

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องอ่าน RFID
RFID Reader

โดย

นายพอล วิเทศการ
นายพันศักดิ์ กิจวานิชขจร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....73180
วัน,เดือน,ปี.....10.0.ค. 2550

b. 11788091
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอ่าน RFID RFID Reader

โดย

นายพอล วิเทศการ 45010521

นายพันศักดิ์ กิจวานิชขจร 45010528

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อภิรักษ์ ธนชยานนท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานปีการศึกษา 2548

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องอ่าน RFID

ผู้จัดทำ

นาย พอล	วิเทศการ	รหัส 45010521	ชั้นปีที่ 4C
นาย พันศักดิ์	กิจวานิชขจร	รหัส 45010528	ชั้นปีที่ 4C

รายงานฉบับนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.อภิรัตน์ ธนชยานนท์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอ่าน RFID

พอล วิเทศการ รหัส 45010521

พันศักดิ์ กิจวานิชขจร รหัส 45010528

รศ.ดร.อภิรักษ์ รัตนยานนท์

ประจำภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำเทคโนโลยี RFID(Radio Frequency Identification) มาประยุกต์ใช้งาน โดยเทคโนโลยี RFID นี้จะประกอบด้วย เครื่องอ่าน(Reader) และ แท็ก(Tag) โดยในส่วนของแท็ก(Tag) จะทำหน้าที่ในการเก็บบันทึกข้อมูล และในส่วนของเครื่องอ่าน(Reader) จะทำหน้าที่ในการอ่านข้อมูล ภายในแท็ก(Tag) ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RFID Reader

Paul Vitesakan No.4501021
Phansak Kitwanitkachorn No.4501528
Assoc.Prof.Dr.Apinan Thanachayanont
2nd Semester , Educational Year 2005

Abstract

This project presents the application of RFID(Radio Frequency Identification) technology. This technology includes Reader and Tag. Tag will be used for keep the data and Reader will be used for read the data from tag.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญ	III
สารบัญรูปภาพ	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 RFID	2
2.1 RFID คืออะไร	2
2.2 ส่วนประกอบของระบบ RFID	2
2.3 หลักการและเทคนิคที่ใช้รับและส่งข้อมูลระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน	5
2.4 ขั้นตอนการทำงานระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก	6
2.5 คลื่นพาหะในระบบ RFID	6
บทที่ 3 Tag	8
3.1 การทำงาน	8
3.2 ส่วนประกอบของ Tag	8
- Battery	8
- Temperature Sensor	9
- Voltage Reference	9
- Analog to Digital Converter	10
- วงจรกึ่งสัญญาณนาฬิกา	12
- การมอดูเลต	12
- วงจรรวม	13
บทที่ 4 Reader	14
4.1 การทำงาน	14
4.2 ส่วนประกอบของ Reader	14
4.2.1 Transmitting Section	14
4.2.2 Receiving Section	16
4.3 วงจรรวม	18
4.4 Microcontroller	19
บทที่ 5 ผลการทดลอง	21
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	34

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงภาพรวมของระบบ RFID	2
รูปที่ 2.2 แสดง Tag ในรูปแบบต่างๆ	3
รูปที่ 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ Passive Tag	3
รูปที่ 2.4 แสดงรูปตัวอย่าง Active Tag ที่มีแบตเตอรี่ Lithium 2 ก้อนอยู่ภายนอก	4
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างภายในเครื่องอ่าน	5
รูปที่ 2.6 แสดงการมอดูเลตแบบต่างๆ	5
รูปที่ 2.7 แสดงความถี่ย่านที่ระบบ RFID ถูกใช้งาน	7
รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของ Tag	8
รูปที่ 3.2 แหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรของ Tag	8
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรในส่วนของการวัดอุณหภูมิ	9
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรในส่วนของ Voltage Reference	9
รูปที่ 3.5 วงจรแปลงอุณหภูมิเป็น Digital	10
รูปที่ 3.6 แสดง Timing Diagram ของ ADC0831	10
รูปที่ 3.7 แสดงการอ่านค่า output ของ ADC	11
รูปที่ 3.8 โครงสร้างภายใน MC14584BCP	12
รูปที่ 3.9 การกู้สัญญาณนาฬิกาจากคลื่นวิทยุ	12
รูปที่ 3.10 การมอดูเลต	12
รูปที่ 3.11 แสดงวงจรรวมของ Tag	13
รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบของ Reader	14
รูปที่ 4.2 แสดงวงจรสร้างสัญญาณคลื่นพาหะ 125 KHZ	15
รูปที่ 4.3 แสดงวงจร Power Amplifier	15
รูปที่ 4.4 แสดงวงจร Envelope Detector	16
รูปที่ 4.5 แสดงวงจร Filter, Amplifier and Pulse Shaping	17
รูปที่ 4.6 แสดงวงจรรวมของ Reader	18
รูปที่ 4.7 แสดงวงจรรวมในส่วนของ Microcontroller	19
รูปที่ 4.8 แสดง flow chart การทำงานของโปรแกรม	20
รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณวิทยุกับสัญญาณนาฬิกา	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณนาฬิกาับสัญญาณที่ได้จากการ การหารความถี่ลง 8 เท่า	21
รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณนาฬิกาับสัญญาณที่ได้จากการ การหารความถี่ลง 256 เท่า	22
รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบสัญญาณ output และสัญญาณ clock ของ ADC	22
รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบสัญญาณ output และสัญญาณ enable ของ ADC	23
รูปที่ 5.6 output ของ adc เมื่อป้อน $V_{in} = 0\text{ V}$	23
รูปที่ 5.7 output ของ adc เมื่อป้อน $V_{in} = 0.3\text{ V}$	24
รูปที่ 5.8 output ของ adc เมื่อป้อน $V_{in} = 1.28\text{ V}$	24
รูปที่ 5.9 output ของ adc เมื่อป้อน $V_{in} = 2\text{ V}$	25
รูปที่ 5.10 กราฟ output ของ adc ที่อุณหภูมิห้อง	25
รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบสัญญาณ output เมื่อตัดส่วน tri-state และสัญญาณ enable ของ ADC	26
รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบสัญญาณ mod ที่คอยล์ของ tag และ reader	26
รูปที่ 5.13 เปรียบเทียบสัญญาณ mod ที่คอยล์ของ Tag และ สัญญาณ Output ADC	27
รูปที่ 5.14 เปรียบเทียบสัญญาณ mod ที่คอยล์ของ Reader และ สัญญาณ Output ADC	27
รูปที่ 5.15 เปรียบเทียบสัญญาณ output ของ ADC และสัญญาณที่ผ่านวงจร envelope detector	28
รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบสัญญาณที่ขา 7 op-amp กับสัญญาณ output ADC	28
รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบสัญญาณที่ผ่านวงจร comparator กับ output ADC	29
รูปที่ 5.18 เปรียบเทียบสัญญาณ	29
รูปที่ 5.19 เมื่อป้อนแรงดัน 0 V ให้กับ ADC	30
รูปที่ 5.20 เมื่อป้อนแรงดันมากกว่าหรือเท่ากับ 1.28 V (V_{ref}) ให้กับ ADC	30
รูปที่ 5.21 เมื่อป้อนแรงดัน 0.23 V ให้กับ ADC	31
รูปที่ 5.22 เมื่อป้อนแรงดัน 0.23 V ให้กับ ADC	31
รูปที่ 5.23 เมื่อป้อนแรงดัน 0.35 V ให้กับ ADC	32
รูปที่ 5.24 เมื่อป้อนแรงดัน 0.35 V ให้กับ ADC	32
รูปที่ 5.25 ความผิดพลาดของ ADC ในการแปลงข้อมูล	33
รูปที่ 5.26 ความผิดพลาดจากการ Demodulate ข้อมูล	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

เทคโนโลยี RFID หรือในชื่อเต็มว่า Radio Frequency Identification เป็นเทคโนโลยีที่กำลังมีบทบาทและความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน RFID ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของ Tag และ Reader จุดประสงค์ของการใช้ระบบ RFID ก็เพื่อให้เราสามารถรับส่งข้อมูลระหว่างชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่ง ซึ่งก็คือ Tag ที่จะถูกอ่านโดยเครื่องอ่าน RFID และทำการประมวลผลข้อมูลที่อ่านได้ตามความต้องการใช้งาน

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยี RFID ไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายประเภท เช่น การทำสต็อกสินค้า และการจำหน่าย โดยนำมาใช้แทนรหัสบาร์โค้ดแบบเดิม ใช้เป็นบัตรสำหรับผ่านเข้าออกอาคาร ติดบนเสื้อผ้าในร้านขายเพื่อกันขโมย ใช้ในห้องสมุด เพื่อความสะดวกในการยืม-คืนหนังสือ

ซึ่งโครงการนี้ได้นำ RFID ไปประยุกต์ใช้งานในการวัดอุณหภูมิ โดยต่อเซนเซอร์วัดอุณหภูมิให้กับตัว Tag ทำให้สามารถวัดอุณหภูมิได้

เนื้อหาของโครงการ

การสร้างโครงการมีเนื้อหาต่างๆที่สำคัญ โดยในส่วนของเนื้อหาและวงจรจะกล่าวถึงหลักในส่วนของ Tag ซึ่งได้ทำในเทอมนี้ เนื้อหาต่างๆได้แยกไว้เป็นบท ดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึง หลักการ และ ส่วนประกอบของ RFID ซึ่งประกอบด้วย Tag และ Reader

บทที่ 3 กล่าวถึง ส่วนต่างๆใน Tag

บทที่ 4 กล่าวถึง ส่วนต่างๆใน Reader

บทที่ 5 เป็นผลการทดลองส่วนต่างๆในวงจร

บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

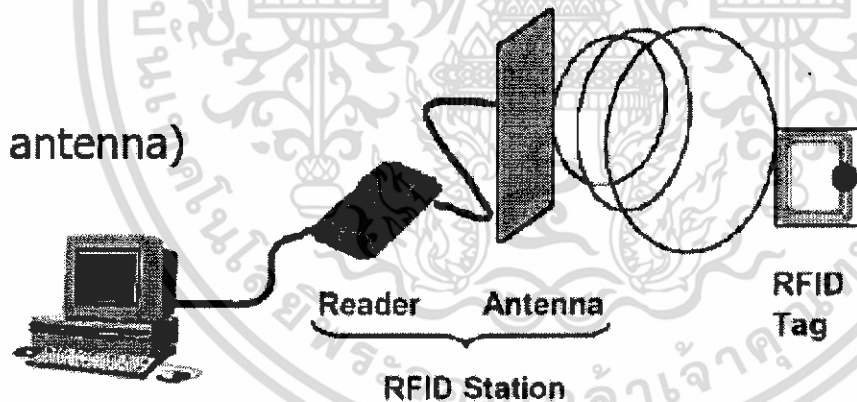
RFID

2.1 RFID คืออะไร

RFID ย่อมาจาก Radio Frequency Identification เป็นระบบระบุลักษณะของวัตถุด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 เพื่อวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำไปใช้งานแทนระบบรหัสแท่งหรือบาร์โค้ด (Barcode) จุดเด่นของ RFID อยู่ที่ที่สามารถอ่านค่าข้อมูลจากแท็ก (Tag) ได้หลายๆแท็กแบบไร้สัมผัส สามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี และสามารถอ่านค่าได้แม้ไม่ต้องอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกับเครื่องอ่าน (RFID Reader)

2.2 ส่วนประกอบของระบบ RFID

ในระบบ RFID จะมีองค์ประกอบหลักๆอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือทรานสปอนเดอร์หรือแท็ก (Transponder/Tag) ที่ใช้ติดกับวัตถุต่างๆที่เราต้องการ โดยแท็กจะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุนั้นๆเอาไว้ ส่วนที่สองก็คือ เครื่องสำหรับอ่านข้อมูลภายในแท็ก (Interrogator/Reader) ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ



รูปที่ 2.1 แสดงภาพรวมของระบบ RFID

2.2.1 แท็ก(Tag)

โครงสร้างภายในของแท็กจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับส่งสัญญาณความถี่วิทยุ และสร้างพลังงาน ป้อนให้ส่วนของไมโครชิป (Microchip) ที่ทำหน้าที่สำหรับเก็บข้อมูลของวัตถุ เช่น รหัสสินค้า โดยทั่วไปตัวแท็กอาจอยู่ในชนิดทั้งเป็นกระดาษ เช่น ขนาดเท่าบัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า แคลปซูล เป็นต้น ดังรูปที่ 2.2 แต่โดยหลักการอาจแบ่งแท็กที่มีการใช้งานกันอยู่ 2 ชนิดใหญ่ๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละชนิดก็มีความแตกต่างกันในแง่ของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงานอยู่ ซึ่งอธิบายเป็นหัวข้อดังนี้

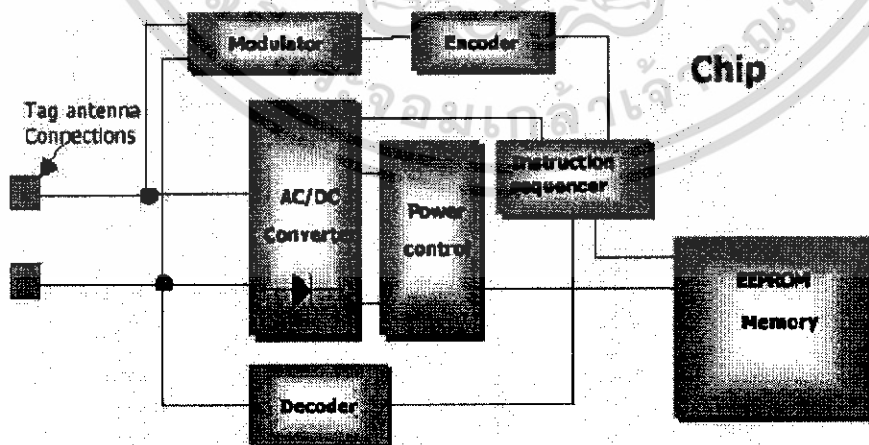


รูปที่ 2.2 แสดง Tag ในรูปแบบต่างๆ

1) Passive Tags

แท็กชนิดนี้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใดๆ เพราะภายในตัวแท็กจะมีวงจรถูกกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็กเป็นแหล่งจ่ายไฟในตัวอยู่ทำให้การอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนัก ระยะอ่านสูงสุดประมาณ 1 เมตร ขึ้นอยู่กับความแรงของเครื่องส่งและคลื่นวิทยุที่ใช้ ปกติแท็กชนิดนี้มักมีหน่วยความจำขนาดเล็กโดยทั่วไปประมาณ 16 ถึง 1024 ไบต์ มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ราคาต่อหน่วยต่ำ

ไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมา จะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นแท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบมองไม่เห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน ส่วนโครงสร้างภายในที่เป็นไอซีของแท็กนั้น ก็จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนควบคุมการทำงานของภาครับ-ส่งสัญญาณวิทยุ (Analog Front-End) ส่วนควบคุมภาคลอจิก (Digital Control Unit) ส่วนของหน่วยความจำ (Memory) ซึ่งอาจเป็นแบบ ROM หรือ EEPROM ดังรูปที่ 2.3

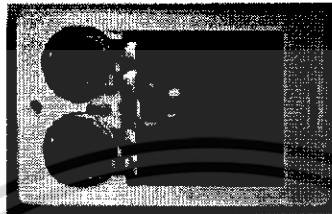


รูปที่ 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ Passive Tag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Active Tags

แท็กชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอก เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรภายในทำงาน แท็กชนิดนี้มีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ และสามารถอ่านได้ในระยะไกลสูงสุดประมาณ 10 เมตร แม้ว่าแท็กจะมีขั้วต่ออยู่หลายขั้ว แต่ก็มีขั้วยกเว้นเช่นกัน เช่น มีราคาแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด ดังรูปที่ 2.4



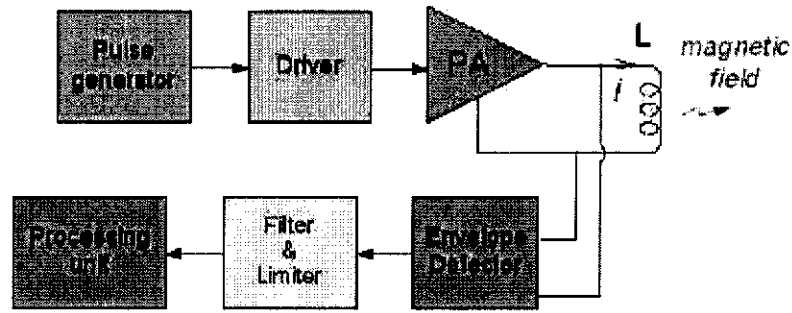
รูปที่ 2.4 แสดงรูปตัวอย่าง Active Tag ที่มีแบตเตอรี่ Lithium 2 ก้อนอยู่ภายนอก

2.2.2 เครื่องอ่าน (Reader)

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือ การเชื่อมต่อเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในแท็ก ด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วยเสาอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับส่งสัญญาณ ภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล จำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 2.5 โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล
- ภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

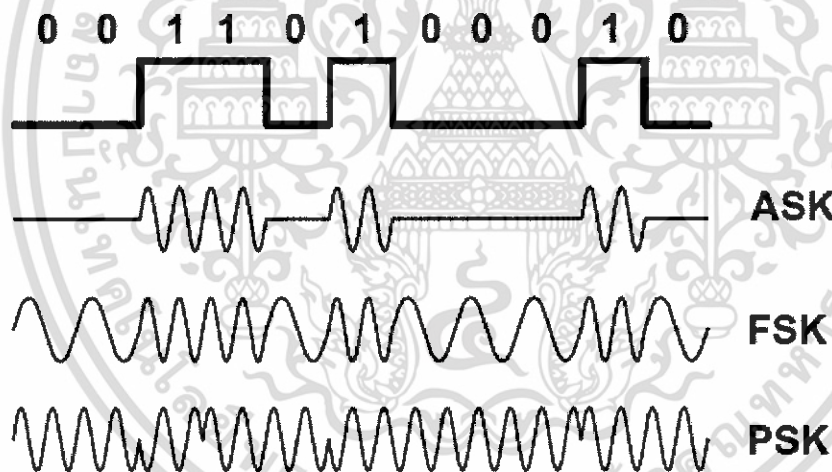
หน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรมจะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับและทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ลักษณะขนาด และรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างภายในเครื่องอ่าน

2.3 หลักการและเทคนิคที่ใช้รับและส่งข้อมูลระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน

โดยมากเทคนิคในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและแท็ก จะใช้หลักการในการมอดูเลตทางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation : AM) แต่ทว่าในปัจจุบันก็มีเทคนิคการมอดูเลตแบบอื่นๆด้วย เช่น การมอดูเลชันแบบเฟสชิฟต์คีย์อิง (Phase Shift Keying : PSK), ฟรีควเอนซ์ชิฟต์คีย์อิง (Frequency Shift Keying : FSK) หรือการใช้มอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation : FM) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการมอดูเลตแบบต่างๆ

ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างแท็กกับเครื่องอ่านจะทำได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้งาน เช่น เมื่อความถี่ใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ความยาวของเสาอากาศ (เป็นเส้นตรง) ที่เหมาะสมคือ 22.12 เมตรแน่นอนว่าในทางปฏิบัติเราคงไม่สามารถนำเสาอากาศที่มีใหญ่นั้นมาใช้กับแท็กขนาดเล็กของเราได้ สายอากาศที่ดูเหมาะสมกับแท็กมากที่สุด ก็คือสายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็ก หรือมีชื่ออย่างเป็นทางการว่าสายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (magnetic dipole antenna) รูปแบบของสายอากาศนี้ก็มีอยู่หลากหลาย ทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันบนแกนอากาศ หรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นรูปที่สร้างขึ้นจากสายทองแดง บนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งที่เป็นรูปแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะ และประเภทของงานด้วยเช่นกัน

นอกจากการรับส่งข้อมูลแล้วสายอากาศยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับแท็กด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของไมเคิล ฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก (จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของแท็ก และเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 0.16 เท่าของความยาวคลื่นพาหะที่ใช้เรียกปรากฏการณ์ว่า transformer-type coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เดียวกับการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดปฐมภูมิ(primary) และขดลวดทุติยภูมิ(secondary) ในหม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของแท็ก

2.4 ขั้นตอนการทำงานระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก

1. ตัวเครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณวิทยุอย่างต่อเนื่อง หรือเป็นจังหวะ และรอคอยสัญญาณตอบจากตัวแท็ก
2. เมื่อแท็กได้รับสัญญาณคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากเครื่องอ่านในระดับที่เพียงพอ ก็จะทำการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างพลังงานป้อนให้แท็กทำงาน โดยแท็กจะสร้างสัญญาณนาฬิกาเพื่อกระตุ้นวงจรภาคดิจิทัลในแท็ก
3. วงจรดิจิทัลจะไปอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายในและเข้ารหัสข้อมูล แล้วส่งไปยังภาคแอนาล็อกที่ทำหน้าที่มอดูเลตข้อมูล
4. ข้อมูลที่ถูกมอดูเลตจะถูกส่งไปยังขดลวดทำหน้าที่เป็นสายอากาศ เพื่อส่งไปยังเครื่องอ่าน
5. เครื่องอ่านจะสามารถตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูด (Envelope Detector) และใช้พีค ดีเทคเตอร์ (Peak Detector) ในการแปลงสัญญาณข้อมูลที่ถูกมอดูเลตแล้วจากแท็ก
6. เครื่องอ่านจะถอดรหัสข้อมูลแล้วส่งไปแสดงผล

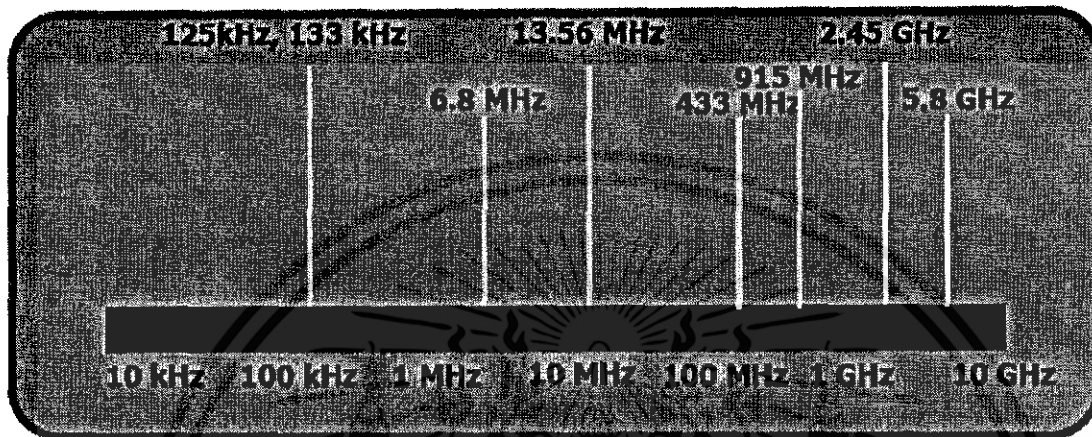
2.5 คลื่นพาหะในระบบ RFID

ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบ RFID จะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสารทั่วไป สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบ RFID อาจแบ่งได้เป็น 3 ย่านความถี่ที่ใช้งานหลัก ได้แก่

- ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency:LH) ต่ำกว่า 150 kHz
- ย่านความถี่สูง(High Frequency:HF) 13.56 MHz
- ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency:UHF) 433/486/915 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ (LH ระยะอ่านประมาณ 10-20 เซนติเมตร และ HF ระยะอ่านประมาณ 1-10 เมตร) เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน และในปัจจุบันระบบ RFID กำลังถูกวิจัยและพัฒนาในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz และความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานที่ต้องการระยะอ่านที่ไกลกว่า 10 เมตร เป็นต้น ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงความถี่ย่านที่ระบบ RFID ถูกใช้งาน

ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้ว RFID ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วสูงสุด และมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วน RFID ที่ใช้คลื่นพาหะในอีก 2 ย่านความถี่ราคาจะลดหลั่นกันไป

บทที่ 3

แท็ก

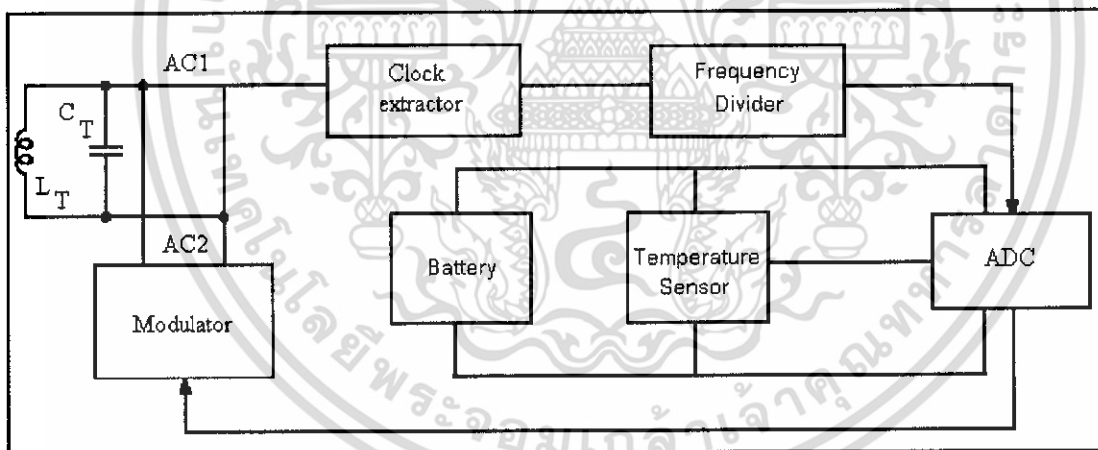
Tag

3.1 การทำงาน

เมื่อแท็กได้รับสัญญาณคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากเครื่องอ่านในระดับที่เพียงพอ สัญญาณส่วนหนึ่งจะถูกนำไปสร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล และสัญญาณอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในการควบคุมให้สวิตช์ทำงาน

เมื่อสวิตช์ทำงานแบตเตอรี่ซึ่งต่อไว้กับตัวแท็ก จะทำการจ่ายแรงดันขนาด 5 V ให้กับส่วนต่างๆในวงจร เมื่อได้รับพลังงานจากแบตเตอรี่ เช่น เซอร์วิคิวดูดอุณหภูมิ จะทำการวัดอุณหภูมิ และให้ output ออกมาเป็นแรงดัน ค่าแรงดันนี้จะถูกส่งต่อไปยังวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นสัญญาณที่ได้นี้จะถูกส่งไปยังส่วนมอดูเลต เพื่อส่งข้อมูลกลับไปยัง reader

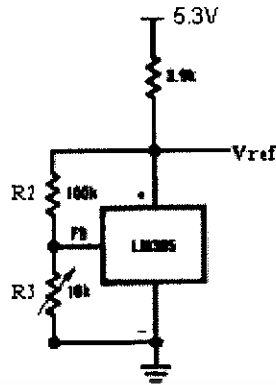
3.2 ส่วนประกอบของ Tag



รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของ Tag

3.2.1 Battery

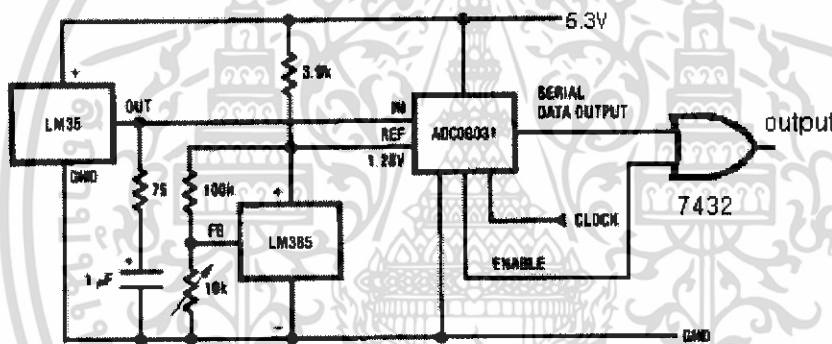
เป็นส่วนที่จ่ายไฟให้กับวงจร โดยใช้ถ่านขนาด 1.5 V ต่ออนุกรมกันทั้งหมด 4 ตัว จึงได้แรงดันขนาด 6 V และนำไดโอดต่ออนุกรมกับแหล่งจ่าย ทำให้ได้แรงดันที่จ่ายให้กับวงจรประมาณ 5.3V



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรในส่วนของ Voltage Reference

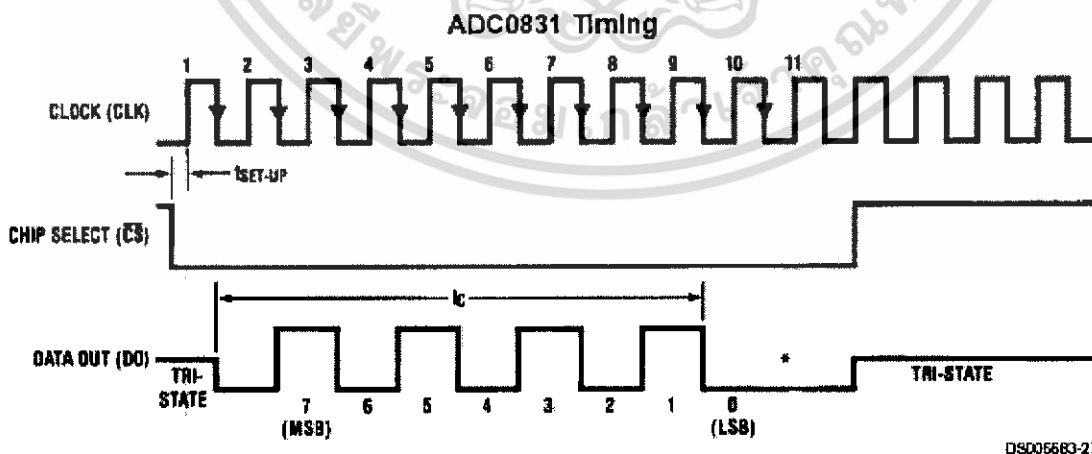
3.2.4 Analog to Digital Converter

การแปลงสัญญาณจาก analog ไปเป็นสัญญาณ Digital จะใช้ ADC0831 ซึ่งมีคุณสมบัติในการแปลงสัญญาณ analog ไปเป็น digital ขนาด 8 bits และให้ serial output ค่าที่นำไปแปลงคือผลต่างระหว่าง input กับ Vref



รูปที่ 3.5 วงจรแปลงอุณหภูมิเป็น Digital

Timing Diagram



*LSB first output not available on ADC0831.

รูปที่ 3.6 แสดง Timing Diagram ของ ADC0831

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

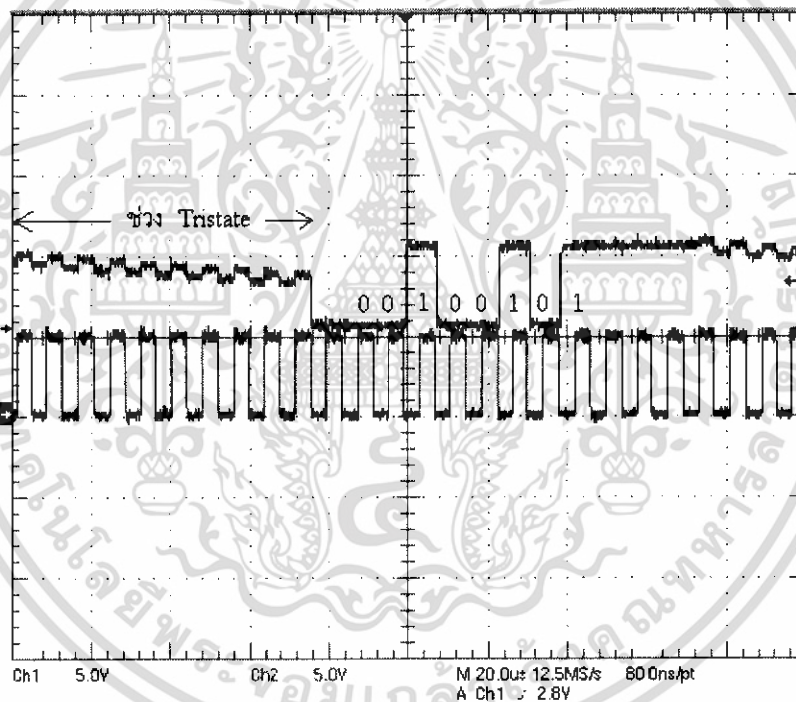
การแปลงค่าของ ADC0831 จะเริ่มขึ้นเมื่อ สัญญาณจากขา \overline{CS} มีการเปลี่ยนแปลงจาก H \rightarrow L และสัญญาณ CS/ ต้องเป็น L ตลอดช่วงการเปลี่ยนแปลง การแปลงค่าจะเริ่มที่ clk input ลูกที่ 2 เนื่องจาก clk input ลูกแรกเป็นการบอกว่าการแปลงค่าจะเริ่มที่ clk ลูกถัดไป ดังนั้น \overline{CS} ต้องเป็น L เป็นช่วงเวลามากกว่า 8 clk เพื่อให้การแปลงค่าสมบูรณ์

จาก timing diagram จะเห็นว่า ADC831 มีค่า error อยู่ที่ บิต 0 ดังนั้นค่า error จึงเป็น ± 1 LSB

ค่าที่ ADC จะนำไปแปลงคือ ผลต่างระหว่าง V_{in} และ V_{ref}

จากการที่กำหนดให้ $V_{ref} = 1.28$ V และ Temperature sensor มีการเปลี่ยนแปลง แรงดัน output = 1 mV/ $^{\circ}$ C ทำให้การวัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง 0 - 128 $^{\circ}$ C และมีความละเอียด 0.5 $^{\circ}$ C

การอ่านค่า output ของ ADC จากกราฟ



รูปที่ 3.7 แสดงการอ่านค่า output ของ ADC

จากกราฟจะเห็นว่าเราจะเริ่มอ่านค่า output ที่ CLK ลูกที่ 2 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วและค่าที่อ่านได้ คือ 00100101 ซึ่งเมื่อนำไปแปลงเป็นเลขฐานสิบ = 37 และแปลงเป็นอุณหภูมิ = 16.5 $^{\circ}$ C

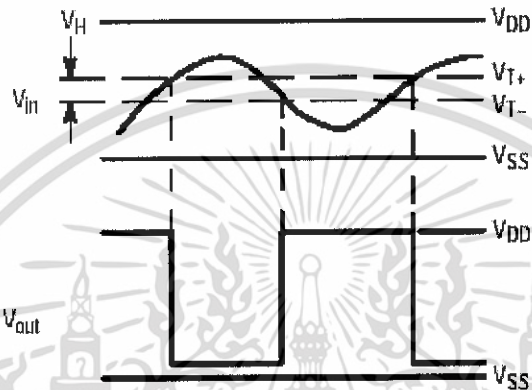
สัญญาณ Output ADC จะมีช่วงหนึ่งที่เรียกว่าช่วง Tri-State ซึ่งจะเกิดในช่วงที่สัญญาณ \overline{CS} เป็น high ช่วง Tri-State อาจมีผลทำให้ปะปนกับข้อมูลทั้ง 8 บิต เมื่อส่งไป Modulate ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดการ Tri-State นี้ออกไป

3.2.5 วงจรกัณสัญญาณนาฬิกา

จากสัญญาณวิทยุที่แท้ที่ได้รับ สามารถนำมาแยกเป็นสัญญาณนาฬิกา เพื่อป้อนให้กับ ADC ได้โดยใช้ Schmitt trigger IC เบอร์ MC14584BCP



รูปที่ 3.8 โครงสร้างภายใน MC14584BCP

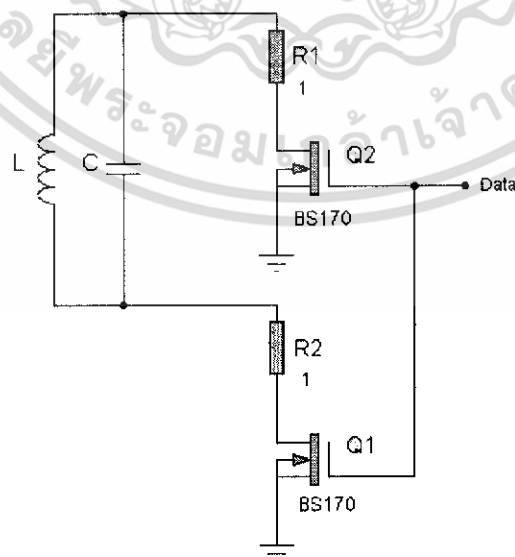


รูปที่ 3.9 การกัณสัญญาณนาฬิกาจากคลื่นวิทยุ

สัญญาณนาฬิกาที่ได้จากวงจรกัณสัญญาณนาฬิกาจะมีความถี่เท่ากับความถี่ของสัญญาณเดิม คือ 125 KHz สัญญาณนาฬิกานี้จะถูกนำไปผ่าน IC ทารความถี่(CD4040) เพื่อป้อนให้กับ ADC

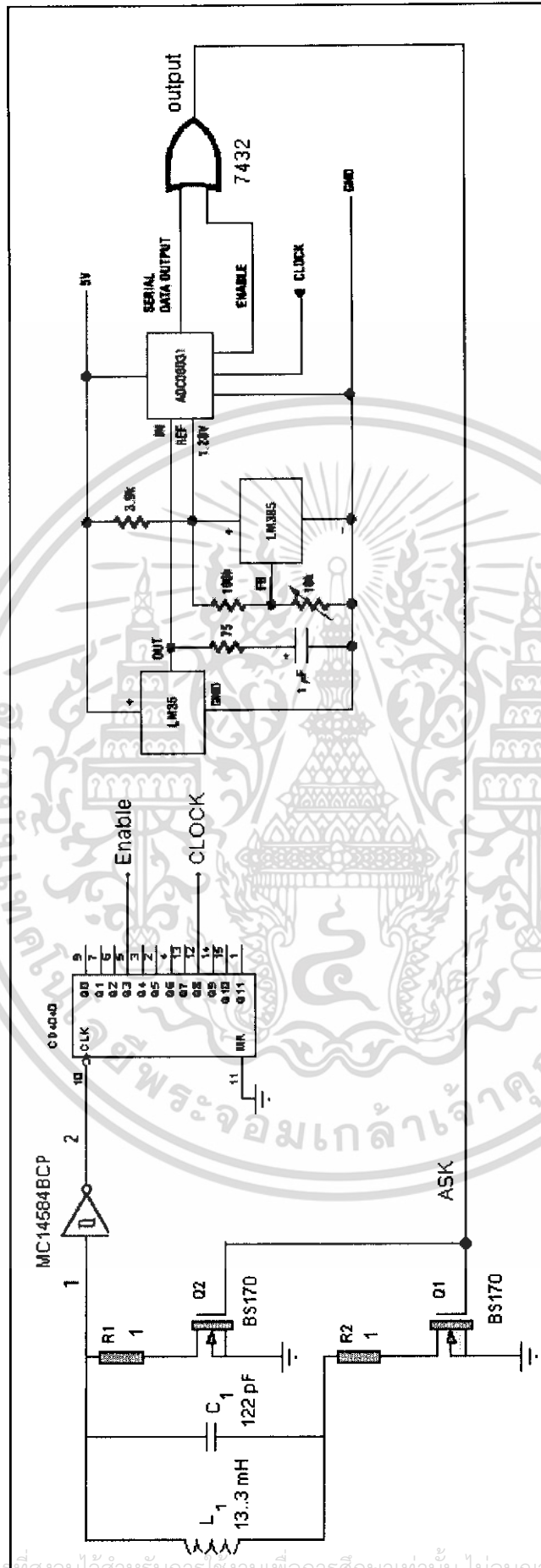
3.2.6 การมอดูเลต

ข้อมูลจาก ADC จะถูกนำไปมอดูเลตกับคลื่นพาห้ เพื่อส่งข้อมูลกลับไปยัง Reader โดยใช้การมอดูเลตเชิงขนาด (Amplitude Modulation)



รูปที่ 3.10 การมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรรวมขด Tag

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

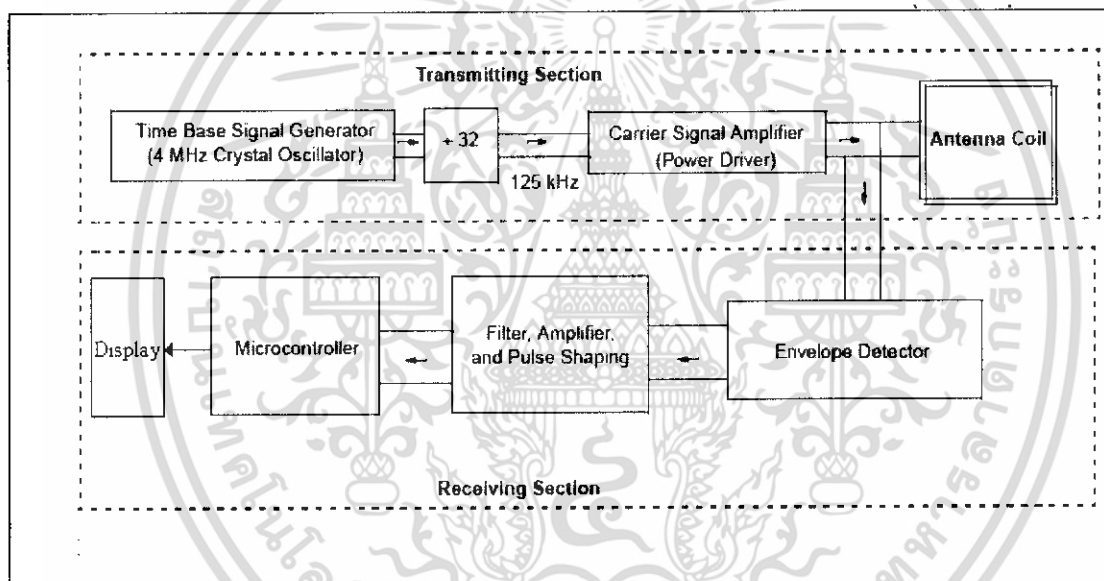
Reader

4.1 การทำงาน

หน้าที่หลักของเครื่องอ่านคือ การส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุไปให้กับตัวแท็ก และรับเอาข้อมูลของจากแท็กมาประมวลผล และแสดงผล

4.2 ส่วนประกอบของ Reader

ส่วนประกอบของ Reader หลักๆแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนส่ง(Transmitting Section) และส่วนรับ(Receiving Section)

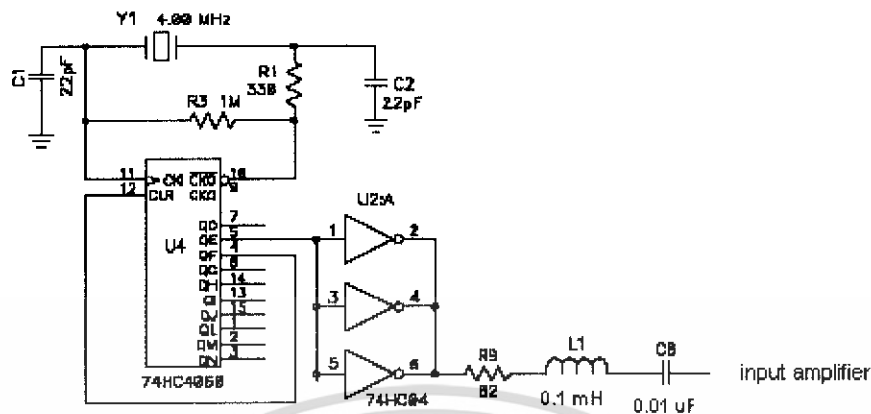


รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบของ Reader

4.2.1 Transmitting Section

เป็นส่วนที่ส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุไปให้กับตัวแท็ก ประกอบด้วยวงจรสร้างสัญญาณคลื่นพาหะ 125 KHz และวงจร Power Amplifier

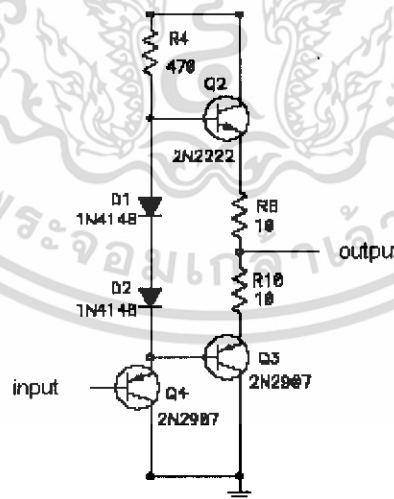
- วงจรสร้างสัญญาณคลื่นพาหะ 125 KHZ



รูปที่ 4.2 แสดงวงจรสร้างสัญญาณคลื่นพาหะ 125 KHZ

ภาคกำเนิดสัญญาณชาชนี้ เริ่มจากคริสตอลกำเนิดคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 4 MHz แล้วนำไปหารความถี่ที่ IC 74HC4050 ($4 \text{ MHz}/32 = 125 \text{ KHz}$) ได้ความถี่ 125 KHz ผ่าน Inverter ที่ต่อขนานกันอยู่ 3 ตัว เพื่อเพิ่มความสามารถในการขับโหลด จากนั้นนำไปผ่าน L1 กับ C8 โดยค่าของ L1 และ C8 คำนวณได้จาก $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ เพื่อให้เกิดคลื่นชาชนี้ จะได้ $L1 = 0.1\text{mH}$ และ $C8 = 0.016 \text{ uF} (\approx 0.01\text{uF})$

- วงจร Power Amplifier



รูปที่ 4.3 แสดงวงจร Power Amplifier

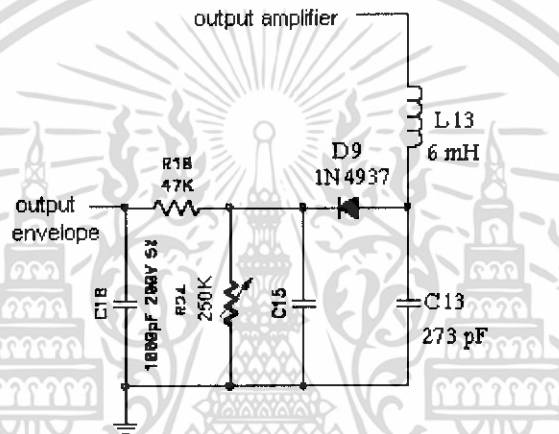
เนื่องจากว่าคลื่นชาชนี้ที่จากวงจรสร้างสัญญาณคลื่นพาหะ มีกำลังต่ำไม่สามารถขับให้คอยล์ส่งระยะไกลๆได้ จึงต้องใช้วงจร Power Amplifier ช่วย ซึ่งในที่นี้ใช้วงจรขยายคลาส AB โดยมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางาน คือ R4 ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันให้เป็นกระแส(Ibias)เพื่อไปไบแอสให้ไดโอด D1 และ D2 ทํางาน ทำให้เกิดแรงดัน Vbb(แรงดันระหว่างขาเบสของ Qn กับ Qp) กระแสที่ผ่าน Qn กับ Qp ในโหมด saturation นั้นจะเป็น n เท่าของ Ibias n คือ เรโซของพื้นที่รอยต่อ Emitter ของ output device กับพื้นที่รอยต่อของไดโอดที่ไบแอส

4.2.2 Receiving Section

เป็นส่วนที่รับสัญญาณจากตัวเท็ก และนำสัญญาณนั้นมาแปลงเป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการแสดงผล ส่วนรับนี้ประกอบด้วยวงจร demodulator วงจรกรองความถี่ วงจรขยาย วงจรเปรียบเทียบระดับสัญญาณ และMicrocontroller ซึ่งใช้ในการประมวลผลและแสดงผล

- Envelope Detector



รูปที่ 4.4 แสดงวงจร Envelope Detector

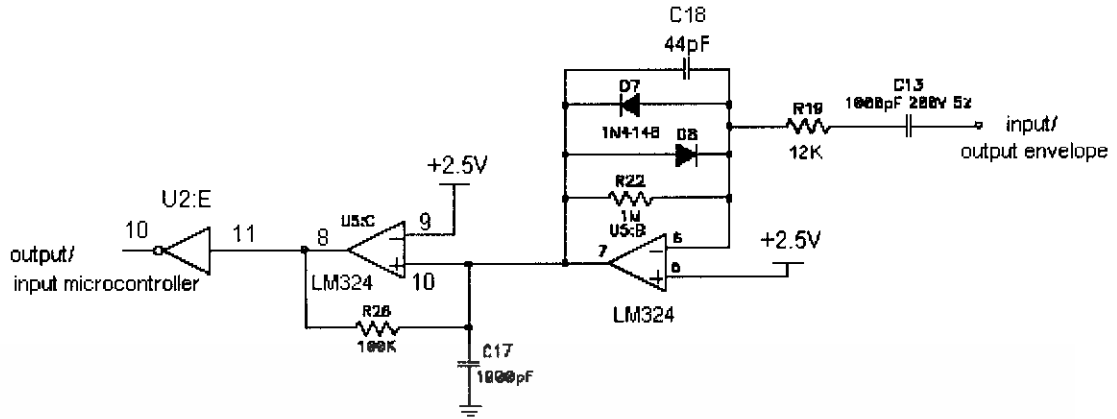
ในการถอดรหัสสัญญาณ(Demodulate) ที่ส่งมาจากการมอดูเลตทางแอมพลิจูด(ASK) นี้ จะใช้วงจร Diode Envelope Detector ซึ่งประกอบด้วย ไดโอด,ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ โดยค่าของความต้านทาน และค่าของตัวเก็บประจุ จะต้องเป็นค่าที่เหมาะสม ซึ่งสามารถเลือกได้จาก

$$RC = \frac{1}{2\pi f_{max}}$$

โดย fmax คือความถี่สูงสุดของข้อมูลที่ถูกรมอดูเลต ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.625kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Filter, Amplifier and Pulse Shaping



รูปที่ 4.5 แสดงวงจร Filter, Amplifier and Pulse Shaping

สัญญาณที่ผ่านวงจร Envelope Detector จะถูกนำไปผ่านวงจรกรองสัญญาณ active filter ความถี่ต่ำที่ C13 จากนั้นนำไปเข้าวงจร Amplifier ใช้ OpAmp U5:B โดยขยายเทียบกับ 2.5 volt ซึ่งไดโอด D7 กับ D8 เป็นตัวควบคุมให้แรงดันอินพุตสวิงอยู่ช่วง 2.5 volt จากนั้นนำไปเข้าวงจร OpAmp U5:C ซึ่งเป็นวงจร comparator Hysteresis หลังจากเปรียบเทียบแรงดันแล้ว จะยังได้ข้อมูลที่กลับเฟสอยู่ จึงต้องใช้ inverter เพื่อกลับข้อมูลกลับ หลังจากผ่าน inverter แล้วข้อมูลที่ได้อาจจะเหมือนกับข้อมูลของ ADC ทางฝั่งเทีกทุกประการ เพียงแต่มีดีเลย์จากการส่งเล็กน้อย สัญญาณที่ได้นี้จะถูกนำเข้า Microcontroller เพื่อแปลงค่าเป็นอุณหภูมิและแสดงผลในลำดับต่อไป

- Microcontroller

เป็นส่วนที่นำสัญญาณดิจิทัลที่รับมาตีค่าเป็นอุณหภูมิ และทำการแสดงค่าอุณหภูมินั้น โดย 7-Segment ทั้ง 4 ตัว

ในการรับข้อมูลอนุกรมของ at89c51 ต้องมีการเลือกโหมดการทำงาน และกำหนดอัตราการรับข้อมูล เนื่องจากข้อมูลที่รับมานี้เป็นข้อมูลขนาด 8 บิต และมี start bit และ stop bit อย่างละ 1 และข้อมูลมี baud rate = 15.625 kbit/sec จึงเลือกโหมด 1 ในการทำงาน โดยสามารถคำนวณค่า TH1 ได้ดังนี้

Model

$$\text{Baud} = \frac{2^{\text{SMOD}} \times \text{CPUOsc}}{32 \times 12[256-\text{TH1}]}$$

Baud Rate = 15.625 k , CPU = 12MHz เลือก SMOD = 0

$$\text{TH1} = 256 - \frac{12M}{15625 \times 32 \times 12}$$

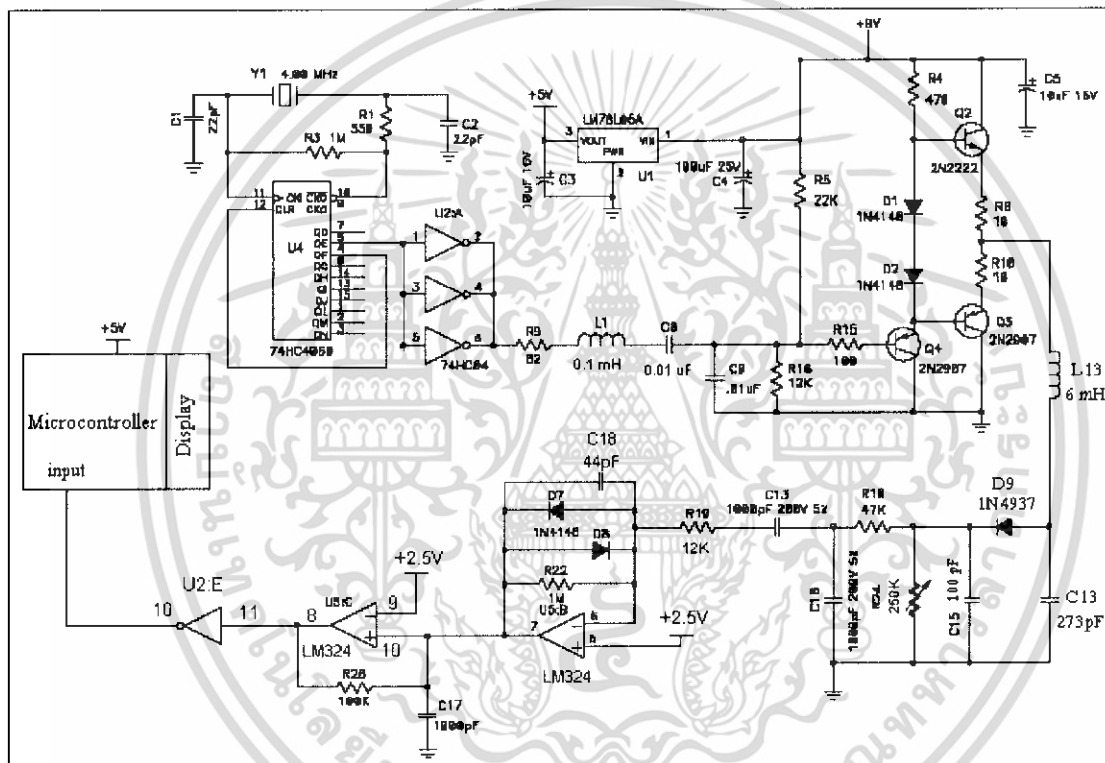
จะได้ TH1 = 254

เนื่องจากในส่วน ADC มีการกำหนดให้ $V_{ref} = 1.28 \text{ V}$ และ Temperature sensor มีการเปลี่ยนแปลงแรงดัน output = $1 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ค่าของข้อมูล 8 บิต อยู่ในช่วง 0-255 ทำให้การวัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง $0-128^{\circ}\text{C}$ และมีความละเอียด 0.5°C

ในการแปลงค่าข้อมูลที่ได้รับมาเป็นอุณหภูมิทำได้โดยนำค่า 8 บิตที่ได้รับมาแปลงเป็นเลขฐาน 10 และหาร 2 เซ็น

ค่าข้อมูลที่ได้รับมา 8 บิต = 1010 1010 แปลงเป็นฐานสิบ = 170 แปลงเป็นอุณหภูมิเพื่อแสดงบน 7-segment = 85

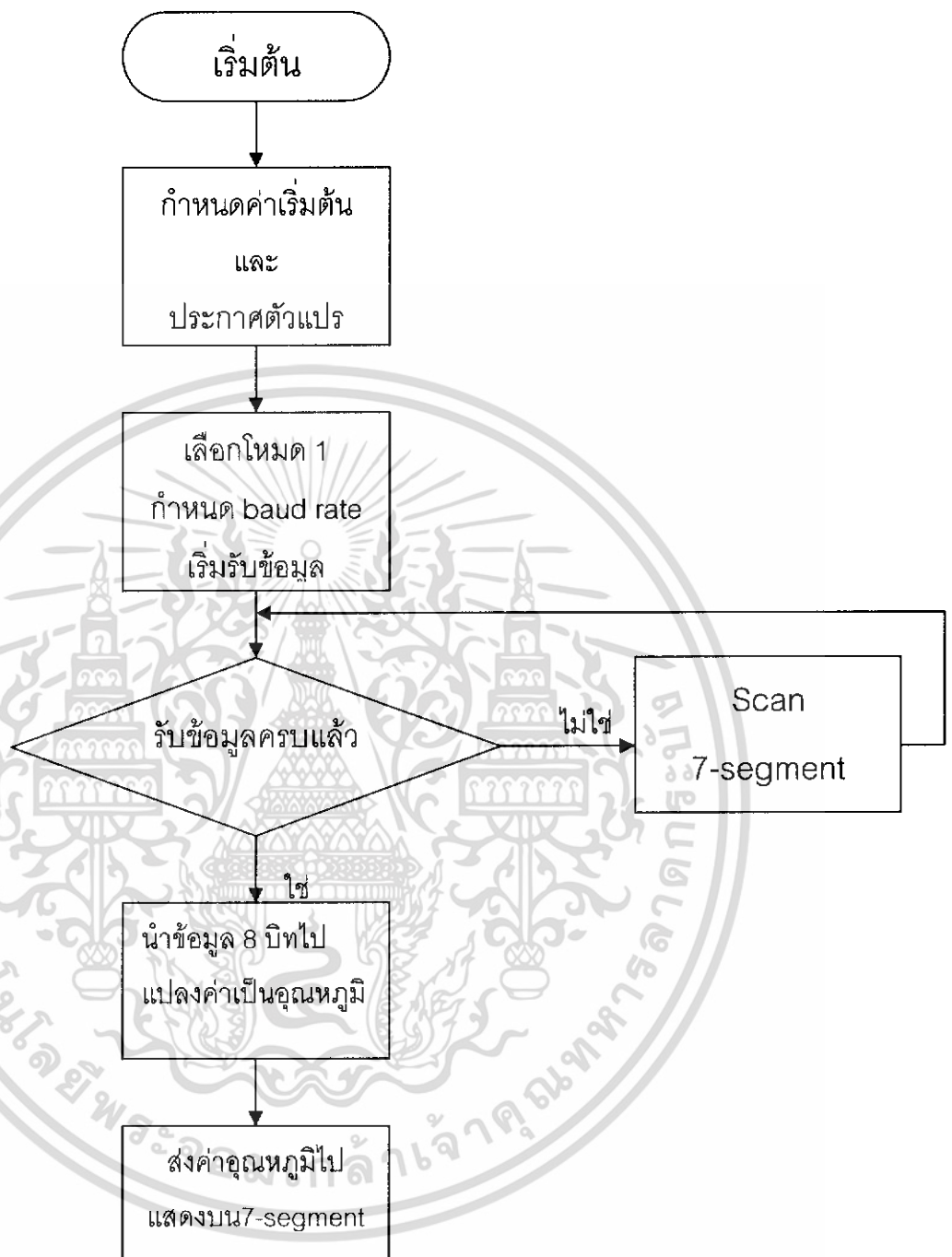
4.3 วงจรรวม



รูปที่ 4.6 แสดงวงจรรวมของ Reader

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flow Chart การทำงานของโปรแกรม



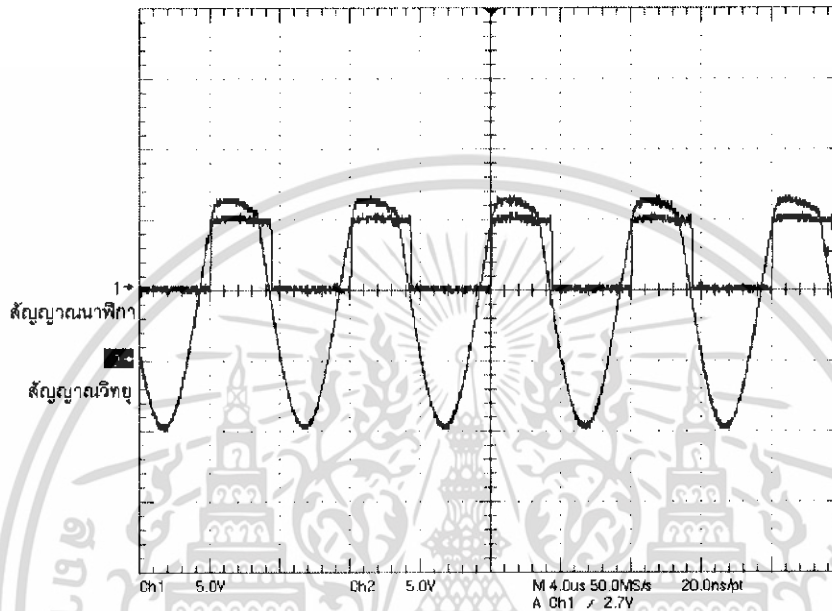
รูปที่ 4.8 แสดง flow chart การทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

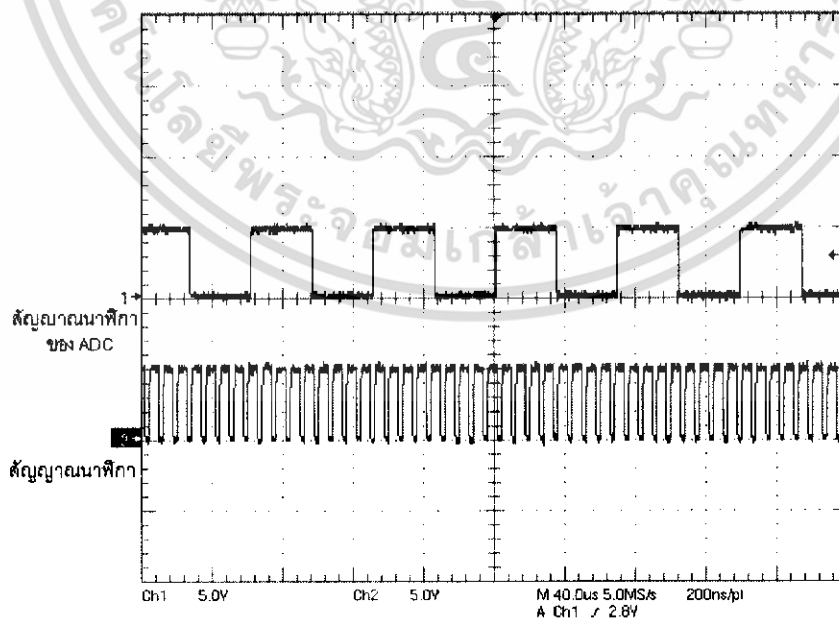
ผลการทดลอง

1.ผลการทดลองวงจรผู้สัญญาณนาฬิกา



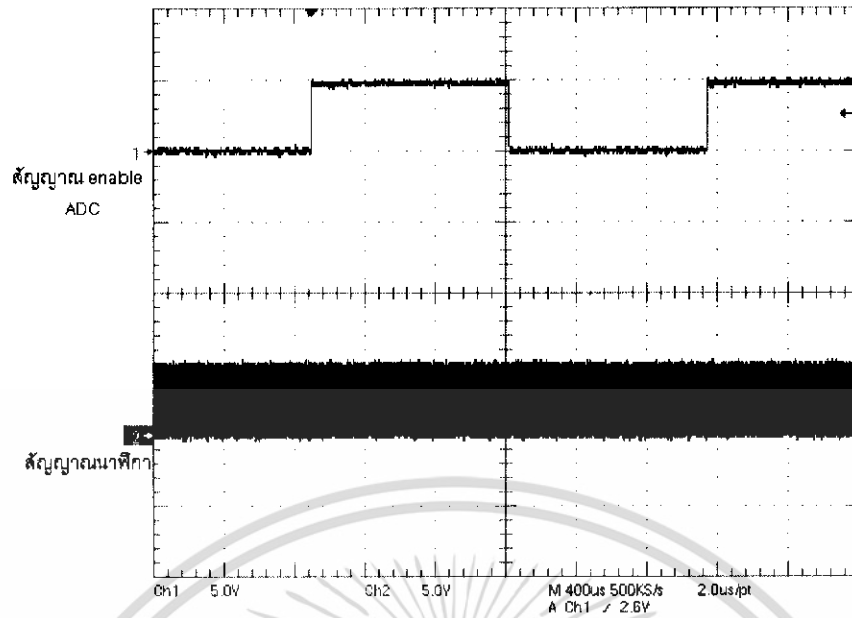
รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณวิทยุกับสัญญาณนาฬิกา

2.ผลการทดลองวงจรหารความถี่



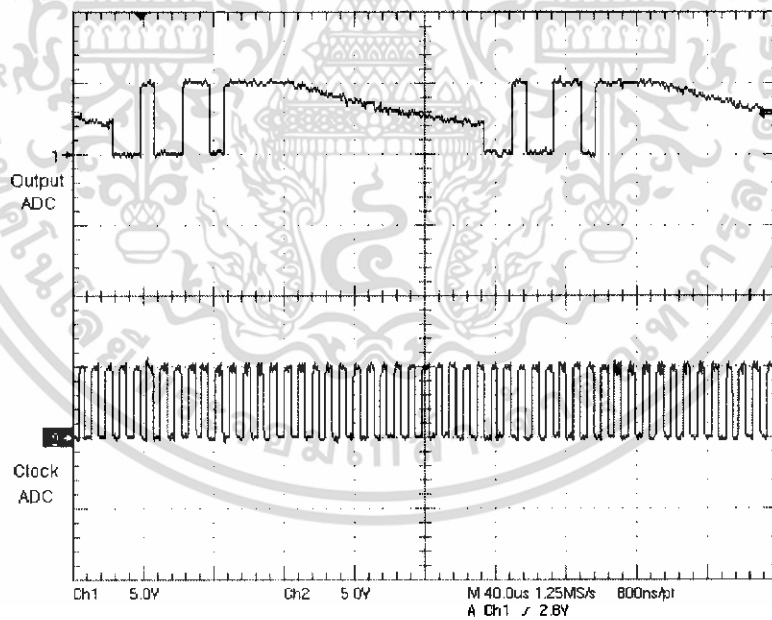
รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณนาฬิกา กับสัญญาณที่ได้จากการหารความถี่ลง 8 เท่า
(สัญญาณ clk ของ ADC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



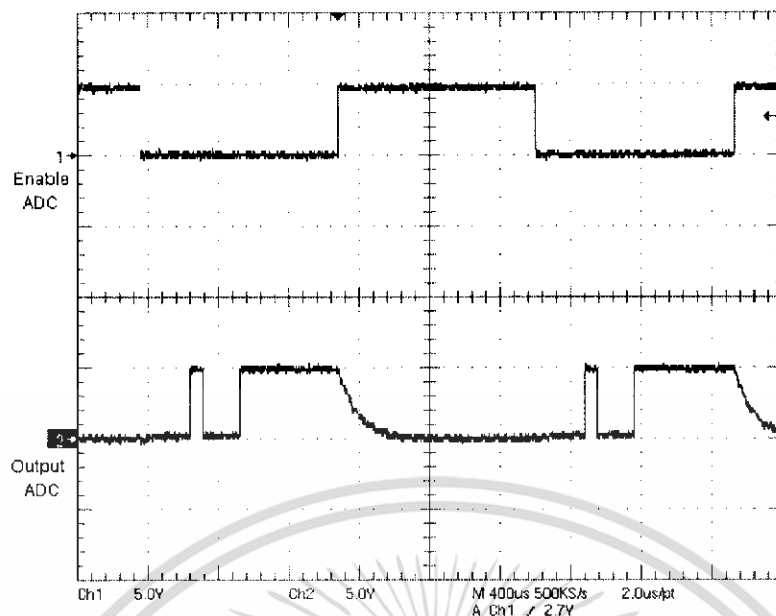
รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณนาฬิกา กับสัญญาณที่ได้จากการหารความถี่ลง 256 เท่า (สัญญาณ enable ของ ADC)

3.ผลการทดลอง ADC



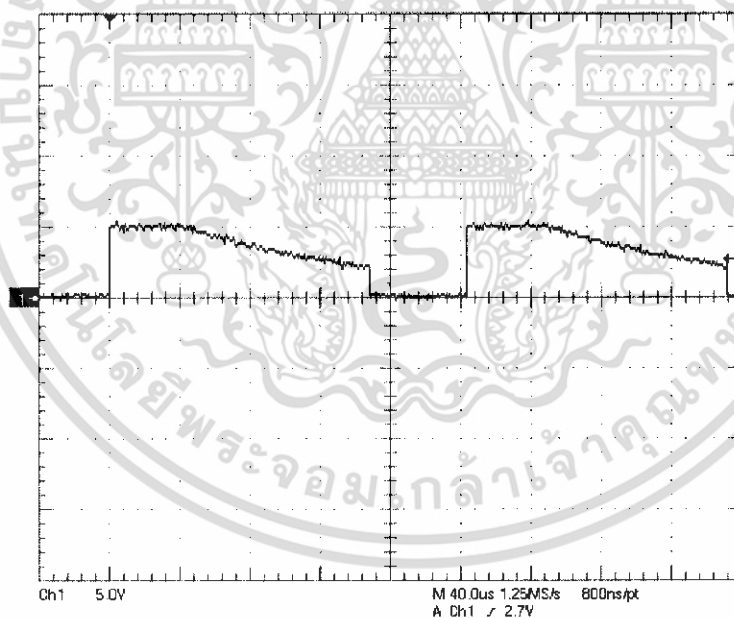
รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบสัญญาณ output และสัญญาณ clock ของ ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบสัญญาณ output และสัญญาณ enable ของ ADC

ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนแรงดัน input V_{in} ค่าต่างๆ โดยให้ V_{ref} มีค่าคงที่คือ 1.28 V แล้วทำการวัด Data output เพื่อนำมาตีค่าเป็นเลขฐานสิบ



รูปที่ 5.6 output ของ adc เมื่อป้อน $V_{in} = 0$ V

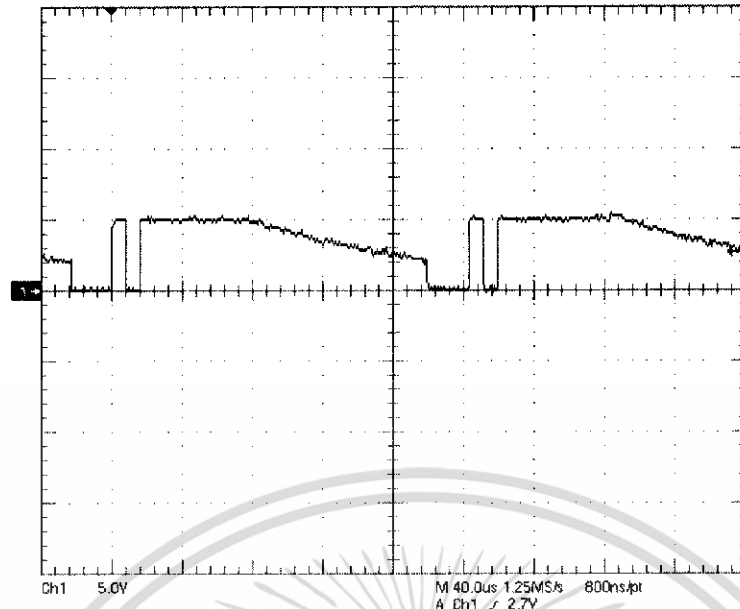
อ่านค่าจากกราฟทั้ง 8 bit เป็น 00000000 = 0

เมื่อแปลงค่าเป็นเป็นอุณหภูมิ = 0 °C

ตามทฤษฎี = 0 °C

Error = 0 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



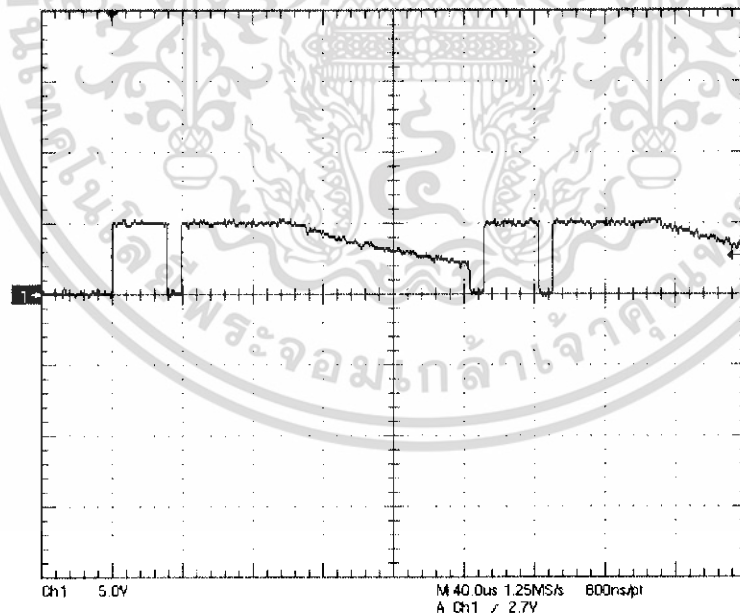
รูปที่ 5.7 output ของ adc เมื่อป้อน $V_{in} = 0.3 \text{ V}$

อ่านค่าจากกราฟทั้ง 8 bit เป็น $00101111 = 47$

เมื่อแปลงค่าเป็นเป็นอุณหภูมิ = $23.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

ตามทฤษฎี = $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Error = $6.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 5.8 output ของ adc เมื่อป้อน $V_{in} = 1.28 \text{ V}$

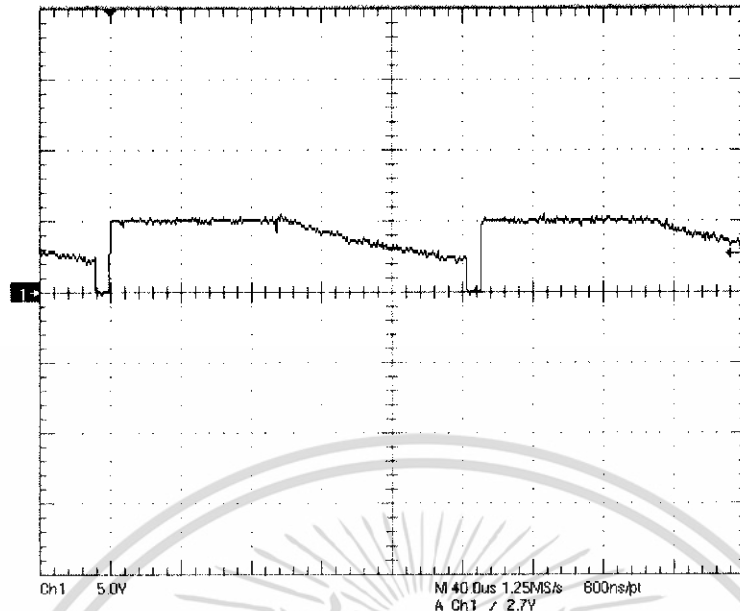
อ่านค่าจากกราฟทั้ง 8 bit เป็น $11101111 = 239$

เมื่อแปลงค่าเป็นเป็นอุณหภูมิ = $119.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

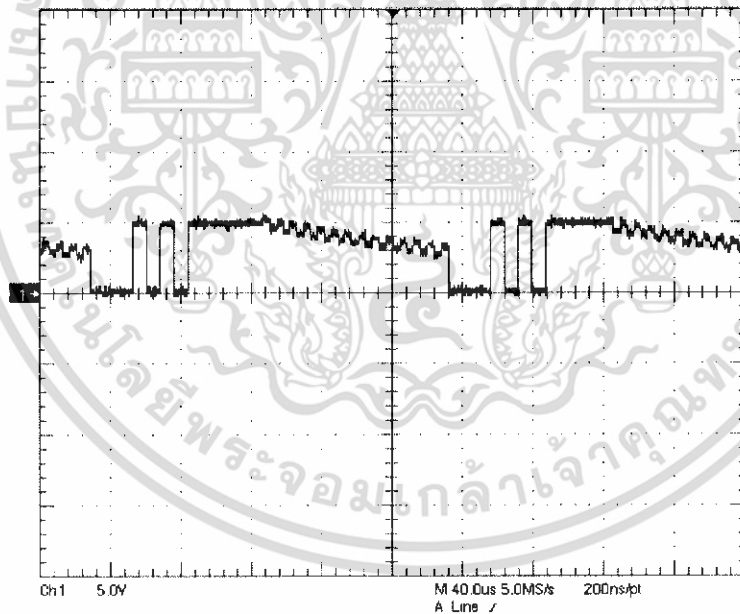
ตามทฤษฎี = $128 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Error = $6.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารประกอบการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



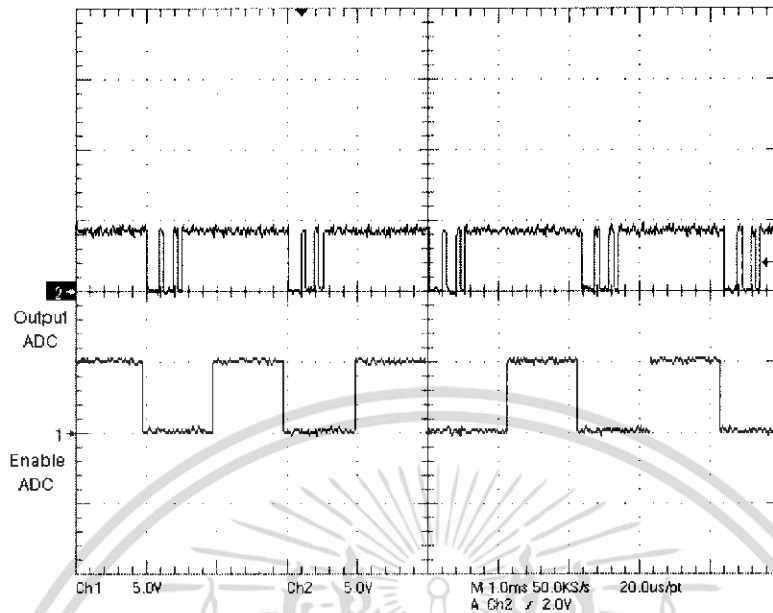
รูปที่ 5.9 output ของ adc เมื่อป้อน $V_{in} = 2\text{ V}$
อ่านค่าจากกราฟทั้ง 8 bit เป็น 11111111



รูปที่ 5.10 กราฟ output ของ adc ที่อุณหภูมิห้อง

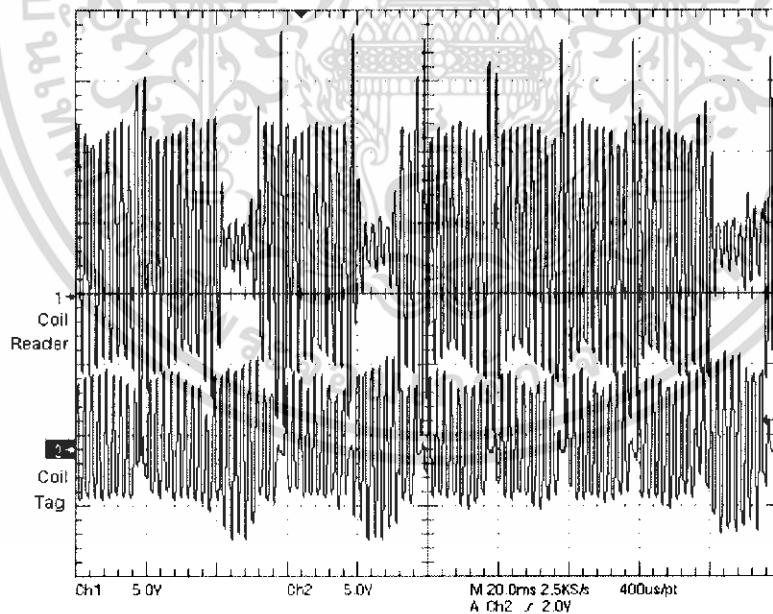
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตัดช่วง Tri-state ของ output ADC



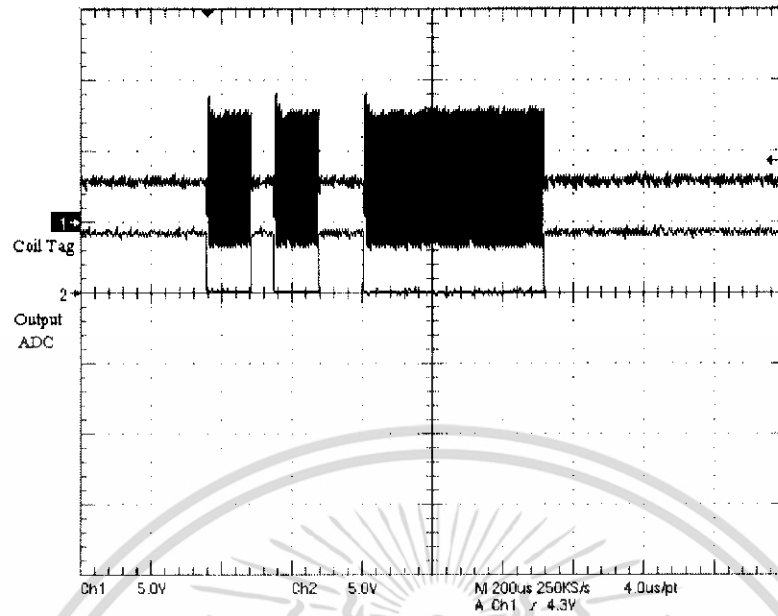
รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบสัญญาณ output เมื่อตัดส่วน tri-state และสัญญาณ enable ของ ADC

4. ผลการทดลองการ Modulation

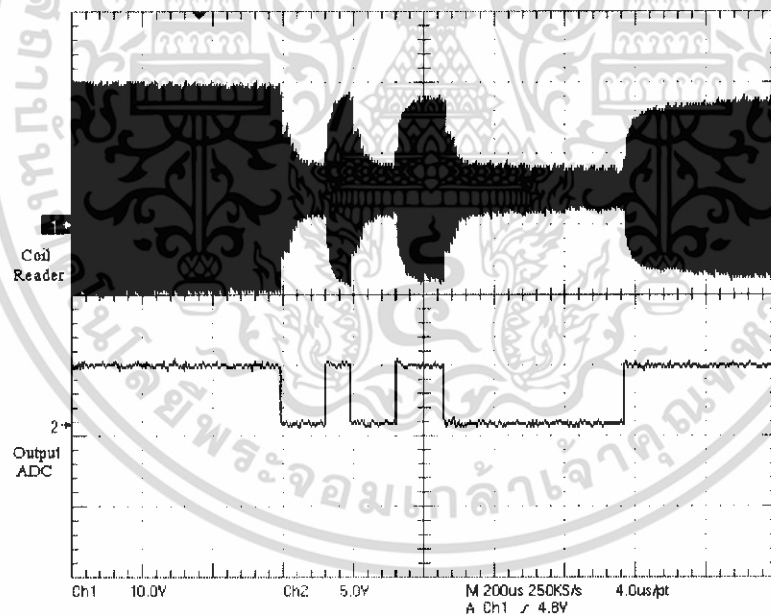


รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบสัญญาณ mod ที่คอยล์ของ tag และ reader

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



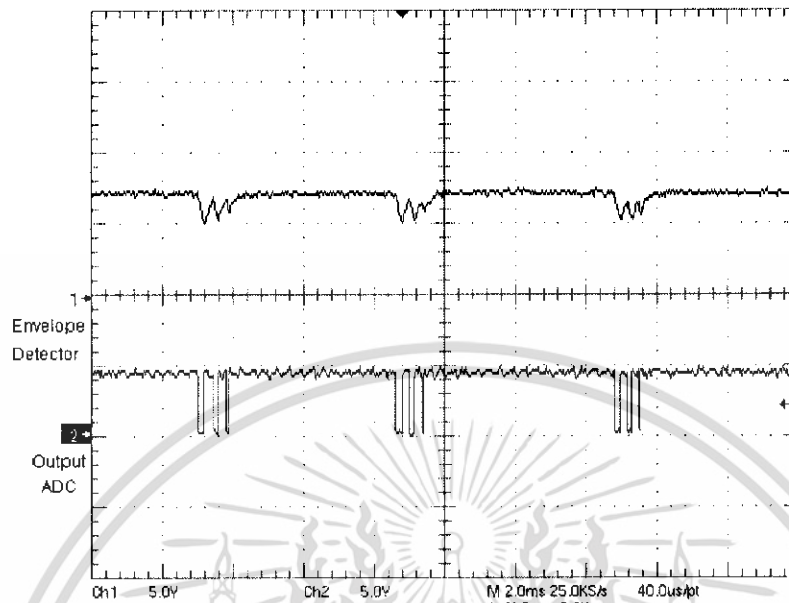
รูปที่ 5.13 เปรียบเทียบสัญญาณ mod ที่คอยล์ของ Tag และ สัญญาณ Output ADC



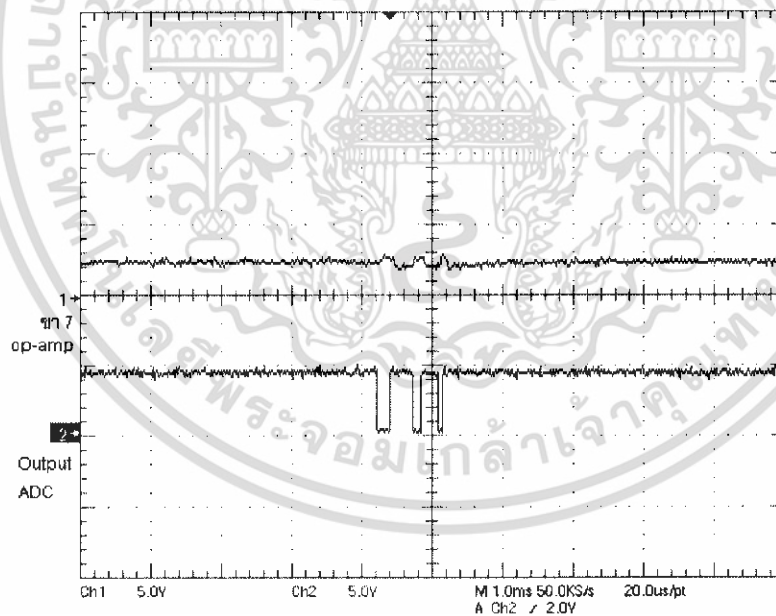
รูปที่ 5.14 เปรียบเทียบสัญญาณ mod ที่คอยล์ของ Reader และ สัญญาณ Output ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลการทดลองการ Demodulation

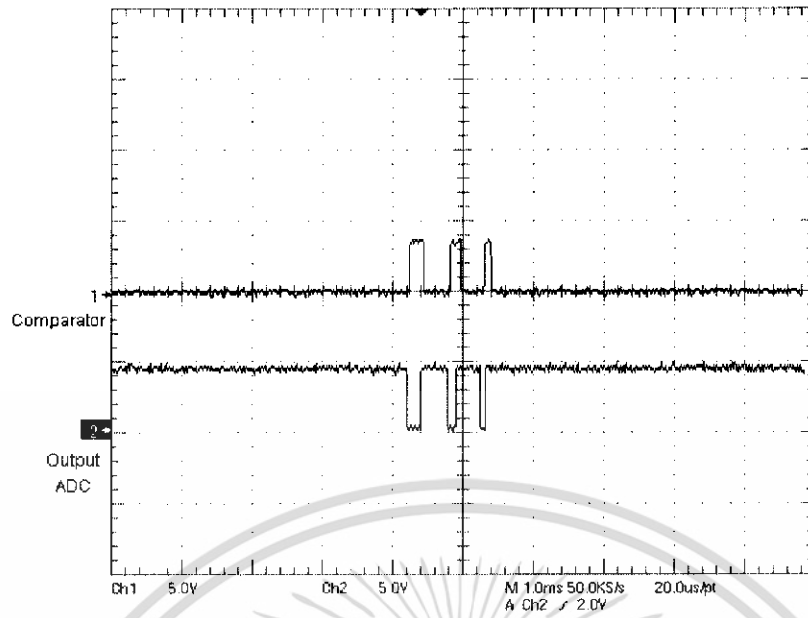


รูปที่ 5.15 เปรียบเทียบสัญญาณ output ของ ADC และสัญญาณที่ผ่านวงจร envelope detector

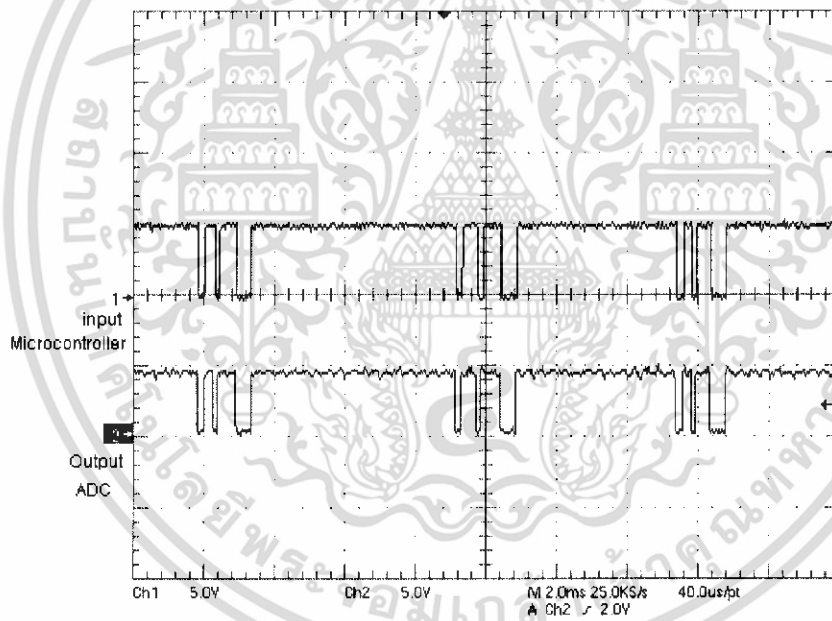


รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบสัญญาณที่ขา 7 op-amp กับสัญญาณ output ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบสัญญาณที่ผ่านวงจร comparator กับ output ADC



รูปที่ 5.18 เปรียบเทียบสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Microcontroller

เป็นผลการทดลองป้อน microcontroller ซึ่งทำการทดลองโดยการป้อนแรงดัน input ให้กับ ADC ดังภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

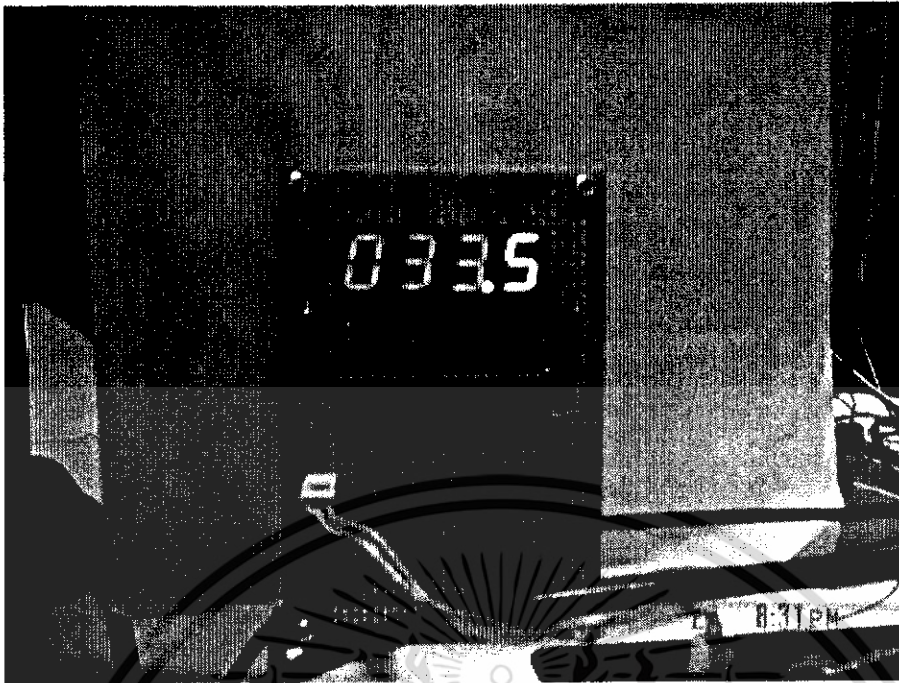


รูปที่ 5.21 เมื่อไฟตกเกิน 0.23 V ให้อับ ADC



รูปที่ 5.22 เมื่อไฟตกเกิน 0.23 V ให้อับ ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



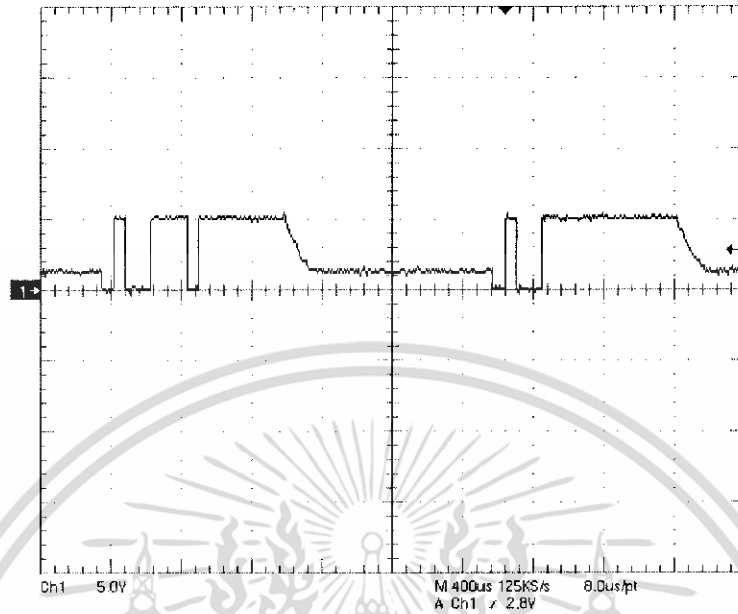
รูปที่ 5-33 เมื่อใช้โหนดที่ 0.35 V ให้อ่าน ADC



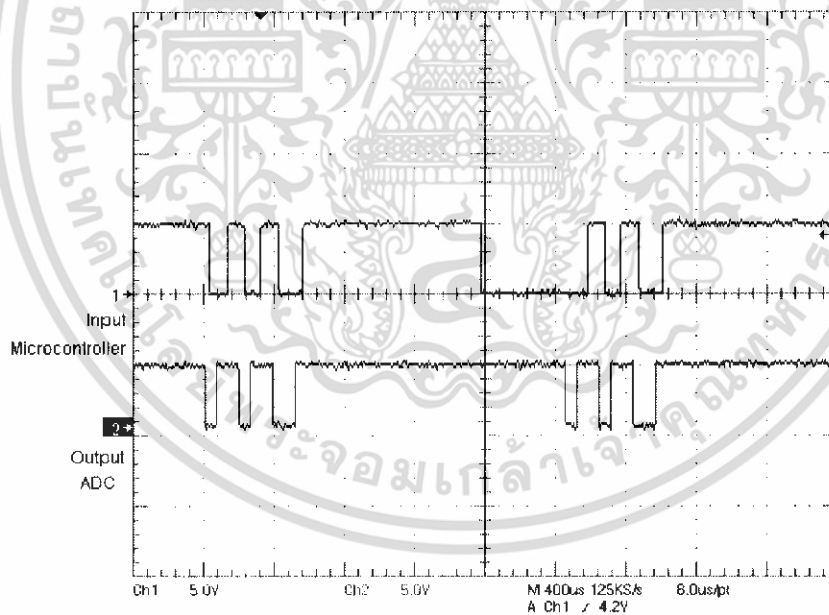
รูปที่ 5-34 เมื่อใช้โหนดที่ 0.35 V ให้อ่าน ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Error



รูปที่ 5.25 ความผิดพลาดของ ADC ในการแปลงข้อมูล



รูปที่ 5.26 ความผิดพลาดจากการ Demodulate ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. วงจรกู้สัญญาณนาฬิกา

จากกราฟผลการทดลองรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าสัญญาณนาฬิกาที่ได้มีความถี่เท่ากับ สัญญาณวิทยุที่ได้รับ คือ 125 KHz โดยสัญญาณนาฬิกาจะมีขนาดคงที่ 5 Vpp แม้ว่าสัญญาณวิทยุจะมี amplitude ที่เปลี่ยนแปลงก็ตาม

2. วงจรหารความถี่

จากกราฟผลการทดลองรูปที่ 5.2 สัญญาณนาฬิกาที่ได้หลังจากผ่านวงจรหารความถี่แล้ว มีความถี่ลดลง จากเดิม 125 KHz เป็น 15.625 KHz หรือ เป็น 1/8 เท่าของสัญญาณเดิม ซึ่งมีค่าตรงกับที่คำนวณเพื่อใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับ ADC และจากรูปที่ 5.3 เป็นการหารความถี่ถึง 256 เท่า ซึ่งได้ความถี่ 488.28 Hz ซึ่งใช้เป็นสัญญาณ enable ให้ ADC ทำงาน

3. ADC

จากกราฟผลการทดลองรูปที่ 5.5 ในช่วงที่สัญญาณ enable CS/ มีค่าเป็น low คือช่วงที่ ADC มีการแปลงค่าและให้ข้อมูลออกมาเป็น output จำนวน 8 บิต และในช่วงที่เป็น high ADC จะไม่มีการแปลงค่าข้อมูลทำให้ output ออกมาเป็น tristate

จากการที่ output ออกมาครบทั้ง 8 bit ทำให้สรุปได้ว่าการสร้างสัญญาณ enable ให้ ADC มีช่วงเวลาที่เพียงพอต่อการแสดงข้อมูลจำนวน 8 bit

เมื่อ V_{in} มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ V_{ref} ค่าของ Output จาก ADC จะมีค่าเป็น 0 ดังแสดงในรูปที่ 5.6 และ เมื่อ V_{in} มีค่า มากกว่า V_{ref} ค่า Output จาก ADC จะมีค่า 255 หรือ full scale ดังแสดงในรูปที่ 5.9

จากกราฟผลการทดลองรูปที่ 5.7 และ 5.8 พบว่าเมื่อแปลงค่าอุณหภูมิมีค่า error เทียบกับทางทฤษฎีเป็น 6.5°C ทั้งนี้เนื่องจากการทดลอง ADC ที่ input ต่างๆ พบว่า ADC มีค่า error ระหว่างผลต่างของ $V_{in}(+)$ และ $V_{in}(-)$ อยู่ 0.065 V ดังนั้น

$$\text{ค่าที่ ADC นำไปแปลง} = [V_{in}(+) - V_{in}(-)] + 0.065$$

ทำให้ค่าอุณหภูมิที่ได้จากการอ่านจากกราฟจึงต้องบวกเพิ่มเข้าไป 6.5°C

จากการที่กำหนดให้ $V_{ref} = 1.28\text{ V}$ และ Temperature sensor มีการเปลี่ยนแปลงแรงดัน $\text{output} = 10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ทำให้การวัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง $0-128^{\circ}\text{C}$ และมีความละเอียด 0.5°C

การตัดช่วง Tri-state จาก output ของ ADC จากกราฟผลการทดลองรูปที่ 5.11 เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณ output เมื่อตัดส่วน tri-state และสัญญาณ enable ของ ADC พบว่าในช่วงที่สัญญาณ Enable มีสถานะเป็น high ไม่ปรากฏผลของ Tri-state ซึ่งตรงตามที่ต้องการ

4. Modulation

ในการ modulate ค่าความต้านทานที่ใช้ในการ modulate มีผลของความแตกต่างของข้อมูล 0 และข้อมูล 1 ยิ่งให้ค่าความต้านทานน้อย ความแตกต่างของข้อมูล digital ยิ่งมาก ดังนั้นในการเลือกใช้ค่าความต้านทานควรเลือกใช้งานความต้านทานในการ modulate ค่าที่น้อยๆ เพื่อให้ Reader สามารถอ่านค่าข้อมูลได้ถูกต้องมากขึ้น

ในรูปที่ 5.12 เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณที่ผ่านการ modulate ที่คอยล์ของ tag และฝั่งรับที่คอยล์ของ reader

5. Demodulation

ในรูปที่ 5.13 เปรียบเทียบสัญญาณ output ของ ADC และสัญญาณที่ผ่านวงจร envelope detector จะเห็นว่า การ envelope ระหว่าง bit จะให้ค่าที่แตกต่างกันน้อยมาก

ในรูปที่ 5.14 เปรียบเทียบสัญญาณที่ขา 7 op-amp กับสัญญาณ output ADC ซึ่งสัญญาณที่ขา 7 นี้จะถูกนำไปผ่านวงจรเปรียบเทียบสัญญาณซึ่งจะได้สัญญาณในรูปที่ 5.15 ที่มีลักษณะตรงกันข้ามกับข้อมูลที่ modulate จึงต้องนำไปผ่าน inverter ทำให้ได้สัญญาณในรูปที่ 5.16 ที่เหมือนกับข้อมูล

6. Microcontroller

ในรูปที่ ถึง รูปที่ เป็นการแสดงค่าอุณหภูมิโดย 7-segment ทั้ง 4 หลัก

ในรูปที่ เป็นค่าอุณหภูมิเมื่อป้อนแรงดันอินพุทให้ $ADC = 0\text{ V}$ ค่าที่ได้บน 7-segment ทั้ง 4 หลัก คือ 000.0 หรือ $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

ในรูปที่ เป็นค่าอุณหภูมิเมื่อป้อนแรงดันอินพุทให้ $ADC \geq 1.28\text{ V}$ ค่าที่ได้บน 7-segment ทั้ง 4 หลัก คือ 127.5 หรือ $127.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

ในรูปที่ และ เป็นค่าอุณหภูมิเมื่อป้อนแรงดันอินพุทให้ $ADC = 0.23\text{ V}$ เท่ากันแต่ค่าที่ได้รับมีค่าต่างกันคือ 25.0 และ 57.0

ในรูปที่ และ เป็นค่าอุณหภูมิเมื่อป้อนแรงดันอินพุทให้ $ADC = 0.35\text{ V}$ เท่ากันแต่ค่าที่ได้รับมีค่าต่างกันคือ 33.5 และ 47.5

ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันเนื่องจากเกิด error ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

7. Error

Microcontroller มีการแสดงผลอุณหภูมิที่ผิดพลาดเนื่องจากสาเหตุต่างๆดังนี้
 ความผิดพลาดของตัว ADC ในการแปลงค่าจากรูปที่ 5.17 เป็นการป้อนแรงดัน input ซึ่งมีค่าคงที่ให้กับ ADC เพื่อแปลงค่าเป็นข้อมูล digital จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ output ของ ADC มีค่าไม่คงที่ ดังนั้นการนำค่าสัญญาณที่ได้ไปแปลงเป็นข้อมูลเพื่อแสดงผล ควรเป็นการนำค่าที่ได้รับมาไปเฉลี่ย เพื่อให้ความผิดพลาดลดน้อยลง

ความผิดพลาดในส่วน Demodulation จากรูปที่ 5.18 เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณข้อมูลที่ modulate จากฝั่ง tag กับสัญญาณข้อมูลที่ได้รับการกู้แล้วที่ฝั่ง reader จะเห็นว่าข้อมูลทั้ง 2 มีความแตกต่างกันคือ ข้อมูลมี baud rate ต่างกัน และบางส่วนของข้อมูลต่างกัน ซึ่งสาเหตุนี้เกิดจากวงจร Envelope Detector ตรวจจับขอบสัญญาณได้ไม่ดีพอ การกู้ข้อมูลจึงมีความผิดพลาด





ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source code

```
BIT0 equ 30h
BIT1 equ 31h
BIT2 equ 32h
BIT3 equ 33h
de equ 34h
lay equ 35h

Num0 bit p1.0
Num1 bit p1.1

org 40h
mov dptr,#number
mov bit0,#0
mov bit1,#0
mov bit2,#0
mov bit3,#0
mov de,#10
mov lay,#255
mov scon,#50h
mov pcon,#00h
mov tmod,#20h
mov th1,#0feh
setb tr1
jmp scan

recieve: mov a,sbuf
         mov r7,#7

rotate:  rl a
         djnz r7,rotate

         mov b,#2h
         div ab
         mov r1,b
         cjne r1,#0,five
         mov bit0,#0
         jmp dis

five:    mov bit0,#5
dis:     mov b,#64h
         div ab
         mov bit3,a
         mov a,b
         mov b,#0ah
         div ab
         mov bit2,a
         mov bit1,b
         clr ri
         jnb ri,incr
         Scan:
         Scan2:
         mov r4,#0
         nop
         djnz r4,$
         jnb num0,show0
         jnb num1,show1

         Show0:
         mov r4,BIT1
         mov r5,BIT3
         orl p1,#00000011b
         call Send_Data
         clr num1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        jmp    Scan

Show1:   mov    r4,BIT0
        mov    r5,BIT2
        orl    p1,#00000011b;
        call   Send_Data
        clr    num0
        jmp    Scan

```

```

Send_Data:  mov    a,r4
           movc  a,@a+dptr
           mov    P2,a
           mov    a,r5
           movc  a,@a+dptr
           mov    P0,a
           ret

```

```

incr:      djnz  35h,scan2
           djnz  34h,incr
           mov    de,#10
           mov    lay,#255
           jmp    recieve

```

```

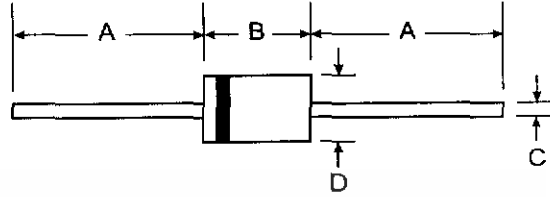
Number:    db
           0c0h,0f9h,0a4h,0b0h,099h,092h,082h,
           0f8h,080h,090h,088h
           end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Diffused Junction
- Fast Switching for High Efficiency
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- Surge Overload Rating to 30A Peak
- Low Reverse Leakage Current
- Plastic Material: UL Flammability Classification Rating 94V-0



Mechanical Data

- Case: Molded Plastic
- Terminals: Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Weight: DO-41 0.35 grams (approx)
- A-405 0.20 grams (approx)
- Mounting Position: Any
- Marking: Type Number

Dim	DO-41 Plastic		A-405	
	Min	Max	Min	Max
A	25.40	—	25.40	—
B	4.06	5.21	4.10	5.20
C	0.71	0.864	0.53	0.64
D	2.00	2.72	2.00	2.70

All Dimensions in mm

"L" Suffix Designates A-405 Package
No Suffix Designates DO-41 Package

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @ T_A = 25°C unless otherwise specified

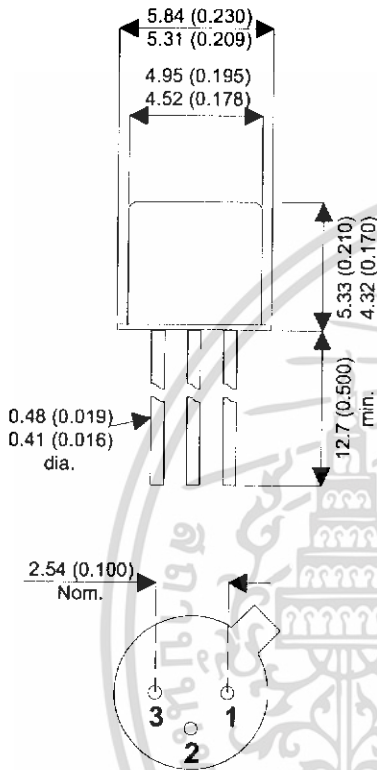
Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N4933/L	1N4934/L	1N4935/L	1N4936/L	1N4937/L	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	V _{RRM}						V
Working Peak Reverse Voltage	V _{RWM}	50	100	200	400	600	V
DC Blocking Voltage	V _R						V
RMS Reverse Voltage	V _{R(RMS)}	35	70	140	280	420	V
Average Rectified Output Current (Note 1)	I _O			1.0			A
				@ T _A = 75°C			
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I _{FSM}			30			A
Forward Voltage Drop	V _{FM}			1.2			V
				@ I _F = 1.0A			
Peak Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage	I _{RM}			5.0			μA
				@ T _A = 25°C			
				@ T _A = 100°C			
Reverse Recovery Time (Note 3)	t _{rr}			200			ns
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C _j			15			pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	R _{θJA}			100			K/W
Operating and Storage Temperature Range	T _j , T _{STG}			-65 to +150			°C

- Notes:
1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
 2. Measured at 1.0MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
 3. Measured with I_F = 0.5A, I_R = 1A, t_{rr} = 0.25A.

MECHANICAL DATA

Dimensions in mm (inches)



TO-18 METAL PACKAGE

Underside View

PIN 1 – Emitter PIN 2 – Base PIN 3 – Collector

**HIGH SPEED
MEDIUM POWER, NPN
SWITCHING TRANSISTOR**

FEATURES

- SILICON PLANAR EPITAXIAL NPN TRANSISTOR
- HIGH SPEED SATURATED SWITCHING
- ALSO AVAILABLE IN CERAMIC SURFACE MOUNT PACKAGE

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

V_{CB0}	Collector – Base Voltage	75V
V_{CE0}	Collector – Emitter Voltage	40V
V_{EB0}	Emitter – Base Voltage	6V
I_C	Collector Current	800mA
P_D	Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	0.5mW
	Derate above 25°C	2.28mW / $^\circ\text{C}$
P_D	Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	1.2W
	Derate above 25°C	6.85mW / $^\circ\text{C}$
T_{STG}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-65 to +200 $^\circ\text{C}$

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

Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
$V_{(BR)CEO}$	Collector – Emitter Sustaining Voltage	$I_C = 10\text{mA}$ $I_B = 0$	40		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector – Base Breakdown Voltage	$I_C = 10\mu\text{A}$ $I_E = 0$	75		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter – Base Breakdown Voltage	$I_E = 10\mu\text{A}$ $I_C = 0$	6		V
I_{CX}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = 60\text{V}$ $V_{EB(off)} = 3\text{V}$		10	nA
I_{CBO}	Collector – Base Cut-off Current	$I_E = 0$ $V_{CB} = 60\text{V}$ $T_A = 150^\circ\text{C}$		0.01 10	μA
I_{EO}	Emitter Cut-off Current ($I_C = 0$)	$I_C = 0$ $V_{EB} = 3\text{V}$		10	nA
I_{BL}	Base Current	$V_{CE} = 60\text{V}$ $V_{EB(off)} = 3\text{V}$		20	nA
ON CHARACTERISTICS					
$V_{CE(sat)}^1$	Collector – Emitter Saturation Voltage	$I_C = 150\text{mA}$ $I_B = 15\text{mA}$ $I_C = 500\text{mA}$ $I_B = 50\text{mA}$		0.3 1	V
$V_{BE(sat)}^1$	Base – Emitter Saturation Voltage	$I_C = 150\text{mA}$ $I_B = 15\text{mA}$ $I_C = 500\text{mA}$ $I_B = 50\text{mA}$	0.6	1.2 2	V
β_{FE}	DC Current Gain	$I_C = 0.1\text{mA}$ $V_{CE} = 10\text{V}$	35		—
		$I_C = 1\text{mA}$ $V_{CE} = 10\text{V}$	50		
		$I_C = 10\text{mA}$ $V_{CE} = 10\text{V}$ $T_A = -55^\circ\text{C}$	75 35		
		$I_C = 150\text{mA}$ $V_{CE} = 10\text{V}^1$	100	300	
		$I_C = 150\text{mA}$ $V_{CE} = 1\text{V}^1$	50		
		$I_C = 500\text{mA}$ $V_{CE} = 10\text{V}^1$	40		
SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS					
f_T	Transition Frequency ²	$I_C = 20\text{mA}$ $V_{CE} = 20\text{V}$ $f = 100\text{MHz}$	300		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{V}$ $I_E = 0$ $f = 100\text{kHz}$		8	pF
C_{ib}	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5\text{V}$ $I_C = 0$ $f = 100\text{kHz}$		25	pF
β_{fe}	Small Signal Current Gain	$I_C = 1\text{mA}$ $V_{CE} = 10\text{V}$ $f = 1\text{kHz}$	50	300	—
		$I_C = 10\text{mA}$ $V_{CE} = 10\text{V}$ $f = 1\text{kHz}$	75	375	
SWITCHING CHARACTERISTICS					
t_d	Delay Time	$V_{CC} = 30\text{V}$ $V_{BE(off)} = 0.5\text{V}$		10	ns
t_r	Rise Time	$I_C = 150\text{mA}$ $I_{B1} = 15\text{mA}$		25	ns
t_s	Storage Time	$V_{CC} = 30\text{V}$ $I_C = 150\text{mA}$		225	ns
t_f	Fall Time	$I_{B1} = I_{B2} = 15\text{mA}$		60	ns

NOTES:

¹ Pulse test: $t_p \leq 300\mu\text{s}$, $\delta \leq 2\%$

² f_T is defined as the frequency at which β_{FE} extrapolates to unity. หมายเหตุ: ไม่นับรวมค่าที่เกินความถี่ที่ระบุไว้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type 2N2907A
 Geometry 0600
 Polarity PNP
 Qual Level: JAN - JANS

Generic Part Number:
 2N2907A

REF: MIL-PRF-19500/291

Features:

[Request Quotation](#)

- General-purpose transistor for switching and amplifier applications.
- Housed in a TO-18 case.
- Also available in chip form using the 0600 chip geometry.
- The Min and Max limits shown are per MIL-PRF-19500/291 which Semicoa meets in all cases.
- The **Typ** values are actual batch averages for Semicoa.
- Radiation Graphs available.



Maximum Ratings

$T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

Rating	Symbol	Rating	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	V
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	60	V
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	5.0	V
Collector Current, Continuous	I_C	600	mA
Operating Junction Temperature	T_J	-65 to +200	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	T_{STG}	-65 to +200	$^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

$T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

OFF Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Collector-Base Breakdown Voltage $I_C = 10 \mu\text{A}$	$V_{(BR)CBO}$	60	100	—	V
Collector-Emitter Breakdown Voltage $I_C = 10 \text{mA}$	$V_{(BR)CEO}$	60	70	—	V
Emitter-Base Breakdown Voltage $I_E = 10 \mu\text{A}$	$V_{(BR)EBO}$	5.0	9.0	—	V
Collector-Emitter Cutoff Current $V_{CE} = 30 \text{V}$	I_{CES}	—	1.0	50	nA
Collector-Base Cutoff Current $V_{CB} = 50 \text{V}$	I_{CBO}	—	0.25	10	nA
Emitter-Base Cutoff Current $V_{EB} = 3.5 \text{V}$	I_{EBO}	—	0.1	50	nA

ON Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
DC Current Gain					
$I_C = 100 \mu\text{A}, V_{CE} = 10 \text{V}$	h_{FE1}	75	225	—	—
$I_C = 1.0 \text{mA}, V_{CE} = 10 \text{V}$	h_{FE2}	100	250	450	—
$I_C = 10 \text{mA}, V_{CE} = 10 \text{V}$	h_{FE3}	100	—	—	—
$I_C = 150 \text{mA}, V_{CE} = 10 \text{V}$ (pulse test)	h_{FE4}	100	180	300	—
$I_C = 500 \text{mA}, V_{CE} = 10 \text{V}$ (pulse test)	h_{FE5}	50	80	—	—
Collector-Emitter Saturation Voltage					
$I_C = 150 \text{mA}, I_B = 15 \text{mA}$ (pulse test)	$V_{CE(sat)1}$	—	0.18	0.4	V dc
$I_C = 500 \text{mA}, I_B = 50 \text{mA}$ (pulse test)	$V_{CE(sat)2}$	—	0.5	1.6	V dc
Base-Emitter Saturation Voltage					
$I_C = 150 \text{mA}, I_B = 15 \text{mA}$ (pulse test)	$V_{BE(sat)1}$	—	0.87	1.3	V dc
$I_C = 500 \text{mA}, I_B = 50 \text{mA}$ (pulse test)	$V_{BE(sat)2}$	—	1.0	2.6	V dc

Small Signal Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Short Circuit Forward Current Transfer Ratio $I_C = 1 \text{mA}, V_{CE} = 10 \text{V}, f = 1 \text{kHz}$	$AC h_{FE}$	100	250	—	—
Open Circuit Output Capacitance $V_{CB} = 10 \text{V}, I_E = 0 \text{V}, 100 \text{kHz} < f < 1 \text{MHz}$	C_{OBO}	—	6.0	8.0	pF
Input Capacitance, Output Open Circuited $V_{EB} = 2.0 \text{V}, I_C = 0, 100 \text{kHz} < f < 1 \text{MHz}$	C_{IBO}	—	8.0	30	pF

Switching Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Saturated Turn On Switching Time to 90% 16V, 50 ohm input pulse	t_{ON}	—	25	45	ns
Saturated Turn Off Switching Time to 10% 16V, 50 ohm input pulse	t_{OFF}	—	200	300	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM78LXX Series 3-Terminal Positive Regulators

General Description

The LM78LXX series of three terminal positive regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. When used as a zener diode/resistor combination replacement, the LM78LXX usually results in an effective output impedance improvement of two orders of magnitude, and lower quiescent current. These regulators can provide local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow the LM78LXX to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment.

The LM78LXX is available in the plastic TO-92 (Z) package, the plastic SO-8 (M) package and a chip sized package (8-Bump micro SMD) using National's micro SMD package technology. With adequate heat sinking the regulator can deliver 100 mA output current. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area pro-

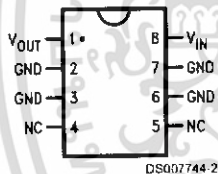
tection for the output transistors is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Features

- LM78L05 in micro SMD package
- Output voltage tolerances of $\pm 5\%$ over the temperature range
- Output current of 100 mA
- Internal thermal overload protection
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in plastic TO-92 and plastic SO-8 low profile packages
- No external components
- Output voltages of 5.0V, 6.2V, 8.2V, 9.0V, 12V, 15V

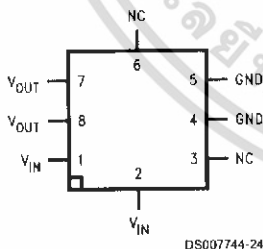
Connection Diagrams

**SO-8 Plastic (M)
(Narrow Body)**



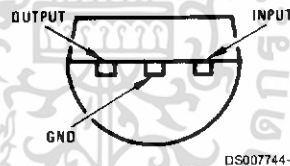
Top View

8-Bump micro SMD



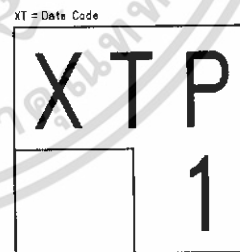
**Top View
(Bump Side Down)**

**(TO-92)
Plastic Package (Z)**



Bottom View

micro SMD Marking Orientation



Fin 1 Corner
Fin 1 is identified by lower left corner with respect to the text.

DS007744-33

Top View

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Power Dissipation (Note 5)	Internally Limited
Input Voltage	35V
Storage Temperature	-65°C to +150°C

Operating Junction Temperature

SO-8	0°C to 125°C
micro SMD	-40°C to 85°C

Soldering Information

Infrared or Convection (20 sec.)	235°C
Wave Soldering (10 sec.)	260°C (lead time)
ESD Susceptibility (Note 2)	1kV

LM78LXX Electrical Characteristics Limits in standard typeface are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, **Bold typeface applies over 0°C to 125°C for SO-8 package and -40°C to 85°C for micro SMD package.** Limits are guaranteed by production testing or correlation techniques using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. Unless otherwise specified: $I_O = 40\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$.

LM78L05Unless otherwise specified, $V_{IN} = 10\text{V}$

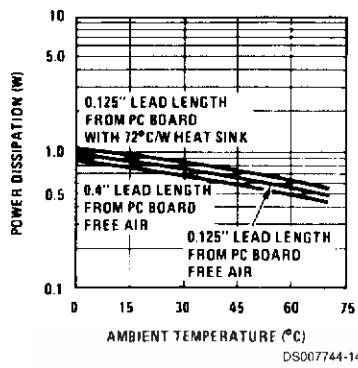
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
V_O	Output Voltage		4.8	5	5.2	V
		$7\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$ $1\text{ mA} \leq I_O \leq 40\text{ mA}$ (Note 3)	4.75		5.25	
		$1\text{ mA} \leq I_O \leq 70\text{ mA}$ (Note 3)	4.75		5.25	
ΔV_O	Line Regulation	$7\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$		18	75	mV
		$8\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$		10	54	
ΔV_O	Load Regulation	$1\text{ mA} \leq I_O \leq 100\text{ mA}$		20	60	mV
		$1\text{ mA} \leq I_O \leq 40\text{ mA}$		5	30	
I_O	Quiescent Current			3	5	mA
ΔI_O	Quiescent Current Change	$8\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$			1.0	mA
		$1\text{ mA} \leq I_O \leq 40\text{ mA}$			0.1	
V_n	Output Noise Voltage	$f = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$ (Note 4)		40		μV
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	$f = 120\text{ Hz}$ $8\text{V} \leq V_{IN} \leq 16\text{V}$	47	62		dB
I_{PK}	Peak Output Current			140		mA
$\frac{\Delta V_O}{\Delta T}$	Average Output Voltage Tempco	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.65		mV/°C
$V_{IN}(\text{Min})$	Minimum Value of Input Voltage Required to Maintain Line Regulation			6.7	7	V
θ_{JA}	Thermal Resistance (8-Bump micro SMD)			230.9		°C/W

LM78L62ACUnless otherwise specified, $V_{IN} = 12\text{V}$

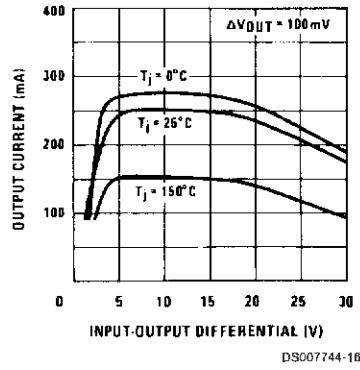
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
V_O	Output Voltage		5.95	6.2	6.45	V
		$8.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$ $1\text{ mA} \leq I_O \leq 40\text{ mA}$ (Note 3)	5.9		6.5	
		$1\text{ mA} \leq I_O \leq 70\text{ mA}$ (Note 3)	5.9		6.5	
ΔV_O	Line Regulation	$8.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$		65	175	mV
		$9\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$		55	125	
ΔV_O	Load Regulation	$1\text{ mA} \leq I_O \leq 100\text{ mA}$		13	80	mV
		$1\text{ mA} \leq I_O \leq 40\text{ mA}$		6	40	

Typical Performance Characteristics

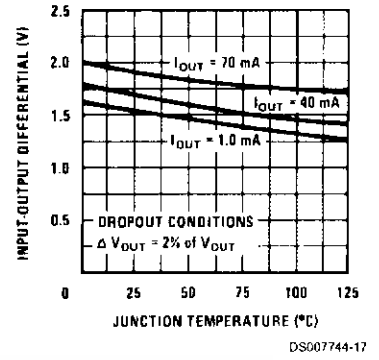
Maximum Average Power Dissipation (Z Package)



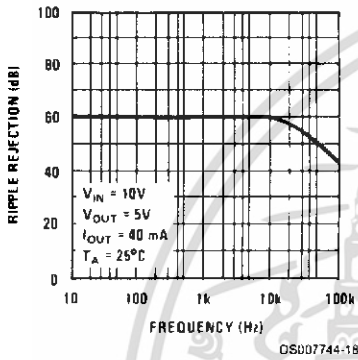
Peak Output Current



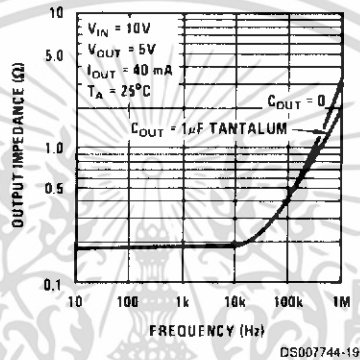
Dropout Voltage



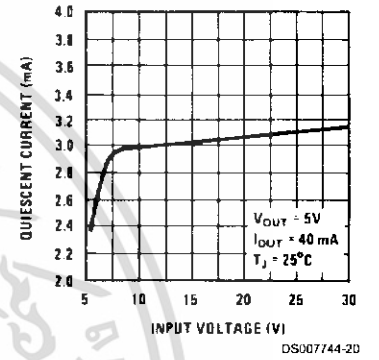
Ripple Rejection



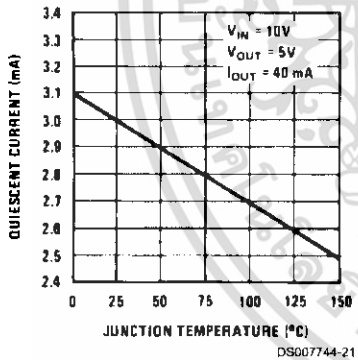
Output Impedance



Quiescent Current



Quiescent Current



LM2902, LM324/LM324A, LM224/ LM224A

Quad Operational Amplifier

Features

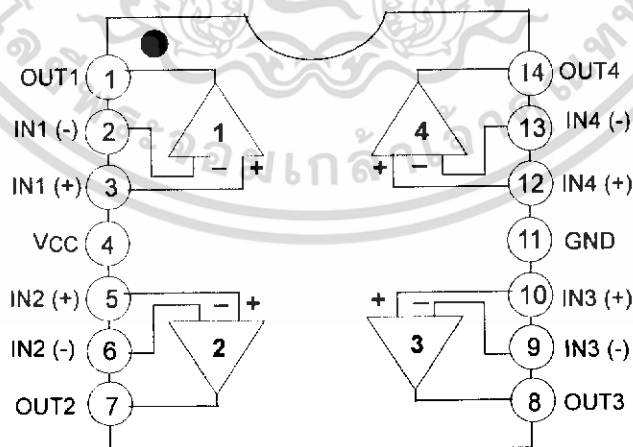
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100dB
- Wide Power Supply Range:
LM224/LM224A, LM324/LM324A : 3V~32V (or $\pm 1.5 \sim 16V$)
LM2902: 3V~26V (or $\pm 1.5V \sim 13V$)
- Input Common Mode Voltage Range Includes Ground
- Large Output Voltage Swing: 0V to VCC -1.5V
- Power Drain Suitable for Battery Operation

Description

The LM324/LM324A, LM2902, LM224/LM224A consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide voltage range. operation from split power supplies is also possible so long as the difference between the two supplies is 3 volts to 32 volts. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP Amp circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.



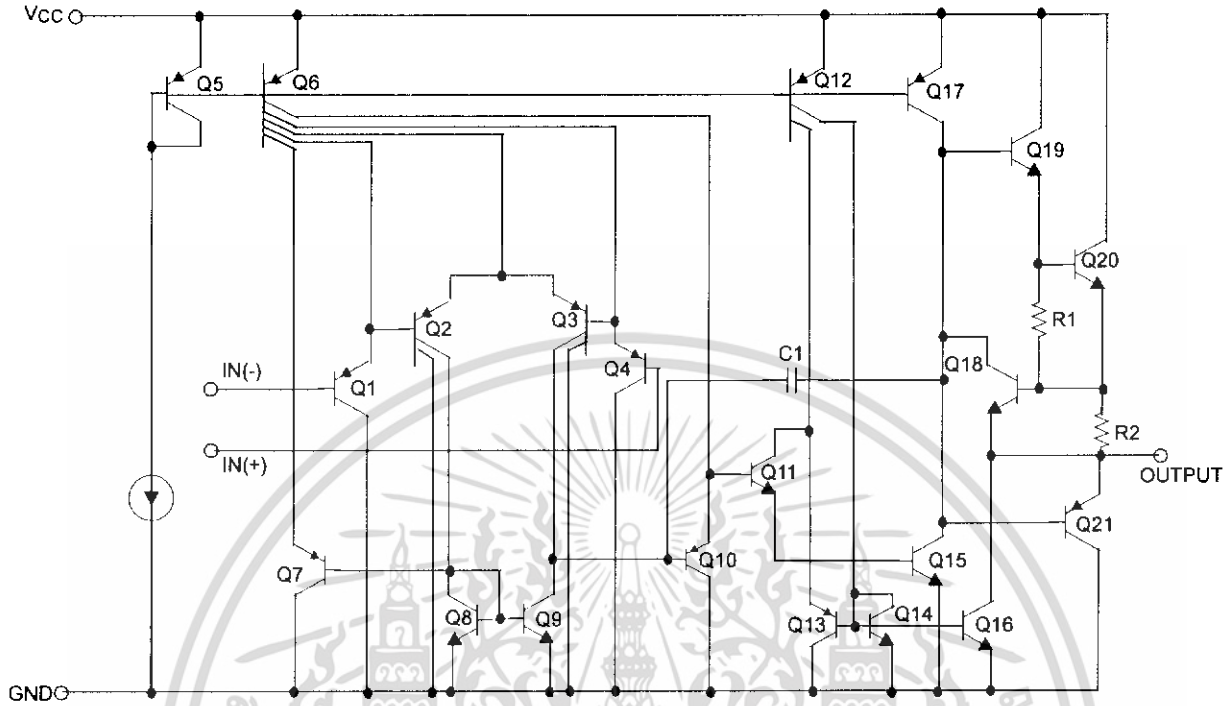
Internal Block Diagram



Rev. 1.0.4

Schematic Diagram

(One Section Only)



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM224/LM224A	LM324/LM324A	LM2902	Unit
Power Supply Voltage	VCC	±16 or 32	±16 or 32	±13 or 26	V
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	32	32	26	V
Input Voltage	V _I	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND V _{CC} ≤15V, T _A =25°C(one Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Power Dissipation, T _A =25°C					
14-DIP	P _D	1310	1310	1310	mW
14-SOP		640	640	640	
Operating Temperature Range	T _{OPR}	-25 ~ +85	0 ~ +70	-40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	-65 ~ +150	-65 ~ +150	-65 ~ +150	°C

Thermal Data

Parameter	Symbol	Value	Unit
Thermal Resistance Junction-Ambient Max.			
14-DIP	R _{θja}	95	°C/W
14-SOP		195	

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 5.0V$, $V_{EE} = GND$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM224			LM324			LM2902			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{CM} = 0V$ to $V_{CC} - 1.5V$ $V_{O(P)} = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$ (Note1)	-	1.5	5.0	-	1.5	7.0	-	1.5	7.0	mV	
Input Offset Current	I_{IO}	$V_{CM} = 0V$	-	2.0	30	-	3.0	50	-	3.0	50	nA	
Input Bias Current	I_{BIAS}	$V_{CM} = 0V$	-	40	150	-	40	250	-	40	250	nA	
Input Common-Mode Voltage Range	$V_{I(R)}$	Note1	0	-	$V_{CC} - 1.5$	0	$V_{CC} - 1.5$	-	0	-	$V_{CC} - 1.5$	V	
Supply Current	I_{CC}	$R_L = \infty$, $V_{CC} = 30V$ (LM2902, $V_{CC} = 26V$)	-	1.0	3	-	1.0	3	-	1.0	3	mA	
		$R_L = \infty$, $V_{CC} = 5V$	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	mA	
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{CC} = 15V$, $R_L = 2k\Omega$ $V_{O(P)} = 1V$ to $11V$	50	100	-	25	100	-	25	100	-	V/ mV	
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	Note1	$R_L = 2k\Omega$	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
			$R_L = 10k\Omega$	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	$V_{O(L)}$	$V_{CC} = 5V$, $R_L = 10k\Omega$	-	5	20	-	5	20	-	5	100	mV	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	75	-	50	75	-	dB	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB	
Channel Separation	CS	$f = 1kHz$ to $20kHz$ (Note2)	-	120	-	-	120	-	-	120	-	dB	
Short Circuit to GND	I_{SC}	$V_{CC} = 15V$	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA	
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)} = 1V$, $V_{I(-)} = 0V$ $V_{CC} = 15V$ $V_{O(P)} = 2V$	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA	
		$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$ $V_{CC} = 15V$ $V_{O(P)} = 2V$	10	13	-	10	13	-	10	13	-	mA	
		$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$ $V_{CC} = 5V$, $V_{O(R)} = 200mV$	12	45	-	12	45	-	-	-	-	μA	
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V		

Note :

- $V_{CC} = 30V$ for LM224 and LM324, $V_{CC} = 26V$ for LM2902
- This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (Continued)

(VCC = 5.0V, VEE = GND, unless otherwise specified)

The following specification apply over the range of $-25^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for the LM224; and the $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ for the LM324 ; and the $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for the LM2902

Parameter	Symbol	Conditions	LM224			LM324			LM2902			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{ICM} = 0V to V _{CC} -1.5V V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω (Note1)	-	-	7.0	-	-	9.0	-	-	10.0	mV	
Input Offset Voltage Drift	ΔV _{IO} /ΔT	R _S = 0Ω (Note2)	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	μV/°C	
Input Offset Current	I _{IO}	V _{CM} = 0V	-	-	100	-	-	150	-	-	200	nA	
Input Offset Current Drift	ΔI _{IO} /ΔT	R _S = 0Ω (Note2)	-	10	-	-	10	-	-	10	-	pA/°C	
Input Bias Current	I _{BIAS}	V _{CM} = 0V	-	-	300	-	-	500	-	-	500	nA	
Input Common-Mode Voltage Range	V _{I(R)}	Note1	0	-	V _{CC} -2.0	0	-	V _{CC} -2.0	0	-	V _{CC} -2.0	V	
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L = 2.0kΩ V _{O(P)} = 1V to 11V	25	-	-	15	-	-	15	-	-	V/mV	
Output Voltage Swing	V _{O(H)}	Note1	R _L =2kΩ	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
			R _L =10kΩ	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	V _{O(L)}	V _{CC} = 5V, R _L =10kΩ	-	5	20	-	5	20	-	5	100	mV	
Output Current	I _{SOURCE}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA	
	I _{SINK}	V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	10	13	-	5	8	-	5	8	-	mA	
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	-	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V	

Note:

- V_{CC}=30V for LM224 and LM324 , V_{CC} = 26V for LM2902
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (Continued)

(VCC = 5.0V, VEE = GND, TA = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM224A			LM324A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{CM} = 0V to V _{CC} -1.5V V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω (Note1)	-	1.0	3.0	-	1.5	3.0	mV
Input Offset Current	I _{IO}	V _{CM} = 0V	-	2	15	-	3.0	30	nA
Input Bias Current	I _{BIAS}	V _{CM} = 0V	-	40	80	-	40	100	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V _{I(R)}	V _{CC} = 30V	0	-	V _{CC} -1.5	0	-	V _{CC} -1.5	V
Supply Current	I _{CC}	V _{CC} = 30V, R _L = ∞	-	1.5	3	-	1.5	3	mA
		V _{CC} = 5V, R _L = ∞	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L = 2kΩ V _{O(P)} = 1V to 11V	50	100	-	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	V _{O(H)}	Note1 R _L = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	V
			27	28	-	27	28	-	V
	V _{O(L)}	V _{CC} = 5V, R _L = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	85	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	dB
Channel Separation	CS	f = 1kHz to 20kHz (Note2)	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	I _{SC}	V _{CC} = 15V	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	I _{SOURCE}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	20	40	-	20	40	-	mA
		V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	10	20	-	10	20	-	mA
	I _{SINK}	V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 5V V _{O(P)} = 200mV	12	50	-	12	50	-	μA
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	-	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V

Note:

- V_{CC} = 30V for LM224A, LM324A
- This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (Continued)

(VCC = 5.0V, VEE = GND, unless otherwise specified)

The following specification apply over the range of $-25^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for the LM224A; and the $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ for the LM324A

Parameter	Symbol	Conditions	LM224A			LM324A			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{CM} = 0V to V _{CC} - 1.5V V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω (Note1)	-	-	4.0	-	-	5.0	mV	
Input Offset Voltage Drift	ΔV _{IO} /ΔT	R _S = 0Ω (Note2)	-	7.0	20	-	7.0	30	μV/°C	
Input Offset Current	I _{IO}	V _{CM} = 0V	-	-	30	-	-	75	nA	
Input Offset Current Drift	ΔI _{IO} /ΔT	R _S = 0Ω (Note2)	-	10	200	-	10	300	pA/°C	
Input Bias Current	I _{BIAS}	-	-	40	100	-	40	200	nA	
Input Common-Mode Voltage Range	V _{I(R)}	Note1	0	-	V _{CC} - 2.0	0	-	V _{CC} - 2.0	V	
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L = 2.0kΩ	25	-	-	15	-	-	V/mV	
Output Voltage Swing	V _{O(H)}	Note1	R _L = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	V
			R _L = 10kΩ	27	28	-	27	28	-	V
	V _{O(L)}	V _{CC} = 5V, R _L = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	mV	
Output Current	I _{SOURCE}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	10	20	-	10	20	-	mA	
	I _{SINK}	V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	5	8	-	5	8	-	mA	
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	-	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V	

Note:

- V_{CC} = 30V for LM224A and LM324A.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

MM74HC04 Hex Inverter

General Description

The MM74HC04 inverters utilize advanced silicon-gate CMOS technology to achieve operating speeds similar to LS-TTL gates with the low power consumption of standard CMOS integrated circuits.

The MM74HC04 is a triple buffered inverter. It has high noise immunity and the ability to drive 10 LS-TTL loads. The 74HC logic family is functionally as well as pin-out compatible with the standard 74LS logic family. All inputs

are protected from damage due to static discharge by internal diode clamps to V_{CC} and ground.

Features

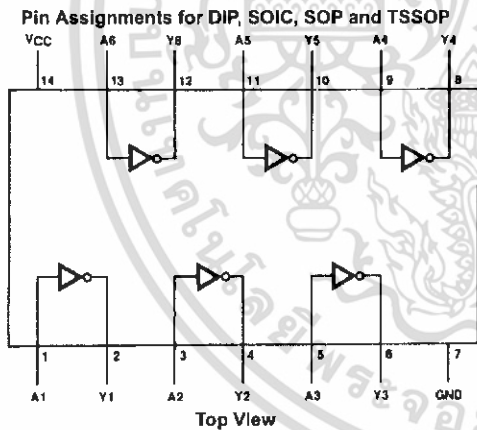
- Typical propagation delay: 8 ns
- Fan out of 10 LS-TTL loads
- Quiescent power consumption: 10 μ W maximum at room temperature
- Low input current: 1 μ A maximum

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
MM74HC04M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150" Narrow
MM74HC04SJ	M14D	14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.5mm Wide
MM74HC04MTC	MTC14	14-Lead Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP), JEDEC MO-153, 4.4mm Wide
MM74HC04N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Logic Diagram



Absolute Maximum Ratings (Note 1)

(Note 2)

Supply Voltage (V_{CC})	-0.5 to +7.0V
DC Input Voltage (V_{IN})	-1.5 to $V_{CC} + 1.5V$
DC Output Voltage (V_{OUT})	-0.5 to $V_{CC} + 0.5V$
Clamp Diode Current (I_{IK}, I_{OK})	± 20 mA
DC Output Current, per pin (I_{OUT})	± 25 mA
DC V_{CC} or GND Current, per pin (I_{CC})	± 50 mA
Storage Temperature Range (T_{STG})	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
(Note 3)	600 mW
S.O. Package only	500 mW
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions

	Min	Max	Units
Supply Voltage (V_{CC})	2	6	V
DC Input or Output Voltage (V_{IN}, V_{OUT})	0	V_{CC}	V
Operating Temperature Range (T_A)	-40	+85	°C
Input Rise or Fall Times (t_r, t_f)			
$V_{CC} = 2.0V$		1000	ns
$V_{CC} = 4.5V$		500	ns
$V_{CC} = 6.0V$		400	ns

Note 1: Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.

Note 2: Unless otherwise specified all voltages are referenced to ground.

Note 3: Power Dissipation temperature derating — plastic "N" package: -12 mW/°C from 65°C to 85°C.

DC Electrical Characteristics (Note 4)

Symbol	Parameter	Conditions	V_{CC}	$T_A = 25^\circ\text{C}$			Units	
				Typ	Guaranteed Limits			
V_{IH}	Minimum HIGH Level Input Voltage		2.0V	1.5	1.5	1.5	V	
			4.5V	3.15	3.15	3.15	V	
			6.0V	4.2	4.2	4.2	V	
V_{IL}	Maximum LOW Level Input Voltage		2.0V	0.5	0.5	0.5	V	
			4.5V	1.35	1.35	1.35	V	
			6.0V	1.8	1.8	1.8	V	
V_{OH}	Minimum HIGH Level Output Voltage	$V_{IN} = V_{IL}$ $ I_{OUT} \leq 20 \mu\text{A}$	2.0V	2.0	1.9	1.9	V	
			4.5V	4.5	4.4	4.4	V	
			6.0V	6.0	5.9	5.9	V	
		$V_{IN} = V_{IL}$ $ I_{OUT} \leq 4.0 \text{ mA}$ $ I_{OUT} \leq 5.2 \text{ mA}$	4.5V	4.2	3.98	3.84	3.7	V
			6.0V	5.7	5.48	5.34	5.2	V
V_{OL}	Maximum LOW Level Output Voltage	$V_{IN} = V_{IH}$ $ I_{OUT} \leq 20 \mu\text{A}$	2.0V	0	0.1	0.1	V	
			4.5V	0	0.1	0.1	V	
			6.0V	0	0.1	0.1	V	
		$V_{IN} = V_{IH}$ $ I_{OUT} \leq 4.0 \text{ mA}$ $ I_{OUT} \leq 5.2 \text{ mA}$	4.5V	0.2	0.26	0.33	0.4	V
			6.0V	0.2	0.26	0.33	0.4	V
I_{IN}	Maximum Input Current	$V_{IN} = V_{CC}$ or GND	6.0V	±0.1	±1.0	±1.0	μA	
I_{CC}	Maximum Quiescent Supply Current	$V_{IN} = V_{CC}$ or GND $I_{OUT} = 0 \mu\text{A}$	6.0V	2.0	20	40	μA	

Note 4: For a power supply of 5V ±10% the worst case output voltages (V_{OH} and V_{OL}) occur for HC at 4.5V. Thus the 4.5V values should be used when designing with this supply. Worst case V_{IH} and V_{IL} occur at $V_{CC}=5.5V$ and 4.5V respectively. (The V_{IH} value at 5.5V is 3.85V.) The worst case leakage current (I_{IN} , I_{CC} , and I_{O2}) occur for CMOS at the higher voltage and so the 6.0V values should be used.

AC Electrical Characteristics						
$V_{CC} = 5V, T_A = 25^\circ C, C_L = 15 pF, t_r = t_f = 6 ns$						
Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Guaranteed Limit	Units	
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay		8	15	ns	

AC Electrical Characteristics								
$V_{CC} = 2.0V \text{ to } 6.0V, C_L = 50 pF, t_r = t_f = 6 ns \text{ (unless otherwise specified)}$								
Symbol	Parameter	Conditions	V_{CC}	$T_A = 25^\circ C$		$T_A = -40 \text{ to } 85^\circ C$		Units
				Typ	Guaranteed Limits	Guaranteed Limits	Guaranteed Limits	
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay		2.0V	55	95	120	145	ns
			4.5V	11	19	24	29	ns
			6.0V	9	16	20	24	ns
t_{TLH}, t_{THL}	Maximum Output Rise and Fall Time		2.0V	30	75	95	110	ns
			4.5V	8	15	19	22	ns
			6.0V	7	13	16	19	ns
C_{PD}	Power Dissipation Capacitance (Note 5)	(per gate)		20				pF
C_{IN}	Maximum input Capacitance			5	10	10	10	pF

Note 5: C_{PD} determines the no load dynamic power consumption, $P_D = C_{PD} V_{CC}^2 f + I_{CC} V_{CC}$, and the no load dynamic current consumption, $I_S = C_{PD} V_{CC} f + I_{CC}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MM74HC4060 14 Stage Binary Counter

General Description

The MM74HC4060 is a high speed binary ripple carry counter. These counters are implemented utilizing advanced silicon-gate CMOS technology to achieve speed performance similar to LS-TTL logic while retaining the low power and high noise immunity of CMOS.

The MM74HC4060 is a 14-stage counter, which device increments on the falling edge (negative transition) of the input clock, and all their outputs are reset to a low level by applying a logical high on their reset input. The MM74HC4060 also has two additional inputs to enable easy connection of either an RC or crystal oscillator.

This device is pin equivalent to the CD4060. All inputs are protected from damage due to static discharge by protection diodes to V_{CC} and ground.

Features

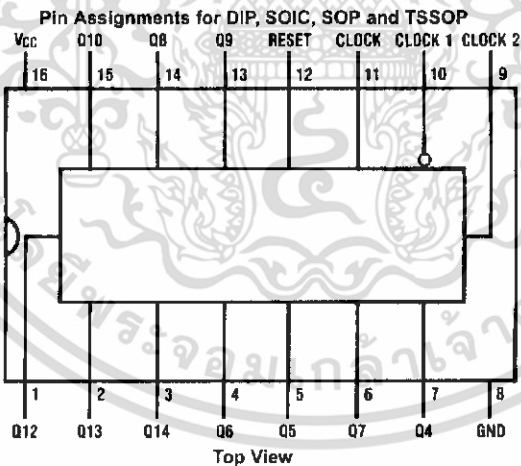
- Typical propagation delay: 16 ns
- Wide operating voltage range: 2–6V
- Low input current: 1 μ A maximum
- Low quiescent current: 80 μ A maximum (74 Series)
- Output drive capability: 10 LS-TTL loads

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
MM74HC4060M	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
MM74HC4060SJ	M16D	16-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
MM74HC4060MTC	MTC16	16-Lead Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP), JEDEC MO-153, 4.4mm Wide
MM74HC4060N	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Absolute Maximum Ratings (Note 1)

(Note 2)

Supply Voltage (V_{CC})	-0.5 to +7.0V
DC Input Voltage (V_{IN})	-1.5 to $V_{CC} + 1.5V$
DC Output Voltage (V_{OUT})	-0.5 to $V_{CC} + 0.5V$
Clamp Diode Current (I_{CD})	± 20 mA
DC Output Current, per pin (I_{OUT})	± 25 mA
DC V_{CC} or GND Current, per pin (I_{CC})	± 150 mA
Storage Temperature Range (T_{STG})	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
(Note 3)	600 mW
S.O. Package only	500 mW
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions

Supply Voltage (V_{CC})	Min	Max	Units
DC Input or Output Voltage	2	6	V
(V_{IN}, V_{OUT})	0	V_{CC}	V
Operating Temperature Range (T_A)	-40	+85	°C
Input Rise or Fall Times			
(t_r, t_f) $V_{CC} = 2.0V$		1000	ns
$V_{CC} = 4.5V$		500	ns
$V_{CC} = 6.0V$		400	ns

Note 1: Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.

Note 2: Unless otherwise specified all voltages are referenced to ground.

Note 3: Power Dissipation temperature derating: plastic "N" package: -12 mW/°C from 65°C to 85°C.

DC Electrical Characteristics (Note 4)

Symbol	Parameter	Conditions	V_{CC}	$T_A = 25^\circ C$			Units		
				Typ	Guaranteed Limits				
V_{IH}	Minimum HIGH Level Voltage (Not Applicable to Pins 9 & 10)		2.0V	1.5	1.5	1.5	V		
			4.5V	3.15	3.15	3.15	V		
			6.0V	4.2	4.2	4.2	V		
V_{IL}	Maximum LOW Level Input Voltage (Not Applicable to Pins 9 & 10)		2.0V	0.5	0.5	0.5	V		
			4.5V	1.35	1.35	1.35	V		
			6.0V	1.8	1.8	1.8	V		
V_{OH}	Minimum HIGH Level Output Voltage	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} \leq 20 \mu A$	2.0V	2.0	1.9	1.9	V		
			4.5V	4.5	4.4	4.4	V		
			6.0V	6.0	5.9	5.9	V		
		Except Pins 9 & 10	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} \leq 4.0$ mA $ I_{OUT} \leq 5.2$ mA	4.5V	4.2	3.98	3.84	3.7	V
				6.0V	5.7	5.48	5.34	5.2	V
		Pins 9 & 10	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} = 0.4$ mA $ I_{OUT} = 0.52$ mA			3.98	3.84	3.7	V
						5.48	5.34	5.2	V
V_{OL}	Maximum LOW Level Output Voltage	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} \leq 20 \mu A$	2.0V	0	0.1	0.1	0.1	V	
			4.5V	0	0.1	0.1	0.1	V	
			6.0V	0	0.1	0.1	0.1	V	
		Except Pins 9 & 10	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} \leq 4.0$ mA $ I_{OUT} \leq 5.2$ mA	4.5V	0.2	0.26	0.33	0.4	V
				6.0V	0.2	0.26	0.33	0.4	V
		Pins 9 & 10	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} = 0.4$ mA $ I_{OUT} = 0.52$ mA			0.26	0.33	0.4	V
						0.26	0.33	0.4	V
I_{IN}	Maximum Input Current	$V_{IN} = V_{CC}$ or GND	6.0V	± 0.1	± 1.0	± 1.0	μA		
I_{CC}	Maximum Quiescent Supply Current	$V_{IN} = V_{CC}$ or GND $I_{OUT} = 0 \mu A$	6.0V	8.0	80	160	μA		

Note 4: For a power supply of $5V \pm 10\%$ the worst case output voltages (V_{OH} and V_{OL}) occur for HC at 4.5V. Thus the 4.5V values should be used when designing with this supply. Worst case V_{IH} and V_{IL} occur at $V_{CC} = 5.5V$ and 4.5V respectively. (The V_{IH} value at 5.5V is 3.85V.) The worst case leakage current (I_{IN} , I_{CC} , and I_{OZ}) occur for CMOS at the higher voltage and so the 6.0V values should be used.

AC Electrical Characteristics

$V_{CC} = 5V$, $T_A = 25^\circ C$, $C_L = 15\text{ pF}$, $t_r = t_f = 6\text{ ns}$

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Guaranteed Limit	Units
f_{MAX}	Maximum Clock Frequency			30	MHz
t_{PHL} , t_{PLH}	Maximum Propagation Delay to Q_4	(Note 5)	40	20	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	Maximum Propagation Delay to any Q		16	40	ns
t_{REM}	Minimum Reset Removal Time		10	20	ns
t_W	Minimum Pulse Width		10	16	ns

AC Electrical Characteristics

$V_{CC} = 2.0V$ to $6.0V$, $C_L = 50\text{ pF}$, $t_r = t_f = 6\text{ ns}$ (unless otherwise specified)

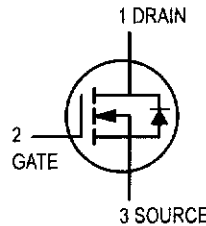
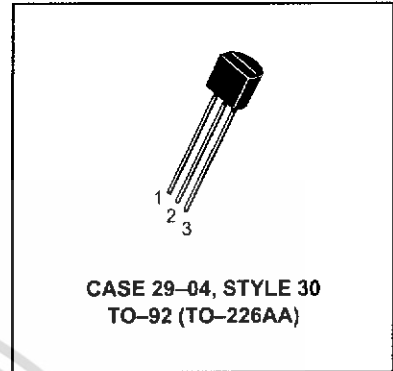
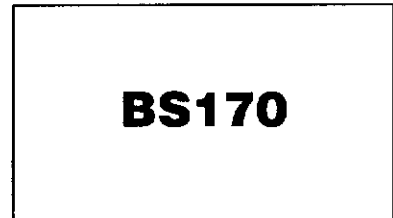
Symbol	Parameter	Conditions	V_{CC}	$T_A = 25^\circ C$			Units	
				Typ	Guaranteed Limits			
f_{MAX}	Maximum Operating Frequency		2.0V	6	5	4	MHz	
			4.5V	30	24	20	MHz	
			6.0V	35	28	24	MHz	
t_{PHL} , t_{PLH}	Maximum Propagation Delay Clock to Q_4		2.0V	120	380	475	171	ns
			4.5V	42	76	95	114	ns
			6.0V	35	65	81	97	ns
t_{PHL}	Maximum Propagation Delay Reset to any Q		2.0V	72	240	302	358	ns
			4.5V	24	48	60	72	ns
			6.0V	20	41	51	61	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	Maximum Propagation Delay Between Stages Q_n to Q_{n+1}		2.0V	125	156	188	ns	
			4.5V	25	31	38	ns	
			6.0V	21	26	31	ns	
t_{REM}	Minimum Reset Removal Time		2.0V	100	125	150	ns	
			4.5V	20	25	30	ns	
			6.0V	17	21	25	ns	
t_W	Minimum Pulse Width		2.0V	80	100	120	ns	
			4.5V	16	20	24	ns	
			6.0V	14	17	20	ns	
t_r , t_f	Maximum Input Rise and Fall Time		2.0V	1000	1000	1000	ns	
			4.5V	500	500	500	ns	
			6.0V	400	400	400	ns	
t_{THL} , t_{TLH}	Maximum Output Rise and Fall Time		2.0V	30	75	95	110	ns
			4.5V	10	15	19	22	ns
			6.0V	9	13	16	19	ns
C_{PD}	Power Dissipation Capacitance (Note 6)	(per package)	55				pF	
C_{IN}	Maximum Input Capacitance		5	10	10	10	pF	

Note 5: Typical Propagation delay time to any output can be calculated using: $t_p = 17+12(N-1)$ ns; where N is the number of the output, Q_w , at $V_{CC} = 5V$.

Note 6: C_{PD} determines the no load dynamic power consumption, $P_D = C_{PD} V_{CC}^2 f + I_{CC} V_{CC}$, and the no load dynamic current consumption, $I_S = C_{PD} V_{CC} f + I_{CC}$.

TMOS FET Switching

N-Channel — Enhancement



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Drain-Source Voltage	V_{DS}	60	Vdc
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 20	Vdc
— Continuous	V_{GS}	± 20	Vdc
— Non-repetitive ($t_p \leq 50 \mu s$)	V_{GSM}	± 40	Vpk
Drain Current(1)	I_D	0.5	Adc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ C$	P_D	350	mW
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ C$

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Gate Reverse Current ($V_{GS} = 15 \text{ Vdc}, V_{DS} = 0$)	I_{GSS}	—	0.01	10	nAdc
Drain-Source Breakdown Voltage ($V_{GS} = 0, I_D = 100 \mu \text{Adc}$)	$V_{(BR)DSS}$	60	90	—	Vdc

ON CHARACTERISTICS(2)

Gate Threshold Voltage ($V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1.0 \text{ mAdc}$)	$V_{GS(Th)}$	0.8	2.0	3.0	Vdc
Static Drain-Source On Resistance ($V_{GS} = 10 \text{ Vdc}, I_D = 200 \text{ mAdc}$)	$r_{DS(on)}$	—	1.8	5.0	Ω
Drain Cutoff Current ($V_{DS} = 25 \text{ Vdc}, V_{GS} = 0 \text{ Vdc}$)	$I_D(off)$	—	—	0.5	μA
Forward Transconductance ($V_{DS} = 10 \text{ Vdc}, I_D = 250 \text{ mAdc}$)	g_{fs}	—	200	—	mmhos

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Input Capacitance ($V_{DS} = 10 \text{ Vdc}, V_{GS} = 0, f = 1.0 \text{ MHz}$)	C_{iss}	—	—	60	pF
---	-----------	---	---	----	----

SWITCHING CHARACTERISTICS

Turn-On Time ($I_D = 0.2 \text{ Adc}$) See Figure 1	t_{on}	—	4.0	10	ns
Turn-Off Time ($I_D = 0.2 \text{ Adc}$) See Figure 1	t_{off}	—	4.0	10	ns

1. The Power Dissipation of the package may result in a lower continuous drain current.
2. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300 \mu s$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

REV 1



MOTOROLA

© Motorola, Inc. 1997 เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ในเชิงพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD4020BC • CD4040BC • CD4060BC
14-Stage Ripple Carry Binary Counters •
12-Stage Ripple Carry Binary Counters •
14-Stage Ripple Carry Binary Counters

General Description

The CD4020BC, CD4060BC are 14-stage ripple carry binary counters, and the CD4040BC is a 12-stage ripple carry binary counter. The counters are advanced one count on the negative transition of each clock pulse. The counters are reset to the zero state by a logical "1" at the reset input independent of clock.

Features

- Wide supply voltage range: 1.0V to 15V
- High noise immunity: 0.45 V_{DD} (typ.)
- Low power TTL compatibility: Fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS
- Medium speed operation: 8 MHz typ. at V_{DD} = 10V
- Schmitt trigger clock input

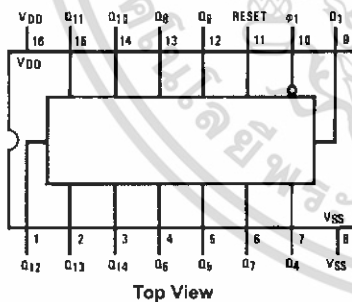
Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
CD4020BCM	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
CD4020BCN	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide
CD4040BCM	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
CD4040BCSJ	M16D	16-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
CD4040BCN	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide
CD4060BCM	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
CD4060BCN	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

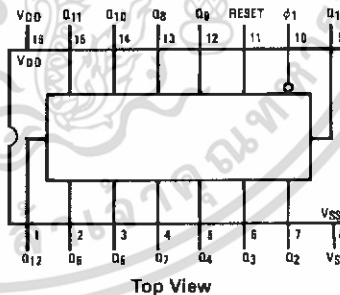
Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagrams

Pin Assignments for DIP and SOIC
CD4020BC



Pin Assignments for DIP, SOIC and SOP
CD4040BC



Absolute Maximum Ratings (Note 1)

(Note 2)

Supply Voltage (V_{DD})	-0.5V to +18V
Input Voltage (V_{IN})	-0.5V to $V_{DD} + 0.5V$
Storage Temperature Range (T_S)	-65°C to +150°C
Package Dissipation (P_D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering, 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions

Supply Voltage (V_{DD})	+3V to +15V
Input Voltage (V_{IN})	0V to V_{DD}
Operating Temperature Range (T_A)	-40°C to +85°C

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The tables of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provide conditions for actual device operation.

Note 2: $V_{SS} = 0V$ unless otherwise specified.

DC Electrical Characteristics (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°C			+85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V, V_{IN} = V_{DD}$ or V_{SS}		20			20		150	μA
		$V_{DD} = 10V, V_{IN} = V_{DD}$ or V_{SS}		40			40		300	μA
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = V_{DD}$ or V_{SS}		80			80		600	μA
V_{OL}	LOW Level Output Voltage	$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 15V$		0.05		0	0.05		0.05	V
V_{OH}	HIGH Level Output Voltage	$V_{DD} = 5V$	4.95		4.95	5		4.95		V
		$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95	10		9.95		V
		$V_{DD} = 15V$	14.95		14.95	15		14.95		V
V_{IL}	LOW Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or $4.5V$		1.5		2	1.5		1.5	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V$ or $9.0V$		3.0		4	3.0		3.0	V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or $13.5V$		4.0		6	4.0		4.0	V
V_{IH}	HIGH Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or $4.5V$	3.5		3.5	3		3.5		V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V$ or $9.0V$	7.0		7.0	6		7.0		V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or $13.5V$	11.0		11.0	9		11.0		V
I_{OL}	LOW Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$	0.52		0.44	0.88		0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$	1.3		1.1	2.25		0.9		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	3.6		3.0	8.8		2.4		mA
I_{OH}	HIGH Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$	-0.52		-0.44	-0.88		-0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$	-1.3		-1.1	-2.25		-0.9		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	-3.6		-3.0	-8.8		-2.4		mA
I_{IN}	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.30		-10^{-5}	-0.30		-1.0	μA
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.30		10^{-5}	0.30		1.0	μA

Note 3: Data does not apply to oscillator points ϕ_0 and ϕ_5 of CD4060BC. I_{OH} and I_{OL} are tested one output at a time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Note 4)						
CD4020BC, CD4040BC $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 50\text{ pF}$, $R_L = 200\text{ k}\Omega$, $t_r = t_f = 20\text{ ns}$, unless otherwise noted						
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{PHL1} , t_{PLH1}	Propagation Delay Time to Q_1	$V_{DD} = 5\text{V}$		250	550	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		100	210	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		75	150	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	Interstage Propagation Delay Time from Q_n to Q_{n+1}	$V_{DD} = 5\text{V}$		150	330	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		60	125	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		45	90	ns
t_{THL} , t_{TLH}	Transition Time	$V_{DD} = 5\text{V}$		100	200	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		50	100	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		40	80	ns
t_{WL} , t_{WH}	Minimum Clock Pulse Width	$V_{DD} = 5\text{V}$		125	335	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		50	125	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		40	100	ns
t_{rCL} , t_{fCL}	Maximum Clock Rise and Fall Time	$V_{DD} = 5\text{V}$			No Limit	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$			No Limit	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$			No Limit	ns
f_{CL}	Maximum Clock Frequency	$V_{DD} = 5\text{V}$	1.5	4		MHz
		$V_{DD} = 10\text{V}$	4	10		MHz
		$V_{DD} = 15\text{V}$	5	12		MHz
$t_{PHL(R)}$	Reset Propagation Delay	$V_{DD} = 5\text{V}$		200	450	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		100	210	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		80	170	ns
$t_{WH(R)}$	Minimum Reset Pulse Width	$V_{DD} = 5\text{V}$		200	450	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		100	210	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		80	170	ns
C_{IN}	Average Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF
C_{PD}	Power Dissipation Capacitance			50		pF

Note 4: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Note 5)						
CD4060BC $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 50\text{ pF}$, $R_L = 200\text{ k}\Omega$, $t_r = t_f = 20\text{ ns}$, unless otherwise noted						
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{PHL4} , t_{PLH4}	Propagation Delay Time to Q_4	$V_{DD} = 5\text{V}$		550	1300	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		250	525	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		200	400	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	Interstage Propagation Delay Time from Q_n to Q_{n+1}	$V_{DD} = 5\text{V}$		150	330	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		60	125	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		45	90	ns
t_{HL} , t_{LH}	Transition Time	$V_{DD} = 5\text{V}$		100	200	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		50	100	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		40	80	ns
t_{WL} , t_{WH}	Minimum Clock Pulse Width	$V_{DD} = 5\text{V}$		170	500	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		65	170	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		50	125	ns
t_{CL} , t_{CFL}	Maximum Clock Rise and Fall Time	$V_{DD} = 5\text{V}$			No Limit	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$			No Limit	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$			No Limit	ns
f_{CL}	Maximum Clock Frequency	$V_{DD} = 5\text{V}$	1	3		MHz
		$V_{DD} = 10\text{V}$	3	8		MHz
		$V_{DD} = 15\text{V}$	4	10		MHz
$t_{PHL(R)}$	Reset Propagation Delay	$V_{DD} = 5\text{V}$		200	450	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		100	210	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		80	170	ns
$t_{WH(R)}$	Minimum Reset Pulse Width	$V_{DD} = 5\text{V}$		200	450	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		100	210	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		80	170	ns
C_{IN}	Average Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF
C_{PD}	Power Dissipation Capacitance			50		pF

Note 5: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in

hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in $^\circ\text{Celsius}$ (Centigrade)
- Linear $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications

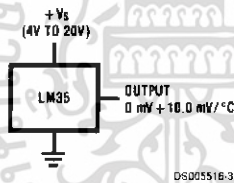
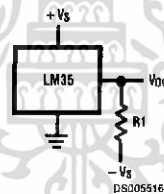


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)

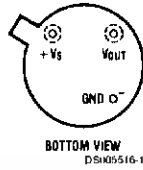


Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Connection Diagrams

**TO-46
Metal Can Package***

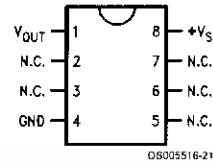


*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH

See NS Package Number H03H

**SO-8
Small Outline Molded Package**



N.C. = No Connection

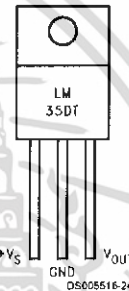
**Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A**

**TO-92
Plastic Package**



**Order Number LM35CZ,
LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A**

**TO-220
Plastic Package***



*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

**Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F**

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

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

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package,	
(Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$+10.0$	$+9.9,$ $+10.1$		$+10.0$	$+9.9,$ $+10.1$		mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0	± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5			± 0.5	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0	+9.8, +10.2		+10.0		+9.8, +10.2	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5\text{Vdc}$ and $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$ in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is 400°C/W junction to ambient, and 24°C/W junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is 90°C/W junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^\circ\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

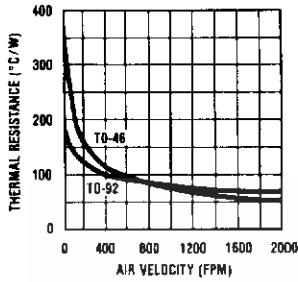
Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a $1.5 \text{ k}\Omega$ resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

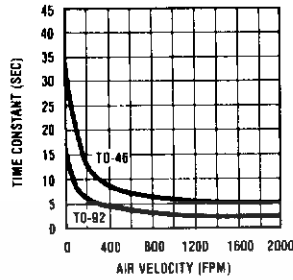
Typical Performance Characteristics

Thermal Resistance Junction to Air



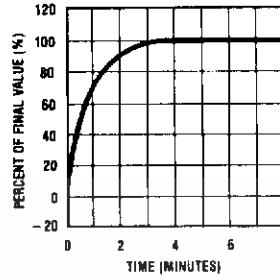
DS005516-25

Thermal Time Constant



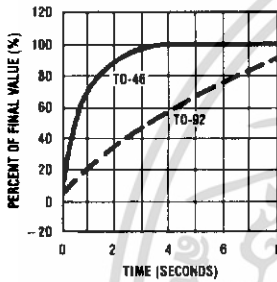
DS005516-26

Thermal Response in Still Air



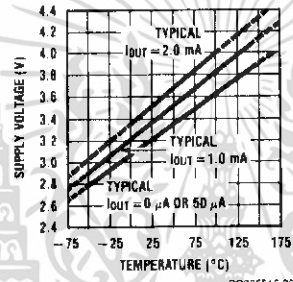
DS005516-27

Thermal Response in Stirred Oil Bath



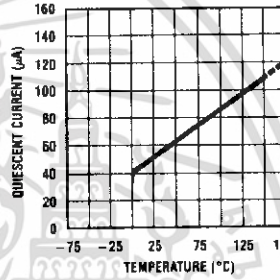
DS005516-28

Minimum Supply Voltage vs. Temperature



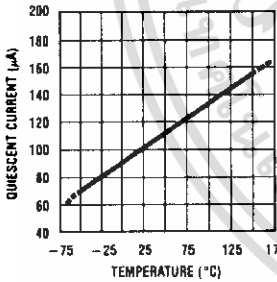
DS005516-29

Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 1.)



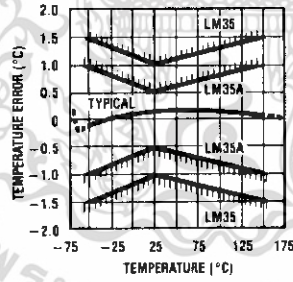
DS005516-30

Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 2.)



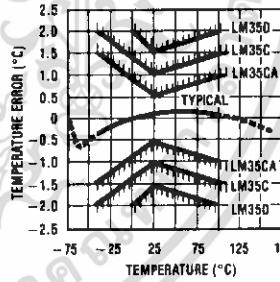
DS005516-31

Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



DS005516-32

Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



DS005516-33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM185/LM285/LM385

Adjustable Micropower Voltage References

General Description

The LM185/LM285/LM385 are micropower 3-terminal adjustable band-gap voltage reference diodes. Operating from 1.24 to 5.3V and over a 10 μ A to 20mA current range, they feature exceptionally low dynamic impedance and good temperature stability. On-chip trimming is used to provide tight voltage tolerance. Since the LM185 band-gap reference uses only transistors and resistors, low noise and good long-term stability result.

Careful design of the LM185 has made the device tolerant of capacitive loading, making it easy to use in almost any reference application. The wide dynamic operating range allows its use with widely varying supplies with excellent regulation.

The extremely low power drain of the LM185 makes it useful for micropower circuitry. This voltage reference can be used to make portable meters, regulators or general purpose

analog circuitry with battery life approaching shelf life. Further, the wide operating current allows it to replace older references with a tighter tolerance part.

The LM185 is rated for operation over a -55°C to 125°C temperature range, while the LM285 is rated -40°C to 85°C and the LM385 0°C to 70°C. The LM185 is available in a hermetic TO-46 package and a leadless chip carrier package, while the LM285/LM385 are available in a low-cost TO-92 molded package, as well as S.O.

Features

- Adjustable from 1.24V to 5.30V
- Operating current of 10 μ A to 20mA
- 1% and 2% initial tolerance
- 1 Ω dynamic impedance
- Low temperature coefficient

Connection Diagrams

TO-92
Plastic Package



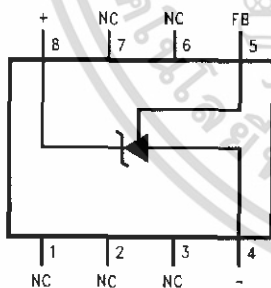
00525009
Bottom View

TO-46
Metal Can Package



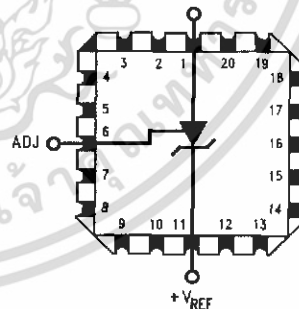
00525001
Bottom View

SOIC Package



00525010
Top View

20-Leadless Chip Carrier

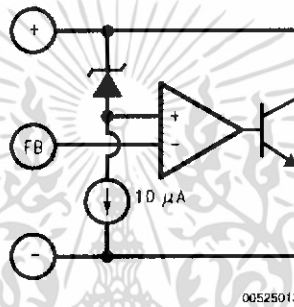


00525015
Top View

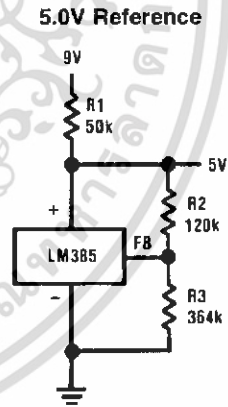
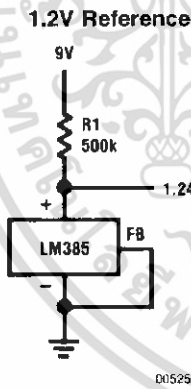
Ordering Information

Package	Temperature Range			NSC Drawing
	-55°C to 125°C	-40°C to 85°C	0°C to 70°C	
TO-46	LM185BH			H03H
	LM185BH/883			
	LM185BYH			
	LM185BYH/883			
TO-92		LM285BXZ	LM385BXZ	Z03A
		LM285BYZ	LM385BYZ	
		LM285Z	LM385BZ	
			LM385Z	
8-Pin SOIC		LM285M	LM385M	M08A
		LM285BYM	LM385BM	
20-Leadless Chip Carrier	LM185BE/883			E20A

Block Diagram



Typical Applications



$$V_{OUT} = 1.24 \left(\frac{R3}{R2} + 1 \right)$$

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

(Note 2)

Reverse Current	30mA
Forward Current	10mA

Operating Temperature Range (Note 3)

LM185 Series	-55°C to 125°C
LM285 Series	-40°C to 85°C
LM385 Series	0°C to 70°C

Storage Temperature -55°C to 150°C

Soldering Information

TO-92 Package (10 sec.)	260°C
TO-46 Package (10 sec.)	300°C
SO Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

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

Electrical Characteristics (Note 4)

Parameter	Conditions	LM185, LM285						LM385				Units (Limit)
		Typ	LM185BX, LM185BY		LM285		Typ	LM385BX, LM385BY		LM385		
			Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)	Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)		Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)	Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)	
Reference Voltage	$I_R = 100\mu A$	1.240	1.252	1.265	1.270	1.240	1.252	1.255	1.265	1.270	V (max) V (min)	
Reference Voltage Change with Current	$I_{MIN} < I_R < 1mA$ $1mA < I_R < 20mA$	0.2 4	1 10	1.5 20	1 10	1.5 20	0.2 5	1 15	1.5 25	1 15	1.5 25	mV (max)
Dynamic Output Impedance	$I_R = 100\mu A, f = 100Hz$ $I_{AC} = 0.1 I_R$ $V_{OUT} = V_{REF}$ $V_{OUT} = 5.3V$	0.3 0.7					0.4 1					Ω
Reference Voltage Change with Output Voltage	$I_R = 100\mu A$	1	3	6	3	6	2	5	10	5	10	mV (max)
Feedback Current		13	20	25	20	25	16	30	35	30	35	nA (max)
Minimum Operating Current (see curve)	$V_{OUT} = V_{REF}$ $V_{OUT} = 5.3V$	6 30	9 45	10 50	9 45	10 50	7 35	11 55	13 60	11 55	13 60	μA (max)
Output Ridgeline Noise	$I_R = 100\mu A, 10Hz < f < 10kHz$ $V_{OUT} = V_{REF}$ $V_{OUT} = 5.3V$	50 170					50 170					μV_{rms}

Electrical Characteristics (Note 4) (Continued)

Parameter	Conditions	LM185, LM285				LM385				Units (Limit)		
		Typ	LM185BX, LM185BY LM185B, LM285BX, LM285BY		LM285		Typ	LM385BX, LM385BY			LM385	
			Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)	Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)		Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)		Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)
Average Temperature Coefficient (Note 7)	$I_R = 100\mu\text{A}$ X Suffix		30					30			ppm/°C	
	Y Suffix		50					50			(max)	
	All Others			150		150			150			
Long Term Stability	$I_R = 100\mu\text{A}$, $T = 1000$ Hr, $T_A = 25^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$	20					20				ppm	

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics. The guaranteed specifications apply only for the test conditions listed.

Note 2: Refer to RETS185H for military specifications.

Note 3: For elevated temperature operation, $T_{j\text{max}}$ is:

LM185	150°C
LM285	125°C
LM385	100°C

Thermal Resistance	TO-92	TO-46	SO-8
θ_{JA} (Junction to Ambient)	180°C/W (0.4" leads) 170°C/W (0.125" leads)	440°C/W	165°C/W
θ_{JC} (Junction to Case)	N/A	80°C/W	N/A

Note 4: Parameters identified with **boldface type** apply at temperature extremes. All other numbers apply at $T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$. Unless otherwise specified, all parameters apply for $V_{REF} < V_{OUT} < 5.3\text{V}$.

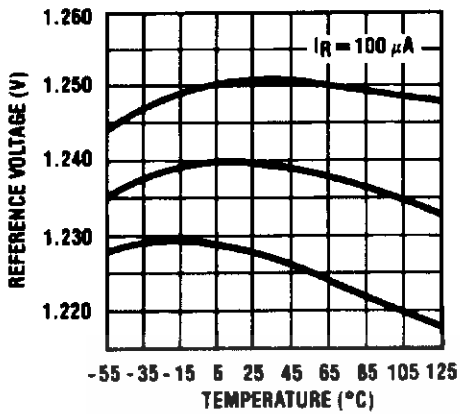
Note 5: Guaranteed and 100% production tested.

Note 6: Guaranteed, but not 100% production tested. These limits are not to be used to calculate average outgoing quality levels.

Note 7: The average temperature coefficient is defined as the maximum deviation of reference voltage at all measured temperatures from T_{MIN} to T_{MAX} , divided by $T_{MAX} - T_{MIN}$. The measured temperatures are -55, -40, 0, 25, 70, 85, 125°C.

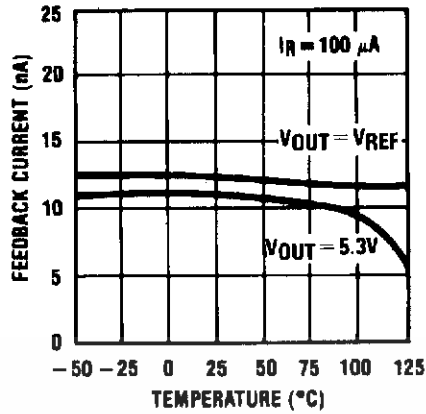
Typical Performance Characteristics

Temperature Drift of 3 Representative Units



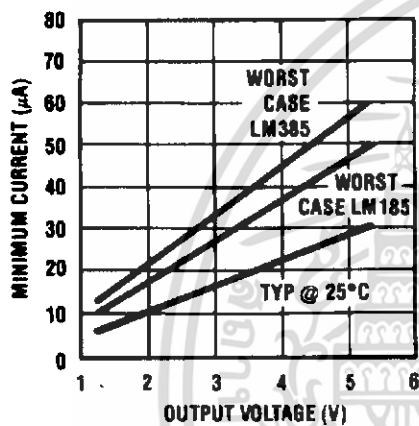
00525016

Feedback Current



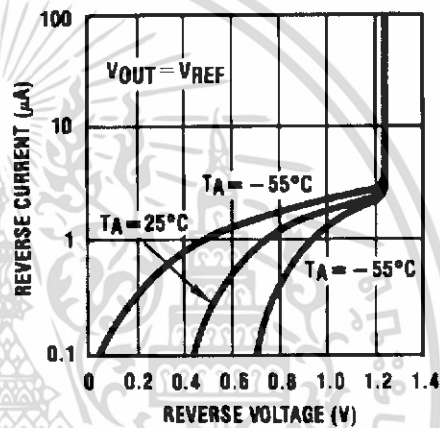
00525017

Minimum Operating Current



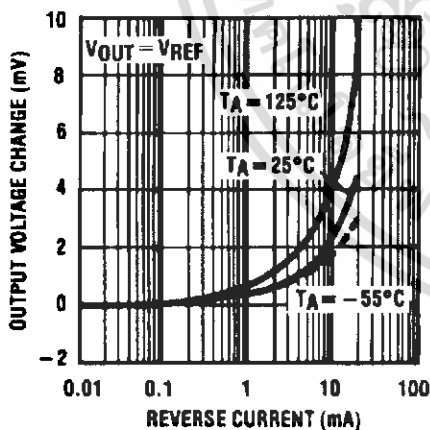
00525018

Reverse Characteristics



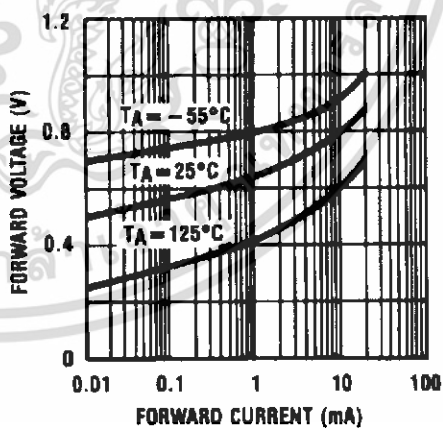
00525019

Reverse Characteristics



00525020

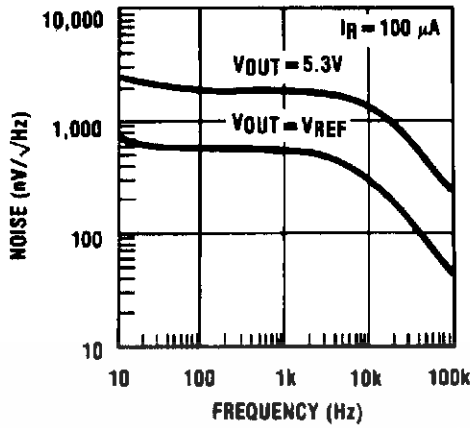
Forward Characteristics



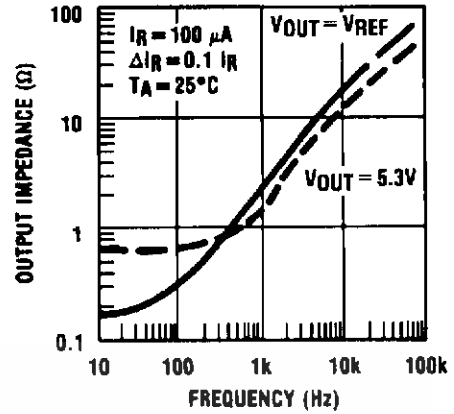
00525021

Typical Performance Characteristics (Continued)

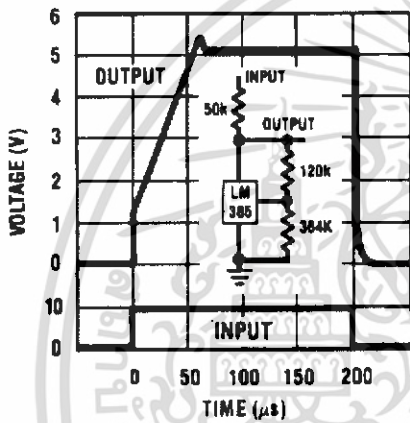
Output Noise Voltage



Dynamic Output Impedance



Response Time

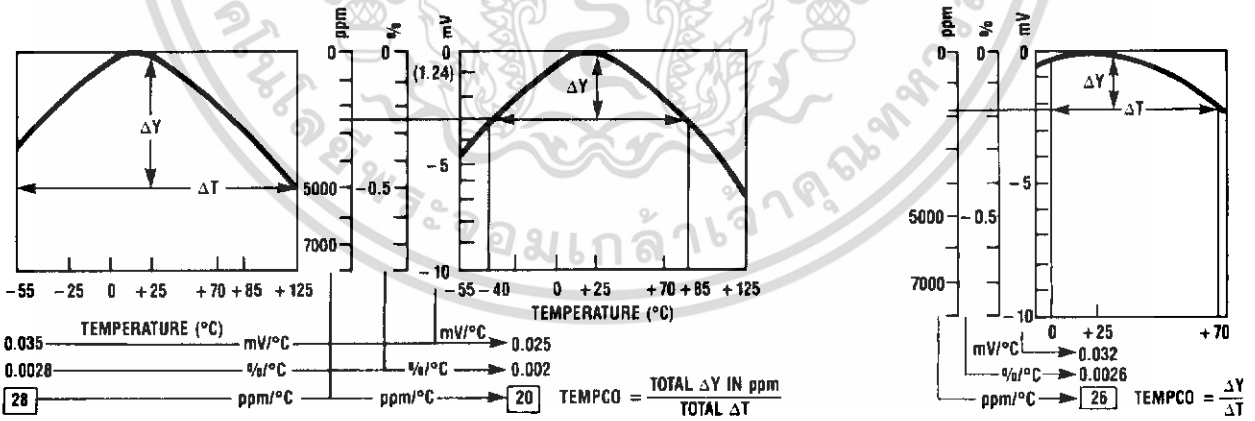


00525022

00525023

00525024

Temperature Coefficient Typical
LM185 LM285 LM385



00525004

MC14584B

Hex Schmitt Trigger

The MC14584B Hex Schmitt Trigger is constructed with MOS P-channel and N-channel enhancement mode devices in a single monolithic structure. These devices find primary use where low power dissipation and/or high noise immunity is desired. The MC14584B may be used in place of the MC14069UB hex inverter for enhanced noise immunity to "square up" slowly changing waveforms.

- Supply Voltage Range = 3.0 Vdc to 18 Vdc
- Capable of Driving Two Low-power TTL Loads or One Low-power Schottky TTL Load over the Rated Temperature Range
- Double Diode Protection on All Inputs
- Can Be Used to Replace MC14069UB
- For Greater Hysteresis, Use MC14106B which is Pin-for-Pin Replacement for CD40106B and MM74C14

MAXIMUM RATINGS (Voltages Referenced to V_{SS}) (Note 2.)

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{DD}	DC Supply Voltage Range	-0.5 to +18.0	V
V_{in}, V_{out}	Input or Output Voltage Range (DC or Transient)	-0.5 to $V_{DD} + 0.5$	V
I_{in}, I_{out}	Input or Output Current (DC or Transient) per Pin	± 10	mA
P_D	Power Dissipation, per Package (Note 3.)	500	mW
T_A	Ambient Temperature Range	-55 to +125	$^{\circ}C$
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150	$^{\circ}C$
T_L	Lead Temperature (8-Second Soldering)	260	$^{\circ}C$

2. Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.
3. Temperature Derating:
Plastic "P and D/DW" Packages: -7.0 mW/ $^{\circ}C$ From 65 $^{\circ}C$ To 125 $^{\circ}C$

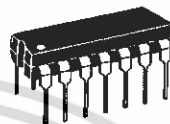
This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V_{in} and V_{out} should be constrained to the range $V_{SS} \leq (V_{in} \text{ or } V_{out}) \leq V_{DD}$.

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either V_{SS} or V_{DD}). Unused outputs must be left open.



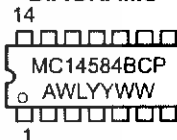
ON Semiconductor

<http://onsemi.com>

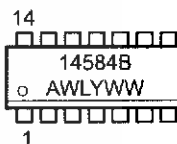


PDIP-14
P SUFFIX
CASE 646

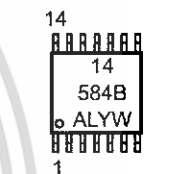
MARKING DIAGRAMS



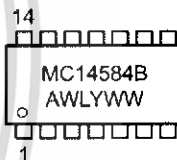
SOIC-14
D SUFFIX
CASE 751A



TSSOP-14
DT SUFFIX
CASE 948G



SOEIAJ-14
F SUFFIX
CASE 965



A = Assembly Location
WL or L = Wafer Lot
YY or Y = Year
WW or W = Work Week

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
MC14584BCP	PDIP-14	2000/Box
MC14584BD	SOIC-14	55/Rail
MC14584BDR2	SOIC-14	2500/Tape & Reel
MC14584BDT	TSSOP-14	96/Rail
MC14584BDTEL	TSSOP-14	2000/Tape & Reel
MC14584BF	SOEIAJ-14	See Note 1.
MC14584BFEL	SOEIAJ-14	See Note 1.

1. For ordering information on the EIAJ version of the SOIC packages, please contact your local ON Semiconductor representative.

MC14584B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to V_{SS})

Characteristic	Symbol	V_{DD} Vdc	- 55°C		25°C			125°C		Unit	
			Min	Max	Min	Typ ⁽⁴⁾	Max	Min	Max		
Output Voltage $V_{in} = V_{DD}$ $V_{in} = 0$	"0" Level "1" Level	V_{OL}	5.0	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	Vdc
			10	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	
			15	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	
			5.0	4.95	—	4.95	5.0	—	4.95	—	Vdc
			10	9.95	—	9.95	10	—	9.95	—	
			15	14.95	—	14.95	15	—	14.95	—	
Output Drive Current ($V_{OH} = 2.5$ Vdc) ($V_{OH} = 4.6$ Vdc) ($V_{OH} = 9.5$ Vdc) ($V_{OH} = 13.5$ Vdc) ($V_{OL} = 0.4$ Vdc) ($V_{OL} = 0.5$ Vdc) ($V_{OL} = 1.5$ Vdc)	Source	I_{OH}	5.0	-3.0	—	-2.4	-4.2	—	-1.7	—	mAdc
			10	-0.64	—	-0.51	-0.88	—	-0.36	—	
			15	-1.6	—	-1.3	-2.25	—	-0.9	—	
			15	-4.2	—	-3.4	-8.8	—	-2.4	—	
	Sink	I_{OL}	5.0	0.64	—	0.51	0.88	—	0.36	—	mAdc
			10	1.6	—	1.3	2.25	—	0.9	—	
15			4.2	—	3.4	8.8	—	2.4	—		
Input Current	I_{in}	15	—	±0.1	—	±0.00001	±0.1	—	±1.0	µAdc	
Input Capacitance ($V_{in} = 0$)	C_{in}	—	—	—	—	5.0	7.5	—	—	pF	
Quiescent Current (Per Package)	I_{DD}	5.0	—	0.25	—	0.0005	0.25	—	7.5	µAdc	
		10	—	0.5	—	0.0010	0.5	—	15		
		15	—	1.0	—	0.0015	1.0	—	30		
Total Supply Current ^{(5),(6)} (Dynamic plus Quiescent, Per Package) ($C_L = 50$ pF on all outputs, all buffers switching)	I_T	5.0	$I_T = (1.8 \mu A/kHz) f + I_{DD}$							µAdc	
10	$I_T = (3.6 \mu A/kHz) f + I_{DD}$										
15	$I_T = (5.4 \mu A/kHz) f + I_{DD}$										
Hysteresis Voltage	V_H ⁽⁷⁾	5.0	0.27	1.0	0.25	0.6	1.0	0.21	1.0	Vdc	
		10	0.36	1.3	0.3	0.7	1.2	0.25	1.2		
		15	0.77	1.7	0.6	1.1	1.5	0.50	1.4		
Threshold Voltage Positive-Going	V_{T+}	5.0	1.9	3.5	1.8	2.7	3.4	1.7	3.4	Vdc	
		10	3.4	7.0	3.3	5.3	6.9	3.2	6.9		
		15	5.2	10.6	5.2	8.0	10.5	5.2	10.5		
Negative-Going	V_{T-}	5.0	1.6	3.3	1.6	2.1	3.2	1.5	3.2	Vdc	
		10	3.0	6.7	3.0	4.6	6.7	3.0	6.7		
		15	4.5	9.7	4.6	6.9	9.8	4.7	9.9		

4. Data labelled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

5. The formulas given are for the typical characteristics only at 25°C.

6. To calculate total supply current at loads other than 50 pF:

$$I_T(C_L) = I_T(50 \text{ pF}) + (C_L - 50) Vfk$$

where: I_T is in µA (per package), C_L in pF, $V = (V_{DD} - V_{SS})$ in volts, f in kHz is input frequency, and $k = 0.001$.

7. $V_H = V_{T+} - V_{T-}$ (But maximum variation of V_H is specified as less than $V_{T+ \text{ max}} - V_{T- \text{ min}}$).

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC14584B

SWITCHING CHARACTERISTICS (C_L = 50 pF, T_A = 25°C)

Characteristic	Symbol	V _{DD} Vdc	Min	Typ (8.)	Max	Unit
Output Rise Time	t _{TLH}	5.0	—	100	200	ns
		10	—	50	100	
		15	—	40	80	
Output Fall Time	t _{FHL}	5.0	—	100	200	ns
		10	—	50	100	
		15	—	40	80	
Propagation Delay Time	t _{PLH} , t _{PHL}	5.0	—	125	250	ns
		10	—	50	100	
		15	—	40	80	

8. Data labelled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.



MC14584B, MC14584B-1, MC14584B-2, MC14584B-3, MC14584B-4, MC14584B-5, MC14584B-6, MC14584B-7, MC14584B-8, MC14584B-9, MC14584B-10, MC14584B-11, MC14584B-12, MC14584B-13, MC14584B-14, MC14584B-15, MC14584B-16, MC14584B-17, MC14584B-18, MC14584B-19, MC14584B-20, MC14584B-21, MC14584B-22, MC14584B-23, MC14584B-24, MC14584B-25, MC14584B-26, MC14584B-27, MC14584B-28, MC14584B-29, MC14584B-30, MC14584B-31, MC14584B-32, MC14584B-33, MC14584B-34, MC14584B-35, MC14584B-36, MC14584B-37, MC14584B-38, MC14584B-39, MC14584B-40, MC14584B-41, MC14584B-42, MC14584B-43, MC14584B-44, MC14584B-45, MC14584B-46, MC14584B-47, MC14584B-48, MC14584B-49, MC14584B-50, MC14584B-51, MC14584B-52, MC14584B-53, MC14584B-54, MC14584B-55, MC14584B-56, MC14584B-57, MC14584B-58, MC14584B-59, MC14584B-60, MC14584B-61, MC14584B-62, MC14584B-63, MC14584B-64, MC14584B-65, MC14584B-66, MC14584B-67, MC14584B-68, MC14584B-69, MC14584B-70, MC14584B-71, MC14584B-72, MC14584B-73, MC14584B-74, MC14584B-75, MC14584B-76, MC14584B-77, MC14584B-78, MC14584B-79, MC14584B-80, MC14584B-81, MC14584B-82, MC14584B-83, MC14584B-84, MC14584B-85, MC14584B-86, MC14584B-87, MC14584B-88, MC14584B-89, MC14584B-90, MC14584B-91, MC14584B-92, MC14584B-93, MC14584B-94, MC14584B-95, MC14584B-96, MC14584B-97, MC14584B-98, MC14584B-99, MC14584B-100

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

General Description

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

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

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

Features

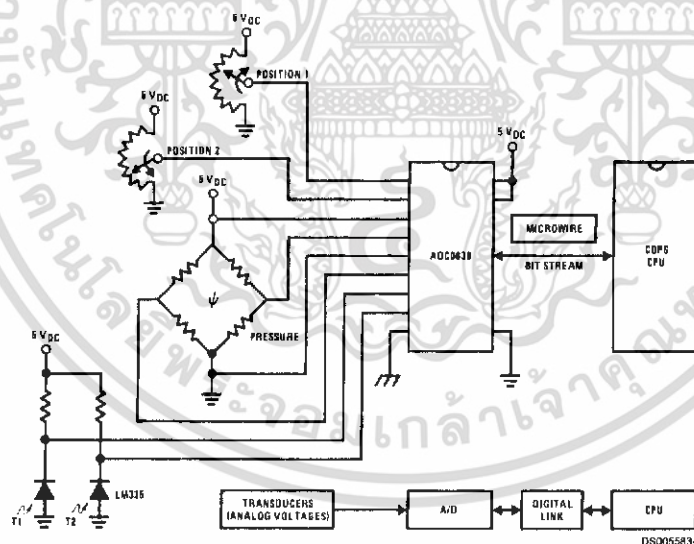
- NSC MICROWIRE compatible—direct interface to COPS family processors
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand-alone"

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

Key Specifications

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

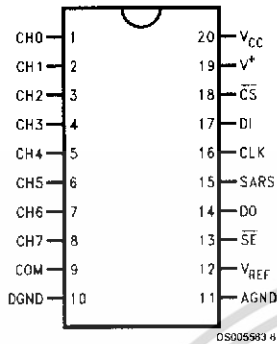
Typical Application



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

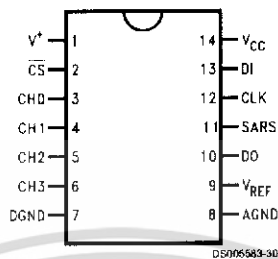
Connection Diagrams

**ADC0838 8-Channel Mux
Small Outline/Dual-In-Line Package
(WM and N)**



Top View

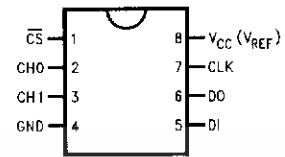
**ADC0834 4-Channel MUX
Small Outline/Dual-In-Line Package
(WM and N)**



COM internally connected to A GND
Top View

Top View

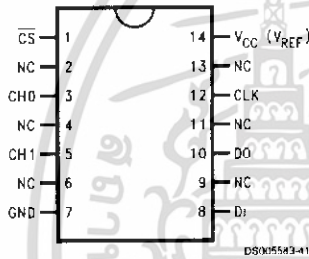
**ADC0832 2-Channel MUX
Dual-In-Line Package (N)**



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

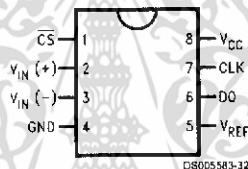
Top View

**ADC0832 2-Channel MUX
Small Outline Package (WM)**



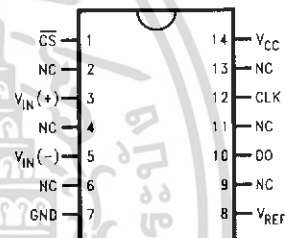
Top View

**ADC0831 Single
Differential Input
Dual-In-Line Package (N)**



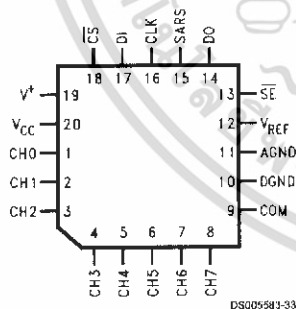
Top View

**ADC0831 Single Differential Input
Small Outline Package (WM)**



Top View

**ADC0838 8-Channel MUX
Molded Chip Carrier (PCC)
Package (V)**



Ordering Information

Part Number	Analog Input Channels	Total Unadjusted Error	Package	Temperature Range
ADC0831CCN	1	± 1	Molded (N)	0°C to +70°C
ADC0831CCWM			SO(M)	0°C to +70°C
ADC0832CIWM	2	± 1	SO(M)	-40°C to +85°C
ADC0832CCN			Molded (N)	0°C to +70°C
ADC0832CCWM			SO(M)	0°C to +70°C
ADC0834BCN	4	$\pm 1/2$	Molded (N)	0°C to +70°C
ADC0834CCN		± 1	Molded (N)	0°C to +70°C
ADC0834CCWM		SO(M)	0°C to +70°C	
ADC0838BCV	8	$\pm 1/2$	PCC (V)	0°C to +70°C
ADC0838CCV		± 1	PCC (V)	0°C to +70°C
ADC0838CCN		Molded (N)	0°C to +70°C	
ADC0838CIWM		SO(M)	-40°C to +85°C	
ADC0838CCWM		SO(M)	0°C to +70°C	

See NS Package Number M14B, M20B, N08E, N14A, N20A or V20A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Notes 1, 2)

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

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

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

Operating Ratings (Notes 1, 2)

Supply Voltage, V _{CC}	4.5 V _{DC} to 6.3 V _{DC}
Temperature Range	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}
ADC0832/8CIWM	-40°C to +85°C
ADC0834BCN,	
ADC0838BCV,	
ADC0831/2/4/8CCN,	
ADC0838CCV,	
ADC0831/2/4/8CCWM	0°C to +70°C

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

Parameter	Conditions	CIWM Devices			BCV, CCV, CCWM, BCN and CCN Devices			Units
		Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	
CONVERTER AND MULTIPLEXER CHARACTERISTICS								
Total Unadjusted Error	V _{REF} =5.00 V (Note 6)					±½	±½	LSB (Max)
ADC0838BCV						±½	±½	
ADC0834BCN						±1	±1	
ADC0838CCV						±1	±1	
ADC0831/2/4/8CCN ADC0831/2/4/8CCWM ADC0832/8CIWM			±1			±1	±1	
Minimum Reference Input Resistance (Note 7)		3.5	1.3		3.5	1.3	1.3	kΩ
Maximum Reference Input Resistance (Note 7)		3.5	5.9		3.5	5.4	5.9	kΩ
Maximum Common-Mode Input Range (Note 8)			V _{CC} +0.05			V _{CC} +0.05	V _{CC} +0.05	V
Minimum Common-Mode Input Range (Note 8)			GND -0.05			GND -0.05	GND -0.05	V
DC Common-Mode Error		±1/16	±¼		±1/16	±¼	±¼	LSB
Change in zero error from V _{CC} =5V to internal zener operation (Note 3)	15 mA into V ⁺ V _{CC} =N.C. V _{REF} =5V		1			1	1	LSB
V _Z , internal diode breakdown (at V ₊) (Note 3)	MIN MAX	15 mA into V ⁺	6.3 8.5			6.3 8.5	6.3 8.5	V
Power Supply Sensitivity	V _{CC} =5V±5%	±1/16	±¼	±¼	±1/16	±¼	±¼	LSB
I _{OFF} , Off Channel Leakage Current (Note 9)	On Channel=5V, Off Channel=0V		-0.2 -1			-0.2	-1	µA
	On Channel=0V, Off Channel=5V		+0.2 +1			+0.2	+1	µA

Converter and Multiplexer Electrical Characteristics The following specifications apply for $V_{CC} = V_+ = V_{REF} = 5V$, $V_{REF} \leq V_{CC} + 0.1V$, $T_A = T_J = 25^\circ C$, and $f_{CLK} = 250$ kHz unless otherwise specified. **Boldface limits apply from T_{MIN} to T_{MAX} .** (Continued)

Parameter	Conditions	CIWM Devices			BCV, CCV, CCWM, BCN and CCN Devices			Units
		Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	
CONVERTER AND MULTIPLEXER CHARACTERISTICS								
I_{ON} , On Channel Leakage Current (Note 9)	On Channel=0V, Off Channel=5V		-0.2 -1			-0.2	-1	μA
	On Channel=5V, Off Channel=0V		+0.2 +1			+0.2	+1	μA
DIGITAL AND DC CHARACTERISTICS								
$V_{IN(1)}$, Logical "1" Input Voltage (Min)	$V_{CC}=5.25V$		2.0			2.0	2.0	V
$V_{IN(0)}$, Logical "0" Input Voltage (Max)	$V_{CC}=4.75V$		0.8			0.8	0.8	V
$I_{IN(1)}$, Logical "1" Input Current (Max)	$V_{IN}=5.0V$	0.005	1		0.005	1	1	μA
$I_{IN(0)}$, Logical "0" Input Current (Max)	$V_{IN}=0V$	-0.005	-1		-0.005	-1	-1	μA
$V_{OUT(1)}$, Logical "1" Output Voltage (Min)	$V_{CC}=4.75V$ $I_{OUT}=-360 \mu A$ $I_{OUT}=-10 \mu A$		2.4			2.4	2.4	V
			4.5			4.5	4.5	V
$V_{OUT(0)}$, Logical "0" Output Voltage (Max)	$V_{CC}=4.75V$ $I_{OUT}=1.6 mA$		0.4			0.4	0.4	V
I_{OUT} , TRI-STATE Output Current (Max)	$V_{OUT}=0V$	-0.1	-3		-0.1	-3	-3	μA
	$V_{OUT}=5V$	0.1	3		0.1	+3	+3	μA
I_{SOURCE} , Output Source Current (Min)	$V_{OUT}=0V$	-14	-6.5		-14	-7.5	-6.5	mA
I_{SINK} , Output Sink Current (Min)	$V_{OUT}=V_{CC}$	16	8.0		16	9.0	8.0	mA
I_{CC} , Supply Current (Max)	ADC0831, ADC0834, ADC0838	0.9	2.5		0.9	2.5	2.5	mA
	ADC0832	2.3	6.5		2.3	6.5	6.5	mA
	Includes Ladder Current							

AC Characteristics

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

Parameter	Conditions	Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	Limit Units
f_{CLK} , Clock Frequency	Min		10		kHz
	Max			400	kHz
t_C , Conversion Time	Not including MUX Addressing Time		8		$1/f_{CLK}$
Clock Duty Cycle (Note 10)	Min			40	%
	Max			60	%
t_{SETUP} , \overline{CS} Falling Edge or Data Input Valid to CLK Rising Edge				250	ns
t_{HOLD} , Data Input Valid after CLK Rising Edge				90	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Characteristics (Continued)

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

Parameter	Conditions	Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	Limit Units
t_{pd1} , t_{pd0} — CLK Falling Edge to Output Data Valid (Note 11)	$C_L = 100$ pF Data MSB First	650		1500	ns
	Data LSB First	250		600	ns
t_{rH} , t_{rL} — Rising Edge of CS to Data Output and SARS Hi-Z	$C_L = 10$ pF, $R_L = 10k$ (see TRI-STATE® Test Circuits)	125		250	ns
	$C_L = 100$ pF, $R_L = 2k$		500		ns
C_{IN} , Capacitance of Logic Input		5			pF
C_{OUT} , Capacitance of Logic Outputs		5			pF

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

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

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

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

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

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

Note 7: Cannot be tested for ADC0832.

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

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

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

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

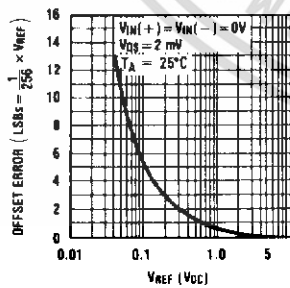
Note 12: Typical values are at $25^\circ C$ and represent most likely parametric norm.

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

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

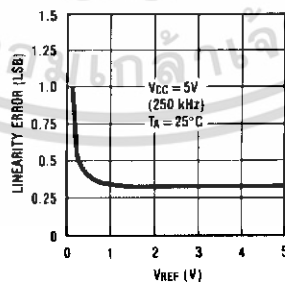
Typical Performance Characteristics

Unadjusted Offset Error vs V_{REF} Voltage



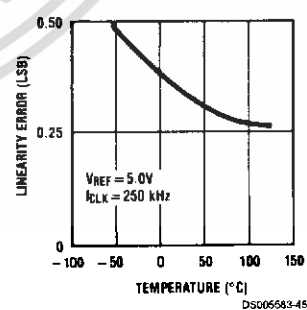
DS006583-43

Linearity Error vs V_{REF} Voltage



DS006583-44

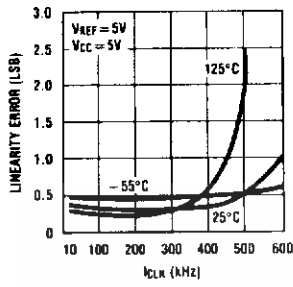
Linearity Error vs Temperature



DS006583-45

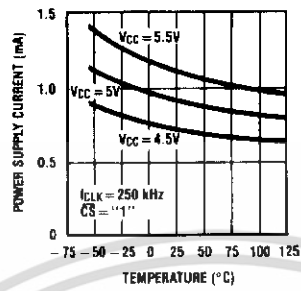
Typical Performance Characteristics (Continued)

Linearity Error vs f_{CLK}



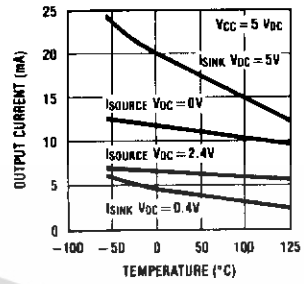
DS005583-46

Power Supply Current vs Temperature (ADC0838, ADC0831, ADC0834)



DS005583-47

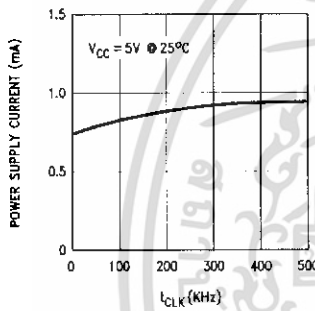
Output Current vs Temperature



DS005583-48

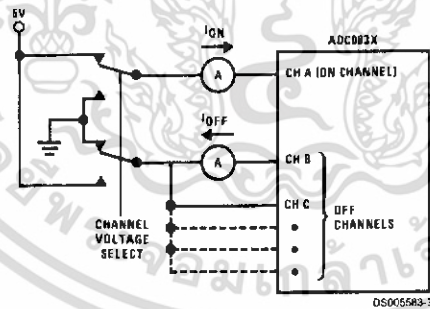
Note: For ADC0832 add I_{REF} .

Power Supply Current vs f_{CLK}



DS005583-29

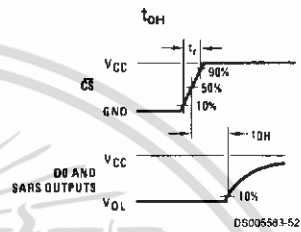
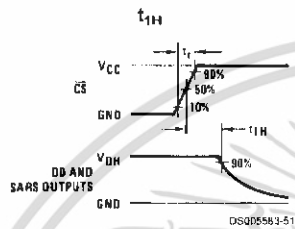
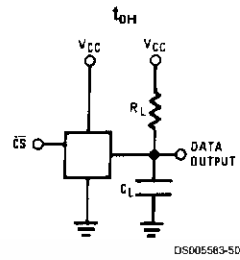
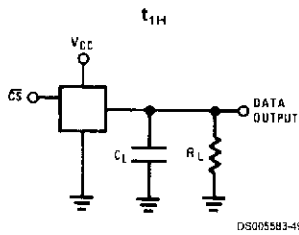
Leakage Current Test Circuit



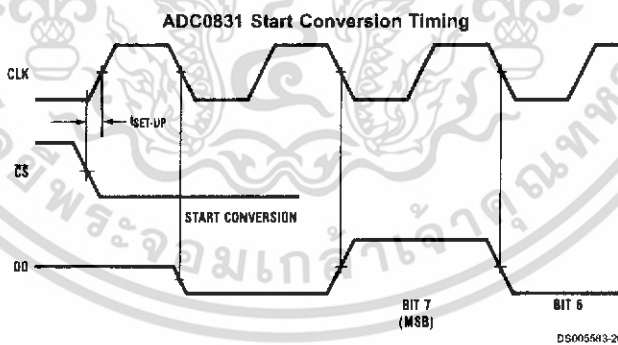
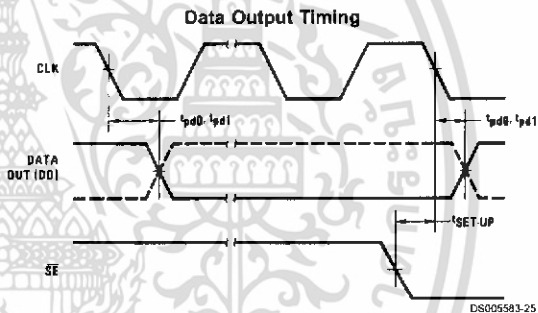
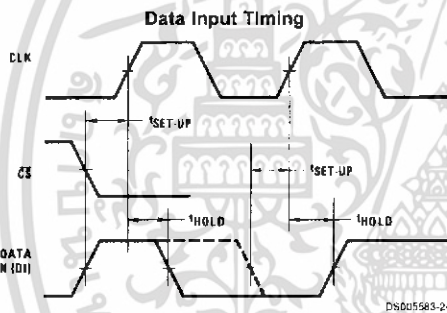
DS005583-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRI-STATE Test Circuits and Waveforms

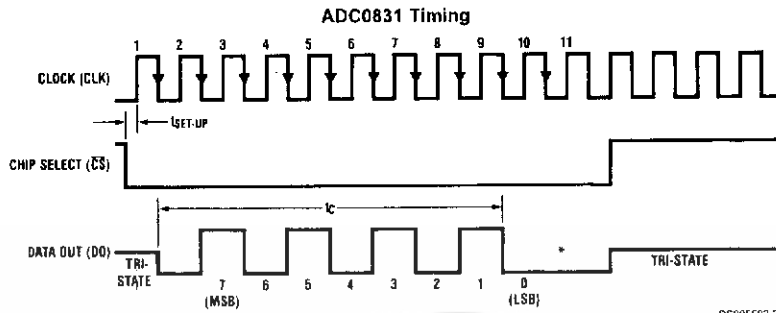


Timing Diagrams



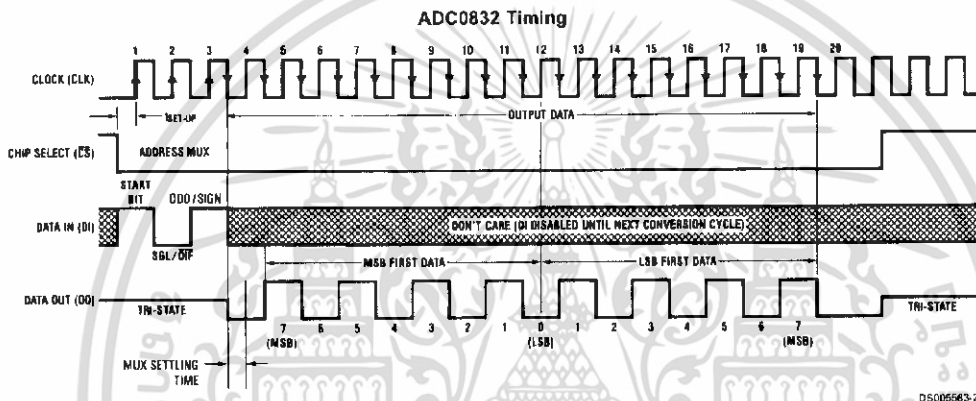
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timing Diagrams (Continued)

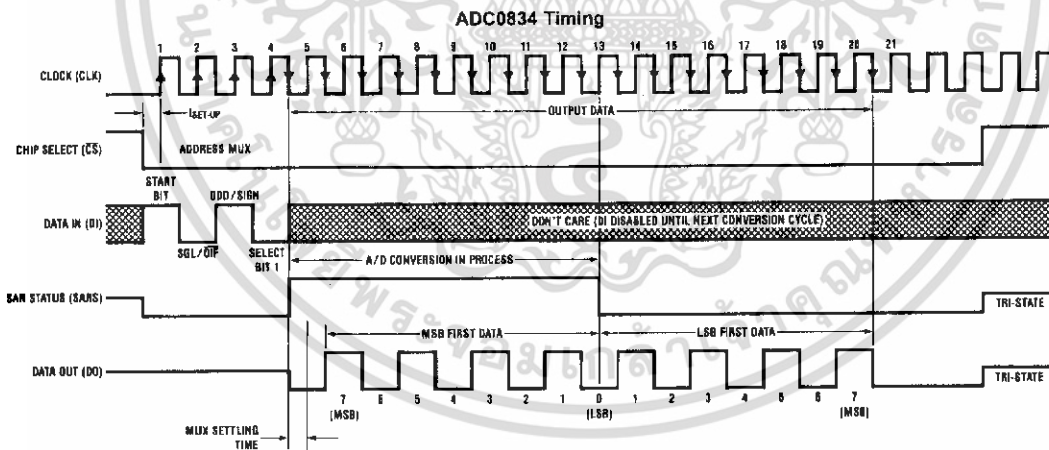


DS005563-27

*LSB first output not available on ADC0831.



DS005563-28



DS005563-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้