมี ความกว้างของสัญญาณมาก ในแต่ละสัญญาณถูกเปลี่ยนโดยใช้ carrier frequency หลังจากส่งแต่ละสัญญาณจะไม่กวนกัน เช่น broadcast radio

- **Wave - Division Multiplexing (WDM)**

มี concept ให้ FDM ยกเว้น DeMultiplexing ที่รวมและส่งในสาย fiber optic รวมเอาคลื่นที่มีความถี่แตกต่างกันที่มีความถี่สูงออกไปพร้อม ๆ กัน หลักการง่าย ๆ แต่เทคโนโลยีซับซ้อน แยกคลื่นแสงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า หลักการเหมือน FDM เพราะใช้ความถี่ในการทำแต่เทคโนโลยีซับซ้อนเพราะมีการหักเหของแสง

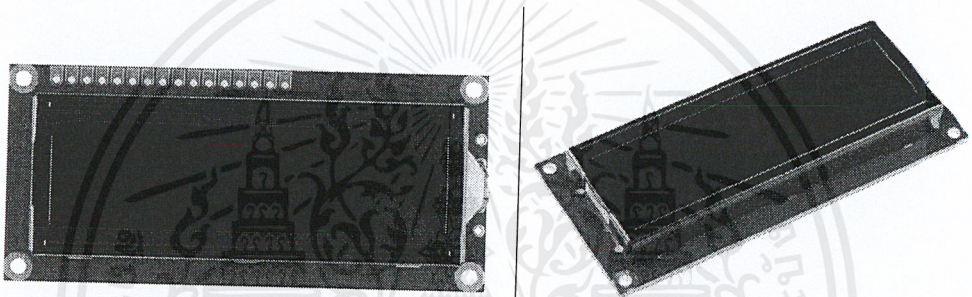
- Time - division Multiplexing (TDM)

TDM จะสนใจเรื่องของเวลา เหมาะกับงานด้าน Digital และมีคุณสมบัติ ในการใช้ link เดียวกัน ได้ แต่จะเรียงไปตามเส้นทาง TDM จะมีอยู่สองลักษณะ คือ

1. Character Interleaving ต้องมีการส่งข้อมูลอย่างน้อย 8 bit
2. Bit Interleaving พิจารณาข้อมูลเป็น bit เรียงกันเข้ามา

เนื้อหา

2.12 จอ lcd 16*2



รูปที่ 2.29 โมดูล LCD แบบอนุกรมขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

ตำแหน่งของขาและหน้าที่การใช้งานของ LCD โมดูล

INTERFACE PIN FUNCTION		
PIN NO.	SYMBOL	FUNCTION
1	V _{SS}	Ground
2	V _{DD}	+ 3 V or + 5 V
3	V ₀	Contrast adjustment
4	RS	H/L register select signal
5	R/W	H/L read/write signal
6	E	H → L enable signal
7	DB0	H/L data bus line
8	DB1	H/L data bus line
9	DB2	H/L data bus line
10	DB3	H/L data bus line
11	DB4	H/L data bus line
12	DB5	H/L data bus line
13	DB6	H/L data bus line
14	DB7	H/L data bus line
15	A/V _{EE}	+ 4.2 V for LED (R _A = 0 Ω)/negative voltage output
16	K	Power supply for B/L (0 V)

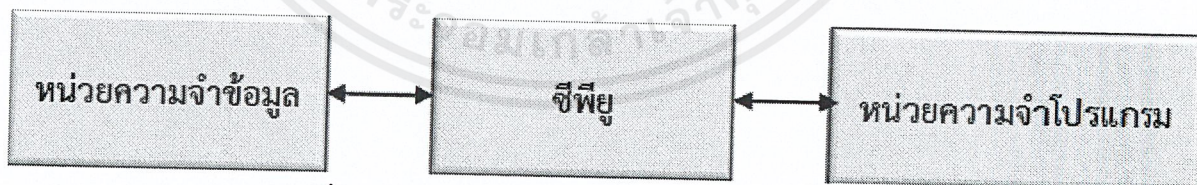
2.13 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ปัจจุบันเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้มีการพัฒนาให้มีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลได้รวดเร็วและมีราคาไม่แพง ง่ายต่อการศึกษาและออกแบบ สามารถเขียนโปรแกรมชุดคำสั่งได้หลายภาษาตลอดจนมีโปรแกรมช่วยสนับสนุนจำนวนมากเพื่อช่วยในการออกแบบพัฒนาระบบ จึงทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ มีการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือชิปอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประมวลผลอย่างหนึ่ง ทำหน้าที่ประมวลผลตามโปรแกรมหรือชุดคำสั่ง โครงสร้างภายในเป็นวงจรรวมขนาดใหญ่ประกอบไปด้วยหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก บัสต่าง ๆ พอร์ต รีจิสเตอร์ หน่วยความจำวงจรรีบและวงจรรีบเวลา รวมกันอยู่ภายในชิป ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานควบคุมสามารถติดต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตได้สะดวกใช้งานง่าย สามารถทำงานได้โดยใช้ชิปเดียว สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ มีภาษาที่ใช้ระดับสูงหลายภาษา ทำให้ง่ายต่อการศึกษารียนรู้ออกแบบวงจรพัฒนาระบบข้อแตกต่างระหว่างไมโครโพรเซสเซอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตได้สะดวกง่ายกว่า สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิต และมีภาษาควบคุมระดับสูงหลายภาษาทำให้ง่ายต่อการศึกษารียนรู้

1. สถาปัตยกรรมไมโครคอนโทรลเลอร์

สถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์จะมีอยู่ 2 แบบคือ แบบฟอนนิวแมน (Von Neuman) และแบบฮาร์วาร์ด (Harvard Architecture) ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด

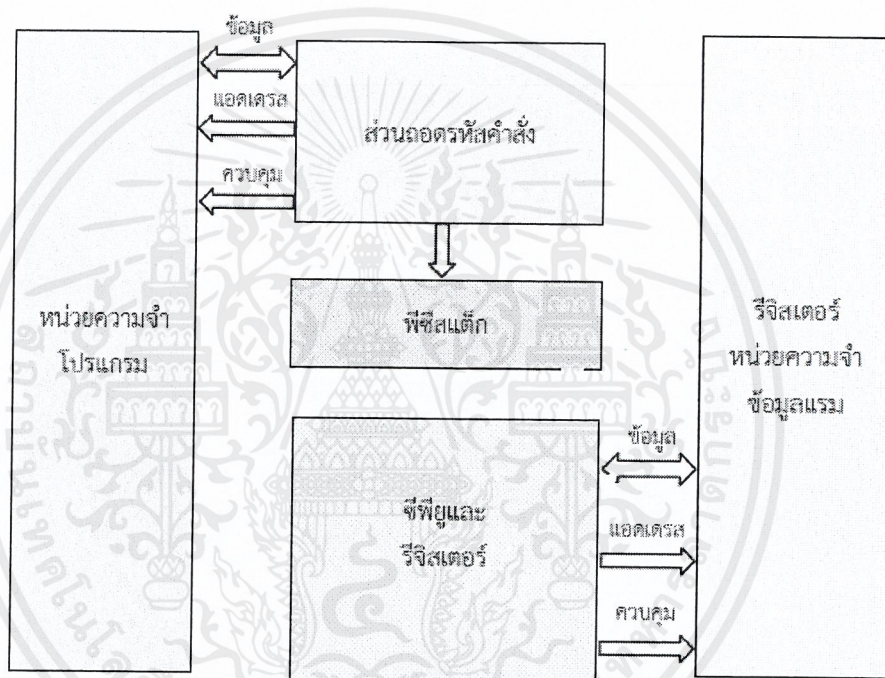


รูปที่ 2.30 คอมพิวเตอร์สถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด

สถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ดจากรูปที่ 2.30 จะแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน ทำให้กระบวนการทำคำสั่งการทำงานลดลง เนื่องจากสามารถติดต่อหน่วยความจำ

โปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลได้เร็วกว่า โดยที่ซีพียูกำลังทำงานคำสั่งในปัจจุบันอยู่สามารถที่จะเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมถัดไปได้ ทำให้ทำงานเร็วขึ้น

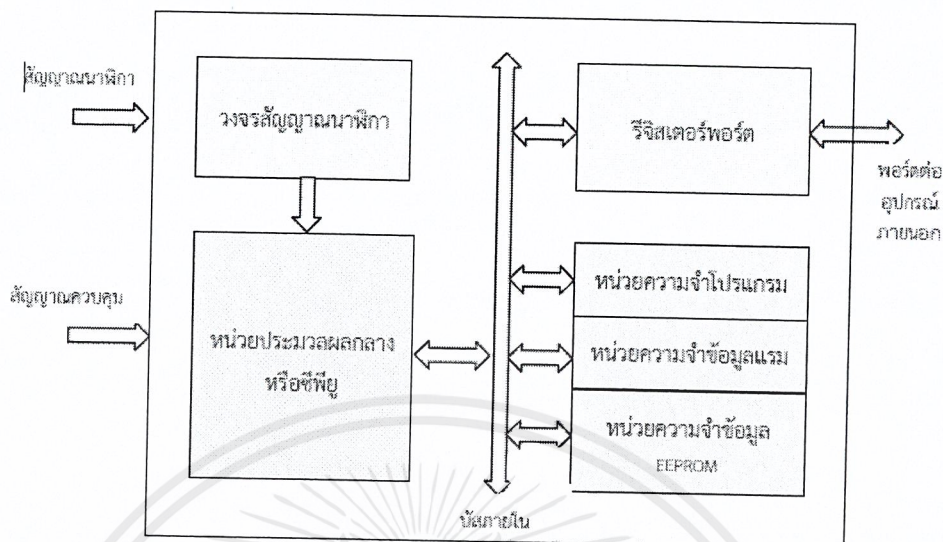
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC จะมีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด จัดอยู่ในกลุ่มของไมโครโปรเซสเซอร์ RISC (Reduced Instruction Set Computer) กล่าวคือไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้จะมีชุดคำสั่งน้อยเพียง 35 คำสั่งพื้นฐานเท่านั้นและทุกคำสั่งสามารถทำงานให้เสร็จสิ้นได้ด้วยการใช้สัญญาณนาฬิกาเพียงลูกเดียว



รูปที่ 2.31 แสดงสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด

จากรูปที่ 2.31 ส่วนถอดรหัสคำสั่ง (Instruction Decode) ทาหน้าที่ถอดรหัสคำสั่งโปรแกรมเพื่อให้ซีพียูเข้าใจและสามารถทำงานได้ พีซีสแต็ก (PC Stack) เป็นหน่วยความจำทำหน้าที่เก็บข้อมูลของรีจิสเตอร์ การเก็บข้อมูลของสแต็กจะมีลักษณะเป็นขั้นแบบ FILO (First In Last Out) ข้อมูลที่เก็บเข้าที่เก็บเข้ามาก่อนจะต้องอ่านออกทีหลัง

โครงสร้างและการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.32 แสดงโครงสร้างเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ บล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.32 ประกอบไปด้วย ส่วนประกอบหลักต่าง ๆ ดังนี้

2.1 หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit) ทำหน้าที่ประมวลผล ข้อมูลตามคำสั่งโปรแกรม ส่วนรีจิสเตอร์จะเก็บข้อมูลและกำหนดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ การทำงานของซีพียูมี 2 จังหวะคือ เฟตช์ (Fetch) และ เอ็กซีคิวต์ (Executed) เริ่มจากการเฟตช์ คือการ อ่านคำสั่งแล้วทำการถอดรหัสคำสั่งเป็นภาษาเครื่อง จากนั้นจังหวะเอ็กซีคิวต์กระทำตามคำสั่งโปรแกรม จนเสร็จ

2.2 หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมเพื่อส่งให้กับซีพียูหา การประมวลผล ที่นิยมจะมี 3 แบบคือ

- แบบอีพรอม (EPROM : Erasable Programmable Read Only Memory) มีแบบ โปรแกรมได้ครั้งเดียว และแบบโปรแกรมได้หลายครั้ง การลบต้องใช้นแสงอุลตราไวโอเล็ต ถ้าแบบโปรแกรม ได้ครั้งเดียวจะไม่สามารถลบและโปรแกรมใหม่ได้
- แบบอีอีพรอม (EEPROM : Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) เป็นหน่วยความจำที่ลบและเขียนใหม่ได้ด้วยไฟฟ้า ปัจจุบันไม่นิยมเพราะมีราคาแพง

- แบบแฟลช (Flash) หน่วยความจำชนิดนี้สามารถลบและเขียนใหม่ได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้าเป็นที่นิยมมากเพราะราคาไม่แพงขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมขึ้นอยู่กับตระกูลและเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ว่ากี่บิตและมีขนาดความจุเท่าไร เช่น ใน PIC16F877 มีหน่วยความจำโปรแกรม 8192 x 14 บิต

2.3 หน่วยความจำข้อมูลแรม (Data Memory) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลจากการประมวลผลของซีพียู

2.4 หน่วยความจำข้อมูล EEPROM เป็นหน่วยความจำที่มีในไมโครคอนโทรลเลอร์บางรุ่นทำหน้าที่เก็บข้อมูลไว้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง การอ่านและเขียนจะใช้สัญญาณไฟฟ้า

2.5 รีจิสเตอร์พอร์ต (Register Space) เป็นหน่วยความจำพิเศษสามารถอ่านเขียนได้ตลอดเวลา ทำหน้าที่เก็บข้อมูลในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงสถานะของการทำงานกำหนดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นขาพอร์ตติดต่อสื่อสารข้อมูลที่ได้รับเข้ามาทางขาอินพุตและส่งข้อมูลออกทางเอาต์พุตไปยังอุปกรณ์ภายนอก

2.6 วงจรสัญญาณนาฬิกา ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ของบริษัท ไมโครชิป จำกัด ที่นิยมในปัจจุบันถูกนำไปใช้ในอุปกรณ์และควบคุมในอุตสาหกรรม เป็นจำนวนมาก ตัวชิปง่ายต่อการประกอบมีจำนวนขา ตั้งแต่ 6 ขา จนถึง 80 ขา และมีหน่วยความจำโปรแกรมให้เลือกตั้งแต่ 384 ไบต์ ถึง 128 กิโลไบต์

PIC คือไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) อีกตระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่งรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวมี หน่วยความจำโปรแกรม, หน่วยความจำข้อมูล RAM, EEPROM, ไทมเมอร์, USB, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก

คุณลักษณะทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC

- ชนิดของหน่วยความจำ

- หน่วยความจำแบบแฟลช โปรแกรมและลบได้หลายครั้ง
- หน่วยความจำแบบโปรแกรมได้ครั้งเดียว OTP (One Time Programmable)
- หน่วยความจำ ROM (Read Only Memory) โปรแกรมและลบได้หลายครั้ง วิธีลบโดยใช้

แสงอุลตราไวโอเลต

- จำนวนขาอินพุต - เอาต์พุต
 - มีจำนวนขาตั้งแต่ 4 ขา จนถึงมากกว่า 120 ขา
- ขนาดหน่วยความจำ
 - 0.5 - 512K
- คุณสมบัติอื่น ๆ
 - ซีพียูเป็นแบบ RISC มีคำสั่งใช้งานประมาณ 35 คำสั่ง
 - ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ไฟตรงถึงสูงสุด 80MHz
 - ดิจิตอล I/O พอร์ต
 - มีช่องอะนาลอกอินพุต
 - มีโมดูลเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอก
 - มีไทมเมอร์ภายใน
 - กระจายเซอร์สและกระจายซิงค์สูง
 - ตอบสนองแหล่งกำเนิดการอินเทอร์รัปต์ทั้งภายในและภายนอก
 - มีวงจรเพาเวอร์ออนรีเซต (POR)
 - เพาเวอร์อัปไทมเมอร์ (PWRT)
 - มีโหมดประหยัดพลังงานหรือสแตนด์บาย
 - มีวอตช์ด็อกไทมเมอร์ (WDT)
 - มีวงจร USB เชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก
 - สามารถเลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล
 - สามารถเลือกใช้วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาได้
 1. EC ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
 2. ER ใช้ตัวต้านทาน
 3. INTRC ใช้ตัวต้านทานและคาปาซิเตอร์ร่วมกับสัญญาณนาฬิกาภายใน PIC เอง
 4. LP ใช้คริสตอลพลังงานต่ำ ความถี่สูงสุดไม่เกิน 200KHz
 5. XT ใช้คริสตอล ความถี่ตั้งแต่ 100KHz – สูงสุดไม่เกิน 4MHz
 6. HS ใช้คริสตอลความถี่สูงสุดไม่เกิน 20MHz

- ไฟเลี้ยง +3V. ถึง +5.5V.
- มีโมดูล PWM (Pulse Width Modulated)
- มีโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม USART

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC แบ่งรุ่นออกได้ 4 ขนาดคือ

- แบบชุดคำสั่งขนาด 12 บิต เบอร์ขึ้นต้นด้วย PIC12C5XXX, 16C5X
- แบบชุดคำสั่งขนาด 14 บิต เบอร์ขึ้นต้นด้วย PIC16F8X, 16F87X
- แบบชุดคำสั่งขนาด 16 บิต เบอร์ขึ้นต้นด้วย PIC17C7XX, 18C2XX
- แบบชุดคำสั่งขนาด 32 บิต เบอร์ขึ้นต้นด้วย PIC32MX3XX/4XX

PIC ชุดคำสั่งขนาด 16 บิต

PIC ตระกูลนี้นิยมใช้งานอย่างกว้างขวางมาก มีคำสั่งเพิ่ม 23 คำสั่งจาก 35 คำสั่งใน PIC ขนาด 16 บิต ทำงานที่ความถี่สูงสุด 40 MHz ดังตารางที่

ไมโครคอนโทรลเลอร์	หน่วยความจำ โปรแกรม	หน่วยความจำ ข้อมูล	ความเร็ว สูงสุด(MHz)	ขา I/O พอร์ต	วงจร A/D
17C43	4096 x 16	454	33	33	-
17C752	8192 x 16	678	33	50	12
18C242	8192 x 16	512	40	23	5
18C252	16384 x 16	1536	40	23	5
18F4520	32768 x 16	1536	40	36	13

สรุปการเลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ให้เหมาะสมกับงานที่ใช้ โดยคำนึงถึงคุณสมบัติพื้นฐาน
ดังนี้

1. จำนวนขาอินพุตเอาต์พุตที่ต้องการใช้
2. การเชื่อมต่อกับภายนอก เช่น USB, I2C, USART เป็นต้น
3. ขนาดของโปรแกรมที่ต้องการเขียน ต้องไม่ใหญ่เกินขนาดของหน่วยความจำโปรแกรม
4. ขนาดของหน่วยความจำ RAM
5. ความเร็วในการทำงาน
6. ขนาดทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ราคา

การเลือกใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ที่มีคุณสมบัติเท่ากับหรือสูงกว่าความต้องการขั้นต่ำของเราเช่น ต้องการใช้งานพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 7 ขา ควรเลือก PIC ที่มีพอร์ต 8 ขา

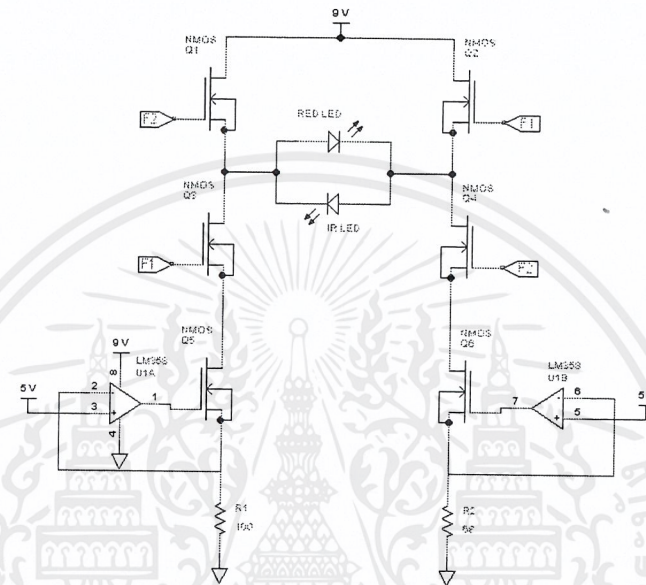


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 LED DRIVER



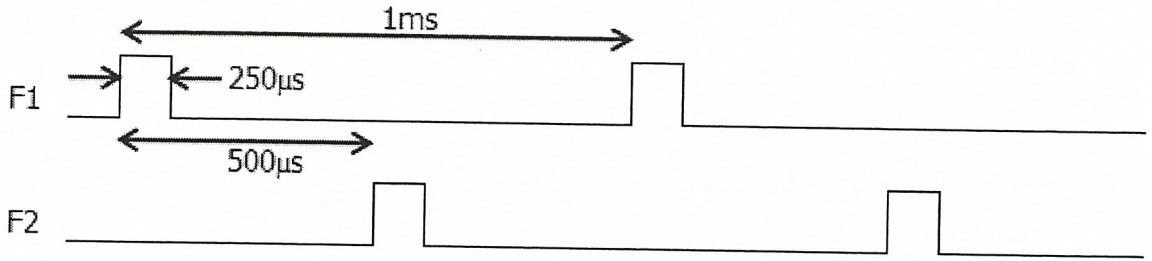
รูปที่ 3.1 วงจรขับกระแส

ต้องการให้ Red LED มีกระแสไหล ในช่วง 6.5 - 75.0 mA
และให้ IR LED มีกระแสไหลอยู่ในช่วง 4.3 - 50.0 mA

จากสูตร $V = IR$ ทำให้กระแสของ RED ; $I_{RED} = \frac{5}{68} = 73 \text{ mA}$

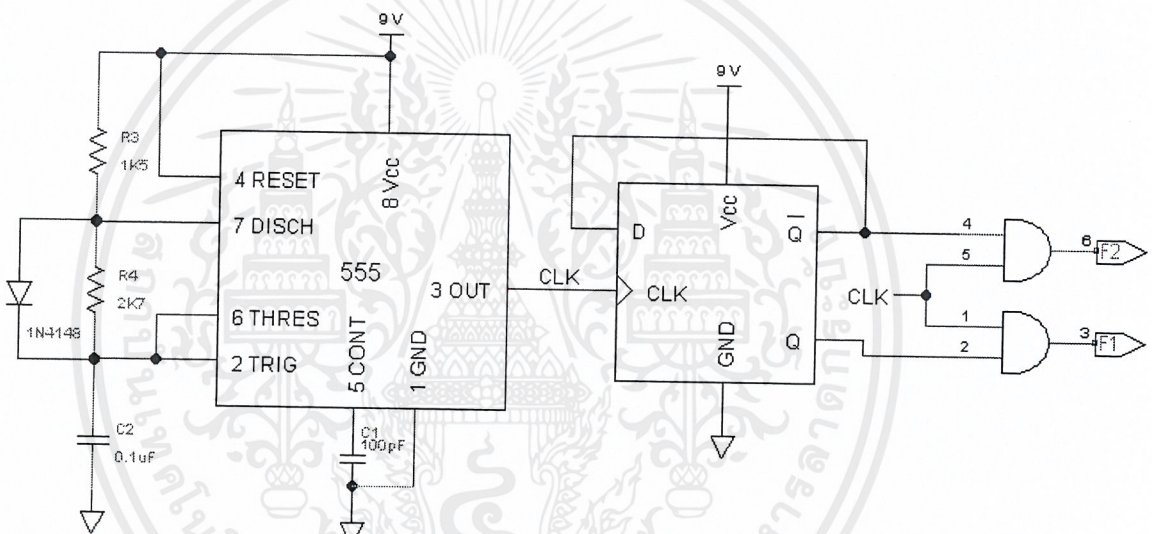
และกระแสของ IR ; $I_{IR} = \frac{5}{100} = 50 \text{ mA}$

เนื่องจาก LED ทั้งสองดวงต้องติด - ดับ สลับกันดังรูป ทำให้ต้องใช้ NMOS ทำหน้าที่เป็นสวิตช์
ให้กระแสไหลผ่าน โดยใช้สัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 1.5 KHz แสดงดังรูปที่ 3.2



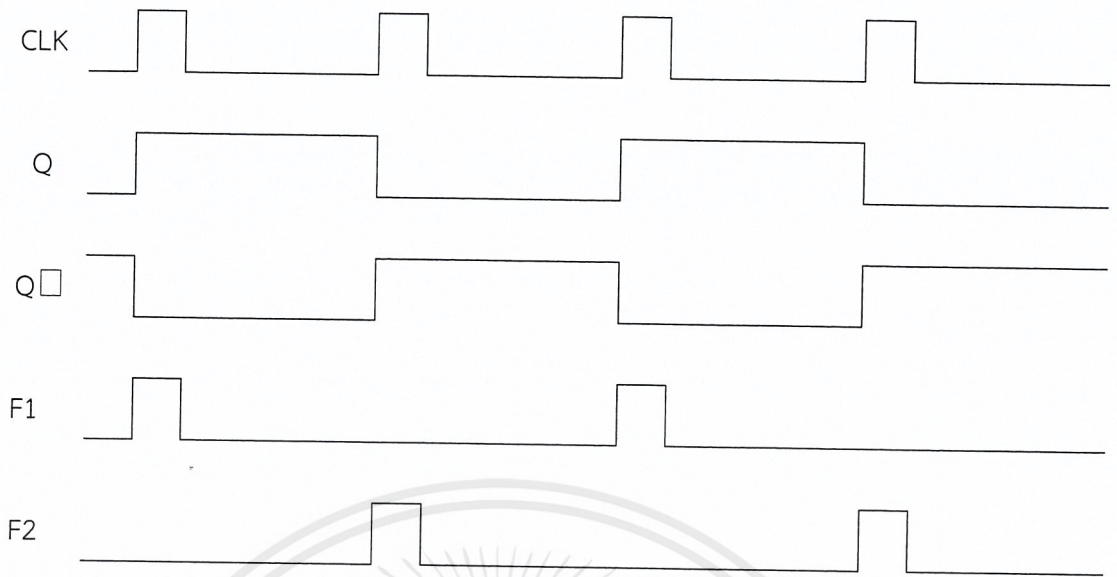
รูปที่ 3.2 สัญญาณ F1 และ F2

3.2 สัญญาณ F1 และ F2



รูปที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณ F1 และ F2

ใช้วงจร 555 Timer แบบ Astable เพื่อสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 3 kHz จากนั้นทำการ Divider Frequency โดยใช้ D FlipFlop ต่อกันดังรูปที่ 3.3 ต่อมาทำการ AND ระหว่าง สัญญาณ CLK กับสัญญาณ Q จะได้เป็นสัญญาณ F1 และ AND ระหว่าง สัญญาณ CLK กับสัญญาณ \bar{Q} จะได้เป็นสัญญาณ F2 ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 สัญญาณ CLK สัญญาณ Q สัญญาณ Q̄ สัญญาณ F1 และ สัญญาณ F2

ต้องการให้ 555 Timer สร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 3 kHz ซึ่งกำหนดได้จากค่า R1 R2 และ

C2

จากสูตร

$$f = \frac{1}{C2(R3 + R4)\ln 2}$$

จะได้

$$C2(R3 + R4) = 480.89 \mu s$$

เลือกใช้ C2 = 0.1 μF

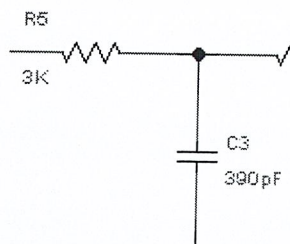
จะได้

$$R3 + R4 = 4808.98 \Omega$$

เนื่องจากต้องการ Duty Cycle 25% จึงให้ R3 เป็น 20% และ R4 เป็น 80%

จะได้ $R3 = 961.79 \Omega$ และ $R4 = 3847.18 \Omega$

3.3 Low pass filter



รูปที่ 3.5 วงจรกรองความถี่ต่ำ

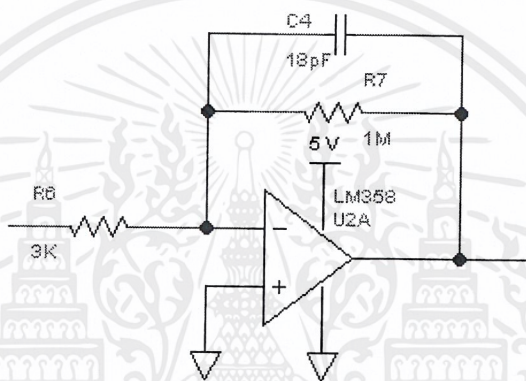
ต้องการให้กระแสที่ส่งผ่านมาจาก LED ซึ่งมีความถี่ต่ำผ่านไปได้ สามารถคำนวณความถี่ได้โดยกำหนดให้ $R = 3\text{ k}\Omega, C = 390\text{ pF}$

$$\text{จากสูตร } f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2(3.14)(3 \times 10^3)(390 \times 10^{-12})}$$

$$= 136\text{ kHz}$$

จะได้ความถี่คัทออฟเท่ากับ 136 kHz

3.4 Current to Voltage



รูปที่ 3.6 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน

เนื่องจาก photodiode นำกระแสเมื่อมีแสงมาตกกระทบ เราต้องทำการแปลงกระแสที่ไหลผ่าน photodiode ให้เป็น voltage โดยใช้วงจร current to voltage converter หรือ transimpedance amplifier

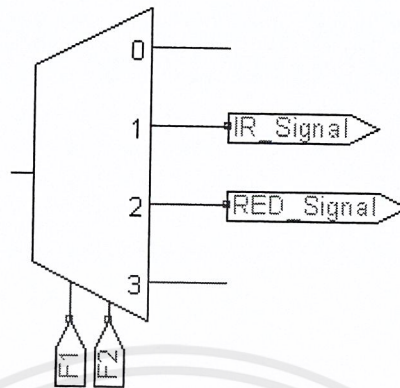
โดย $V_{out} = -I_{\text{photodiode}} R$

$$\text{และ } f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2(3.14)(1 \times 10^6)(18 \times 10^{-12})}$$

$$\approx 8.8\text{ kHz}$$

จะได้ความถี่คัทออฟเท่ากับ 8.8 kHz

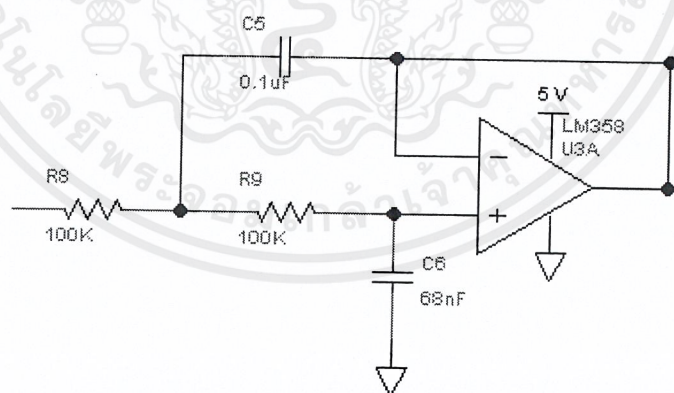
3.5 Demultiplexer



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์แยกสัญญาณ

เนื่องจากต้องการแยกแรงดันที่มาจาก วงจร Current to Voltage ออกเป็น 2 ส่วน โดยผ่าน Demultiplexer จึงจะได้สัญญาณ IR_Signal และ RED_Signal

3.6 Low pass filter แบบ two pole low pass filter



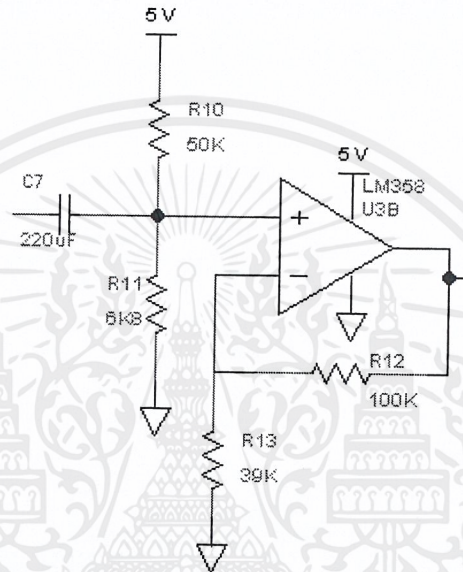
รูปที่ 3.8 วงจรกรองความถี่แบบ second order

เนื่องจาก $R_8 = R_9 = 100k\Omega$

และ $C_5 = 2C_6 = 0.1 \mu F$

$$\text{จะได้สูตร } f = \frac{\sqrt{2}}{4\pi RC_6} = \frac{\sqrt{2}}{4\pi \times 100 \times 10^3 \times 68 \times 10^{-9}} \approx 16 \text{ Hz}$$

3.7 Active high pass filter



รูปที่ 3.9 วงจรกรองความถี่สูง

เนื่องจาก R_{10} และ R_{11} เป็นตัวกำหนดค่า DC ให้สัญญาณ เพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลหาค่าออกซิเจนในเลือด

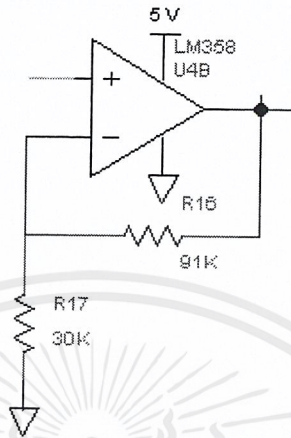
โดยกำหนดให้ $R = 6.8 \text{ k}\Omega$ และ $C = 220 \mu F$

$$\text{จากสูตร } f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 6.8 \times 10^3 \times 220 \times 10^{-6}} \approx 0.1 \text{ Hz}$$

$$\text{ค่า DC ที่กำหนดให้สัญญาณ หาได้จาก } V_{DC} = \frac{5 \times 6k8}{6k8 + 50k} \approx 0.6 \text{ V}$$

$$\text{และอัตราขยายหาได้จาก } A_v = 1 + \frac{R_{12}}{R_{13}} \approx 3.56$$

3.8 Amplifier



รูปที่ 3.10 วงจรขยายสัญญาณ

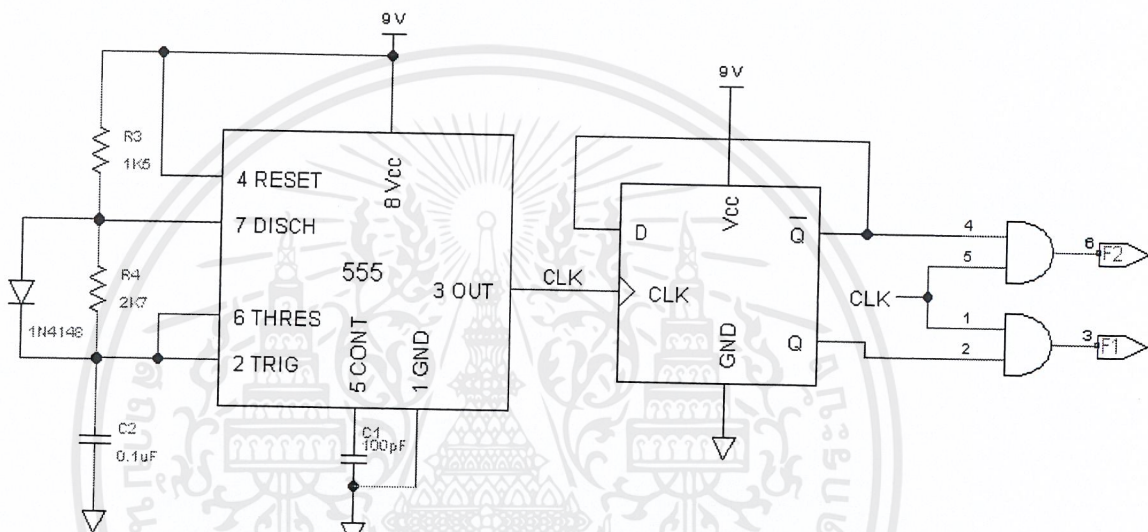
เนื่องจาก RED Signal มีขนาดสัญญาณน้อยมากจึงจำเป็นต้องขยายสัญญาณก่อน โดยใช้วงจรขยายแบบ non-inverting ซึ่งกำหนดให้ $R_{16} = 91\text{k}\Omega$ และ $R_{17} = 30\text{k}\Omega$

ทำให้ได้อัตราขยาย $A_v = 1 + \frac{R_{16}}{R_{17}} \approx 4.03$

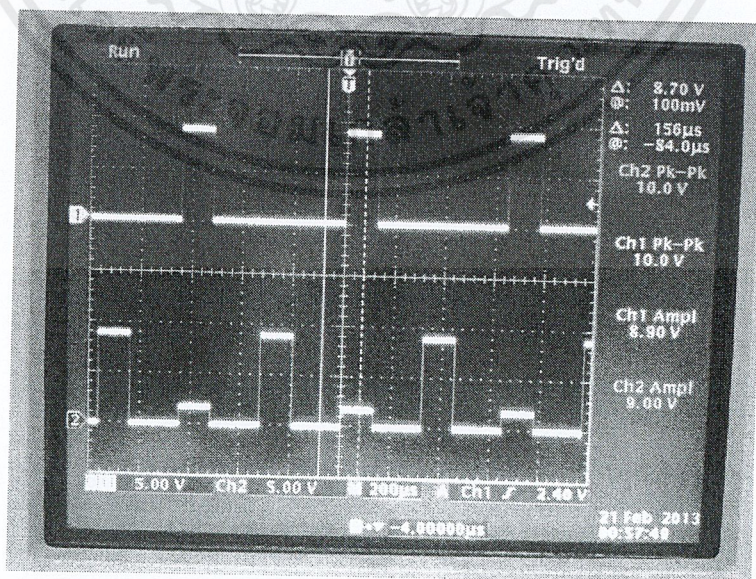
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ส่วนสร้างสัญญาณ F1 และ F2



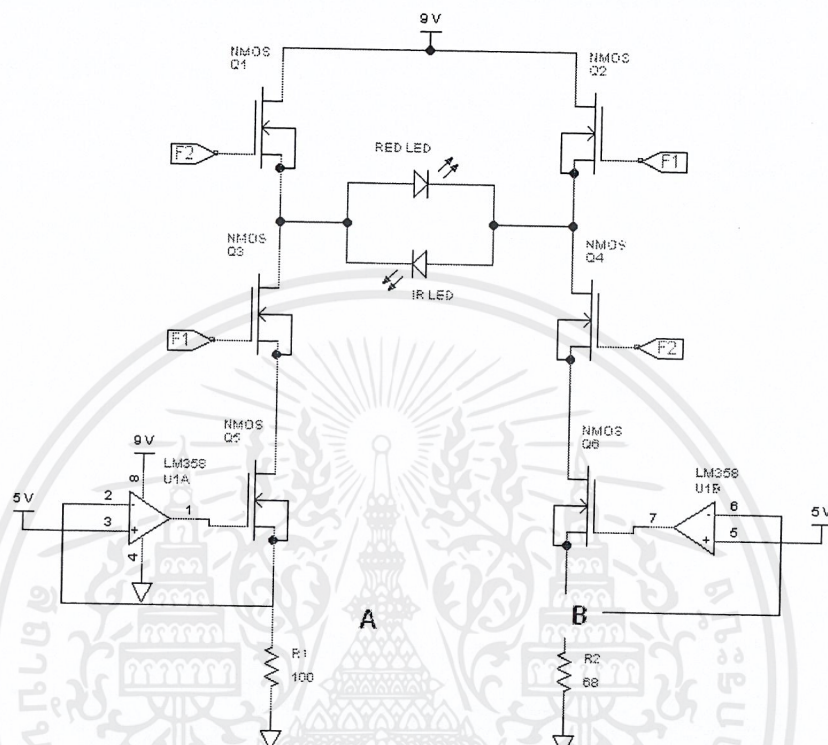
รูปที่ 4.1 วงจรสร้างสัญญาณ F1 และ F2



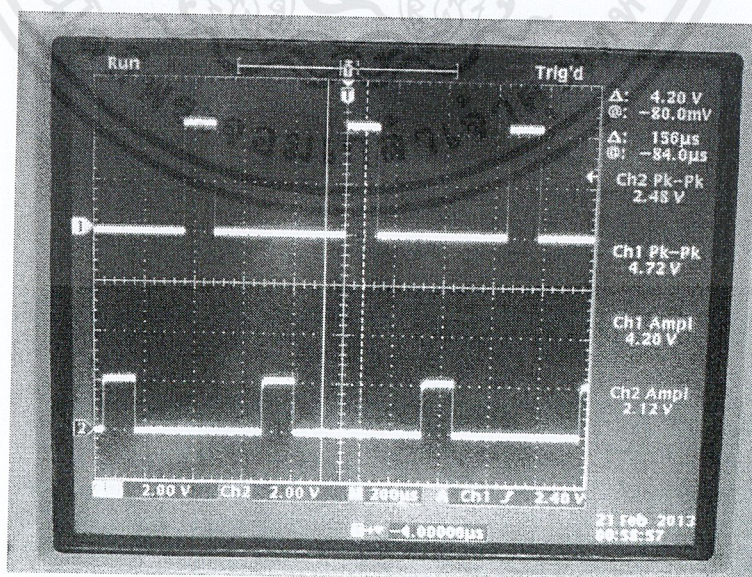
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CH1 : F1 CH2 : F2

4.2 วงจร LED Driver



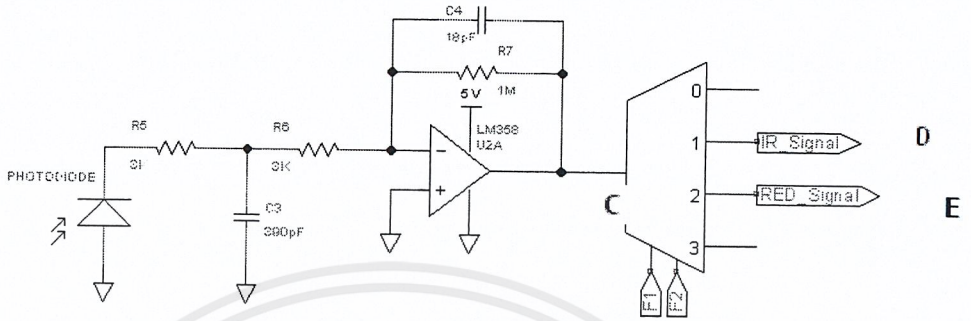
รูปที่ 4.2 วงจร LED Driver



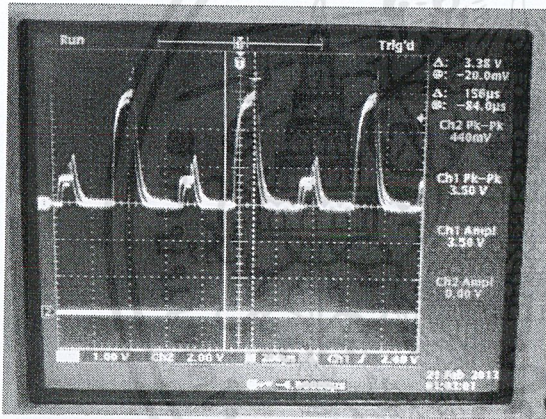
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CH1 : A CH2 : B

4.3 วงจรภาครับสัญญาณ



รูปที่ 4.3 วงจร Current to Voltage และ Demultiplexer



CH1 : C



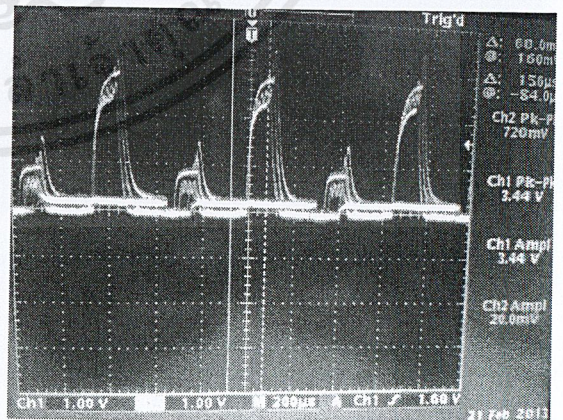
CH1 : D

CH2 : E



CH1 : C

CH2 : D

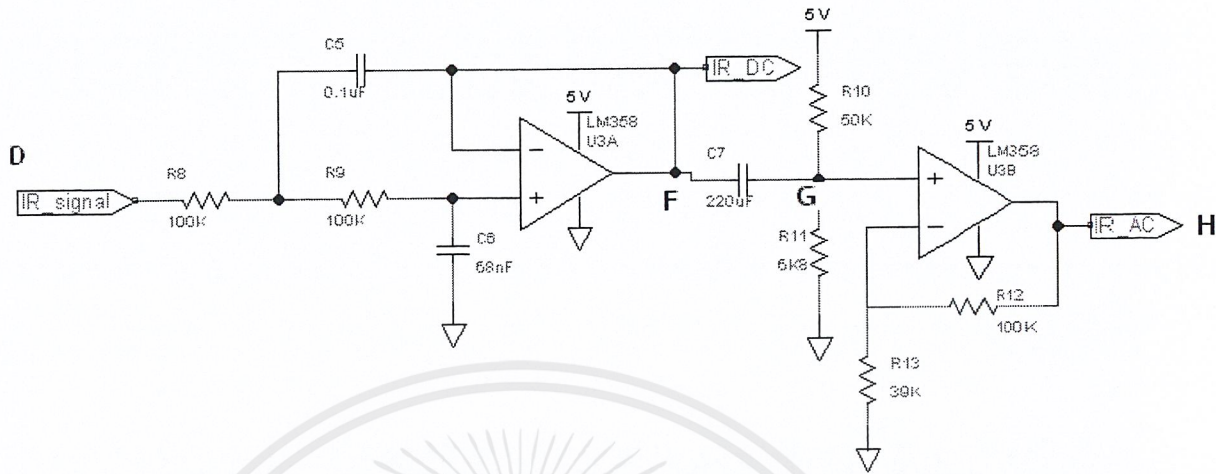


CH1 : C

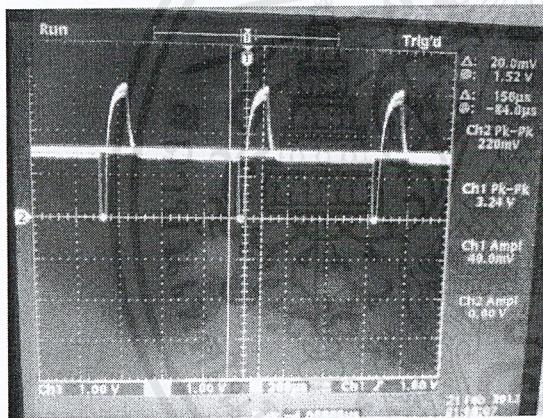
CH2 : E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สัญญาณของ IR LED

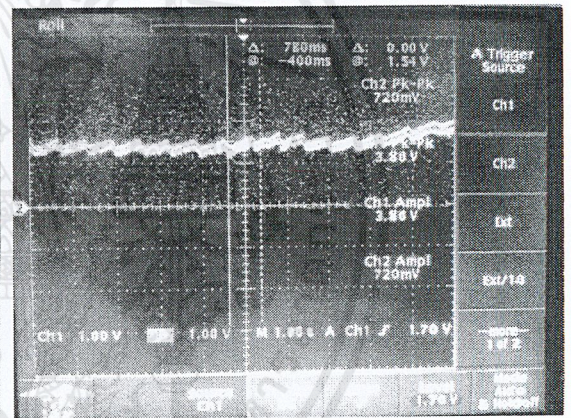


รูปที่ 4.4 วงจรของสัญญาณ IR LED



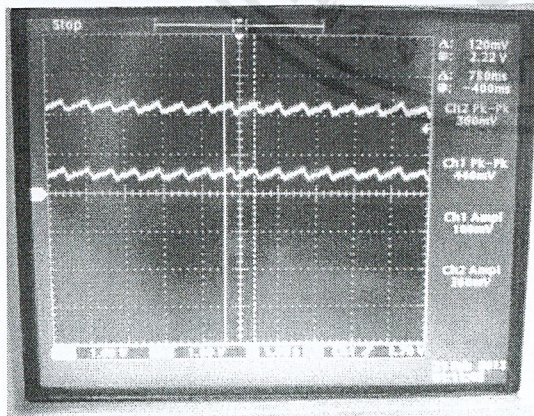
CH1 : D

CH2 : F



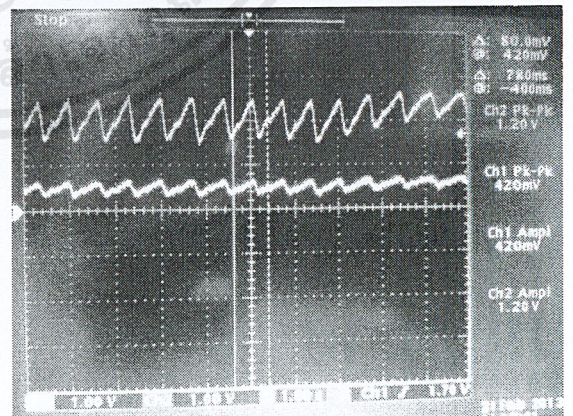
CH1 : D

CH2 : F



CH1 : F

CH2 : G

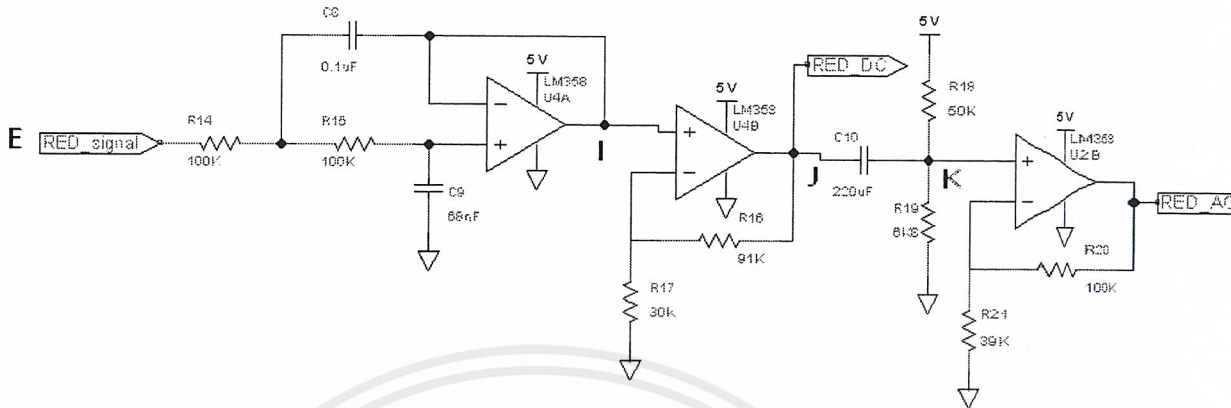


CH1 : G

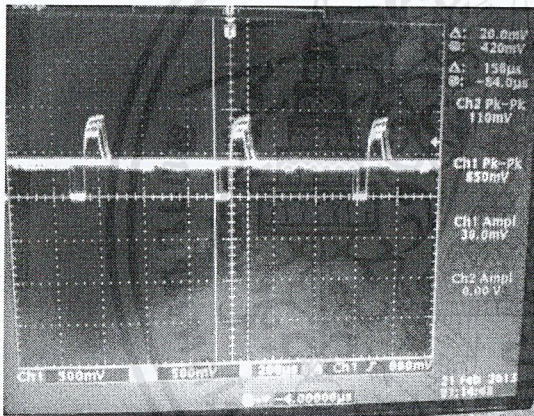
CH2 : H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

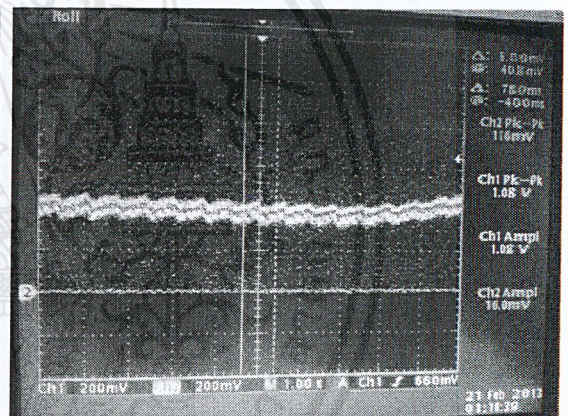
4.5 สัญญาณของ RED LED



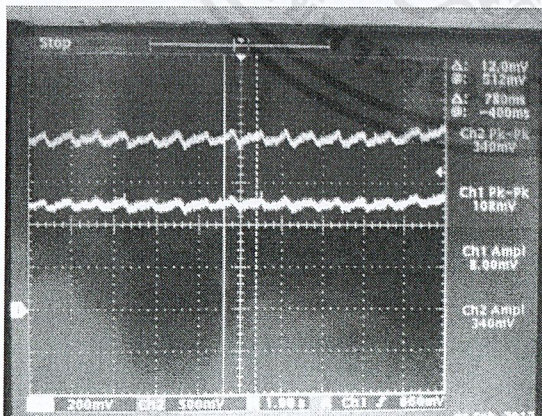
รูปที่ 4.5 วงจรของสัญญาณ RED LED



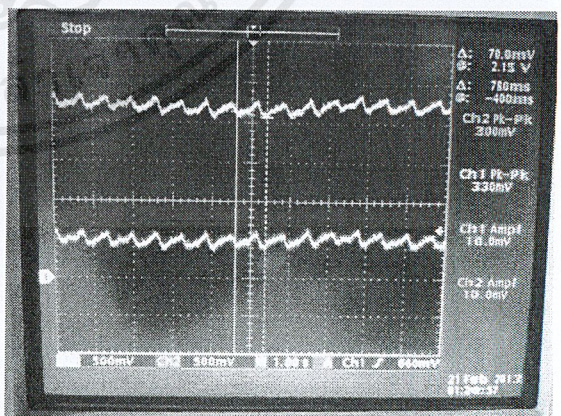
CH1 : E CH2 : I



CH1 : E CH2 : J

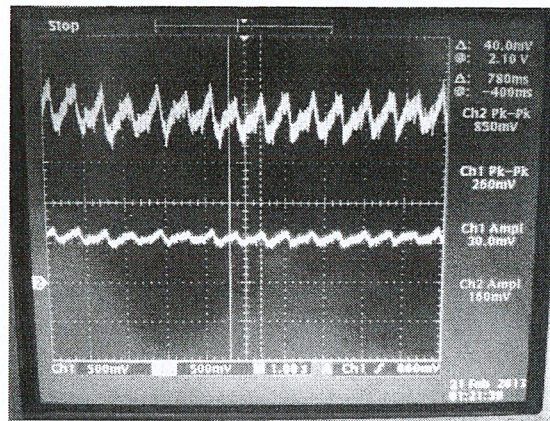


CH1 : I CH2 : J



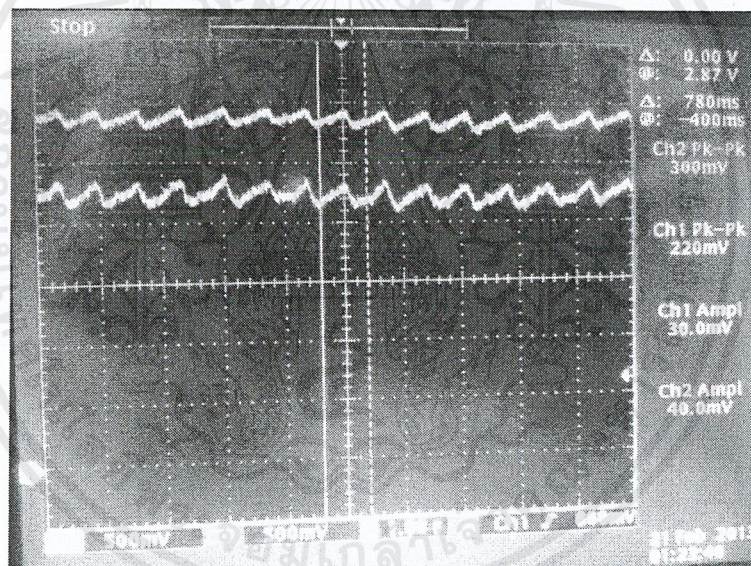
CH1 : J CH2 : K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



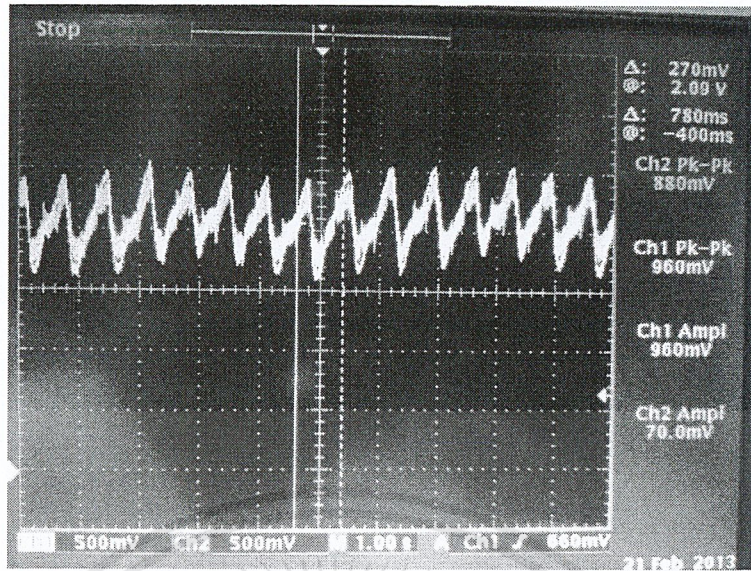
CH1 : K CH2 :L

4.6 รูปสัญญาณ DC และ AC ของ IR LED และ RED LED



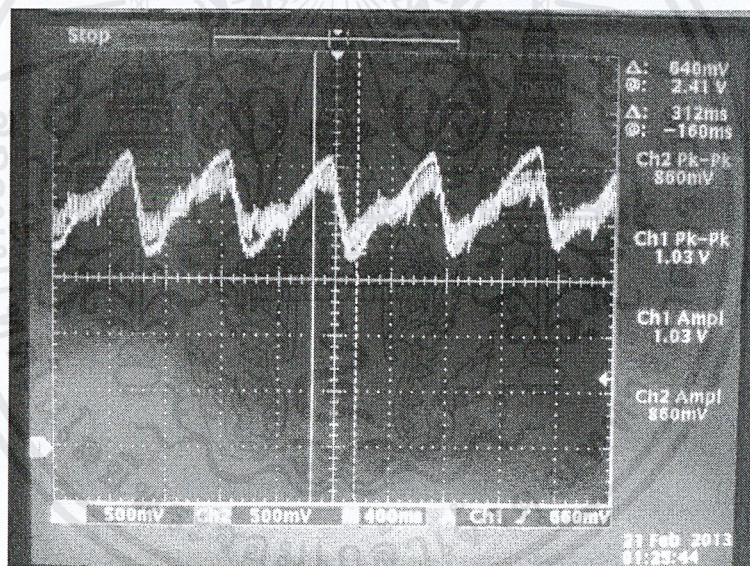
CH1 : F (IR_DC) CH2 : J (RED_DC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CH1 : H (IR_AC)

CH2 : L (RED_AC)



CH1 : H (IR_AC)

CH2 : L (RED_AC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ทำการทดลองวัดค่าออกซิเจนในเลือดทั้งหมด 5 ครั้ง โดยอ่านค่าที่วัดได้จาก Oscilloscope

โดยค่า $R = \frac{AC_{RED} / DC_{RED}}{AC_{IR} / DC_{IR}}$ และ $\%SpO_2 = 110 - 25R$ ได้ผลการทดลองดังตารางด้านล่าง

ครั้งที่	RED LED		IR LED		R	%SpO ₂ (%)
	AC (mV)	DC (V)	AC (mV)	DC (V)		
1	350	1.9	470	2.5	0.9798	85.50
2	320	1.6	460	2.0	0.8695	88.26
3	370	1.8	550	2.5	0.9343	86.64
4	320	1.6	410	1.9	0.9268	86.83
5	340	2.1	480	2.6	0.8769	88.08
6	220	1.9	390	2.5	0.7422	91.44

จากผลการทดลองทั้ง 5 ครั้ง พบว่าค่า %SpO₂ มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าเฉลี่ยของ %SpO₂ มีค่าเท่ากับ 87.79% แต่ %SpO₂ ที่วัดได้ในคนปกติมีควมค่า >97% ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนไป 9.49% ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดจากแสงจากภายนอกที่เข้ามารบกวนทำให้ photodiode รับแสงผิดพลาด และอาจเกิดจากการที่อ่านค่าจาก Oscilloscope ทำให้ได้ค่าที่คลาดเคลื่อน

วิจารณ์ผลการทดลอง

โครงการที่ทำอาจจะไม่ได้ตามวัตถุประสงค์หรือเกิดความผิดพลาดเนื่องจาก

1. ข้อมูลที่นำมาใช้ในการทำงานไม่ถูกต้องทั้งหมด จึงทำให้เกิดความผิดพลาด
2. มีการแก้ไขวงจรหลายครั้งจึงทำให้ใช้เวลาในการทำงานมาก
3. อุปกรณ์มีความผิดปกติจนไม่สามารถใช้งานได้
4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานมีความผิดพลาด จึงทำให้ผลการทดลองผิดพลาดได้

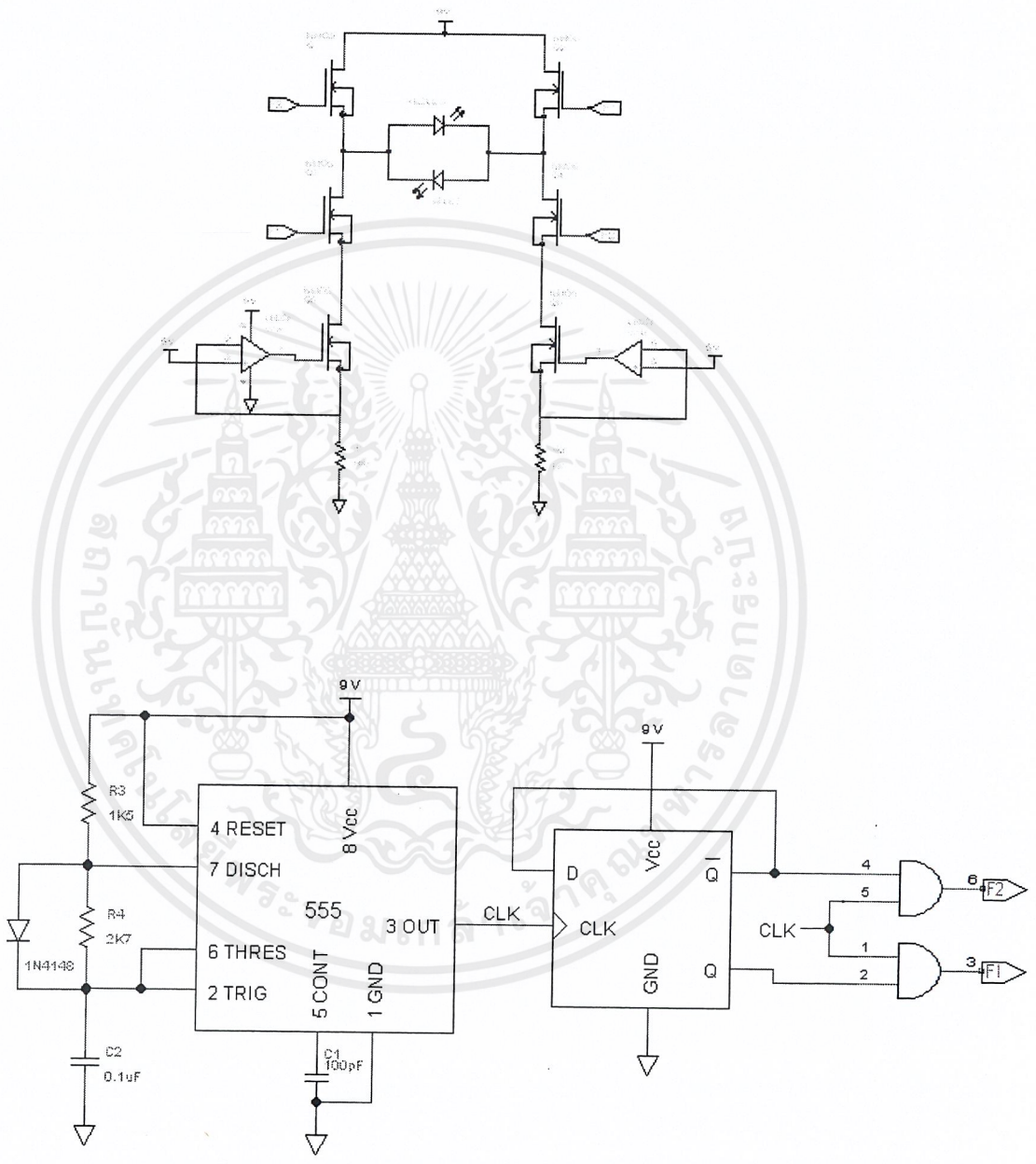
บรรณานุกรม

- [1] วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ 1 ,ผศ.ประภากร สุวรรณะ ,รศ.ดร.สมศักดิ์ ชุ่มช่วย , ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] <http://www.maximintegrated.com/solutions/pulse-oximeter/>
- [3] http://www.frankshospitalworkshop.com/equipment/documents/pulse_oximeter/service_manuals/Nellcor_N-20_Pulse_Oximeter_-_Service_manual.pdf
- [4] http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/app_note/AN4327.pdf
- [5] http://www.robots.ox.ac.uk/~neil/teaching/lectures/med_elec/notes6.pdf
- [6] <http://www.ee.washington.edu/faculty/darling/ee436s12/EE436Lab4a.pdf>
- [7] <http://www.ti.com/lit/an/sprab37a/sprab37a.pdf>
- [8] http://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_7.html
- [9] <http://www.ti.com/lit/an/sprab37a/sprab37a.pdf>
- [10] <http://www.freescale.com/infocenter/index.jsp?topic=%2FAN4327%2Findex.html>
- [11] http://medinfo.psu.ac.th/smj2/smj24_3/pdf24_3/12bordin.pdf
- [12] <http://www.ti.com/product/tps61042>
- [13] <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=SN54HC04>
- [14] <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=PIC24HJ12GP201/202>
- [15] <http://www.futurlec.com/Datasheet/CD4000/CD4081.pdf>
- [16] http://www.nxp.com/documents/data_sheet/HEF4069UB.pdf

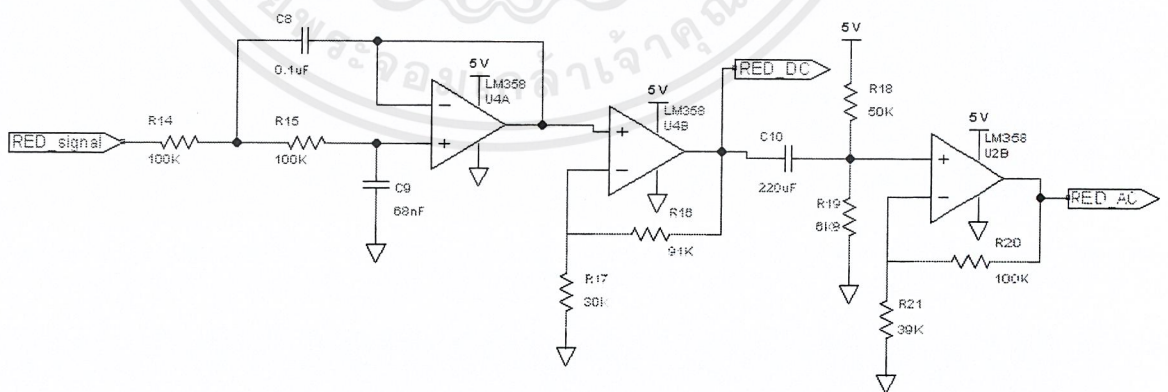
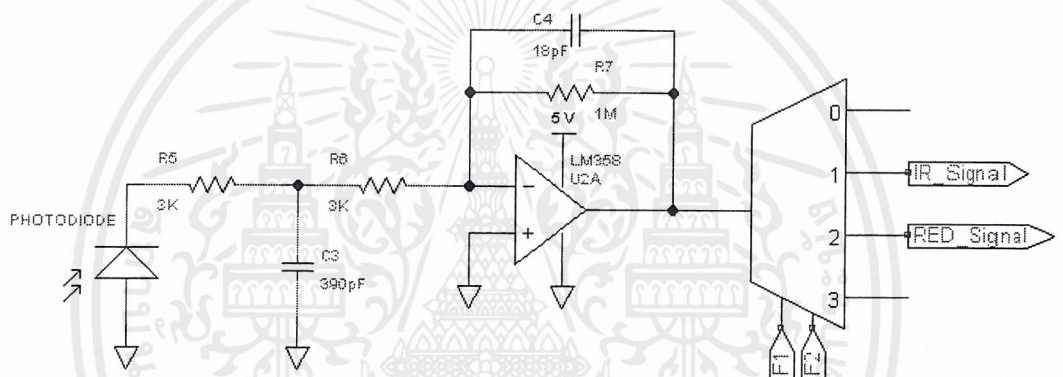
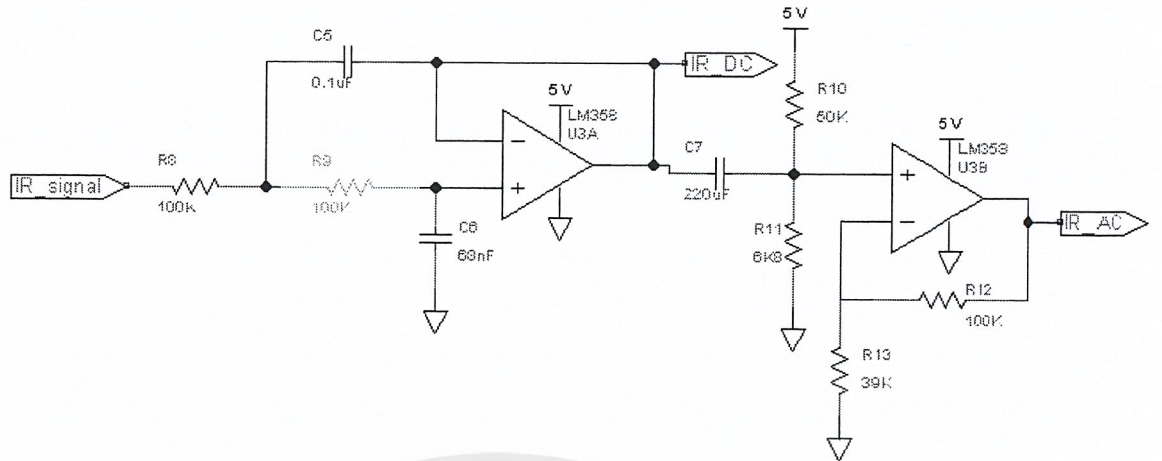
- [17] <http://www.ti.com/lit/ds/symmlink/sn74ls04.pdf>
- [18] <http://www.ti.com/lit/ds/symmlink/tlc2274.pdf>
- [19] http://www.ee.mut.ac.th/course/eecc0210/lab/lab_c1_3.pdf



ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N7000 / 2N7002 / NDS7002A N-Channel Enhancement Mode Field Effect Transistor

General Description

These N-Channel enhancement mode field effect transistors are produced using Fairchild's proprietary, high cell density, DMOS technology. These products have been designed to minimize on-state resistance while provide rugged, reliable, and fast switching performance. They can be used in most applications requiring up to 400mA DC and can deliver pulsed currents up to 2A. These products are particularly suited for low voltage, low current applications such as small servo motor control, power MOSFET gate drivers, and other switching applications.

Features

- High density cell design for low $R_{DS(ON)}$.
- Voltage controlled small signal switch.
- Rugged and reliable.
- High saturation current capability.



Absolute Maximum Ratings $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	2N7000	2N7002	NDS7002A	Units
V_{DSS}	Drain-Source Voltage		60		V
V_{DGR}	Drain-Gate Voltage ($R_{GS} \leq 1\text{ M}\Omega$)		60		V
V_{GSS}	Gate-Source Voltage - Continuous - Non Repetitive ($t_p < 50\mu\text{s}$)		± 20 ± 40		V
I_D	Maximum Drain Current - Continuous - Pulsed	200 500	115 800	280 1500	mA
P_D	Maximum Power Dissipation Derated above 25°C	400 3.2	200 1.6	300 2.4	mW/ $^\circ\text{C}$
T_J, T_{STG}	Operating and Storage Temperature Range	-55 to 150		-65 to 150	$^\circ\text{C}$
T_L	Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/16" from Case for 10 Seconds	300			$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	2N7000	2N7002	NDS7002A	Units
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	312.5	625	417	$^\circ\text{C}/\text{W}$

Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Type	Min	Typ	Max	Units
OFF CHARACTERISTICS							
BV_{DSS}	Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = 10\ \mu\text{A}$	All	60			V
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	$V_{DS} = 48\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	2N7000			1	μA
						1	mA
		$V_{DS} = 60\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	2N7002 NDS7002A			1	μA
						0.5	mA
I_{GSSF}	Gate - Body Leakage, Forward	$V_{GS} = 15\text{ V}, V_{DS} = 0\text{ V}$	2N7000			10	nA
		$V_{GS} = 20\text{ V}, V_{DS} = 0\text{ V}$	2N7002 NDS7002A			100	nA
I_{GSSR}	Gate - Body Leakage, Reverse	$V_{GS} = -15\text{ V}, V_{DS} = 0\text{ V}$	2N7000			-10	nA
		$V_{GS} = -20\text{ V}, V_{DS} = 0\text{ V}$	2N7002 NDS7002A			-100	nA
ON CHARACTERISTICS (Note 1)							
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1\text{ mA}$	2N7000	0.8	2.1	3	V
		$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\ \mu\text{A}$	2N7002 NDS7002A	1	2.1	2.5	
$R_{DS(on)}$	Static Drain-Source On-Resistance	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 500\text{ mA}$	2N7000		1.2	5	Ω
					1.9	9	
		$V_{GS} = 4.5\text{ V}, I_D = 75\text{ mA}$		1.8	5.3		
		$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 500\text{ mA}$	2N7002		1.2	7.5	
					1.7	13.5	
		$V_{GS} = 5.0\text{ V}, I_D = 50\text{ mA}$		1.7	7.5		
		$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 500\text{ mA}$		2.4	13.5		
		$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 500\text{ mA}$	NDS7002A		1.2	2	
	2	3.5					
$V_{DS(on)}$	Drain-Source On-Voltage	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 500\text{ mA}$	2N7000		0.6	2.5	V
		$V_{GS} = 4.5\text{ V}, I_D = 75\text{ mA}$			0.14	0.4	
		$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 500\text{ mA}$	2N7002		0.6	3.75	
		$V_{GS} = 5.0\text{ V}, I_D = 50\text{ mA}$			0.09	1.5	
		$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 500\text{ mA}$	NDS7002A		0.6	1	
		$V_{GS} = 5.0\text{ V}, I_D = 50\text{ mA}$			0.09	0.15	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Type	Min	Typ	Max	Units
ON CHARACTERISTICS Continued (Note 1)							
$I_{D(ON)}$	On-State Drain Current	$V_{GS} = 4.5\text{ V}, V_{DS} = 10\text{ V}$	2N7000	75	600		mA
		$V_{GS} = 10\text{ V}, V_{DS} \geq 2 V_{DS(on)}$	2N7002	500	2700		
		$V_{GS} = 10\text{ V}, V_{DS} \geq 2 V_{DS(on)}$	NDS7002A	500	2700		
g_{FS}	Forward Transconductance	$V_{DS} = 10\text{ V}, I_D = 200\text{ mA}$	2N7000	100	320		mS
		$V_{DS} \geq 2 V_{DS(on)}, I_D = 200\text{ mA}$	2N7002	80	320		
		$V_{DS} \geq 2 V_{DS(on)}, I_D = 200\text{ mA}$	NDS7002A	80	320		
DYNAMIC CHARACTERISTICS							
C_{iss}	Input Capacitance	$V_{DS} = 25\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V},$ $f = 1.0\text{ MHz}$	All		20	50	pF
C_{oss}	Output Capacitance		All		11	25	pF
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance		All		4	5	pF
t_{on}	Turn-On Time	$V_{DD} = 15\text{ V}, R_L = 25\ \Omega,$ $I_D = 500\text{ mA}, V_{GS} = 10\text{ V},$ $R_{GEN} = 25\ \Omega$	2N7000			10	ns
		$V_{DD} = 30\text{ V}, R_L = 150\ \Omega,$ $I_D = 200\text{ mA}, V_{GS} = 10\text{ V},$ $R_{GEN} = 25\ \Omega$	2N7002 NDS7002A			20	
t_{off}	Turn-Off Time	$V_{DD} = 15\text{ V}, R_L = 25\ \Omega,$ $I_D = 500\text{ mA}, V_{GS} = 10\text{ V},$ $R_{GEN} = 25\ \Omega$	2N7000			10	ns
		$V_{DD} = 30\text{ V}, R_L = 150\ \Omega,$ $I_D = 200\text{ mA}, V_{GS} = 10\text{ V},$ $R_{GEN} = 25\ \Omega$	2N7002 NDS7002A			20	
DRAIN-SOURCE DIODE CHARACTERISTICS AND MAXIMUM RATINGS							
I_S	Maximum Continuous Drain-Source Diode Forward Current		2N7002			115	mA
			NDS7002A			280	
I_{SM}	Maximum Pulsed Drain-Source Diode Forward Current		2N7002			0.8	A
			NDS7002A			1.5	
V_{SD}	Drain-Source Diode Forward Voltage	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_S = 115\text{ mA}$ (Note 1)	2N7002		0.88	1.5	V
		$V_{GS} = 0\text{ V}, I_S = 400\text{ mA}$ (Note 1)	NDS7002A		0.88	1.2	

Note:

1. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Electrical Characteristics

2N7000 / 2N7002 / NDS7002A

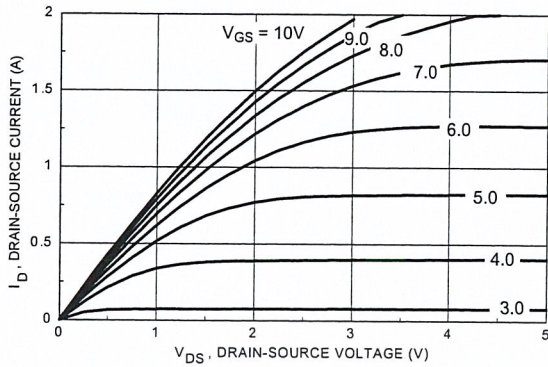


Figure 1. On-Region Characteristics

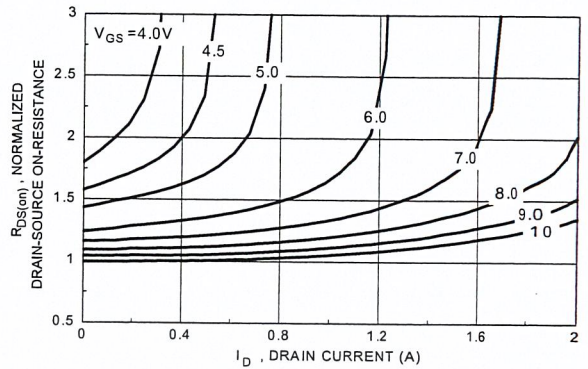


Figure 2. On-Resistance Variation with Gate Voltage and Drain Current

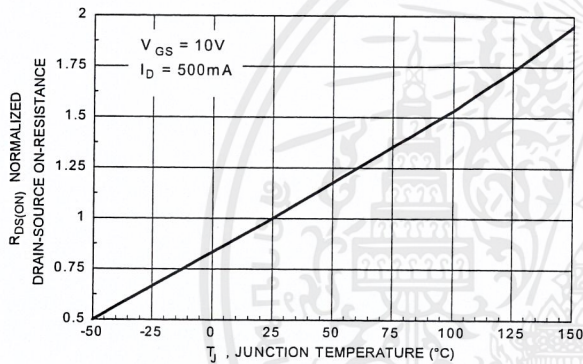


Figure 3. On-Resistance Variation with Temperature

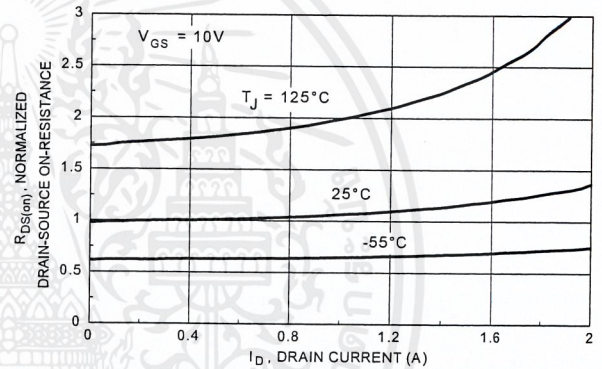


Figure 4. On-Resistance Variation with Drain Current and Temperature

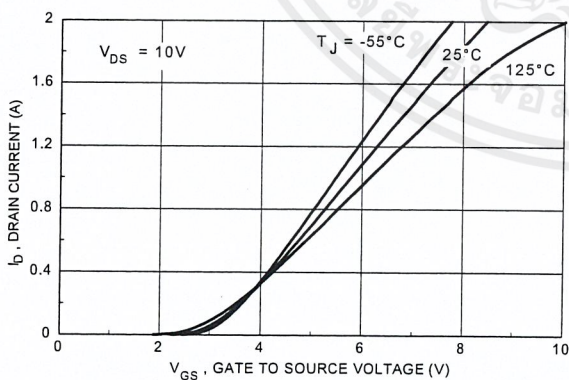


Figure 5. Transfer Characteristics

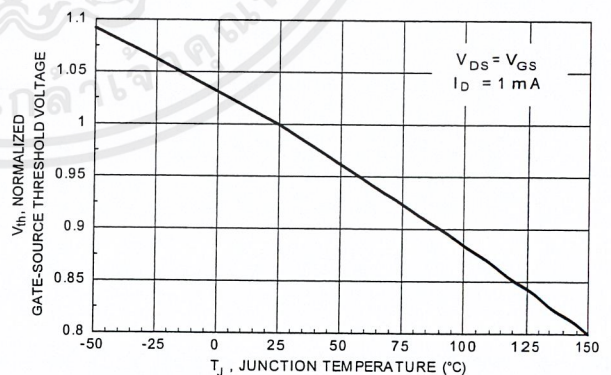


Figure 6. Gate Threshold Variation with Temperature

Typical Electrical Characteristics (continued)

2N7000 / 2N7002 / NDS7002A

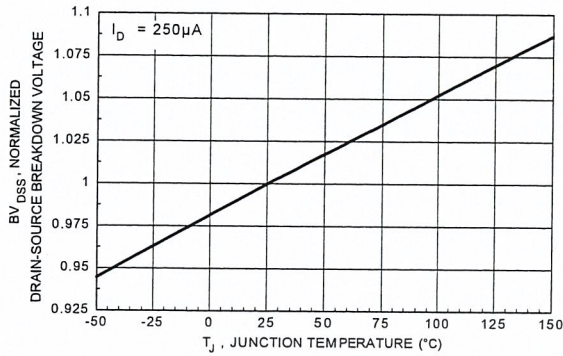


Figure 7. Breakdown Voltage Variation with Temperature

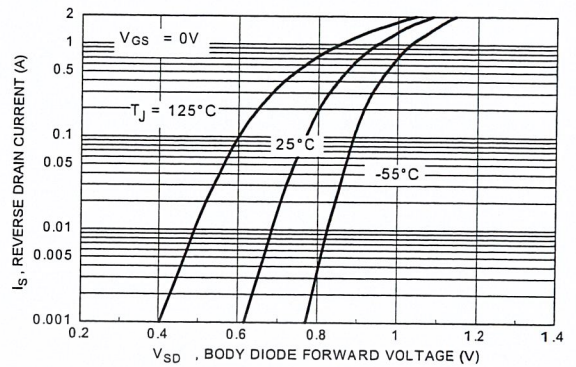


Figure 8. Body Diode Forward Voltage Variation with Temperature

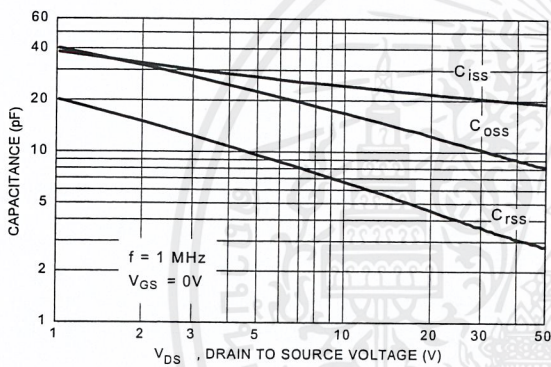


Figure 9. Capacitance Characteristics

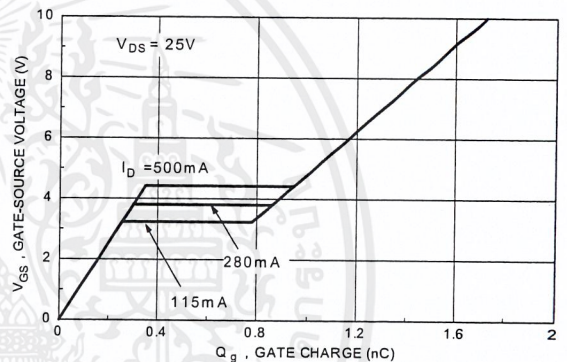


Figure 10. Gate Charge Characteristics

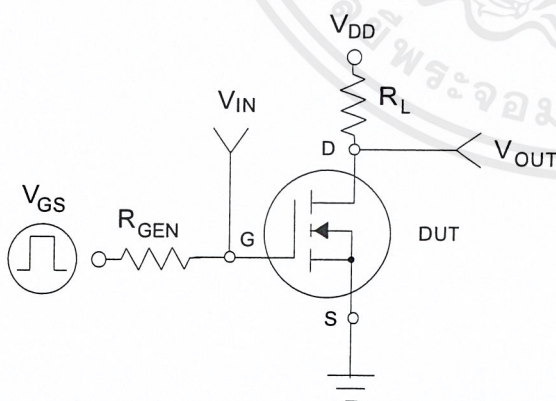


Figure 11.

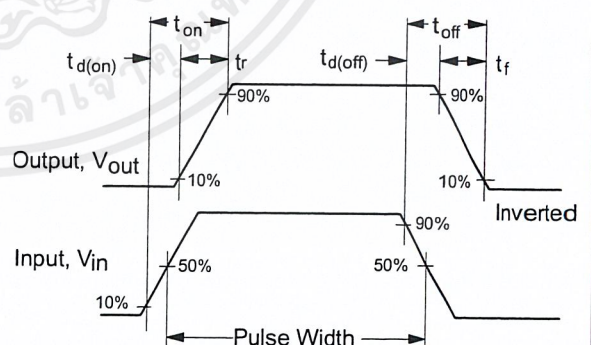


Figure 12. Switching Waveforms

Typical Electrical Characteristics (continued)

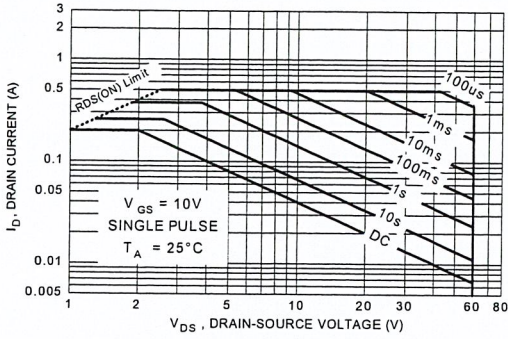


Figure 13. 2N7000 Maximum Safe Operating Area

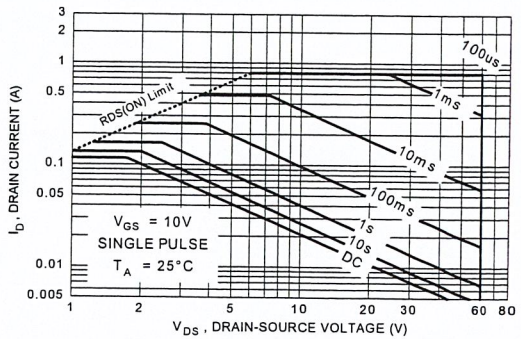


Figure 14. 2N7002 Maximum Safe Operating Area

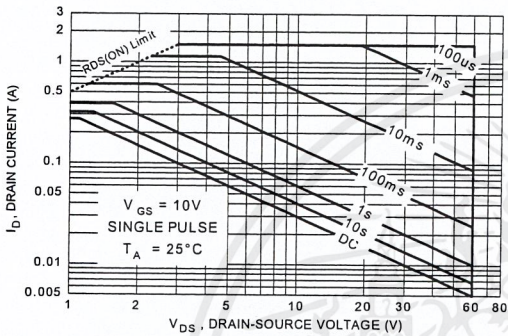


Figure 15. NDS7000A Maximum Safe Operating Area

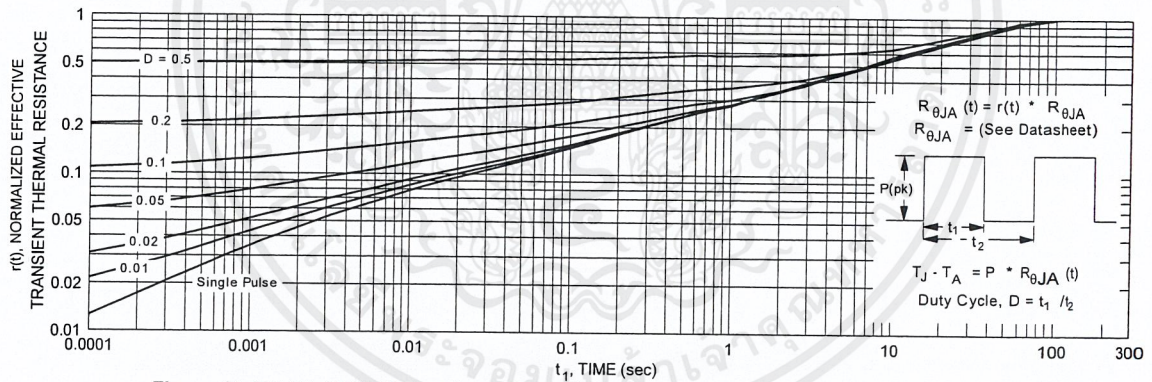


Figure 16. TO-92, 2N7000 Transient Thermal Response Curve

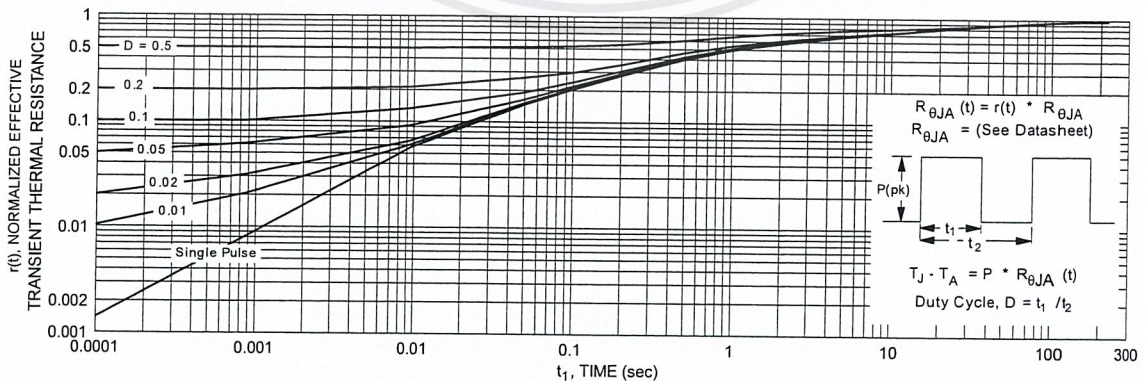


Figure 17. SOT-23, 2N7002 / NDS7002A Transient Thermal Response Curve

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE ^x ™	FAST ^r ™	PowerTrench®	SyncFET™
Bottomless™	GlobalOptoisolator™	QFET™	TinyLogic™
CoolFET™	GTO™	QS™	UHC™
CROSSVOLT™	HiSeC™	QT Optoelectronics™	VCX™
DOME™	ISOPLANAR™	Quiet Series™	
E ² CMOS™	MICROWIRE™	SILENT SWITCHER®	
EnSigna™	OPTOLOGIC™	SMART START™	
FACT™	OPTOPLANAR™	SuperSOT™-3	
FACT Quiet Series™	PACMAN™	SuperSOT™-6	
FAST®	POP™	SuperSOT™-8	

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD 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, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in 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.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

Rev. G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEF4052B

Dual 4-channel analog multiplexer/demultiplexer

Rev. 8 — 17 November 2011

Product data sheet

1. General description

The HEF4052B is a dual 4-channel analog multiplexer/demultiplexer with common channel select logic. Each multiplexer/demultiplexer has four independent inputs/outputs ($nY0$ to $nY3$) and a common input/output (nZ). The common channel select logic includes two select inputs ($S1$ and $S2$) and an active LOW enable input (\bar{E}). Both multiplexers/demultiplexers contain four bidirectional analog switches, each with one side connected to an independent input/output ($nY0$ to $nY3$) and the other side connected to a common input/output (nZ). With \bar{E} LOW, one of the four switches is selected (low-impedance ON-state) by $S1$ and $S2$. With \bar{E} HIGH, all switches are in the high-impedance OFF-state, independent of $S1$ and $S2$. If break before make is needed, then it is necessary to use the enable input.

V_{DD} and V_{SS} are the supply voltage connections for the digital control inputs ($S1$ and $S2$, and \bar{E}). The V_{DD} to V_{SS} range is 3 V to 15 V. The analog inputs/outputs ($nY0$ to $nY3$, and nZ) can swing between V_{DD} as a positive limit and V_{EE} as a negative limit. $V_{DD} - V_{EE}$ may not exceed 15 V. Unused inputs must be connected to V_{DD} , V_{SS} , or another input. For operation as a digital multiplexer/demultiplexer, V_{EE} is connected to V_{SS} (typically ground). V_{EE} and V_{SS} are the supply voltage connections for the switches.

2. Features and benefits

- Fully static operation
- 5 V, 10 V, and 15 V parametric ratings
- Standardized symmetrical output characteristics
- Specified from $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Complies with JEDEC standard JESD 13-B

3. Applications

- Analog multiplexing and demultiplexing
- Digital multiplexing and demultiplexing
- Signal gating



4. Ordering information

Table 1. Ordering information
All types operate from -40 °C to +125 °C.

Type number	Package		Version
	Name	Description	
HEF4052BP	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil)	SOT38-4
HEF4052BT	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 3.9 mm	SOT109-1
HEF4052BTT	TSSOP16	plastic thin shrink small outline package; 16 leads; body width 4.4 mm	SOT403-1

5. Functional diagram

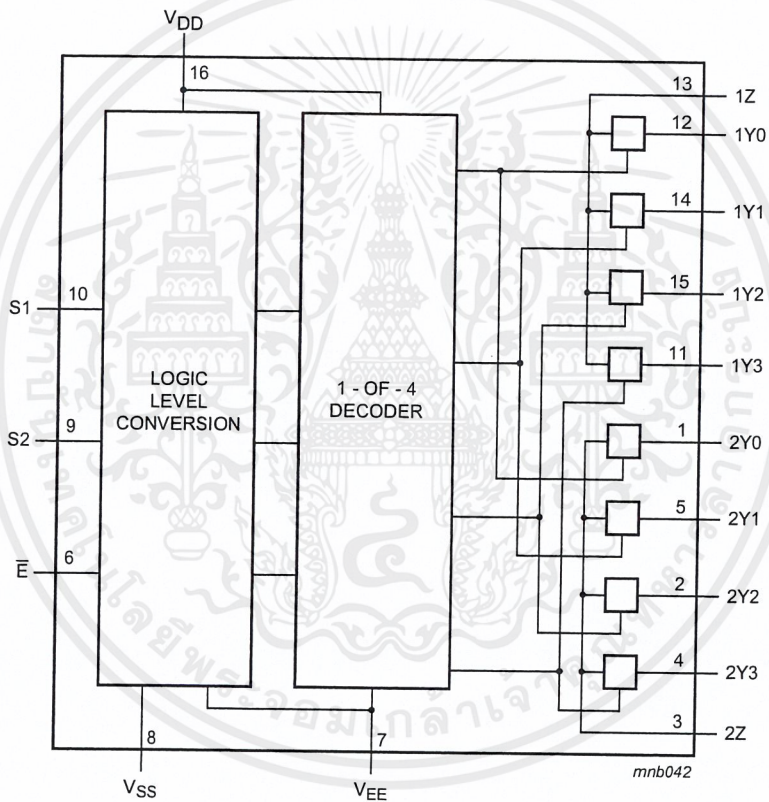


Fig 1. Functional diagram

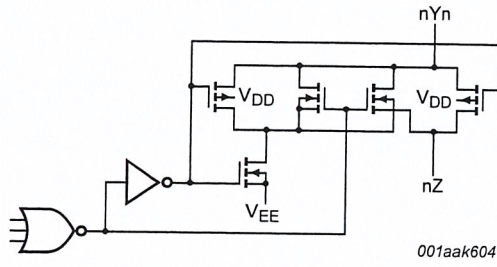


Fig 2. Schematic diagram (one switch)

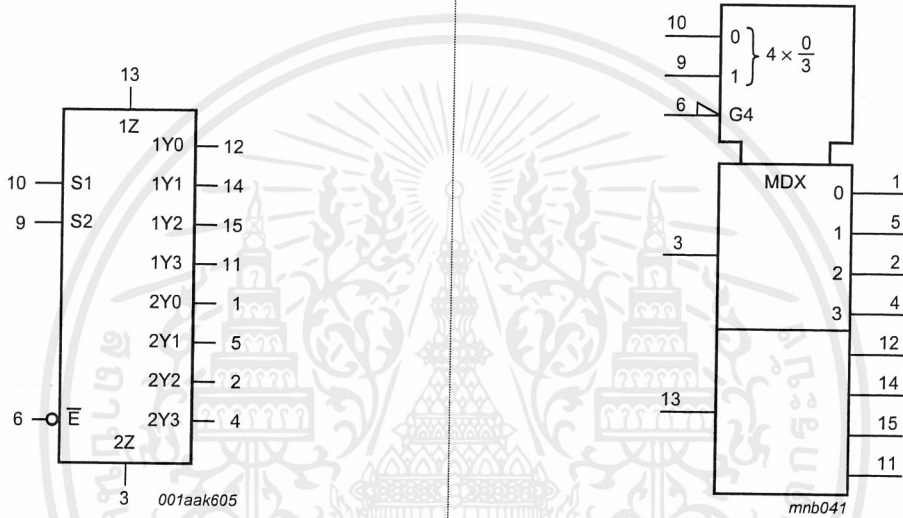


Fig 3. Logic symbol

Fig 4. IEC logic symbol

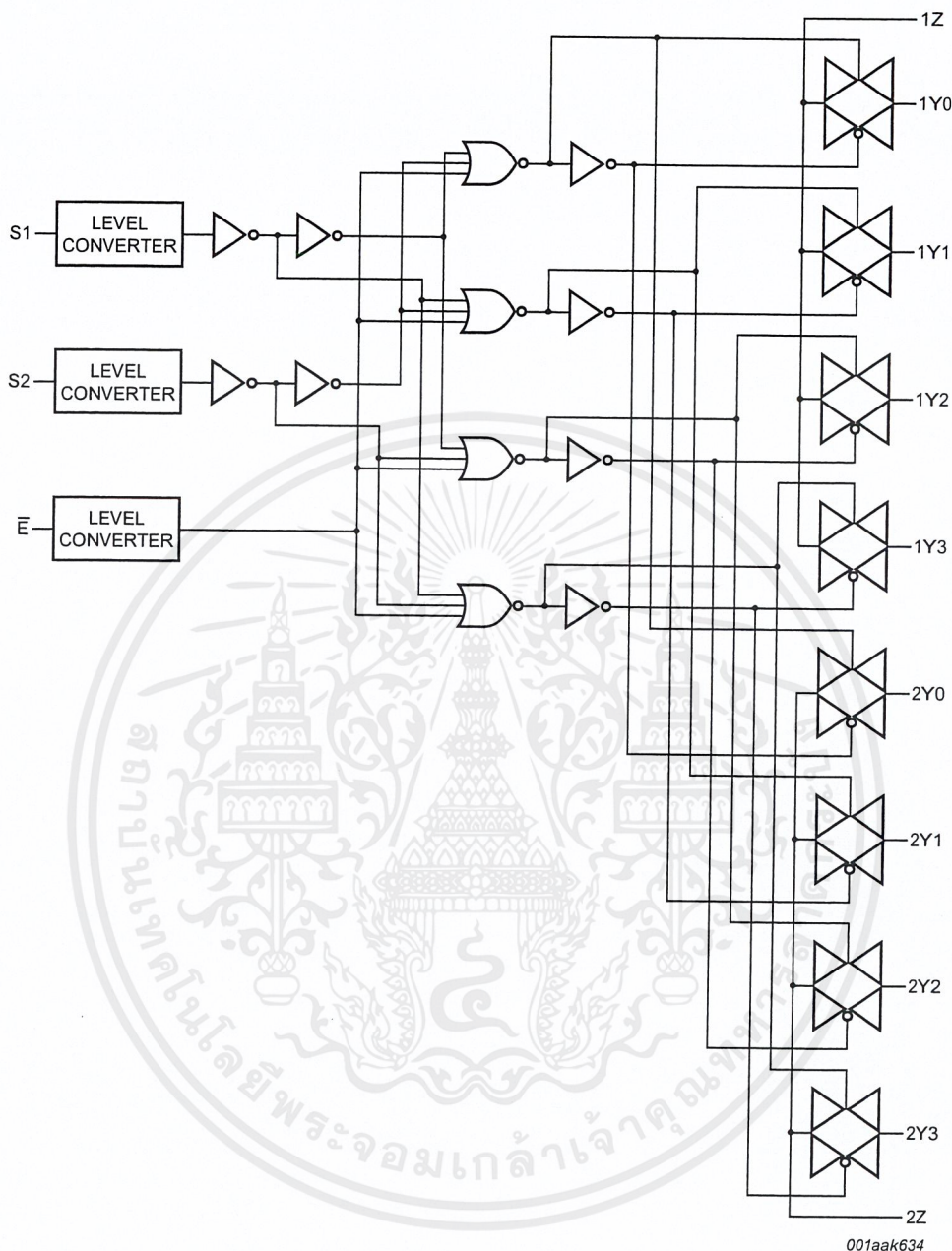
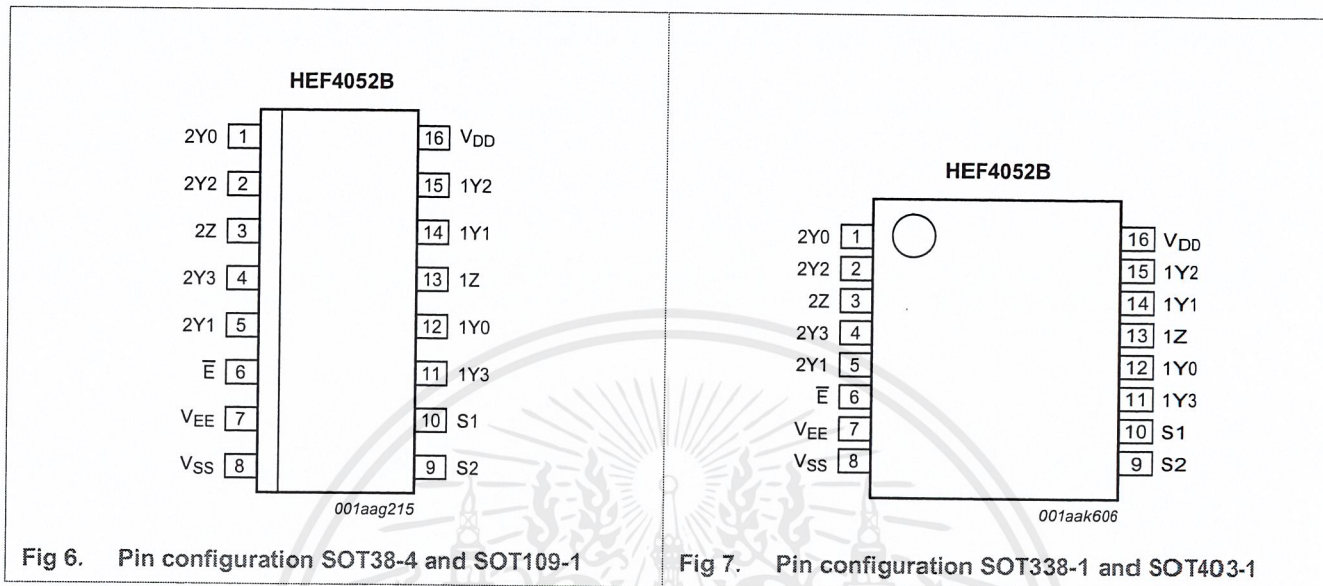


Fig 5. Logic diagram

6. Pinning information

6.1 Pinning



6.2 Pin description

Table 2. Pin description

Symbol	Pin	Description
\bar{E}	6	enable input (active LOW)
V_{EE}	7	supply voltage
V_{SS}	8	ground supply voltage
S1, S2	10, 9	select input
1Y0, 1Y1, 1Y2, 1Y3, 2Y0, 2Y1, 2Y2, 2Y3	12, 14, 15, 11, 1, 5, 2, 4	independent input or output
1Z, 2Z	13, 3	common output or input
V_{DD}	16	supply voltage

7. Functional description

7.1 Function table

Table 3. Function table^[1]

Input			Channel on
E	S2	S1	
L	L	L	nY0 to nZ
L	L	H	nY1 to nZ
L	H	L	nY2 to nZ
L	H	H	nY3 to nZ
H	X	X	switches off

- [1] H = HIGH voltage level;
L = LOW voltage level;
X = don't care.

8. Limiting values

Table 4. Limiting values

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Voltages are referenced to $V_{SS} = 0$ V (ground).

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
V_{DD}	supply voltage		-0.5	+18	V
V_{EE}	supply voltage	referenced to V_{DD}	[1] -18	+0.5	V
I_{IK}	input clamping current	pins Sn and \bar{E} ; $V_I < -0.5$ V or $V_I > V_{DD} + 0.5$ V	-	± 10	mA
V_I	input voltage		-0.5	$V_{DD} + 0.5$	V
$I_{I/O}$	input/output current		-	± 10	mA
I_{DD}	supply current		-	50	mA
T_{stg}	storage temperature		-65	+150	°C
T_{amb}	ambient temperature		-40	+125	°C
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} = -40$ °C to +125 °C	[2]		
		DIP16 package	-	750	mW
		SO16 package	-	500	mW
		TSSOP16 package	-	500	mW
P	power dissipation	per output	-	100	mW

- [1] To avoid drawing V_{DD} current out of terminal Z, when switch current flows into terminals Y, the voltage drop across the bidirectional switch must not exceed 0.4 V. If the switch current flows into terminal Z, no V_{DD} current will flow out of terminals Y, and in this case there is no limit for the voltage drop across the switch, but the voltages at Y and Z may not exceed V_{DD} or V_{EE} .
- [2] For DIP16 package: P_{tot} derates linearly with 12 mW/K above 70 °C.
For SO16 package: P_{tot} derates linearly with 8 mW/K above 70 °C.
For SSOP16 package: P_{tot} derates linearly with 5.5 mW/K above 60 °C.

9. Recommended operating conditions

Table 5. Recommended operating conditions

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_{DD}	supply voltage	see Figure 8	3	-	15	V
V_I	input voltage		0	-	V_{DD}	V
T_{amb}	ambient temperature	in free air	-40	-	+125	°C
$\Delta t/\Delta V$	input transition rise and fall rate	$V_{DD} = 5\text{ V}$	-	-	3.75	$\mu\text{s/V}$
		$V_{DD} = 10\text{ V}$	-	-	0.5	$\mu\text{s/V}$
		$V_{DD} = 15\text{ V}$	-	-	0.08	$\mu\text{s/V}$

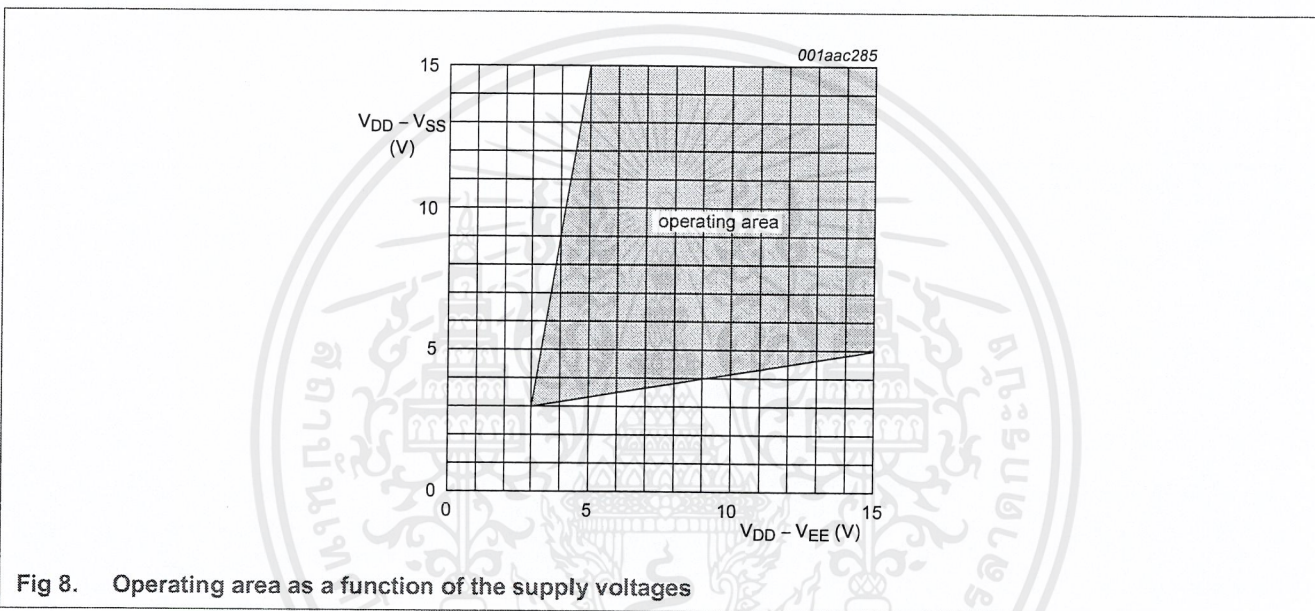


Fig 8. Operating area as a function of the supply voltages

10. Static characteristics

Table 6. Static characteristics

$V_{SS} = V_{EE} = 0\text{ V}$; $V_I = V_{SS}$ or V_{DD} unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	V_{DD}	$T_{amb} = -40\text{ °C}$		$T_{amb} = 25\text{ °C}$		$T_{amb} = 85\text{ °C}$		$T_{amb} = 125\text{ °C}$		Unit
				Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
V_{IH}	HIGH-level input voltage	$ I_O < 1\ \mu\text{A}$	5 V	3.5	-	3.5	-	3.5	-	3.5	-	V
			10 V	7.0	-	7.0	-	7.0	-	7.0	-	V
			15 V	11.0	-	11.0	-	11.0	-	11.0	-	V
V_{IL}	LOW-level input voltage	$ I_O < 1\ \mu\text{A}$	5 V	-	1.5	-	1.5	-	1.5	-	1.5	V
			10 V	-	3.0	-	3.0	-	3.0	-	3.0	V
			15 V	-	4.0	-	4.0	-	4.0	-	4.0	V
I_I	input leakage current		15 V	-	± 0.1	-	± 0.1	-	± 1.0	-	± 1.0	μA

Table 6. Static characteristics ...continued
 $V_{SS} = V_{EE} = 0\text{ V}$; $V_I = V_{SS}$ or V_{DD} unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	V_{DD}	$T_{amb} = -40\text{ }^\circ\text{C}$		$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$		$T_{amb} = 85\text{ }^\circ\text{C}$		$T_{amb} = 125\text{ }^\circ\text{C}$		Unit
				Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
$I_{S(OFF)}$	OFF-state leakage current	Z port; all channels OFF; see Figure 9	15 V	-	-	-	1000	-	-	-	-	nA
		Y port; per channel; see Figure 10	15 V	-	-	-	200	-	-	-	-	nA
I_{DD}	supply current	$I_O = 0\text{ A}$	5 V	-	5	-	5	-	150	-	150	μA
			10 V	-	10	-	10	-	300	-	300	μA
			15 V	-	20	-	20	-	600	-	600	μA
C_I	input capacitance	S_n, \bar{E} inputs	-	-	-	7.5	-	-	-	-	pF	

10.1 Test circuits

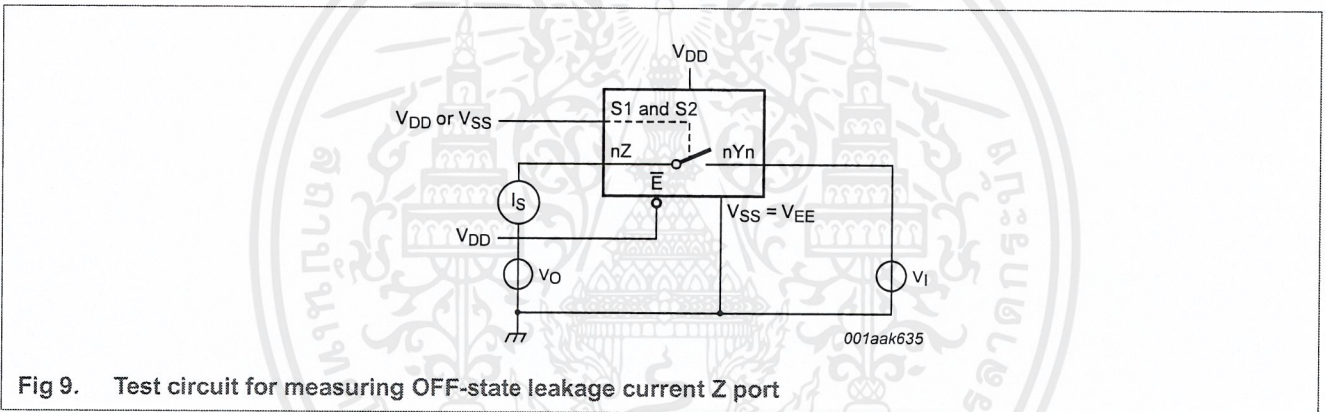


Fig 9. Test circuit for measuring OFF-state leakage current Z port

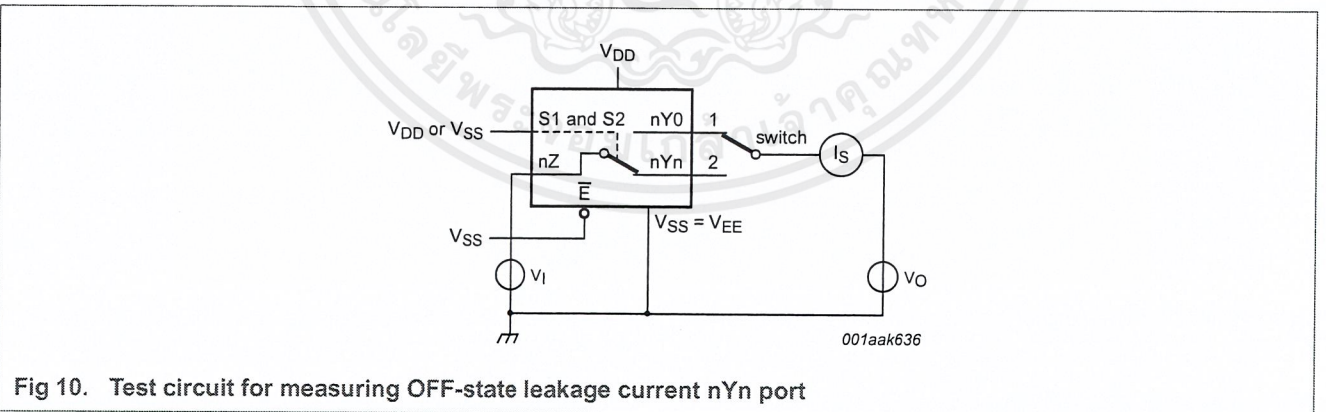


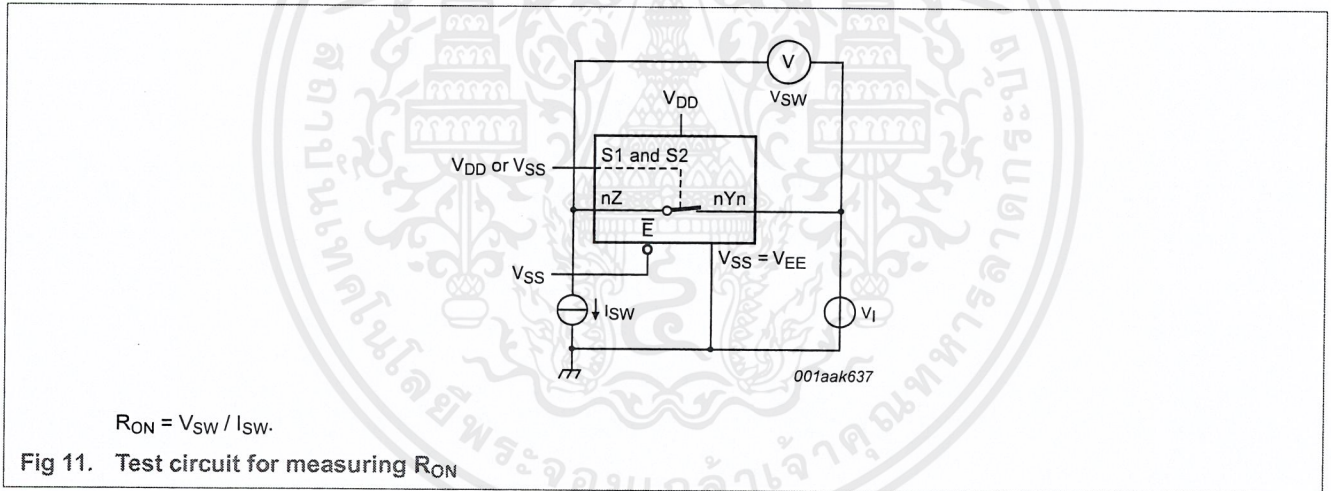
Fig 10. Test circuit for measuring OFF-state leakage current nYn port

10.2 On resistance

Table 7. ON resistance
 $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $I_{SW} = 200\text{ }\mu\text{A}$; $V_{SS} = V_{EE} = 0\text{ V}$.

Symbol	Parameter	Conditions	$V_{DD} - V_{EE}$	Typ	Max	Unit	
$R_{ON(peak)}$	ON resistance (peak)	$V_I = 0\text{ V to }V_{DD} - V_{EE}$; see Figure 11 and Figure 12	5 V	350	2500	Ω	
			10 V	80	245	Ω	
			15 V	60	175	Ω	
$R_{ON(rail)}$	ON resistance (rail)	$V_I = 0\text{ V}$; see Figure 11 and Figure 12	5 V	115	340	Ω	
			10 V	50	160	Ω	
			15 V	40	115	Ω	
			$V_I = V_{DD} - V_{EE}$; see Figure 11 and Figure 12	5 V	120	365	Ω
				10 V	65	200	Ω
				15 V	50	155	Ω
ΔR_{ON}	ON resistance mismatch between channels	$V_I = 0\text{ V to }V_{DD} - V_{EE}$; see Figure 11	5 V	25	-	Ω	
			10 V	10	-	Ω	
			15 V	5	-	Ω	

10.2.1 On resistance waveform and test circuit



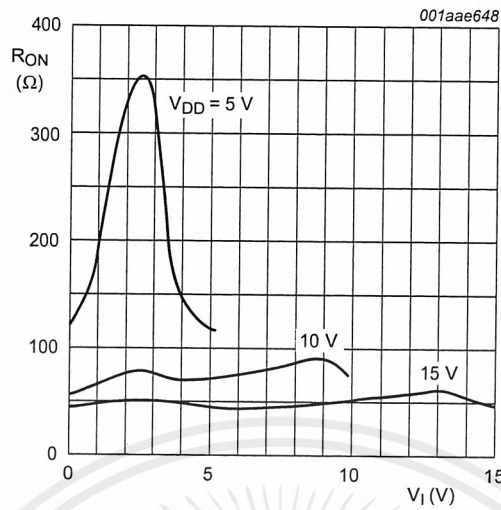


Fig 12. Typical R_{ON} as a function of input voltage

11. Dynamic characteristics

Table 8. Dynamic characteristics
 $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V_{SS} = V_{EE} = 0\text{ V}$; for test circuit see Figure 16.

Symbol	Parameter	Conditions	V_{DD}	Typ	Max	Unit
t_{PHL}	HIGH to LOW propagation delay	nYn, nZ to nZ, nYn; see Figure 13	5 V	10	20	ns
			10 V	5	10	ns
			15 V	5	10	ns
		Sn to nYn, nZ; see Figure 14	5 V	150	305	ns
			10 V	65	135	ns
			15 V	50	100	ns
t_{PLH}	LOW to HIGH propagation delay	Yn, nZ to nZ, nYn; see Figure 13	5 V	10	20	ns
			10 V	5	10	ns
			15 V	5	10	ns
		Sn to nYn, nZ; see Figure 14	5 V	150	300	ns
			10 V	75	150	ns
			15 V	50	100	ns
t_{PHZ}	HIGH to OFF-state propagation delay	\bar{E} to nYn, nZ; see Figure 15	5 V	95	190	ns
			10 V	90	180	ns
			15 V	85	180	ns
t_{PZH}	OFF-state to HIGH propagation delay	\bar{E} to nYn, nZ; see Figure 15	5 V	130	260	ns
			10 V	55	115	ns
			15 V	45	85	ns
t_{PLZ}	LOW to OFF-state propagation delay	\bar{E} to nYn, nZ; see Figure 15	5 V	100	205	ns
			10 V	90	180	ns
			15 V	90	180	ns

Table 8. Dynamic characteristics ...continued
 $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V_{SS} = V_{EE} = 0\text{ V}$; for test circuit see Figure 16.

Symbol	Parameter	Conditions	V_{DD}	Typ	Max	Unit
t_{PZL}	OFF-state to LOW propagation delay	\bar{E} to nYn, nZ; see Figure 15	5 V	120	240	ns
			10 V	50	100	ns
			15 V	35	75	ns

11.1 Waveforms and test circuit

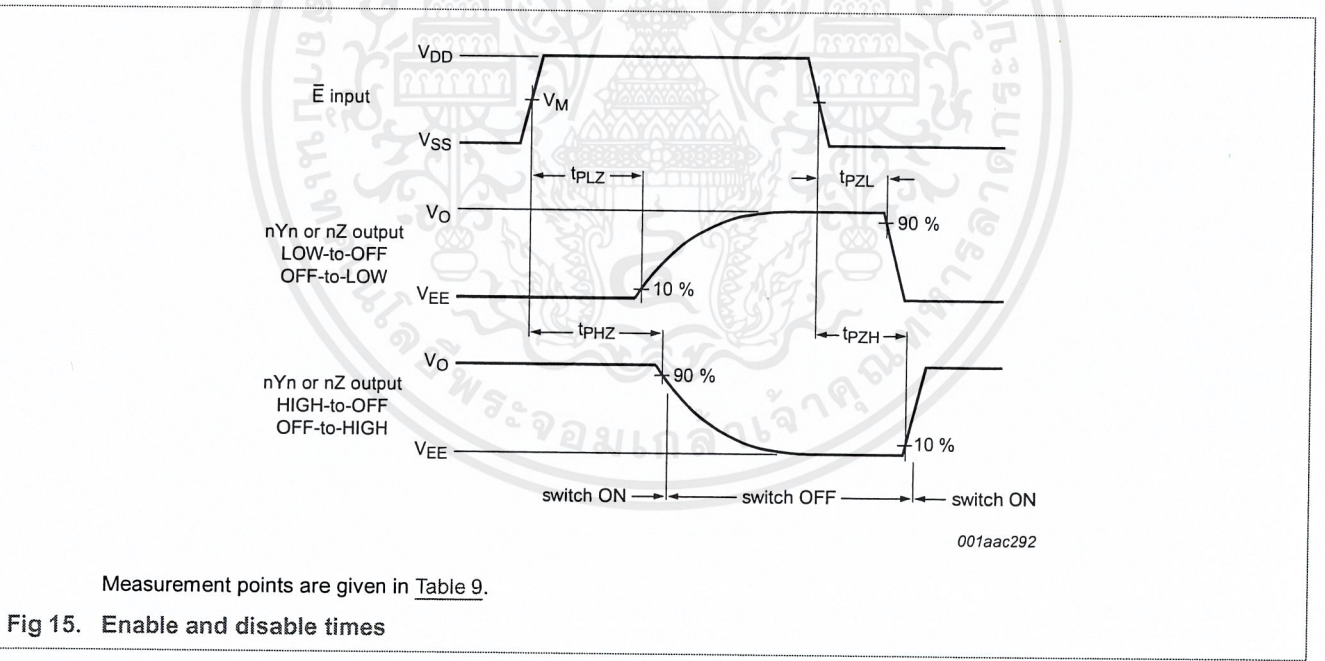
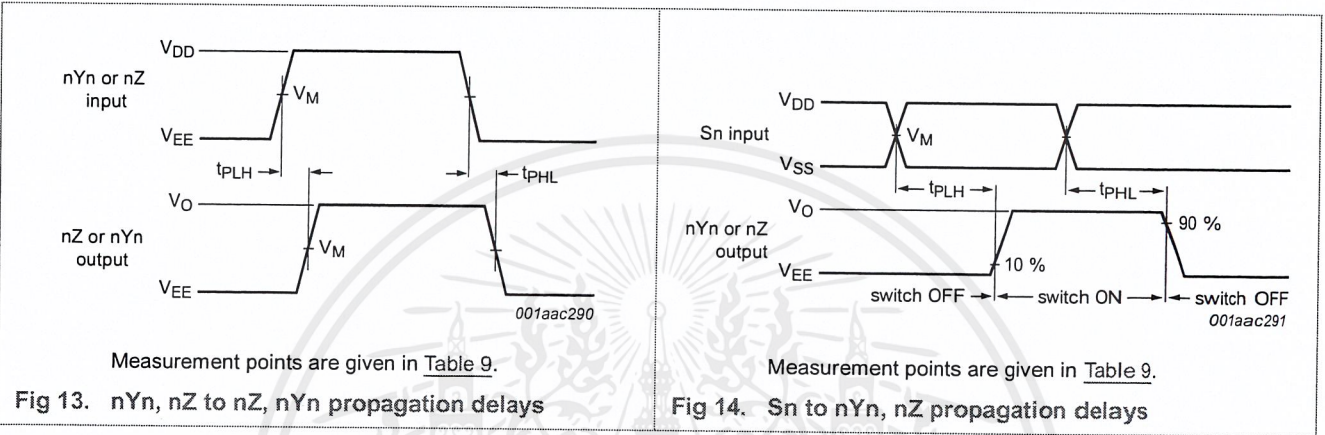
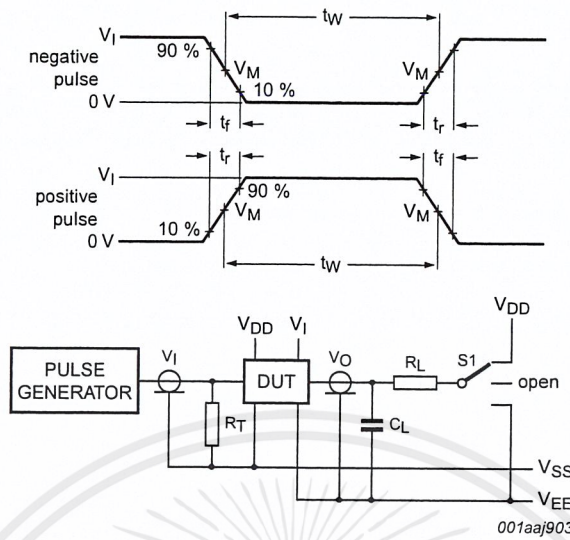


Table 9. Measurement points

Supply voltage	Input	Output
V_{DD}	V_M	V_M
5 V to 15 V	$0.5V_{DD}$	$0.5V_{DD}$



Test data is given in Table 10.

Definitions:

DUT = Device Under Test.

R_T = Termination resistance should be equal to output impedance Z_o of the pulse generator.

C_L = Load capacitance including test jig and probe.

R_L = Load resistance.

Fig 16. Test circuit for measuring switching times

Table 10. Test data

Input		Load				S1 position				
nYn, nZ	Sn and E	t_r, t_f	V_M	C_L	R_L	$t_{PHL}^{[1]}$	t_{PLH}	t_{pZH}, t_{pHZ}	t_{pZL}, t_{pLZ}	other
V_{DD} or V_{EE}	V_{DD} or V_{SS}	≤ 20 ns	$0.5V_{DD}$	50 pF	10 k Ω	V_{DD} or V_{EE}	V_{EE}	V_{EE}	V_{DD}	V_{EE}

[1] For nYn to nZ propagation delays use V_{EE} . For Sn to nYn or nZ propagation delays use V_{DD} .

11.2 Additional dynamic parameters

Table 11. Additional dynamic characteristics
 $V_{SS} = V_{EE} = 0\text{ V}$; $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$.

Symbol	Parameter	Conditions	V_{DD}	Typ	Max	Unit
THD	total harmonic distortion	see Figure 17; $R_L = 10\text{ k}\Omega$; $C_L = 15\text{ pF}$; channel ON; $V_I = 0.5V_{DD}$ (p-p); $f_i = 1\text{ kHz}$	5 V	[1] 0.25	-	%
			10 V	[1] 0.04	-	%
			15 V	[1] 0.04	-	%
$f_{(-3dB)}$	-3 dB frequency response	see Figure 18; $R_L = 1\text{ k}\Omega$; $C_L = 5\text{ pF}$; channel ON; $V_I = 0.5V_{DD}$ (p-p)	5 V	[1] 13	-	MHz
			10 V	[1] 40	-	MHz
			15 V	[1] 70	-	MHz
α_{iso}	isolation (OFF-state)	see Figure 19; $f_i = 1\text{ MHz}$; $R_L = 1\text{ k}\Omega$; $C_L = 5\text{ pF}$; channel OFF; $V_I = 0.5V_{DD}$ (p-p)	10 V	[1] -50	-	dB
V_{ct}	crosstalk voltage	digital inputs to switch; see Figure 20; $R_L = 10\text{ k}\Omega$; $C_L = 15\text{ pF}$; \bar{E} or $S_n = V_{DD}$ (square-wave)	10 V	50	-	mV
Xtalk	crosstalk	between switches; see Figure 21; $f_i = 1\text{ MHz}$; $R_L = 1\text{ k}\Omega$; $V_I = 0.5V_{DD}$ (p-p)	10 V	[1] -50	-	dB

[1] f_i is biased at $0.5 V_{DD}$; $V_I = 0.5V_{DD}$ (p-p).

Table 12. Dynamic power dissipation P_D
 P_D can be calculated from the formulas shown; $V_{EE} = V_{SS} = 0\text{ V}$; $t_r = t_f \leq 20\text{ ns}$; $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$.

Symbol	Parameter	V_{DD}	Typical formula for P_D (μW)	where:
P_D	dynamic power dissipation	5 V	$P_D = 1300 \times f_i + \Sigma(f_o \times C_L) \times V_{DD}^2$	f_i = input frequency in MHz;
		10 V	$P_D = 6100 \times f_i + \Sigma(f_o \times C_L) \times V_{DD}^2$	f_o = output frequency in MHz;
		15 V	$P_D = 15600 \times f_i + \Sigma(f_o \times C_L) \times V_{DD}^2$	C_L = output load capacitance in pF;
				V_{DD} = supply voltage in V;
				$\Sigma(C_L \times f_o)$ = sum of the outputs.

11.2.1 Test circuits

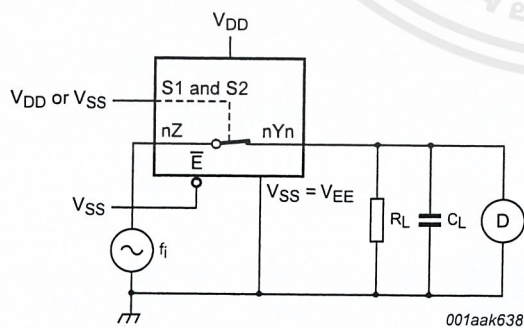


Fig 17. Test circuit for measuring total harmonic distortion

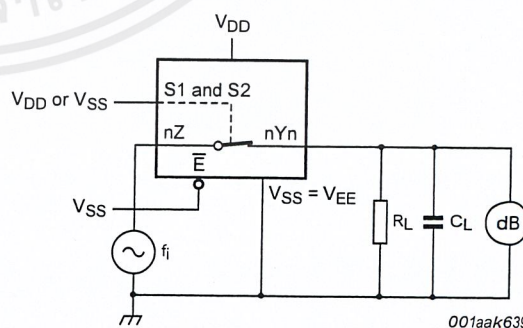


Fig 18. Test circuit for measuring frequency response

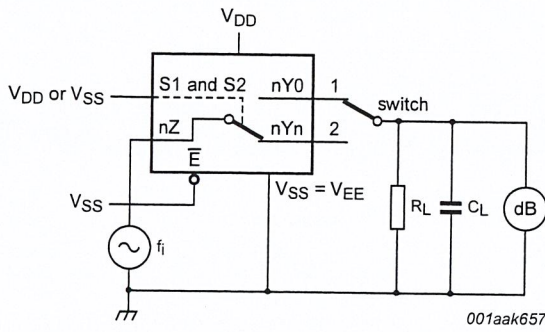
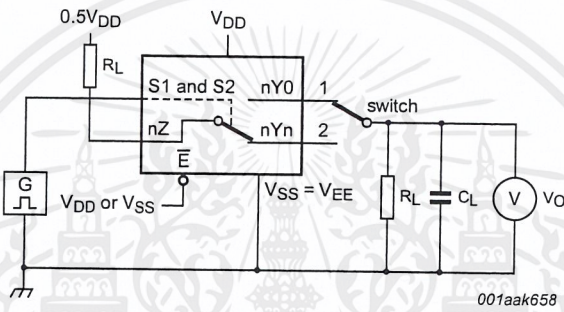
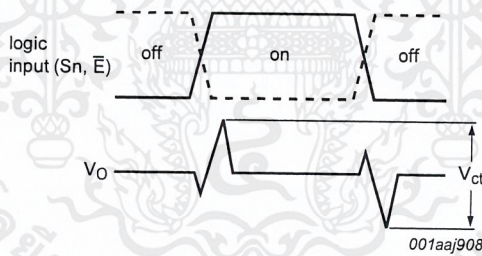


Fig 19. Test circuit for measuring isolation (OFF-state)

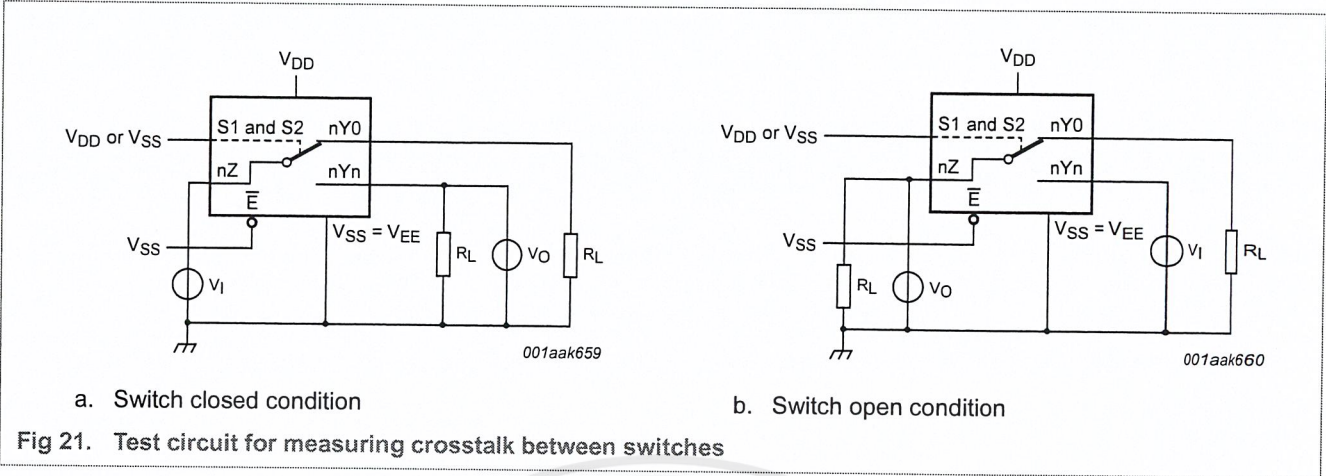


a. Test circuit



b. Input and output pulse definitions

Fig 20. Test circuit for measuring crosstalk voltage between digital inputs and switch



12. Package outline

DIP16: plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil)

SOT38-4

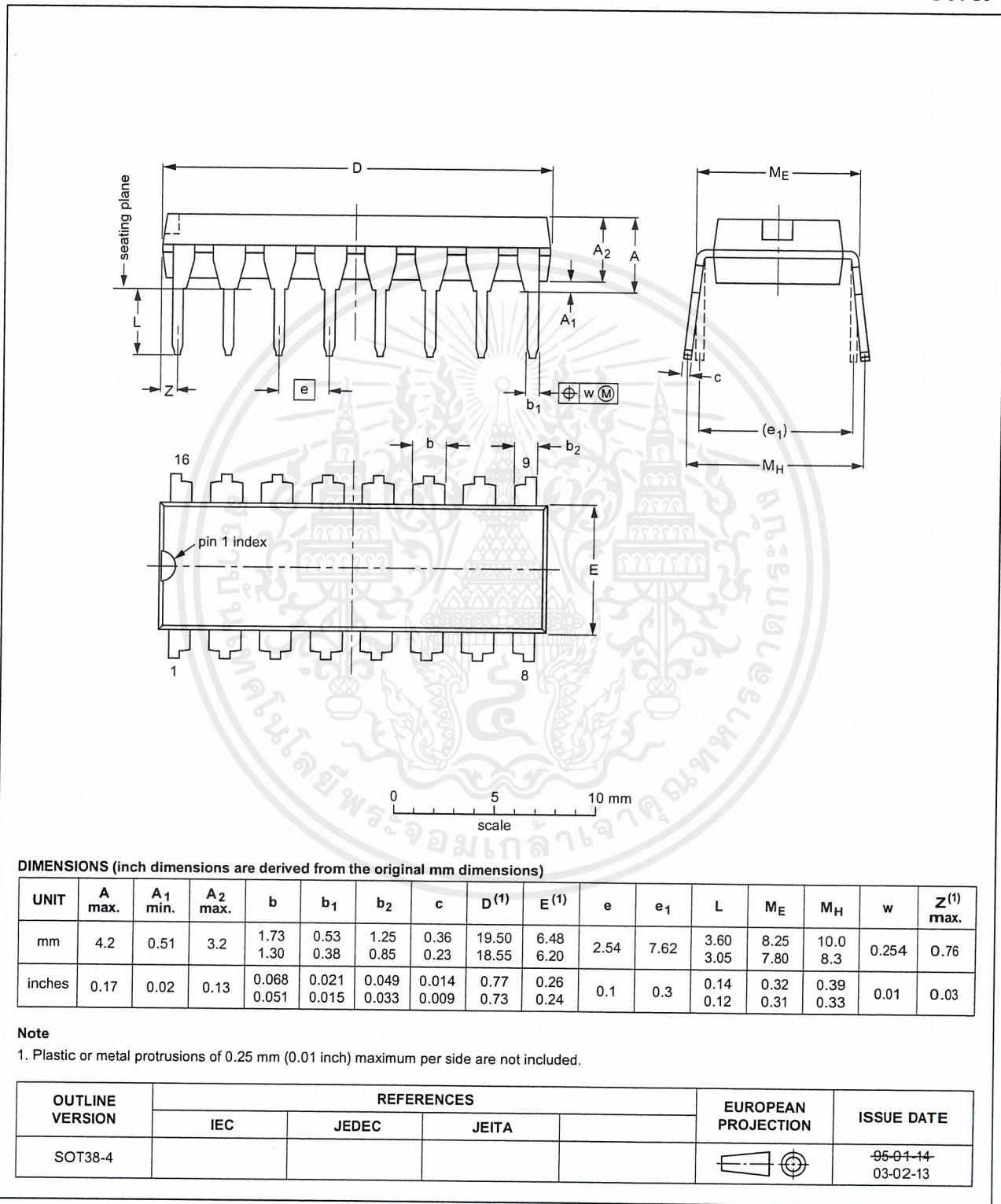


Fig 22. Package outline SOT38-4 (DIP16)

SO16: plastic small outline package; 16 leads; body width 3.9 mm

SOT109-1

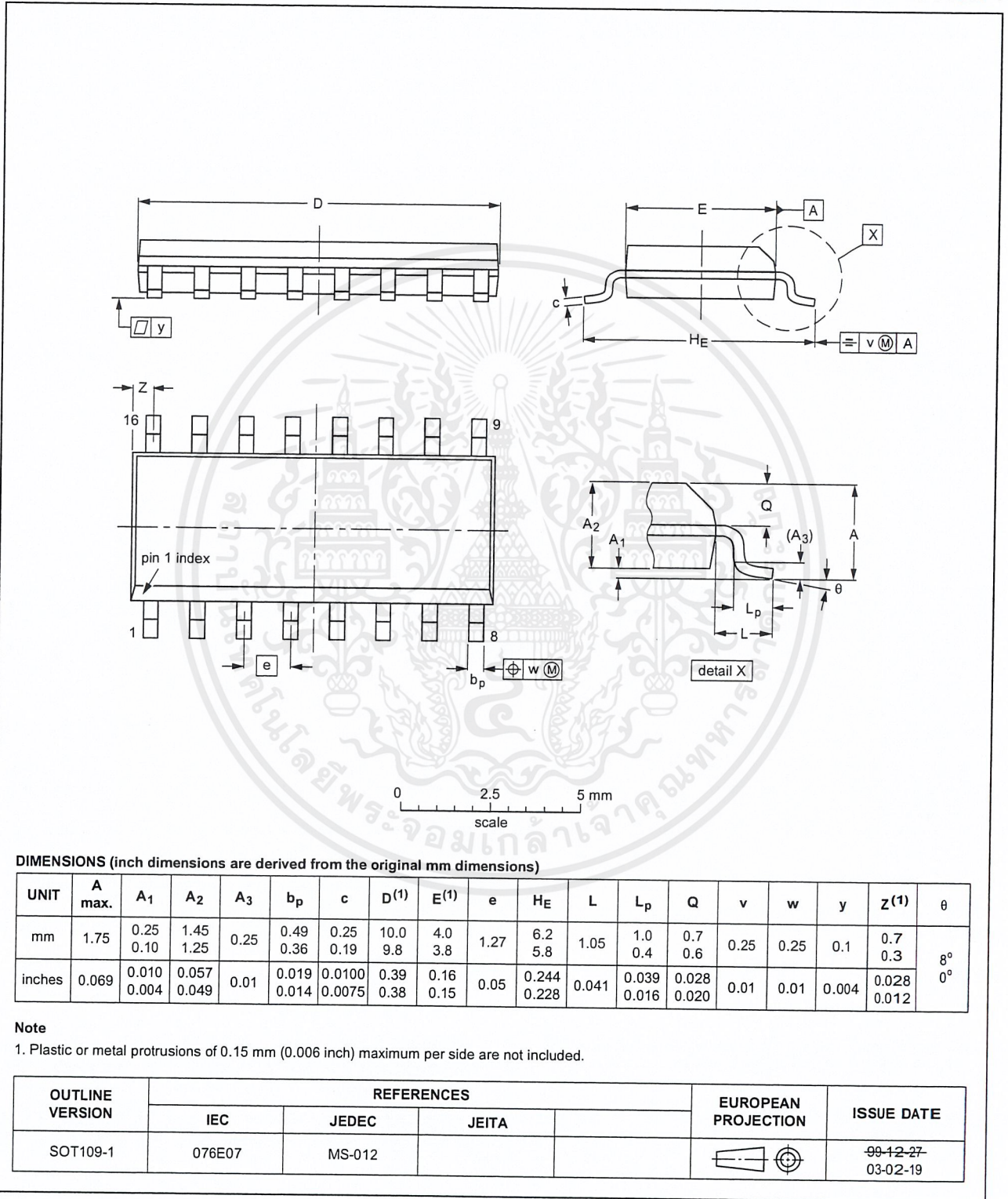


Fig 23. Package outline SOT109-1 (SO16)

TSSOP16: plastic thin shrink small outline package; 16 leads; body width 4.4 mm

SOT403-1

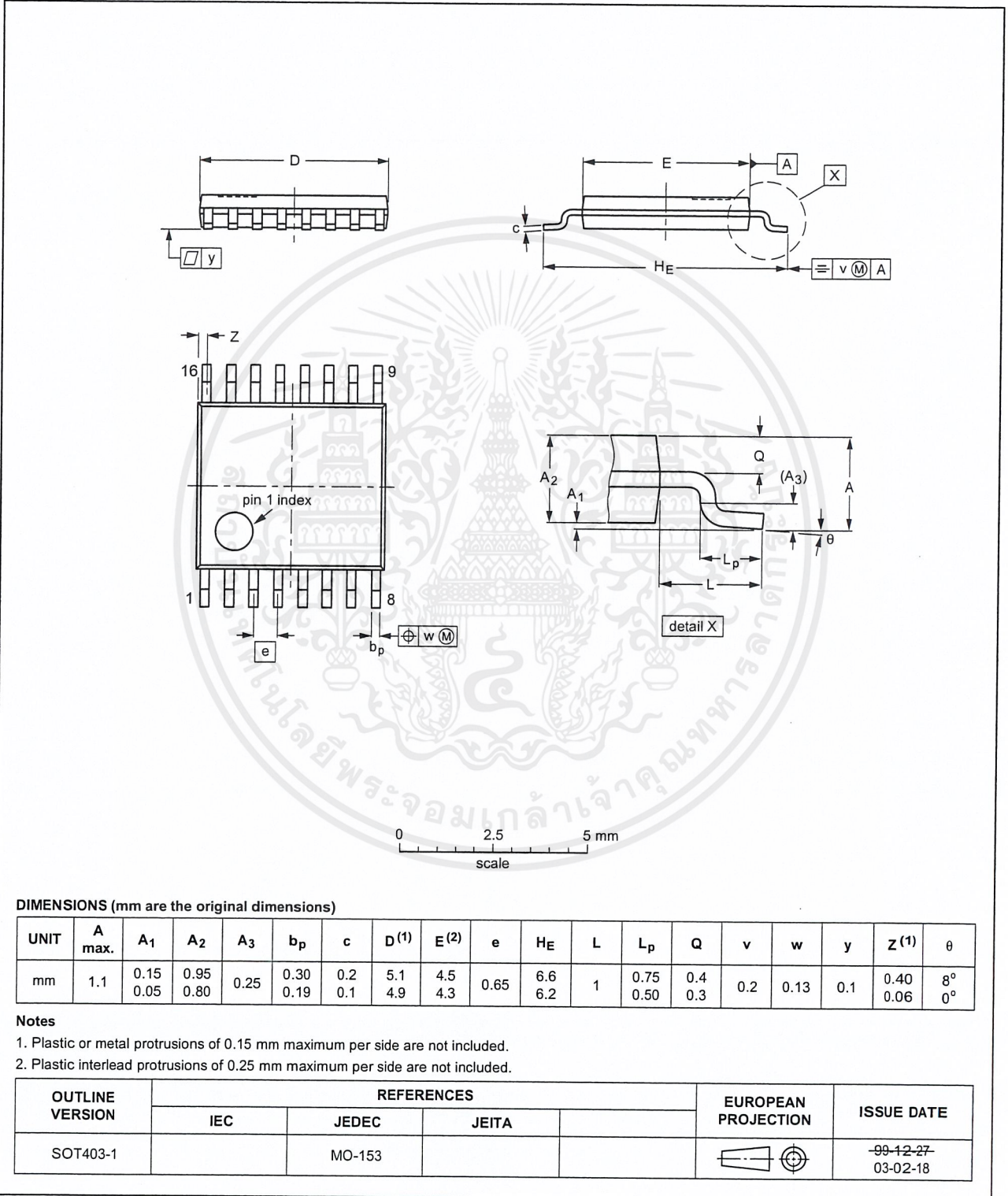


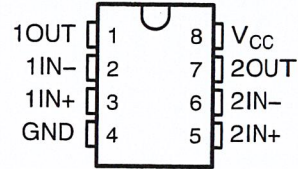
Fig 24. Package outline SOT403-1 (TSSOP16)

LM158, LM158A, LM258, LM258A LM358, LM358A, LM2904, LM2904V DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

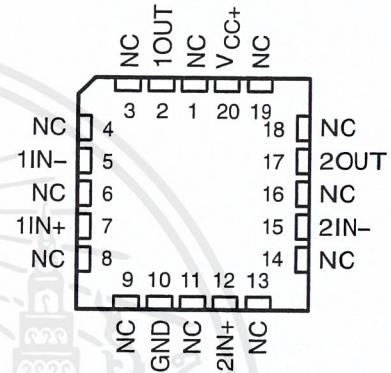
SLOS068R – JUNE 1976 – REVISED JULY 2010

- **Wide Supply Range:**
 - Single Supply . . . 3 V to 32 V (26 V for LM2904)
 - or Dual Supplies . . . ± 1.5 V to ± 16 V (± 13 V for LM2904)
- **Low Supply-Current Drain, Independent of Supply Voltage . . . 0.7 mA Typ**
- **Common-Mode Input Voltage Range Includes Ground, Allowing Direct Sensing Near Ground**
- **Low Input Bias and Offset Parameters:**
 - Input Offset Voltage . . . 3 mV Typ
A Versions . . . 2 mV Typ
 - Input Offset Current . . . 2 nA Typ
 - Input Bias Current . . . 20 nA Typ
A Versions . . . 15 nA Typ
- **Differential Input Voltage Range Equal to Maximum-Rated Supply Voltage . . . 32 V (26 V for LM2904)**
- **Open-Loop Differential Voltage Amplification . . . 100 V/mV Typ**
- **Internal Frequency Compensation**

LM158, LM158A . . . JG PACKAGE
LM258, LM258A . . . D, DGK, OR P PACKAGE
LM358 . . . D, DGK, P, PS, OR PW PACKAGE
LM358A . . . D, DGK, P, OR PW PACKAGE
LM2904 . . . D, DGK, P, PS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



LM158, LM158A . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

description/ordering information

These devices consist of two independent, high-gain frequency-compensated operational amplifiers designed to operate from a single supply over a wide range of voltages. Operation from split supplies also is possible if the difference between the two supplies is 3 V to 32 V (3 V to 26 V for the LM2904), and V_{CC} is at least 1.5 V more positive than the input common-mode voltage. The low supply-current drain is independent of the magnitude of the supply voltage.

Applications include transducer amplifiers, dc amplification blocks, and all the conventional operational amplifier circuits that now can be implemented more easily in single-supply-voltage systems. For example, these devices can be operated directly from the standard 5-V supply used in digital systems and easily can provide the required interface electronics without additional ± 5 -V supplies.



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

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

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2010, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904, LM2904V
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS068R – JUNE 1976 – REVISED JULY 2010

ORDERING INFORMATION†

T _A	V _{IOmax} AT 25°C	MAX TESTED V _{CC}	PACKAGE‡		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING		
0°C to 70°C	7 mV	30 V	PDIP (P)	Tube of 50	LM358P	LM358P		
			SOIC (D)	Tube of 75	LM358D	LM358		
				Reel of 2500	LM358DR			
				Reel of 2500	LM358DRG3			
			SOP (PS)	Reel of 2000	LM358PSR	L358		
			TSSOP (PW)	Tube of 150	LM358PW	L358		
	Reel of 2000	LM358PWR						
	Reel of 2000	LM358PWRG3						
	MSOP/VSSOP (DGK)	Reel of 2500	LM358DGKR	M5_§				
	3 mV	30 V	PDIP (P)	Tube of 50	LM358AP	LM358AP		
			SOIC (D)	Tube of 75	LM358AD	LM358A		
				Reel of 2500	LM358ADR			
TSSOP (PW)			Tube of 150	LM358APW	L358A			
			Reel of 2000	LM358APWR				
MSOP/VSSOP (DGK)			Reel of 2500	LM358ADGKR	M6_§			
-25°C to 85°C	5 mV	30 V	PDIP (P)	Tube of 50	LM258P	LM258P		
			SOIC (D)	Tube of 75	LM258D	LM258		
				Reel of 2500	LM258DR			
				Reel of 2500	LM258DRG3			
	MSOP/VSSOP (DGK)	Reel of 2500	LM258DGKR	M2_§				
	3 mV	30 V	PDIP (P)	Tube of 50	LM258AP	LM258AP		
			SOIC (D)	Tube of 75	LM258AD	LM258A		
				Reel of 2500	LM258ADR			
			MSOP/VSSOP (DGK)	Reel of 2500	LM258ADGKR	M3_§		
			-40°C to 125°C	7 mV	26 V	PDIP (P)	Tube of 50	LM2904P
SOIC (D)						Tube of 75	LM2904D	LM2904
	Reel of 2500	LM2904DR						
	Reel of 2500	LM2904DRG3						
SOP (PS)	Reel of 2000	LM2904PSR				L2904		
TSSOP (PW)	Tube of 150	LM2904PW				L2904		
	Reel of 2000	LM2904PWR						
	Reel of 2000	LM2904PWRG3						
MSOP/VSSOP (DGK)	Reel of 2500	LM2904DGKR		MB_§				
7 mV	32 V	SOIC (D)		Reel of 2500	LM2904VQDR	L2904V		
		TSSOP (PW)		Reel of 2000	LM2904VQPWR	L2904V		
		2 mV		32 V	SOIC (D)	Reel of 2500	LM2904AVQDR	L2904AV
			TSSOP (PW)		Reel of 2000	LM2904AVQPWR	L2904AV	
-55°C to 125°C	5 mV	30 V	CDIP (JG)	Tube of 50	LM158JG	LM158JG		
			LCCC (FK)	Tube of 55	LM158FK	LM158FK		
	2 mV	30 V	CDIP (JG)	Tube of 50	LM158AJG	LM158AJG		
			LCCC (FK)	Tube of 55	LM158AFK	LM158AFK		

† For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI web site at www.ti.com.

‡ Package drawings, thermal data, and symbolization are available at www.ti.com/packaging.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

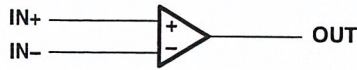
§ The actual top-side marking has one additional character that designates the wafer fab/assembly site.



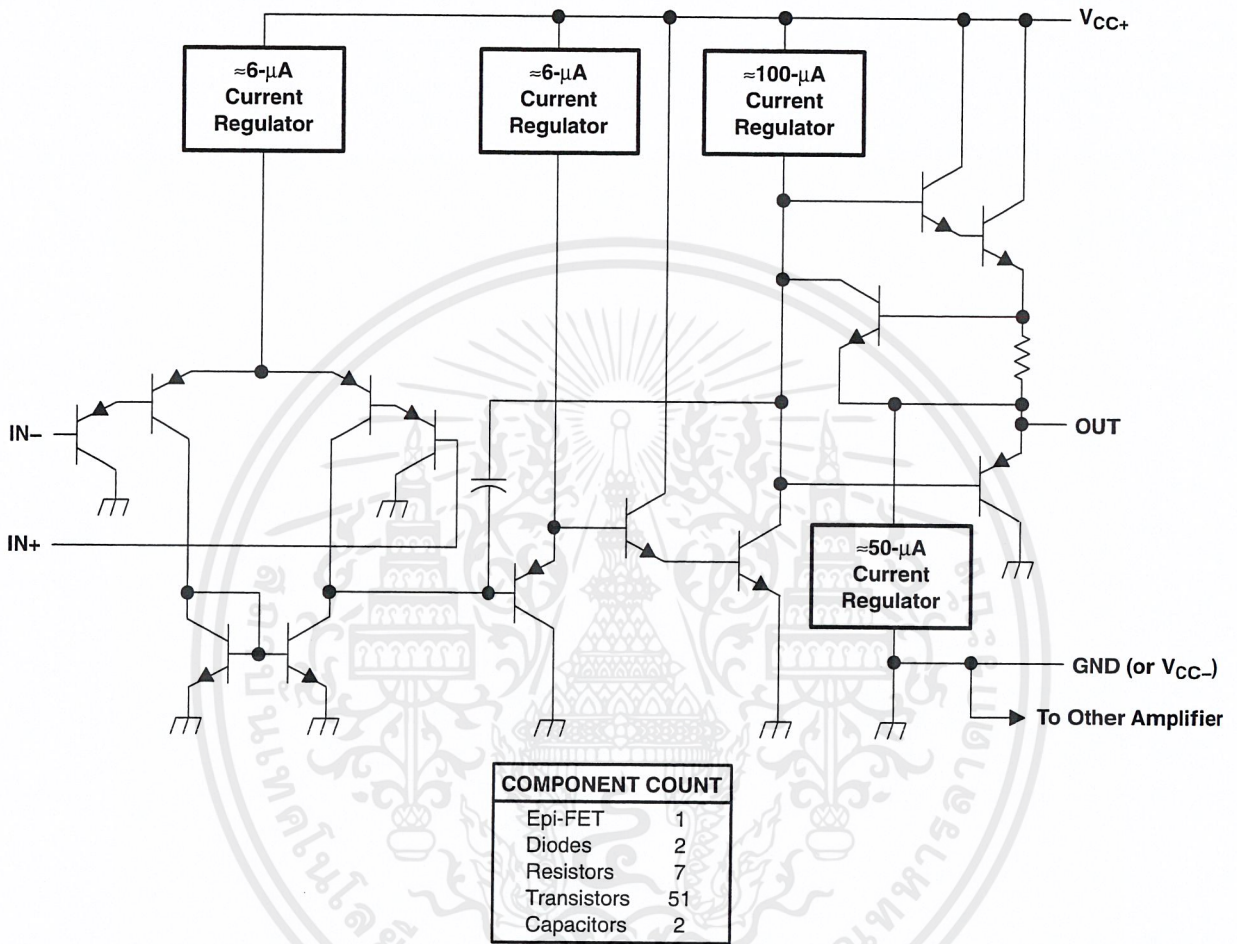
**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904, LM2904V
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS068R – JUNE 1976 – REVISED JULY 2010

symbol (each amplifier)



schematic (each amplifier)



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904, LM2904V
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS068R – JUNE 1976 – REVISED JULY 2010

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)[†]

		LM158, LM158A LM258, LM258A LM358, LM358A LM2904V	LM2904	UNIT
Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)		±16 or 32	±13 or 26	V
Differential input voltage, V_{ID} (see Note 2)		±32	±26	V
Input voltage, V_I (either input)		-0.3 to 32	-0.3 to 26	V
Duration of output short circuit (one amplifier) to ground at (or below) 25°C free-air temperature ($V_{CC} \leq 15$ V) (see Note 3)		Unlimited	Unlimited	
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 4 and 5)	D package	97	97	°C/W
	DGK package	172	172	
	P package	85	85	
	PS package	95	95	
	PW package	149	149	
Package thermal impedance, θ_{JC} (see Notes 6 and 7)	FK package	5.61		°C/W
	JG package	14.5		
Operating free-air temperature range, T_A	LM158, LM158A	-55 to 125		°C
	LM258, LM258A	-25 to 85		
	LM358, LM358A	0 to 70		
	LM2904	-40 to 125	-40 to 125	
Operating virtual junction temperature, T_J		150	150	°C
Case temperature for 60 seconds	FK package	260		°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	JG package	300	300	°C
Storage temperature range, T_{stg}		-65 to 150	-65 to 150	°C

[†] Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
1. All voltage values, except differential voltages and V_{CC} specified for measurement of I_{OS} , are with respect to the network ground terminal.
 2. Differential voltages are at $IN+$ with respect to $IN-$.
 3. Short circuits from outputs to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction.
 4. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
 5. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.
 6. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JC} , and T_C . The maximum allowable power dissipation at any allowable case temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_C)/\theta_{JC}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
 7. The package thermal impedance is calculated in accordance with MIL-STD-883.



**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904, LM2904V
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS068R – JUNE 1976 – REVISED JULY 2010

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†		T_A ‡	LM158 LM258			LM358			UNIT	
				MIN	TYP§	MAX	MIN	TYP§	MAX		
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$, $V_{IC} = V_{ICR(min)}$, $V_O = 1.4\text{ V}$		25°C	3		5		3	7	mV	
			Full range						7		9
$\alpha_{V_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset voltage			Full range		7			7		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$		25°C		2		30		2	50	nA
			Full range								
$\alpha_{I_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset current			Full range		10			10		$\text{pA}/^\circ\text{C}$	
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$		25°C		-20		-150		-20	-250	nA
			Full range								
V_{ICR} Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$		25°C	0 to $V_{CC} - 1.5$			0 to $V_{CC} - 1.5$			V	
			Full range	0 to $V_{CC} - 2$			0 to $V_{CC} - 2$				
V_{OH} High-level output voltage	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$		25°C	$V_{CC} - 1.5$			$V_{CC} - 1.5$			V	
	$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$		25°C	$V_{CC} - 1.5$			$V_{CC} - 1.5$				
	$V_{CC} = \text{MAX}$		Full range	26			26				
			Full range	27			27				28
V_{OL} Low-level output voltage	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$		Full range	5			5			20	mV
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_O = 1\text{ V to } 11\text{ V}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$		25°C	50		100		25	100	V/mV	
			Full range		25				15		
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$, $V_{IC} = V_{ICR(min)}$		25°C	70		80		65	80	dB	
k_{SVR} Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$)	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$		25°C	65		100		65	100	dB	
V_{O1}/V_{O2} Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to } 20\text{ kHz}$		25°C	120			120			dB	
I_O Output current	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{ID} = 1\text{ V}$, $V_O = 0$		Source	25°C	-20			-20			mA
			Full range	-10			-10				
	Sink		25°C	10			10			20	
			Full range	5			5				
I_O Output current	$V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$		25°C	12		30		12	30	μA	
I_{OS} Short-circuit output current	V_{CC} at 5 V, GND at -5 V, $V_O = 0$		25°C		± 40		± 60		± 40	± 60	mA
I_{CC} Supply current (two amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V}$, No load		Full range		0.7		1.2		0.7	1.2	mA
	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_O = 0.5\text{ V}$, No load		Full range		1		2		1	2	

† All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for the LM2904 and 30 V for others.

‡ Full range is -55°C to 125°C for LM158, -25°C to 85°C for LM258, 0°C to 70°C for LM358, and -40°C to 125°C for LM2904.

§ All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904, LM2904V
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS068R – JUNE 1976 – REVISED JULY 2010

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†		T_A ‡	LM2904			UNIT
				MIN	TYP§	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX,}$ $V_{IC} = V_{ICR(min)},$ $V_O = 1.4\text{ V}$	Non-A devices	25°C	3	7	mV	
			Full range	10			
		A-suffix devices	25°C	1	2		
			Full range	4			
$\alpha_{V_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset voltage			Full range	7		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	Non-V device	25°C	2	50	nA	
			Full range	300			
		V-suffix device	25°C	2	50		
			Full range	150			
$\alpha_{I_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset current			Full range	10		$\text{pA}/^\circ\text{C}$	
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$		25°C	-20	-250	nA	
			Full range	-500			
V_{ICR} Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$		25°C	0 to $V_{CC} - 1.5$		V	
			Full range	0 to $V_{CC} - 2$			
V_{OH} High-level output voltage	$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$		25°C	$V_{CC} - 1.5$		V	
		$V_{CC} = \text{MAX,}$ Non-V device	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	Full range	22		
			$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	Full range	23		24
		$V_{CC} = \text{MAX,}$ V-suffix device	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	Full range	26		
$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	Full range		27	28			
V_{OL} Low-level output voltage	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$		Full range	5	20	mV	
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V, } V_O = 1\text{ V to } 11\text{ V,}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$		25°C	25	100	V/mV	
			Full range	15			
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX,}$ $V_{IC} = V_{ICR(min)}$	Non-V device	25°C	50	80	dB	
		V-suffix device	25°C	65	80		
k_{SVR} Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$)	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$		25°C	65	100	dB	
V_{O1}/V_{O2} Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to } 20\text{ kHz}$		25°C	120		dB	
I_O Output current	$V_{CC} = 15\text{ V,}$ $V_{ID} = 1\text{ V, } V_O = 0$	Source	25°C	-20	-30	mA	
			Full range	-10		mA	
	$V_{CC} = 15\text{ V,}$ $V_{ID} = -1\text{ V,}$ $V_O = 15\text{ V}$	Sink	25°C	10	20	mA	
			Full range	5		mA	
	$V_{ID} = -1\text{ V,}$ $V_O = 200\text{ mV}$	Non-V device	25°C	30		μA	
		V-suffix device	25°C	12	40		
I_{OS} Short-circuit output current	V_{CC} at 5 V, GND at -5 V, $V_O = 0$		25°C	± 40	± 60	mA	
I_{CC} Supply current (two amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V, No load}$		Full range	0.7	1.2	mA	
	$V_{CC} = \text{MAX, } V_O = 0.5\text{ V, No load}$		Full range	1	2		

† All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for the LM2904, 32 V for the LM2904V, and 30 V for others.

‡ Full range is -55°C to 125°C for LM158, -25°C to 85°C for LM258, 0°C to 70°C for LM358, and -40°C to 125°C for LM2904.

§ All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904, LM2904V
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS068R – JUNE 1976 – REVISED JULY 2010

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T_A ‡	LM158A			LM258A			UNIT		
			MIN	TYP§	MAX	MIN	TYP§	MAX			
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to }30\text{ V}$, $V_{IC} = V_{ICR(\min)}$, $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C			2		2	3	mV		
		Full range			4		4				
$\alpha_{V_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset voltage		Full range		7	15*		7	15	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C			2		2	15	nA		
		Full range			30		30				
$\alpha_{I_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset current		Full range		10	200		10	200	$\text{pA}/^\circ\text{C}$		
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C			-15		-15	-80	nA		
		Full range			-100		-100				
V_{ICR} Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 30\text{ V}$	25°C		0 to $V_{CC} - 1.5$		0 to $V_{CC} - 1.5$			V		
		Full range		0 to $V_{CC} - 2$		0 to $V_{CC} - 2$					
V_{OH} High-level output voltage	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$	25°C		$V_{CC} - 1.5$		$V_{CC} - 1.5$			V		
		Full range	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	26		26					
			$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	27	28	27	28				
V_{OL} Low-level output voltage	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$	Full range		5	20		5	20	mV		
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_O = 1\text{ V to }11\text{ V}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25°C		50	100		50	100	V/mV		
		Full range		25		25					
CMRR Common-mode rejection ratio		25°C		70	80		70	80	dB		
k_{SVR} Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$)		25°C		65	100		65	100	dB		
V_{O1}/V_{O2} Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to }20\text{ kHz}$	25°C		120		120			dB		
I_O Output current	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{ID} = 1\text{ V}$, $V_O = 0$	Source	25°C		-20	-30	-60	-20	-30	-60	mA
			Full range		-10		-10				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_O = 15$	Sink	25°C		10	20		10	20		
			Full range		5		5				
I_{OS} Short-circuit output current	$V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$	25°C		12	30		12	30	μA		
I_{CC} Supply current (two amplifiers)	V_{CC} at 5 V, GND at -5 V, $V_O = 0$	$V_O = 2.5\text{ V}$, No load	Full range		0.7	1.2		0.7	1.2	mA	
		$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_O = 0.5\text{ V}$, No load	Full range		1	2		1	2		

On products compliant to MIL-PRF-38535, this parameter is not production tested.

All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for LM2904 and 30 V for others.

Full range is -55°C to 125°C for LM158A, -25°C to 85°C for LM258A, and 0°C to 70°C for LM358A.

All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ...
 POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904, LM2904V
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS068R – JUNE 1976 – REVISED JULY 2010

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T_A ‡	LM358A			UNIT	
			MIN	TYP§	MAX		
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to }30\text{ V}$, $V_{IC} = V_{ICR(min)}$, $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	2	3	mV		
		Full range	5				
$\alpha_{V_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset voltage		Full range	7	20	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	2	30	nA		
		Full range	75				
$\alpha_{I_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset current		Full range	10	300	$\text{pA}/^\circ\text{C}$		
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C	-15	-100	nA		
		Full range	-200				
V_{ICR} Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 30\text{ V}$	25°C	0 to $V_{CC} - 1.5$		V		
		Full range	0 to $V_{CC} - 2$				
V_{OH} High-level output voltage	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$	25°C	$V_{CC} - 1.5$		V		
		Full range	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	26			
			$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	27		28	
V_{OL} Low-level output voltage	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$	Full range	5	20	mV		
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_O = 1\text{ V to }11\text{ V}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25°C	25	100	V/mV		
		Full range	15				
CMRR Common-mode rejection ratio		25°C	65	80	dB		
k_{SVR} Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$)		25°C	65	100	dB		
V_{O1}/V_{O2} Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to }20\text{ kHz}$	25°C	120		dB		
I_O Output current	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{ID} = 1\text{ V}$, $V_O = 0$	Source	25°C	-20	-30	-60	mA
		Sink	25°C	10	20		
	Full range		-10				
	$V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_O = 15\text{ V}$	25°C	5				
I_{OS} Short-circuit output current	$V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$	25°C	30		μA		
I_{OS} Short-circuit output current	V_{CC} at 5 V, GND at -5 V, $V_O = 0$	25°C	± 40		± 60	mA	
I_{CC} Supply current (two amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V}$, No load	Full range	0.7	1.2	mA		
	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_O = 0.5\text{ V}$, No load	Full range	1	2			

† All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for LM2904 and 30 V for others.

‡ Full range is -55°C to 125°C for LM158A, -25°C to 85°C for LM258A, and 0°C to 70°C for LM358A.

§ All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904, LM2904V
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS
 SLOS068R – JUNE 1976 – REVISED JULY 2010

operating conditions, $V_{CC} = \pm 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER		TEST CONDITIONS	TYP	UNIT
SR	Slew rate at unity gain	$R_L = 1\text{ M}\Omega$, $C_L = 30\text{ pF}$, $V_I = \pm 10\text{ V}$ (see Figure 1)	0.3	V/ μs
B_1	Unity-gain bandwidth	$R_L = 1\text{ M}\Omega$, $C_L = 20\text{ pF}$ (see Figure 1)	0.7	MHz
V_n	Equivalent input noise voltage	$R_S = 100\ \Omega$, $V_I = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ kHz}$ (see Figure 2)	40	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$

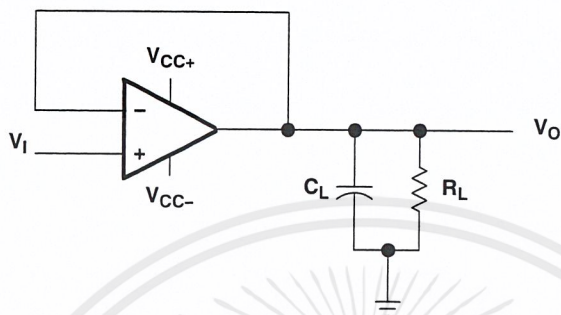


Figure 1. Unity-Gain Amplifier

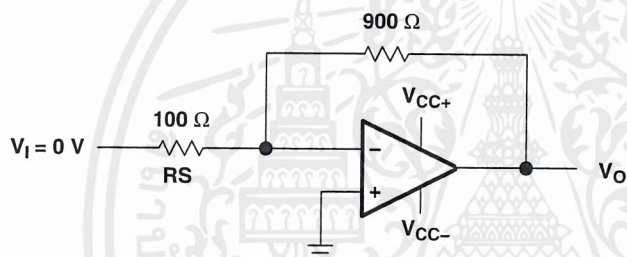


Figure 2. Noise-Test Circuit



PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Top-Side Markings (4)	Samples
5962-87710012A	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	Call TI	Call TI	-55 to 125	5962- 87710012A LM158FKB	Samples
5962-8771001PA	ACTIVE	CDIP	JG	8	1	TBD	Call TI	Call TI	-55 to 125	8771001PA LM158	Samples
5962-87710022A	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	Call TI	Call TI	-55 to 125	5962- 87710022A LM158AFKB	Samples
5962-8771002PA	ACTIVE	CDIP	JG	8	1	TBD	Call TI	Call TI	-55 to 125	8771002PA LM158A	Samples
LM158AFKB	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type	-55 to 125	5962- 87710022A LM158AFKB	Samples
LM158AJG	ACTIVE	CDIP	JG	8	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type	-55 to 125	LM158AJG	Samples
LM158AJGB	ACTIVE	CDIP	JG	8	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type	-55 to 125	8771002PA LM158A	Samples
LM158FKB	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type	-55 to 125	5962- 87710012A LM158FKB	Samples
LM158JG	ACTIVE	CDIP	JG	8	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type	-55 to 125	LM158JG	Samples
LM158JGB	ACTIVE	CDIP	JG	8	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type	-55 to 125	8771001PA LM158	Samples
LM258AD	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	LM258A	Samples
LM258ADE4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	LM258A	Samples
LM258ADG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	LM258A	Samples
LM258ADGKR	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	(M3L, M3P, M3S, M3U)	Samples
LM258ADGKRG4	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	(M3L, M3P, M3S, M3U)	Samples
LM258ADR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	LM258A	Samples

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Top-Side Markings (4)	Samples
LM258ADRE4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	LM258A	Samples
LM258ADRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	LM258A	Samples
LM258AP	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-25 to 85	LM258AP	Samples
LM258APE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-25 to 85	LM258AP	Samples
LM258D	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	LM258	Samples
LM258DE4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	LM258	Samples
LM258DG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	LM258	Samples
LM258DGKR	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	(M2L, M2P, M2S, M2U)	Samples
LM258DGKRG4	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	(M2L, M2P, M2S, M2U)	Samples
LM258DR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	LM258	Samples
LM258DRE4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	LM258	Samples
LM258DRG3	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	LM258	Samples
LM258DRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-25 to 85	LM258	Samples
LM258P	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-25 to 85	LM258P	Samples
LM258PE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-25 to 85	LM258P	Samples
LM2904AVQDR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904AV	Samples
LM2904AVQDRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904AV	Samples
LM2904AVQPWR	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904AV	Samples

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Top-Side Markings (4)	Samples
LM2904AVQPWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904AV	Samples
LM2904D	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM2904	Samples
LM2904DE4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM2904	Samples
LM2904DG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM2904	Samples
LM2904DGKR	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	(MBL, MBP, MBS, MBU)	Samples
LM2904DGKRG4	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	(MBL, MBP, MBS, MBU)	Samples
LM2904DR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM2904	Samples
LM2904DRE4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM2904	Samples
LM2904DRG3	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM2904	Samples
LM2904DRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM2904	Samples
LM2904PE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-40 to 125	LM2904P	Samples
LM2904PE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-40 to 125	LM2904P	Samples
LM2904PSR	ACTIVE	SO	PS	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904	Samples
LM2904PSRE4	ACTIVE	SO	PS	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904	Samples
LM2904PSRG4	ACTIVE	SO	PS	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904	Samples
LM2904PW	ACTIVE	TSSOP	PW	8	150	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904	Samples
LM2904PWE4	ACTIVE	TSSOP	PW	8	150	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904	Samples
LM2904PWG4	ACTIVE	TSSOP	PW	8	150	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904	Samples



TEXAS INSTRUMENTS

www.ti.com

PACKAGE OPTION ADDENDUM

24-Jan-2013

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Top-Side Markings (4)	Samples
LM2904PWLE	OBSOLETE	TSSOP	PW	8		TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125		
LM2904PWR	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904	Samples
LM2904PWRG3	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904	Samples
LM2904QD	OBSOLETE	SOIC	D	8		TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125		
LM2904QDR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	2904Q1	Samples
LM2904QDRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	2904Q1	Samples
LM2904QP	OBSOLETE	PDIP	P	8		TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125		
LM2904VQDR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904V	Samples
LM2904VQDRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904V	Samples
LM2904VQPWR	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904V	Samples
LM2904VQPWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L2904V	Samples
LM358AD	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM358A	Samples
LM358ADE4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM358A	Samples
LM358ADG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM358A	Samples
LM358ADGKR	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	(M6L, M6P, M6S, M6U)	Samples
LM358ADGKRG4	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	(M6L, M6P, M6S, M6U)	Samples
LM358ADR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM358A	Samples
LM358ADRE4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM358A	Samples
LM358ADRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM358A	Samples

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ระบุชนิดงานการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Package Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Top-Side Markings (4)	Samples
LM358AP	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	LM358AP	Samples
LM358APE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	LM358AP	Samples
LM358APW	ACTIVE	TSSOP	PW	8	150	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358A	Samples
LM358APWE4	ACTIVE	TSSOP	PW	8	150	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358A	Samples
LM358APWG4	ACTIVE	TSSOP	PW	8	150	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358A	Samples
LM358APWR	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358A	Samples
LM358APWRE4	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358A	Samples
LM358APWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358A	Samples
LM358D	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM358	Samples
LM358DE4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM358	Samples
LM358DG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM358	Samples
LM358DGKR	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	(M5L, M5P, M5S, M5U)	Samples
LM358DGKRG4	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	(M5L, M5P, M5S, M5U)	Samples
LM358DR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM358	Samples
LM358DRE4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM358	Samples
LM358DRG3	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM358	Samples
LM358DRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	LM358	Samples
LM358P	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	LM358P	Samples



Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Top-Side Markings (4)	Samples
LM358PE3	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU SN	N / A for Pkg Type	0 to 70	LM358P	Samples
LM358PE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	LM358P	Samples
LM358PSLE	OBSOLETE	SO	PS	8		TBD	Call TI	Call TI	0 to 70		
LM358PSR	ACTIVE	SO	PS	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358	Samples
LM358PSRE4	ACTIVE	SO	PS	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358	Samples
LM358PSRG4	ACTIVE	SO	PS	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358	Samples
LM358PW	ACTIVE	TSSOP	PW	8	150	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358	Samples
LM358PWE4	ACTIVE	TSSOP	PW	8	150	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358	Samples
LM358PWG4	ACTIVE	TSSOP	PW	8	150	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358	Samples
LM358PWLE	OBSOLETE	TSSOP	PW	8		TBD	Call TI	Call TI	0 to 70		
LM358PWR	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358	Samples
LM358PWRE4	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358	Samples
LM358PWRG3	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358	Samples
LM358PWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	L358	Samples

(1) The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

(2) Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

(3) MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

(4) Only one of markings shown within the brackets will appear on the physical device.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

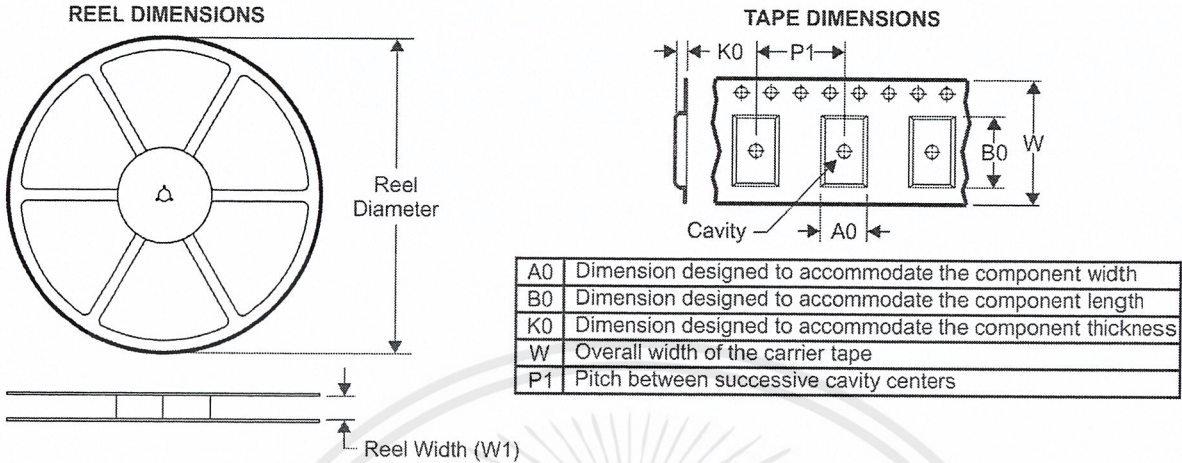
OTHER QUALIFIED VERSIONS OF LM258A, LM2904 :

- Automotive: LM2904-Q1
- Enhanced Product: LM258A-EP

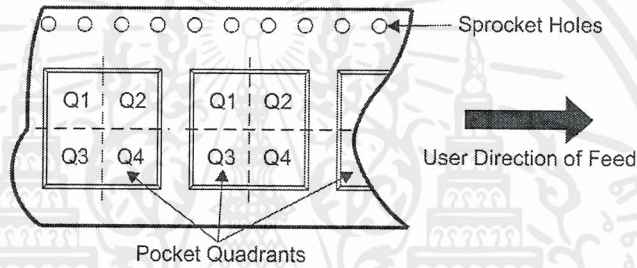
NOTE: Qualified Version Definitions:

- Automotive - Q100 devices qualified for high-reliability automotive applications targeting zero defects
- Enhanced Product - Supports Defense, Aerospace and Medical Applications

TAPE AND REEL INFORMATION



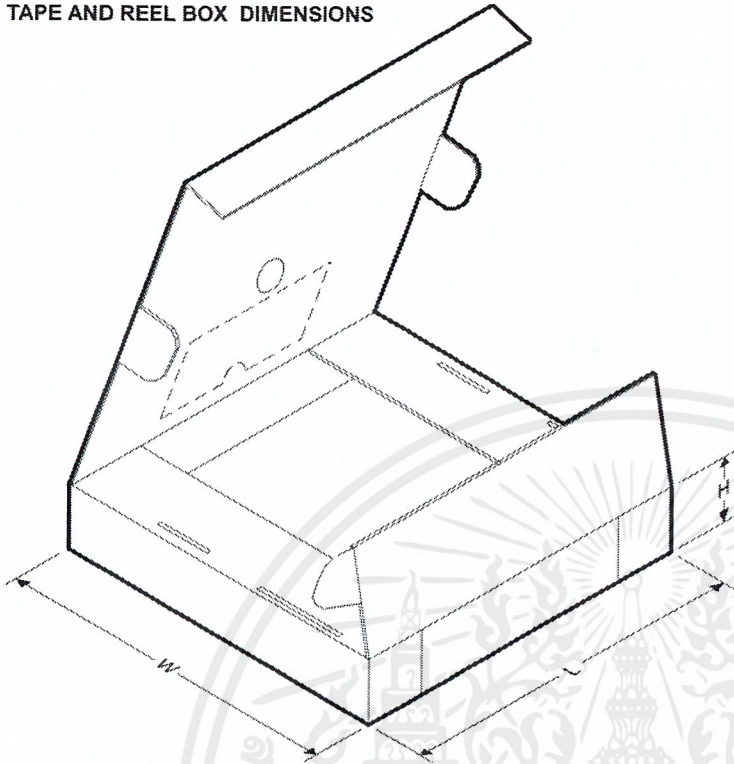
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
LM258ADGKR	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
LM258ADGKR	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
LM258ADR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
LM258ADR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
LM258DGKR	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
LM258DGKR	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
LM258DR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
LM258DR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
LM258DRG4	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
LM258DRG4	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
LM2904AVQPWR	TSSOP	PW	8	2000	330.0	12.4	7.0	3.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM2904DGKR	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
LM2904DGKR	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
LM2904DR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
LM2904DR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
LM2904DRG4	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
LM2904DRG4	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
LM2904PSR	SO	PS	8	2000	330.0	16.4	8.2	6.6	2.5	12.0	16.0	Q1

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
LM2904PWR	TSSOP	PW	8	2000	330.0	12.4	7.0	3.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM2904PWR	TSSOP	PW	8	2000	330.0	12.4	7.0	3.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM2904PWRG3	TSSOP	PW	8	2000	330.0	12.4	7.0	3.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM2904QDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
LM2904VQPWR	TSSOP	PW	8	2000	330.0	12.4	7.0	3.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM358ADGKR	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
LM358ADGKR	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
LM358ADR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
LM358APWR	TSSOP	PW	8	2000	330.0	12.4	7.0	3.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM358APWR	TSSOP	PW	8	2000	330.0	12.4	7.0	3.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM358APWRG4	TSSOP	PW	8	2000	330.0	12.4	7.0	3.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM358DGKR	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
LM358DGKR	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
LM358DR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
LM358DR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	4.0	12.0	Q1
LM358DRG4	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
LM358PSR	SO	PS	8	2000	330.0	16.4	8.2	6.6	2.5	12.0	16.0	Q1
LM358PWR	TSSOP	PW	8	2000	330.0	12.4	7.0	3.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM358PWR	TSSOP	PW	8	2000	330.0	12.4	7.0	3.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM358PWRG3	TSSOP	PW	8	2000	330.0	12.4	7.0	3.6	1.6	8.0	12.0	Q1
LM358PWRG4	TSSOP	PW	8	2000	330.0	12.4	7.0	3.6	1.6	8.0	12.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS


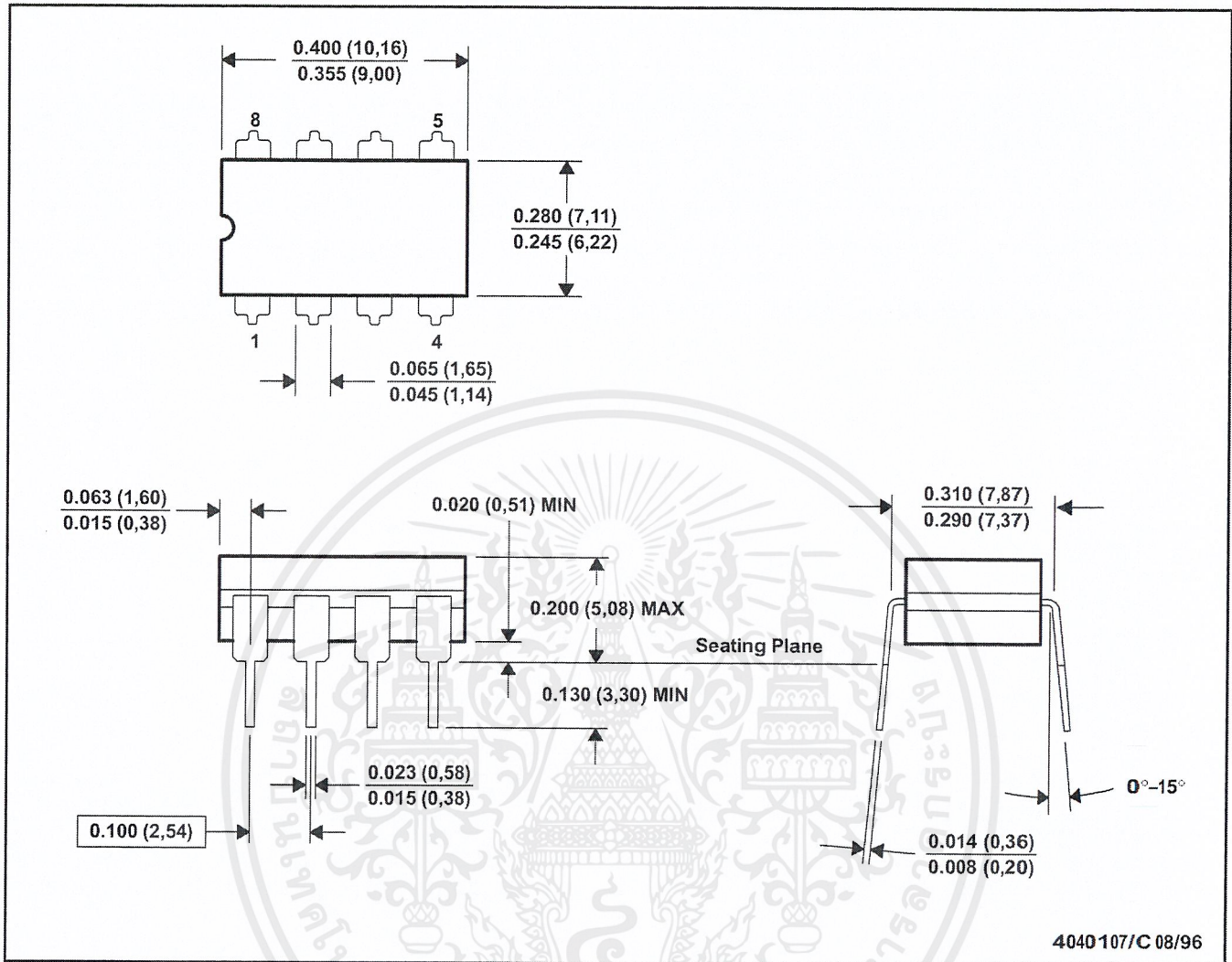
*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LM258ADGKR	VSSOP	DGK	8	2500	332.0	358.0	35.0
LM258ADGKR	VSSOP	DGK	8	2500	364.0	364.0	27.0
LM258ADR	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0
LM258ADR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
LM258DGKR	VSSOP	DGK	8	2500	364.0	364.0	27.0
LM258DGKR	VSSOP	DGK	8	2500	332.0	358.0	35.0
LM258DR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
LM258DR	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0
LM258DRG4	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
LM258DRG4	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0
LM2904AVQPWR	TSSOP	PW	8	2000	367.0	367.0	35.0
LM2904DGKR	VSSOP	DGK	8	2500	364.0	364.0	27.0
LM2904DGKR	VSSOP	DGK	8	2500	332.0	358.0	35.0
LM2904DR	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0
LM2904DR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
LM2904DRG4	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
LM2904DRG4	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0
LM2904PSR	SO	PS	8	2000	367.0	367.0	38.0
LM2904PWR	TSSOP	PW	8	2000	364.0	364.0	27.0
LM2904PWR	TSSOP	PW	8	2000	367.0	367.0	35.0

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LM2904PWRG3	TSSOP	PW	8	2000	364.0	364.0	27.0
LM2904QDR	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0
LM2904VQPWR	TSSOP	PW	8	2000	367.0	367.0	35.0
LM358ADGKR	VSSOP	DGK	8	2500	364.0	364.0	27.0
LM358ADGKR	VSSOP	DGK	8	2500	332.0	358.0	35.0
LM358ADR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
LM358APWR	TSSOP	PW	8	2000	367.0	367.0	35.0
LM358APWR	TSSOP	PW	8	2000	364.0	364.0	27.0
LM358APWRG4	TSSOP	PW	8	2000	367.0	367.0	35.0
LM358DGKR	VSSOP	DGK	8	2500	332.0	358.0	35.0
LM358DGKR	VSSOP	DGK	8	2500	364.0	364.0	27.0
LM358DR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
LM358DR	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0
LM358DRG4	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
LM358PSR	SO	PS	8	2000	367.0	367.0	38.0
LM358PWR	TSSOP	PW	8	2000	364.0	364.0	27.0
LM358PWR	TSSOP	PW	8	2000	367.0	367.0	35.0
LM358PWRG3	TSSOP	PW	8	2000	364.0	364.0	27.0
LM358PWRG4	TSSOP	PW	8	2000	367.0	367.0	35.0

JG (R-GDIP-T8)

CERAMIC DUAL-IN-LINE



4040107/C 08/96

- NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 B. This drawing is subject to change without notice.
 C. This package can be hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
 D. Index point is provided on cap for terminal identification.
 E. Falls within MIL STD 1835 GDIP1-T8

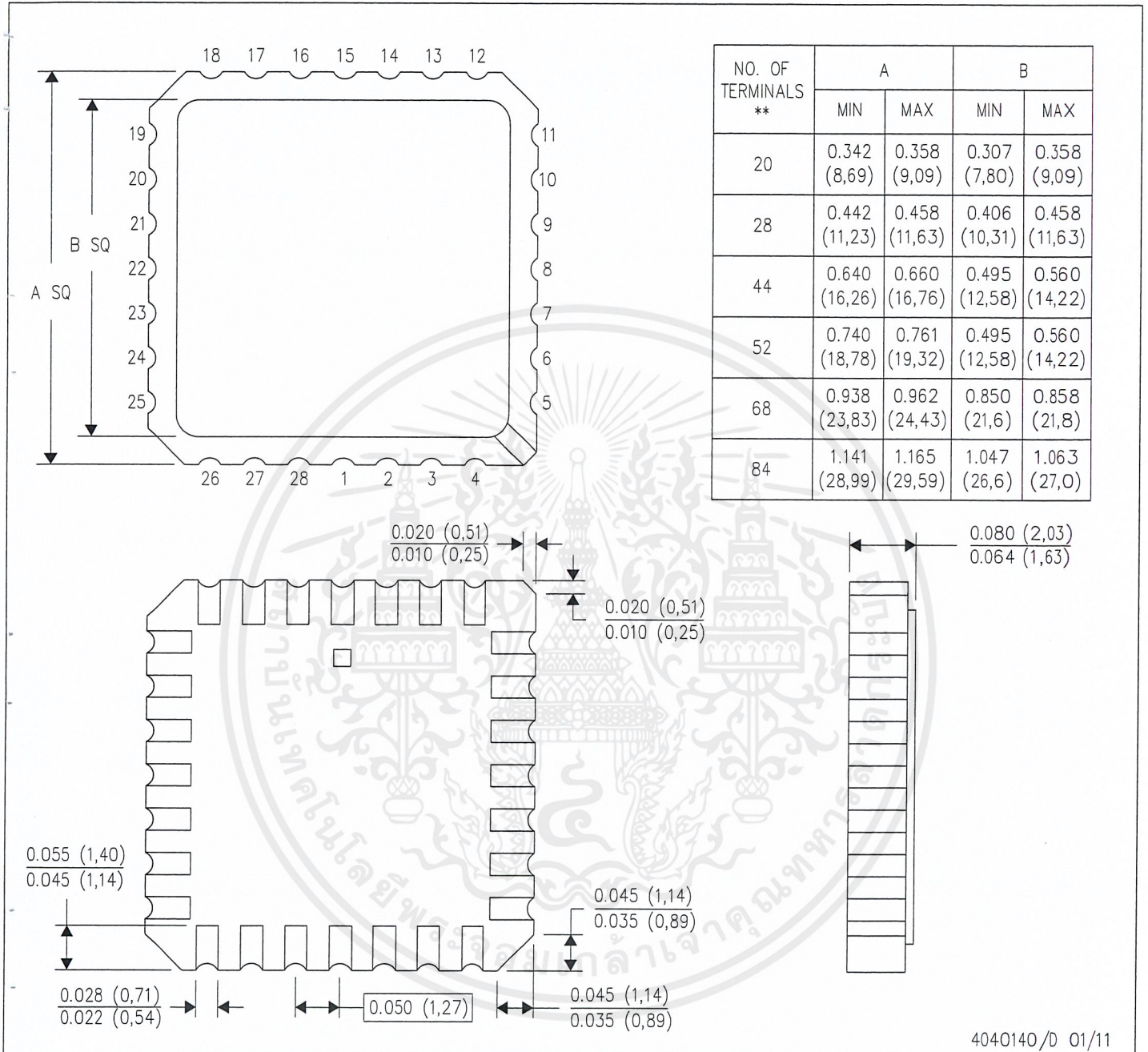


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FK (S-CQCC-N**)

LEADLESS CERAMIC CHIP CARRIER

28 TERMINAL SHOWN



4040140/D 01/11

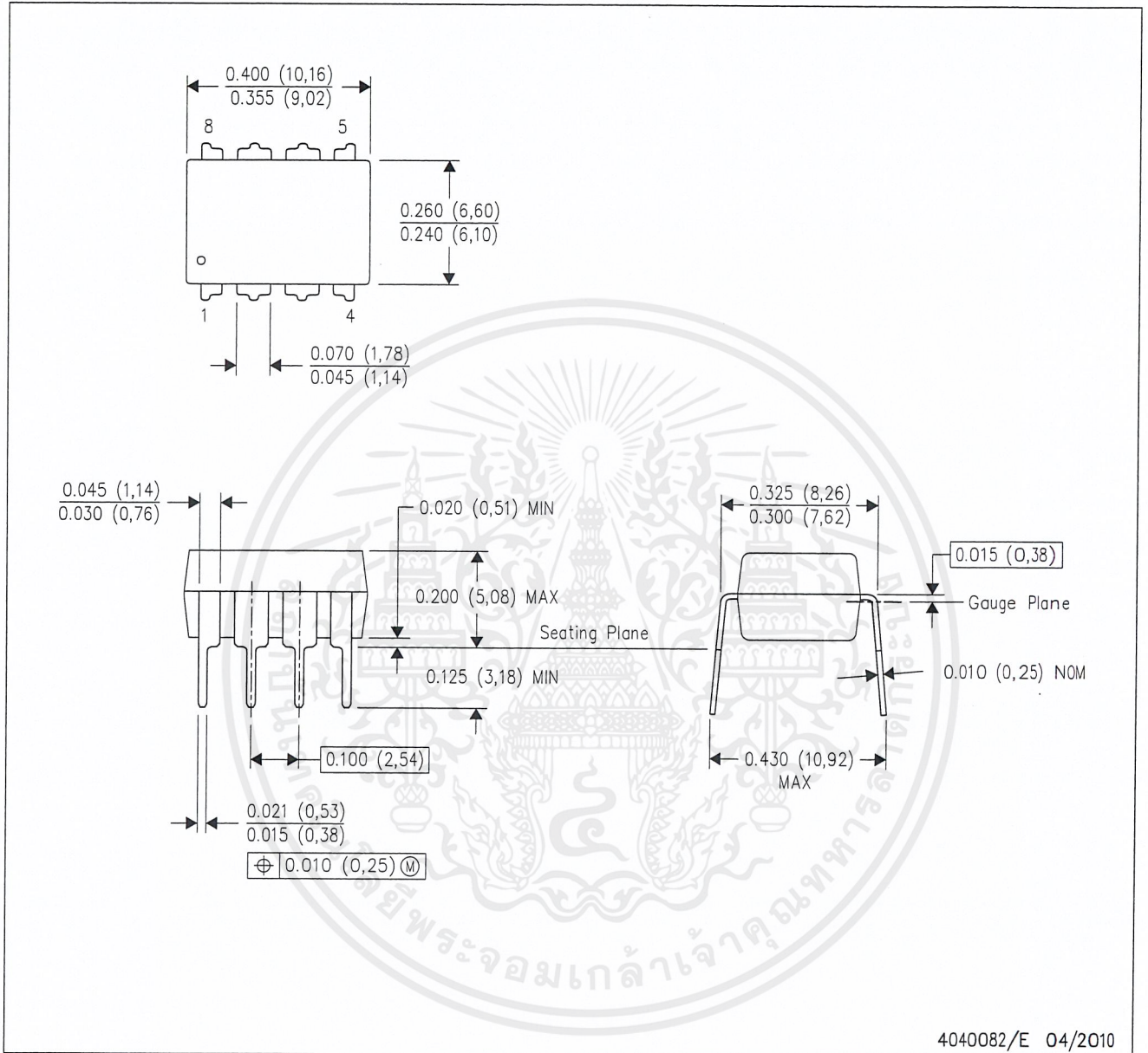
- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. This package can be hermetically sealed with a metal lid.
 - D. Falls within JEDEC MS-004



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ระบุเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 www.ti.com

P (R-PDIP-T8)

PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE

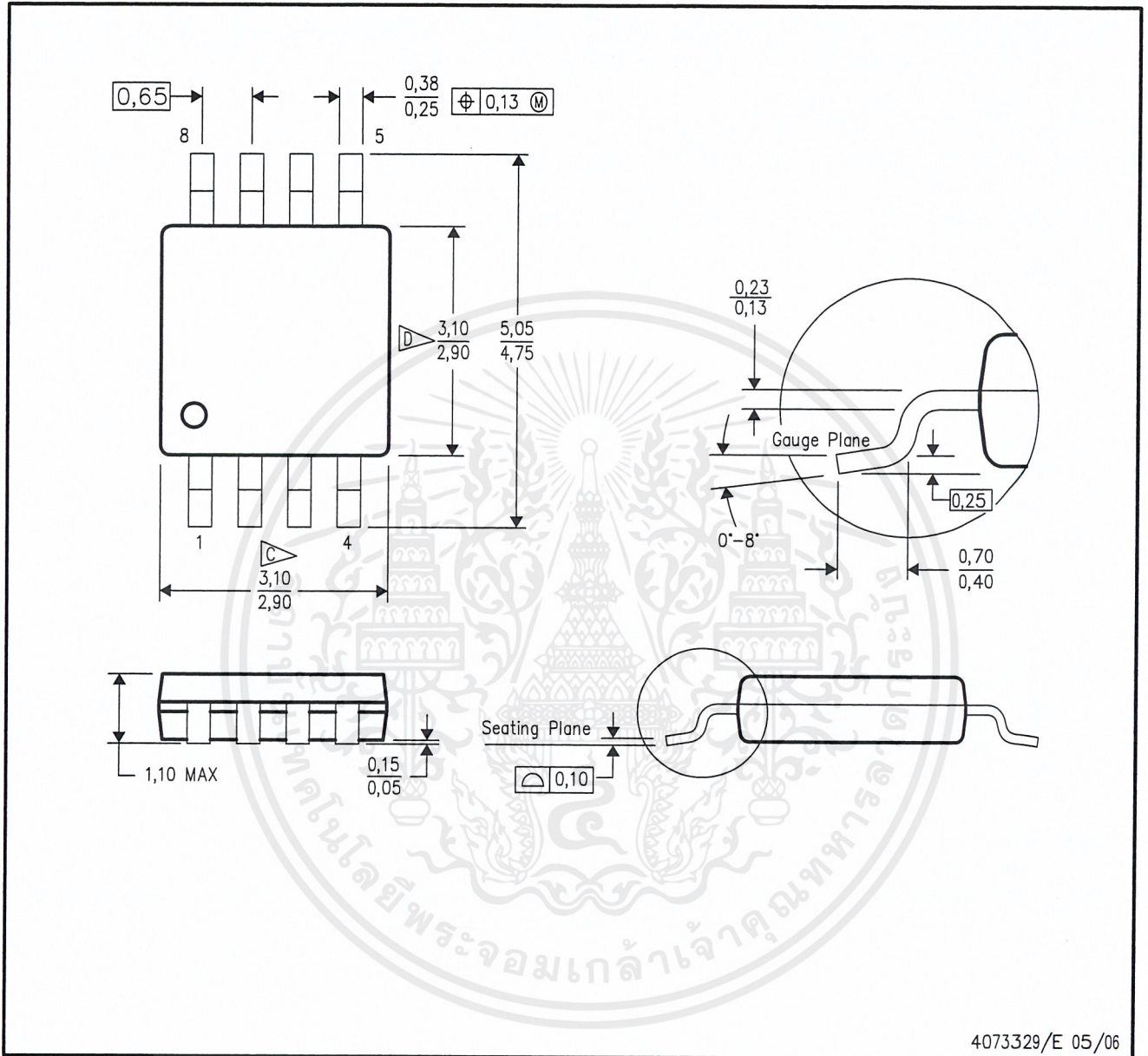


4040082/E 04/2010

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Falls within JEDEC MS-001 variation BA.

DGK (S-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



4073329/E 05/06

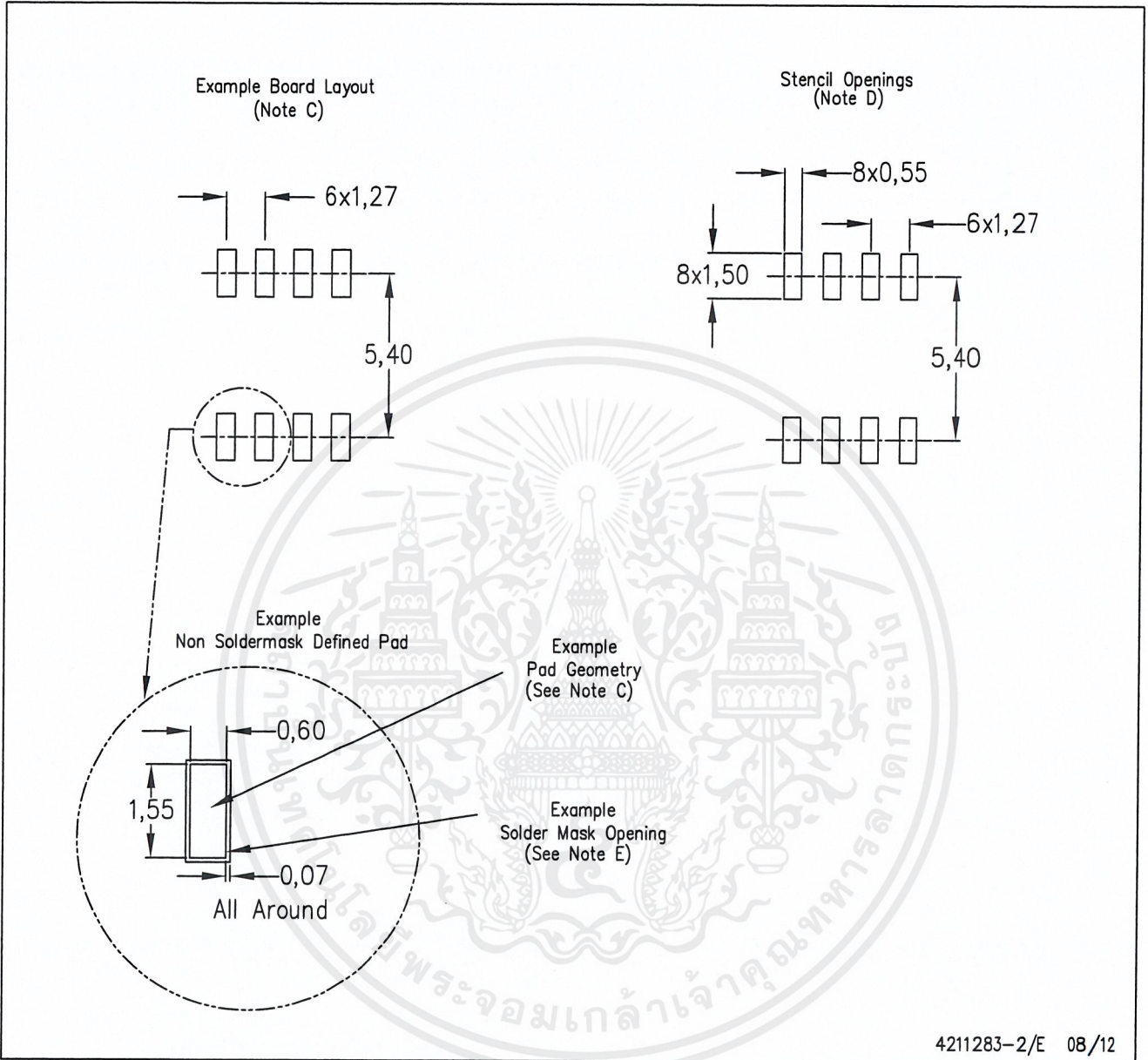
- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 per end.
 - D. Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.50 per side.
 - E. Falls within JEDEC MO-187 variation AA, except interlead flash.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL OUTLINE



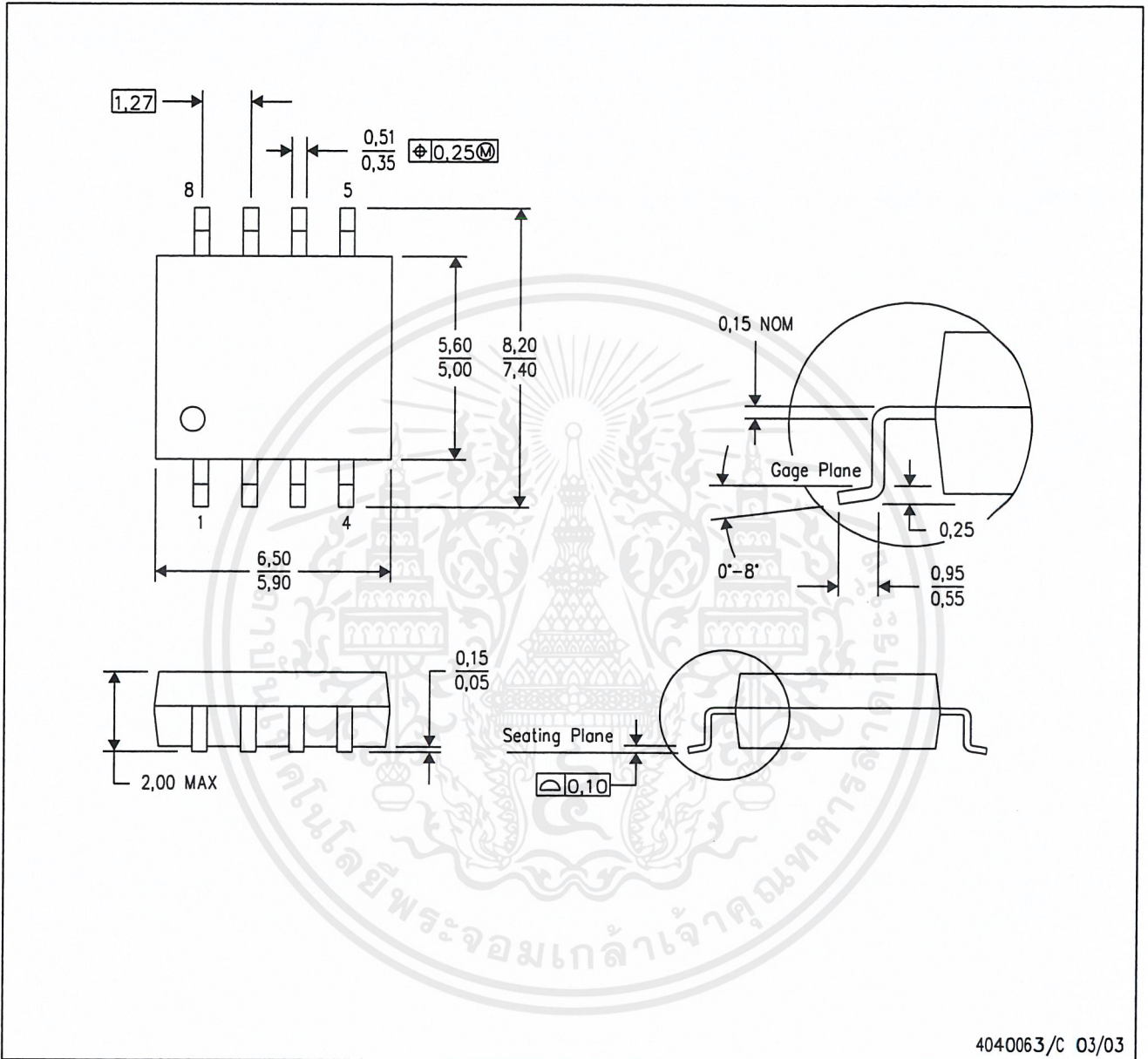
4211283-2/E 08/12

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs.
 - D. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Refer to IPC-7525 for other stencil recommendations.
 - E. Customers should contact their board fabrication site for solder mask tolerances between and around signal pads.

MECHANICAL DATA

PS (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



4040063/C 03/03

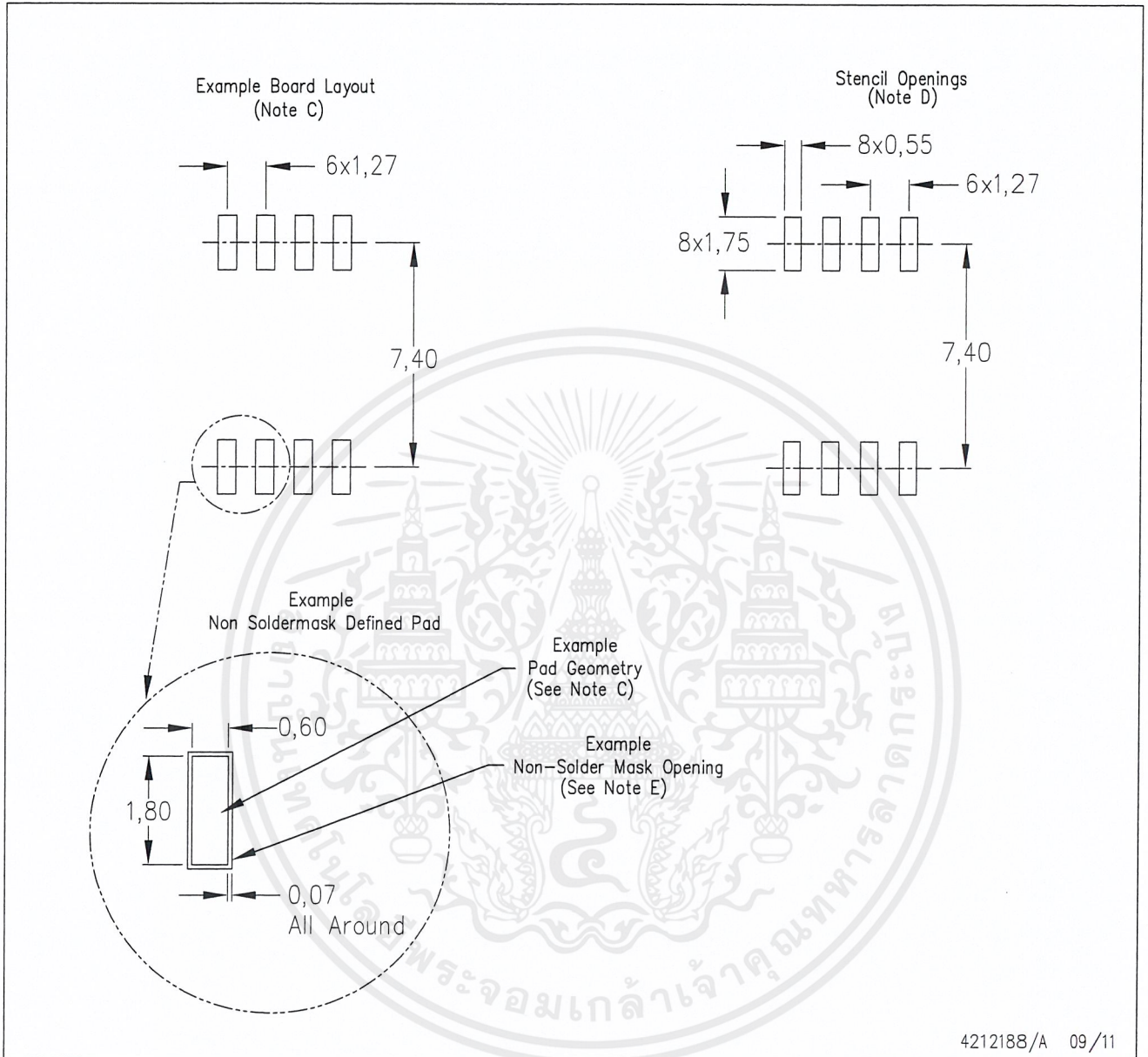
- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion, not to exceed 0,15.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PS (R-PDSO-G8)

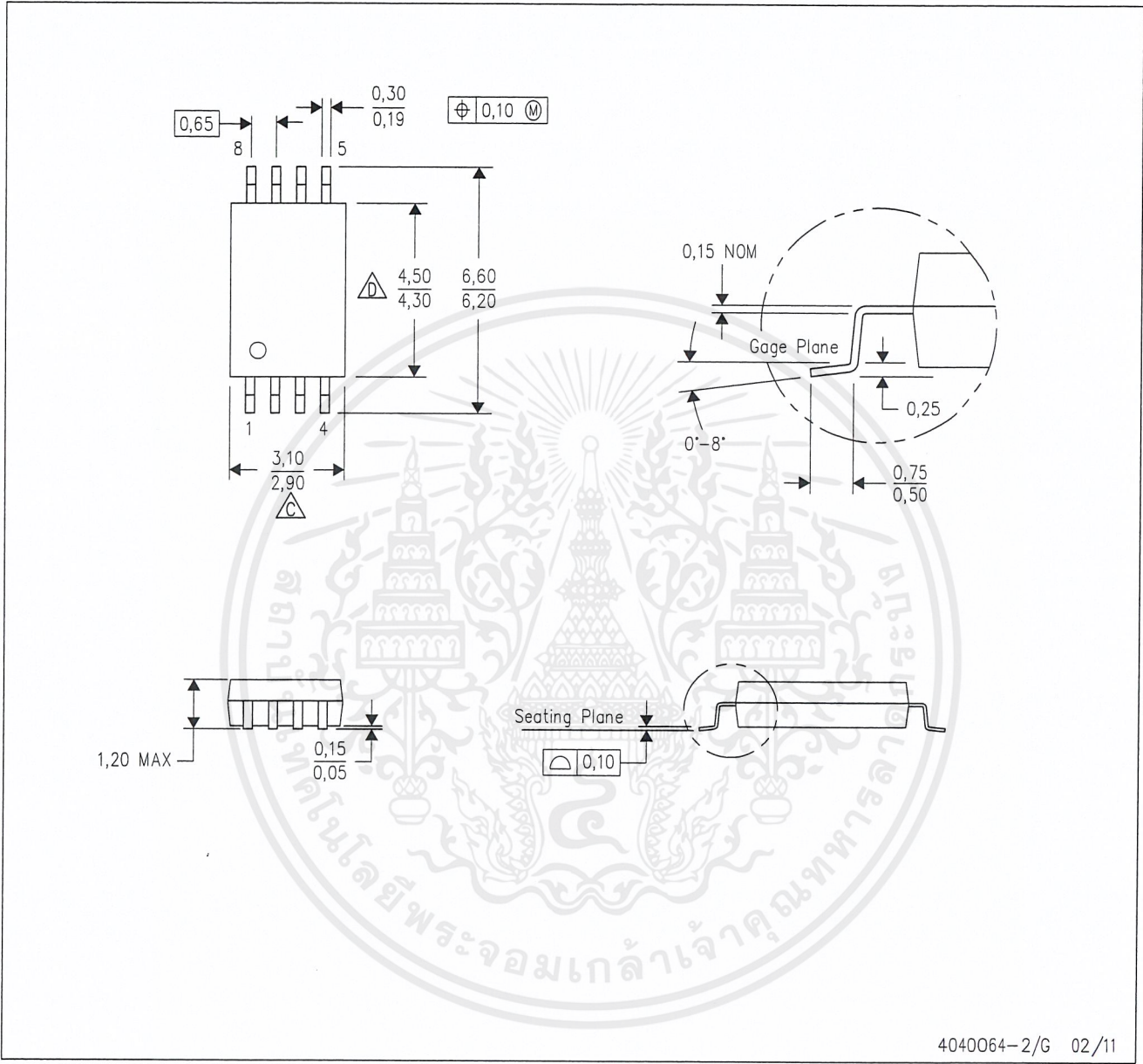
PLASTIC SMALL OUTLINE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs.
 - D. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Refer to IPC-7525 for other stencil recommendations.
 - E. Customers should contact their board fabrication site for solder mask tolerances between and around signal pads.

PW (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL OUTLINE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - $\triangle C$ Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0,15 each side.
 - $\triangle D$ Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0,25 each side.
 - E. Falls within JEDEC MO-153

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI's terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers' products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers' products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications.

In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI's goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms.

No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use.

Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or "enhanced plastic" are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have **not** been so designated is solely at the Buyer's risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

Products

Audio	www.ti.com/audio
Amplifiers	amplifier.ti.com
Data Converters	dataconverter.ti.com
DLP® Products	www.dlp.com
DSP	dsp.ti.com
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks
Interface	interface.ti.com
Logic	logic.ti.com
Power Mgmt	power.ti.com
Microcontrollers	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
OMAP Applications Processors	www.ti.com/omap
Wireless Connectivity	www.ti.com/wirelessconnectivity

Applications

Automotive and Transportation	www.ti.com/automotive
Communications and Telecom	www.ti.com/communications
Computers and Peripherals	www.ti.com/computers
Consumer Electronics	www.ti.com/consumer-apps
Energy and Lighting	www.ti.com/energy
Industrial	www.ti.com/industrial
Medical	www.ti.com/medical
Security	www.ti.com/security
Space, Avionics and Defense	www.ti.com/space-avionics-defense
Video and Imaging	www.ti.com/video

TI E2E Community

e2e.ti.com

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2013, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Very Low Power Consumption**
– 1 mW Typ at $V_{DD} = 5\text{ V}$
- **Capable of Operation in Astable Mode**
- **CMOS Output Capable of Swinging Rail to Rail**
- **High Output-Current Capability**
– Sink 100 mA Typ
– Source 10 mA Typ
- **Output Fully Compatible With CMOS, TTL, and MOS**
- **Low Supply Current Reduces Spikes During Output Transitions**
- **Single-Supply Operation From 2 V to 15 V**
- **Functionally Interchangeable With the NE555; Has Same Pinout**
- **ESD Protection Exceeds 2000 V Per MIL-STD-883C, Method 3015.2**
- **Available in Q-Temp Automotive High Reliability Automotive Applications Configuration Control/Print Support Qualification to Automotive Standards**

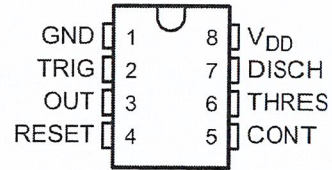
description

The TLC555 is a monolithic timing circuit fabricated using the TI LinCMOS™ process. The timer is fully compatible with CMOS, TTL, and MOS logic and operates at frequencies up to 2 MHz. Because of its high input impedance, this device uses smaller timing capacitors than those used by the NE555. As a result, more accurate time delays and oscillations are possible. Power consumption is low across the full range of power supply voltage.

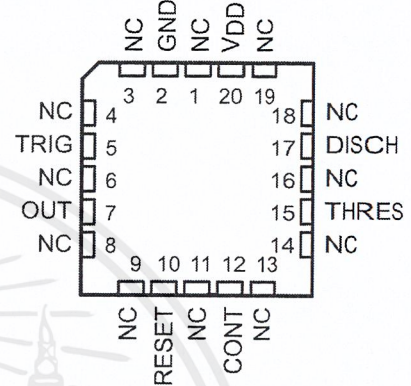
Like the NE555, the TLC555 has a trigger level equal to approximately one-third of the supply voltage and a threshold level equal to approximately two-thirds of the supply voltage. These levels can be altered by use of the control voltage terminal (CONT). When the trigger input (TRIG) falls below the trigger level, the flip-flop is set and the output goes high. If TRIG is above the trigger level and the threshold input (THRES) is above the threshold level, the flip-flop is reset and the output is low. The reset input (RESET) can override all other inputs and can be used to initiate a new timing cycle. If RESET is low, the flip-flop is reset and the output is low. Whenever the output is low, a low-impedance path is provided between the discharge terminal (DISCH) and GND. All unused inputs should be tied to an appropriate logic level to prevent false triggering.

While the CMOS output is capable of sinking over 100 mA and sourcing over 10 mA, the TLC555 exhibits greatly reduced supply-current spikes during output transitions. This minimizes the need for the large decoupling capacitors required by the NE555.

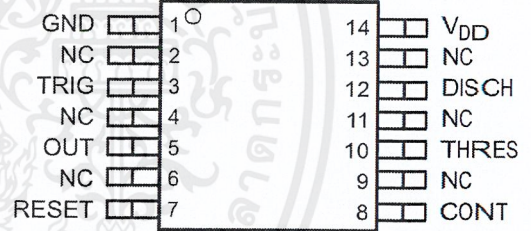
D, DB, JG, OR P PACKAGE (TOP VIEW)



FK PACKAGE (TOP VIEW)



PW PACKAGE (TOP VIEW)



NC – No internal connection



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

LinCMOS is a trademark of Texas Instruments.

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



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1983–2005, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLC555 LinCMOS™ TIMER

SLFS043F - SEPTEMBER 1983 - REVISED FEBRUARY 2005

description (continued)

The TLC555C is characterized for operation from 0°C to 70°C. The TLC555I is characterized for operation from -40°C to 85°C. The TLC555Q is characterized for operation over the automotive temperature range of -40°C to 125°C. The TLC555M is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.

AVAILABLE OPTIONST

PACKAGED DEVICES

T _A	V _{DD} RANGE	SMALL OUTLINE (D)‡	SSOP (DB)‡	CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (JG)	PLASTIC DIP (P)	TSSOP (PW)‡
0°C to 70°C	2 V to 15 V	TLC555CD	TLC555CDB	—	—	TLC555CP	TLC555CPW
-40°C to 85°C	3 V to 15 V	TLC555ID	—	—	—	TLC555IP	—
-40°C to 125°C	5 V to 15 V	TLC555QD	—	—	—	—	—
-55°C to 125°C	5 V to 15 V	TLC555MD	—	TLC555MFK	TLC555MJG	TLC555MP	—

† For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI web site at www.ti.com.

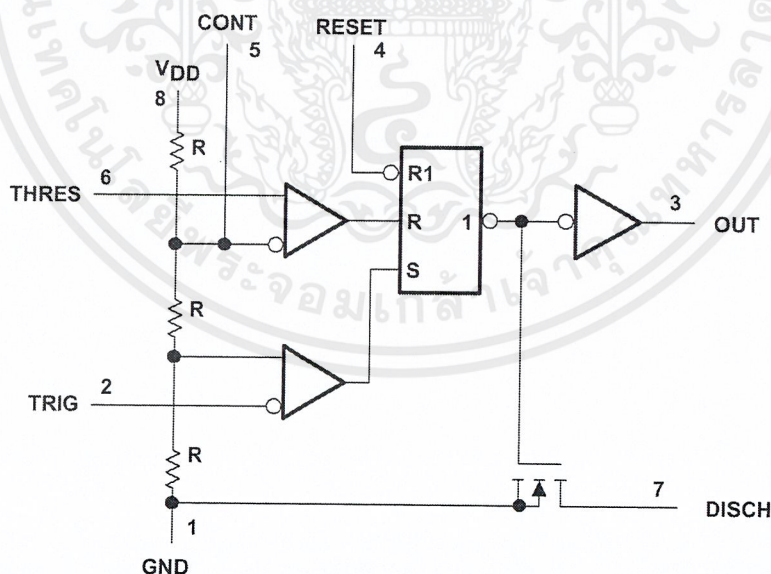
‡ This package is available taped and reeled. Add the R suffix to device type (e.g., TLC555CDR).

FUNCTION TABLE

RESET VOLTAGE‡	TRIGGER VOLTAGE‡	THRESHOLD VOLTAGE‡	OUTPUT	DISCHARGE SWITCH
<MIN	Irrelevant	Irrelevant	L	On
>MAX	<MIN	Irrelevant	H	Off
>MAX	>MAX	>MAX	L	On
>MAX	>MAX	<MIN	As previously established	

‡ For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under electrical characteristics.

functional block diagram



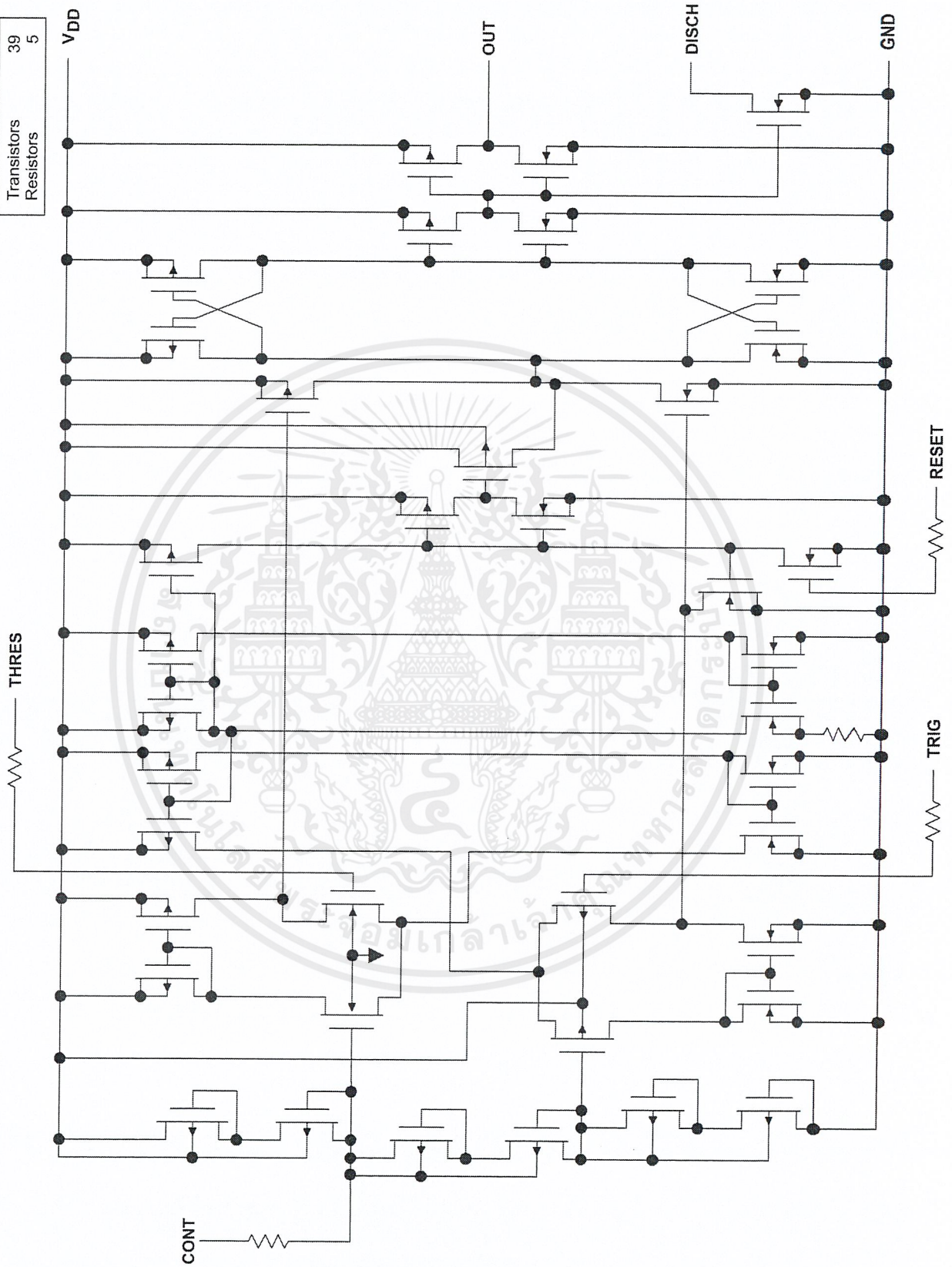
Pin numbers are for all packages except the FK package. RESET can override TRIG, which can override THRES.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

COMPONENT COUNT	
Transistors	39
Resistors	5

equivalent schematic (each channel)



TLC555 LinCMOS™ TIMER

SLFS043F – SEPTEMBER 1983 – REVISED FEBRUARY 2005

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, V_{DD} (see Note 1)	18 V
Input voltage range, V_I (any input)	-0.3 to V_{DD}
Sink current, discharge or output	150 mA
Source current, output, I_O	15 mA
Continuous total power dissipation	See Dissipation Rating Table
Operating free-air temperature range, T_A :	
C-suffix	0°C to 70°C
I-suffix	-40°C to 85°C
Q-suffix	-40°C to 125°C
M-suffix	-55°C to 125°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Case temperature for 60 seconds: FK package	260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: JG package	300°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: D, DB, P, or PW package	260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values are with respect to network GND.

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR ABOVE $T_A = 25^\circ\text{C}$	$T_A = 70^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 85^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 125^\circ\text{C}$ POWER RATING
D	725 mW	5.8 mW/°C	464 mW	377 mW	145 mW
DB	525 mW	4.2 mW/°C	336 mW	273 mW	105 mW
FK	1375 mW	11.0 mW/°C	880 mW	715 mW	275 mW
JG	1050 mW	8.4 mW/°C	672 mW	546 mW	210 mW
P	1000 mW	8.0 mW/°C	640 mW	520 mW	200 mW
PW	525 mW	4.2 mW/°C	336 mW	273 mW	105 mW

recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{DD}		2	15	V
Operating free-air temperature range, T_A	TLC555C	0	70	°C
	TLC555I	-40	85	
	TLC555Q	-40	125	
	TLC555M	-55	125	



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{DD} = 2\text{ V}$ for TLC555C, $V_{DD} = 3\text{ V}$ for TLC555I

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T _A †	TLC555C			TLC555I			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V _{IT} Threshold voltage		25°C	0.95	1.33	1.65	1.6		2.4	V
		Full range	0.85		1.75	1.5		2.5	
I _{IT} Threshold current		25°C	10			10			pA
		MAX	75			150			
V _{I(TRIG)} Trigger voltage		25°C	0.4	0.67	0.95	0.71	1	1.29	V
		Full range	0.3		1.05	0.61		1.39	
I _{I(TRIG)} Trigger current		25°C	10			10			pA
		MAX	75			150			
V _{I(RESET)} Reset voltage		25°C	0.4	1.1	1.5	0.4	1.1	1.5	V
		Full range	0.3		2	0.3		1.8	
I _{I(RESET)} Reset current		25°C	10			10			pA
		MAX	75			150			
Control voltage (open circuit) as a percentage of supply voltage		MAX	66.7%			66.7%			
Discharge switch on-stage voltage	I _{OL} = 1 mA	25°C	0.03		0.2	0.03		0.2	V
		Full range			0.25			0.375	
Discharge switch off-stage current		25°C	0.1			0.1			nA
		MAX	0.5			120			
V _{OH} High-level output voltage	I _{OH} = -300 μA	25°C	1.5	1.9		2.5	2.85		V
		Full range	1.5			2.5			
V _{OL} Low-level output voltage	I _{OL} = 1 mA	25°C	0.07		0.3	0.07		0.3	V
		Full range			0.35			0.4	
I _{DD} Supply current	See Note 2	25°C				250			μA
		Full range				500			

† Full range is 0°C to 70°C for the TLC555C and -40°C to 85°C for the TLC555I. For conditions shown as MAX, use the appropriate value specified in the recommended operating conditions table.

NOTE 2: These values apply for the expected operating configurations in which THRES is connected directly to DISCH or to TRIG.



TLC555 LinCMOS™ TIMER

SLFS043F – SEPTEMBER 1983 – REVISED FEBRUARY 2005

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{DD} = 5\text{ V}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_A^\dagger	TLC555C			TLC555I			TLC555Q, TLC555M			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IT} Threshold voltage		25°C	2.8	3.3	3.8	2.8	3.3	3.8	2.8	3.3	3.8	V
		Full range	2.7		3.9	2.7		3.9	2.7		3.9	
I_{IT} Threshold current		25°C		10			10			10	pA	
		MAX		75			150			5000		
$V_{I(TRIG)}$ Trigger voltage		25°C	1.36	1.66	1.96	1.36	1.66	1.96	1.36	1.66	1.96	V
		Full range	1.26		2.06	1.26		2.06	1.26		2.06	
$I_{I(TRIG)}$ Trigger current		25°C		10			10			10	pA	
		MAX		75			150			5000		
$V_{I(RESET)}$ Reset voltage		25°C	0.4	1.1	1.5	0.4	1.1	1.5	0.4	1.1	1.5	V
		Full range	0.3		1.8	0.3		1.8	0.3		1.8	
$I_{I(RESET)}$ Reset current		25°C		10			10			10	pA	
		MAX		75			150			5000		
Control voltage (open circuit) as a percentage of supply voltage		MAX		66.7%			66.7%			66.7%		
Discharge switch on-state voltage	$I_{OL} = 10\text{ mA}$	25°C		0.14	0.5		0.14	0.5		0.14	0.5	V
		Full range			0.6			0.6			0.6	
Discharge switch off-state current		25°C		0.1			0.1			0.1	nA	
		MAX		0.5			120			120		
V_{OH} High-level output voltage	$I_{OH} = -1\text{ mA}$	25°C	4.1	4.8		4.1	4.8		4.1	4.8	V	
		Full range	4.1			4.1			4.1			
V_{OL} Low-level output voltage	$I_{OL} = 8\text{ mA}$	25°C		0.21	0.4		0.21	0.4		0.21	0.4	V
		Full range			0.5			0.5			0.6	
	$I_{OL} = 5\text{ mA}$	25°C		0.13	0.3		0.13	0.3		0.13	0.3	
		Full range			0.4			0.4			0.45	
	$I_{OL} = 3.2\text{ mA}$	25°C		0.08	0.3		0.08	0.3		0.08	0.3	
		Full range			0.35			0.35			0.4	
I_{DD} Supply current	See Note 2	25°C		170	350		170	350		170	350	μA
		Full range			500			600			700	

† Full range is 0°C to 70°C the for TLC555C, -40°C to 85°C for the TLC555I, -40°C to 125°C for the TLC555Q, and -55°C to 125°C for the TLC555M. For conditions shown as MAX, use the appropriate value specified in the recommended operating conditions table.

NOTE 2: These values apply for the expected operating configurations in which THRES is connected directly to DISCH or TRIG.



electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{DD} = 15\text{ V}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_A †	TLC555C			TLC555I			TLC555Q, TLC555M			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IT} Threshold voltage		25°C	9.45	10	10.55	9.45	10	10.55	9.45	10	10.55	V
		Full range	9.35		10.65	9.35		10.65	9.35		10.65	
I_{IT} Threshold current		25°C		10			10			10	pA	
		MAX		75			150			5000		
$V_{I(TRIG)}$ Trigger voltage		25°C	4.65	5	5.35	4.65	5	5.35	4.65	5	5.35	V
		Full range	4.55		5.45	4.55		5.45	4.55		5.45	
$I_{I(TRIG)}$ Trigger current		25°C		10			10			10	pA	
		MAX		75			150			5000		
$V_{I(RESET)}$ Reset voltage		25°C	0.4	1.1	1.5	0.4	1.1	1.5	0.4	1.1	1.5	V
		Full range	0.3		1.8	0.3		1.8	0.3		1.8	
$I_{I(RESET)}$ Reset current		25°C		10			10			10	pA	
		MAX		75			150			5000		
Control voltage (open circuit) as a percentage of supply voltage		MAX	66.7%			66.7%			66.7%			
Discharge switch on-state voltage	$I_{OL} = 100\text{ mA}$	25°C		0.77	1.7		0.77	1.7		0.77	1.7	V
		Full range			1.8			1.8			1.8	
Discharge switch off-state current		25°C		0.1			0.1			0.1	nA	
		MAX		0.5			120			120		
V_{OH} High-level output voltage	$I_{OH} = -10\text{ mA}$	25°C	12.5	14.2		12.5	14.2		12.5	14.2	V	
		Full range	12.5			12.5			12.5			
	$I_{OH} = -5\text{ mA}$	25°C	13.5	14.6		13.5	14.6		13.5	14.6		
		Full range	13.5			13.5			13.5			
	$I_{OH} = -1\text{ mA}$	25°C	14.2	14.9		14.2	14.9		14.2	14.9		
		Full range	14.2			14.2			14.2			
V_{OL} Low-level output voltage	$I_{OL} = 100\text{ mA}$	25°C		1.28	3.2		1.28	3.2		1.28	3.2	V
		Full range			3.6			3.7			3.8	
	$I_{OL} = 50\text{ mA}$	25°C		0.63	1		0.63	1		0.63	1	
		Full range			1.3			1.4			1.5	
	$I_{OL} = 10\text{ mA}$	25°C		0.12	0.3		0.12	0.3		0.12	0.3	
		Full range			0.4			0.4			0.45	
I_{DD} Supply current	See Note 2	25°C		360	600		360	600		360	600	μA
		Full range			800			900			1000	

† Full range is 0°C to 70°C for TLC555C, -40°C to 85°C for TLC555I, -40°C to 125°C for the TLC555Q, and -55°C to 125°C for TLC555M. For conditions shown as MAX, use the appropriate value specified in the recommended operating conditions table.

NOTE 2: These values apply for the expected operating configurations in which THRES is connected directly to DISCH or TRIG.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในผลิตภัณฑ์ของ Texas Instruments ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLC555 LinCMOS™ TIMER

SLFS043F – SEPTEMBER 1983 – REVISED FEBRUARY 2005

operating characteristics, $V_{DD} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Initial error of timing interval [‡]		$V_{DD} = 5\text{ V to }15\text{ V}$, $R_A = R_B = 1\text{ k}\Omega\text{ to }100\text{ k}\Omega$, $C_T = 0.1\text{ }\mu\text{F}$, See Note 3		1%	3%	
Supply voltage sensitivity of timing interval				0.1	0.5	%/V
t_r	Output pulse rise time	$R_L = 10\text{ M}\Omega$, $C_L = 10\text{ pF}$		20	75	ns
t_f	Output pulse fall time			15	60	
f_{max}	Maximum frequency in astable mode	$R_A = 470\text{ }\Omega$, $C_T = 200\text{ pF}$, $R_B = 200\text{ }\Omega$, See Note 3	1.2	2.1		MHz

[‡] Timing interval error is defined as the difference between the measured value and the average value of a random sample from each process run.

NOTE 3: R_A , R_B , and C_T are as defined in Figure 1.

electrical characteristics at $V_{DD} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{IT}	Threshold voltage		2.8	3.3	3.8	V
I_{IT}	Threshold current			10		pA
$V_{I(TRIG)}$	Trigger voltage		1.36	1.66	1.96	V
$I_{I(TRIG)}$	Trigger current			10		pA
$V_{I(RESET)}$	Reset voltage		0.4	1.1	1.5	V
$I_{I(RESET)}$	Reset current			10		pA
Control voltage (open circuit) as a percentage of supply voltage				66.7%		
Discharge switch on-state voltage		$I_{OL} = 10\text{ mA}$		0.14	0.5	V
Discharge switch off-state current				0.1		nA
V_{OH}	High-level output voltage	$I_{OH} = -1\text{ mA}$	4.1	4.8		V
V_{OL}	Low-level output voltage	$I_{OL} = 8\text{ mA}$		0.21	0.4	V
		$I_{OL} = 5\text{ mA}$		0.13	0.3	
		$I_{OL} = 3.2\text{ mA}$		0.08	0.3	
I_{DD}	Supply current	See Note 2		170	350	μA

NOTE 2: These values apply for the expected operating configurations in which THRES is connected directly to DISCH or TRIG.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

TYPICAL CHARACTERISTICS

DISCHARGE SWITCH ON-STATE RESISTANCE
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

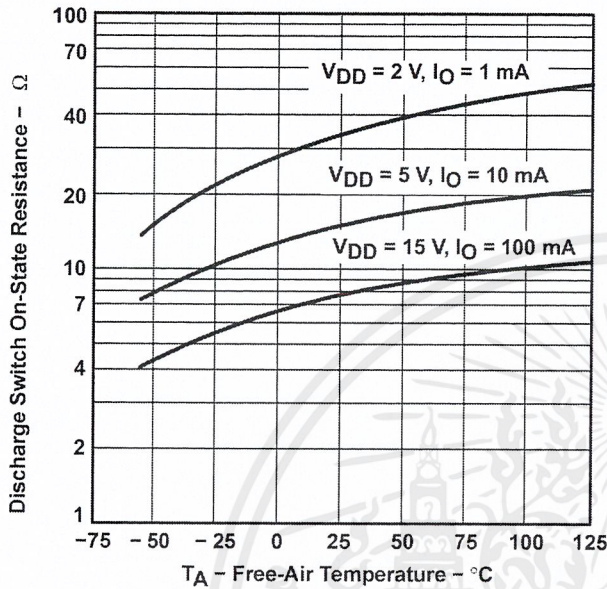
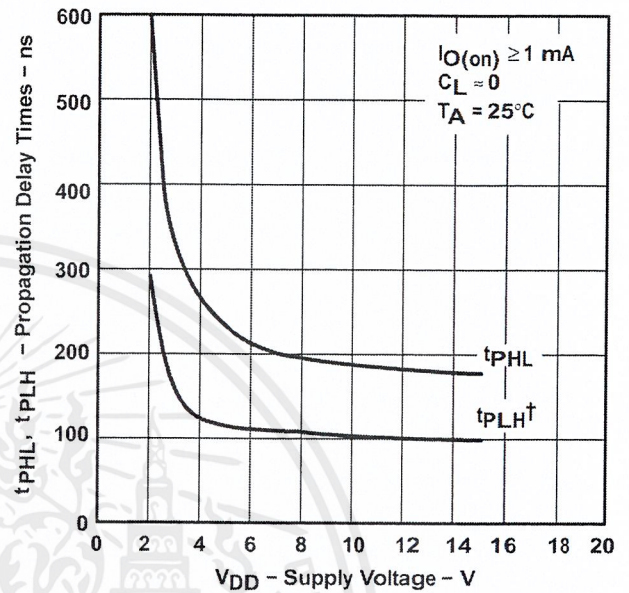


Figure 1

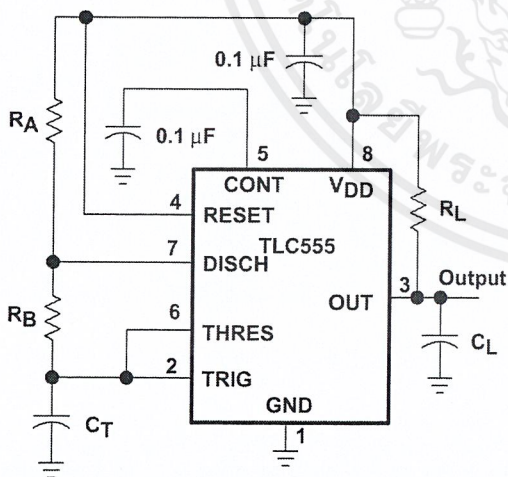
PROPAGATION DELAY TIMES TO DISCHARGE
OUTPUT FROM TRIGGER AND THRESHOLD
SHORTED TOGETHER
vs
SUPPLY VOLTAGE



† The effects of the load resistance on these values must be taken into account separately.

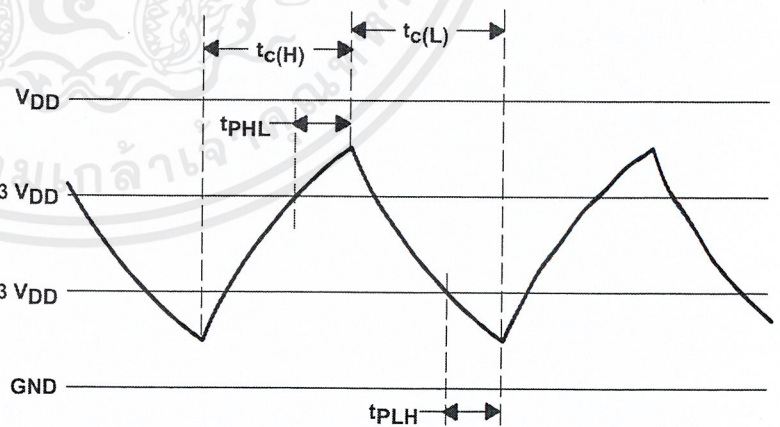
Figure 2

APPLICATION INFORMATION



Pin numbers shown are for all packages except the FK package.

CIRCUIT



TRIGGER AND THRESHOLD VOLTAGE WAVEFORM

Figure 3. Astable Operation



APPLICATION INFORMATION

Connecting TRIG to THRES, as shown in Figure 3, causes the timer to run as a multivibrator. The capacitor C_T charges through R_A and R_B to the threshold voltage level (approximately $0.67 V_{DD}$) and then discharges through R_B only to the value of the trigger voltage level (approximately $0.33 V_{DD}$). The output is high during the charging cycle ($t_{c(H)}$) and low during the discharge cycle ($t_{c(L)}$). The duty cycle is controlled by the values of R_A , R_B , and C_T as shown in the equations below.

$$t_{c(H)} \approx C_T (R_A + R_B) \ln 2 \quad (\ln 2 = 0.693)$$

$$t_{c(L)} \approx C_T R_B \ln 2$$

$$\text{Period} = t_{c(H)} + t_{c(L)} \approx C_T (R_A + 2R_B) \ln 2$$

$$\text{Output driver duty cycle} = \frac{t_{c(L)}}{t_{c(H)} + t_{c(L)}} \approx 1 - \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

$$\text{Output waveform duty cycle} = \frac{t_{c(H)}}{t_{c(H)} + t_{c(L)}} \approx \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

The 0.1- μF capacitor at CONT in Figure 3 decreases the period by about 10%.

The formulas shown above do not allow for any propagation delay times from the TRIG and THRES inputs to DISCH. These delay times add directly to the period and create differences between calculated and actual values that increase with frequency. In addition, the internal on-state resistance r_{on} during discharge adds to R_B to provide another source of timing error in the calculation when R_B is very low or r_{on} is very high.

The equations below provide better agreement with measured values.

$$t_{c(H)} = C_T (R_A + R_B) \ln \left[3 - \exp \left(\frac{-t_{PLH}}{C_T (R_B + r_{on})} \right) \right] + t_{PHL}$$

$$t_{c(L)} = C_T (R_B + r_{on}) \ln \left[3 - \exp \left(\frac{-t_{PHL}}{C_T (R_A + R_B)} \right) \right] + t_{PLH}$$

These equations and those given earlier are similar in that a time constant is multiplied by the logarithm of a number or function. The limit values of the logarithmic terms must be between $\ln 2$ at low frequencies and $\ln 3$ at extremely high frequencies. For a duty cycle close to 50%, an appropriate constant for the logarithmic terms can be substituted

with good results. Duty cycles less than 50% $\frac{t_{c(H)}}{t_{c(H)} + t_{c(L)}}$ require that $\frac{t_{c(H)}}{t_{c(L)}} < 1$ and possibly $R_A \leq r_{on}$. These

conditions can be difficult to obtain.

In monostable applications, the trip point on TRIG can be set by a voltage applied to CONT. An input voltage between 10% and 80% of the supply voltage from a resistor divider with at least 500- μA bias provides good results.

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/ Ball Finish	MSL Peak Temp (3)	Samples (Requires Login)
5962-89503012A	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	Call TI	Call TI	
5962-8950301PA	ACTIVE	CDIP	JG	8	1	TBD	Call TI	Call TI	
TLC555CD	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	
TLC555CDG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	
TLC555CDR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	
TLC555CDRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	
TLC555CP	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	
TLC555CPE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	
TLC555CPSR	ACTIVE	SO	PS	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	
TLC555CPSRG4	ACTIVE	SO	PS	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	
TLC555CPW	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	
TLC555CPWG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	
TLC555CPWR	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	
TLC555CPWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	
TLC555ID	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	
TLC555IDG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	
TLC555IDR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	
TLC555IDRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	
TLC555IP	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/ Ball Finish	MSL Peak Temp (3)	Samples (Requires Login)
TLC555IPE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N/A for Pkg Type	
TLC555MFKB	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N/A for Pkg Type	
TLC555MJG	ACTIVE	CDIP	JG	8	1	TBD	A42	N/A for Pkg Type	
TLC555MJGB	ACTIVE	CDIP	JG	8	1	TBD	A42	N/A for Pkg Type	
TLC555MP	OBSOLETE	PDIP	P	8		TBD	Call TI	Call TI	
TLC555QDR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	
TLC555QDRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	

(1) The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

(2) Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

(3) MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

OTHER QUALIFIED VERSIONS OF TLC555, TLC555M :

• Catalog: TLC555

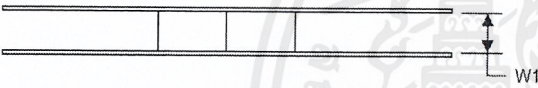
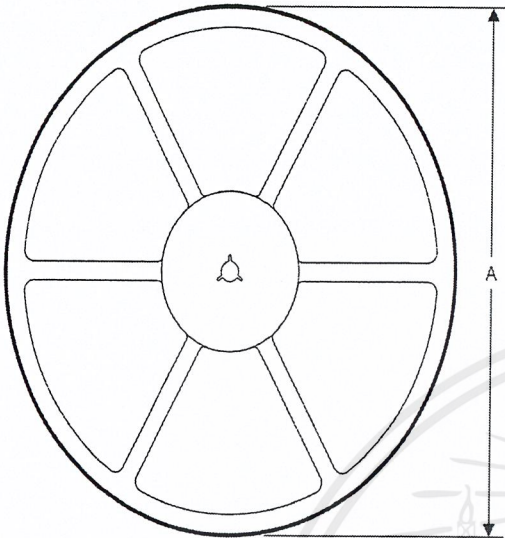
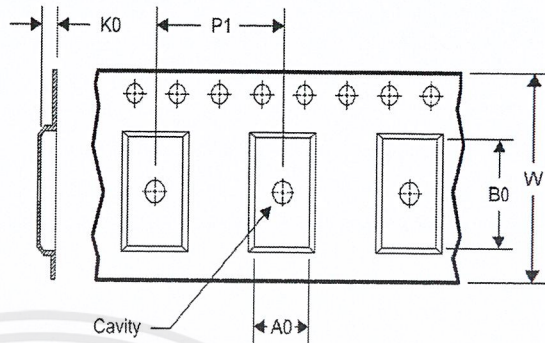
• Automotive: TLC555-Q1, TLC555-Q1

• Military: TLC555M

NOTE: Qualified Version Definitions:

- Catalog - TI's standard catalog product
- Automotive - Q100 devices qualified for high-reliability automotive applications targeting zero defects
- Military - QML certified for Military and Defense Applications



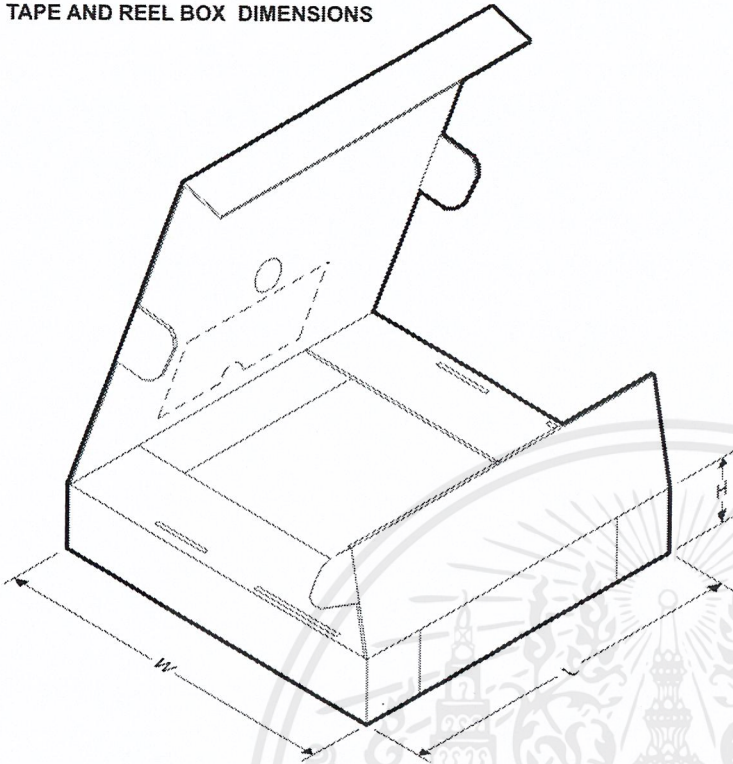
TAPE AND REEL INFORMATION
REEL DIMENSIONS

TAPE DIMENSIONS


A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

TAPE AND REEL INFORMATION

*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
TLC555CDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
TLC555CPSR	SO	PS	8	2000	330.0	16.4	8.2	6.6	2.5	12.0	16.0	Q1
TLC555CPWR	TSSOP	PW	14	2000	330.0	12.4	6.9	5.6	1.6	8.0	12.0	Q1
TLC555IDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
TLC555QDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS


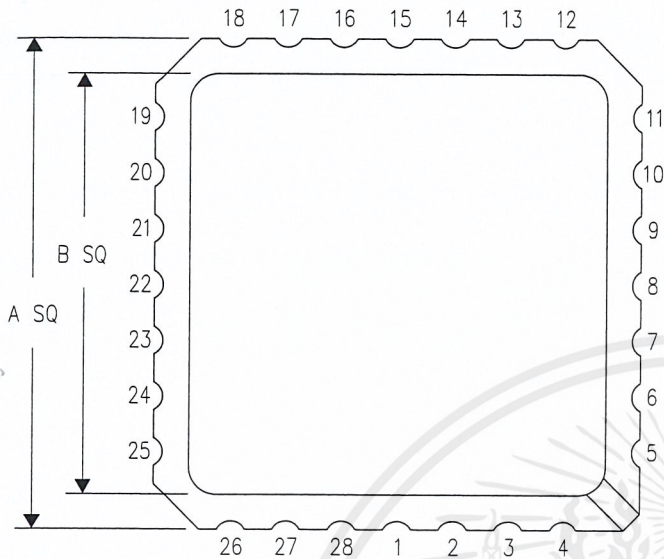
*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
TLC555CDR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
TLC555CPSR	SO	PS	8	2000	367.0	367.0	38.0
TLC555CPWR	TSSOP	PW	14	2000	367.0	367.0	35.0
TLC555IDR	SOIC	D	8	2500	340.5	338.1	20.6
TLC555QDR	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0

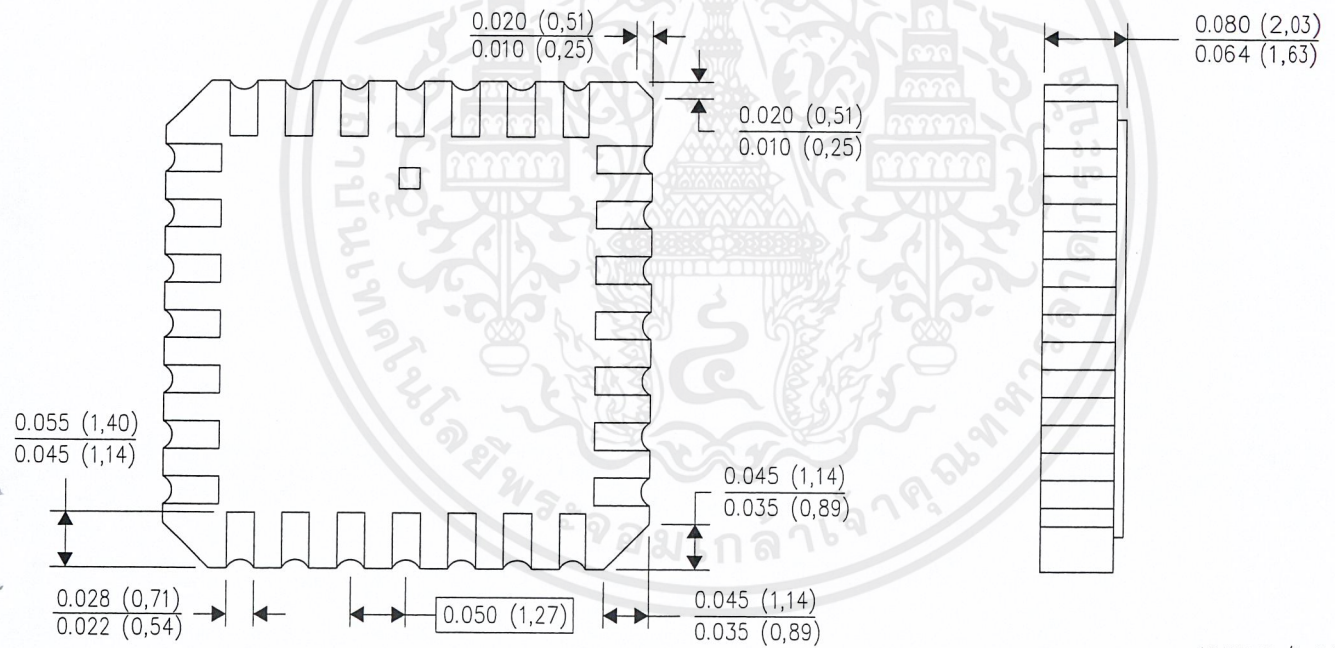
FK (S-CQCC-N**)

LEADLESS CERAMIC CHIP CARRIER

28 TERMINAL SHOWN



NO. OF TERMINALS **	A		B	
	MIN	MAX	MIN	MAX
20	0.342 (8,69)	0.358 (9,09)	0.307 (7,80)	0.358 (9,09)
28	0.442 (11,23)	0.458 (11,63)	0.406 (10,31)	0.458 (11,63)
44	0.640 (16,26)	0.660 (16,76)	0.495 (12,58)	0.560 (14,22)
52	0.740 (18,78)	0.761 (19,32)	0.495 (12,58)	0.560 (14,22)
68	0.938 (23,83)	0.962 (24,43)	0.850 (21,6)	0.858 (21,8)
84	1.141 (28,99)	1.165 (29,59)	1.047 (26,6)	1.063 (27,0)



4040140/D 01/11

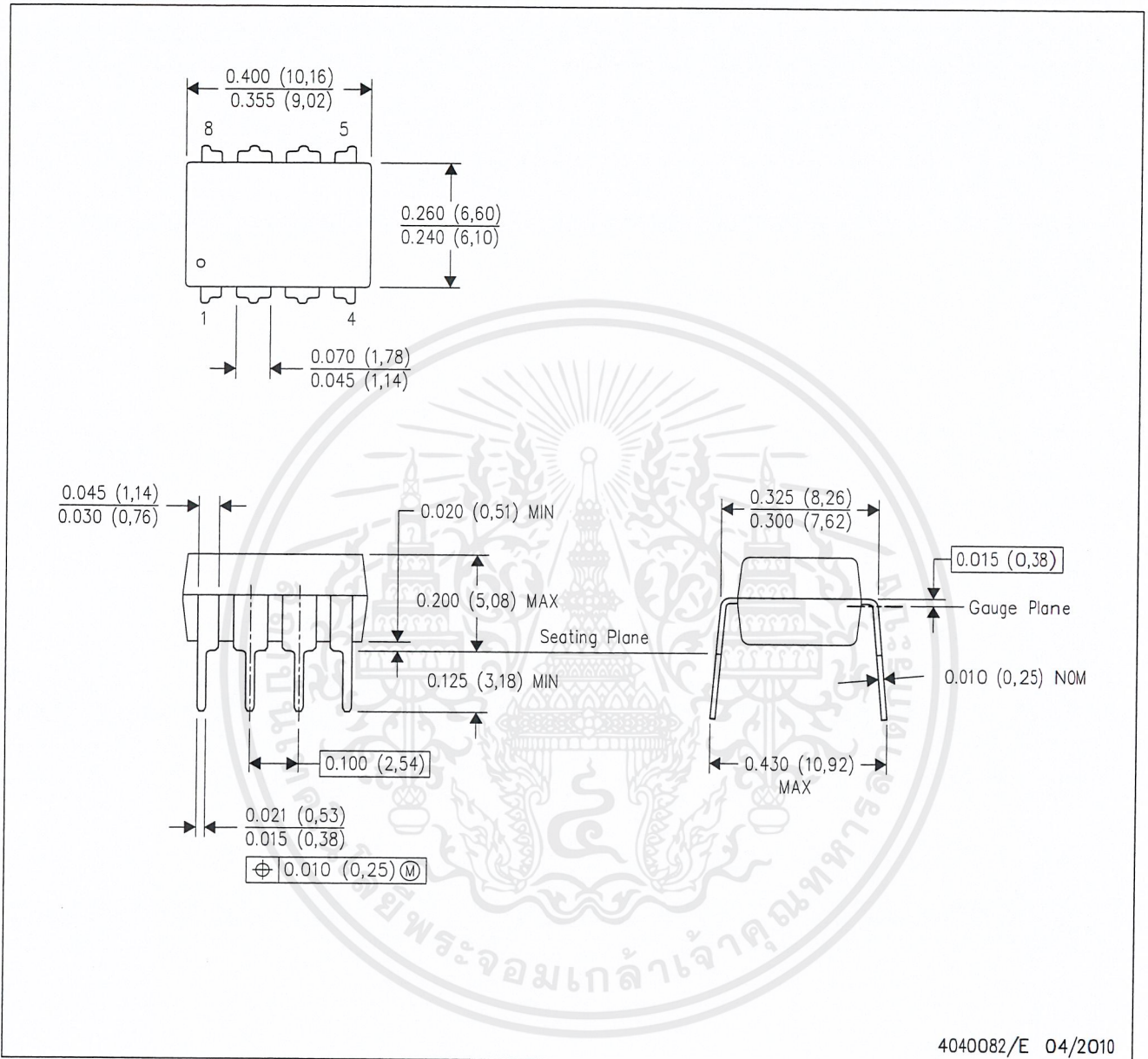
- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. This package can be hermetically sealed with a metal lid.
 - D. Falls within JEDEC MS-004



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 www.ti.com

P (R-PDIP-T8)

PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE

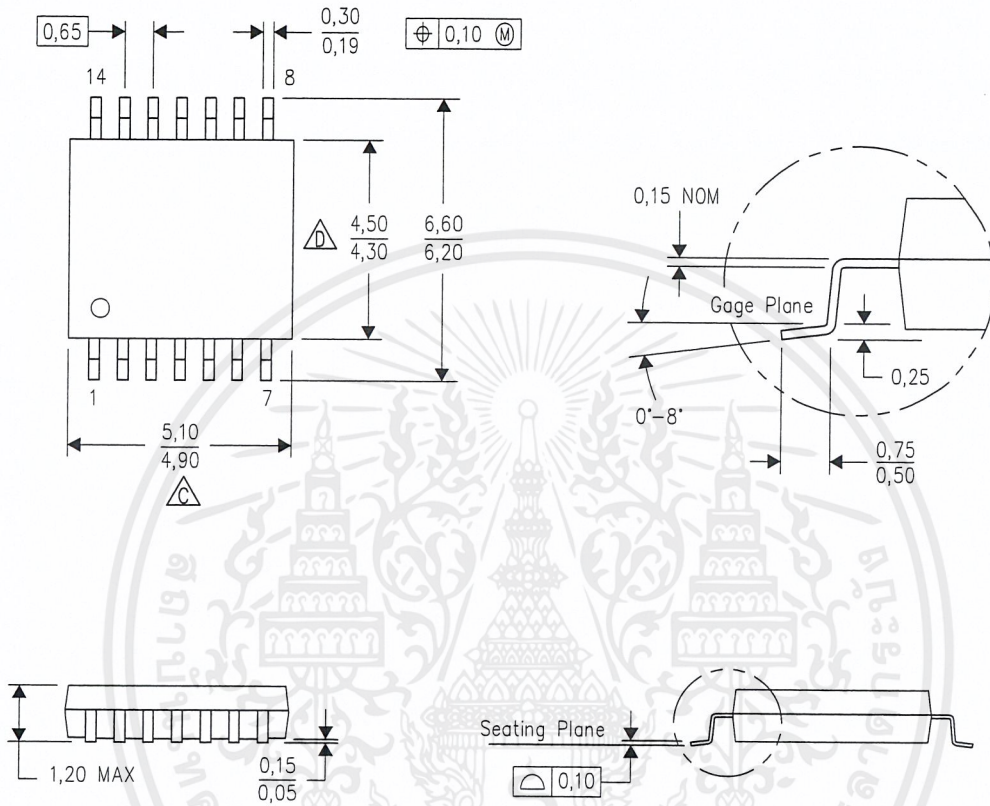


4040082/E 04/2010



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Falls within JEDEC MS-001 variation BA.

PW (R-PDSO-G14)

PLASTIC SMALL OUTLINE



4040064-3/G 02/11

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 -  Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0,15 each side.
 -  Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0,25 each side.
 - E. Falls within JEDEC MO-153

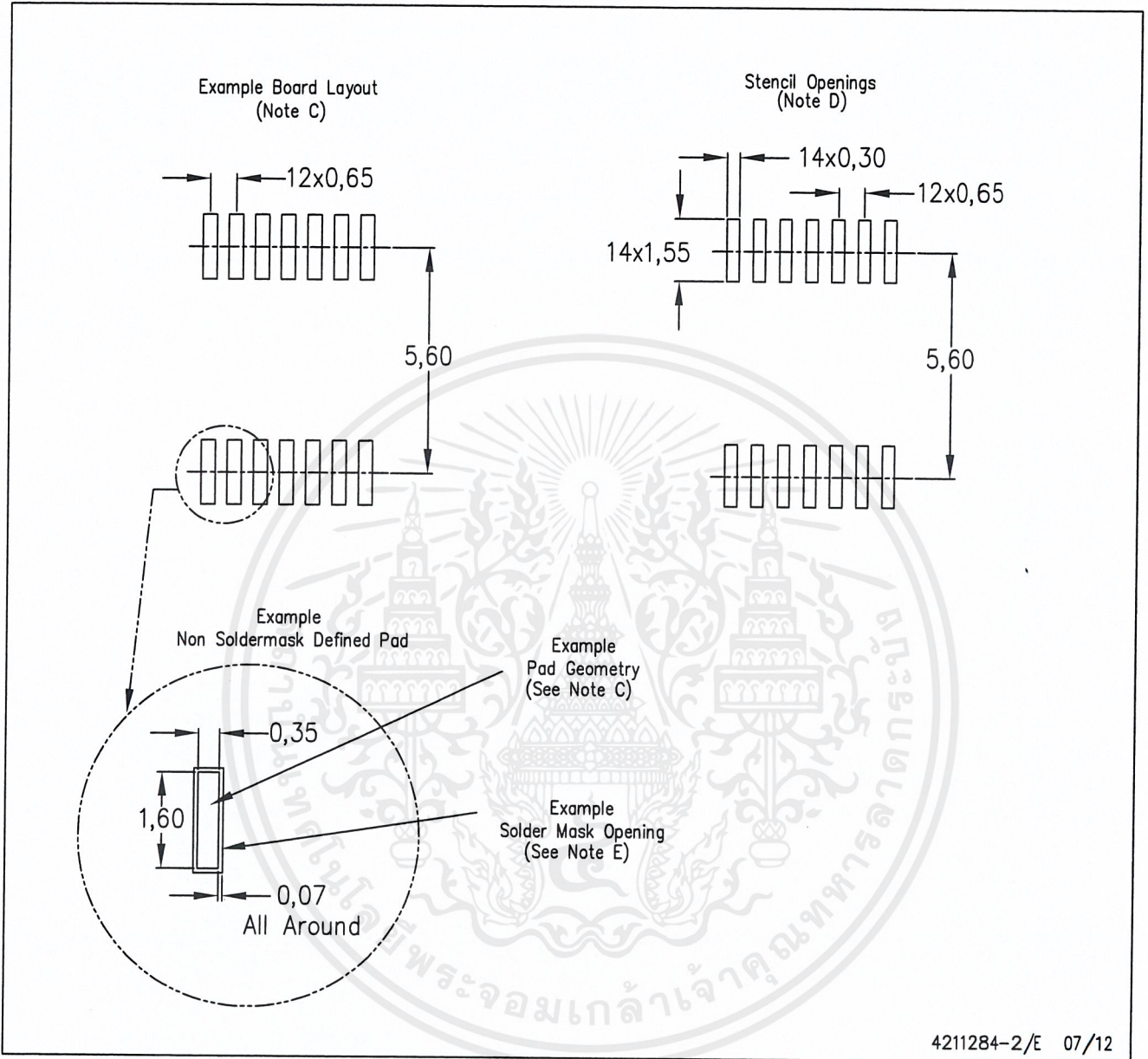


www.ti.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PW (R-PDSO-G14)

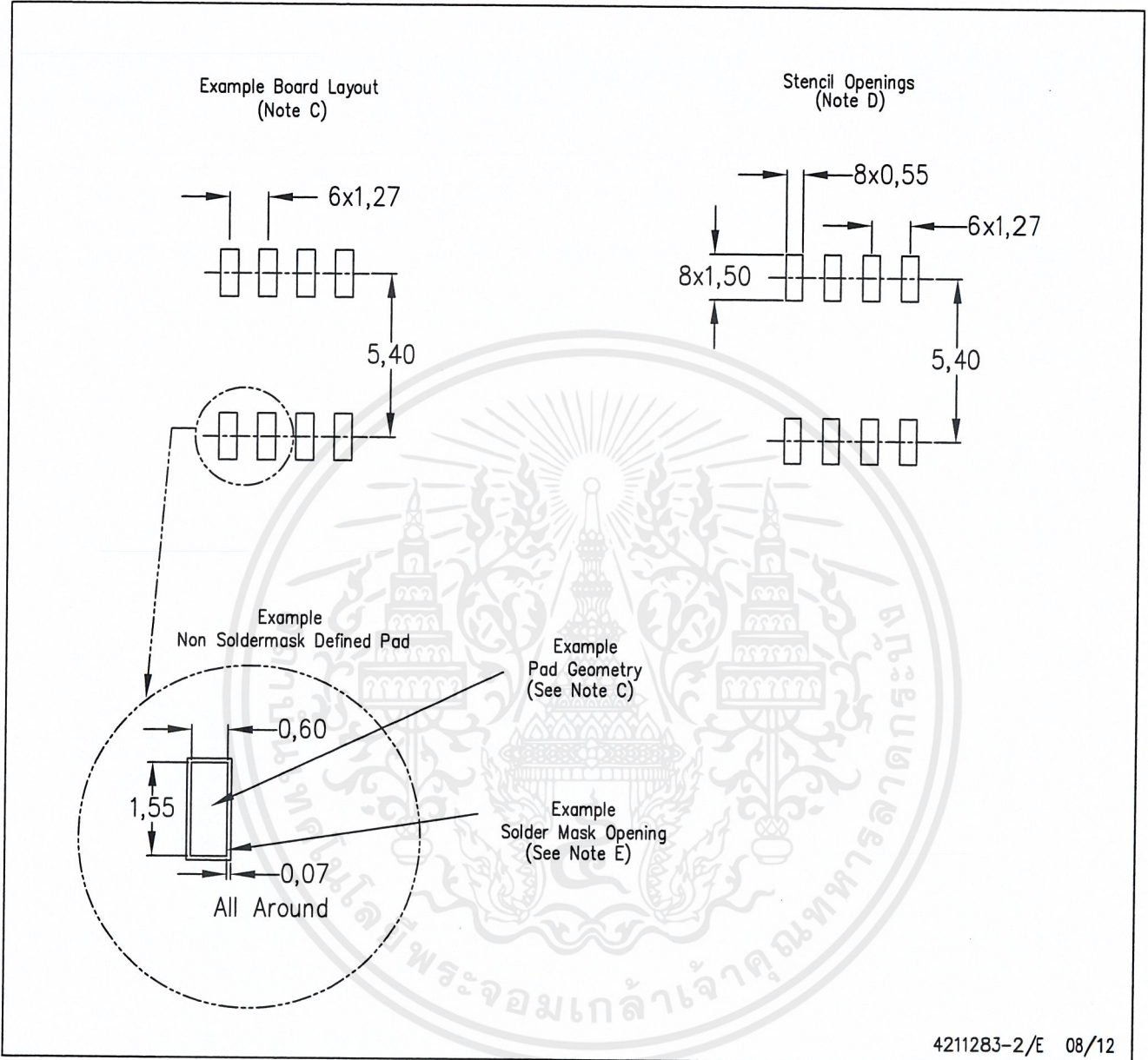
PLASTIC SMALL OUTLINE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs.
 - D. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Refer to IPC-7525 for other stencil recommendations.
 - E. Customers should contact their board fabrication site for solder mask tolerances between and around signal pads.

D (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL OUTLINE



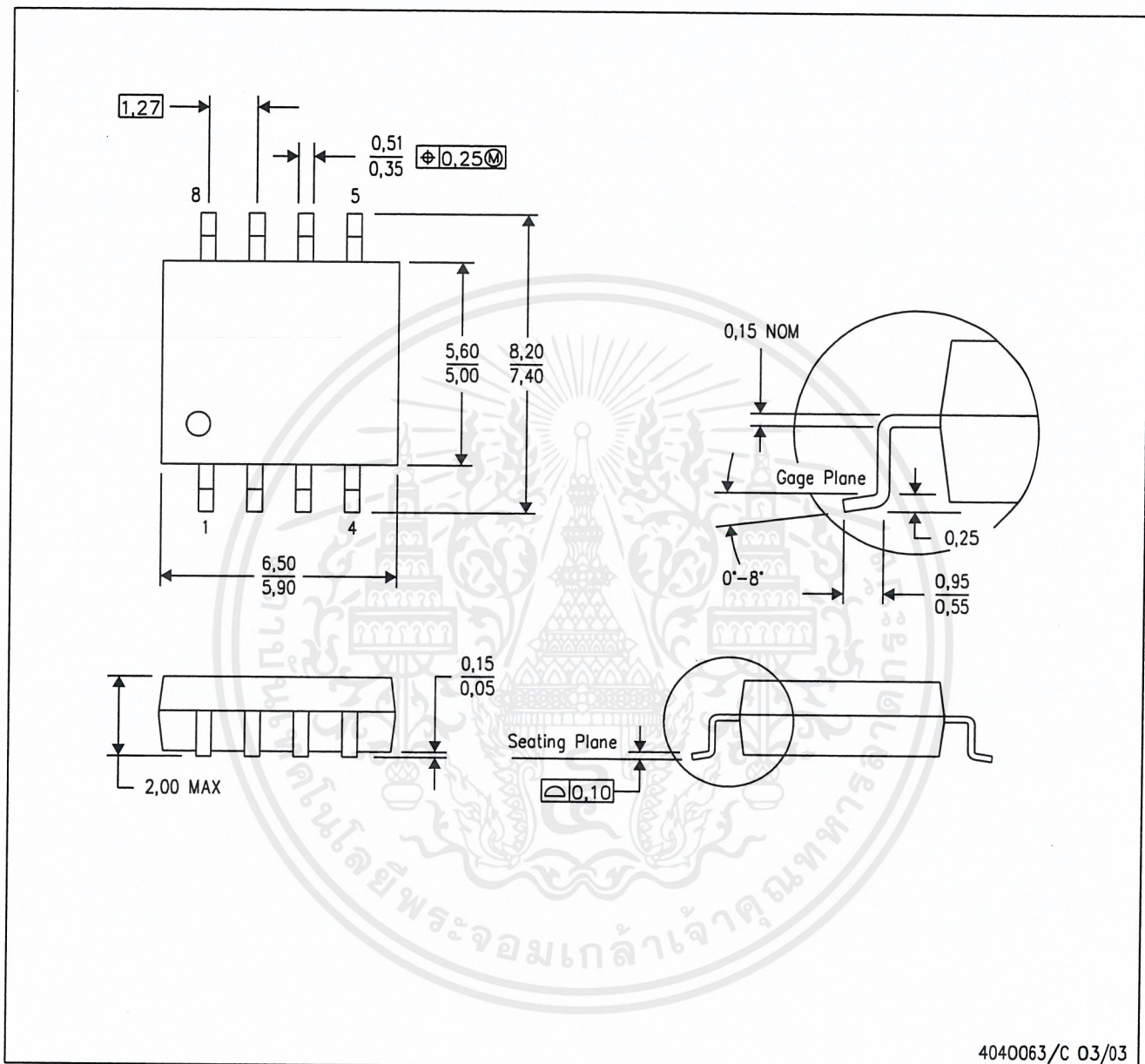
4211283-2/E 08/12

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs.
 - D. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Refer to IPC-7525 for other stencil recommendations.
 - E. Customers should contact their board fabrication site for solder mask tolerances between and around signal pads.

MECHANICAL DATA

PS (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

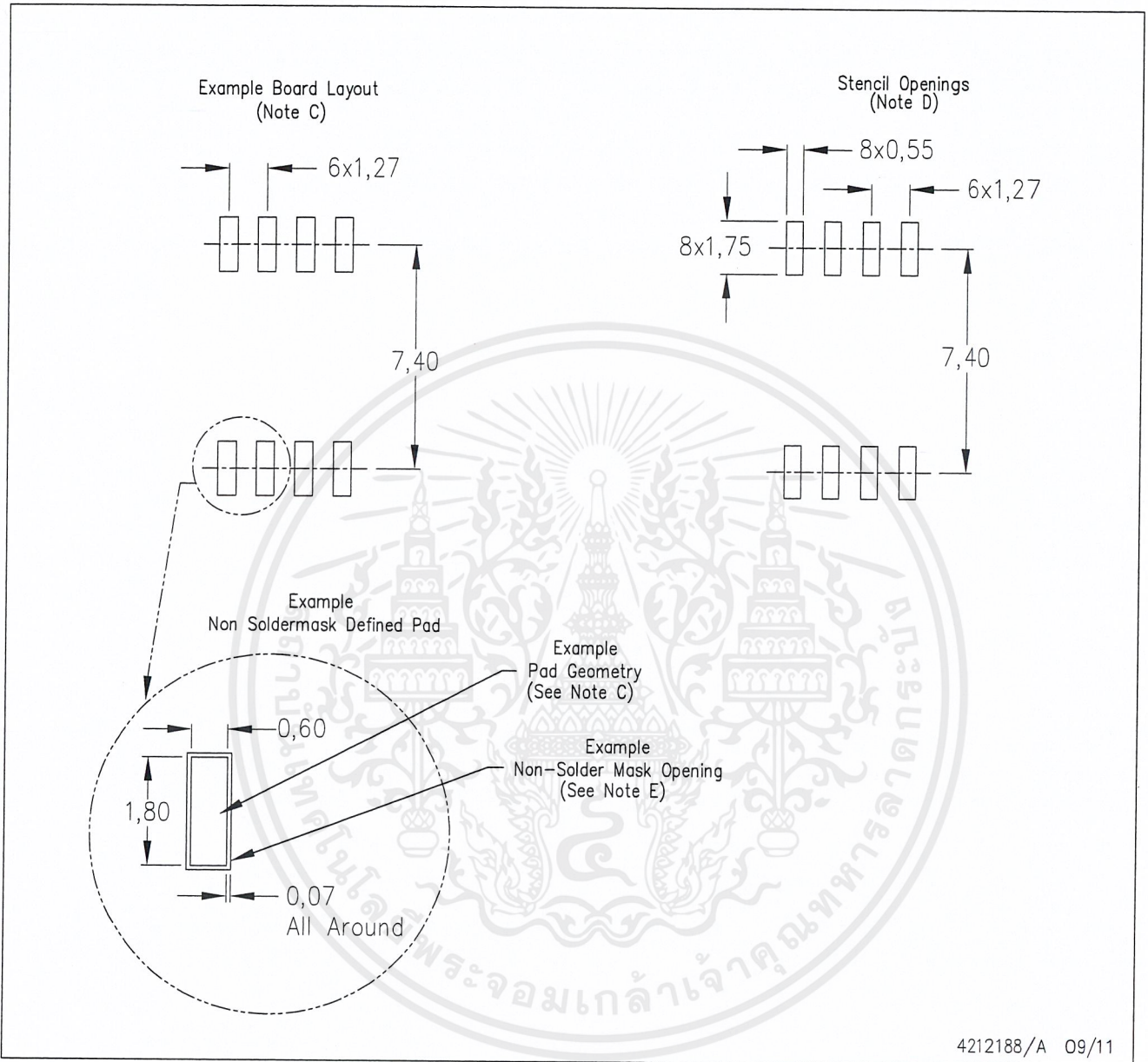


4040063/C 03/03

- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters.
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Body dimensions do not include mold flash or protrusion, not to exceed 0,15.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน www.ti.com เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4212188/A 09/11

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs.
 - D. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Refer to IPC-7525 for other stencil recommendations.
 - E. Customers should contact their board fabrication site for solder mask tolerances between and around signal pads.

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI's terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers' products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers' products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications.

In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI's goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms.

No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use.

Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or "enhanced plastic" are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have *not* been so designated is solely at the Buyer's risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

Products

Audio	www.ti.com/audio
Amplifiers	amplifier.ti.com
Data Converters	dataconverter.ti.com
DLP® Products	www.dlp.com
DSP	dsp.ti.com
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks
Interface	interface.ti.com
Logic	logic.ti.com
Power Mgmt	power.ti.com
Microcontrollers	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
OMAP Applications Processors	www.ti.com/omap
Wireless Connectivity	www.ti.com/wirelessconnectivity

Applications

Automotive and Transportation	www.ti.com/automotive
Communications and Telecom	www.ti.com/communications
Computers and Peripherals	www.ti.com/computers
Consumer Electronics	www.ti.com/consumer-apps
Energy and Lighting	www.ti.com/energy
Industrial	www.ti.com/industrial
Medical	www.ti.com/medical
Security	www.ti.com/security
Space, Avionics and Defense	www.ti.com/space-avionics-defense
Video and Imaging	www.ti.com/video

TI E2E Community

e2e.ti.com

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2012, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้