

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจี

LPG METER

โดย

นาย ชนกร

ดากรวด

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

รฟ.  
ฉ 132๑  
25A9

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 72123  
วัน,เดือน,ปี 11 ส.ย. 2550

b..... 112 63 693
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจี

LPG METER

โดย

นาย ธนกร ตากรวด รหัส 47015247



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ (รายงาน ) ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจี

ผู้จัดทำ นาย ธนกร

ตากรวด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ เครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจี

LPG METER

นาย ชนกร

ตากรวด รหัส 47015247

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจี
นักศึกษา	นาย ชนกร ตากรวด รหัส 47015247
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร. สุทธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์
ระดับการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ภาควิชา	อิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2549

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจี
นักศึกษา	นาย ธนกร ตากรวด รหัส 47015247
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร. สุรัชชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์
ระดับการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ภาควิชา	อิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2549

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจี (LPG Meter) ซึ่งรายละเอียดโดยรวมของโครงการนี้ จะเป็นการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจี (LPG Sensor) เบอร์ TGS 2612 กับไอซีเบอร์ CS5526 ซึ่งเป็นตัวทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลระดับ 20 บิตกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ AT89C51AC2 ทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณก่อนที่จะส่งต่อไปยังภาคแสดงผลซึ่งเป็นจอแอลซีดีของโนเกีย3310 และเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจีนี้ สามารถใช้วัดความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีได้ตั้งแต่ 400 - 10,000 ppm นอกจากนี้ยังได้มีการสร้างระบบทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจีเพิ่มขึ้นมาอีกด้วย

<b>PROJECT</b>	LPG Meter
<b>STUDENT</b>	Mr. THANAKORN TAKRUED No.470152147
<b>ADVISOR</b>	Dr. SUTICHAJ CHAISITSAK
<b>COUREE</b>	Bachelor of Engineering in Electronics
<b>DEPARTMENT</b>	Electronics Engineering
<b>YEAR</b>	2006

### ABSTRACT

This project is the design and fabrication of the LPG meter. As to application LPG sensor number TGS 2612 with IC CS5526 use for convert analog signal to digital signal level 20 bit with microcontroller MCS-51 number AT89C51AC2 use for processing signal before send to LCD nokia3310 display section. This LPG meter can be measures concentration of LPG gas between 400 – 10,000 ppm. Moreover in this project has fabrication of LPG sensor test system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนำ

ในการศึกษาระดับอุดมศึกษานั้น เป็นระดับที่ต้องสามารถคิดค้นประดิษฐ์อุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ขึ้นมาเองได้ โดยอาศัยความรู้ที่เรียนมาตลอดหลักสูตรและการเรียนวิศวกรรมศาสตร์ก็เป็นสาขาหนึ่งที่ต้องทำ ดังนั้นผู้จัดทำโครงการนี้จึงคิดค้นเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจีขึ้นมา เพื่อนำความรู้ที่เรียนเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้งานได้ ซึ่งในโครงการนี้นั้นจะต้องใช้ความรู้ทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นพื้นฐานของสาขานี้เข้ามาเกี่ยวข้อง รวมทั้งต้องใช้ความรู้ทางไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้งานในการประมวลผลและแสดง

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาแก่ผู้จัดทำโครงการนี้ด้วยดีตลอดมา หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้จัดทำกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย



## สารบัญ

คำนำ	
<b>บทที่ 1 ความมุ่งหมายของปริญญาโท</b>	<b>1</b>
1.1 บทนำ	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญาโท	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ก๊าซแอลพีจี (LPG Gas) และตัวตรวจจับก๊าซ (Gas Sensor)</b>	<b>3</b>
2.1 ก๊าซ LPG คืออะไร	3
2.2 GAS SENSORS	4
<b>บทที่ 3 ตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจีและคุณสมบัติของ MCS-51</b>	<b>14</b>
3.1 ตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจี (LPG Sensor)	14
3.2 รูปร่างและคุณสมบัติของตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจี TGS2612	15
3.3 วิธีการใช้งานตัวตรวจจับก๊าซเบอร์ TGS2612	17
3.4 พื้นฐานในการวัดด้วยตัวตรวจจับก๊าซ	19
3.5 คุณสมบัติของ MCS-51	20
<b>บทที่ 4 การออกแบบแอลพีจีมิเตอร์ทั้ง 2 รุ่นและการทดสอบประสิทธิภาพ</b>	<b>25</b>
4.1 การออกแบบหลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจีรุ่นที่ 1	25
4.2 การออกแบบหลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจีรุ่นที่ 2	30
4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติตัวตรวจจับเบอร์ TGS2612	37
4.4 การทดสอบตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจี	39
4.5 การทดสอบเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจี	31
<b>บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง</b>	<b>37</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	37
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	42
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>43</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>44</b>

## สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 Block Diagram ของโครงการ	1
รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของ Gas Sensor	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำ	7
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซนเซอร์แบบเผาไหม้ผ่านตัวกะตะลิสต์	8
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ Gas Sensor แบบโพเทนทีโอสเตติกและแบบเซลล์กัลวานิก	9
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบ โซลิดอิเล็คโตรไลต์	10
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบพีเอโซอิเล็กทริก	10
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบ FET	11
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบใช้อิออนอิเล็กโทรดที่มีเมมเบรน	11
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบใช้โพลิเมอร์	12
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบใช้แสง	12
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบไพโรอิเล็กทริก	13
รูปที่ 3.1 แสดงขนาดของ TGS2612	15
รูปที่ 3.2 รูปร่างของ TGS 2612	15
รูปที่ 3.3 กราฟความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงกับความเข้มข้นของก๊าซชนิดต่างๆ	16
รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่โหลด ( $V_{RL}$ ) กับความเข้มข้นของก๊าซ	16
รูปที่ 3.5 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในที่ความเข้มข้น LPG 300 ppm กับอากาศ	17
รูปที่ 3.6 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในเมื่อทดลองหลายครั้ง	17
รูปที่ 3.7 วงจรทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซ	18
รูปที่ 3.8 การจัดขาของ AT89C52	21
รูปที่ 4.1 รูปวงจรเครื่องวัดปริมาณค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจี	25
รูปที่ 4.2 Block Diagram การทำงานของวงจร	26
รูปที่ 4.3 Power supply	26
รูปที่ 4.4 Gas sensor circuit	27
รูปที่ 4.5 Adc 20 bit	27
รูปที่ 4.6 Microcontroller & switch circuit	28
รูปที่ 4.7 Display, Buzzer & Led	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8	รูปวงจรเครื่องวัดปริมาณค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจี	31
รูปที่ 4.9	Block Diagram การทำงานของวงจร	32
รูปที่ 4.10	Power supply	32
รูปที่ 4.11	Gas sensor circuit	33
รูปที่ 4.12	Adc 20 bit	34
รูปที่ 4.13	Microcontroller & switch circuit	35
รูปที่ 4.14	Display, Buzzer & Led	36
รูปที่ 4.15	แสดงกราฟคุณสมบัติของตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจีเบอร์ TGS2612 และ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ	37
รูปที่ 5.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ $R_s$ ของตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจีกับค่าความเข้มข้น ของก๊าซแอลพีจี	37
รูปที่ 5.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $R_s$ กับ $V_{RL}$ ในช่วงความเข้มข้นของก๊าซ แอลพีจีเท่ากับ 400 -10,000 ppm	38
รูปที่ 5.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วน $R_s$ กับ $R_0$ และ $V_{RL}$ กับค่าความเข้มข้น ของก๊าซแอลพีจี	39
รูปที่ 5.5	กราฟแสดงค่าผิดพลาดของ $V_{RL}$ กับ $R_s$ ที่ค่าความเข้มข้นใดๆของก๊าซแอลพี	42

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของก๊าซแอลพีจี	3
ตารางที่ 2.2 แสดงแสดงชนิดของก๊าซต่างๆ	6
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติของก๊าซเซนเซอร์แต่ละชนิด	13
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติเฉพาะของ TGS2612	18
ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบ IC ตระกูล MCS-51	23
ตารางที่ 4.1 ค่าความต้านทานรวม ( $R_T$ ) ที่ได้จากกับปรับค่าความต้านทานของ VR 1 M $\Omega$	32
ตารางที่ 4.2 แสดงผลของเครื่องวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีในช่วง 400 – 10,000 ppm	33
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของค่า $V_{RL}$ , $R_S$ วัดได้กับค่า $V_{RL}$ , $R_S$ ที่ได้จากการ คำนวณ	39

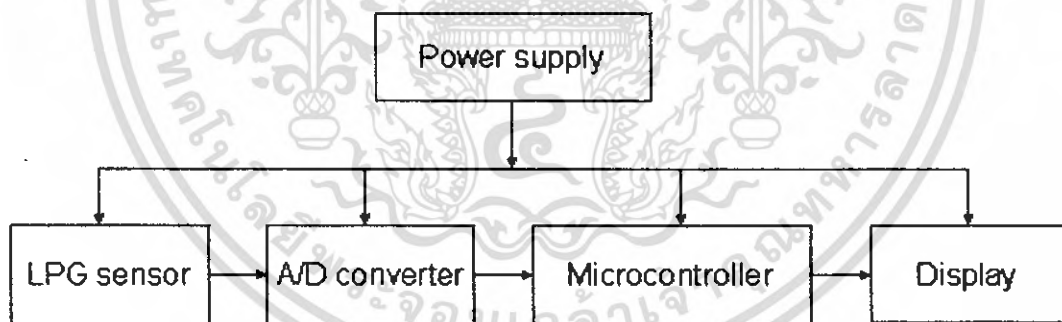
## บทที่ 1

### ความมุ่งหมายของปริญญานิพนธ์

#### 1.1 บทนำ

เครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจีในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่จะต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงและไม่มี การแสดงค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีละเอียดระดับ 1 ส่วนต่อ 1 ล้านส่วนของตัวทำละลาย ( ppm ) ดังนั้น ข้าพเจ้าจึงได้ออกแบบเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจีขึ้นมาโดยได้นำความรู้ที่ได้เล่าเรียนมาประยุกต์ ใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขายอยู่ทั่วไปในท้องตลาดมาประกอบให้เป็นเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจี ที่มีความละเอียดสูงและต้นทุนต่ำ

โครงการนี้เป็นการสร้างเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจี ( LPG Meter ) ที่มีราคาไม่แพงโดยใช้หลักการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจี ( LPG Sensor ) นำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับวงจรตรวจจับก๊าซและไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ( A/D Converter ) เพื่อส่งต่อไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ( Microcontroller ) ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลและควบคุมการทำงานในส่วนของภาคแสดงผล ( Display ) โดยมีกระบวนการในการทำงานของโครงการดังรูป



รูปที่ 1.1 Block Diagram ของโครงการ

#### 1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันนี้ประเทศไทยใช้ก๊าซแอลพีจี เพื่อใช้เป็นพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งใช้ในระดับครัวเรือนและใช้รถยนต์ที่มีเชื้อเพลิงเป็นก๊าซแอลพีจีในจำนวนมากและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากราคาที่สูงขึ้นของน้ำมัน เป็นต้น และที่สำคัญประเทศไทยสามารถผลิตก๊าซแอลพีจีขึ้นเองได้ภายในประเทศ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพลังงานจากก๊าซแอลพีจีของประเทศไทยมีความสำคัญมากในหลายๆด้านของอุตสาหกรรม และมีเปอร์เซ็นต์เป็นไป ได้สูงที่จะเกิดการรั่วไหลของก๊าซแอลพี

จในด้านต่างๆ ข้าพเจ้าจึงได้เกิดความคิดที่จะทำเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจีขึ้นมา เพื่อนำไปวัดปริมาณการรั่วไหลของก๊าซแอลพีจีในด้านต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อที่จะทำการเตือนให้แก้ไขได้ทันเหตุการณ์ก่อนที่จะเกิดภัยพิบัติขึ้น ซึ่งเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจีนี้สามารถที่จะเลือกโหมดการวัดให้เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ได้

### 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.3.1 สร้างเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจีที่มีคุณภาพสูง รวมทั้งมีการแสดงผลในช่วงที่กว้างและมีความแม่นยำสูง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากก๊าซแอลพีจีเป็นก๊าซที่ติดไฟได้ง่ายและมีน้ำหนักหนักกว่าอากาศ ทำให้ก๊าซเป็นอันตรายอย่างมาก หากเกิดการรั่วไหลของก๊าซแอลพีจีเกิดขึ้น

1.3.2 สร้างเครื่องตรวจจับก๊าซแอลพีจีที่มีความไวสูง เพื่อตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแอลพีจี

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ได้ศึกษาการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจี

1.4.2 ทำให้รู้จักการประยุกต์ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการออกแบบและควบคุม

1.4.3 ทำให้รู้จักการใช้งานของไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

1.4.4 ทำให้รู้จักการใช้งาน LCD NOKIA 3310 ในการแสดงผล

1.4.5 สามารถนำโครงการนี้ไปประยุกต์ใช้งานในการตรวจจับก๊าซชนิดอื่นๆ ได้

1.4.6 ทำให้รู้จักการแก้ไขปัญหา เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการทำงานต่อไป

## บทที่ 2

### ก๊าซแอลพีจี (LPG Gas) และตัวตรวจจับก๊าซ (Gas Sensor)

#### 2.1 ก๊าซ LPG คืออะไร [1]

ก๊าซแอลพีจีเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซโพรเพน ( $C_3H_4$ ) และก๊าซบิวเทน ( $C_4H_8$ ) ในสัดส่วนผสมต่างๆกัน เช่น 70:30 หรือ 60:40 เป็นต้น ดังนั้นจึงเป็นก๊าซที่หนักกว่าอากาศ โดยตัวแอลพีจีเองไม่มีสี ไม่มีกลิ่นเช่นเดียวกับก๊าซธรรมชาติ แต่เนื่องจากเป็นก๊าซที่หนักกว่าอากาศจึงมีการสะสมและลุกไหม้ได้ง่าย ดังนั้น จึงมีข้อกำหนดให้เติมสารมีกลิ่นเพื่อเป็นการเตือนภัยหากเกิดการรั่วไหล ก๊าซแอลพีจีสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนและใช้ในการ เชื่อมโลหะได้รวมทั้งยังนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทได้อีกด้วย โดยบรรจุเป็นของเหลวใส่ถังที่ทนความดัน (ประมาณ 100 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว) เพื่อให้ขนถ่ายได้ง่าย นอกจากนี้ ยังนิยมใช้แทนน้ำมันเบนซินในรถยนต์ เนื่องจากราคาถูกกว่า และมีค่าออกเทนสูงถึง 105 RON (Research Octane Number = เป็นค่าออกเทนที่มีประสิทธิภาพต่อต้านการน็อคในเครื่องยนต์หลายสูบที่ทำงานอยู่ในรอบของช่วงหมุนต่ำ โดยใช้เครื่องยนต์ทดสอบมาตรฐานภายใต้สภาวะมาตรฐาน 600 รอบ ต่อนาที) ก๊าซแอลพีจีนั้นสามารถจุดระเบิดในอากาศที่อุณหภูมิ 400 และต้องค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีในอากาศเกิน 2000 ppm ซึ่งสามารถแสดงคุณสมบัติของก๊าซแอลพีจีได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของก๊าซแอลพีจี

คุณสมบัติ	LPG
สถานะปกติ	ก๊าซหนักกว่าอากาศ
จุดเดือด ( องศาเซลเซียส )	-50 - 0
อุณหภูมิจุดระเบิดในอากาศ ( องศาเซลเซียส )	400
ความเข้มข้นที่สามารถติดไฟในอากาศ ( ppm )	2,000
ค่าออกเทน ( RON )	105

## 2.2 GAS SENSORS [2]

### 2.2.1 ส่วนประกอบของ Gas Sensor

Gas Sensor ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.1 คือ



1. Sensing Membrane
2. Transducer

Sensing Membrane เป็นส่วนที่ทำหน้าที่จับหรือทำปฏิกิริยากับก๊าซที่ต้องการวัด ส่วน Transducer ทำหน้าที่วัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับ sensing membrane เมื่อ membrane จับหรือทำปฏิกิริยากับก๊าซ ในกรณี sensing Membrane กับ Transducer อาจจะเป็นตัวเดียวกันก็ได้

รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของ Gas Sensor

### 2.2.2 คุณสมบัติของ Gas Sensors

เราสามารถแบ่งคุณสมบัติของ Gas Sensor ออกเป็น 5 อย่างที่สำคัญคือ

1. ความไวการตอบสนอง ( Response )
2. ความไวในการวัด ( Sensitivity )
3. ความจำเพาะ ( Selectivity )
4. ความเสถียรภาพ ( Stability )
5. พิสัยการวัด ( Dynamic Range )

1. ความไวการตอบสนอง ( Response ) คือ ความสามารถในการตอบสนองอย่างรวดเร็วในทันทีเมื่อก๊าซที่เราทำการวัดมาสัมผัสกับ Gas Sensor คุณสมบัติข้อนี้มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ Gas ที่เราทำการวัดเป็นก๊าซพิษหรือก๊าซไวไฟ เพื่อเราจะได้หลีกเลี่ยงและแก้ไขได้ทันที ก่อนที่จะได้รับอันตรายหรือเกิดเหตุร้ายแรงในบริเวณที่ทำการวัดก๊าซ หากก๊าซรั่วไหลออกมา

2. ความไวในการวัด ( Sensitivity ) คือ ความสามารถของ Gas Sensor ที่จะบอกความแตกต่างของปริมาณก๊าซที่จะทำการวัด เช่น Gas Sensor บางชนิดไม่สามารถบอกความแตกต่างของ Gas ปริมาณน้อย ๆ เช่น 10 ppm กับ 11 ppm ได้ ดังนั้นเมื่อเรานำไปวัด ก๊าซ 2 บริเวณที่มี ก๊าซแตกต่างกันน้อย ๆ ก็จะทำให้เราเข้าใจผิดคิดว่าบริเวณทั้ง 2 มีก๊าซในปริมาณเท่ากัน คุณสมบัติชนิดนี้จะสำคัญเฉพาะกรณีก๊าซที่เราวัดมีปริมาณน้อย ๆ หรือต้องการความถูกต้องในการวัดสูงเท่านั้น

3. ความจำเพาะ ( Selectivity ) คือ ความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างก๊าซที่เราต้องการวัดกับก๊าซที่เราไม่ต้องการ วัดได้ กล่าวคือ Gas Sensor ชนิดหนึ่ง ๆ ควรมีความสามารถในการตอบสนองต่อก๊าซชนิดหนึ่งชนิดเดียวที่เราต้องการวัด และไม่ควรถูกตอบสนองต่อก๊าซชนิดอื่น เพราะจะทำให้สัญญาณรบกวนการวัดได้ ในทางปฏิบัติเราต้องพยายามหาวัสดุที่เหมาะสมที่ไว

เฉพาะต่อก๊าซที่เราต้องการวัดมาใช้ทำ Sensing membrane หรืออาจจะเจาะสารบางตัวลงไปในตัวที่ใช้ทำ membrane เพื่อทำให้ membrane มีความไวในการตอบสนองก๊าซที่เราต้องการวัดขึ้นมาได้ หรือเมื่อต้องการตอบสนองก๊าซที่เราไม่ต้องการที่จะวัด Selectivity เป็นคุณสมบัติที่สำคัญมาก ซึ่ง Gas Sensor ที่ดีต้องมีค่า Selectivity สูง

**4. ความเสถียรภาพ ( Stability )** คือ ผลในการวัดคงที่ไม่เสื่อมสภาพเร็วในการใช้งาน เพื่อให้ Gas Sensor สามารถใช้วัดได้อย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไป Sensing Membrane ทำจาก Polymer มักมีปัญหาในการใช้งาน

**5. พิสัยการวัด ( Dynamic Range )** คือ ช่วงกว้างของการวัดของ Sensor ซึ่ง Sensor บางตัวสามารถวัดก๊าซปริมาณตั้งแต่ 100-10000 ppm แต่บางตัวใช้วัดใน range 10-50 ppm

### 2.2.3 ชนิดหลัก ๆ ของ Gas Sensors

แบ่ง Gas Sensors ตามลักษณะการทำงานออกเป็น 3 ชนิดหลัก ๆ คือ

1. Gas Adsorption Gas Sensor
2. Gas Reaction Gas Sensor
3. Selective Membrane Gas Sensor

**1. Gas Adsorption Gas Sensor** Gas Sensor ในกลุ่มนี้ทำงานโดยวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เมื่อมีโมเลกุลของก๊าซถูกดูดซับเข้าไปบนผิวของวัสดุที่ใช้ทำ gas sensor ซึ่งเมื่อผิววัสดุที่ใช้ทำ gas sensor ถูกดูดซับโมเลกุลของ gas เข้าไปที่ผิวก็ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

- surface potential ทำให้เกิดการนำไฟฟ้า
- เกิดการเปลี่ยนแปลงมวล ทำให้น้ำหนักของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป เป็นผลให้ความถี่รีโซแนนซ์ของระบบที่เปลี่ยนแปลงไป

**2. Gas Reaction Gas Sensor** Gas Sensor แบบนี้ทำการวัดผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เมื่อก๊าซที่ต้องการวัดเกิดปฏิกิริยา เช่น การจัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของเซรามิกที่มีตัวคะตะลิสต์ผสมอยู่ เมื่อเซรามิกสัมผัสกับก๊าซที่เผาไหม้

**3. Selective Membrane Gas Sensor** ซึ่งทำงานโดยใช้ประโยชน์ของ Sensing membrane ที่ยอมให้ก๊าซบางชนิดเท่านั้นผ่านเข้าไปได้ Gas Sensor ชนิดนี้ที่ใช้วัด Oxygen จะมีแผ่น membrane แบบ solid electrolyte ที่ทำมาจาก  $Y_2O_3$  dope  $ZrO_2$  ส่วนที่ใช้วัด  $SO_2$  จะมีแผ่น membrane แบบ Solid electrolyte ที่ทำมาจาก  $K_2SO_4$  โดยเมื่อมี gas ข้างต้นซึมผ่านเข้าไปก็จะทำให้วัสดุดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไป เราก็วัดปริมาณการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหากเปลี่ยนแปลงมากก็แสดงว่ามีก๊าซ

ดังกล่าวมาก นอกจากนี้เรายังสามารถแบ่ง Gas Sensor ชนิดหลักๆ ออกเป็น Gas Sensor ชนิดย่อย ๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงแสดงชนิดของก๊าซต่างๆ

Type	Classification	Phenomena	Materials	Gases
Gas adsorption	Semiconductor	Surface	$\text{SnO}_2, \text{ZnO}$	LPG, CO
		Conductivity	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3, \text{V}_2\text{O}_5$	alcohol
		Bulk Conductivity	$\text{TiO}_2, \text{CoO}, \text{MgO-CoO}$	$\text{O}_2$
	Surface potential	Surface potential	Pd-gate FET, $\text{Ag}_2\text{O}$ , Pd- $\text{TiO}_2$	$\text{H}_2, \text{CO}$
	Humidity	Conductivity	$\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_x, \text{ZnO}$ , $\text{MgCrO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{H}_2\text{O}$
	Other	Piezoelectric	Polyimide 11M quartz oscillator	$\text{H}_2\text{S}, \text{NH}_3$
Gas reaction	Catalytic combustion	combustion heat	Pt wire, Pt, Pd+ $\text{Al}_2\text{O}_3$	Flamable gases
	Potentiostatic	electrolytic current	gas electrode	CO, NO $\text{NO}_2, \text{S}_2$
	Galvanic cell	cell current	noble cathode (Pt, Au) & base anode (Pb)	$\text{O}_2$
	Others	Fluorescence	Pyrene + silicone membrane	
Selective membrane	Solid electrolyte	EMP	$\text{ZrO}_2\text{-CaO}, \text{ThO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ , $\text{PbCl}_2, \text{PbBr}_2, \text{K}_2\text{SO}_4$	$\text{O}_2$

#### 2.2.4 รายละเอียด Gas Sensors ที่สำคัญต่างๆ

Gas Sensors สามารถแบ่งออกเป็น 11 ชนิดที่สำคัญดังนี้

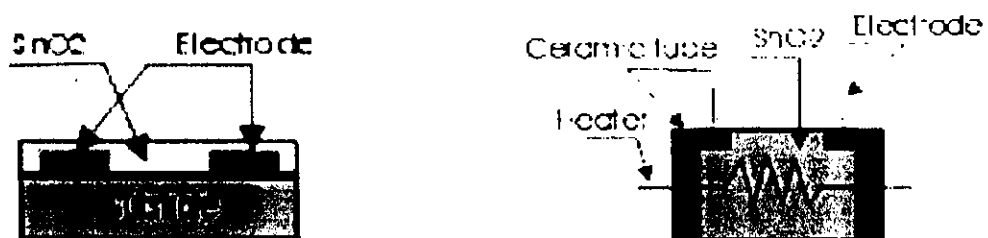
##### 1. Semiconductor gas sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Catalytic combustion gas sensor
3. Potentiostatic electrolysis gas sensor
4. Galvanic cell gas sensor
5. Solid electrolyte gas sensor
6. Piezoelectric type gas sensor
7. Field Effect Transistor type gas sensor
8. Ion-selective Electrode with membrane gas sensor
9. Polymer membrane gas sensor
10. Photonic gas sensor
11. Pyroelectric gas sensor

### 1. ตัวตรวจจับก๊าซแบบสารกึ่งตัวนำ ( Semiconductor gas sensor )

คือ Gas Sensor ที่อาศัยประโยชน์จากลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำกล่าวคือเมื่อมีโมเลกุลของก๊าซเข้ามาดูดเกาะ ( adsorb ) ที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ จะทำให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างโมเลกุลของก๊าซกับสารกึ่งตัวนำนั้นขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าความต้านทานของสารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นโดยการวัดการนำ จะทำให้เราทราบความเข้มข้นของก๊าซได้ ลักษณะการนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าที่ผิว และการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าในบัลค์ ( Bulk ) แบบแรกนั้นส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็น ฟิล์มบางหรือฟิล์มหนา ส่วนแบบหลังนั้นจะมีความหนามาก โดยมีลักษณะเป็นก้อนเซรามิก ( sintered block ) ลักษณะการตอบสนองของก๊าซเซนเซอร์ ต่อชนิดของก๊าซนั้นจะขึ้นกับชนิดขององค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ในการประดิษฐ์และอุณหภูมิการทำงาน ตัวอย่างของวัสดุ ที่ใช้ทำก๊าซเซนเซอร์แบบนี้ ได้แก่  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$  เป็นต้น สารเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประดิษฐ์ก๊าซเซนเซอร์สำหรับวัดก๊าซ  $\text{Nox}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{H}_2$ , alcohol และอื่น ๆ อีกมากมาย โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำ แสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตัวตรวจจับก๊าซแบบเผาไหม้ผ่านตัวคะตะลิสต์ ( Catalytic combustion gas sensor )

คือ Gas Sensor ที่อาศัยหลักการที่เมื่อก๊าซถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์โดยตัวคะตะลิสต์มีความสามารถในการออกซิไดซ์ซึ่งสูง จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูง ดังนั้นโดยการวัดการหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงกับความเข้มข้นของก๊าซก็จะทำให้เราทราบค่าความเข้มข้นของก๊าซได้ ตัวอย่างของ Gas Sensor ชนิดนี้ได้แก่ เซรามิกส์จำพวกอลูมิเนียม ออกไซด์ ที่มี Pd หรือ Rh เป็นตัว คะตะลิสต์ สามารถนำไปใช้ในการวัดก๊าซ H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ได้ เป็นต้น Gas Sensor แบบนี้ใช้ได้ เฉพาะการวัดก๊าซเผาไหม้ได้เท่านั้น และยังมีข้อเสียที่ไม่สามารถแยกชนิดของก๊าซได้ โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบนี้ แสดงได้ดังรูปที่ 2.3

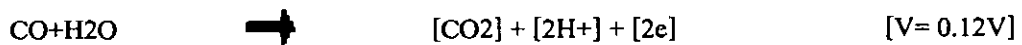


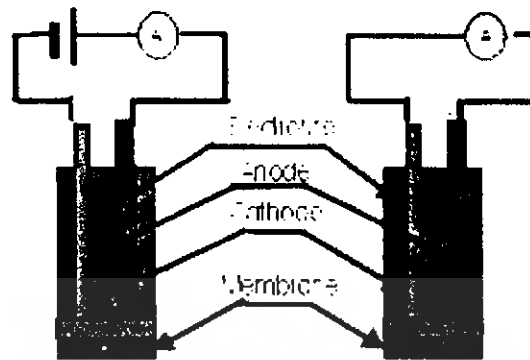
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซนเซอร์แบบเผาไหม้ผ่านตัวคะตะลิสต์

3. ตัวตรวจจับก๊าซแบบโพเทนทีโอสแตติก ( Potentiostatic electrosysity gas sensor )

คือ Gas Sensor ที่ทำการวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เมื่อก๊าซที่ต้องการวัดถูกออกซิไดซ์หรือรีดิวซ์โดยอิเล็กโทรดที่มีศักย์ไฟฟ้า คงที่ค่าหนึ่ง ดังนั้นการวัดแบบนี้จึงใช้สำหรับวัดก๊าซที่สามารถจะถูกออกซิไดซ์หรือรีดิวซ์ได้โดยทางไฟฟ้าเคมีเท่านั้น โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์ชนิดนี้จึงประกอบ

ด้วยขั้วไฟฟ้าเคมี ( รูปที่ 2.4 ) กล่าวคือ มีขั้ววาโนด ขั้วคาโทด และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และเพื่อเป็นการเพิ่มความจำเพาะในการวัด ( selectivity ) ก๊าซเซนเซอร์ชนิดนี้มักจะมีแผ่นเมมเบรนสำหรับส่งผ่านก๊าซ ( gas permeable membrane ) อยู่ที่ผิวของขั้วอิเล็กโทรดเพื่อให้ก๊าซที่ต้องการวัดเท่านั้นที่สามารถซึมผ่านเข้าไปได้ และทำการกันก๊าซชนิดอื่น ที่ไม่ต้องการวัดออกไป ตัวอย่างของก๊าซเซนเซอร์ชนิดนี้ได้แก่ หัววัด CO ดังสมการ





ก. Gas Sensor แบบโพเทนทีโอสแตติก

ข. Gas Sensor แบบเซลล์กัลวานิก

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ Gas Sensor แบบโพเทนทีโอสแตติกและแบบเซลล์กัลวานิก

#### 4. ตัวตรวจจับก๊าซแบบเซลล์กัลวานิก ( Galvanic cell sensor )

หลักการทำงานและโครงสร้างของ Gas Sensor ชนิดนี้จะคล้ายกับแบบโพเทนทีโอสแตติก ต่างกันที่ Gas Sensor ชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วไฟฟ้าเคมี กล่าวคือศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ขั้วอิเล็กโทรดมีค่าเป็นศูนย์ เซนเซอร์แบบนี้จึงใช้ได้ เฉพาะกับก๊าซที่มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาสูงเท่านั้น กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีของ ก๊าซที่ขั้วอิเล็กโทรด จึงเป็นในทำนองเดียวกับแบตเตอรี่ ตัวอย่างของ Gas Sensor ชนิดนี้ได้แก่ หัววัดออกซิเจน ดังปฏิกิริยา ดังต่อไปนี้

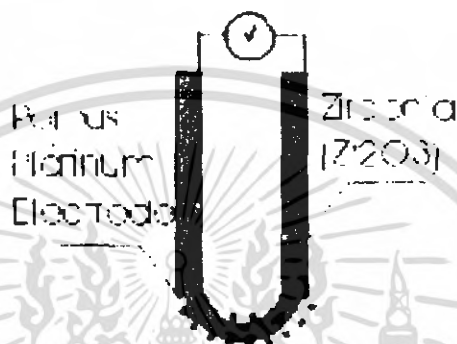
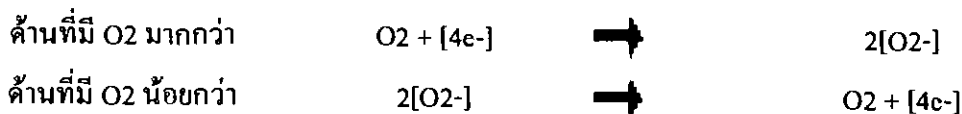


#### 5. ตัวตรวจจับก๊าซแบบโซลิดอิเล็กโทรไลต์ ( Solid electrolyte gas sensor )

Gas Sensor แบบนี้อาศัยลักษณะสมบัติการนำไฟฟ้า ( conduction ) ของโซลิดอิเล็กโทรไลต์ ( Solid electrolyte ) โดยแทนที่จะใช้สารละลาย อิเล็กโทรไลต์ที่เป็นของเหลวเหมือนกับ Gas Sensor แบบศักย์ไฟฟ้าคงที่หรือแบบเซลล์กัลวานิก ก็ใช้โซลิดอิเล็กโทรไลต์แทน โดยในการวัดจะทำการวัดศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโทรดที่ขนาบโซลิดอิเล็กโทรไลต์นั้นอยู่ ตัวอย่างของ Gas Sensor แบบนี้ได้แก่ หัววัดออกซิเจนที่ใช้เซอร์โคเนีย ( Zirconia ) โดยที่เซอร์โคเนียเป็นโซลิดอิเล็กโทรไลต์ ที่ให้อิออนของออกซิเจนเคลื่อนไปได้ง่าย ดังนั้นหากมีความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจน ( partial pressure ) ที่อยู่คนละด้านกันของเซอร์โคเนีย ก็จะมีการเคลื่อนที่ของอิออนของออกซิเจนผ่านเซอร์โคเนีย ซึ่งจะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าตกคร่อม ตัวเซอร์โคเนีย ศักย์ไฟฟ้านี้ค่าจะแปรผันกับค่าความแตกต่างของความเข้มข้นของออกซิเจนในลักษณะล็อกกาธิม รู้สึกว่า Gas

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

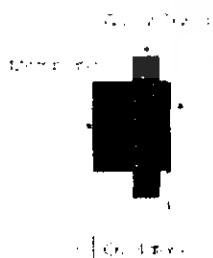
Sensor แบบนี้จะทำงานที่อุณหภูมิ 700° มั้ง โครงสร้าง ของก๊าซเซนเซอร์แบบนี้แสดงในรูปที่ 2.5 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น คือ



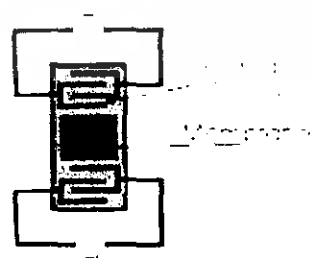
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบโซลิดอิเล็กโทรไลต์

6. ตัวตรวจจับก๊าซแบบเพียโซอิเล็กทริก ( Piezoelectric type gas sensor )

Gas Sensor แบบนี้อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อมีโมเลกุลของก๊าซเข้ามาดูดเกาะ ( adsorb ) ที่ผิวของเพียโซอิเล็กทริก ทรานส์ดิวเซอร์ จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของมวลเกิดขึ้น ผลทำให้ความถี่ของทรานส์ดิวเซอร์เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการวัดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของทรานส์ดิวเซอร์ ก็จะทำให้ทราบปริมาณของก๊าซที่เข้ามาดูดเกาะได้ ลักษณะการวัดเช่นนี้เองทำให้การวัดของทรานส์ดิวเซอร์แบบนี้ ไม่มีความจำเพาะในการวัดชนิดของก๊าซ ดังนั้นโดยทั่วไปจึงนิยม ที่จะทำการเคลือบผิวของทรานส์ดิวเซอร์ ด้วยสารที่มีคุณสมบัติในการดูดเกาะสารต่างชนิดกันเพื่อเพิ่มความจำเพาะในการวัด โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบนี้แสดงในรูปที่ 2.6 ทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้ได้แก่ quartz crystal หรือ สิ่งประดิษฐ์ SAW ( surface acoustic wave devices ) เป็นต้น



ก. Quartz Crystal Microbalance



ข. Surface Acoustic Wave device

รูปที่ 2.6 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ตัวตรวจจับก๊าซแบบ FET ( Field Effect Transistor type gas sensor )

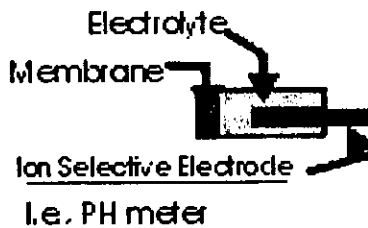
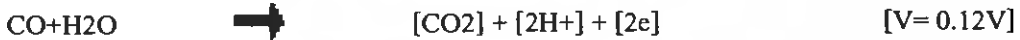
Gas Sensor แบบนี้อาศัยคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์แบบ FET กล่าวคือเมื่อมีโมเลกุลของก๊าซที่มีไดโพลเข้ามาอุดเกาะที่ผิวของ เกต ( gate ) ของ FET จะทำให้ work function ของเกตเมื่อเทียบกับสารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลงไป ทำให้มีการเหนี่ยวนำประจุที่ผิวของสารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลง ผลคือจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าระหว่างขั้วซอส ( source ) และเดรน ( drain ) ซึ่ง Gas Sensor แบบนี้นอกจากจะมีโครงสร้างเป็นทรานซิสเตอร์แล้วอาจจะดัดแปลงให้มีโครงสร้างแบบไดโอดได้โดยมีหลักการทำงานเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบ FET

8. ตัวตรวจจับก๊าซแบบใช้อิออนอิเล็กโทรดที่มีเมมเบรน ( Ion-Selective Electrode with membrane gas sensor )

คือ Gas Sensor ที่ทำขึ้นโดยการใช้อิออนอิเล็กโทรดพร้อมกับเมมเบรนและมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความจำเพาะในการทำปฏิกิริยากับก๊าซ ( รูปที่ 2.8 ) เช่น ทำการหุ้ม pH มิเตอร์ด้วยเมมเบรนที่ยอมให้เฉพาะก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ผ่าน และมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์อยู่ในเมื่อก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ผ่านเข้ามาถึงสารละลายอิเล็กโทรไลต์คาร์บอนมอนอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้ pH ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เปลี่ยนแปลง ดังสมการข้างล่าง ซึ่งสามารถวัดได้ด้วย pH มิเตอร์



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบใช้อิออนอิเล็กโทรดที่มีเมมเบรน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 9. ตัวตรวจจับก๊าซแบบใช้โพลีเมอร์ (Polymer membrane gas sensor)

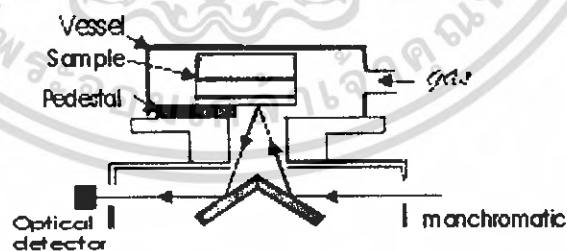
วัสดุที่ใช้ทำ Gas Sensor ชนิดนี้จะแตกต่างจากแบบอื่น ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น คือ จะใช้สารประเภทโพลีเมอร์ เป็นตัวที่ใช้ในการตรวจวัดก๊าซ ส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อโพลีเมอร์สัมผัสกับก๊าซก็คือการเปลี่ยนแปลงสภาพความนำไฟฟ้าของโพลีเมอร์ การใช้โพลีเมอร์นั้นมีข้อดีในแง่ที่สามารถจะทำการสังเคราะห์โพลีเมอร์ชนิดต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการวัดหรือวิเคราะห์ก๊าซชนิดต่าง ๆ ได้ง่าย ในขณะที่เดียวกันก็มีข้อเสียในแง่ของความเสถียรภาพ โครงสร้างของ Gas Sensor แบบนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.9 โพลีเมอร์ที่ใช้ได้แก่ polyimide เป็นต้น



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบใช้โพลีเมอร์

### 10. ตัวตรวจจับก๊าซแบบใช้แสง (Photonic gas sensor)

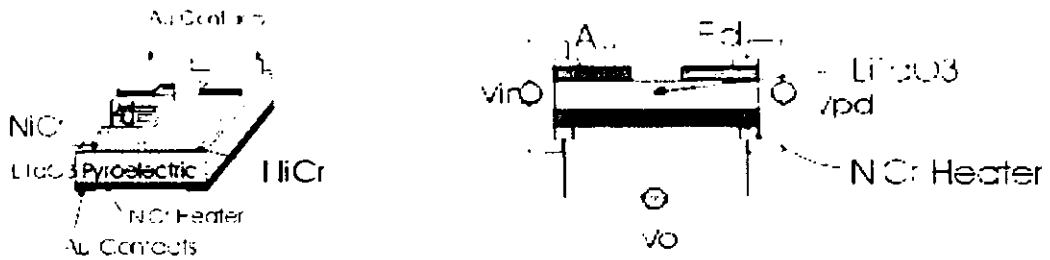
การวัดก๊าซโดยใช้แสงนั้นสามารถแบ่งย่อยออกได้อีกหลายวิธี เช่น การวัดการสะท้อนของแสง เมื่อแสงผ่านตัวกลางที่มีก๊าซที่ต้องการวัดผสมอยู่ การวัดค่าการดูดแสงในช่วงอินฟราเรด หรือการวัดปรากฏการณ์ surface plasmon resonance เป็นต้น รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบใช้แสง



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบใช้แสง

### 11. ตัวตรวจจับก๊าซแบบไพโรอิเล็กทริก (Pyroelectric gas sensor)

Gas Sensor แบบนี้เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของความร้อนหรืออุณหภูมิของสารไพโรอิเล็กทริกเมื่อสัมผัสกับก๊าซ โดยทำการวัดออกมาเป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า วัสดุที่ใช้ทำนั้นส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุในกลุ่มเซรามิก เช่น โดยโครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์ แบบนี้แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของก๊าซเซนเซอร์แบบไพโรอิเล็กทริก

เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการประดิษฐ์และหลักการวัดของ Gas Sensor แต่ละชนิดแตกต่างกัน ดังนั้น ลักษณะคุณสมบัติและการนำไปประยุกต์ใช้งานจึงแตกต่างกันออกไป ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบโดยย่อของลักษณะสมบัติในด้านต่าง ๆ ของ Gas Sensor แต่ละชนิด

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติของก๊าซเซนเซอร์แต่ละชนิด

ลักษณะสมบัติ	สารกึ่งตัวนำ	เผาไหม้คะตะไลต์	ความชื้น	อิเล็กทรอนิกส์เชิง	ไฟฟ้าเคมี	ความนำไฟฟ้า	IR
ความไว	****	***	***	****	****	*	****
ความละเอียด	***	****	***	***	***	***	****
ความจำเพาะ	**	*	-	***		*	****
การตอบสนอง	****	***	**	****	**	***	***
ความเสถียรภาพ	****	***	***	***	*	***	***
การบำรุงรักษา	****	***	***	****	*	***	**
ราคา (ต่ำ)	****	****	****	***	***	***	**
ช่วงใช้งาน	-ppm	10ppm-LEL	1-100%		1-1000ppm	1-100%	1ppm - 100%
**** : ดีมาก , *** : ดี , ** : ไม่ค่อยดี , * : ไม่ดี							

### บทที่ 3

#### ตัวตรวจจ็บบก๊าซแอลพีจีและคุณสมบัติของ MCS-51

##### 3.1 ตัวตรวจจ็บบก๊าซแอลพีจี (LPG Sensor)

ตัวตรวจจ็บบก๊าซแอลพีจีจะใช้เทคนิคการสร้างแบบฟิล์มหนาและจัดอยู่ในชนิดตัวตรวจจ็บบก๊าซแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor gas sensor) ซึ่งในปัจจุบันทางบริษัทผู้ผลิตได้ผลิตตัวตรวจจ็บบก๊าซแอลพีจีให้มีขนาดเล็กลงมาก เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน และยังมีกร ใช้พลังงานน้อยอีกด้วย ดังนั้น ตัวตรวจจ็บบก๊าซเบอร์ TGS2612 จึงเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่มีมักจะนิยมนำมาใช้ในการตรวจจ็บบก๊าซชนิดต่างๆ เช่น Iso-Butane, Propane และ Methane เป็นต้น

##### 3.1.1 โครงสร้างของตัวตรวจจ็บบก๊าซแอลพีจี

โครงสร้างของตัวตรวจจ็บบก๊าซแอลพีจี ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ Metal oxide วัสดุที่เป็นส่วนตรวจจ็บบก๊าซจะต่อเข้ากับขั้ว Electrode ที่ทำมาจาก ทองคำ (Au) และวางอยู่บนฐานรองที่ทำมาจาก Alumina Ceramic ขั้วแรกของ Electrode จะเป็นขา 3 ซึ่งเป็นขั้วบวก (+) และอีกขั้วจะเป็นขา 2 ซึ่งเป็นขั้วลบ (-) ส่วนอีกด้านของฐานรอง (Substrate) จะเป็นส่วนที่ให้ความร้อน (Heater) แก่ส่วนตรวจจ็บบก๊าซ ซึ่งขั้วแรกจะเป็นขา 1 เป็นขั้วบวก (+) และอีกขั้วจะเป็นขา 4 เป็นขั้วลบ (-)

##### 3.1.2 คุณสมบัติของตัวตรวจจ็บบก๊าซแอลพีจีที่ดี มีดังนี้

- 3.1.2.1 มีความไวในการตรวจจ็บบก๊าซแอลพีจีสูง
- 3.1.2.2 มีความไวต่อก๊าซชนิดอื่นๆ ต่ำมาก
- 3.1.2.3 สามารถวัดความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีได้ในย่านที่กว้าง
- 3.1.2.4 มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน
- 3.1.2.5 มีการใช้พลังงานน้อยและมีขนาดเล็กสะดวกในการนำไปใช้งาน
- 3.1.2.6 สามารถออกแบบวงจรใช้งานได้ง่าย

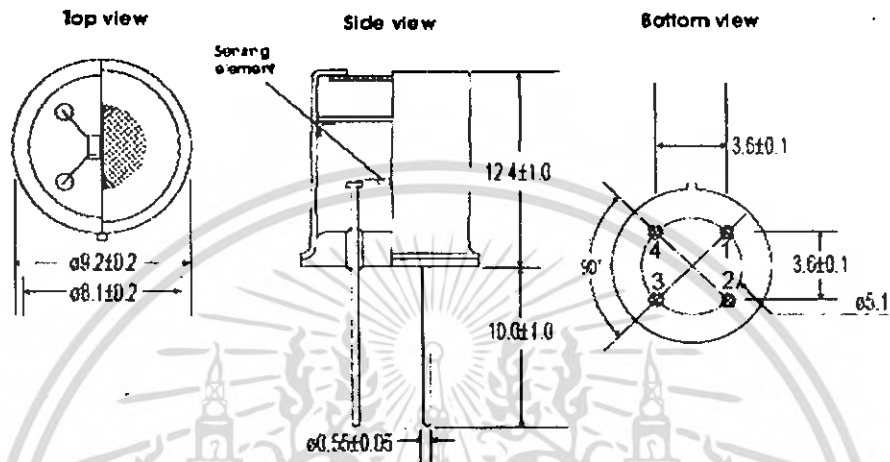
##### 3.1.3 การประยุกต์ใช้งานตัวตรวจจ็บบก๊าซเบอร์ TGS2612

- 3.1.3.1 ใช้เป็นตัวตรวจจ็บบก๊าซในเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจี
- 3.1.3.1 ใช้ตรวจจ็บบก๊าซที่รั่วไหลในบ้านเรือนและสถานที่ต่างๆ
- 3.1.3.3 ใช้ตรวจจ็บบก๊าซที่รั่วไหลในรถยนต์ที่ใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3.4 ใช้ตรวจก๊าซที่รั่วไหลในโรงงานอุตสาหกรรมหรือการปิโตรเลียม

#### 3.1.4 ขนาดของตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจี TGS2612



รูปที่ 3.1 แสดงขนาดของ TGS2612

#### 3.2 รูปร่างและคุณสมบัติของตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจี TGS2612

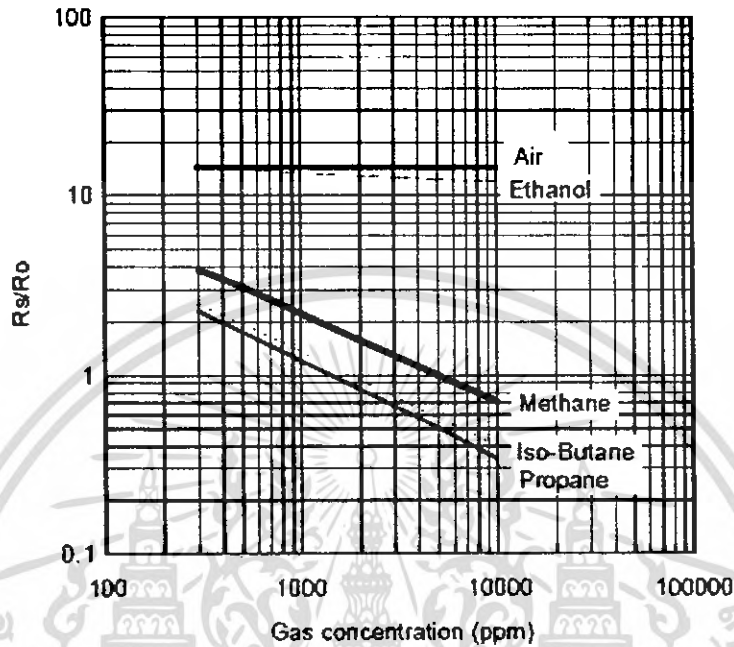


รูปที่ 3.2 รูปร่างของ TGS 2612

##### 3.2.1 คุณสมบัติเกี่ยวกับความไว

ถ้าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจีจะมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีมาตกกระทบกับตัวตรวจจับก๊าซ ซึ่งตามโครงสร้างภายในแล้ว TGS2612 สามารถตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นได้ตั้งแต่ 300 ppm ถึง 10,000 ppm และความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงกับความเข้มข้นของก๊าซชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.3

Sensitivity Characteristics:

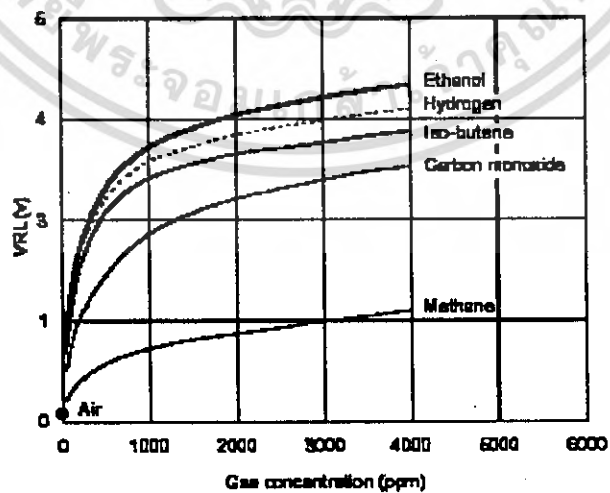


รูปที่ 3.3 กราฟความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงกับความเข้มข้นของก๊าซชนิดต่างๆ

โดยที่  $R_s$  คือ ความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซที่ความเข้มข้นใดๆ

$R_o$  คือ ความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซที่ความเข้มข้น 5000 ppm

และสาเหตุที่  $R_o$  คือ ความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซที่ความเข้มข้น 5000 ppm เนื่องจากเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง

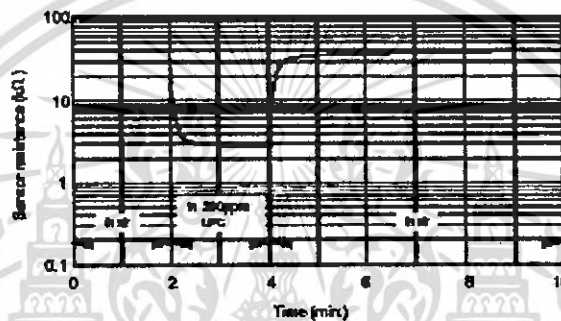
รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่โหลด ( $V_{RL}$ ) กับความเข้มข้นของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

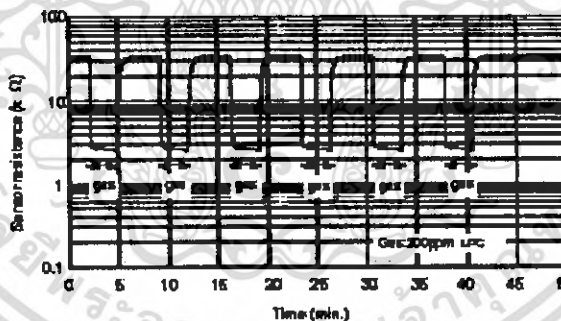
## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

### 3.2.2 คุณสมบัติเกี่ยวกับเวลา

เมื่อตัวตรวจจับก๊าซอยู่ในอากาศค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซจะมีค่ามาก แต่เมื่อนำตัวตรวจจับก๊าซไปตรวจจับก๊าซแอลพีจี ที่ความเข้มข้น 300 ppm จะทำให้ความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซค่อยๆลดลงและคงที่อยู่ที่ค่าๆหนึ่ง และเมื่อนำตัวตรวจจับก๊าซมาอยู่ในอากาศอีกครั้งหนึ่ง จะทำให้ความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซค่อยๆเพิ่มขึ้นและคงที่อยู่ที่ค่าเดิมดังแสดงในรูปที่ 2.6



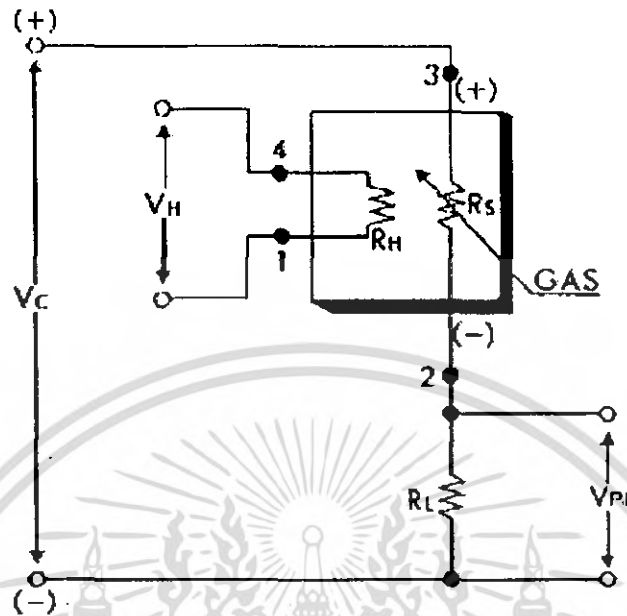
รูปที่ 3.5 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในที่ความเข้มข้นLPG 300 ppm กับอากาศ



รูปที่ 3.6 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในเมื่อทดลองหลายครั้ง

### 3.4 วิธีการใช้งานตัวตรวจจับก๊าซเบอร์ TGS2612

ในการใช้งานตัวตรวจจับก๊าซนั้น จะไม่นำแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซไปใช้งานโดยตรง แต่จะใช้แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานโหลด ( $V_{RL}$ ) ไปใช้งานแทน ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซ

ในการที่จะนำตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจีไปใช้งานนั้น จะต้องใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามตารางข้างล่าง นี้จะทำให้ตัวตรวจจับก๊าซสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติเฉพาะของ TGS2612

พารามิเตอร์	ค่า
Circuit Voltage ( $V_c$ )	$5.0 \pm 0.2$ V DC (Max. 24 V)
Heater Voltage ( $V_H$ )	$5.0 \pm 0.2$ V DC/AC
Heater Current ( $I_H$ )	$56 \pm 5$ mA
Heater Resistance ( $R_H$ )	Approx. $59\Omega$ at room temp.
Load Resistance ( $R_L$ )	Variable $0.45$ k $\Omega$ min.
Power Dissipation ( $P_s$ )	Less than 15 mW
Heater Power Consumption ( $P_H$ )	Approx. 280 mW
Sensor Resistance ( $R_s$ )	$0.68 \sim 6.8$ k $\Omega$ in 5,000 ppm mrthane
Typical Detection Range	300 ~ 10,000 ppm
Operating & Storage Temperature	$-40$ °C ~ $+70$ °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.7 สามารถหาค่า  $P_s$  ได้โดยที่

$$P_s = \frac{(V_c - V_{RL})^2}{R_s} \quad (2.1)$$

และสามารถหาค่า  $R_s$  ได้โดยที่

$$R_s = \frac{(V_c - V_{RL}) \times R_L}{V_{RL}} \quad (2.2)$$

ในการใช้งานตัวตรวจจ็บก๊าซแอลพีจีนั้น จะใช้แรงดัน 2 ส่วนด้วยกัน คือ แรงดัน  $V_H$  และแรงดัน  $V_C$  โดยที่ทั้งแรงดัน  $V_H$  และแรงดัน  $V_C$  จะต้องเป็นแรงดันที่มีค่าคงที่ ดังตารางที่ 3.1 เนื่องจากตัวตรวจจ็บก๊าซมีคุณสมบัติด้านความไวค้างที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

เงื่อนไขในการทดสอบตัวตรวจจ็บก๊าซ

- เป็นอากาศที่มีก๊าซแอลพีจีเพียงพอที่จะวัดได้ อุณหภูมิ  $20 \pm 2^\circ\text{C}$
- แรงดัน  $V_H$  และแรงดัน  $V_C$  คงที่
- ความต้านทานของโหลด  $R_L$  ประมาณ  $1 \sim 10\text{ k}\Omega$

### 3.5 พื้นฐานในการวัดด้วยตัวตรวจจ็บก๊าซ

ในสภาพปกติตัวตรวจจ็บก๊าซจะมีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าสูงมาก ๆ ( Very High Electrical Impedance ) ถ้าตัวจ็บก๊าซได้รับการจ่ายแรงดันที่ถูกต้อง จนมีสภาวะพร้อมที่จะทำงานแล้ว เมื่อมีก๊าซแอลพีจีเข้ามาตกกระทบที่บริเวณตรวจจ็บของตัวตรวจจ็บก๊าซ ในปริมาณที่มากพอ ( 400 - 10,000 ppm ) ก็จะทำให้ค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจ็บก๊าซ (  $R_s$  ) มีค่าลดลง ส่วนค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจ็บก๊าซ (  $R_s$  ) จะลดลงเล็กน้อยเพียงใดนั้น ก็จะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีที่เข้ามาบริเวณตรวจจ็บก๊าซ จากการที่ค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจ็บก๊าซ (  $R_s$  ) ลดลงนี้ ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ตัวต้านทาน โหลด (  $V_{RL}$  ) มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือ ค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจ็บก๊าซ (  $R_s$  ) แปรผกผันกับแรงดันตกคร่อมที่ตัวต้านทาน โหลด (  $V_{RL}$  ) ซึ่งเราสามารถนำค่าแรงดันตกคร่อมที่ตัวต้านทาน โหลด (  $V_{RL}$  ) นี้ไปเปรียบเทียบหาค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีได้

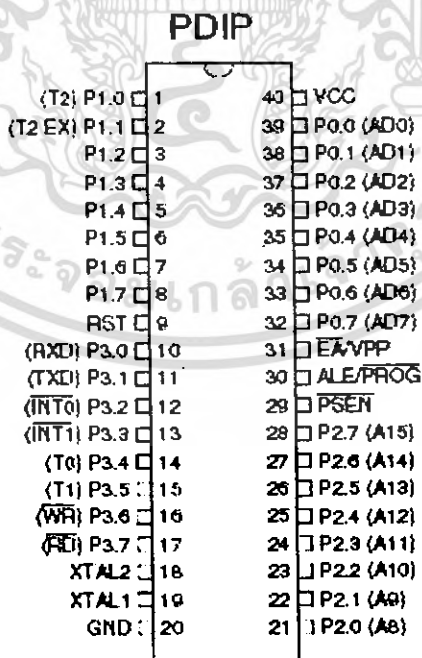
### 3.6 คุณสมบัติของ MCS-51 [1]

MCS-51 นั้น เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลหนึ่งที่ได้รับคามนิยมมาช้านานและได้รับการยอมรับเป็นอย่างดีจากผู้ผลิตไอซี ซึ่งสังเกตได้จากการที่โครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ยังเหมือนเดิม โค้ดโปรแกรมเดิมนั้นยังนำมาใช้ได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นใหม่ ๆ ที่ออกมาสู่ท้องตลาดทั้งที่ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นใหม่ ๆ ที่ออกมานั้น มีประสิทธิภาพและความเร็วสูงกว่าเดิมมากขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้น คุณสมบัติต่างๆ จากหัวข้อนี้จึงเป็นพื้นฐานที่ดีสำหรับการนำไปใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นใหม่ในปัจจุบัน ซึ่งคุณสมบัติของ MCS-51 แบบคร่าวๆ เป็นดังนี้

1. เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำงานแบบ 8 บิต
2. มีแอดเดรสบัสกว้าง 16 บิต
3. รีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต จำนวน 34 ตัว
4. รีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต 2 ตัว
5. หน่วยความจำแบบสแต็ค มีขนาด 128 ไบต์
6. มีหน่วยความจำเริ่ม(RAM) ภายใน 128 ไบต์ (8051/8031) หรือ 256 ไบต์
7. อ้างอิงหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 128KB (ข้อมูล 64 KB, โปรแกรม 64 KB)
8. มีแฟล็กเก็บสถานะการทำงาน 4 ตัว
9. มีไทมเมอร์ 2 ตัว (ใน 8051/8031) และอีก 3 ตัว (ใน 8052/8032)
10. มีพอร์ทแบบขนาน 4 พอร์ท
11. มีพอร์ทแบบอนุกรม 1 พอร์ท ทำงานแบบฟลูอิดเพล็กซ์ (Full Duplex)
12. บางรุ่นมีหน่วยความจำ ROM ,EPROM, Flash ROM, EEPROM ในตัวเอง
13. มีพอร์ทอินพุท/เอาต์พุท (I/O port) จำนวน 32 บิต
14. มีวงจรถอดสัญญาณ ( Oscillator ) และวงจรถอดสัญญาณนาฬิกาภายในไอซี
15. มีแหล่งเกิดอินเทอร์รัพท์ (Interrupt) 5 แหล่ง (ใน 8051/8031) และ 6 แหล่ง (ใน 8052/8032)
16. มีคำสั่งคำนวณทางคณิตศาสตร์ (Boolean processor)

นอกจากคุณสมบัติพื้นฐานดังกล่าวมานี้ ในไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์บางเบอร์จะมีความสามารถที่สูงกว่าที่กำหนดเอาไว้อีกหลายอย่าง ซึ่งก็แล้วแต่กับผู้ผลิต ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ออกแบบเอาไว้อย่างไร แต่จุดหนึ่งที่ไอซีทุกเบอร์มีเหมือนกันก็คือ สามารถใช้คำสั่งพื้นฐาน และมีความสามารถพื้นฐานเหมือนกัน ดังนั้น การเขียนโปรแกรมตามมาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะทำให้ผู้พัฒนาสามารถนำไปใช้กับไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นอื่นๆ ได้อีกด้วย ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิปเดี่ยว ( Single Chip ) ก้าวหน้าไปกว่าเดิมนัก คือในไอซีเบอร์ 80C51/80C52 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถโปรแกรมเก็บ

เอาไว้ในตัวได้เลย แต่การโปรแกรมนั้นต้องอาศัยเครื่องมือในการเขียนจากโรงงานผลิต ซึ่งไม่เหมาะสำหรับนักพัฒนาทั่วไป ทางผู้ผลิตเลยปรับเปลี่ยนรูปแบบการโปรแกรมไอซีมาเป็นแบบ EPROM แต่ก็ยังมีปัญหาในเรื่องการลบข้อมูลในตัวชิพเพราะจะต้องอาศัยเครื่องลบแบบแสง UV หลังจากนั้นก็มีผู้ผลิตชิพที่สามารถโปรแกรมและลบได้ด้วยการใช้กระแสไฟฟ้า ทำให้ต้นทุนในการเขียนและลบข้อมูลในตัวชิพถูกลงมากทำให้ผู้ใช้ชิพที่จะเลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถเขียนและลบด้วยสัญญาณทางไฟฟ้ากันมากขึ้น หนึ่งในหลายบริษัทที่ออกแบบชิพลักษณะนี้คือบริษัท Atmel ตัวอย่างไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ Atmel ผลิตก็ได้แก่ไอซีเบอร์ AT89C51, AT89C52, AT89C1051, AT89C2051, AT89C4051, AT89S8252, AT89C53, AT89C55 เป็นต้น ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ของ Atmel จะใช้หน่วยความจำแบบแฟลช (Flash Memory) ทำให้สามารถเขียนและลบได้กว่า 1,000 ครั้ง และสามารถเก็บโปรแกรมได้นับ 10 ปี และโดยเฉพาะรุ่น AT89Sxxx นั้นจะสามารถลบและเขียนโปรแกรมได้โดยไม่ต้องนำตัวชิพไปโปรแกรมด้วยเครื่องโปรแกรม ทั้งนี้เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นนี้ถูกออกแบบให้สามารถทำการโปรแกรมชิพด้วยระบบ in-System reprogrammable โดยอาศัยวงจร SPI (Serial Peripheral Interface) ในการเขียนและลบการตั้งค่าของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 นั้นมีการออกแบบให้มีตัวถังหลายแบบ แต่ในที่นี้ขอกล่าวถึงเฉพาะตัวถังแบบดิพ (DIP) ซึ่งขอกล่าวถึงรุ่นที่มี 40 ขาก่อน ส่วนรุ่นเล็กที่มีขาเพียง 20 ขานั้นจะอธิบายในเรื่องของ AT89C051 ค่อยไป



รูปที่ 3.8 การจัดขาของ AT89C52

1. ขาที่ 40 หรือ VCC มีหน้าที่สำหรับจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ปกติแล้วเราจะใช้ไฟฟ้ามี่แรงดัน 5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ขาที่ 20 เป็นขาที่ใช้สำหรับต่อลงกราวด์
3. ขาที่ 9 เป็นขาสำหรับสร้างสัญญาณรีเซ็ต (Reset Signal) แก่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีข้อกำหนดเอาไว้ว่าจะต้องจ่ายแรงดันไปที่ขานี้น้อยเป็นระยะเวลา 2 แมกซ์ซีซีเคล แล้วหยุดป้อนแรงดัน
4. ขาที่ 18 และ 19 เป็นขาที่ใช้สำหรับต่อกับวงจรกำเนิดสัญญาณ ซึ่งจะมีด้วยกันหลายรูปแบบ แต่ที่นิยมใช้กันจะเป็นวงจรความถี่ที่เกิดจากคริสตอลที่รับค่าความถี่ได้สูงถึง 24 MHz
5. ขาที่ 31 หรือ EA เป็นขาที่ทำหน้าที่ใช้ในการกำหนดว่า ในการทำงานนั้นให้อ่านข้อมูลโปรแกรมจากในตัวชิพไมโครคอนโทรลเลอร์เองหรือจากหน่วยโปรแกรมความจำภายนอก โดยถ้าขานี้มีสถานะเป็น 0 ( ขาใดที่มีเครื่องหมายขีดบนชื่อแสดงว่าขานั้นทำงานที่สถานะ 0 หรือต่อลงกราวด์ ) จะหมายความว่าใช้หน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกตัวชิพ แต่ถ้าเป็น 1 แสดงว่าให้ใช้หน่วยความจำโปรแกรมจากตัวชิพไมโครคอนโทรลเลอร์
6. ขาที่ 29 หรือ PSEN ขานี้เมื่อใดมีสถานะเป็น 0 นั้นหมายความว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์กำลังอ่านข้อมูลโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก
7. ขาที่ 30 หรือ ALE เป็นขาที่ทำหน้าที่บอกให้รู้ว่ามีการส่งข้อมูลที่เป็นตำแหน่งออกมาจากพอร์ท 0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทั้งนี้เพราะ พอร์ท 0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถที่จะส่งได้ทั้งข้อมูลที่เป็นตำแหน่งของหน่วยความจำ และข้อมูล
8. ขาที่ 1 ถึง 8 ทำหน้าที่เป็นพอร์ทอินพุต / เอาท์พุท ซึ่งเรียกกันว่าพอร์ท 1 หรือ P0 พอร์ทนี้สามารถใช้งานได้ทั่วไป แต่ในบางรุ่นเช่น 8052/8032 ที่ขา P1.0 และ P1.1 จะเป็นขาที่ใช้กับไทมเมอร์ 2
9. ขาที่ 32 ถึง 39 เป็นพอร์ท 0 หรือ P0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นได้ทั้งพอร์ทอินพุตและเอาท์พุท ( แต่ต้องทำการ pull up ด้วย เนื่องจากนี้ไม่มีวงจรนี้ ) นอกจากเป็นพอร์ทอินพุตและเอาท์พุทแล้วพอร์ท 0 ยังทำหน้าที่พิเศษอีกคือ ส่งบิตแอดเดรสที่เป็นไบต์ค่า และเป็นพอร์ทรับ/ส่งข้อมูล หรือเรียกอีกอย่างได้ว่าเป็นทั้งแอดเดรสบัส และคาคาบัสหรือบัสข้อมูลในตัวเดียว
10. ขาที่ 21 ถึง 28 เป็นพอร์ท 2 หรือ P2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถใช้เป็นได้ทั้งพอร์ทอินพุตและเอาท์พุท นอกจากนี้ยังทำหน้าที่พิเศษอีกอย่างคือ เป็นแอดเดรสบัสที่ถูกส่งไบต์สูงออกจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ อีกด้วย ( ใช้คู่กับพอร์ท 0 ) ตรงนี้จะเห็นว่า เมื่อเราทำการต่อแบบมีหน่วยความจำภายนอกชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำให้เราสูญเสียพอร์ทไป 2 พอร์ท สำหรับเป็นแอดเดรสบัส ( พอร์ท 0 และพอร์ท 2 ) และบัสข้อมูล ( พอร์ท 0 ) จึงทำให้เรามีพอร์ทใช้งานน้อยลงไปด้วย
11. ขาที่ 10 ถึง 13 เป็นพอร์ท 3 หรือ P3 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นพอร์ทอินพุตและเอาท์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกนี้แต่ละขายังทำหน้าที่พิเศษอีกหลายอย่างดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 1. การใช้งานพอร์ท 3

ชื่อขา หน้าที่

- P3.0 RxD หรือใช้ในการรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม
- P3.1 TxD หรือใช้ในการรับข้อมูลสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรม
- P3.1 INT0 หรือรับสัญญาณจากอินเทอร์รัพท์จากอุปกรณ์ภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์
- P3.3 INT1 หรือรับสัญญาณจากอินเทอร์รัพท์จากอุปกรณ์ภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์
- P3.4 T0 หรือใช้งานกับ TIMER/COUNTER 0
- P3.5 T1 หรือใช้งานกับ TIMER/COUNTER 1
- P3.6 WR หรือทำหน้าที่ส่งสัญญาณเพื่อบอกแก่หน่วยความจำข้อมูลว่ากำลังส่งข้อมูลจากบัสข้อมูลไปเก็บในหน่วยความจำ ณ ตำแหน่งที่ชี้โดยแอดเดรสบัส
- P3.7 RD หรือทำหน้าที่ส่งสัญญาณเพื่อบอกแก่หน่วยความจำข้อมูลว่าต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ ณ ตำแหน่งที่ชี้โดยแอดเดรสบัส ผ่านทางบัสข้อมูล

พอร์ทต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีข้อกำหนดทางกระแสไฟฟ้างานี้คือ พอร์ท 0 แต่ละขาสามารถส่งกระแสซอร์ส ( กระแสที่ส่งออกจากขาของพอร์ท ) ได้ขาละ 10mA และทุกขาส่งค่า 1 พร้อมกันได้ 26 mA พอร์ท 1 ถึงพอร์ท 3 สามารถสร้างกระแสซอร์สได้ขาละ 15mA และทุกขาของทั้ง 3 พอร์ทรวมกันจะได้กระแส 71 mA กรณีที่ต้องการใช้พอร์ทเป็นอินพุท เราจะต้องส่งบิต 1 ไปที่ทุกขาของพอร์ทนั้นก่อน เพราะจะทำให้พอร์ทนั้นมีค่าอิมพีแดนซ์ ( impedance : ค่าความต้านทานกระแส ) สูงจึงทำงานเป็นพอร์ทอินพุทได้

### ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบ IC ตระกูล MCS-51

IC	AT89C1051U	AT89C2051	AT89C4051	AT89S8252	P89C51RD2HBP
Flash Memory	1K Bytes	2K Bytes	4K Bytes	8K Bytes	8K Bytes
Operating Range	2.7V to 6V	2.7V to 6V	2.7V to 6V	4V to 6V	4.5V to 5.5V
Write/Erase Cycles	1000	1000	1000	1000	10000
Programmable I/O Lines	15	15	15	32	30
Fully Static	0 – 24 MHz	0 – 24 MHz	0 – 24 MHz	0 – 24 MHz	0 – 32 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operation					
Internal RAM	64 x 8-bit	128 x 8-bit	128 x 8-b	256 x 8-bit	128 x 8-bit
Interrupt Sources	6	6	6	9	7
Low-power Idle	Enable	Enable	Enable	Enable	Enable

ไอซีเบอร์ AT89Cx051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ขนาดเล็ก คือมีขาเพียง 20 ขาเท่านั้น โดยรองรับคำสั่งในการทำงานของ MCS – 51 มาตรฐานได้ทั้งหมด ซึ่งมีด้วยกัน 3 รุ่น คือ AT89C1051, AT89C2051 และ AT89C4051 สิ่งที่แตกต่างกันของแต่ละรุ่นก็จะเป็นเรื่องของขนาด หน่วยความจำ และความสามารถพิเศษบางอย่าง โดยเฉพาะรุ่น AT89C2051 และ AT89C4051 นั้น แทนจะเรียกได้ว่าทำงานแทนกันได้ ( ยกเว้นขนาดหน่วยความจำที่ไม่เท่ากัน ) AT89S8252 นั้นใช้งานง่ายกว่า AT89Cx051 มากเลย นอกจากนี้ MCS-51 มาตรฐานและ AT89S8252 ยังสามารถต่อ ขยายบอร์ดให้มีพอร์ตเอาไว้มากกว่า AT89Cx051 ส่วน IC ตระกูล P89C51RB2/P89C51 RC2/P89C51RD2Hxx นั้น ไม่เหมาะใช้ในเชิงพาณิชย์ เพราะมีราคาแพง แต่เหมาะสำหรับบอร์ด ชุดทดลองมากกว่า เพราะมีการเบิร์น โดยไม่ต้องใช้เครื่องเบิร์น ทำให้ง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรม เนื่องจากเบิร์นผ่าน serial port ง่ายๆ ได้เลย

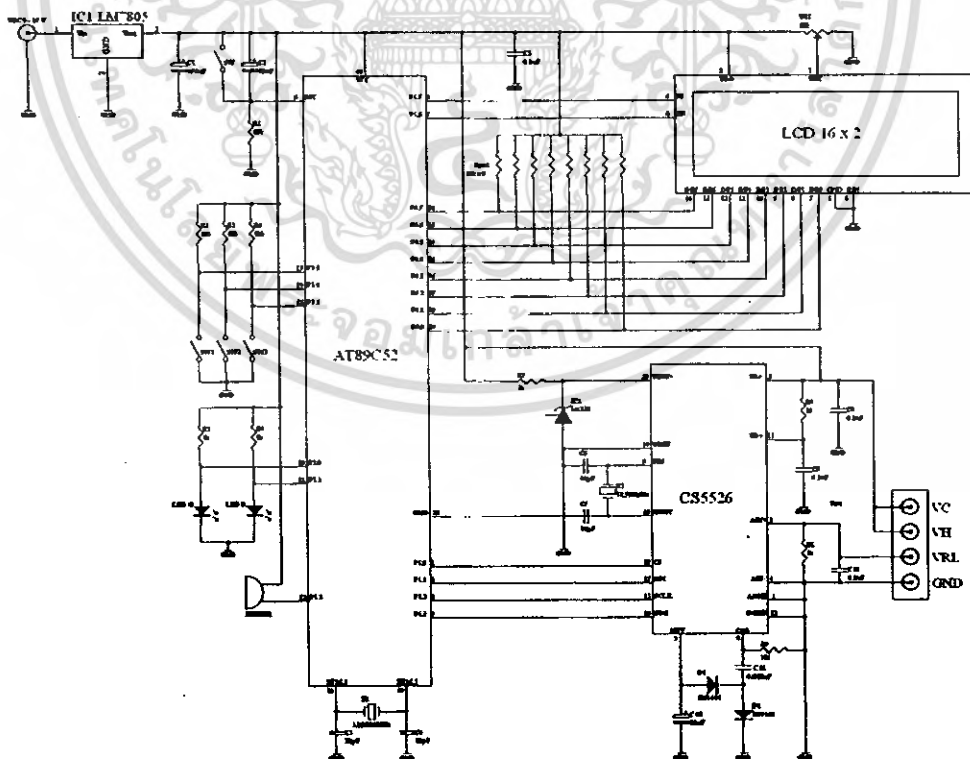
## บทที่ 4

### การออกแบบแอลพีจีมิเตอร์ทั้ง 2 รุ่นและการทดสอบประสิทธิภาพ

#### 4.1 การออกแบบหลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจีรุ่นที่ 1

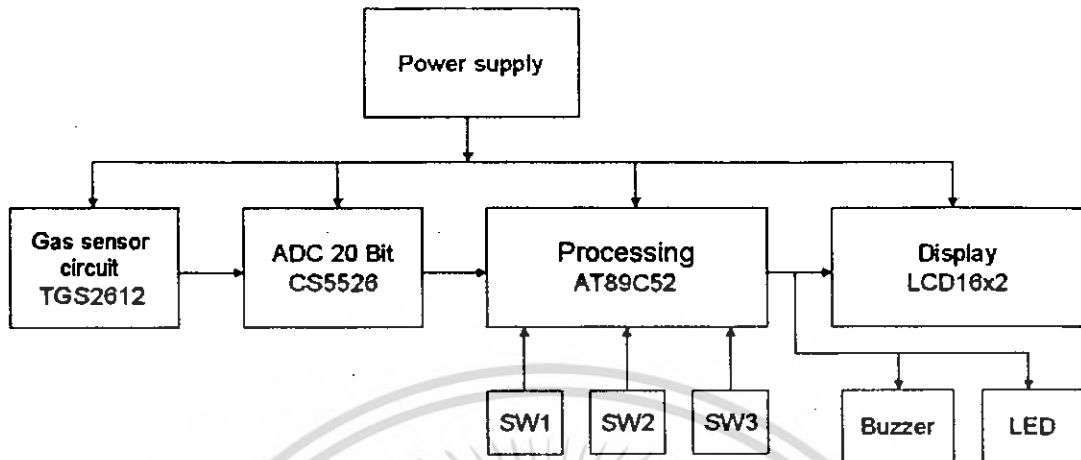
เป็นสร้างเครื่องวัดปริมาณค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจี ในช่วงระหว่าง 400 - 10,000 ppm ซึ่งสามารถเลือกโหมดการทำงานจากการกดสวิตช์ ( SW1, SW2, SW3 ) โดยจะมีทั้งหมด 3 โหมดการทำงาน คือ

1. Mode 1 = สามารถวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีช่วง 300 - 10,000 ppm โดยไม่มีการร้องเตือน
2. Mode 2 = ถ้าค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีที่วัดได้เกิน 2,000 ppm จะมีการเสียงร้องเตือนและสัญญาณไฟเตือนปรากฏขึ้น
3. Mode 3 = สามารถตั้งค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีที่จะทำการร้องเตือนได้ โดยถ้าค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีที่วัดได้เกินค่า ppm ที่ได้ตั้งเอาไว้ จะมีการเสียงร้องเตือนและสัญญาณไฟเตือนปรากฏขึ้น



รูปที่ 4.1 รูปวงจรเครื่องวัดปริมาณค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

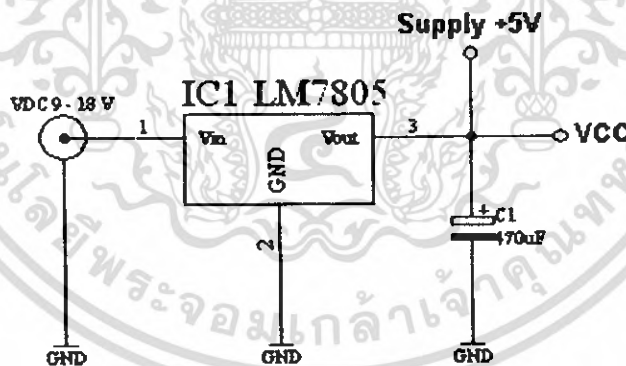


รูปที่ 4.2 Block Diagram การทำงานของวงจร

จาก Block Diagram สามารถอธิบายการทำงานและการออกแบบในส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

#### POWER SUPPLY

หน้าที่ - เป็นแหล่งจ่ายให้กับส่วนต่างๆ ของวงจร ได้แก่ Gas sensor, ADC 20Bit, Processing และ Display



รูปที่ 4.3 Power supply

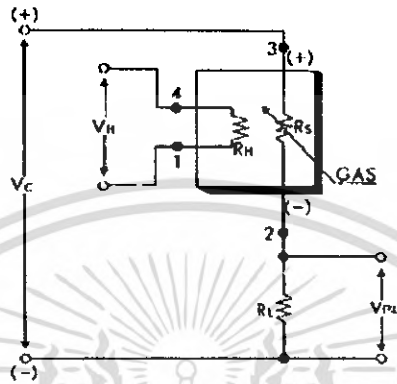
การออกแบบ - ใช้ IC LM7805 รับค่าแรงดันไฟตรงจาก Adapter 9 -18 V ซึ่งจะให้ค่าแรงดันเอาพุต 5V<sub>DC</sub> จากนั้นกรองสัญญาณไฟตรงให้เรียบขึ้นด้วย C 470uF

#### GAS SENSORS CIRCUIT

หน้าที่ - เป็นหัวใจหลักของเครื่องวัดปริมาณค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีเพราะคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติของตัวมันจะสามารถเปลี่ยนค่าความภายในตัวมันได้เมื่อมีก๊าซแอลพีจีมาตกกระทบบนทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานโหลด ( $V_{RL}$ ) เปลี่ยนแปลงไปในช่วง 0 - 5 V ซึ่งค่าแรงดันที่ได้นี้จะถูกส่งต่อไปให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลต่อไป

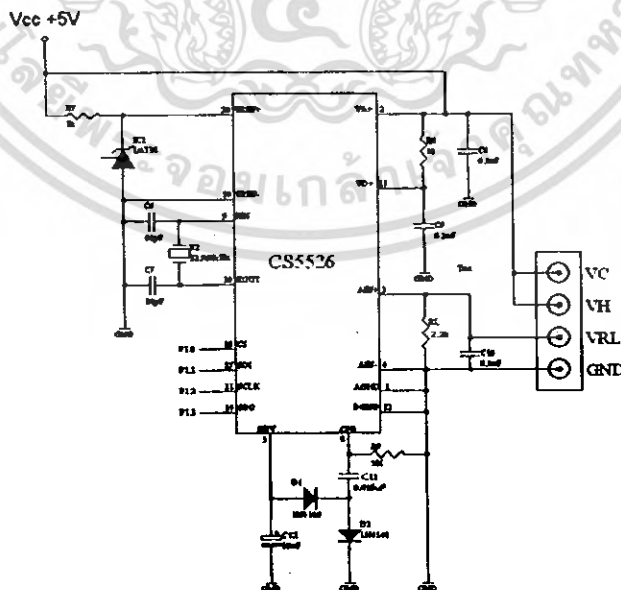


รูปที่ 4.4 Gas sensor circuit

การออกแบบ - ใช้ TGS2612 และ  $R_L$  2.2 k $\Omega$

#### ADC 20 BIT

หน้าที่ - เป็นตัวแปลงค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานโหลด ( $V_{RL}$ ) ที่ได้จากวงจรตัวตรวจจับก๊าซซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอก ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีความละเอียดระดับ 20 Bit แล้วส่งต่อสัญญาณที่ได้นี้ไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล



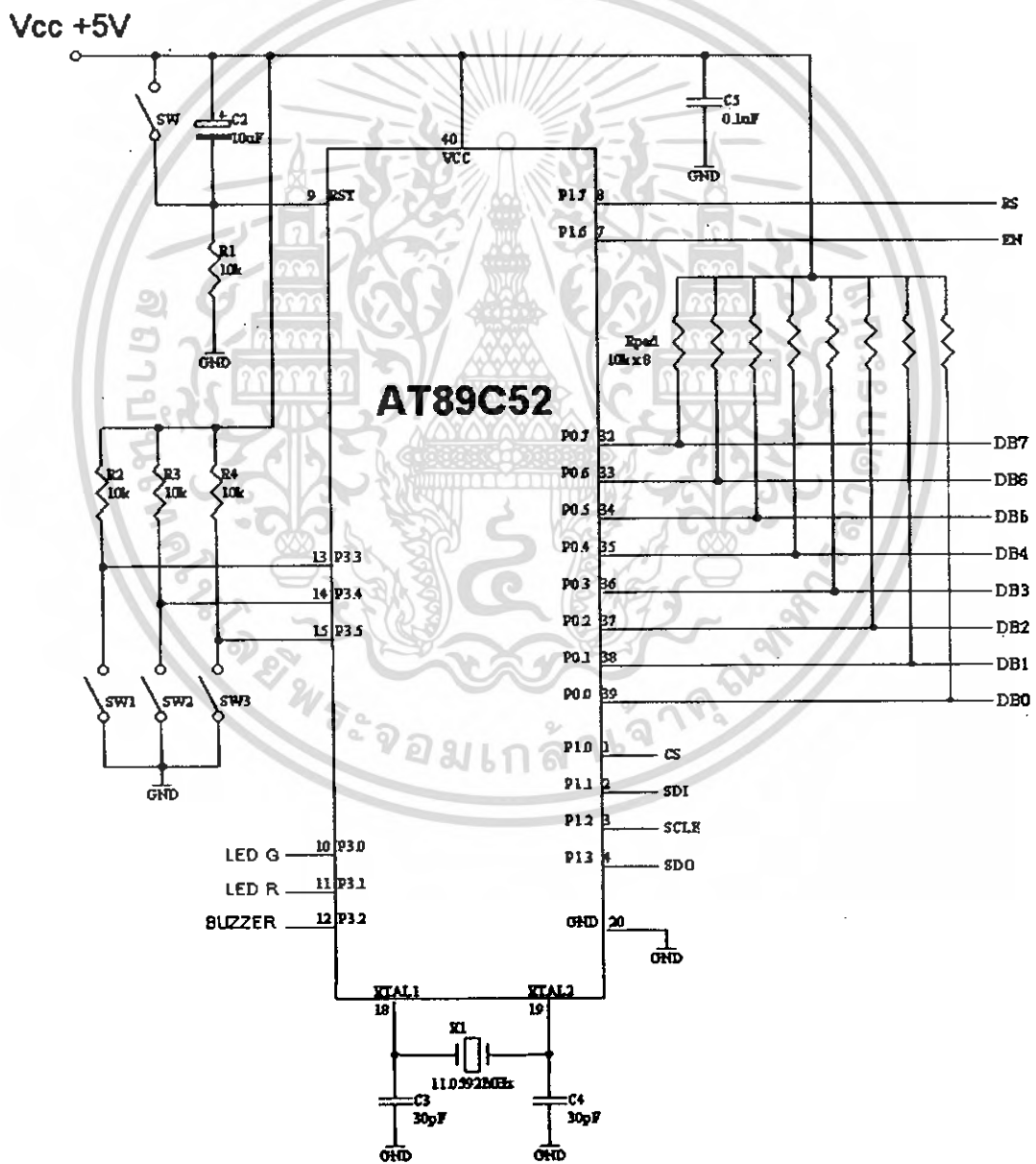
รูปที่ 4.5 Adc 20 bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ - ใช้รูปแบบวงจรมาตรฐานของ IC CS5526 ที่ย่านวัด 0 - 5 V และมีความละเอียดในการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลถึง 20 BIT

**PROCESSING**

หน้าที่ - เป็นตัวประมวลผลสัญญาณข้อมูลที่ได้และส่งต่อไปแสดงผลในส่วนต่างๆเช่น LED, Buzzer และ LCD Display นอกจากนี้ยังสามารถเลือกโหมดการทำงานและตั้งค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีได้จากการกดสวิตช์ทั้ง 3



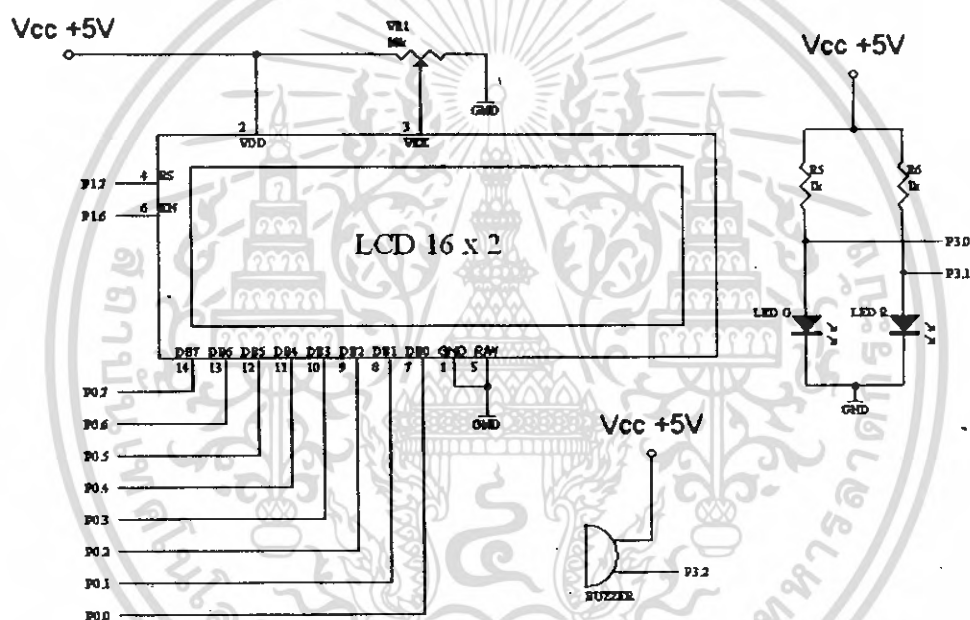
**รูปที่ 4.6** Microcontroller & switch circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ - ใช้รูปแบบวงจรมาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ AT89C52 ที่มีหน่วยความจำแบบ FLASH ขนาด 8Kbyte ซึ่งเพียงพอต่อการโปรแกรมข้อมูลลงไปร่วม ทั้งต่อวงจรสวิชต์อีก 3 ตำแหน่งเพื่อสั่งงานในโหมดต่างๆ

## DISPLAY, BUZZER & LED

หน้าที่ - เป็นส่วนของการแสดงผลโดย LCD 16x2 จะแสดงค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจี ออกมาเป็นตัวเลขในหน่วย ppm ส่วน Buzzer จะทำหน้าที่แปลงเสียง LED G & LED R จะทำหน้าที่แปลงแสงสีเขียวและสีแดงเมื่ออยู่ในสภาวะปกติและเกินค่าที่กำหนด ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 Display, Buzzer & Led

การออกแบบ - ใช้ LCD Display ขนาด 16 x 2, Buzzer 5 V และ LED สีเขียวและสีแดง แบบคอมมอนแคโทด

#### 4.2 การออกแบบหลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจีรุ่นที่ 2

สิ่งที่เพิ่มเติมเข้ามาจากรุ่นที่ 1

-เปลี่ยนไมโครคอนโทรลเลอร์จาก AT89C52 เป็น AT89C51AC2 เพื่อความเร็วในการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องวัดก๊าซแอลพีจี

-เปลี่ยนหน้าจอแสดงผลจาก LCD16x2 เป็น LCD Nokia 3310 เพื่อแสดงผลจากเดิมที่เป็นเพียงตัวเลขให้ออกมาในแบบกราฟ

-เปลี่ยนการควบคุมด้วยสวิตช์ 3 สวิตช์เป็น 6 สวิตช์เพื่อการใช้งาน

#### คุณสมบัติทั้งหมด

-เครื่องวัดปริมาณค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจี ในช่วงระหว่าง 400 - 10,000 ppm

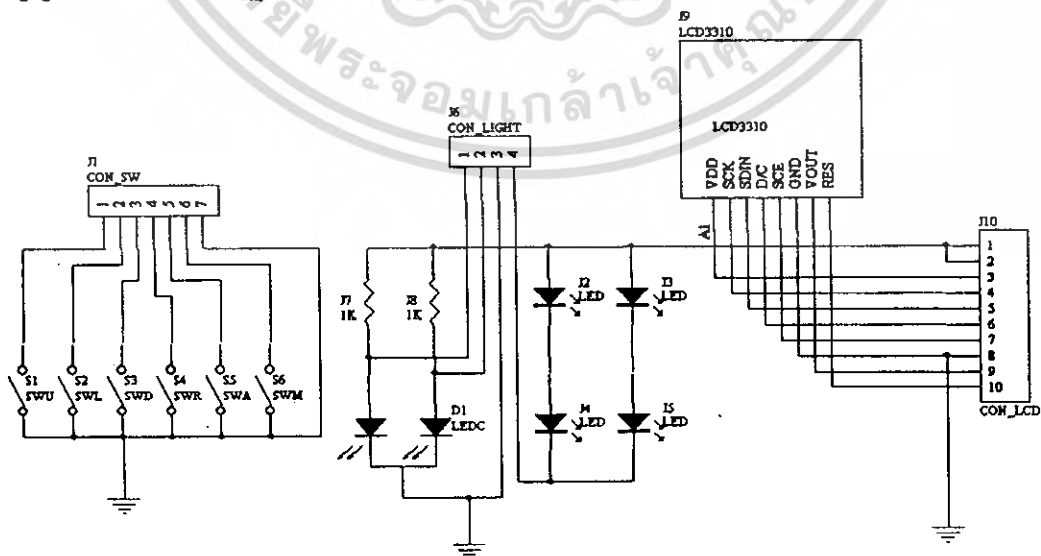
-แสดงผลออกมาเป็นกราฟ

-มีโหมดการทำงาน 3 โหมด

Mode 1 = สามารถวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีช่วง 300 - 10,000 ppm โดยไม่มีการร้องเตือน

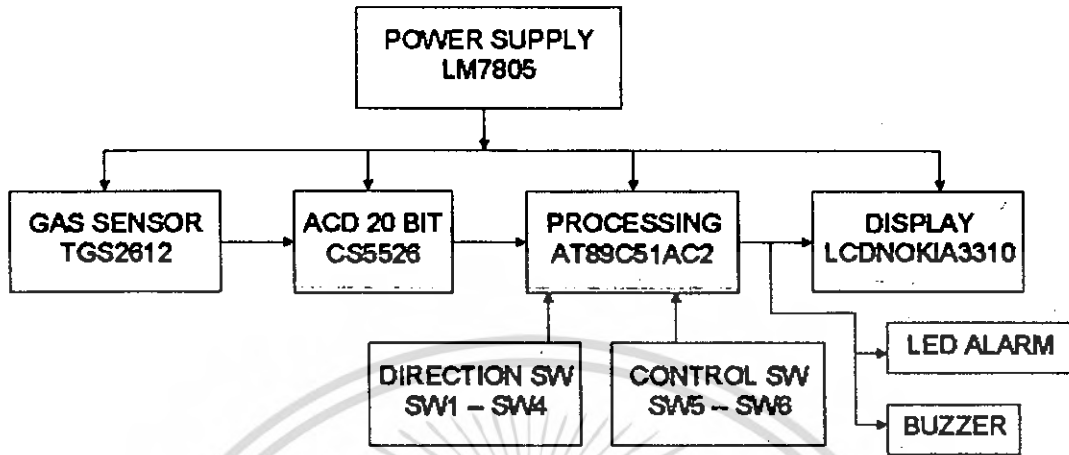
Mode 2 = ถ้าค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีที่วัดได้เกิน 2,000 ppm จะมีการเสียงร้องเตือนและสัญญาณไฟเตือนปรากฏขึ้น

Mode 3 = สามารถตั้งค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีที่จะทำการร้องเตือนได้ โดยถ้าค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีที่วัดได้เกินค่า ppm ที่ได้ตั้งเอาไว้ จะมีการเสียงร้องเตือนและสัญญาณไฟเตือนปรากฏขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



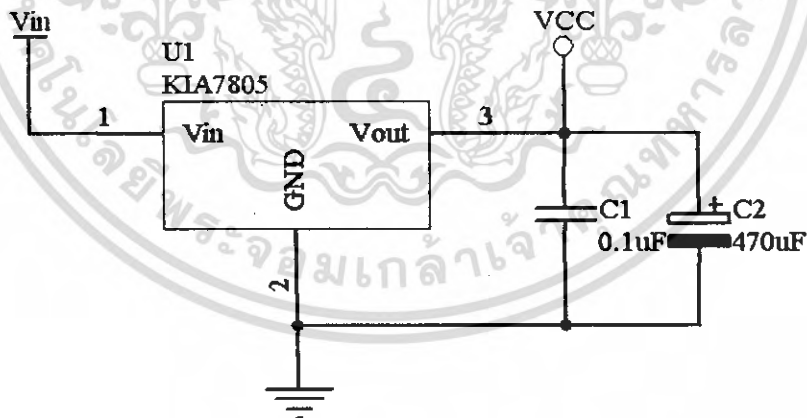


รูปที่ 4.9 Block Diagram การทำงานของวงจร

จาก Block Diagram สามารถอธิบายการทำงานและการออกแบบในส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

#### POWER SUPPLY

หน้าที่ - เป็นแหล่งจ่ายให้กับส่วนต่างๆของวงจร ได้แก่ Gas sensor, ADC 20Bit, Processing และ Display

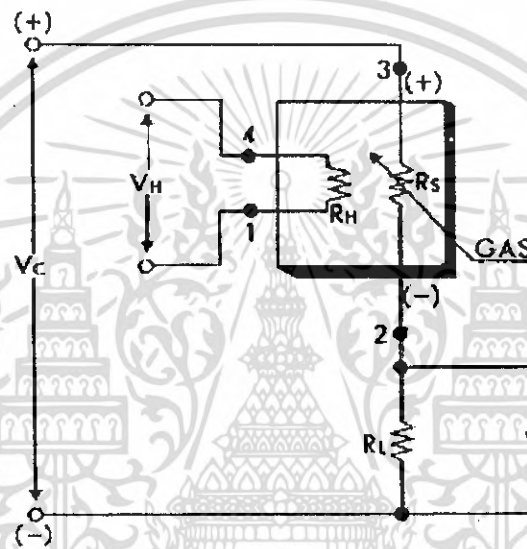


รูปที่ 4.10 Power supply

การออกแบบ - ใช้ IC LM7805 รับค่าแรงดันไฟตรงจาก Adapter 9 -18 V ซึ่งจะให้ค่าแรงดันเอาต์พุต  $5V_{DC}$  จากนั้นกรองสัญญาณไฟตรงให้เรียบขึ้นด้วย C 470uF

## GAS SENSORS CIRCUIT

หน้าที่ - เป็นหัวใจหลักของเครื่องวัดปริมาณค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีเพราะคุณสมบัติของตัวมันจะสามารถเปลี่ยนค่าความภายในตัวมันได้เมื่อมีก๊าซแอลพีจีมาตกกระทบทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานโหลด ( $V_{RL}$ ) เปลี่ยนแปลงไปในช่วง 0 - 5 V ซึ่งค่าแรงดันที่ได้นี้จะถูกส่งต่อไปให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลต่อไป



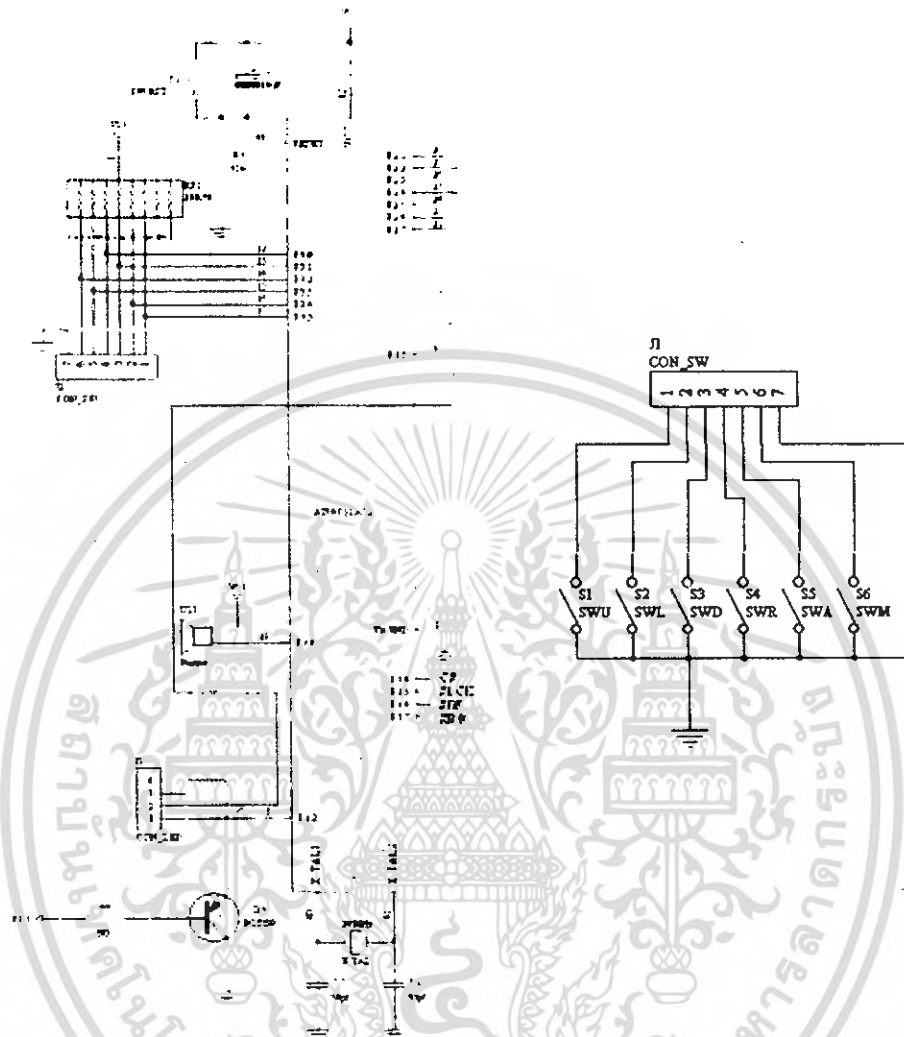
รูปที่ 4.11 Gas sensor circuit

การออกแบบ - ใช้ TGS2612 และ  $RL$  2.2 k $\Omega$

## ADC 20 BIT

หน้าที่ - เป็นตัวแปลงค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานโหลด ( $V_{RL}$ ) ที่ได้จากวงจรตัวตรวจจับก๊าซซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอก ให้เป็นสัญญาณดิจิตอลที่มีความละเอียดระดับ 20 Bit แล้วส่งต่อสัญญาณที่ได้นี้ไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล



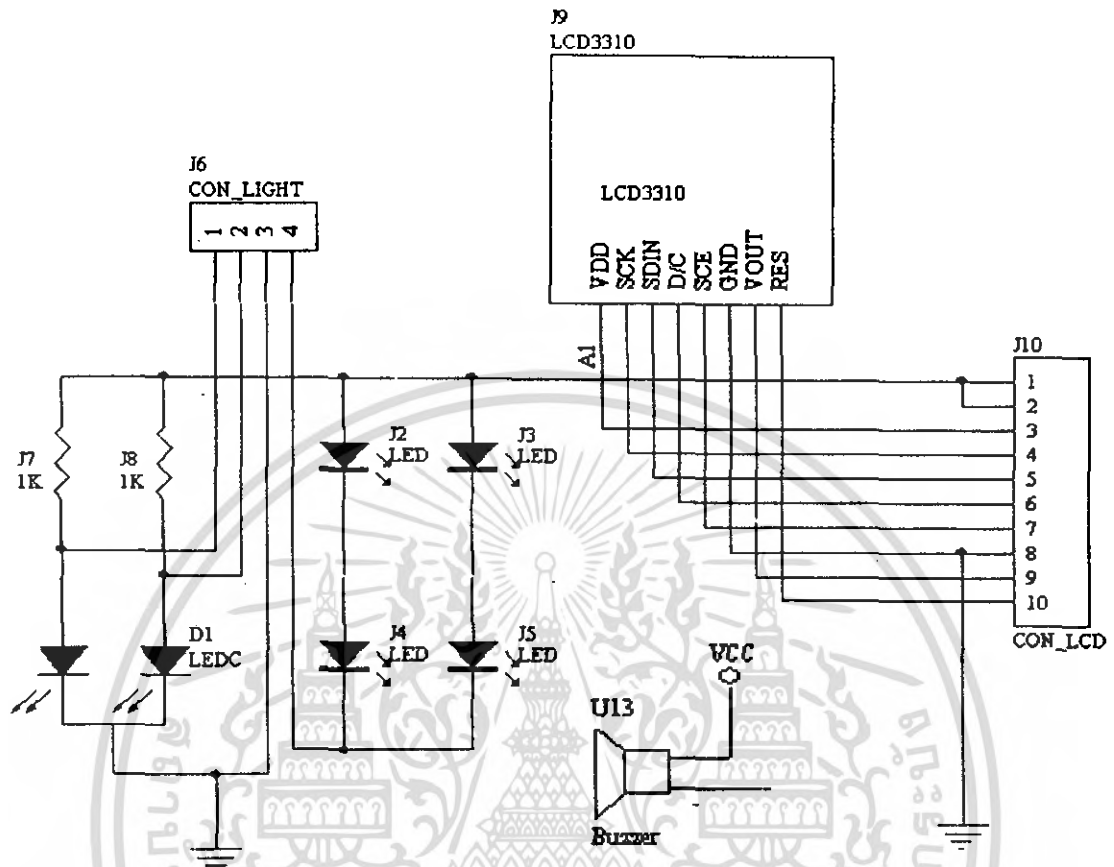


รูปที่ 4.13 Microcontroller & switch circuit

การออกแบบ - ใช้รูปแบบวงจรมาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ AT89C51AC2 ที่มีหน่วยความจำแบบ FLASH ขนาด 8Kbyte ซึ่งเพียงพอต่อการโปรแกรมข้อมูลลงไปร่วม ทั้งต่อวงจรสวิตช์อีก 3 ตำแหน่งเพื่อสั่งงานในโหมดต่างๆ

#### DISPLAY, BUZZER & LED

หน้าที่ - เป็นส่วนของการแสดงผลโดย LCD Nokia3310 จะแสดงค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีออกมาเป็นกราฟและตัวเลขในหน่วย ppm ส่วน Buzzer จะทำหน้าที่เปล่งเสียง LED G & LED R จะทำหน้าที่เปล่งแสงสีเขียวและสีแดงเมื่ออยู่ในสภาวะปกติและเกินค่าที่กำหนด ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 Display, Buzzer & Led

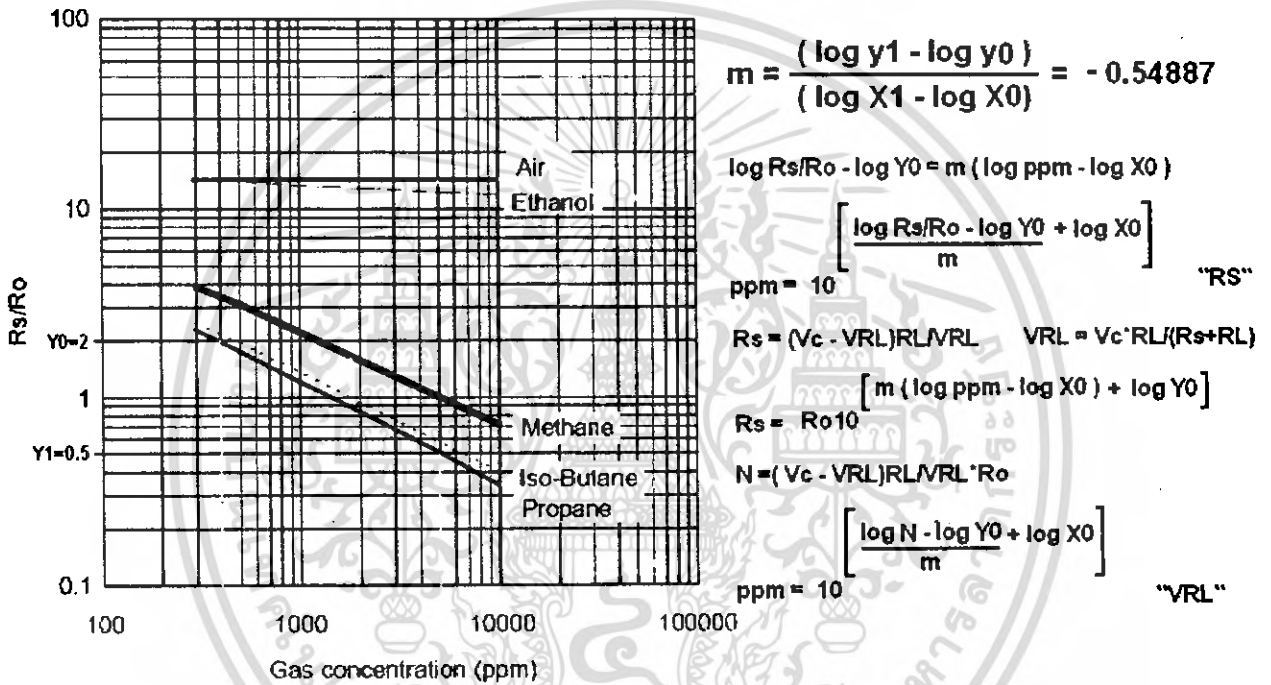
การออกแบบ - ใช้ LCD Nokia 3310, Buzzer 5 V, LED สีเขียวและสีแดงแบบคอมมอนแคโทดและ LED SHIP สีเขียว 4 หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติตัวตรวจจับเบอร์ TGS2612

เพื่อให้ทราบค่าที่ถูกต้องในการวัดเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ข้าพเจ้าได้ทำการจำลองการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจีโดยการอาศัยกราฟคุณสมบัติของตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจีเบอร์ TGS2612 ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.8

Sensitivity Characteristics:



รูปที่ 4.15 แสดงกราฟคุณสมบัติของตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจีเบอร์ TGS2612 และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

$$m = \frac{(\log y_1 - \log y_0)}{(\log X_1 - \log X_0)} \tag{4.1}$$

คือการประมาณค่าความชันของกราฟระหว่าง  $R_s/R_o$  กับค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจี โดยจากกราฟจะมีค่าความชันประมาณ -0.54887

$$\log R_s/R_o - \log Y_0 = m (\log \text{ppm} - \log X_0) \tag{4.2}$$

สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟเพื่อที่จะสามารถนำไปหาค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจี

$$R_s = (V_c - V_{RL})RL/V_{RL} \quad (4.3)$$

สมการหา  $R_s$  ที่ได้จากค่า  $V_{RL}$  ที่เปลี่ยนแปลงไป

$$\text{ppm} = 10^{\left[ \frac{\log R_s/R_o - \log Y_0 + \log X_0}{m} \right]} \quad \text{"RS"} \quad (4.4)$$

สมการหาค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีในเทอมของ  $R_s$  เทียบกับ  $R_o$

$$R_s = R_o 10^{\left[ \frac{m (\log \text{ppm} - \log X_0) + \log Y_0}{m} \right]} \quad (4.5)$$

สมการหาค่า  $R_s$  จากค่าค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีและ  $R_o$

$$V_{RL} = V_c \cdot RL / (R_s + RL) \quad (4.6)$$

สมการหา  $V_{RL}$  ที่ได้จากค่า  $R_s$  ที่เปลี่ยนแปลงไป

$$N = (V_c - V_{RL})RL/V_{RL} \cdot R_o \quad (4.7)$$

สมการค่าคงที่  $N$  ที่ได้จากค่า  $V_{RL}$  และ  $R_o$

$$\text{ppm} = 10^{\left[ \frac{\log N - \log Y_0 + \log X_0}{m} \right]} \quad \text{"VRL"} \quad (4.8)$$

สมการหาค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีในเทอมของ  $V_{RL}$

- เมื่อ :
- : แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน โหลด ( $V_{RL}$ )
  - : ความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซ ( $R_s$ ) ที่ค่าความเข้มข้นใดๆ
  - : ค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซที่ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 5000 ppm ( $R_o$ )

## บทที่ 5

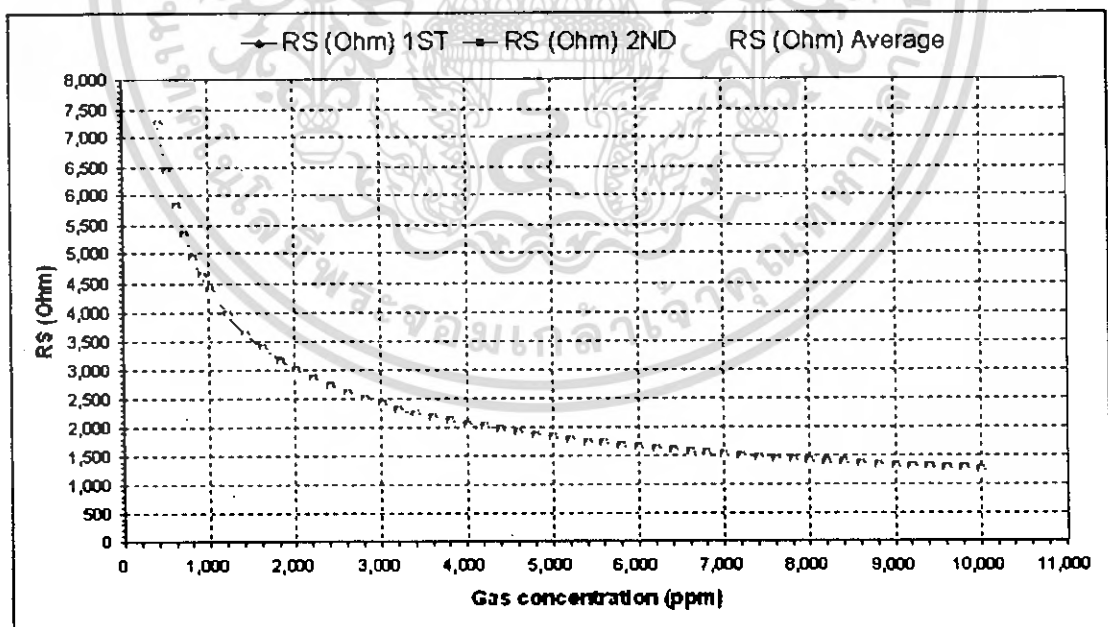
### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 5.1.1 การทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจี

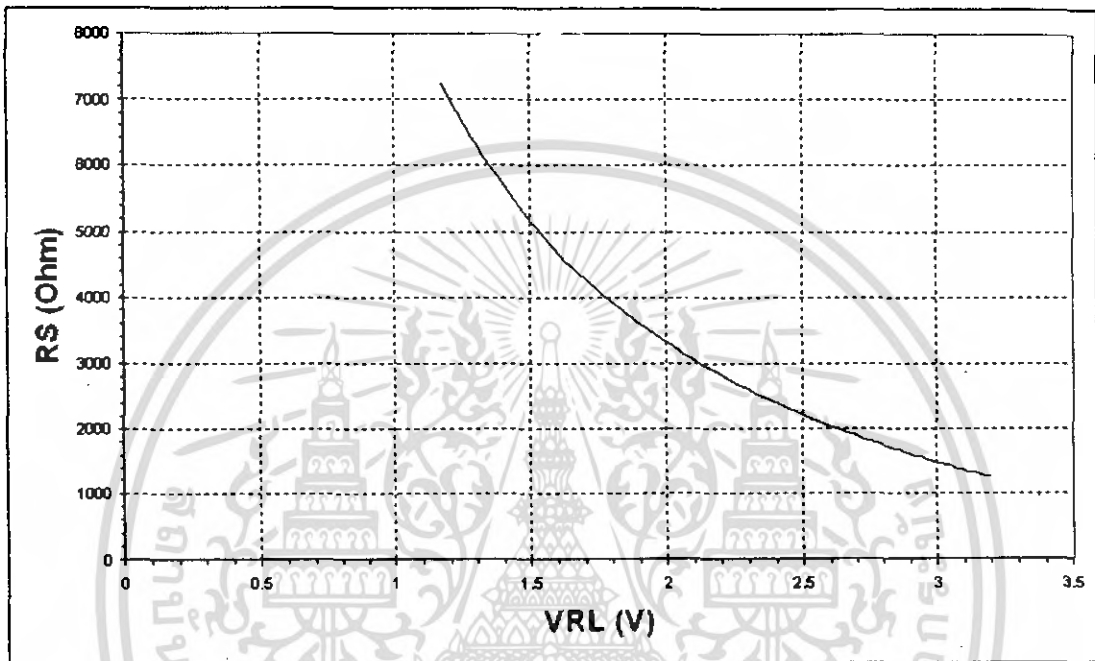
จากการทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจีทำให้ทราบว่าในสถานะที่ตัวตรวจจับก๊าซอยู่ในอากาศ ค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซ ( $R_s$ ) จะมีค่าสูงมากๆ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตัวต้านทานโหลด ( $R_L$ ) ซึ่งมีความต้านทาน  $2.2 \text{ k}\Omega$  จะเห็นได้ว่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซมีค่ามากกว่าความต้านทานของ  $R_L$  มาก จึงทำให้แรงดันตกคร่อมที่ตัวต้านทานโหลด ( $V_{RL}$ ) มีค่าน้อยมากๆ ค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซ ( $R_s$ ) จะมีค่าลดลงในลักษณะเป็น Exponential ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซกับค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจี ได้แสดงในกราฟที่ 5.1

รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ  $R_s$  ของตัวตรวจจับก๊าซแอลพีจีกับค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจี



เมื่อค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซลดลง ( $R_s$ ) แต่ค่าความต้านทานโหลดยังคงที่ จึงทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานโหลด ( $V_{RL}$ ) เพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นดังกราฟที่ 5.2

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $R_s$  กับ  $V_{RL}$  ในช่วงความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจี เท่ากับ 400 -10,000 ppm

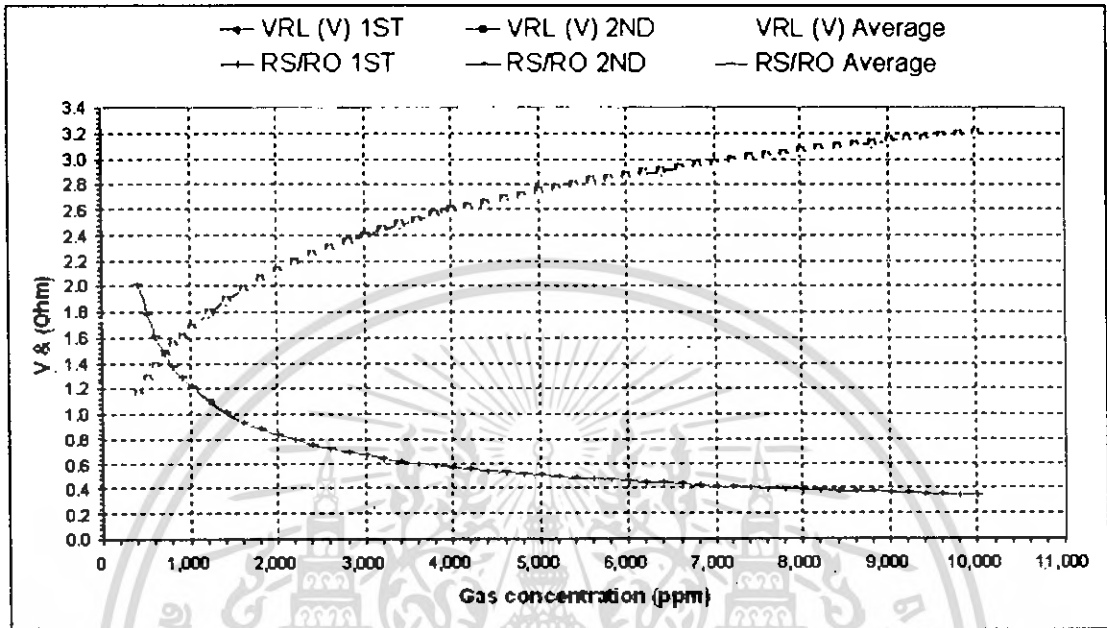


ซึ่งจากเห็นว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานโหลด ( $V_{RL}$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 1.17 - 3.2 V ซึ่งเป็นค่าที่จะนำไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีต่อไป

### 5.1.2 การทดสอบเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลพีจี

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานของเซนเซอร์จะมีค่าลดลงในลักษณะเป็น Exponential เมื่อมีปริมาณของความเข้มข้นของแอลพีจีสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าของแรงดันตกคร่อมที่ตัวต้านทานโหลด ( $V_{RL}$ ) สูงขึ้นตามปริมาณของความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจี ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของตัวเซนเซอร์ TGS2612 และเมื่อหาค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 ครั้ง จะเห็นว่ามี ความแตกต่างกันในระดับทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ซึ่งสังเกตได้จากกราฟที่ 5.3 ซึ่งจะเป็นกราฟแสดงค่าของแรงดันตกคร่อมRL และ อัตราส่วนความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซที่ค่าความเข้มข้นใดๆ ( $R_s$ ) กับค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซที่ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 5000 ppm ( $R_0$ )

รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วน  $R_s$  กับ  $R_o$  และ  $V_{RL}$  กับค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจี



ตารางที่ 5.1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของค่า  $V_{RL}$ ,  $R_s$  วัดได้กับค่า  $V_{RL}$ ,  $R_s$  ที่ได้จากการคำนวณ

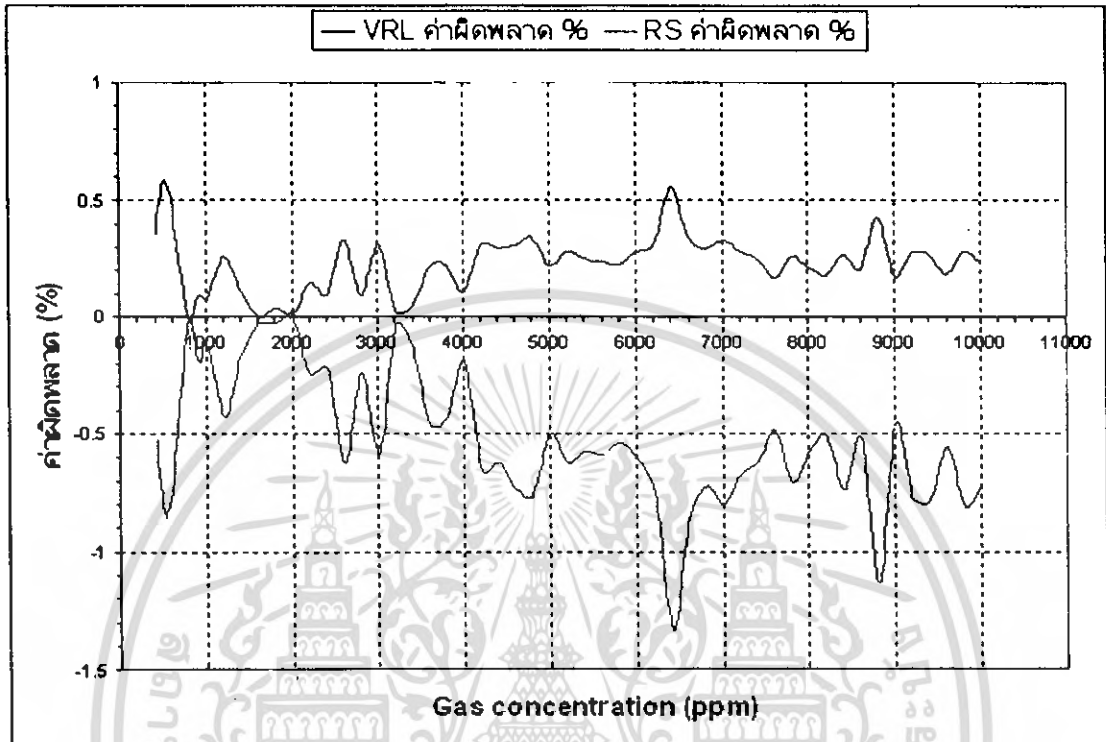
Concentration LPG gas (ppm)	$V_{RL}$ (V)			$R_s$ (Ohm)		
	ที่คำนวณ	ที่วัดได้	ค่าผิดพลาด %	ที่คำนวณ	ที่วัดได้	ค่าผิดพลาด %
400.000	1.170	1.166	0.360	7200	7238	-0.528
500.000	1.284	1.276	0.588	6370	6424	-0.848
600.000	1.381	1.375	0.457	5763	5803	-0.694
700.000	1.467	1.465	0.169	5296	5311	-0.283
800.000	1.545	1.545	-0.026	4922	4922	0.000
900.000	1.614	1.613	0.089	4613	4622	-0.195
1000.000	1.678	1.677	0.077	4354	4359	-0.115
1200.000	1.792	1.787	0.259	3940	3957	-0.431
1400.000	1.890	1.888	0.107	3620	3626	-0.166
1600.000	1.977	1.977	-0.004	3364	3365	-0.030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1800.000	2.055	2.054	0.034	3154	3155	-0.032
2000.000	2.125	2.125	0.002	2976	2976	0.000
2200.000	2.189	2.186	0.146	2825	2832	-0.248
2400.000	2.248	2.246	0.095	2693	2699	-0.223
2600.000	2.303	2.295	0.330	2577	2593	-0.621
2800.000	2.353	2.351	0.094	2474	2480	-0.243
3000.000	2.400	2.393	0.309	2383	2397	-0.587
3200.000	2.445	2.444	0.027	2300	2301	-0.043
3400.000	2.486	2.485	0.050	2224	2227	-0.135
3600.000	2.525	2.520	0.216	2156	2166	-0.464
3800.000	2.563	2.557	0.216	2093	2102	-0.430
4000.000	2.598	2.595	0.104	2035	2039	-0.197
4200.000	2.631	2.623	0.308	1981	1994	-0.656
4400.000	2.663	2.655	0.297	1931	1943	-0.621
4600.000	2.693	2.685	0.306	1884	1898	-0.743
4800.000	2.722	2.713	0.340	1841	1855	-0.760
5000.000	2.750	2.744	0.218	1800	1809	-0.500
5200.000	2.777	2.769	0.274	1762	1773	-0.624
5400.000	2.802	2.795	0.255	1726	1736	-0.579
5600.000	2.827	2.820	0.238	1691	1701	-0.591
5800.000	2.850	2.844	0.223	1659	1668	-0.542
6000.000	2.873	2.865	0.283	1629	1639	-0.614
6200.000	2.895	2.886	0.314	1600	1612	-0.750
6400.000	2.916	2.900	0.559	1572	1593	-1.336
6600.000	2.937	2.927	0.333	1546	1559	-0.841
6800.000	2.957	2.948	0.292	1520	1531	-0.724

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.5 กราฟแสดงค่าผิดพลาดของ VRL กับ RS ที่ค่าความเข้มข้นใดๆของก๊าซแอลพีจี



## 5.2 ปัญหาและอุปสรรค

เนื่องจากค่าสัญญาณเอาพุคท์ที่ได้จากภาคแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลมีสัญญาณรบกวนรวมอยู่ด้วยทำให้ค่าแรงดันอ้างอิงที่อ่านจากตัวต้านทานโวลติมิเตอร์ค่าไม่คงที่ในระดับความเข้มข้นของก๊าซใดๆ จึงมีผลทำให้การประมวลผลของสัญญาณที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง

## เอกสารอ้างอิง

การปีโคเรเลียมแห่งประเทศไทย

[http://www.geocities.com/thaikeramos/product/advance\\_product/gas\\_senser/gas\\_sensors.html](http://www.geocities.com/thaikeramos/product/advance_product/gas_senser/gas_sensors.html)

[http://www.nectec.or.th/Optical&Quantum/intern/intern\\_Achieve/26Sayun/solar%20cell.pdf](http://www.nectec.or.th/Optical&Quantum/intern/intern_Achieve/26Sayun/solar%20cell.pdf)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <reg51.h>
#include <intrins.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <stdio.h>
```

```
#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int
#define buffer unsigned int
```

```
sbit nok_sclk =P2^1; // LCD Control
sbit nok_sda =P2^2;
sbit nok_dc =P2^3;
sbit nok_cs =P2^4;
sbit nok_res =P2^5;
sbit TMDAT =P0^7; // INPUT DS1820
```

```
sbit SWU =P3^5; // SW Control
sbit SWL =P3^4;
sbit SWD =P3^1;
sbit SWR =P3^0;
sbit SWA =P3^3;
sbit SWM =P3^2;
```

```
sbit Speaker =P3^6;
```

```
typedef unsigned char byte;
unsigned char x,y,Range,C,W,j=2,i,CK,CL=1;
unsigned char TEMBUF[2];
long N_hex,ref,l;
```

```
sbit SCLK = P1^5; /* Shifting data to or from ADC */
sbit SDO = P1^7; /* Transfer data from ADC to CPU */
sbit SDI = P1^6; /* Transfer data from CPU to ADC */
sbit CS = P1^4; /* Chip Select */
```

```
sbit led_g = P1^2;
sbit led_r = P1^3;
```

```
/* Global variable declaration */
unsigned char data HIGH,MID,LOW,TEMP;
unsigned char LCDBUF[17];
unsigned char LBUF[5];
```

```
long l;
```

```
#define OSET_RD 0x90 /* Offset read command */
#define GAIN_RD 0x92 /* Gain read command */
#define CONF_RD 0x94 /* Config read command */
#define CONV_RD 0x96 /* Data read command */
#define SETU_RD 0x98 /* Setup read command */
#define OSET_WR 0x80 /* Offset Write command*/
#define GAIN_WR 0x82 /* Gain Write command*/
#define CONF_WR 0x84 /* Config Write command*/
#define CONV_WR 0x86 /* Data Write command*/
#define SETU_WR 0x88 /* Setup Write command*/
```

```
void nokia_init(void);
void nokia_write_command(char bytefor nokia_command);
void nokia_write_data(char bytefor nokia_data);
void nokia_write_dorc(char bytefor nokia);
void nokia_gotoxy(byte xnokia, byte ynokia);
```

D:\Engineering\ENG\_PROJECT\UPDATE\USE\TEM LPG DISPLAY 3310\LCD3310N.c

```
void nokia_printchar(byte cvar);
void nokia_clean_ddram(void);
void table_to_nokialcd(void);
Clear_Graph(unsigned char M);
void Display(void);
void Show(void);
Calculate(unsigned char m);
```

```
/* Write single byte */
```

```
void WriteByte(unsigned char dat) {
    unsigned char clock;
    for(clock=0; clock<8; clock++) {
        SDI = (dat & 0x80);
        dat = (dat << 1);
        SCLK = 1;
        SCLK = 0;
    }
    SDI = 0;
}
```

```
/* Read single byte */
```

```
unsigned char ReadByte(void) {
    unsigned char clock, dat;
    dat = 0;
    for(clock=0; clock<8; clock++) {
        dat = (dat << 1);
        dat = (dat | SDO);
        SCLK = 1;
        SCLK = 0;
    }
    return(dat);
}
```

```
/* Write register 3 bytes */
```

```
void WriteReg(unsigned char comm,high,mid,low) {
    WriteByte(comm);
    WriteByte(high);
    WriteByte(mid);
    WriteByte(low);
}
```

```
/* Read register 3 bytes */
```

```
void ReadReg(unsigned char comm) {
    WriteByte(comm);
    HIGH = ReadByte();
    MID = ReadByte();
    LOW = ReadByte();
}
```

```
/* Read configuration register */
```

```
void ReadConf(void) {
    ReadReg(CONF_RD);          /* Read configuration reg */
    ReadReg(OSET_RD);         /* Read offset reg */
    ReadReg(GAIN_RD);         /* Read gain reg */
}
```

```
void Initialize(void) {
```

```
    unsigned int count;
    CS = 0;
    SCLK = 0;
    SDO = 0;
    SDI = 0;
    for(count=0; count<2047; count++) {
        SCLK = 1;
        /* Assert SCLK */
```

```
SCLK = 0;
}
SDI = 1;
for(count=0; count<255; count++) {
    SCLK = 1;
    SCLK = 0;
}
SDI = 0;
SCLK = 1;
SCLK = 0;

WriteReg(CONF_WR,0x00,0x00,0x80); /* Reset */
WriteReg(CONF_WR,0x00,0x08,0x00); /* Initialize configuration */
ReadConf();
}
```

```
/* Read data conversion */
unsigned long ReadConv(void) {
    unsigned long l;
    WriteReg(CONF_WR,0x00,0xf9,0x00);
    WriteByte(0xc0);
    do {
        ReadReg(CONF_RD); /* Read Configuration Register */
    }while(!(LOW & 0x08));
    ReadReg(CONV_RD);
    l = HIGH;
    l <<= 8;
    l |= MID;
    l <<= 8;
    l |= LOW;
    l >>= 4;
    return(l);
}
```

```
long loopx(void) {
    long l;
    float x0=400.0,x1=5000.0,y0=2.0,y1=0.5,VRL,N,m,ppm;

    l = ReadConv(); /* Read Conversion */
    l = l + ReadConv();
    l = l/2;

    /*calculation*/
    VRL=l*0.00374794;
    N=((5000-VRL)*2170)/(VRL*3600);
    m=(log10(y1)-log10(y0))/(log10(x1)-log10(x0));
    ppm=(pow(10,(((log10(N)-log10(y0))/m)+log10(x0))));
    ppm=ppm*log10(N_hex);
    l=(long)(ppm*1);
    return(l);
}
```

```
char char_row,charsel,charpos,chardata;
int ddram,T,count=0,use,Origin,value,Min,N,R,M;
/*
```

```
uchar code dal[]=
{
    0x00,0x00,0x02,0xFA,0x8A,0x8A,0x8A,0xFA,0x02,0x02,0xFE,0x03,0x02,0x00,0x40,0x4F,
    0xC9,0x79,0x49,0xCF,0x00,0xFC,0x00,0x00,0xFF,0x00,0x02,0x82,0x02,0xBE,0x22,0x63,
    0xA2,0x22,0x22,0xA2,0x02,0x00,0x00,0x01,0x01,0x01,0x01,0xF9,0x09,0x05,0x03,0x01,
    0x00,0x00,0x10,0x14,0x94,0xD4,0xBF,0x94,0x5C,0x54,0x12,0x10,0x00,0x00,0xFF,
```

```

0x04, 0x04, 0xFF, 0x00, 0xFF, 0x29, 0x29, 0xFF, 0x00, 0x00, 0x04, 0x04, 0x04, 0x04, 0x3F, 0xD4,
0x14, 0x14, 0x74, 0x06, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x04, 0x04, 0x07, 0x00,
0x10, 0x10, 0x04, 0x02, 0x01, 0x04, 0x04, 0x03, 0x00, 0x01, 0x04, 0x04, 0x07, 0x00, 0x02, 0x01,
0x10, 0x10, 0x04, 0x04, 0x05, 0x04, 0x06, 0x00, 0x03, 0x00, 0x00, 0x80, 0x40, 0x44, 0x84, 0x07,
0x10, 0x10, 0x06, 0x00, 0x00, 0x02, 0x92, 0x51, 0x30, 0x14, 0x14, 0x04, 0x07,
0x10, 0x10, 0x21, 0x14, 0x84, 0x07, 0x02, 0x10, 0x04, 0x04, 0x07, 0x00, 0x00, 0x04, 0x02,
0x10, 0x10, 0x04, 0x00, 0x01, 0x02, 0x02, 0x04, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x10, 0x10, 0x04, 0x10, 0x60, 0x78, 0x04, 0x04, 0xFF, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x1C, 0xE2,
0x10, 0x10, 0x08, 0x04, 0x84, 0x84, 0x82, 0x02, 0xC0, 0x02, 0x01, 0x81, 0x41, 0x21, 0x21, 0x20,
0x10, 0x10, 0x07, 0x18, 0x60, 0x80, 0x00, 0x00, 0xF0, 0x0C, 0x03, 0x00, 0xFC, 0x00, 0x00, 0x04,
0x1E, 0x14, 0xC0, 0x60, 0x62, 0x37, 0x12, 0x90, 0x16, 0x19, 0x7A, 0xFC, 0xF8, 0xF0, 0x80, 0x40,
0x10, 0x10, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x10, 0x10, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x07, 0x08, 0x10, 0xE0, 0x00, 0x00, 0x00, 0xF8, 0x07, 0x00, 0x00,
0x12, 0x12, 0x12, 0x1F, 0xF4, 0xA0, 0x00, 0x00, 0x00, 0x40, 0x80, 0x81, 0x8C, 0x5C, 0x3C, 0x2C,
0x40, 0x40, 0x40, 0x20, 0x00, 0x00, 0x80, 0xC0, 0x64, 0x5F, 0x45, 0xC9, 0x83, 0x04, 0x04, 0x04,
0x1B, 0x20, 0x40, 0x80, 0x80, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x10, 0x14, 0x23, 0x21, 0xA1, 0x51,
0xF1, 0x3F, 0x12, 0xE2, 0x40, 0x80, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x10, 0x10, 0x09, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x03, 0x0C, 0x10, 0x20,
0x21, 0x22, 0x22, 0x22, 0x7F, 0x41, 0x41, 0x47, 0x49, 0xCB, 0x0F, 0x06, 0x06, 0x04, 0x0C, 0x1C,
0x14, 0x34, 0x24, 0x24, 0x14, 0x14, 0x12, 0x0A, 0x06, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xE0, 0x20,
0x2F, 0xF0, 0x0C, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x01, 0x01, 0x01, 0x01, 0x01, 0x01,
0x11, 0x11, 0x00, 0x00, 0xF8, 0x21, 0x21, 0x40, 0x40, 0x20, 0xD1, 0x8A, 0x0C, 0x10, 0x20, 0xC0,
0x10, 0x10, 0x00, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00,
0x10, 0x10, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20,
0x10, 0x10, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20,
0x10, 0x10, 0x07, 0x38, 0x00, 0x3F, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20,
0x10, 0x10, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20, 0x07, 0x38, 0x04, 0x22, 0x01, 0x31, 0x10, 0x28,
0x10, 0x10, 0x04, 0x23, 0x00, 0x20, 0x00, 0x20
};
*/

```

```

buffer code CHARACTER [][5]=
{
0x3e, 0x51, 0x49, 0x45, 0x3e, // 0 0 0
0x00, 0x42, 0x7f, 0x40, 0x00, // 1 5 1
0x42, 0x61, 0x51, 0x49, 0x46, // 2 10 2
0x21, 0x41, 0x45, 0x4b, 0x31, // 3 15 3
0x18, 0x14, 0x12, 0x7f, 0x10, // 4 20 4
0x27, 0x45, 0x45, 0x45, 0x39, // 5 25 5
0x3c, 0x4a, 0x49, 0x49, 0x30, // 6 30 6
0x01, 0x71, 0x09, 0x05, 0x03, // 7 35 7
0x36, 0x49, 0x49, 0x49, 0x36, // 8 40 8
0x06, 0x49, 0x49, 0x29, 0x1e, // 9 45 9
0x7e, 0x11, 0x11, 0x11, 0x7e, // A 50 10
0x7f, 0x49, 0x49, 0x49, 0x36, // B 55 11
0x3e, 0x41, 0x41, 0x41, 0x22, // C 60 12
0x7f, 0x41, 0x41, 0x22, 0x1c, // D 65 13
0x7f, 0x49, 0x49, 0x49, 0x41, // E 70 14
0x7f, 0x09, 0x09, 0x09, 0x01, // F 75 15
0x3e, 0x41, 0x49, 0x49, 0x7a, // G 80 16
0x7f, 0x08, 0x08, 0x08, 0x7f, // H 85 17
0x00, 0x41, 0x7f, 0x41, 0x00, // I 90 18
0x20, 0x40, 0x41, 0x3f, 0x01, // J 95 19
0x7f, 0x08, 0x14, 0x22, 0x41, // K 100 20
0x7f, 0x40, 0x40, 0x40, 0x40, // L 105 21
0x7f, 0x02, 0x0c, 0x02, 0x7f, // M 110 22
0x7f, 0x04, 0x08, 0x10, 0x7f, // N 115 23
0x3e, 0x41, 0x41, 0x41, 0x3e, // O 120 24
0x7f, 0x09, 0x09, 0x09, 0x06, // P 125 25
0x3e, 0x41, 0x51, 0x21, 0x5e, // Q 130 26
0x7f, 0x09, 0x19, 0x29, 0x46, // R 135 27
0x46, 0x49, 0x49, 0x49, 0x31, // S 140 28
0x01, 0x01, 0x7f, 0x01, 0x01, // T 145 29
0x3f, 0x40, 0x40, 0x40, 0x3f, // U 150 30
0x1f, 0x20, 0x40, 0x20, 0x1f, // V 155 31
0x3f, 0x40, 0x38, 0x40, 0x3f, // W 160 32
0x63, 0x14, 0x08, 0x14, 0x63, // X 165 33

```

```

0x07,0x08,0x70,0x08,0x07, // y 170 34
0x61,0x51,0x49,0x45,0x43, // s 175 35
0x20,0x54,0x54,0x54,0x78, // a 180 36
0x7f,0x48,0x44,0x44,0x38, // b 185 37
0x38,0x44,0x44,0x44,0x20, // c 190 38
0x38,0x44,0x44,0x48,0x7f, // d 195 39
0x38,0x54,0x54,0x54,0x18, // e 200 40
0x08,0x7e,0x09,0x01,0x02, // l 205 41
0x0c,0x52,0x52,0x52,0x3e, // g 210 42
0x7f,0x08,0x04,0x04,0x78, // h 215 43
0x00,0x44,0x7d,0x40,0x00, // i 220 44
0x20,0x40,0x44,0x3d,0x00, // j 225 45
0x7f,0x10,0x28,0x44,0x00, // k 230 46
0x00,0x41,0x7f,0x40,0x00, // l 235 47
0x7c,0x04,0x18,0x04,0x78, // m 240 48
0x7c,0x08,0x04,0x04,0x78, // n 245 49
0x38,0x44,0x44,0x44,0x38, // o 250 50
0x7c,0x14,0x14,0x14,0x08, // p 255 51
0x08,0x14,0x14,0x18,0x7c, // q 260 52
0x7c,0x08,0x04,0x04,0x08, // r 265 53
0x48,0x54,0x54,0x54,0x20, // s 270 54
0x04,0x3f,0x44,0x40,0x20, // t 275 55
0x3c,0x40,0x40,0x20,0x7c, // u 280 56
0x1c,0x20,0x40,0x20,0x1c, // v 285 57
0x3c,0x40,0x30,0x40,0x3c, // w 290 58
0x44,0x28,0x10,0x28,0x44, // x 295 59
0x0c,0x50,0x50,0x50,0x3c, // y 300 60
0x44,0x64,0x54,0x4c,0x44, // z 305 61
0x06,0x09,0x09,0x06,0x00, // deg 310 62
0x00,0x00,0x00,0x00,0x00, // spa 315 63
0x00,0x00,0x5f,0x00,0x00, // ! 320 64
0x00,0x07,0x00,0x07,0x00, // " 325 65
0x14,0x7f,0x14,0x7f,0x14, // # 330 66
0x24,0x2a,0x7f,0x2a,0x12, // $ 335 67
0x23,0x13,0x08,0x64,0x62, // % 340 68
0x36,0x49,0x55,0x22,0x50, // & 345 69
0x00,0x05,0x03,0x00,0x00, // ' 350 70
0x00,0x1c,0x22,0x41,0x00, // ( 355 71
0x00,0x41,0x22,0x1c,0x00, // ) 360 72
0x14,0x08,0x3e,0x08,0x14, // * 365 73
0x08,0x08,0x3e,0x08,0x08, // + 370 74
0x00,0x50,0x30,0x00,0x00, // , 375 75
0x08,0x08,0x08,0x08,0x08, // - 380 76
0x00,0x60,0x60,0x00,0x00, // . 385 77
0x20,0x10,0x08,0x04,0x02, // / 390 78
0x00,0x36,0x36,0x00,0x00, // : 395 79
0x00,0x56,0x36,0x00,0x00, // ; 400 80
0x08,0x14,0x22,0x41,0x00, // < 405 81
0x14,0x14,0x14,0x14,0x14, // = 410 82
0x00,0x41,0x22,0x14,0x08, // > 415 83
0x02,0x01,0x51,0x09,0x06, // ? 420 84
0x32,0x49,0x79,0x41,0x3e, // @ 425 85
0xff,0x81,0x00,0x00,0x00, // | f 430 86
0x81,0xff,0x00,0x00,0x00, // | b 435 87
0x01,0x01,0x01,0x01,0x01 // Cursor 88
};

```

```

uchar code Graph_BAR [][][7]=

```

```

{
0xf8,0x88,0xf8,0x00,0x80,0xff,0x88, // 0 bar 0 0
0x90,0xf8,0x80,0x00,0x80,0xff,0x88, // 1 bar 7 1
0xe8,0xa8,0xb8,0x00,0x80,0xff,0x88, // 2 bar 14 2
0xa8,0xa8,0xf8,0x00,0x80,0xff,0x88, // 3 bar 21 3
0x38,0x20,0xf8,0x00,0x80,0xff,0x88, // 4 bar 28 4
0xb8,0xa8,0xe8,0x00,0x80,0xff,0x88, // 5 bar 35 5
0xf8,0xa8,0xe8,0x00,0x80,0xff,0x88, // 6 bar 42 6

```

```

0xc8,0x28,0x18,0x00,0x80,0xff,0x88, // 7 bar 49 7
0xf8,0xa8,0xf8,0x00,0x80,0xff,0x88, // 8 bar 56 8
0xb8,0xa8,0xf8,0x00,0x80,0xff,0x88, // 9 bar 63 9
0xf8,0x10,0xf8,0x00,0x80,0xff,0x88, // M bar 70 10
0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0xff,0x88, // l bar 77 11
0x00,0x00,0x00,0x00,0x08,0xff,0x88, // l bar 84 12
0x90,0xf8,0x80,0x00,0xf8,0x88,0xf8, // 10 91 13
0x00,0x1f,0x11,0x1f,0x00,0x00,0x00, // 0 power 98 14
0x00,0x12,0x1f,0x10,0x00,0x00,0x00, // 1 power 105 15
0x00,0x1d,0x15,0x13,0x00,0x00,0x00, // 2 power 112 16
0x00,0x15,0x15,0x1f,0x00,0x00,0x00, // 3 power 119 17
0x00,0x07,0x04,0x1f,0x00,0x00,0x00, // 4 power 126 18
0x50,0x20,0x50,0x00,0x00,0x00,0x00, // x mul 133 19
0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18, // -- bar 20
0x04,0x06,0xff,0xff,0x06,0x04,0x00, // up 21
0x00,0x18,0x3c,0x3c,0x18,0x00,0x00, // dot 22
0x20,0x60,0xff,0xff,0x60,0x20,0x00, // down 23
0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00 // spa 24
};

```

```

uchar code LEVEL_BAR [8] = {0x01,0x02,0x04,0x08,0x10,0x20,0x40,0x80}; // level bar
LSB - MSB

```

```

void dmsec (unsigned int count) { // mSec Delay 11.0592 Mhz
    unsigned int i;
    while (count) {
        i = 205; while (i>0) i--;
        count--;
    }
}

```

\*\*\*\*\* START DS1820 FUNCTION \*\*\*\*\*

```

void tmreset (void) { // Reset TX
    unsigned int i;
    TMDAT = 0;
    i = 103; while (i>0) i--; // Approx 900 uS
    TMDAT = 1;
    i = 4; while (i>0) i--;
}

```

```

void tmpre (void) { // Wait for Presence RX
    unsigned int i;
    while (TMDAT);
    while (~TMDAT);
    i = 4; while (i>0) i--;
}

```

```

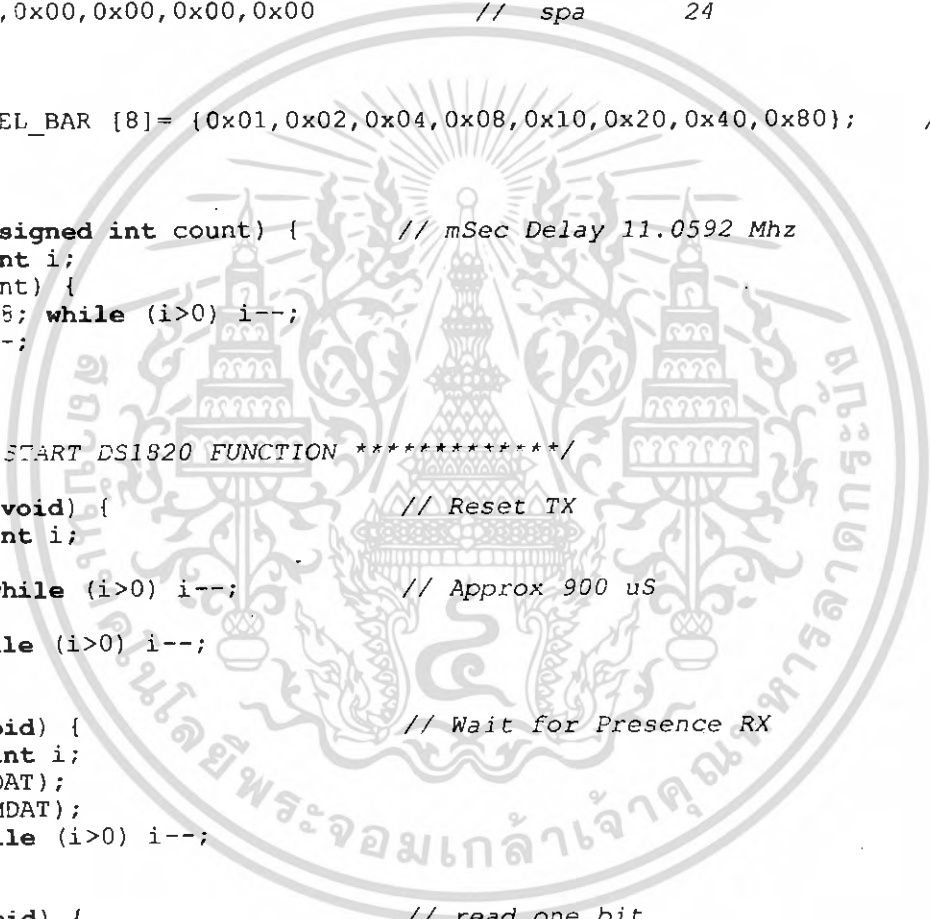
bit tmrbit (void) { // read one bit
    unsigned int i;
    bit dat;
    TMDAT = 0; i++;
    TMDAT = 1; i++; i++;
    dat = TMDAT;
    i = 8; while (i>0) i--; // Approx 65 uS
    return (dat);
}

```

```

unsigned char tmrbyte (void) { // read one byte
    unsigned char i,j,dat;
    dat = 0;
    for (i=1;i<=8;i++) {
        j = tmrbit ();
        dat = (j << 7) | (dat >> 1);
    }
}

```



```

    }
    return (dat);
}

void tmwbyte (unsigned char dat) { // write one byte
    unsigned int i;
    unsigned char j;
    bit testb;
    for (j=1;j<=8;j++) {
        testb = dat & 0x01;
        dat = dat >> 1;
        if (testb) {
            TMDAT = 0; // Write 1
            i++; i++; // Approx 4 uS
            TMDAT = 1;
            i = 8; while (i>0) i--; // Approx 65 uS
        }
        else {
            TMDAT = 0; // Write 0
            i = 8; while (i>0) i--; // Approx 65 uS
            TMDAT = 1;
            i++; i++; // Approx 4 uS
        }
    }
}

void tmstart (void) { // ds1820 start convert
    tmreset ();
    tmpre ();
    dmsec (1);
    tmwbyte (0xcc); // skip rom
    tmwbyte (0x44); // convert
}

void tmrtemp (void) { // read temp
    unsigned char a,b;
    TEMBUF[0] = 0;
    TEMBUF[1] = 0;
    tmreset ();
    tmpre ();
    dmsec (1);
    tmwbyte (0xcc); // skip rom
    tmwbyte (0xbe); // convert
    a = tmrbyte (); // LSB
    b = tmrbyte (); // MSB
    if (b==1) return; // don't care negative temp
    TEMBUF[1] = a & 0x1; // 0=x.0 1=x.5
    a = a >> 1;
    TEMBUF[0] = a + 1; // adjust for thailand
}

/***** END DS1820 FUNCTION *****/

```

```

void nokia_init(void)
{
    nok_dc=1;
    nok_cs=1;
    nok_res=0;
    nok_res=1;
    nokia_write_command(0x21);
    nokia_write_command(0xC4);
    nokia_write_command(0x13);
    nokia_write_command(0x20);
    nokia_write_command(0x09);
    nokia_clean_ddram();
}

```

D:\Engineering\ENG\_PROJECT\UPDATE\USE\TFM LPG DISPLAY 3310\LCD3310N.c

```
nokia_write_command(0x08);  
nokia_write_command(0x0c);  
}
```

```
void nokia_clean_ddram(void)  
{  
nokia_gotoxy(0,0);  
for (ddram=504;ddram>0;ddram--){nokia_write_data(0x00);}  
}
```

```
void nokia_write_command(char bytefornokia_command)  
{  
nok_dc=0;  
nok_cs=0;  
nokia_write_dorc(bytefornokia_command);  
nok_cs=1;  
}
```

```
void nokia_write_data(char bytefornokia_data)  
{  
nok_dc=1;  
nok_cs=0;  
nokia_write_dorc(bytefornokia_data);  
nok_cs=1;  
}
```

```
void nokia_write_dorc(char bytefornokia)  
{  
char caa;  
for (caa=8;caa>0;caa--)  
{  
nok_sclk=0;  
if ((bytefornokia&0x80)==0){nok_sda=0;}  
else {nok_sda=1;}  
nok_sclk=1;  
bytefornokia=bytefornokia<<1;  
}  
}
```

```
void nokia_gotoxy(byte xnokia, byte ynokia) // Nokia LCD 3310 Position cursor  
{  
nokia_write_command(0x40|ynokia); // Y axis initialisation: 0100 0yyy  
nokia_write_command(0x80|xnokia); // X axis initialisation: 1xxx xxxx  
}
```

```
Clear_Graph(unsigned char M)  
{
```

```
for (M=7; M<=83; M++){  
nokia_gotoxy(M,1);  
nokia_write_data(0x00);  
}  
for (M=7; M<=83; M++){  
nokia_gotoxy(M,2);  
nokia_write_data(0x00);  
}  
for (M=7; M<=83; M++){  
nokia_gotoxy(M,3);  
nokia_write_data(0x00);  
}  
for (M=7; M<=83; M++){  
nokia_gotoxy(M,4);
```

```
nokia_write_data(0x00);
}
for(M=7; M<=83; M++){
nokia_gotoxy(M,5);
nokia_write_data(0x00);

}
}
/*
void Graphic(void)
{
uchar e;
uchar t;
uchar k;
uint d;
d=0;
for(t=0;t<6;t++)
{
for(k=0;k<84;k++)
{
e=dal[d];
nokia_write_data(e);
d=d+1;
}
}
}
*/

void Writh_Graph(unsigned int i,unsigned char ND)
{
for (char_row=0;char_row< ND ;char_row++)
{
chardata= Graph_BAR[i][char_row];
nokia_write_data(chardata);
}
}

void Writh_Char(unsigned long Num,unsigned long NC)
{
for (char_row=0;char_row<NC;char_row++)
{
chardata=CHARACTER[Num][char_row];
nokia_write_data(chardata);
}
nokia_write_data(0x00);
}

void Writh_level(unsigned int i)
{
chardata = LEVEL_BAR[i];
nokia_write_data(chardata);
}

/* WRITE GRAPH*/
void graph(unsigned int use)
{
if( 1000 <= use && use < 10000 ) { CK= 2; M=10000; R=10000; W=18;}
if( use < 1000 ) { CK= 1; M=1000; R=1000; W=17;}

T = use%R;
Range = (use-T)/R;
Min = use-T;

nokia_gotoxy(0,0);
Writh_Graph(Range+1,7);

nokia_gotoxy(0,1);
```

```
    Writh_Graph(11,7);

    nokia_gotoxy(0,2);
    Writh_Graph(11,7);

    nokia_gotoxy(0,3);
    Writh_Graph(12,7);

    nokia_gotoxy(0,4);
    Writh_Graph(11,7);

    nokia_gotoxy(0,5);
    Writh_Graph(Range,7);

    nokia_gotoxy(19,0);
    Writh_Graph(W,5);

if( use > 400 )
{
/* WRITE GRAPH */
x=x+1;
if( x>83 ){Clear_Graph(7); x=7;}
if( Origin != Range ){ Clear_Graph(7);}
if( CL != CK ){ Clear_Graph(7);}
CL=CK;

value = use - Min;

if( 0 <= value && value <= 0.175*M )
{
    if( x < 7) x=7;
    Origin = Range;
    nokia_gotoxy(x,5);

        if( 0 == value ) Writh_level(7);
        if( 0 < value && value <= 0.025*M ) Writh_level(6);
        if( 0.025*M < value && value <= 0.050*M ) Writh_level(5);
        if( 0.050*M < value && value <= 0.075*M ) Writh_level(4);
        if( 0.075*M < value && value <= 0.100*M ) Writh_level(3);
        if( 0.100*M < value && value <= 0.125*M ) Writh_level(2);
        if( 0.125*M < value && value <= 0.150*M ) Writh_level(1);
        if( 0.150*M < value && value <= 0.175*M ) Writh_level(0);

}

if( 0.175*M < value && value <= 0.375*M )
{
    if( x < 7) x=7;
    Origin = Range;
    nokia_gotoxy(x,4);

        if( 0.175*M < value && value <= 0.200*M ) Writh_level(7);
        if( 0.200*M < value && value <= 0.225*M ) Writh_level(6);
        if( 0.225*M < value && value <= 0.250*M ) Writh_level(5);
        if( 0.250*M < value && value <= 0.275*M ) Writh_level(4);
        if( 0.275*M < value && value <= 0.300*M ) Writh_level(3);
        if( 0.300*M < value && value <= 0.325*M ) Writh_level(2);
        if( 0.325*M < value && value <= 0.350*M ) Writh_level(1);
        if( 0.350*M < value && value <= 0.375*M ) Writh_level(0);

}

if( 0.375*M < value && value <= 0.575*M )
{
    if( x < 7) x=7;
```

```

Origin = Range;
nokia_gotoxy(x, 3);

    if( 0.375*M < value && value <= 0.400*M ) Writh_level(7);
    if( 0.400*M < value && value <= 0.425*M ) Writh_level(6);
    if( 0.425*M < value && value <= 0.450*M ) Writh_level(5);
    if( 0.450*M < value && value <= 0.475*M ) Writh_level(4);
    if( 0.475*M < value && value <= 0.500*M ) Writh_level(3);
    if( 0.500*M < value && value <= 0.525*M ) Writh_level(2);
    if( 0.525*M < value && value <= 0.550*M ) Writh_level(1);
    if( 0.550*M < value && value <= 0.575*M ) Writh_level(0);
}

if( 0.575*M < value && value <= 0.775*M )
{
    if( x < 7) x=7;
    Origin = Range;
    nokia_gotoxy(x, 2);

        if( 0.575*M < value && value <= 0.600*M ) Writh_level(7);
        if( 0.600*M < value && value <= 0.625*M ) Writh_level(6);
        if( 0.625*M < value && value <= 0.650*M ) Writh_level(5);
        if( 0.650*M < value && value <= 0.675*M ) Writh_level(4);
        if( 0.675*M < value && value <= 0.700*M ) Writh_level(3);
        if( 0.700*M < value && value <= 0.725*M ) Writh_level(2);
        if( 0.725*M < value && value <= 0.750*M ) Writh_level(1);
        if( 0.750*M < value && value <= 0.775*M ) Writh_level(0);
}

if( 0.775*M < value && value <= 0.975*M )
{
    if( x < 7) x=7;
    Origin = Range;
    nokia_gotoxy(x, 1);

        if( 0.775*M < value && value <= 0.800*M ) Writh_level(7);
        if( 0.800*M < value && value <= 0.825*M ) Writh_level(6);
        if( 0.825*M < value && value <= 0.850*M ) Writh_level(5);
        if( 0.850*M < value && value <= 0.875*M ) Writh_level(4);
        if( 0.875*M < value && value <= 0.900*M ) Writh_level(3);
        if( 0.900*M < value && value <= 0.925*M ) Writh_level(2);
        if( 0.925*M < value && value <= 0.950*M ) Writh_level(1);
        if( 0.950*M < value && value <= 0.975*M ) Writh_level(0);
}
}
}

```

```

void Show(void)
{
nokia_gotoxy(8,0);
Writh_Graph(19,4); // x
Writh_Graph(13,7); // 10^

nokia_gotoxy(24,0); // [
Writh_Char(86,3);

if(1>400)
{
nokia_gotoxy(27,0); // value
Writh_Char((1&100000)/10000,5);
Writh_Char((1&10000)/1000,5);
Writh_Char((1&1000)/100,5);
Writh_Char((1&100)/10,5);
Writh_Char(1&10,5);
}
}

```

```

if(l<400)
{
nokia_gotoxy(27,0); // value
Writh_Char(0,5);
Writh_Char(0,5);
Writh_Char(0,5);
Writh_Char(0,5);
Writh_Char(0,5);
}

nokia_gotoxy(57,0); // ]
Writh_Char(87,3);

Writh_Graph(60,0); // Tem
Writh_Char((N_hex%100)/10,5);
Writh_Char(N_hex%10,5);
Writh_Char(62,5);
Writh_Char(12,5);
}

void model(void)
{
nokia_clean_ddram();
led_r =0;
led_g =1;
while(SWM==1)
{
tmstart (); // ds1820 start convert
tmrtemp (); // read temperature
N_hex=TEMBUF[0];
l= loopx();

Show(); // Write coordinate power ppm tem
graph(1); // Write Graph
}
}

void mode2(void)
{
nokia_clean_ddram();
while(SWM==1)
{
led_r =0;
led_g =1;
Speaker=1;
tmstart (); // ds1820 start convert
tmrtemp (); // read temperature
l= loopx();

Show(); // Write coordinate power ppm tem
graph(1); // Write Graph

nokia_gotoxy(60,5); // POSITION
Writh_Char(2,5); // 2
Writh_Char(0,5); // 0
Writh_Char(0,5); // 0
Writh_Char(0,5); // 0
while(l>2000 && SWM==1)
{
Speaker=0;
led_r =1;
}
}
}

```

```
led_g =0;
nokia_clean_ddram();
dmsec(100);

nokia_gotoxy(6,1);
for(i=0; i<12; i++){
Writh_Graph(20,6);}

nokia_gotoxy(6,2); // POSITION
Writh_Char(32,5); // W
Writh_Char(10,5); // A
Writh_Char(27,5); // R
Writh_Char(23,5); // N
Writh_Char(18,5); // I
Writh_Char(23,5); // N
Writh_Char(16,5); // G
Writh_Char(64,5); // !
Writh_Char(63,5); //
Writh_Char(21,5); // L
Writh_Char(25,5); // P
Writh_Char(16,5); // G //ok

nokia_gotoxy(6,3); // POSITION
Writh_Char(24,5); // O
Writh_Char(31,5); // V
Writh_Char(14,5); // E
Writh_Char(27,5); // R
Writh_Char(63,5); //
Writh_Char(2,5); // 2
Writh_Char(0,5); // 0
Writh_Char(0,5); // 0
Writh_Char(0,5); // 0
Writh_Char(51,5); // p
Writh_Char(51,5); // p
Writh_Char(48,5); // m

nokia_gotoxy(6,4);
for(i=0; i<12; i++){
Writh_Graph(20,6);}
dmsec(400);
nokia_clean_ddram();
l= loopx();
```

```
void mode3(void)
```

```
{
  unsigned int ref;
  char a=0,b=0,c=4,d=0,p=60,g=0,k=0;
  nokia_clean_ddram();
  dmsec(21);
  while(SWA==0);
  while(SWA==1)
  {
    led_r =0;
    led_g =1;
    nokia_gotoxy(0,2); // POSITION
    Writh_Char(28,5); // S
    Writh_Char(14,5); // E
    Writh_Char(29,5); // T
    Writh_Char(63,5); //
    Writh_Char(31,5); // V
    Writh_Char(10,5); // A
    Writh_Char(21,5); // L
```

```

Writh_Char(30,5); // 3
Writh_Char(14,5); // E
Writh_Char(63,5); //
Writh_Char(d,5); // 0 x = 60
Writh_Char(c,5); // 6 x = 66
Writh_Char(b,5); // 7 x = 72
Writh_Char(a,5); // 8 x = 78

if(p==60){nokia_gotoxy(60,3); Writh_Char(88,5); d=k;}
else {nokia_gotoxy(60,3); Writh_Char(63,5);}

if(p==66){nokia_gotoxy(66,3); Writh_Char(88,5); c=k;}
else {nokia_gotoxy(66,3); Writh_Char(63,5);}

if(p==72){nokia_gotoxy(72,3); Writh_Char(88,5); b=k;}
else {nokia_gotoxy(72,3); Writh_Char(63,5);}

if(p==78){nokia_gotoxy(78,3); Writh_Char(88,5); a=k;}
else {nokia_gotoxy(78,3); Writh_Char(63,5);}

if(SWU==0) {k=k+1; if(k>9) k=0; dmsec(5); while(SWU==0);}
if(SWD==0) {k=k-1; if(k<0) k=9; dmsec(5); while(SWD==0);}
if(SWR==0) {g=g+1; while(SWR==0); if(g>3)g=0; p= 60+g*6; dmsec(
10);}
if(SWL==0) {g=g-1; while(SWL==0); if(g<0)g=3; p= 60+g*6; dmsec(
10);} //ok
}
nokia_clean_ddram();
// 60 66-1 72-2 78-3
while(SWM==1)
{
ref= d*1000+c*100+b*10+a;

Speaker=1;
led_r =0;
led_g =1;
tmstart (); // ds1820 start convert
tmrtemp (); // read temperature
N_hex=TEMBUF[0];
l= loopx();

Show(); // Write coordinate power ppm tem
graph(1); // Write Graph

nokia_gotoxy(60,5); // POSITION
if(d==0) nokia_gotoxy(66,5);
else Writh_Char(d,5);
if(c==0&&d==0)nokia_gotoxy(72,5);
else Writh_Char(c,5);
if(b==0&&c==0&&d==0)nokia_gotoxy(78,5);
else Writh_Char(b,5);
Writh_Char(a,5); // a
while(l>ref&& SWM==1)
{
Speaker=0;
led_r =1;
led_g =0;
nokia_clean_ddram();
dmsec(100);

nokia_gotoxy(6,1);
for(i=0; i<12; i++){
Writh_Graph(20,6);}

nokia_gotoxy(6,2); // POSITION

```

```
Writh_Char(32,5);           W
Writh_Char(10,5);          /  A
Writh_Char(27,5);         /, K
Writh_Char(23,5);         /, N
Writh_Char(18,5);         /  I
Writh_Char(23,5);         /  ;
Writh_Char(16,5);         /  ;
Writh_Char(64,5);         /, !
Writh_Char(63,5);         /,
Writh_Char(21,5);         /, L
Writh_Char(25,5);         /, P
Writh_Char(16,5);         // G           //ok

nokia_gotoxy(6,3);         // POSITION
Writh_Char(24,5);         // O
Writh_Char(31,5);         // V
Writh_Char(14,5);         // E
Writh_Char(27,5);         // R
Writh_Char(63,5);         //

if(d==0) Writh_Char(63,5);
else Writh_Char(d,5);
if(c==0&&d==0) Writh_Char(63,5);
else Writh_Char(c,5);
if(b==0&&c==0&&d==0) Writh_Char(63,5);
else Writh_Char(b,5);
Writh_Char(a,5);           // a
Writh_Char(51,5);         // p
Writh_Char(51,5);         // p
Writh_Char(48,5);         // m

nokia_gotoxy(6,4);
for(i=0; i<12; i++){
Writh_Graph(20,6);}

dmsec(400);
nokia_clean_ddram();
l= loopx();
}
}

void main()
{
unsigned char i;
led_r =1;
led_g =0;
nokia_init();
//Graphic();
dmsec(5000);

TH1 = 0xfd; // TH1
TR1 = 1;
for(l=0;l<5000;l++);
Initialize();
for(l=0;l<5000;l++);
dmsec(1000) ;

nokia_clean_ddram();
led_r =0;
led_g =1;

while(1)
{
```

```
nokia_clean_ddram();
led_r =0;
led_g =1;
Speaker=1;
while (SWM==0);
while (SWA==1)
{
count=0;

nokia_gotoxy(6,0);
for(i=0; i<12; i++){
Writh_Graph(20,6);}

nokia_gotoxy(0,2);
Writh_Graph(21,6);
nokia_gotoxy(0,3);
Writh_Graph(22,6);
nokia_gotoxy(0,4);
Writh_Graph(23,6);

nokia_gotoxy(6,5);
for(i=0; i<12; i++){
Writh_Graph(20,6);}

nokia_gotoxy(6,1); // POSITION
Writh_Char(63,5); //
Writh_Char(28,5); // S
Writh_Char(14,5); // E
Writh_Char(21,5); // L
Writh_Char(14,5); // E
Writh_Char(12,5); // C
Writh_Char(29,5); // T
Writh_Char(63,5); //
Writh_Char(22,5); // M
Writh_Char(24,5); // O
Writh_Char(13,5); // D
Writh_Char(14,5); // E

nokia_gotoxy(6,2); // POSITION
if(j==2)Writh_Char(83,5); //
else Writh_Char(63,5); //
Writh_Char(1,5); // 1
Writh_Char(63,5); //
Writh_Char(10,5); // A
Writh_Char(21,5); // L
Writh_Char(21,5); // L
Writh_Char(63,5); //
Writh_Char(31,5); // V
Writh_Char(10,5); // A
Writh_Char(21,5); // L
Writh_Char(30,5); // U
Writh_Char(14,5); // E

nokia_gotoxy(6,3); // POSITION
if(j==3)Writh_Char(83,5); //
else Writh_Char(63,5); //
Writh_Char(2,5); // 2
Writh_Char(63,5); //
Writh_Char(24,5); // O
Writh_Char(31,5); // V
Writh_Char(14,5); // E
Writh_Char(27,5); // R
Writh_Char(63,5); //
Writh_Char(2,5); // 2
Writh_Char(0,5); // 0
Writh_Char(0,5); // 0
```



```
Writh_Char(0,5); // 0
nokia_gotoxy(6,4); // POSITION
if(j==4)Writh_Char(83,5); //
else Writh_Char(63,5); //
Writh_Char(3,5); // 3
Writh_Char(63,5); //
Writh_Char(28,5); // S
Writh_Char(14,5); // E
Writh_Char(29,5); // T
Writh_Char(63,5); //
Writh_Char(10,5); // A
Writh_Char(21,5); // L
Writh_Char(10,5); // A
Writh_Char(27,5); // R
Writh_Char(22,5); // M
```

```
if( SWU==0 && 1<j && j<5 )
{
j=j-1;
if (j<2) j=4;
}
```

```
if( SWD==0 && 1<j && j<5 )
{
j=j+1;
if (j>4) j=2;
}
```

```
while(SWU==0 || SWD==0);
}
```

```
while(SWA==0);
if(j==2) model();
if(j==3) mode2();
if(j==4) mode3();
nokia_clean_ddram();
}
}
```



## 16-Bit/20-Bit Multi-Range ADC with 4-Bit Latch

### Features

- Delta-Sigma A/D Converter
  - Linearity Error: 0.0015%FS
  - Noise Free Resolution: 18-bits
- Bipolar/Unipolar Input Ranges
  - 25 mV, 55 mV, 100 mV, 1 V, 2.5 V and 5 V
- Chopper Stabilized Instrumentation Amplifier
- On-Chip Charge Pump Drive Circuitry
- 4-Bit Output Latch
- Simple three-wire serial interface
  - SPI™ and Microwire™ Compatible
  - Schmitt Trigger on Serial Clock (SCLK)
- Programmable Output Word Rates
  - 3.76 Hz to 202Hz (XIN = 32.768 kHz)
  - 11.47 Hz to 616 Hz (XIN = 100 kHz)
- Output Settles in One Conversion Cycle
- Simultaneous 50/60 Hz Noise Rejection
- System and Self-Calibration with Read/Write Registers
- Single +5 V Analog Supply  
+3.0 V or +5 V Digital Supply
- Low Power Mode Consumption: 4 mW
  - 1.8 mW in 1 V, 2.5 V, and 5 V Input Ranges

### General Description

The 16-bit CS5525 and the 20-bit CS5526 are highly integrated  $\Delta\Sigma$  A/D converters which include an instrumentation amplifier, a PGA (programmable gain amplifier), eight digital filters, and self and system calibration circuitry.

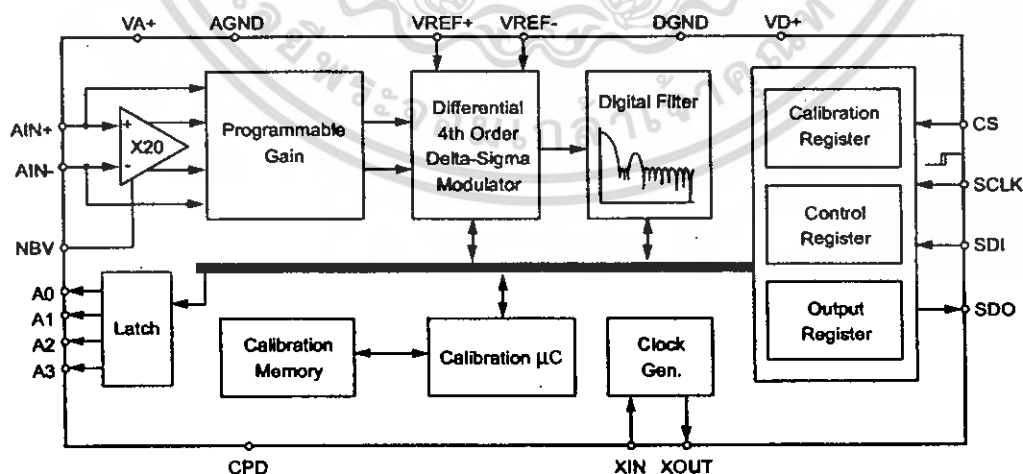
The converters are designed to provide their own negative supply which enables their on-chip instrumentation amplifiers to measure bipolar ground-referenced signals  $\leq \pm 100$  mV. By directly supplying NBV with -2.5 V and with VA+ at 5 V,  $\pm 2.5$  V signals (with respect to ground) can be measured.

The digital filters provide programmable output update rates between 3.76 Hz to 202 Hz (XIN = 32.768 kHz). Output word rates can be increased by approximately 3X by using XIN = 100 kHz. Each filter is designed to settle to full accuracy for its output update rate in one conversion cycle. The filters with word rates of 15 Hz or less (XIN = 32.768 kHz) reject both 50 and 60 Hz ( $\pm 3$  Hz) line interference simultaneously.

Low power, single conversion settling time, programmable output rates, and the ability to handle negative input signals make these single supply products ideal solutions for isolated and non-isolated applications.

### ORDERING INFORMATION

See page 26.



**ANALOG CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_{A+}, V_{D+} = 5\text{ V} \pm 5\%$ ;  $V_{REF+} = 2.5\text{ V}$ ,  $V_{REF-} = \text{AGND}$ ,  $NBV = -2.1\text{ V}$ ,  $F_{CLK} = 32.768\text{ kHz}$ ,  $OVR$  (Output Word Rate) = 15 Hz, Bipolar Mode, Input Range =  $\pm 100\text{ mV}$ ; See Notes 1 and 2.)

Parameter	CS5525			CS5526			Unit	
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
<b>Accuracy</b>								
Linearity Error	-	$\pm 0.0015$	$\pm 0.003$	-	$\pm 0.0007$	$\pm 0.0015$	%FS	
No Missing Codes	16	-	-	20	-	-	Bits	
Bipolar Offset (Note 3)	-	$\pm 1$	$\pm 2$	-	$\pm 16$	$\pm 32$	LSB	
Unipolar Offset (Note 3)	-	$\pm 2$	$\pm 4$	-	$\pm 32$	$\pm 64$	LSB	
Offset Drift (Notes 3 and 4)	-	20	-	-	20	-	nV/ $^\circ\text{C}$	
Bipolar Gain Error	-	$\pm 8$	$\pm 31$	-	$\pm 8$	$\pm 31$	ppm	
Unipolar Gain Error	-	$\pm 16$	$\pm 62$	-	$\pm 16$	$\pm 62$	ppm	
Gain Drift (Note 4)	-	1	3	-	1	3	ppm/ $^\circ\text{C}$	
<b>Voltage Reference Input</b>								
Range (VREF+) - (VREF-)	1	2.5	3.0	1	2.5	3.0	V	
Common Mode Rejection	dc	-	110	-	-	110	-	dB
	50, 60 Hz	-	130	-	-	130	-	dB
Input Capacitance	-	16	-	-	16	-	pF	
CVF Current (Note 5)	-	0.6	-	-	0.6	-	$\mu\text{AV}$	

- Notes:
1. Applies after system calibration at any temperature within  $-40\text{ }^\circ\text{C} \sim +85\text{ }^\circ\text{C}$ .
  2. Specifications guaranteed by design, characterization, and/or test.
  3. Specification applies to the device only and does not include any effects by external parasitic thermocouples. LSB =  $\text{LSB}_{16}$  for the CS5525, and  $\text{LSB}_{20}$  for the CS5526.
  4. Drift over specified temperature range after calibration at power-up at  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .
  5. See the section of the data sheet which discusses input models on page 15.

**RMS NOISE** (Notes 6 and 7)

Output Rate (Hz)	-3 dB Filter Frequency	Input Range, (Bipolar/Unipolar Mode)					
		25 mV	55 mV	100 mV	1 V	2.5 V	5 V
3.76	3.27	90 nV	90 nV	130 nV	1.0 $\mu\text{V}$	2.0 $\mu\text{V}$	4.0 $\mu\text{V}$
7.51	6.55	110 nV	130 nV	190 nV	1.5 $\mu\text{V}$	3.0 $\mu\text{V}$	7 $\mu\text{V}$
15.0	12.7	170 nV	200 nV	250 nV	2.0 $\mu\text{V}$	5.0 $\mu\text{V}$	10 $\mu\text{V}$
30.1	25.4	250 nV	300 nV	500 nV	4.0 $\mu\text{V}$	10 $\mu\text{V}$	15 $\mu\text{V}$
60.0	50.4	500 nV	1.0 $\mu\text{V}$	1.5 $\mu\text{V}$	15 $\mu\text{V}$	45 $\mu\text{V}$	85 $\mu\text{V}$
123.2 (Note 8)	103.6	2.0 $\mu\text{V}$	4.0 $\mu\text{V}$	8.0 $\mu\text{V}$	72 $\mu\text{V}$	190 $\mu\text{V}$	350 $\mu\text{V}$
168.9 (Note 8)	141.3	10 $\mu\text{V}$	20.0 $\mu\text{V}$	30 $\mu\text{V}$	340 $\mu\text{V}$	900 $\mu\text{V}$	2.0 mV
202.3 (Note 8)	169.2	30 $\mu\text{V}$	55 $\mu\text{V}$	105 $\mu\text{V}$	1.1 mV	2.4 mV	5.3 mV

- Notes:
6. Wideband noise aliased into the baseband. Referred to the input. Typical values shown for  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .
  7. For Peak-to-Peak Noise multiply by 6.6 for all ranges and output rates.
  8. For input ranges  $< 100\text{ mV}$  and output word rates  $> 60\text{ Hz}$ , 32.768 kHz chopping frequency is used. Specifications are subject to change without notice.

**ANALOG CHARACTERISTICS (Continued)**

Parameter		Min	Typ	Max	Unit	
<b>Analog Input</b>						
Common Mode + Signal on AIN+ or AIN- NBV = -1.8 to -2.5 V	Bipolar/Unipolar Mode Range = 25 mV, 55 mV, or 100 mV	-0.150	-	0.950	V	
	Range = 1 V, 2.5 V, or 5 V	NBV	-	VA+	V	
NBV = AGND	Range = 25 mV, 55 mV, or 100 mV	1.85	-	2.65	V	
	Range = 1 V, 2.5 V, or 5 V	0.0	-	VA+	V	
Common Mode Rejection	dc	-	120	-	dB	
	50, 60 Hz	-	120	-	dB	
Input Capacitance		-	10	-	pF	
CVF Current on AIN+ or AIN- (Note 5)	Range = 25 mV, 55 mV, or 100 mV	-	100	300	pA	
	Range = 1 V, 2.5 V, or 5 V	-	1.2	-	$\mu$ A/V	
<b>System Calibration Specifications</b>						
Full Scale Calibration Range	Bipolar/Unipolar Mode (Note 9)					
	25 mV		17.5	-	32.5	mV
	55 mV		38.5	-	71.5	mV
	100 mV		70	-	105	mV
	1 V		0.70	-	1.30	V
	2.5 V		1.75	-	3.25	V
Offset Calibration Range	Bipolar/Unipolar Mode					
	25 mV		-	-	$\pm$ 12.5	mV
	55 mV		-	-	$\pm$ 27.5	mV
	100 mV	(Note 10)	-	-	$\pm$ 50	mV
	1 V		-	-	$\pm$ 0.5	V
	2.5 V		-	-	$\pm$ 1.25	V
5 V		-	-	$\pm$ 2.50	V	
<b>Power Supplies</b>						
DC Power Supply Currents (Normal Mode)	$I_{A+}$	-	1.3	1.7	mA	
	$I_{D+}$	-	15	30	$\mu$ A	
	$I_{NBV}$	-	400	550	$\mu$ A	
Power Consumption	Normal Mode	(Note 11)	-	7.5	10	mW
	Low Power Mode		-	4.0	6.5	mW
	Standby		-	1.2	-	mW
	Sleep		-	500	-	$\mu$ W
Power Supply Rejection	dc Positive Supplies	-	95	-	dB	
	dc NBV	-	110	-	dB	

Notes: 9. The minimum Full Scale Calibration Range (FSCR) is limited by the maximum allowed gain register value (with margin). The maximum FSCR is limited by the  $\Delta\Sigma$  modulator's 1's density range.

10. The maximum full scale signal can be limited by saturation of circuitry within the internal signal path.

11. All outputs unloaded. All input CMOS levels.

**5 V DIGITAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_{A+}, V_{D+} = 5\text{ V} \pm 5\%$ ;  $GND = 0$ ;  
See Notes 2 and 12.)

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
High-Level Input Voltage All Pins Except XIN and SCLK XIN SCLK	$V_{IH}$	0.6 $V_{D+}$	-	-	V
		3.5	-	$V_{D+}$	V
		$(V_{D+}) - 0.45$	-	-	V
Low-Level Input Voltage All Pins Except XIN and SCLK XIN SCLK	$V_{IL}$	-	-	0.8	V
		0.0	-	1.5	V
		-	-	0.6	V
High-Level Output Voltage All Pins Except CPD and SDO (Note 13) CPD, $I_{out} = -4.0\text{ mA}$ SDO, $I_{out} = -5.0\text{ mA}$	$V_{OH}$	$(V_{A+}) - 1.0$	-	-	V
		$(V_{D+}) - 1.0$	-	-	V
		$(V_{D+}) - 1.0$	-	-	V
Low-Level Output Voltage All Pins Except CPD and SDO, $I_{out} = 1.6\text{ mA}$ CPD, $I_{out} = 2\text{ mA}$ SDO, $I_{out} = 5.0\text{ mA}$	$V_{OL}$	-	-	0.4	V
		-	-	0.4	V
		-	-	0.4	V
Input Leakage Current	$I_{in}$	-	$\pm 1$	$\pm 10$	$\mu\text{A}$
3-State Leakage Current	$I_{OZ}$	-	-	$\pm 10$	$\mu\text{A}$
Digital Output Pin Capacitance	$C_{out}$	-	9	-	pF

Notes: 12. All measurements performed under static conditions.

13.  $I_{out} = -100\text{ }\mu\text{A}$  unless stated otherwise. ( $V_{OH} = 2.4\text{ V}$  @  $I_{out} = -40\text{ }\mu\text{A}$ .)

**3.0 V DIGITAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_{A+} = 5\text{ V} \pm 5\%$ ;  $V_{D+} = 3.0\text{ V} \pm 10\%$ ;  $GND = 0$ ;  
See Notes 2 and 12.)

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
High-Level Input Voltage All Pins Except XIN and SCLK XIN SCLK	$V_{IH}$	0.6 $V_{D+}$	-	-	V
		0.54 $V_{A+}$	-	$V_{D+}$	V
		$(V_{D+}) - 0.45$	-	-	V
Low-Level Input Voltage All Pins Except XIN and SCLK XIN SCLK	$V_{IL}$	-	-	0.16 $V_{D+}$	V
		0.0	-	1.5	V
		-	-	0.6	V
High-Level Output Voltage All Pins Except CPD and SDO, $I_{out} = -400\text{ }\mu\text{A}$ CPD, $I_{out} = -4.0\text{ mA}$ SDO, $I_{out} = -5.0\text{ mA}$	$V_{OH}$	$(V_{A+}) - 0.3$	-	-	V
		$(V_{D+}) - 1.0$	-	-	V
		$(V_{D+}) - 1.0$	-	-	V
Low-Level Output Voltage All Pins Except CPD and SDO, $I_{out} = 400\text{ }\mu\text{A}$ CPD, $I_{out} = 2\text{ mA}$ SDO, $I_{out} = 5.0\text{ mA}$	$V_{OL}$	-	-	0.3	V
		-	-	0.4	V
		-	-	0.4	V
Input Leakage Current	$I_{in}$	-	$\pm 1$	$\pm 10$	$\mu\text{A}$
3-State Leakage Current	$I_{OZ}$	-	-	$\pm 10$	$\mu\text{A}$
Digital Output Pin Capacitance	$C_{out}$	-	9	-	pF

**DYNAMIC CHARACTERISTICS**

Parameter	Symbol	Ratio	Unit
Modulator Sampling Frequency	$f_s$	XIN/2	Hz
Filter Settling Time to 1/2 LSB (Full Scale Step)	$t_s$	$1/f_{out}$	s

**RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS (AGND, DGND = 0 V; See Note 14.)**

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	
DC Power Supplies	Positive Digital	VD+	2.7	5.0	5.25	V
	Positive Analog	VA+	4.75	5.0	5.25	V
Analog Reference Voltage	(VREF+) - (VREF-)	VRef <sub>diff</sub>	1.0	2.5	3.0	V
Negative Bias Voltage	NBV	-1.8	-2.1	-2.5	V	

Notes: 14. All voltages with respect to ground.

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (AGND, DGND = 0 V; See Note 14.)**

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit	
DC Power Supplies	(Note 15) Positive Digital	VD+	-0.3	+6.0	V
	Positive Analog	VA+	-0.3	+6.0	V
Negative Bias Voltage	Negative Potential	NBV	+0.3	-3.0	V
Input Current, Any Pin Except Supplies	(Note 16 and 17)	I <sub>IN</sub>	-	±10	mA
Output Current		I <sub>OUT</sub>	-	±25	mA
Power Dissipation	(Note 18)	PDN	-	500	mW
Analog Input Voltage	VREF pins	V <sub>INR</sub>	-0.3	(VA+) + 0.3	V
	AIN Pins	V <sub>INA</sub>	NBV - 0.3	(VA+) + 0.3	V
Digital Input Voltage		V <sub>IND</sub>	-0.3	(VD+) + 0.3	V
Ambient Operating Temperature		T <sub>A</sub>	-40	85	°C
Storage Temperature		T <sub>stg</sub>	-65	150	°C

Notes: 15. No pin should go more negative than NBV - 0.3 V.

16. Applies to all pins including continuous overvoltage conditions at the analog input (AIN) pins.

17. Transient current of up to 100 mA will not cause SCR latch-up. Maximum input current for a power supply pin is ±50 mA.

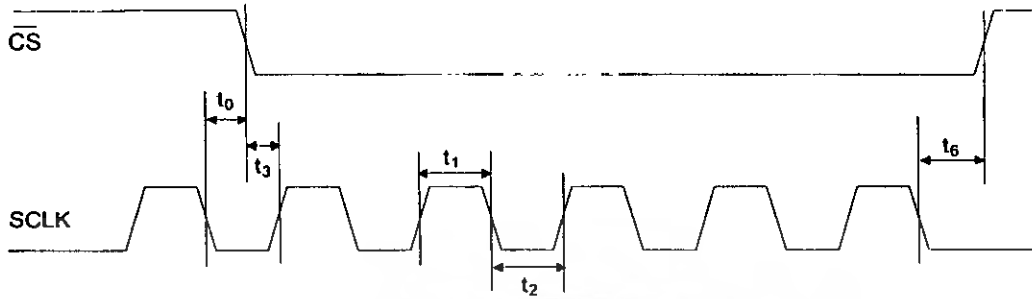
18. Total power dissipation, including all input currents and output currents.

**WARNING:** Operation at or beyond these limits may result in permanent damage to the device. Normal operation is not guaranteed at these extremes.

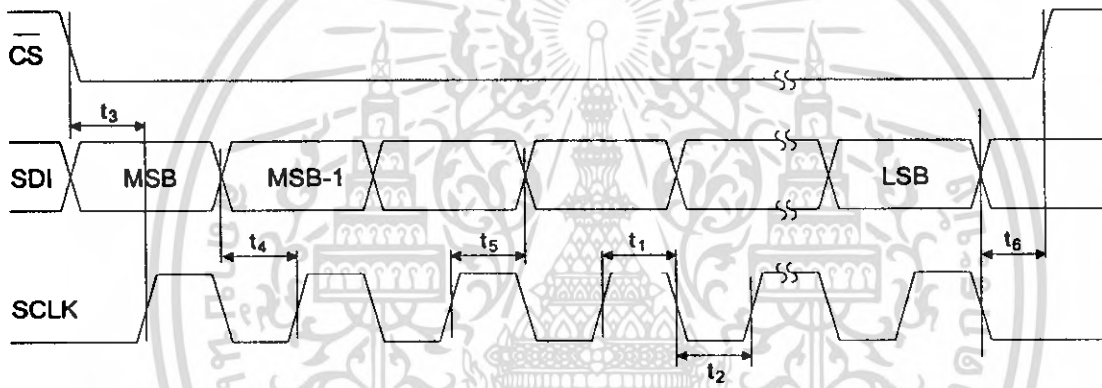
**SWITCHING CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_{A+} = 5\text{ V} \pm 5\%$ ;  $V_{D+} = 3.0\text{ V} \pm 10\%$  or  $5\text{ V} \pm 5\%$ ;  
Input Levels: Logic 0 = 0 V, Logic 1 =  $V_{D+}$ ;  $C_L = 50\text{ pF}$ .)

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Master Clock Frequency (Note 19)	XIN	30	32.768	36	kHz
		30	32.768	100	
Master Clock Duty Cycle		40	-	60	%
Rise Times (Note 20)	$t_{rise}$	-	-	1.0	$\mu\text{s}$
		-	-	100	$\mu\text{s}$
		-	50	-	ns
Fall Times (Note 20)	$t_{fall}$	-	-	1.0	$\mu\text{s}$
		-	-	100	$\mu\text{s}$
		-	50	-	ns
<b>Start-up</b>					
Oscillator Start-up Time XTAL = 32.768 kHz (Note 21)	$t_{ost}$	-	500	-	ms
Power-on Reset Period	$t_{por}$	-	1003	-	XIN cycles
<b>Serial Port Timing</b>					
Serial Clock Frequency	SCLK	0	-	2	MHz
SCLK Falling to CS Falling for continuous running SCLK (Note 22)	$t_0$	100	-	-	ns
Serial Clock	Pulse Width High	250	-	-	ns
	Pulse Width Low	250	-	-	ns
<b>SDI Write Timing</b>					
CS Enable to Valid Latch Clock	$t_3$	50	-	-	ns
Data Set-up Time prior to SCLK rising	$t_4$	50	-	-	ns
Data Hold Time After SCLK Rising	$t_5$	100	-	-	ns
SCLK Falling Prior to CS Disable	$t_6$	100	-	-	ns
<b>SDO Read Timing</b>					
CS to Data Valid	$t_7$	-	-	150	ns
SCLK Falling to New Data Bit	$t_8$	-	-	150	ns
CS Rising to SDO Hi-Z	$t_9$	-	-	150	ns

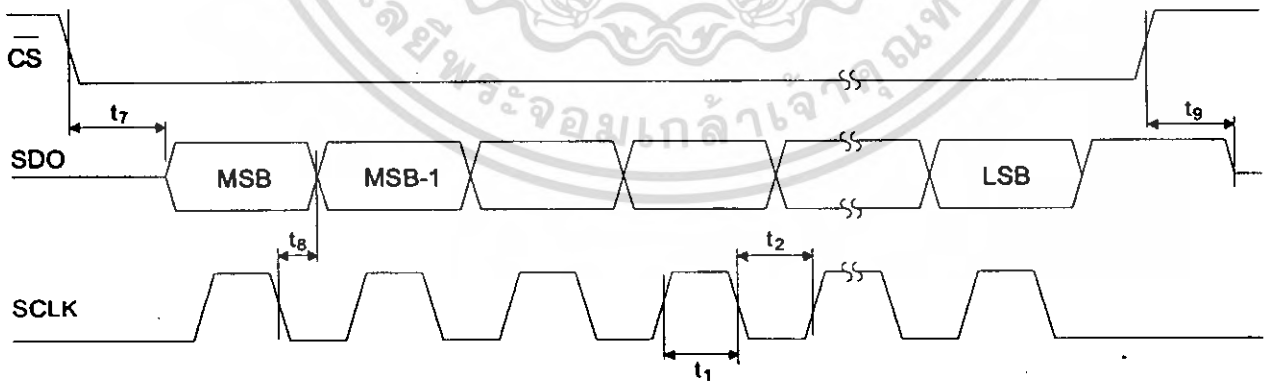
- Notes: 19. Device parameters are specified with a 32.768 kHz clock; however, clocks up to 100 kHz can be used for increased throughput.
20. Specified using 10% and 90% points on waveform of interest. Output loaded with 50 pF.
21. Oscillator start-up time varies with crystal parameters. This specification does not apply when using an external clock source.
22. Applicable when SCLK is continuously running.



**Continuous Running SCLK Timing (Not to Scale)**



**SDI Write Timing (Not to Scale)**



**SDO Read Timing (Not to Scale)**

**GENERAL DESCRIPTION**

The CS5525 and CS5526 are 16-bit and 20-bit pin compatible converters which include a chopper-stabilized instrumentation amplifier input, and an on-chip programmable gain amplifier. They are both optimized for measuring low-level unipolar or bipolar signals in process control and medical applications.

The CS5525/26 also include a fourth order delta-sigma modulator, a calibration microcontroller, eight digital filters, a 4-bit analog latch, and a serial port. The digital filters provide any one of eight different output update rates.

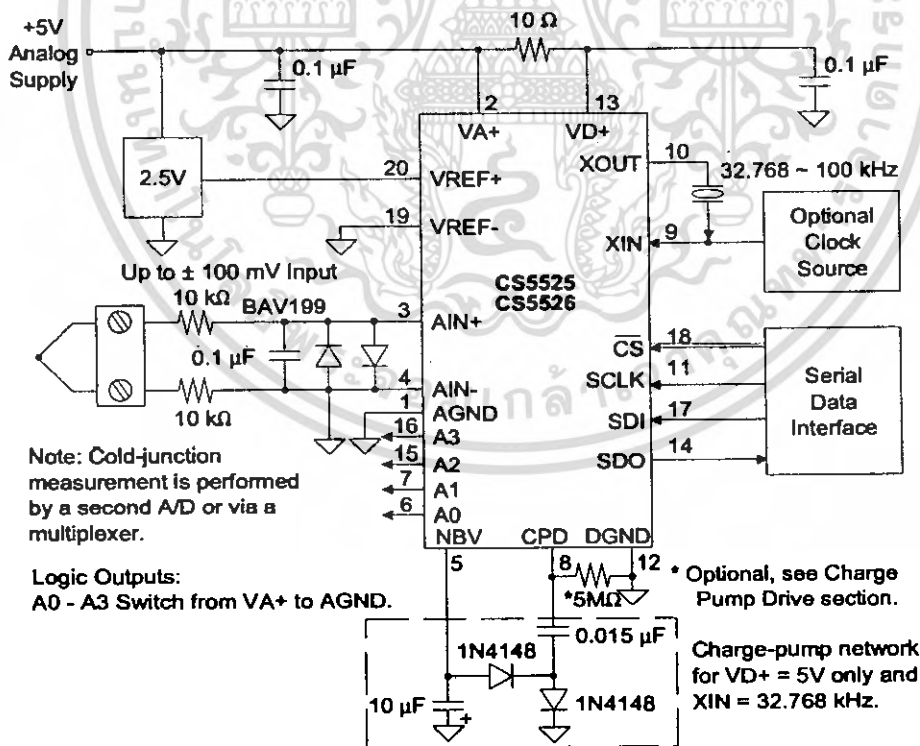
The CS5525/26 include a CPD (Charge Pump Drive) output (shown in Figure 1). CPD provides a negative bias voltage to the on-chip instrumentation amplifier when used with a combination of external diodes and capacitors. This enables the CS5525/26 to measure negative voltages with re-

spect to ground, making the converters ideal for thermocouple temperature measurements.

**Theory of Operation**

The CS5525/26 A/D converters are designed to operate from a single +5 V analog supply and provide several different input ranges. See the *Analog Characteristics* section on page 3 for details.

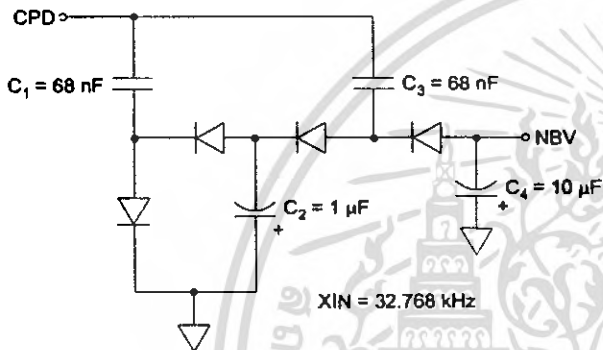
Figure 1 illustrates the CS5525/26 connected to generate their own negative bias supply using the on-chip CPD (Charge Pump Drive). This enables the CS5525/26 to measure ground referenced signals with magnitudes down to NBV (Negative Bias Voltage, approximately -2.1 V in this example). Figure 2 illustrates a charge pump circuit when the converters are powered from a +3.0 V digital supply. Alternatively, the negative bias supply can be generated from a negative supply voltage or a resistive divider as illustrated in Figure 3.



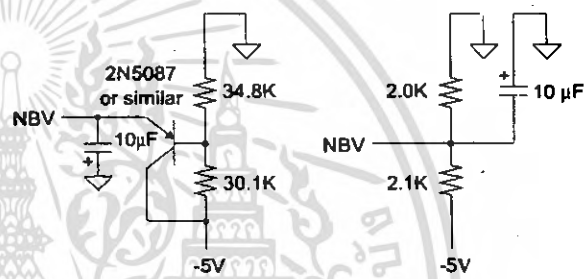
**Figure 1. CS5525/26 Configured to use on-chip charge pump to supply NBV.**

Figure 4 illustrates the CS5525/26 connected to measure ground referenced unipolar signals of a positive polarity using the 1 V, 2.5 V, and 5 V input voltage ranges on the converter. For the 25 mV, 55 mV, and 100 mV ranges the signal must have a common mode near +2.5 V (NBV = 0V).

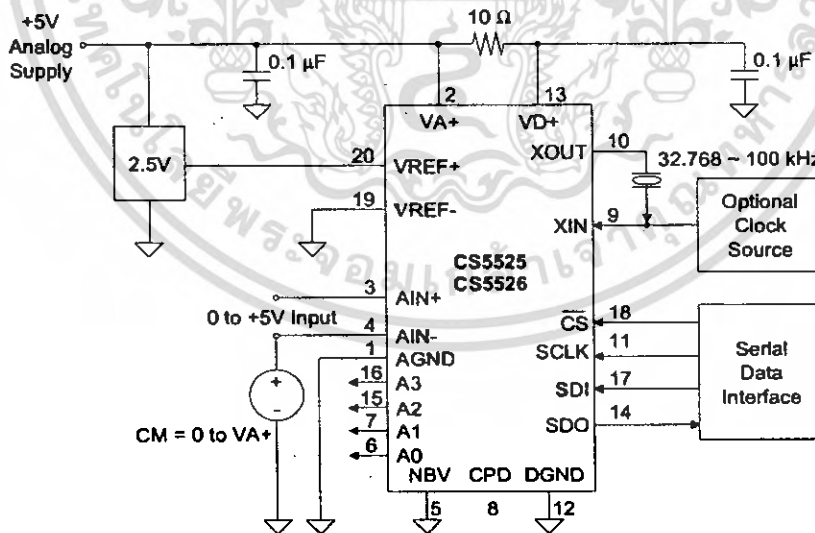
The CS5525/26 are optimized for the measurement of thermocouple outputs, but they are also well suited for the measurement of ratiometric bridge transducer outputs. Figure 5 illustrates the CS5525/26 connected to measure the output of a ratiometric differential bridge transducer while operating from a single +5 V supply.



**Figure 2. Charge Pump Drive Circuit for  $VD+ = 3\text{ V}$ .**



**Figure 3. Alternate NBV Circuits.**



**Figure 4. CS5525/26 Configured for ground-referenced Unipolar Signals.**

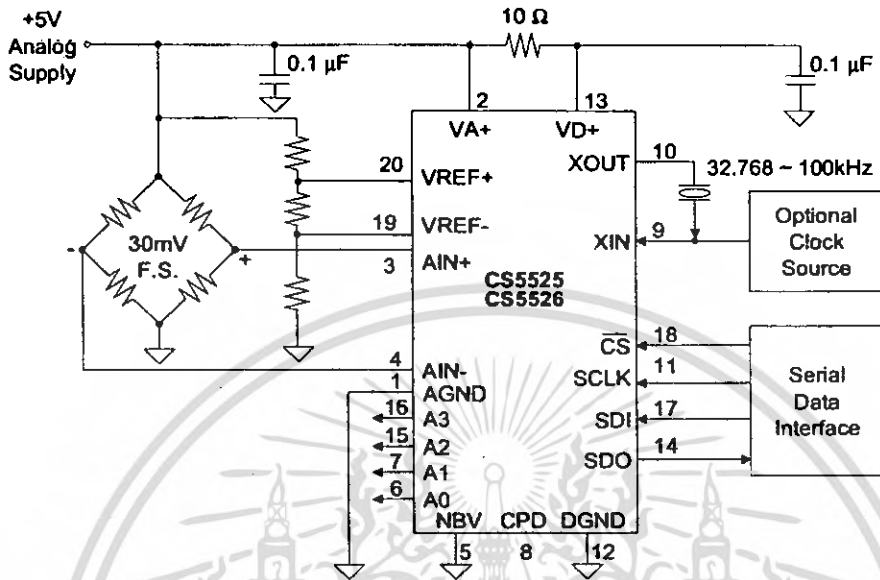


Figure 5. CS5525/26 Configured for Single Supply Bridge Measurement.

### System Initialization

When power to the CS5525/26 is applied, they are held in a reset condition until their 32.768 kHz oscillators have started and their start-up counter-timer elapses. Due to the high Q of a 32.768 kHz crystal, the oscillators take 400-600 ms to start. The converter's counter-timer counts no more than 1024 oscillator clock cycles to make sure the oscillator is fully stable. During this time-out period the serial port logic is reset and the RV (Reset Valid) bit in the configuration register is set. A reset can be initiated at any time by writing a logic 1 to the RS (Reset System) bit in the configuration register. This automatically sets the RV bit until the RS bit is written to logic 0, and the configuration register is read. After a reset, the on-chip registers are initialized to the following states and the converters are ready to perform conversions.

configuration register:	000040(H)
offset register:	000000(H)
gain register:	800000(H)

### Command Operation

The CS5525/26 include a microcontroller with five registers used to control the converter. Each register is 24-bits in length except the 8-bit command register (command, configuration, offset, gain, and conversion data). After a system initialization or reset, the serial port is initialized to the command mode and the converter stays in this mode until a valid 8-bit command is received (the first 8-bits into the serial port). Table 1 lists all the valid commands. Once a valid 8-bit command (a read or a write command word) is received and interpreted by the command register, the serial port enters the data mode. In data mode the next 24 serial clock pulses shift data either into or out of the serial port (72 serial clock pulses are needed if set-up register is selected). See Table 2 for configuring the CS5525/26.

### Reading/Writing On-Chip Registers

The CS5525/26's offset, gain, and configuration registers are read/writable while the conversion data register is read only.

To perform a read from a specific register, the R/W bit of the command word must be a logic 1. The SC, CC, and PS/R bits must be logic 0 and the CB (MSB) bit must be a logic 1. The register to be written is selected with the RSB2-RSB0 bits of the command word.

To perform a write to a specific register, the R/W bit of the command word must be a logic 0. The SC,

CC, and PS/R bits must be logic 0 and the CB (MSB) bit must be a logic 1. The register to be written is selected with the RSB2-RSB0 bits of the command word. Figure 6 illustrates the serial sequence necessary to write to, or read from the serial port.

If the Set-up Registers are chosen with the RSB2-RSB0 bits, the registers are read or written in the following sequence: Offset, Gain and Configuration. This is accomplished by following one 8-bit command word with three 24-bit data words for a total of 72 data bits.

### Command Register

D7(MSB)	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
CB	SC	CC	R/W	RSB2	RSB1	RSB0	PS/R

BIT	NAME	VALUE	FUNCTION
D7	Command Bit, CB	0	Null command (no operation). All command bits, including CB must be 0.
		1	Logic 1 for executable commands.
D6	Single Conversion, SC	0	Single Conversion not active.
		1	Perform a conversion.
D5	Continuous Conversions, CC	0	Continuous Conversions not active.
		1	Perform conversions continuously.
D4	Read/Write, R/W	0	Write to selected register.
		1	Read from selected register.
D3-D1	Register Select Bit, RSB2-RSB0	000	Offset Register
		001	Gain Register
		010	Configuration Register
		011	Conversion Data Register (read only)
		100	Set-up Registers (Offset, Gain, Configuration)
		101	Reserved
		110	Reserved
D0	Power Save/Run, PS/R	0	Run
		1	Power Save

**Table 1. Command Set**

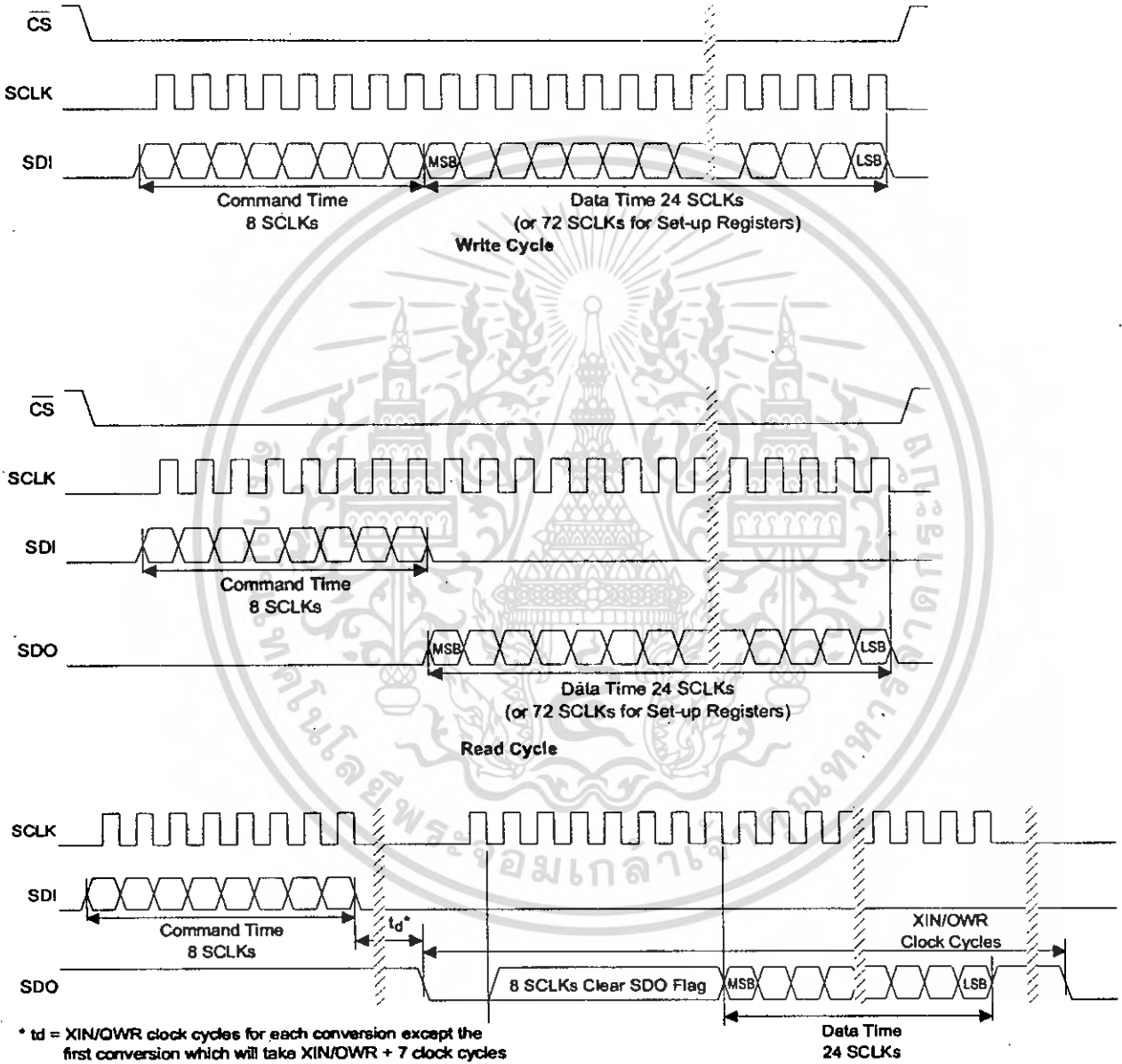
**Configuration Register**

D23(MSB)	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16	D15	D14	D13	D12
A3	A2	A1	A0	NU	CFS	NU	LPM	WR2	WR1	WR0	U/B
D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
G2	G1	G0	PD	RS	RV	PF	PSS	DF	CC2	CC1	CC0

BIT	NAME	VALUE		FUNCTION
D23-D20	Latch Outputs, A3-A0	0000	R*	Latch Output Pins A3-A0 mimic the D23-D20 Register bits.
D19	Not Used, NU	0	R	Must always be logic 0.
D18	Chop Frequency Select, CFS	0 1	R	256 Hz Amplifier chop frequency 32768 Hz Amplifier chop frequency
D17	Not Used, NU	0	R	Must always be logic 0.
D16	Low Power Mode, LPM	0 1	R	Normal Mode Reduced Power mode
D15-D13	Word Rate, WR2-0 Note: For XIN = 32.768kHz	000 001 010 011 100 101 110 111	R	15.0 Hz (2182 XIN cycles) 30.1 Hz (1090 XIN cycles) 60.0 Hz (546 XIN cycles) 123.2 Hz (266 XIN cycles) 168.9 Hz (194 XIN cycles) 202.3 Hz (162 XIN cycles) 3.76 Hz (8722 XIN cycles) 7.51 Hz (4362 XIN cycles)
D12	Unipolar/Bipolar, U/B	0 1	R	Bipolar Measurement mode Unipolar Measurement mode
D11-D9	Gain Bits, G2-G0	000 001 010 011 100 101 110/111	R	100 mV (assumes VREF = 2.5V) 55 mV 25 mV 1 V 5.0 V 2.5 V Not Used.
D8	Pump Disable, PD	0 1	R	Charge Pump Enabled For PD = 1, the CPD pin goes to a Hi-Z output state.
D7	Reset System, RS	0 1	R	Normal Operation Activate a Reset cycle. To return to Normal Operation write bit to zero.
D6	Reset Valid, RV	0 1	R	No reset has occurred or bit has been cleared (read only). Valid Reset has occurred. (Cleared when read.)
D5	Port Flag, PF	0 1	R	Port Flag mode inactive Port Flag mode active
D4	Power Save Select, PSS	0 1	R	Standby Mode (Oscillator active, allows quick power-up) Sleep Mode (Oscillator inactive)
D3	Done Flag, DF	0 1	R	Done Flag bit is cleared (read only). Calibration or Conversion cycle completed (read only).
D2-D0	Calibration Control Bits, CC2-CC0	000 001 010 011 100 101 110 111	R	Normal Operation (no calibration) Offset – Self-Calibration Gain – Self-Calibration Offset Self-Calibration followed by Gain Self-Calibration Not used. Offset – System Calibration Gain – System Calibration Not Used.

\* R indicates the bit value after the part is reset

**Table 2. Configuration Register**



**SDO Continuous Conversion Read (PF bit = 1)**  
**Figure 6. Command and Data Word Timing.**

**Analog Input**

Figure 7 illustrates a block diagram of the analog input signal path inside the CS5525/26. The front end consists of a chopper-stabilized instrumentation amplifier with 20X gain and a programmable gain section. The instrumentation amplifier is powered from VA+ and from the NBV (Negative Bias Voltage) pin allowing the CS5525/26 to be operated in either of two analog input configurations. The NBV pin can be biased to a negative voltage between -1.8 V and -2.5 V, or tied to AGND. The choice of the operating mode for the NBV voltage depends upon the input signal and its common mode voltage.

For the 25 mV, 55 mV, and 100 mV input ranges, the input signals to AIN+ and AIN- are amplified by the 20X instrumentation amplifier. For ground referenced signals with magnitudes less than 100 mV, the NBV pin should be biased with -1.8 V to -2.5 V. If NBV is tied between -1.8 V and -2.5 V, the (Common Mode + Signal) input on AIN+ and AIN- must stay between -0.150 V and 0.950 V to ensure proper operation. Alternatively, NBV can be tied to AGND where the input (Common Mode + Signal) on AIN+ and AIN- must stay between 1.85 V and 2.65 V to ensure that the amplifier operates properly.

For the 1 V, 2.5 V, and 5 V input ranges, the instrumentation amplifier is bypassed and the input signals are directly connected to the Programmable Gain block. With NBV tied between -1.8 V and -2.5 V, the (Common Mode + Signal) input on AIN+ and AIN- must stay between NBV and VA+.

Alternatively, NBV can be tied to AGND where the input (Common Mode + Signal) on AIN+ and AIN- pins can span the entire range between AGND and VA+.

The CS5525/26 can accommodate full scale ranges other than 25 mV, 55 mV, 100 mV, 1 V, 2.5 V and 5 V by performing a system calibration within the limits specified. See the **Calibration** section for more details. Another way to change the full scale range is to increase or to decrease the voltage reference to other than 2.5 V. See the **Voltage Reference** section for more details.

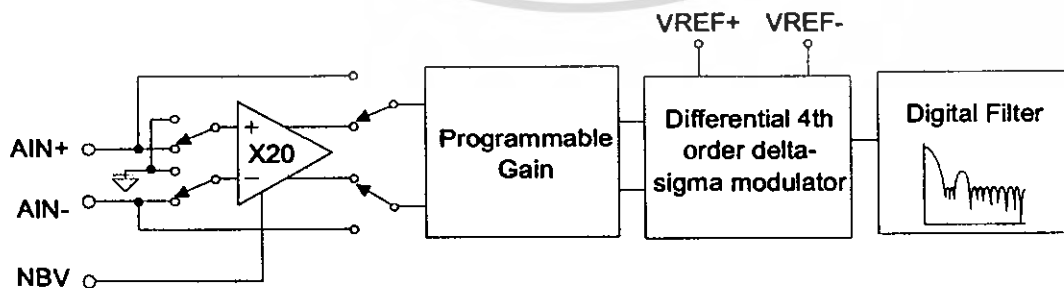
Three factors set the operating limits for the input span. They include: instrumentation amplifier saturation, modulator 1's density, and a lower reference voltage. When the 25 mV, 55 mV or 100 mV range is selected, the input signal (including the common mode voltage and the amplifier offset voltage) must not cause the 20X amplifier to saturate in either its input stage or output stage. To prevent saturation the absolute voltages on AIN+ and AIN- must stay within the limits specified (refer to the **'Analog Input'** table on page 3). Additionally, the differential output voltage of the amplifier must not exceed 2.8 V. The equation

$$ABS(VIN + VOS) \times 20 = 2.8 \text{ V}$$

defines the differential output limit, where

$$VIN = (AIN+) - (AIN-)$$

is the differential input voltage and VOS is the absolute maximum offset voltage for the instrumentation amplifier (VOS will not exceed 40 mV). If the



**Figure 7. Block Diagram of Analog Signal Path**

Input Range <sup>(1)</sup>	Max. Differential Output 20X Amplifier	VREF	Gain Factor	Δ-Σ Nominal <sup>(1)</sup> Differential Input	Δ-Σ <sup>(1)</sup> Max. Input
± 25 mV	2.8 V <sup>(2)</sup>	2.5V	5	± 0.5 V	± 0.75 V
± 55 mV	2.8 V <sup>(2)</sup>	2.5V	2.272727...	± 1.1 V	± 1.65 V
± 100 mV	2.8 V <sup>(2)</sup>	2.5V	1.25	± 2.0 V	± 3.0 V
± 1.0 V	-	2.5V	2.5	± 1.0 V	± 1.5 V
± 2.5 V	-	2.5V	1.0	± 2.5 V	± 5.0 V
± 5.0 V	-	2.5V	0.5	± 5.0 V	0V, VA+

Note: 1. The converter's actual input range, the delta-sigma's nominal full scale input, and the delta-sigma's maximum full scale input all scale directly with the value of the voltage reference. The values in the table assume a 2.5 V VREF voltage.

**Table 3. Relationship between Full Scale Input, Gain Factors, and Internal Analog Signal Limitations**

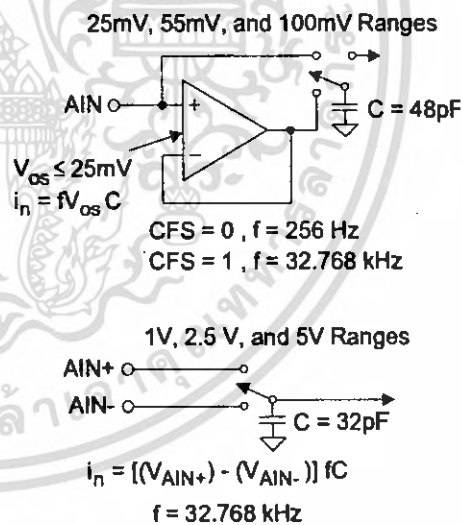
differential output voltage from the amplifier exceeds 2.8 V, the amplifier may saturate, which will cause a measurement error.

The input voltage into the modulator must not cause the modulator to exceed a low of 20 percent or a high of 80 percent 1's density. The nominal full scale input span of the modulator (from 30 percent to 70 percent 1's density) is determined by the VREF voltage divided by the Gain Factor. See Table 3 to determine if the CS5525/26 are being used properly. For example, in the 55 mV range to determine the nominal input voltage to the modulator, divide VREF (2.5 V) by the Gain Factor (2.2727).

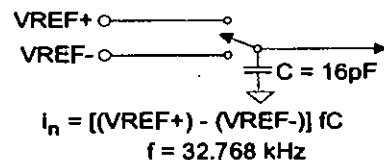
When a smaller voltage reference is used, the resulting code widths are smaller causing the converter output codes to exhibit more changing codes for a fixed amount of noise. Table 3 is based upon a VREF = 2.5 V. For other values of VREF, the values in Table 3 must be scaled accordingly.

Figure's 8 and 9 illustrate the input models for the AIN and VREF pins. The dynamic input current for each of the pins can be determined from the models shown and is dependent upon the setting of the CFS (Chop Frequency Select) bit. The effective input impedance for the AIN+ and AIN- pins remains constant for the three low level measurement ranges (25 mV, 55 mV, and 100 mV). The input current is lowest with the CFS bit cleared to logic 0.

Note: Residual noise appears in the converter's baseband for output word rates greater than 60 Hz if CFS is logic 0. By setting CFS to logic 1, the amplifier's chop frequency chops at 32768 Hz eliminating the residual noise, but increasing the current. Note that C=48pF is for input current modeling only. For physical input capacitance see 'Input Capacitance' specification under 'Analog Characteristics' on page 3.



**Figure 8. Input models for AIN+ and AIN- pins**



**Figure 9. Input model for VREF+ and VREF- pins.**

### Charge Pump Drive

The CPD (Charge Pump Drive) pin of the converters can be used with external components (shown in Figure 1) to develop an appropriate negative bias voltage for the NBV pin. When CPD is used to generate the NBV, the NBV voltage is regulated with an internal regulator loop referenced to VA+. Therefore, any change on VA+ results in a proportional change on NBV. With VA+ = 5 V, NBV's regulation is set proportional to VA+ at approximately -2.1 V.

Figure 3 illustrates a means of supplying NBV voltage from a -5 V supply. For ground based signals with the instrumentation amplifier engaged (when in the 25mV, 55mV, or 100mV ranges), the voltage on the NBV pin should at no time be less negative than -1.8 V or more negative than -2.5 V. To prevent excessive voltage stress to the chip the NBV voltage should not be more negative than -3.0 V.

The components in Figure 1 are the preferred components for the CPD filter. However, smaller capacitors can be used with acceptable results. The 10 μF ensures very low ripple on NBV. Intrinsic safety requirements prohibit the use of electrolytic capacitors. In this case, two 0.47 μF ceramic capacitors in parallel can be used.

The CPD pin itself is a tri-state output and enters tri-state whenever the converters are placed into the Sleep Mode, Standby Mode, or when the charge pump is disabled (when the Pump Disable bit, bit D8 in the configuration register, is set). Once in tri-state, the digital current can increase if this CPD output floats near 1/2 digital supply. To ensure the CPD pin stays near ground and to minimize the digital current, add a 5MΩ resistor between it and DGND (see Figure 1). If the resistor is left out, the digital supply current may increase from 2 μA to 10 μA.

### Voltage Reference

The CS5525/26 are specified for operation with a 2.5 V reference voltage between the VREF+ and VREF- pins of the devices. For a single-ended reference voltage, such as the LT1019-2.5, the reference's output is connected to the VREF+ pin of the CS5525/26. The ground reference for the LT1019-2.5 is connected to the VREF- pin.

The differential voltage between the VREF+ and VREF- can be any voltage from 1.0 V up to 3.0 V, however, the VREF- pin can not go below analog ground.

### Calibration

The CS5525/26 offer five different calibration functions including self calibration and system calibration. However, after the CS5525/26 are reset, they can perform measurements without being calibrated. In this case, the converters will utilize the initialized values of the on-chip registers (Gain = 1.0, Offset = 0.0) to calculate output words for the ±100 mV range. Any initial offset and gain errors in the internal circuitry of the chips will remain.

The gain and offset registers, which are used for both self and system calibration, are used to set the zero and full-scale points of the converter's transfer function. One LSB in the offset register is  $2^{-24}$  proportion of the input span (bipolar span is 2 times the unipolar span). The MSB in the offset register determines if the offset to be trimmed is positive or negative (0 positive, 1 negative). The converters can typically trim ±50 percent of the input span. The gain register spans from 0 to  $(2 - 2^{-23})$ . The decimal equivalent meaning of the gain register is

$$D = b_0 2^0 + b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + \dots + b_N 2^{-N} = \sum_{i=0}^N b_i 2^{-i}$$

where the binary numbers have a value of either zero or one ( $b_0$  corresponds to the MSB). Refer to Table 4 for details.

**Offset Register**

	MSB						LSB					
Register	Sign	$2^{-2}$	$2^{-3}$	$2^{-4}$	$2^{-5}$	$2^{-6}$	$2^{-19}$	$2^{-20}$	$2^{-21}$	$2^{-22}$	$2^{-23}$	$2^{-24}$
Reset (R)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

One LSB represents  $2^{-24}$  proportion of the input span (bipolar span is 2 times unipolar span)  
 Offset and data word bits align by MSB (bit MSB-4 of offset register changes bit MSB-4 of data)

**Gain Register**

	MSB						LSB					
Register	$2^0$	$2^{-1}$	$2^{-2}$	$2^{-3}$	$2^{-4}$	$2^{-5}$	$2^{-18}$	$2^{-19}$	$2^{-20}$	$2^{-21}$	$2^{-22}$	$2^{-23}$
Reset (R)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

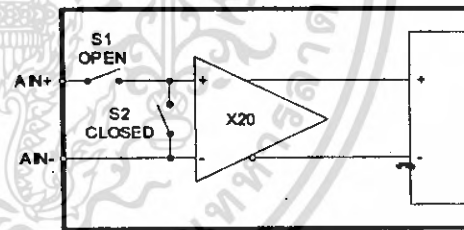
The gain register span is from 0 to  $(2 \cdot 2^{-23})$ . After Reset the MSB = 1, all other bits are 0.

**Table 4. Offset and Gain Registers**

The offset and gain calibration steps each take one conversion cycle to complete. At the end of the calibration step, the calibration control bits will be set back to logic 0, and the DF (Done Flag) bit will be set to a logic 1. For the combination self-calibration (CC2-CC0= 011; offset followed by gain), the calibration will take two conversion cycles to complete and will set the DF bit after the gain calibration is completed. The DF bit will be cleared any time the data register, the offset register, the gain register, or the setup register is read. Reading the configuration register alone will not clear the DF bit.

of the modulator are connected together and then routed to the VREF- pin as shown in Figure 11.

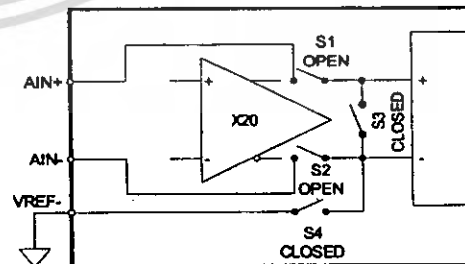
For self-calibration of gain, the differential inputs of the modulator are connected to VREF+ and



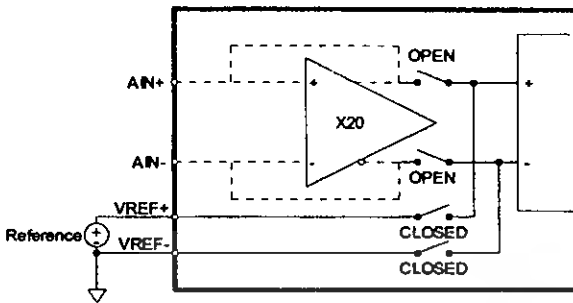
**Figure 10. Self Calibration of Offset (Low Ranges).**

**Self Calibration**

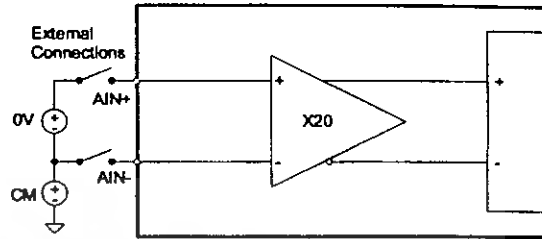
The CS5525/26 offer both self offset and self gain calibrations. For the self-calibration of offset in the 25 mV, 55 mV, and 100 mV ranges, the converter internally ties the inputs of the instrumentation amplifier together and routes them to the AIN- pin as shown in Figure 10. For proper self-calibration of offset to occur in the 25 mV, 55 mV, and 100 mV ranges, the AIN- pin must be at the proper common-mode-voltage (i.e.  $AIN- = 0V$ , NBV must be between -1.8 V to -2.5 V). For self-calibration of offset in the 1.0 V, 2.5 V, and 5 V ranges, the inputs



**Figure 11. Self Calibration of Offset (High Ranges).**



**Figure 12. Self Calibration of Gain (All Ranges).**

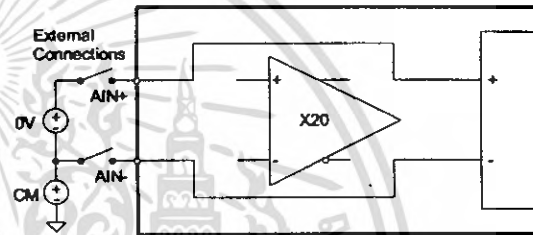


**Figure 13. System Calibration of Offset (Low Ranges).**

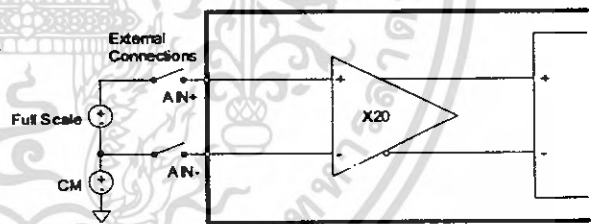
VREF- as shown in Figure 12. For any input range other than the 2.5 V range, the modulator gain error can not be completely calibrated out. This is due to the lack of an accurate full scale voltage internal to the chips. The 2.5 V range is an exception because the external reference voltage is 2.5 V nominal and is used as the full scale voltage. In addition, when self-calibration of gain is performed in the 25 mV, 55 mV, and 100 mV input ranges, the instrumentation amplifier's gain is not calibrated. These two factors can leave the converters with a gain error of up to  $\pm 20\%$  after self-calibration of gain. Therefore, a system gain is required to get better accuracy, except for the 2.5 V range.

**System Calibration**

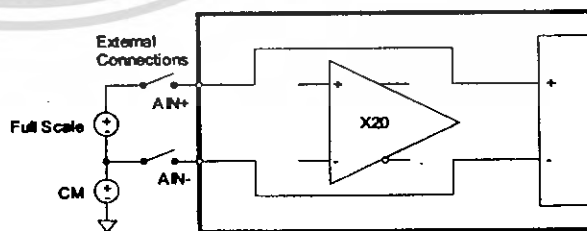
For the system calibration functions, the user must supply the converters calibration signals which represent ground and full scale. When a system offset calibration is performed, a ground reference signal must be applied to the converter. See Figures 13 and 14. As shown in Figures 15 and 16, the user must input a signal representing the positive full scale point to perform a system gain calibration. In either case, the calibration signals must be within the specified calibration limits for each specific calibration step (refer to the System Calibration Specifications).



**Figure 14. System Calibration of Offset (High Ranges).**



**Figure 15. System Calibration of Gain (Low Ranges)**



**Figure 16. System Calibration of Gain (High Ranges).**

Assuming a system can provide two known voltages, equations can allow the user to manually compute the calibration register's values based on two uncalibrated conversions. The offset and gain calibration registers are used to adjust a typical conversion as follows:

$$Rc = (Ru + Co \gg 4) * Cg / 2^{23}$$

Calibration can be performed using the following equations:

$$Co = (Rc0/G - Ru0) \ll 4$$

$$Cg = 2^{23} * G$$

where  $G = (Rc1 - Rc0)/(Ru1 - Ru0)$ .

*Note: Uncalibrated conversions imply that the gain and offset registers are at default {gain register = 0x800000 (Hex) and offset register = 0x000000 (Hex)}.*

The variables are defined below.

- V0 = First calibration voltage
- V1 = Second calibration voltage (greater than V0)
- Ru = Result of any uncalibrated conversion
- Ru0 = Result of uncalibrated conversion V0 (20-bit integer or 2's complement)
- Ru1 = Result of uncalibrated conversion of V1 (20-bit integer or 2's complement)
- Rc = Result of any conversion
- Rc0 = Desired calibration result of converting V0 (20-bit integer or 2's complement)
- Rc1 = Desired calibration result of converting V1 (20-bit integer or 2's complement)
- Co = Offset calibration register value (24-bit 2's complement)
- Cg = Gain calibration register value (24-bit integer)
- >> = The shift right operator (e.g.  $x \gg 2$  is  $x$  shifted right 2 bits)
- << = The shift left operator (e.g.  $x \ll 2$  is  $x$  shifted left 2 bits)

*Note: The shift operators are used here to align the decimal points of words of various lengths. Data to the right of the decimal point may be used in the calculations shown. For the CS5525 all conversion results (Ru, Rc...) are 16 bits instead*

*of 20 bits. To get the equations to work correctly pad the 16 bit results with four zeros (on the right).*

### Calibration Tips

Calibration steps are performed at the output word rate selected by the WR2-WR0 bits of the configuration register. Since higher word rates result in conversion words with more peak-to-peak noise, calibration should be performed at lower output word rates. Also, to minimize digital noise near the devices, the user should wait for each calibration step to be completed before reading or writing to the serial port.

For maximum accuracy, calibrations should be performed for offset and gain for each gain setting (selected by changing the G2-G0 bits of the configuration register). And if factory calibration is performed using the system calibration capabilities of the CS5525/26, the offset and gain register contents can be read by the system microcontroller and recorded in EEPROM. These same calibration words can then be uploaded into the offset and gain registers of the converters when power is first applied to the system, or when the gain range is changed.

Two final tips include two ways to determine when calibration is complete: 1) wait for SDO to fall. It falls to logic 0 if the PF (Port Flag) bit of the configuration register is set to logic 1; or 2) poll the DF (Done Flag) bit in the configuration register which is set at completion of calibration. Whichever method is used, the calibration control bits (CC2-CC0) will return to logic 0 upon completion of any calibration.

### Limitations in Calibration Range

System calibration can be limited by signal headroom in the analog signal path inside the chip as discussed under the *Analog Input* section of this data sheet. System calibration can also be limited by the intrinsic gain errors of the instrumentation amplifier and the modulator. For gain calibrations

the input signal can be reduced to the point in which the gain register reaches its upper limit of 2.0 (decimal) [FFFFFF Hex] (this is most likely to occur with an input signal approximately 1/2 the nominal range). Alternatively, the input signal can be increased to a point in which the modulator reaches its one's density upper limit of 80% (this is most likely to occur with an input signal approximately 1.5 times the nominal range). Also, for full scale inputs larger than the nominal full scale value of the range selected, there is some voltage at which the various internal circuits may saturate due to limited amplifier headroom (this is most likely to occur on the 100 mV range setting when NBV = -1.8 V).

### Analog Output Latch Pins

The A3-A0 pins of the converters mimic the D23-D20 bits of the configuration register. A3-A0 can be used to control multiplexers and other logic functions outside the converter. The outputs can sink or source at least 1 mA, but it is recommended to limit drive currents to less than 20  $\mu$ A to reduce self-heating of the chip. These outputs are powered from VA+, hence, their output voltage for a logic 1 will be limited to the VA+ voltage.

### Serial Port Interface

The CS5525/26 serial interface consist of four pins, SCLK, SDO, SDI, and  $\overline{CS}$ . The  $\overline{CS}$  pin must be held low (logic 0) before SCLK transitions can be recognized by the port logic. The SDO output will be held at high impedance any time  $\overline{CS}$  is a logic 1.

If the  $\overline{CS}$  pin is tied low, the port can function as a three wire interface.

The SCLK input is designed with a Schmitt-trigger input to allow an optoisolator with slower rise and fall times to directly drive the pin.

The SDO output is capable of sinking or sourcing up to 5 mA to directly drive an optoisolator LED. SDO will have less than a 400 mV loss in the drive voltage when sinking or sourcing 5 mA.

### Serial Port Initialization

The serial port is initialized to the command mode whenever a power-on reset is performed inside the converter, when the port initialization sequence is completed, or whenever a command byte, data word sequence is completed. The port initialization sequence involves clocking 15 (or more) bytes of all 1's, followed by one byte with the following bit contents (11111110). This sequence places the chips in the command mode where it waits for a valid command.

### Performing Conversions (With PF bit = 0)

Setting the SC (Single Conversion) bit of the command word to a logic 1 with the CB bit = 1, all other command bits = 0, the CS5525/CS5526 will perform one conversion. At the completion of the conversion the DF (Done Flag) bit of the configuration register will be set to a logic 1. The user can read the configuration register to determine if the DF bit is set. If DF has been set, a command can be issued to read the conversion data register to obtain the conversion data word. The DF bit of the configuration register will be cleared to logic 0 when the data register, the gain register, the offset register, or the set-up registers are read. Reading only the configuration register will not clear the DF flag bit.

If an SC command is issued to the converters while they are performing a conversion, the filter will restart a convolution cycle to perform a new conversion.

### Performing Conversions (With PF bit = 1)

Setting the PF bit of the configuration register to a logic 1 enables the SDO output pin to behave as a flag signal whenever conversions are completed. This eliminates the need for the user to read the DF flag bit of the configuration register to determine if the conversion data word is available.

If the SC (Single Conversion) command is issued (SC = 1, CB = 1, all other command bits = 0) the SDO pin will go low at the completion of a conver-

sion. The user would then issue 8 SCLKs (with SDI = logic 0) to clear the SDO flag. Upon the falling edge of the 8th SCLK, the SDO pin will present the first bit (MSB) of the conversion word. 24 SCLKs (high, then low) are required to read the conversion word from the port. The user must not give an explicit command to read the conversion data register when the PF bit is set to logic 1. The data conversion word must be read before a new command can be entered (if the SC command is used with PF = 1).

If the CC (Continuous Conversion) command is issued (CC = 1, CB = 1, all other command bits = 0) the SDO pin will go low at the completion of a conversion. The user would then issue 8 SCLKs (with SDI = logic 0) to clear the SDO flag. Upon the falling edge of the 8th SCLK, the SDO pin will present the first bit (MSB) of the conversion word. 24 SCLKs (high, then low) are required to read the conversion word from the port. The user must not give an explicit command to read the conversion data register when the PF bit is set to logic 1. When operating in the continuous conversion mode, the user need not read every conversion. If the user does nothing after SDO falls, SDO will rise one XIN clock cycle before the next conversion word is available and then fall again to signal that another conversion word is available. If the user begins to clear the SDO flag and read the conversion data, this action must be finished before the conversion cycle which is occurring in the background is complete if the user wants to be able to read the new conversion data.

To exit the continuous conversion mode, issue any valid command to the SDI input when the SDO flag falls. If a CC command is issued to the converter while it is performing a conversion, the filter will restart a convolution cycle to perform a new conversion.

**Output Word Rate Selection**

The WR2-WR0 bits of the configuration register set the output conversion word rate of the converters as shown in Table 2. The word rates indicated in the table assume a master clock of 32.768 kHz. Upon reset the converters are set to operate with an output word rate of 15.0 Hz.

**Clock Generator**

The CS5525/26 include a gate which can be connected with an external crystal to provide the master clock for the chips. They are designed to operate using a low-cost 32.768 kHz “tuning fork” type crystal. One lead of the crystal should be connected to XIN and the other to XOUT. Lead lengths should be minimized to reduce stray capacitance.

The converters will operate with an external (CMOS compatible) clock with frequencies up to three times the typical crystal frequency of 32.768 kHz. Figure 17 details the converter’s performance at increased clock rates.

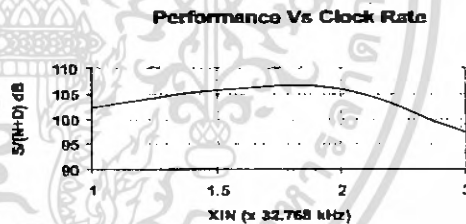
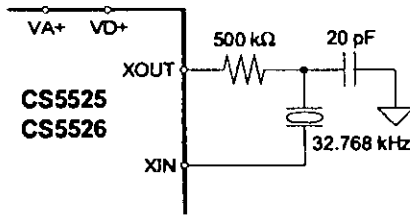


Figure 17. High Speed Clock Performance

The 32.768 kHz crystal is normally specified as a time-keeping crystal with tight specifications for both initial frequency and for drift over temperature. To maintain excellent frequency stability, these crystals are specified only over limited operating temperature ranges (i.e. -10 °C to +60 °C). However, applications with the CS5525/26 don’t generally require such tight tolerances. When 32.768 kHz surface mount crystals are used, it is recommended that protection components, an external resistor and capacitor as shown in Figure 18, be used.



**Figure 18. Surface Mount Crystal Connection Diagram**

**Digital Filter**

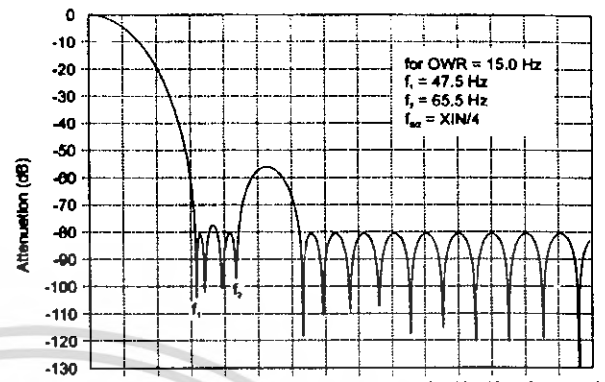
The CS5525/26 have eight different linear phase digital filters which set the output word rates (OWRs) as stated in Table 2. These rates assume that XIN is 32.768 kHz. Each of the filters has a magnitude response similar to that shown in Figure 19. The filters are optimized to settle to full accuracy every conversion and yield better than 80 dB rejection for both 50 and 60 Hz with output word rates at or below 15.0 Hz.

The converter's digital filters scale with XIN. For example with an output word rate of 15 Hz, the filter's corner frequency is typically 12.7 Hz. If XIN is increased to 64.536 kHz the OWR doubles and the filter's corner frequency moves to 25.4 Hz.

**Output Coding**

The CS5525/26 output data in binary format when operating in unipolar mode and in two's complement when operating in bipolar mode.

The output conversion word is 24 bits, or three bytes long, as shown in Table 5. The MSB is output



**Figure 19. Filter Response (Normalized to Output Word Rate = 1)**

first followed by the rest of the data bits in descending order. For the CS5525 the last byte is composed of bits D7-D4, which are always logic 1; D3-D2, which are always logic 0; and bits D1-D0 which are the two flag bits. For the CS5526 the last byte includes data bits D7-D4, D3-D2 which are always logic 0 and the two flag bits.

The OF (Overrange Flag) bit is set to a logic 1 any time the input signal is: 1) more positive than positive full scale, 2) more negative than zero (unipolar mode), 3) more negative than negative full scale (bipolar mode). It is cleared back to logic 0 whenever a conversion word occurs which is not overranged.

The OD (Oscillation Detect) bit is set to a logic 1 any time that an oscillatory condition is detected in the modulator. This does not occur under normal operating conditions, but may occur whenever the input

**Output Conversion Data CS5525 (16 bits + flags)**

D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
MSB	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	LSB	1	1	1	1	0	0	OD	OF

**Output Conversion Data CS5526 (20 bits + flags)**

D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
MSB	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	LSB	0	0	OD	OF

**Table 5. Data Conversion Word**

**CS5525 16-Bit Output Coding**
**CS5526 20-Bit Output Coding**

Unipolar Input Voltage	Offset Binary	Bipolar Input Voltage	Two's Complement	Unipolar Input Voltage	Offset Binary	Bipolar Input Voltage	Two's Complement
>(VFS-1.5 LSB)	FFFF	>(VFS-1.5 LSB)	7FFF	>(VFS-1.5 LSB)	FFFFF	>(VFS-1.5 LSB)	7FFFF
VFS-1.5 LSB	FFFF ----- FFFE	VFS-1.5 LSB	7FFF ----- 7FFE	VFS-1.5 LSB	FFFFF ----- FFFEE	VFS-1.5 LSB	7FFFF ----- 7FFFE
VFS/2-0.5 LSB	8000 ----- 7FFF	-0.5 LSB	0000 ----- FFFF	VFS/2-0.5 LSB	80000 ----- 7FFFF	-0.5 LSB	00000 ----- FFFFF
+0.5 LSB	0001 ----- 0000	-VFS+0.5 LSB	8001 ----- 8000	+0.5 LSB	00001 ----- 00000	-VFS+0.5 LSB	80001 ----- 80000
<(+0.5 LSB)	0000	<(-VFS+0.5 LSB)	8000	<(+0.5 LSB)	00000	<(-VFS+0.5 LSB)	80000

Note: VFS in the table equals the voltage between ground and full scale for any of the unipolar gain ranges, or the voltage between  $\pm$  full scale for any of the bipolar gain ranges. See text about error flags under overrange conditions.

**Table 6. 5525/26 Output Coding**

to the converters is extremely overranged. If the OD bit is set, the conversion data bits can be completely erroneous. The OD flag bit will be cleared to logic 0 when the modulator becomes stable. Table 6 illustrates the output coding for the CS5525/26.

### Power Consumption

The CS5525/26 accommodate four power consumption modes: normal, low power, standby, and sleep. The normal mode, the default mode, is entered after a power-on-reset and typically consumes 7.5 mW. The low power mode is an alternate mode that reduces the consumed power to 4 mW. It is entered by setting bit D16 (the low power mode bit) in the configuration register to logic 1. Since the converter's noise performance improves with increased power consumption, slightly degraded noise or linearity performance should be expected in the low power mode. The final two modes are referred to as the power save modes. They power down most of the analog portion of the chips and stop filter convolutions. The power save modes are entered whenever the PS/ $\bar{R}$  bit and the CB bit of the

command word are set to logic 1. The particular power save mode entered depends on state of bit D4 (the Power Save Select bit) in the configuration register. If D4 is logic 0, the converters enters the standby mode reducing the power consumption to 1.2mW. The standby mode leaves the oscillator and the on-chip bias generator running. This allows the converters to quickly return to the normal or low power mode once the PS/ $\bar{R}$  bit is set back to a logic 1. If D4 in the configuration register and CB and PS/ $\bar{R}$  in the command word are set to logic 1, the sleep mode is entered reducing the consumed power to less than 500  $\mu$ W. Since the sleep mode disables the oscillator, approximately a 500ms oscillator start-up delay period is required before returning to the normal or low power mode.

### PCB Layout

The CS5525/26 should be placed entirely over an analog ground plane with both the AGND and DGND pins of the device connected to the analog plane. Place the analog-digital plane split immediately adjacent to the digital portion of the chip.

**PIN DESCRIPTIONS**

ANALOG GROUND	AGND	1	20	VREF+ VOLTAGE REFERENCE INPUT
POSITIVE ANALOG POWER	VA+	2	19	VREF- VOLTAGE REFERENCE INPUT
DIFFERENTIAL ANALOG INPUT	AIN+	3	18	$\overline{CS}$ CHIP SELECT
DIFFERENTIAL ANALOG INPUT	AIN-	4	17	SDI SERIAL DATA INPUT
NEGATIVE BIAS VOLTAGE	NBV	5	16	A3 LOGIC OUTPUT
LOGIC OUTPUT	A0	6	15	A2 LOGIC OUTPUT
LOGIC OUTPUT	A1	7	14	SDO SERIAL DATA OUTPUT
CHARGE PUMP DRIVE	CPD	8	13	VD+ POSITIVE DIGITAL POWER
CRYSTAL IN	XIN	9	12	DGND DIGITAL GROUND
CRYSTAL OUT	XOUT	10	11	SCLK SERIAL CLOCK INPUT

**Clock Generator**
**XIN; XOUT - Crystal In; Crystal Out, Pins 9, 10.**

A gate inside the chip is connected to these pins and can be used with a crystal to provide the master clock for the device. Alternatively, an external (CMOS compatible) clock can be supplied into the XIN pin to provide the master clock for the device.

**Control Pins and Serial Data I/O**
 **$\overline{CS}$  - Chip Select, Pin 18.**

When active low, the port will recognize SCLK. When high the SDO pin will output a high impedance state.  $\overline{CS}$  should be changed when SCLK = 0.

**SDI - Serial Data Input, Pin 17.**

SDI is the input pin of the serial input port. Data will be input at a rate determined by SCLK.

**SDO - Serial Data Output, Pin 14.**

SDO is the serial data output. It will output a high impedance state if  $\overline{CS} = 1$ .

**SCLK - Serial Clock Input, Pin 11.**

A clock signal on this pin determines the input/output rate of the data for the SDI/SDO pins respectively. This input is a Schmitt trigger to allow for slow rise time signals. The SCLK pin will recognize clocks only when  $\overline{CS}$  is low.

**A0, A1, A2, A3 - Logic Outputs, Pin 6, 7, 15, 16.**

The logic states of A0-A3 mimic the states of the D20-D23 bits of the configuration register. Logic Output 0 = AGND, and Logic Output 1 = VA+.

**Measurement and Reference Inputs****AIN+, AIN-** - Differential Analog Input, Pins 3, 4.

Differential input pins into the device.

**VREF+, VREF-** - Voltage Reference Input, Pins 20, 19.

Fully differential inputs which establish the voltage reference for the on-chip modulator.

**NBV** - Negative Bias Voltage, Pin 5.

Input pin to supply the negative supply voltage for the 20X gain instrumentation amplifier. May be tied to AGND if AIN+ and AIN- inputs are centered around +2.5 V; or it may be tied to a negative supply voltage (-2.1 V typical) to allow the amplifier to handle low level signals more negative than ground.

**CPD** - Charge Pump Drive, Pin 8.

Square wave output used to provide energy for the charge pump.

**Power Supply Connections****VA+** - Positive Analog Power, Pin 2.

Positive analog supply voltage. Nominally +5 V.

**VD+** - Positive Digital Power, Pin 13.

Positive digital supply voltage. Nominally +3.0 V or +5 V.

**AGND** - Analog Ground, Pin 1.

Analog Ground.

**DGND** - Digital Ground, Pin 12.

Digital Ground.

**SPECIFICATION DEFINITIONS**
**Linearity Error**

The deviation of a code from a straight line which connects the two endpoints of the A/D Converter transfer function. One endpoint is located 1/2 LSB below the first code transition and the other endpoint is located 1/2 LSB beyond the code transition to all ones. Units in percent of full-scale.

**Differential Nonlinearity**

The deviation of a code's width from the ideal width. Units in LSBs.

**Full Scale Error**

The deviation of the last code transition from the ideal  $[(VREF+) - (VREF-)] - 3/2 \text{ LSB}$ . Units are in LSBs.

**Unipolar Offset**

The deviation of the first code transition from the ideal (1/2 LSB above the voltage on the AIN- pin.). When in unipolar mode (U/B bit = 1). Units are in LSBs.

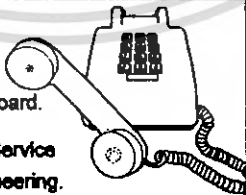
**Bipolar Offset**

The deviation of the mid-scale transition (111...111 to 000...000) from the ideal (1/2 LSB below the voltage on the AIN- pin.). When in bipolar mode (U/B bit = 0). Units are in LSBs.

**ORDERING GUIDE**

Model Number	Linearity Error (Max)	Temperature Range	Package
CS5525-AP	±0.003%	-40°C to +85°C	20-pin 0.3" Plastic DIP
CS5525-AS	±0.003%	-40°C to +85°C	20-pin 0.2" Plastic SSOP
CS5526-BP	±0.0015%	-40°C to +85°C	20-pin 0.3" Plastic DIP
CS5526-BS	±0.0015%	-40°C to +85°C	20-pin 0.2" Plastic SSOP

**Schematic & Layout Review Service**



Confirm Optimum  
Schematic & Layout  
Before Building Your Board.

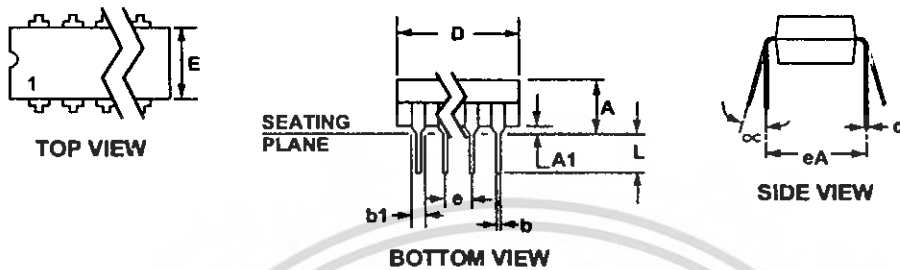
For Our Free Review Service  
Call Applications Engineering.

**Call: ( 5 1 2 ) 4 4 5 - 7 2 2 2**

SPI™ is a trademark of Motorola Inc., Microwire™ is a trademark of National Semiconductor Corp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

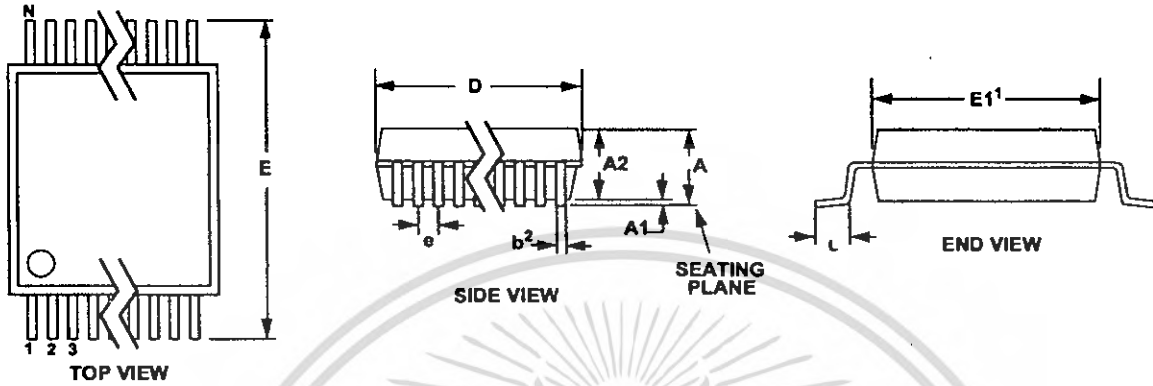
## 20 PIN PLASTIC (PDIP) PACKAGE DRAWING



DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.155	0.180	3.94	4.57
A1	0.020	0.040	0.51	1.02
b	0.015	0.022	0.38	0.56
b1	0.050	0.065	1.27	1.65
c	0.008	0.015	0.20	0.38
D	0.960	1.040	24.38	26.42
E	0.240	0.260	6.10	6.60
e	0.095	0.105	2.41	2.67
eA	0.300	0.325	7.62	8.25
L	0.125	0.150	3.18	3.81
oc	0°	15°	0°	15°

- Notes:
1. Positional tolerance of leads shall be within 0.25 mm (0.010 in.) at maximum material condition, in relation to seating plane and each other.
  2. Dimension eA to center of leads when formed parallel.
  3. Dimension E does not include mold flash.

**20 PIN SSOP PACKAGE DRAWING**



DIM	INCHES		MILLIMETERS		NOTE
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	—	0.084	—	2.13	
A1	0.002	0.010	0.05	0.25	
A2	0.064	0.074	1.62	1.88	
b	0.009	0.015	0.22	0.38	2,3
D	0.272	0.295	6.90	7.50	1
E	0.291	0.323	7.40	8.20	
E1	0.197	0.220	5.00	5.60	1
e	0.024	0.027	0.61	0.69	
L	0.025	0.040	0.63	1.03	
$\alpha$	0°	8°	0°	8°	

- Notes:
1. "D" and "E1" are reference datums and do not include mold flash or protrusions, but do include mold mismatch and are measured at the parting line, mold flash or protrusions shall not exceed 0.20 mm per side.
  2. Dimension "b" does not include dambar protrusion/intrusion. Allowable dambar protrusion shall be 0.13 mm total in excess of "b" dimension at maximum material condition. Dambar intrusion shall not reduce dimension "b" by more than 0.07 mm at least material condition.
  3. These dimensions apply to the flat section of the lead between 0.10 and 0.25 mm from lead tips.

# TL431/TL431A

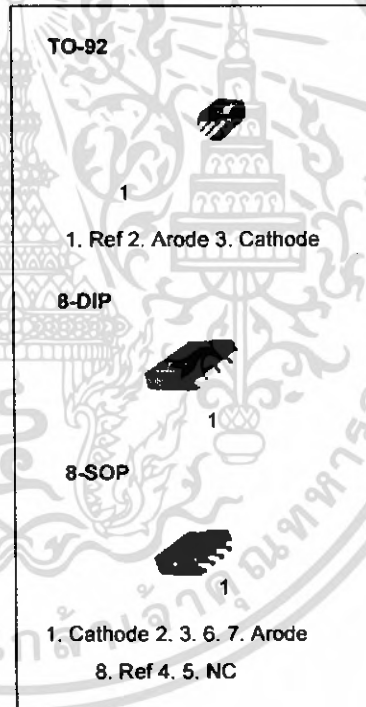
## Programmable Shunt Regulator

### Features

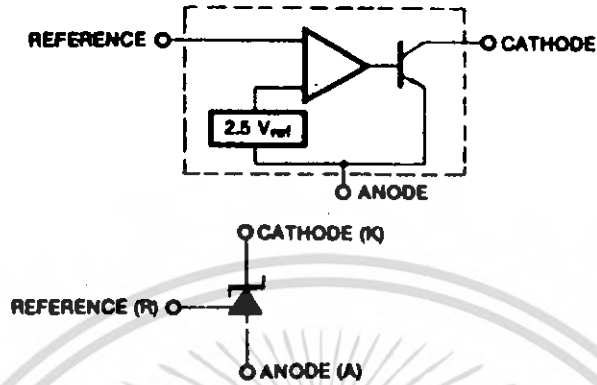
- Programmable output voltage to 36 volts
- Low dynamic output impedance 0.20 typical
- Sink current capability of 1.0 to 100mA
- Equivalent full-range temperature coefficient of 50ppm/°C typical
- Temperature compensated for operation over full rated operating temperature range
- Low output noise voltage
- Fast turn-on response

### Description

The TL431/TL431A are three-terminal adjustable regulator series with a guaranteed thermal stability over applicable temperature ranges. The output voltage may be set to any value between VREF (approximately 2.5 volts) and 36 volts with two external resistors. These devices have a typical dynamic output impedance of 0.2W. Active output circuitry provides a very sharp turn-on characteristic, making these devices excel as replacement for zener diodes in many applications.



## Internal Block Diagram



## Absolute Maximum Ratings

(Operating temperature range applies unless otherwise specified.)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Cathode Voltage	VKA	37	V
Cathode current Range (Continuous)	IKA	-100 ~ + 150	mA
Reference Input Current Range	IREF	0.05 ~ + 10	mA
Power Dissipation D, LP Suffix Package	PD	770	mW
P Suffix Package		1000	
Operating Temperature Range	TOPR	-25 ~ + 85	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ + 150	°C

## Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Cathode Voltage	VKA	VREF	-	36	V
Cathode Current	IKA	1.0	-	100	mA

## Electrical Characteristics

(T<sub>A</sub> = +25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	TL431			TL431A			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Reference Input Voltage	V <sub>REF</sub>	V <sub>K</sub> A=V <sub>REF</sub> , I <sub>K</sub> A=10mA	2.440	2.495	2.550	2.470	2.495	2.520	V	
Deviation of Reference Input Voltage Over-Temperature (Note 1)	$\Delta V_{REF}/\Delta T$	V <sub>K</sub> A=V <sub>REF</sub> , I <sub>K</sub> A=10mA T <sub>MIN</sub> ≤T≤T <sub>MAX</sub>	-	4.5	17	-	4.5	17	mV	
Ratio of Change in Reference Input Voltage to the Change in Cathode Voltage	$\Delta V_{REF}/\Delta V_{KA}$	I <sub>K</sub> A=10mA	$\Delta V_{KA}=10V-V_{REF}$	-	-10	-2.7	-	-1.0	-2.7	mV/V
			$\Delta V_{KA}=36V-10V$	-	-0.5	-2.0	-	-0.5	-2.0	
Reference Input Current	I <sub>REF</sub>	I <sub>K</sub> A=10mA, R <sub>1</sub> =10KΩ, R <sub>2</sub> =∞	-	1.5	4	-	1.5	4	μA	
Deviation of Reference Input Current Over Full Temperature Range	$\Delta I_{REF}/\Delta T$	I <sub>K</sub> A=10mA, R <sub>1</sub> =10KΩ, R <sub>2</sub> =∞ T <sub>A</sub> =Full Range	-	0.4	1.2	-	0.4	1.2	μA	
Minimum Cathode Current for Regulation	I <sub>K</sub> (MIN)	V <sub>K</sub> A=V <sub>REF</sub>	-	0.45	1.0	-	0.45	1.0	mA	
Off - Stage Cathode Current	I <sub>K</sub> (OFF)	V <sub>K</sub> A=36V, V <sub>REF</sub> =0	-	0.05	1.0	-	0.05	1.0	μA	
Dynamic Impedance (Note 2)	Z <sub>KA</sub>	V <sub>K</sub> A=V <sub>REF</sub> , I <sub>K</sub> A=1 to 100mA f ≥ 1.0KHz	-	0.15	0.5	-	0.15	0.5	Ω	

• T<sub>MIN</sub> = -25 °C, T<sub>MAX</sub> = +85 °C

Test Circuits

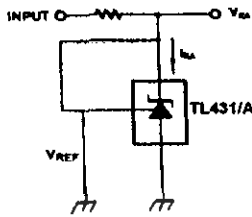


Figure 1. Test Circuit for  $V_{KA}=V_{REF}$

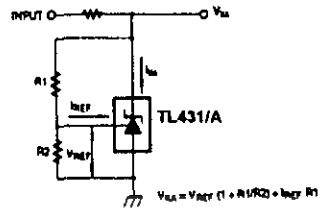


Figure 2. Test Circuit for  $V_{KA} > V_{REF}$

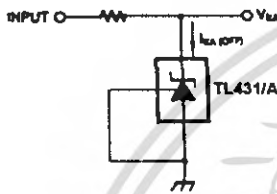
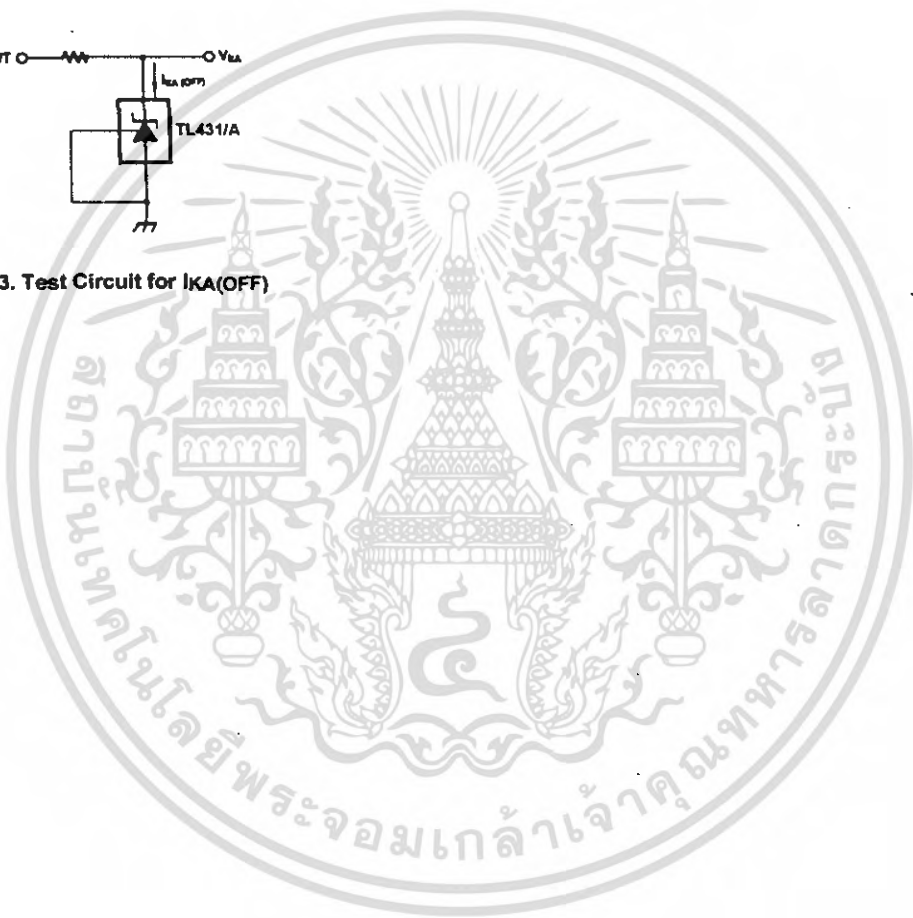


Figure 3. Test Circuit for  $I_{KA}(OFF)$



## Typical Performance Characteristics

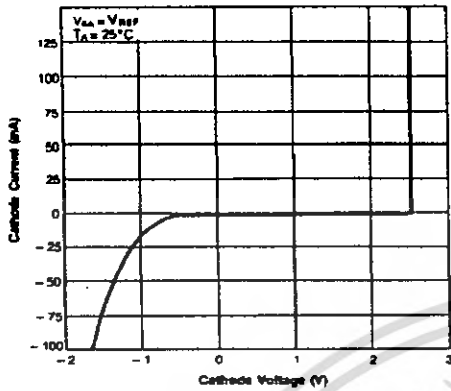


Figure 1. Cathode Current vs. Cathode Voltage

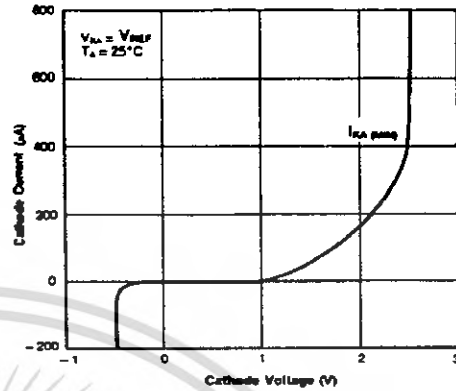


Figure 2. Cathode Current vs. Cathode Voltage

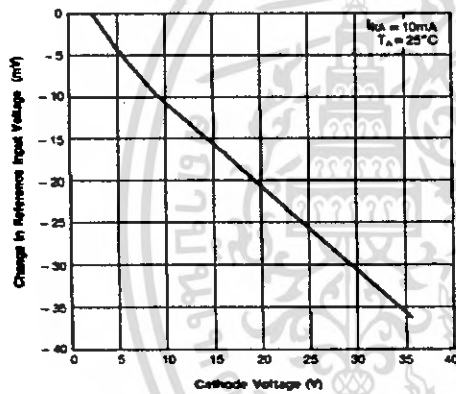


Figure 3. Change in Reference Input Voltage vs. Cathode Voltage

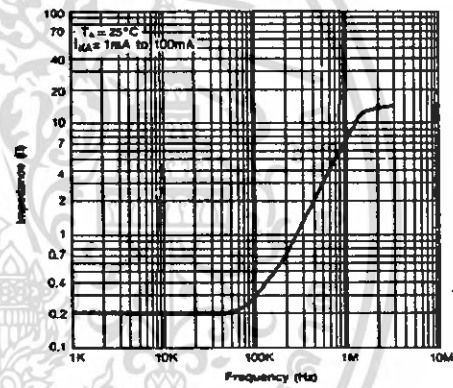


Figure 4. Dynamic Impedance Frequency

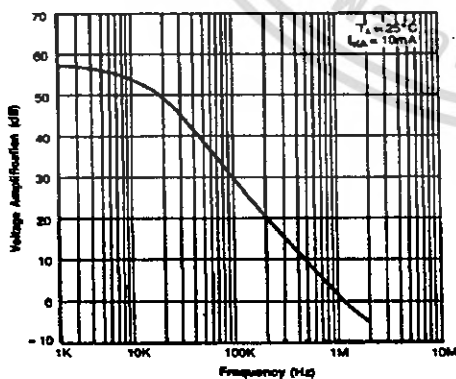


Figure 5. Small Signal Voltage Amplification vs. Frequency

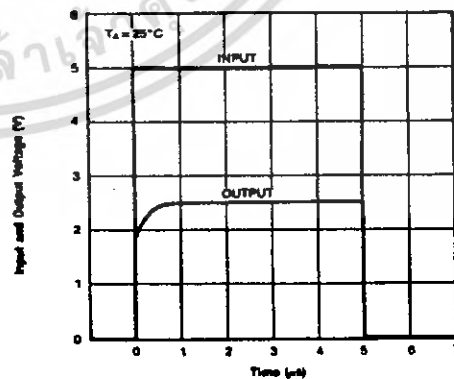


Figure 6. Pulse Response

Typical Application

$$V_O = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)V_{ref}$$

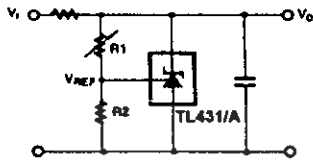


Figure 10. Shunt Regulator

$$V_O = V_{ref} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

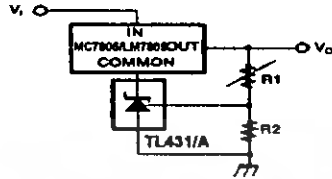


Figure 11. Output Control for Three-Terminal Fixed Regulator

$$V_O = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)V_{ref}$$

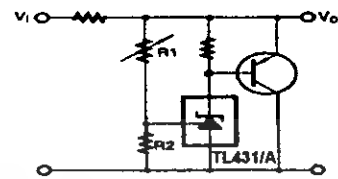


Figure 12. High Current Shunt Regulator

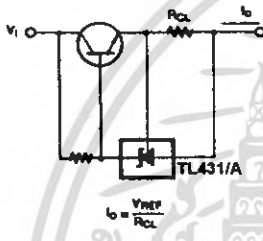


Figure 13. Current Limit or Current Source

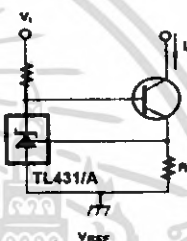
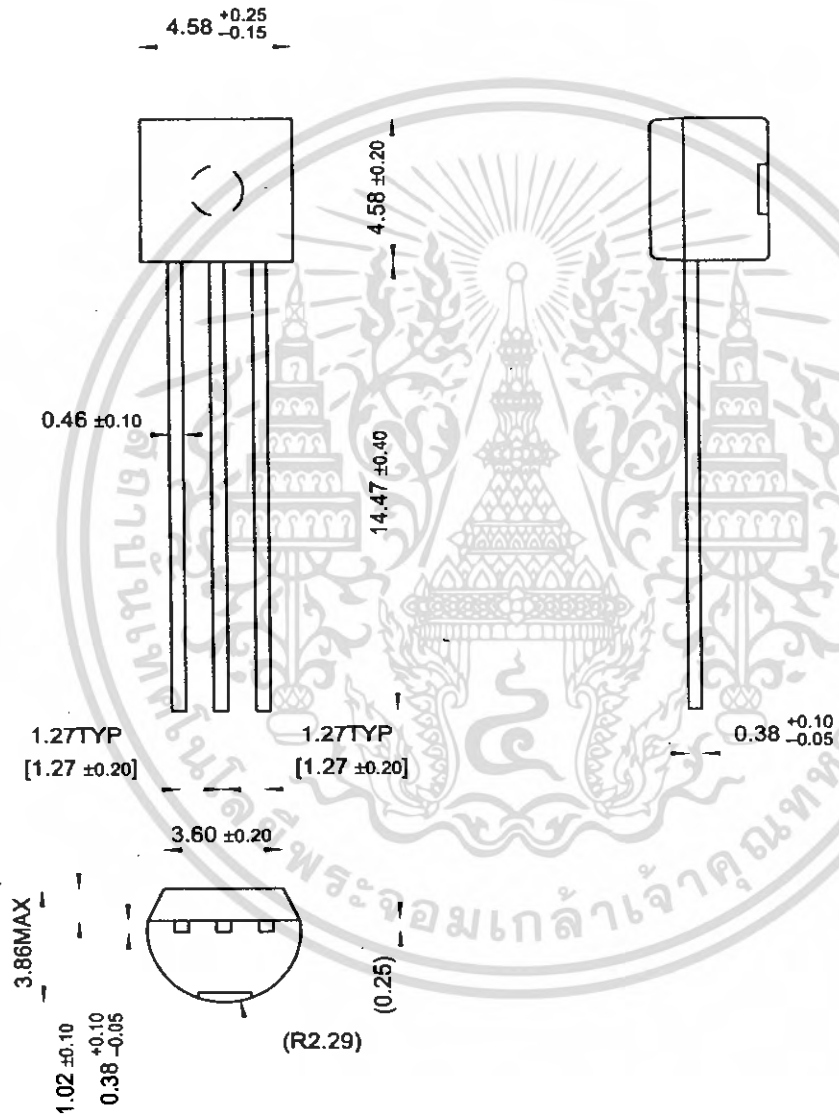


Figure 14. Constant-Current Sink

**Mechanical Dimensions**

**Package**

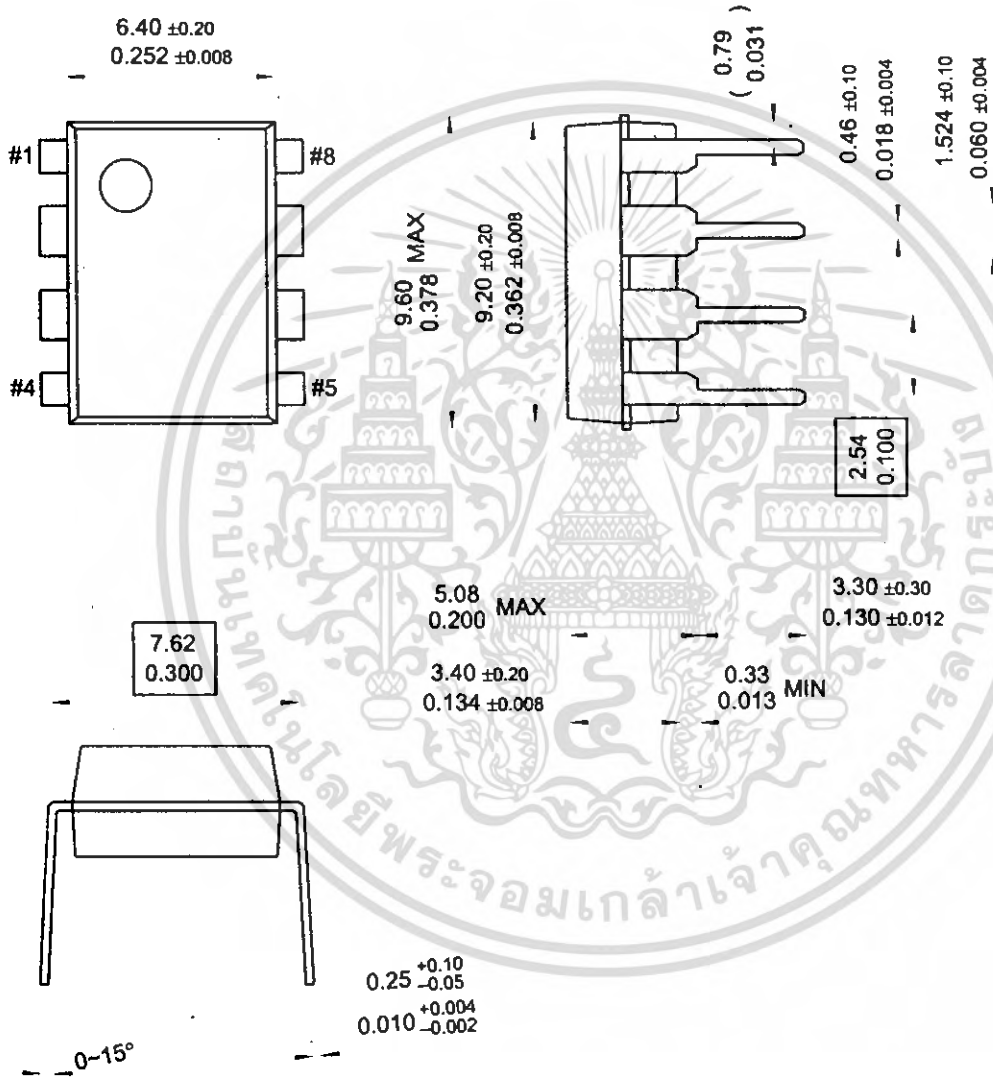
**TO-92**



Mechanical Dimensions (Continued)

Package

8-DIP





## Ordering Information

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature
TL431ACLP	1%	TO-92	-25 ~ + 85 °C
TL431ACD		8-SOP	
TL431CLP	2%	TO-92	
TL431CP		8-DIP	
TL431CD		8-SOP	







**DISCLAIMER**

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

**LIFE SUPPORT POLICY**

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

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

[www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com)

4/17/01 0.0m 001  
Stock#DS0000000x  
© 2001 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DATA SHEET



**PCD8544**  
48 □ 84 pixels matrix LCD  
controller/driver

Product specification  
File under Integrated Circuits, IC17

1999 Apr 12

Philips  
Semiconductors



**PHILIPS**

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

48  $\square$  84 pixels matrix LCD controller/driver

## PCD8544

<b>CONTENTS</b>	<b>8</b>	<b>INSTRUCTIONS</b>
1	<b>FEATURES</b>	8.1 Initialization
2	<b>GENERAL DESCRIPTION</b>	8.2 Reset function
3	<b>APPLICATIONS</b>	8.3 Function set
4	<b>ORDERING INFORMATION</b>	8.3.1 Bit PD
5	<b>BLOCK DIAGRAM</b>	8.3.2 Bit V
6	<b>PINNING</b>	8.3.3 Bit H
6.1	Pin functions	8.4 Display control
6.1.1	R0 to R47 row driver outputs	8.4.1 Bits D and E
6.1.2	C0 to C83 column driver outputs	8.5 Set Y address of RAM
6.1.3	V <sub>SS1</sub> , V <sub>SS2</sub> : negative power supply rails	8.6 Set X address of RAM
6.1.4	V <sub>DD1</sub> , V <sub>DD2</sub> : positive power supply rails	8.7 Temperature control
6.1.5	V <sub>LCD1</sub> , V <sub>LCD2</sub> : LCD power supply	8.8 Bias value
6.1.6	T1, T2, T3 and T4: test pads	8.9 Set V <sub>OP</sub> value
6.1.7	SDIN: serial data line	9 <b>LIMITING VALUES</b>
6.1.8	SCLK: serial clock line	10 <b>HANDLING</b>
6.1.9	D/ $\bar{C}$ : mode select	11 <b>DC CHARACTERISTICS</b>
6.1.10	$\overline{SCE}$ : chip enable	12 <b>AC CHARACTERISTICS</b>
6.1.11	OSC: oscillator	12.1 Serial interface
6.1.12	RES: reset	12.2 Reset
7	<b>FUNCTIONAL DESCRIPTION</b>	13 <b>APPLICATION INFORMATION</b>
7.1	Oscillator	14 <b>BONDING PAD LOCATIONS</b>
7.2	Address Counter (AC)	14.1 Bonding pad information
7.3	Display Data RAM (DDRAM)	14.2 Bonding pad location
7.4	Timing generator	15 <b>TRAY INFORMATION</b>
7.5	Display address counter	16 <b>DEFINITIONS</b>
7.6	LCD row and column drivers	17 <b>LIFE SUPPORT APPLICATIONS</b>
7.7	Addressing	
7.7.1	Data structure	
7.8	Temperature compensation	

48  $\square$  84 pixels matrix LCD controller/driver

## PCD8544

**1 FEATURES**

- Single chip LCD controller/driver
- 48 row, 84 column outputs
- Display data RAM 48  $\square$  84 bits
- On-chip:
  - Generation of LCD supply voltage (external supply also possible)
  - Generation of intermediate LCD bias voltages
  - Oscillator requires no external components (external clock also possible).
- External  $\overline{\text{RES}}$  (reset) input pin
- Serial interface maximum 4.0 Mbits/s
- CMOS compatible inputs
- Mux rate: 48
- Logic supply voltage range  $V_{\text{DD}}$  to  $V_{\text{SS}}$ : 2.7 to 3.3 V
- Display supply voltage range  $V_{\text{LCD}}$  to  $V_{\text{SS}}$ 
  - 6.0 to 8.5 V with LCD voltage internally generated (voltage generator enabled)
  - 6.0 to 9.0 V with LCD voltage externally supplied (voltage generator switched-off).
- Low power consumption, suitable for battery operated systems
- Temperature compensation of  $V_{\text{LCD}}$
- Temperature range:  $-25$  to  $+70$   $^{\circ}\text{C}$ .

**2 GENERAL DESCRIPTION**

The PCD8544 is a low power CMOS LCD controller/driver, designed to drive a graphic display of 48 rows and 84 columns. All necessary functions for the display are provided in a single chip, including on-chip generation of LCD supply and bias voltages, resulting in a minimum of external components and low power consumption.

The PCD8544 interfaces to microcontrollers through a serial bus interface.

The PCD8544 is manufactured in n-well CMOS technology.

**3 APPLICATIONS**

- Telecommunications equipment.

**4 ORDERING INFORMATION**

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
PCD8544U	$\sqcap$	chip with bumps in tray; 168 bonding pads + 4 dummy pads	$\sqcap$

48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

5 BLOCK DIAGRAM

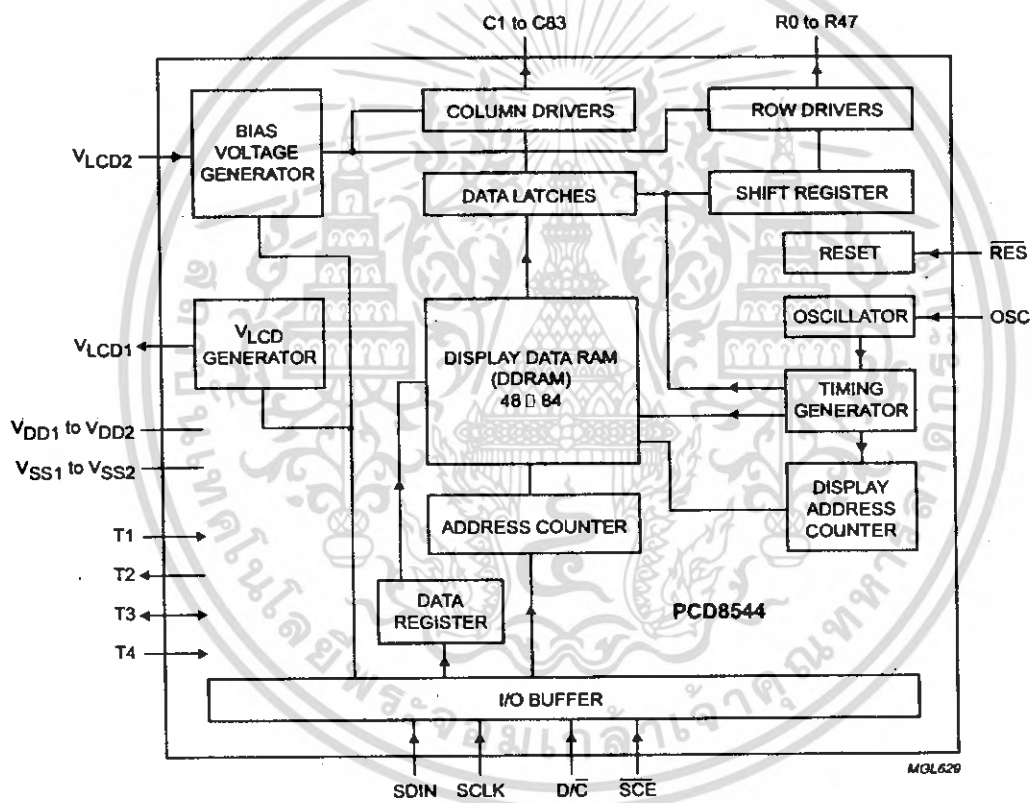


Fig.1 Block diagram.

48  $\square$  84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

## 6 PINNING

SYMBOL	DESCRIPTION
R0 to R47	LCD row driver outputs
C0 to C83	LCD column driver outputs
V <sub>SS1</sub> , V <sub>SS2</sub>	ground
V <sub>DD1</sub> , V <sub>DD2</sub>	supply voltage
V <sub>LCD1</sub> , V <sub>LCD2</sub>	LCD supply voltage
T1	test 1 input
T2	test 2 output
T3	test 3 input/output
T4	test 4 input
SDIN	serial data input
SCLK	serial clock input
D/C	data/command
$\overline{\text{SCE}}$	chip enable
OSC	oscillator
$\overline{\text{RES}}$	external reset input
dummy1, 2, 3, 4	not connected

## Note

1. For further details, see Fig. 18 and Table 7.

## 6.1 Pin functions

## 6.1.1 R0 TO R47 ROW DRIVER OUTPUTS

These pads output the row signals.

## 6.1.2 C0 TO C83 COLUMN DRIVER OUTPUTS

These pads output the column signals.

6.1.3 V<sub>SS1</sub>, V<sub>SS2</sub>: NEGATIVE POWER SUPPLY RAILS

Supply rails V<sub>SS1</sub> and V<sub>SS2</sub> must be connected together.

6.1.4 V<sub>DD1</sub>, V<sub>DD2</sub>: POSITIVE POWER SUPPLY RAILS

Supply rails V<sub>DD1</sub> and V<sub>DD2</sub> must be connected together.

6.1.5 V<sub>LCD1</sub>, V<sub>LCD2</sub>: LCD POWER SUPPLY

Positive power supply for the liquid crystal display. Supply rails V<sub>LCD1</sub> and V<sub>LCD2</sub> must be connected together.

## 6.1.6 T1, T2, T3 AND T4: TEST PADS

T1, T3 and T4 must be connected to V<sub>SS</sub>. T2 is to be left open. Not accessible to user.

## 6.1.7 SDIN: SERIAL DATA LINE

Input for the data line.

## 6.1.8 SCLK: SERIAL CLOCK LINE

Input for the clock signal: 0.0 to 4.0 Mbits/s.

## 6.1.9 D/C: MODE SELECT

Input to select either command/address or data input.

6.1.10  $\overline{\text{SCE}}$ : CHIP ENABLE

The enable pin allows data to be clocked in. The signal is active LOW.

## 6.1.11 OSC: OSCILLATOR

When the on-chip oscillator is used, this input must be connected to V<sub>DD</sub>. An external clock signal, if used, is connected to this input. If the oscillator and external clock are both inhibited by connecting the OSC pin to V<sub>SS</sub>, the display is not clocked and may be left in a DC state. To avoid this, the chip should always be put into Power-down mode before stopping the clock.

6.1.12  $\overline{\text{RES}}$ : RESET

This signal will reset the device and must be applied to properly initialize the chip. The signal is active LOW.

## 48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver

## PCD8544

**7 FUNCTIONAL DESCRIPTION****7.1 Oscillator**

The on-chip oscillator provides the clock signal for the display system. No external components are required and the OSC input must be connected to  $V_{DD}$ . An external clock signal, if used, is connected to this input.

**7.2 Address Counter (AC)**

The address counter assigns addresses to the display data RAM for writing. The X-address  $X_6$  to  $X_0$  and the Y-address  $Y_2$  to  $Y_0$  are set separately. After a write operation, the address counter is automatically incremented by 1, according to the V flag.

**7.3 Display Data RAM (DDRAM)**

The DDRAM is a 48 × 84 bit static RAM which stores the display data. The RAM is divided into six banks of 84 bytes (6 × 8 × 84 bits). During RAM access, data is transferred to the RAM through the serial interface. There is a direct correspondence between the X-address and the column output number.

**7.4 Timing generator**

The timing generator produces the various signals required to drive the internal circuits. Internal chip operation is not affected by operations on the data buses.

**7.5 Display address counter**

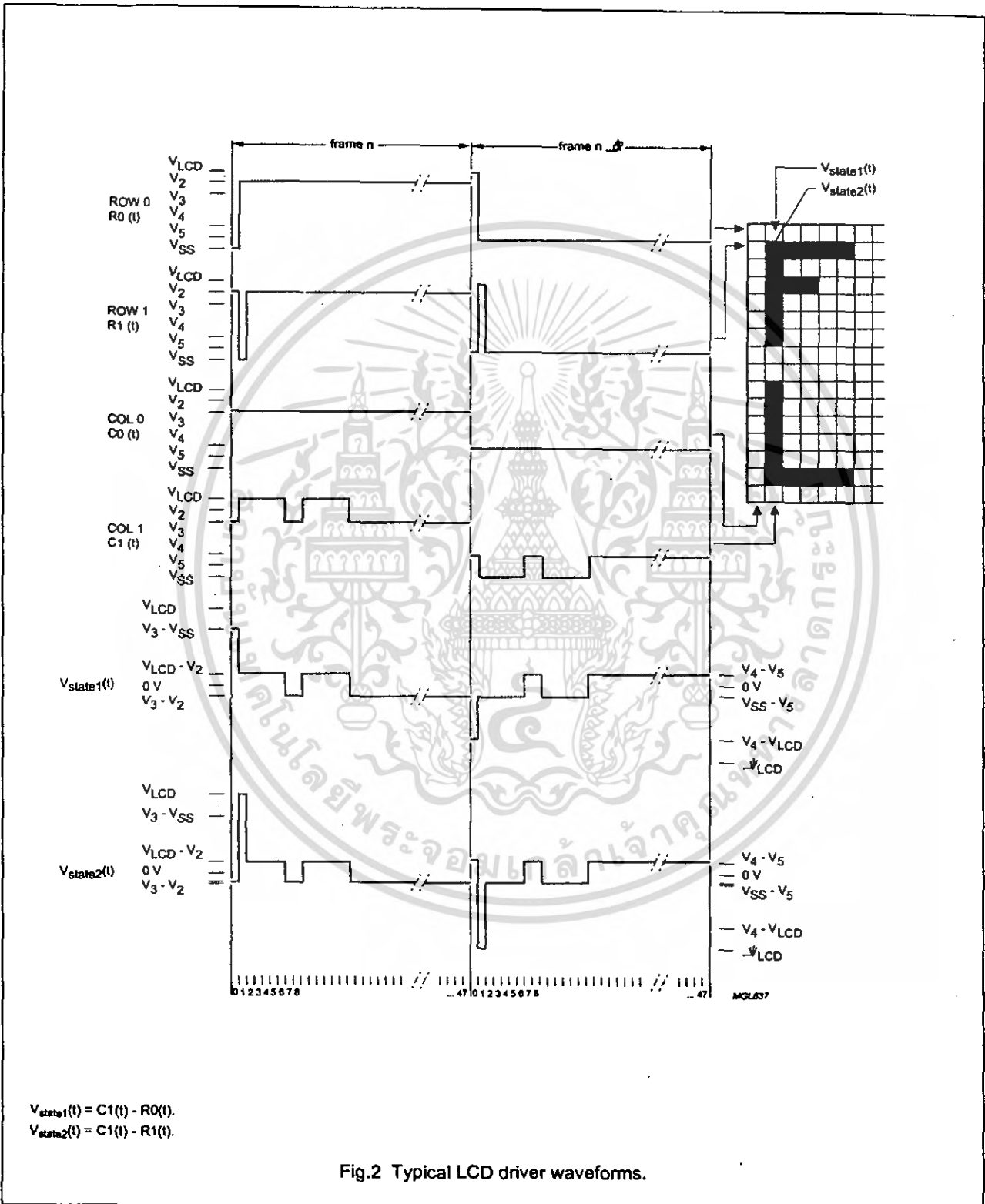
The display is generated by continuously shifting rows of RAM data to the dot matrix LCD through the column outputs. The display status (all dots on/off and normal/inverse video) is set by bits E and D in the 'display control' command.

**7.6 LCD row and column drivers**

The PCD8544 contains 48 row and 84 column drivers, which connect the appropriate LCD bias voltages in sequence to the display in accordance with the data to be displayed. Figure 2 shows typical waveforms. Unused outputs should be left unconnected.

48 □ 84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544



48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

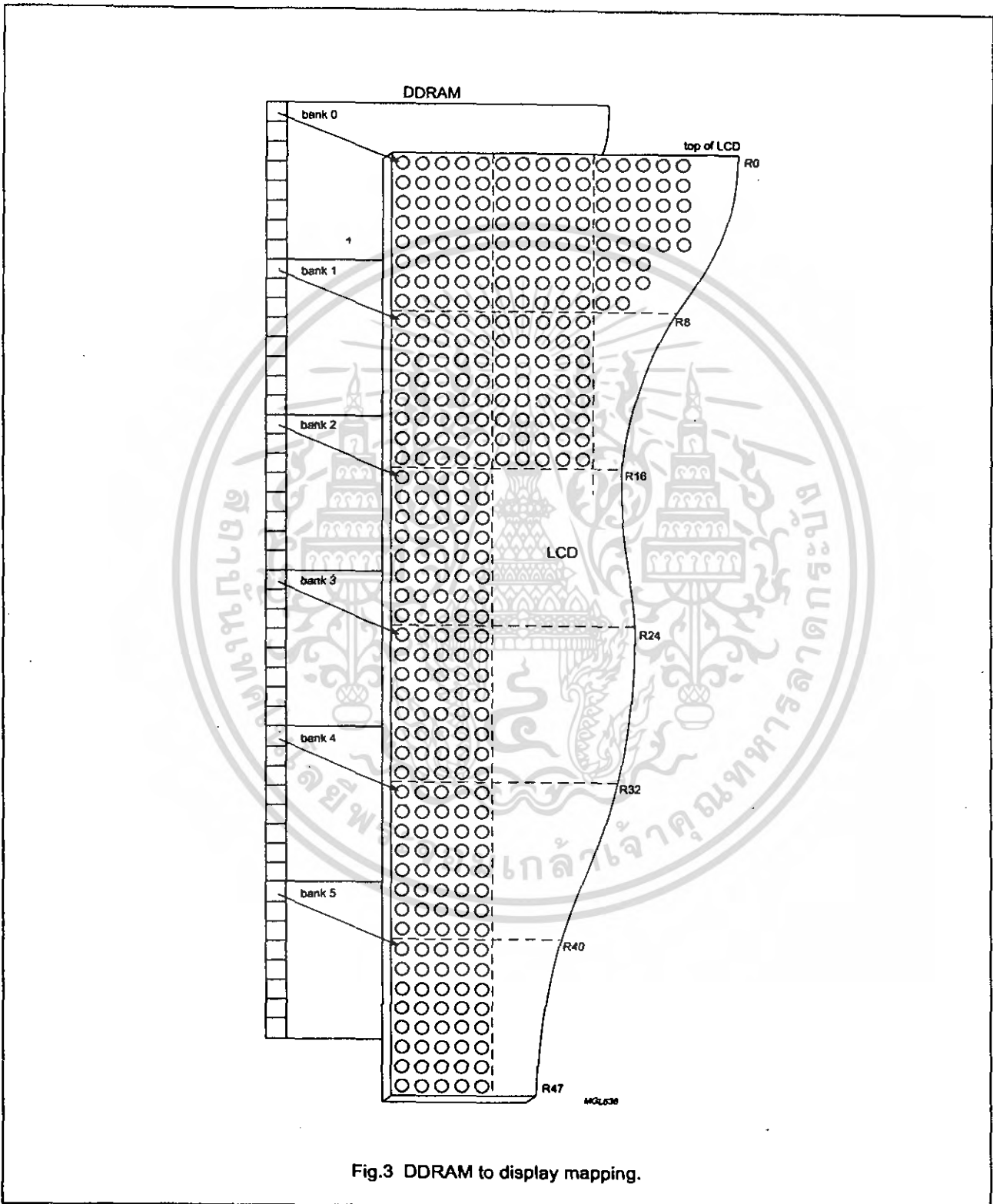


Fig.3 DDRAM to display mapping.

48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver

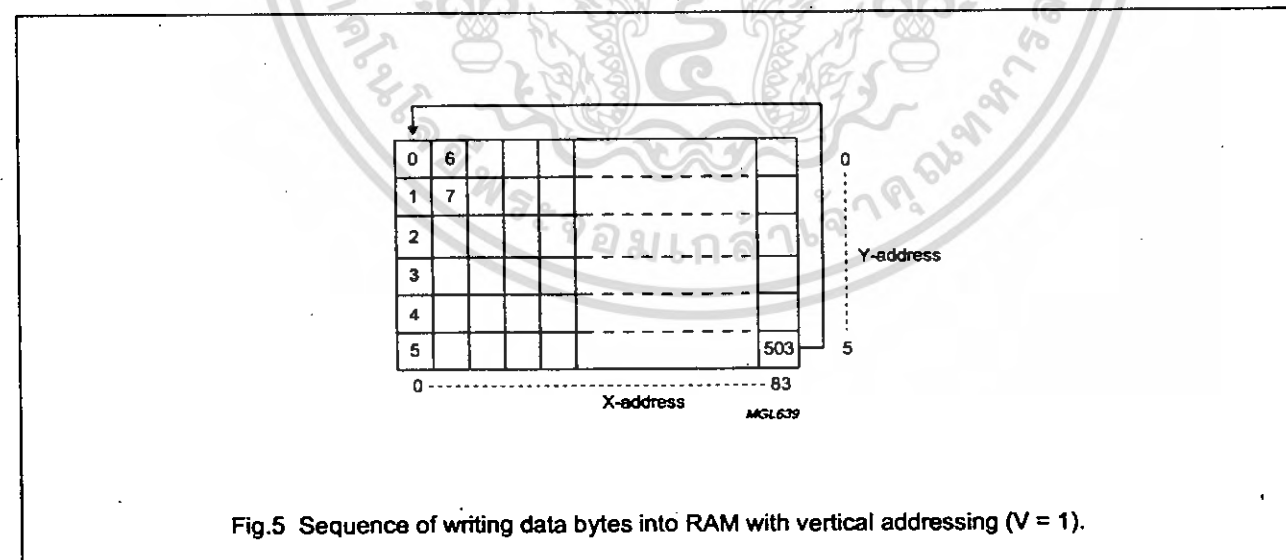
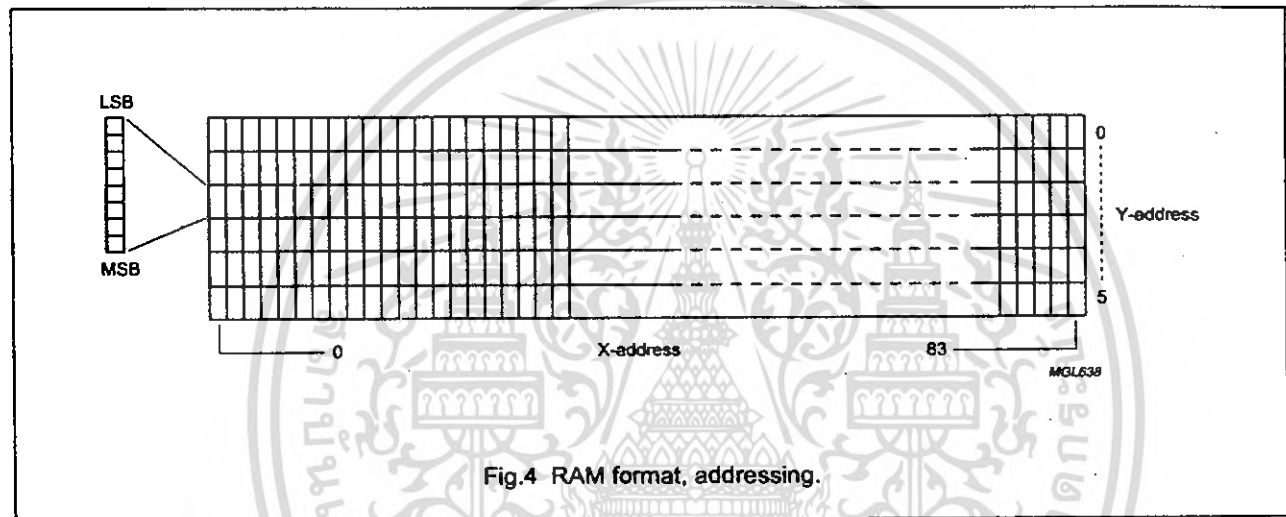
PCD8544

7.7 Addressing

Data is downloaded in bytes into the 48 by 84 bits RAM data display matrix of PCD8544, as indicated in Figs. 3, 4, 5 and 6. The columns are addressed by the address pointer. The address ranges are: X 0 to 83 (1010011), Y 0 to 5 (101). Addresses outside these ranges are not allowed. In the vertical addressing mode (V = 1), the Y address increments after each byte (see

Fig.5). After the last Y address (Y = 5), Y wraps around to 0 and X increments to address the next column. In the horizontal addressing mode (V = 0), the X address increments after each byte (see Fig.6). After the last X address (X = 83), X wraps around to 0 and Y increments to address the next row. After the very last address (X = 83 and Y = 5), the address pointers wrap around to address (X = 0 and Y = 0).

7.7.1 DATA STRUCTURE





## 48 □ 84 pixels matrix LCD controller/driver

## PCD8544

## 8 INSTRUCTIONS

The instruction format is divided into two modes: If  $\overline{D/\overline{C}}$  (mode select) is set LOW, the current byte is interpreted as command byte (see Table 1). Figure 8 shows an example of a serial data stream for initializing the chip. If  $\overline{D/\overline{C}}$  is set HIGH, the following bytes are stored in the display data RAM. After every data byte, the address counter is incremented automatically.

The level of the  $\overline{D/\overline{C}}$  signal is read during the last bit of data byte.

Each instruction can be sent in any order to the PCD8544. The MSB of a byte is transmitted first. Figure 9 shows one possible command stream, used to set up the LCD driver.

The serial interface is initialized when  $\overline{SCE}$  is HIGH. In this state, SCLK clock pulses have no effect and no power is consumed by the serial interface. A negative edge on  $\overline{SCE}$  enables the serial interface and indicates the start of a data transmission.



Fig.8 General format of data stream.

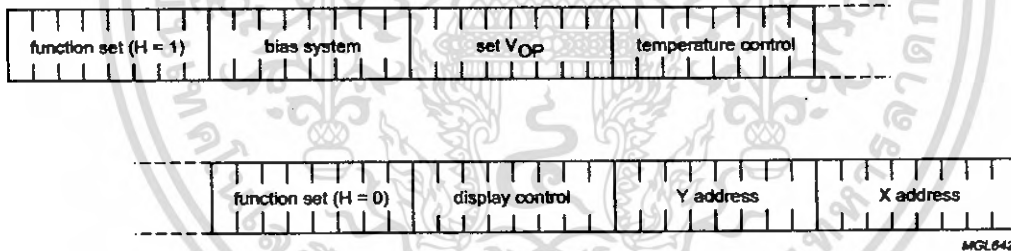


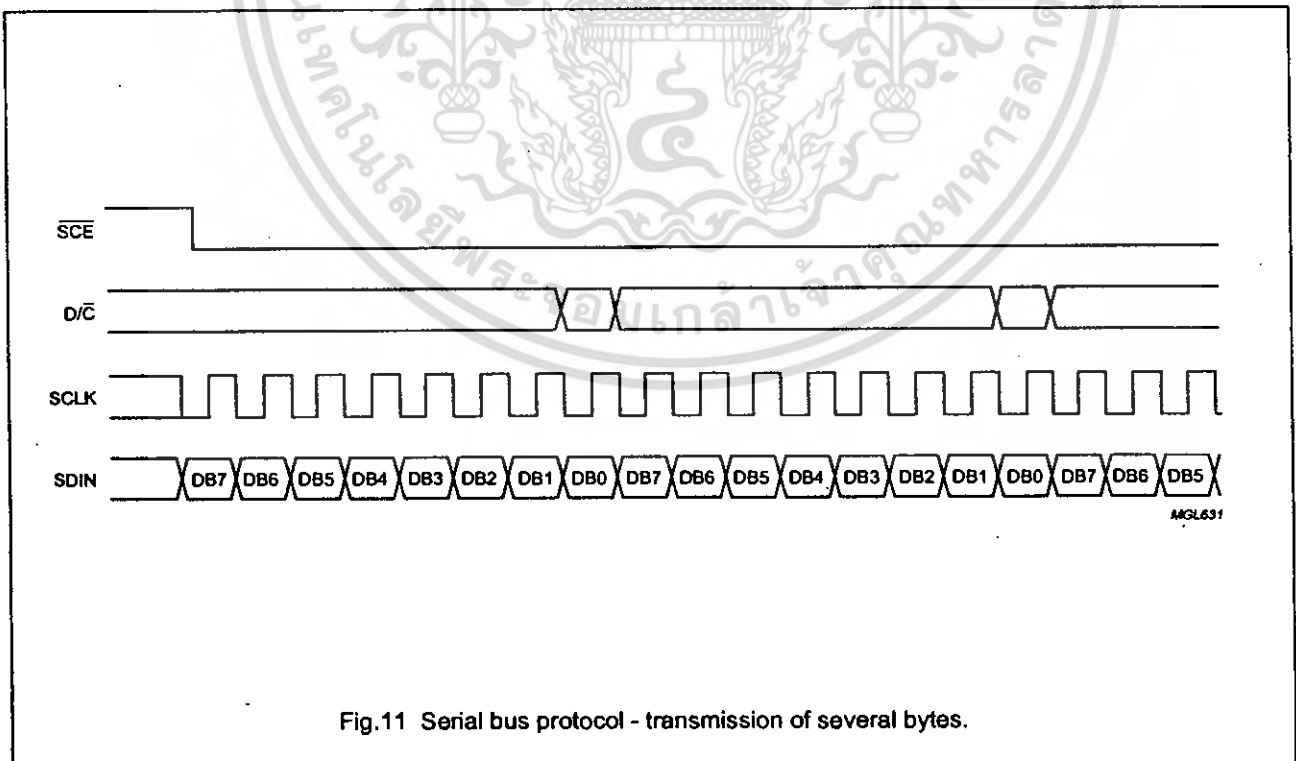
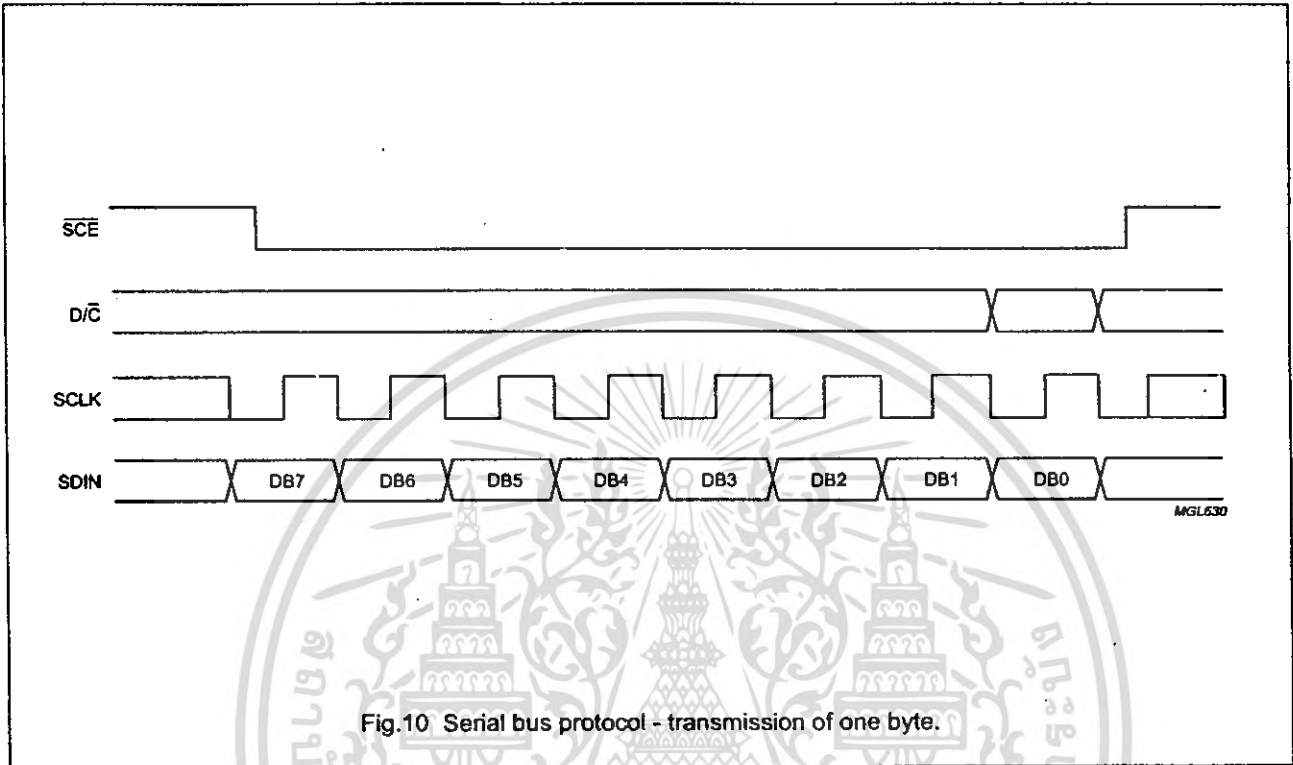
Fig.9 Serial data stream, example.

Figures 10 and 11 show the serial bus protocol.

- When  $\overline{SCE}$  is HIGH, SCLK clock signals are ignored; during the HIGH time of  $\overline{SCE}$ , the serial interface is initialized (see Fig.12)
- SDIN is sampled at the positive edge of SCLK
- $\overline{D/\overline{C}}$  indicates whether the byte is a command ( $\overline{D/\overline{C}} = 0$ ) or RAM data ( $\overline{D/\overline{C}} = 1$ ); it is read with the eighth SCLK pulse
- If  $\overline{SCE}$  stays LOW after the last bit of a command/data byte, the serial interface expects bit 7 of the next byte at the next positive edge of SCLK (see Fig.12)
- A reset pulse with  $\overline{RES}$  interrupts the transmission. No data is written into the RAM. The registers are cleared. If  $\overline{SCE}$  is LOW after the positive edge of  $\overline{RES}$ , the serial interface is ready to receive bit 7 of a command/data byte (see Fig.13).

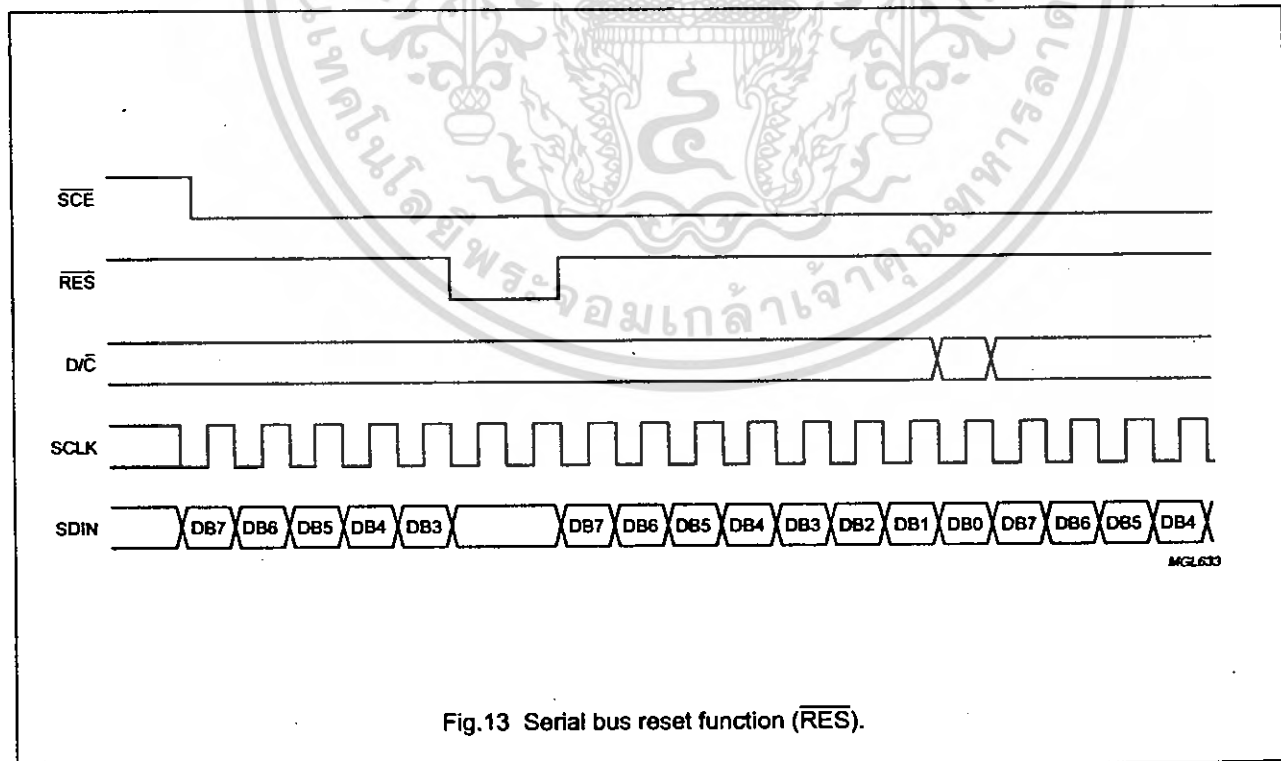
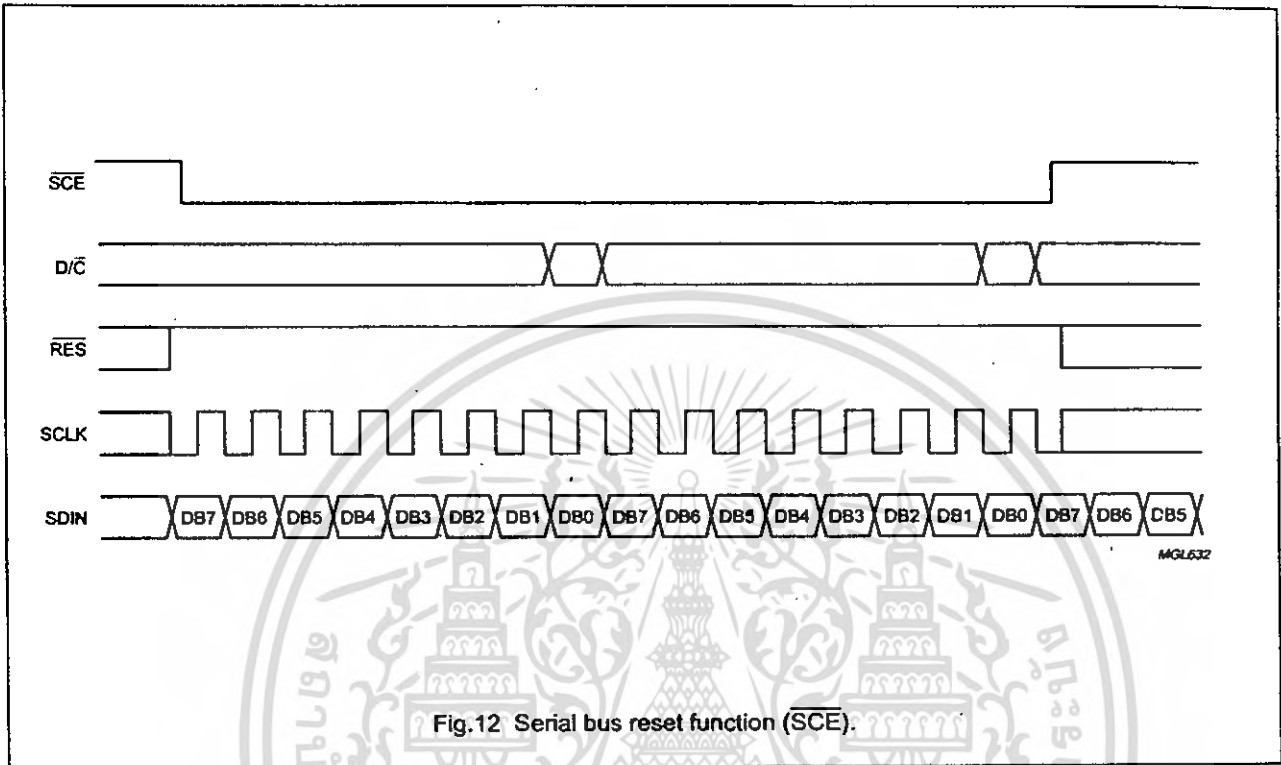
48  $\times$  84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544



48  $\times$  84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544



## 48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver

## PCD8544

Table 1 Instruction set

INSTRUCTION	D/ $\bar{C}$	COMMAND BYTE								DESCRIPTION	
		DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
<b>(H = 0 or 1)</b>											
NOP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	no operation
Function set	0	0	0	1	0	0	PD	V	H		power down control; entry mode; extended instruction set control (H)
Write data	1	D <sub>7</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>0</sub>		writes data to display RAM
<b>(H = 0)</b>											
Reserved	0	0	0	0	0	0	1	X	X		do not use
Display control	0	0	0	0	0	1	D	0	E		sets display configuration
Reserved	0	0	0	0	1	X	X	X	X		do not use
Set Y address of RAM	0	0	1	0	0	0	Y <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>0</sub>		sets Y-address of RAM; 0 ≤ Y ≤ 5
Set X address of RAM	0	1	X <sub>6</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>0</sub>		sets X-address part of RAM; 0 ≤ X ≤ 83
<b>(H = 1)</b>											
Reserved	0	0	0	0	0	0	0	0	1		do not use
	0	0	0	0	0	0	0	1	X		do not use
Temperature control	0	0	0	0	0	0	1	TC <sub>1</sub>	TC <sub>0</sub>		set Temperature Coefficient (TC <sub>x</sub> )
Reserved	0	0	0	0	0	1	X	X	X		do not use
Bias system	0	0	0	0	1	0	BS <sub>2</sub>	BS <sub>1</sub>	BS <sub>0</sub>		set Bias System (BS <sub>x</sub> )
Reserved	0	0	1	X	X	X	X	X	X		do not use
Set V <sub>OP</sub>	0	1	V <sub>OP6</sub>	V <sub>OP5</sub>	V <sub>OP4</sub>	V <sub>OP3</sub>	V <sub>OP2</sub>	V <sub>OP1</sub>	V <sub>OP0</sub>		write V <sub>OP</sub> to register

Table 2 Explanations of symbols in Table 1

BIT	0	1
PD	chip is active	chip is in Power-down mode
V	horizontal addressing	vertical addressing
H	use basic instruction set	use extended instruction set
D and E	display blank 00 normal mode 10 all display segments on 01 inverse video mode 11	
TC <sub>1</sub> and TC <sub>0</sub>	V <sub>LCD</sub> temperature coefficient 0 00 V <sub>LCD</sub> temperature coefficient 1 01 V <sub>LCD</sub> temperature coefficient 2 10 V <sub>LCD</sub> temperature coefficient 3 11	

48  $\square$  84 pixels matrix LCD controller/driver

## PCD8544

**8.1 Initialization**

Immediately following power-on, the contents of all internal registers and of the RAM are undefined. A **RES pulse must be applied**. Attention should be paid to the possibility that the **device may be damaged** if not properly reset.

All internal registers are reset by applying an external  $\overline{\text{RES}}$  pulse (active LOW) at pad 31, within the specified time. However, the RAM contents are still undefined. The state after reset is described in Section 8.2.

The  $\overline{\text{RES}}$  input must be  $\approx 0.3V_{\text{DD}}$  when  $V_{\text{DD}}$  reaches  $V_{\text{DDmin}}$  (or higher) within a maximum time of 100 ms after  $V_{\text{DD}}$  goes HIGH (see Fig.16).

**8.2 Reset function**

After reset, the LCD driver has the following state:

- Power-down mode (bit PD = 1)
- Horizontal addressing (bit V = 0) normal instruction set (bit H = 0)
- Display blank (bit E = D = 0)
- Address counter  $X_6$  to  $X_0 = 0$ ;  $Y_2$  to  $Y_0 = 0$
- Temperature control mode ( $TC_1$   $TC_0 = 0$ )
- Bias system ( $BS_2$  to  $BS_0 = 0$ )
- $V_{\text{LCD}}$  is equal to 0, the HV generator is switched off ( $V_{\text{OP6}}$  to  $V_{\text{OP0}} = 0$ )
- After power-on, the RAM contents are undefined.

**8.3 Function set****8.3.1 BIT PD**

- All LCD outputs at  $V_{\text{SS}}$  (display off)
- Bias generator and  $V_{\text{LCD}}$  generator off,  $V_{\text{LCD}}$  can be disconnected
- Oscillator off (external clock possible)
- Serial bus, command, etc. function
- Before entering Power-down mode, the RAM needs to be filled with '0's to ensure the specified current consumption.

**8.3.2 BIT V**

When V = 0, the horizontal addressing is selected. The data is written into the DDRAM as shown in Fig.6. When V = 1, the vertical addressing is selected. The data is written into the DDRAM, as shown in Fig.5.

**8.3.3 BIT H**

When H = 0 the commands 'display control', 'set Y address' and 'set X address' can be performed; when H = 1, the others can be executed. The 'write data' and 'function set' commands can be executed in both cases.

**8.4 Display control****8.4.1 BITS D AND E**

Bits D and E select the display mode (see Table 2).

**8.5 Set Y address of RAM**

$Y_n$  defines the Y vector addressing of the display RAM.

Table 3 Y vector addressing

$Y_2$	$Y_1$	$Y_0$	BANK
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	2
0	1	1	3
1	0	0	4
1	0	1	5

**8.6 Set X address of RAM**

The X address points to the columns. The range of X is 0 to 83 (53H).

**8.7 Temperature control**

The temperature coefficient of  $V_{\text{LCD}}$  is selected by bits  $TC_1$  and  $TC_0$ .

**8.8 Bias value**

The bias voltage levels are set in the ratio of R - R - nR - R - R, giving a  $1/(n + 4)$  bias system. Different multiplex rates require different factors n (see Table 4). This is programmed by  $BS_2$  to  $BS_0$ . For Mux 1 : 48, the optimum bias value n, resulting in 1/8 bias, is given by:

$$n = \sqrt{48} - 3 = 3.928 = 4 \quad (1)$$

48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

Table 4 Programming the required bias system

BS <sub>2</sub>	BS <sub>1</sub>	BS <sub>0</sub>	n	RECOMMENDED MUX RATE
0	0	0	7	1 : 100
0	0	1	6	1 : 80
0	1	0	5	1 : 65/1 : 65
0	1	1	4	1 : 48
1	0	0	3	1 : 40/1 : 34
1	0	1	2	1 : 24
1	1	0	1	1 : 18/1 : 16
1	1	1	0	1 : 10/1 : 9/1 : 8

Table 5 LCD bias voltage

SYMBOL	BIAS VOLTAGES	BIAS VOLTAGE FOR 1/8 BIAS
V1	V <sub>LCD</sub>	V <sub>LCD</sub>
V2	(n + 3)/(n + 4)	7/8 × V <sub>LCD</sub>
V3	(n + 2)/(n + 4)	6/8 × V <sub>LCD</sub>
V4	2/(n + 4)	2/8 × V <sub>LCD</sub>
V5	1/(n + 4)	1/8 × V <sub>LCD</sub>
V6	V <sub>SS</sub>	V <sub>SS</sub>

8.9 Set V<sub>OP</sub> value

The operation voltage V<sub>LCD</sub> can be set by software. The values are dependent on the liquid crystal selected. V<sub>LCD</sub> = a + (V<sub>OP6</sub> to V<sub>OP0</sub>) × b [V]. In the PCD8544, a = 3.06 and b = 0.06 giving a program range of 3.00 to 10.68 at room temperature.

Note that the charge pump is turned off if V<sub>OP6</sub> to V<sub>OP0</sub> is set to zero.

For Mux 1 : 48, the optimum operation voltage of the liquid can be calculated as:

$$V_{LCD} = \frac{1 + \sqrt{48}}{\sqrt{2 \times \left(1 - \frac{1}{\sqrt{48}}\right)}} \times V_{th} = 6.06 \times V_{th} \quad (2)$$

where V<sub>th</sub> is the threshold voltage of the liquid crystal material used.

**Caution, as V<sub>OP</sub> increases with lower temperatures, care must be taken not to set a V<sub>OP</sub> that will exceed the maximum of 8.5 V when operating at -25 °C.**

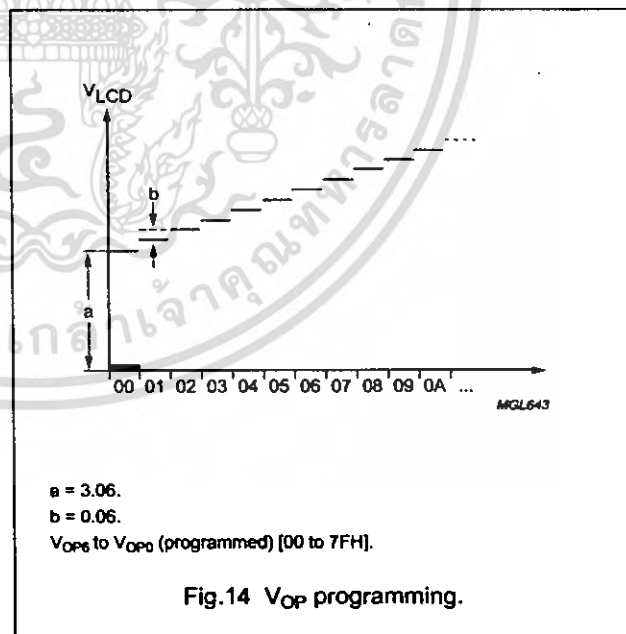


Fig.14 V<sub>OP</sub> programming.

48  $\square$  84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

**9 LIMITING VALUES**

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134); see notes 1 and 2.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{DD}$	supply voltage	note 3	-0.5	+7	V
$V_{LCD}$	supply voltage LCD	note 4	-0.5	+10	V
$V_i$	all input voltages		-0.5	$V_{DD} + 0.5$	V
$I_{SS}$	ground supply current		-50	+50	mA
$I_i, I_o$	DC input or output current		-10	+10	mA
$P_{tot}$	total power dissipation		—	300	mW
$P_o$	power dissipation per output		—	30	mW
$T_{amb}$	operating ambient temperature		-25	+70	$^{\circ}$ C
$T_j$	operating junction temperature		-65	+150	$^{\circ}$ C
$T_{stg}$	storage temperature		-65	+150	$^{\circ}$ C

**Notes**

1. Stresses above those listed under limiting values may cause permanent damage to the device.
2. Parameters are valid over operating temperature range unless otherwise specified. All voltages are with respect to  $V_{SS}$  unless otherwise noted.
3. With external LCD supply voltage externally supplied (voltage generator disabled),  $V_{DDmax} = 5$  V if LCD supply voltage is internally generated (voltage generator enabled).
4. When setting  $V_{LCD}$  by software, take care not to set a  $V_{OP}$  that will exceed the maximum of 8.5 V when operating at -25  $^{\circ}$ C, see Caution in Section 8.9.

**10 HANDLING**

Inputs and outputs are protected against electrostatic discharge in normal handling. However, to be totally safe, it is desirable to take normal precautions appropriate to handling MOS devices (see "Handling MOS devices").

## 48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

## 11 DC CHARACTERISTICS

 $V_{DD} = 2.7$  to  $3.3$  V;  $V_{SS} = 0$  V;  $V_{LCD} = 6.0$  to  $9.0$  V;  $T_{amb} = -25$  to  $+70$  °C; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_{DD1}$	supply voltage 1	LCD voltage externally supplied (voltage generator disabled)	2.7	┘	3.3	V
$V_{DD2}$	supply voltage 2	LCD voltage internally generated (voltage generator enabled)	2.7	┘	3.3	V
$V_{LCD1}$	LCD supply voltage	LCD voltage externally supplied (voltage generator disabled)	6.0	┘	9.0	V
$V_{LCD2}$	LCD supply voltage	LCD voltage internally generated (voltage generator enabled); note 1	6.0	┘	8.5	V
$I_{DD1}$	supply current 1 (normal mode) for internal $V_{LCD}$	$V_{DD} = 2.85$ V; $V_{LCD} = 7.0$ V; $f_{SCLK} = 0$ ; $T_{amb} = 25$ °C; display load = $10 \mu$ A; note 2	┘	240	300	$\mu$ A
$I_{DD2}$	supply current 2 (normal mode) for internal $V_{LCD}$	$V_{DD} = 2.70$ V; $V_{LCD} = 7.0$ V; $f_{SCLK} = 0$ ; $T_{amb} = 25$ °C; display load = $10 \mu$ A; note 2	┘	┘	320	$\mu$ A
$I_{DD3}$	supply current 3 (Power-down mode)	with internal or external LCD supply voltage; note 3	┘	1.5	┘	$\mu$ A
$I_{DD4}$	supply current external $V_{LCD}$	$V_{DD} = 2.85$ V; $V_{LCD} = 9.0$ V; $f_{SCLK} = 0$ ; notes 2 and 4	┘	25	┘	$\mu$ A
$I_{LCD}$	supply current external $V_{LCD}$	$V_{DD} = 2.7$ V; $V_{LCD} = 7.0$ V; $f_{SCLK} = 0$ ; $T = 25$ °C; display load = $10 \mu$ A; notes 2 and 4	┘	42	┘	$\mu$ A
<b>Logic</b>						
$V_{IL}$	LOW level input voltage		$V_{SS}$	┘	$0.3V_{DD}$	V
$V_{IH}$	HIGH level input voltage		$0.7V_{DD}$	┘	$V_{DD}$	V
$I_L$	leakage current	$V_I = V_{DD}$ or $V_{SS}$	┘	┘	+1	$\mu$ A
<b>Column and row outputs</b>						
$R_{O(C)}$	column output resistance C0 to C83		┘	12	20	k $\Omega$
$R_{O(R)}$	row output resistance R0 to R47		┘	12	20	k $\Omega$
$V_{bias(tol)}$	bias voltage tolerance on C0 to C83 and R0 to R47		-100	0	+100	mV

## 48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver

## PCD8544

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>LCD supply voltage generator</b>						
V <sub>LCD</sub>	V <sub>LCD</sub> tolerance internally generated	V <sub>DD</sub> = 2.85 V; V <sub>LCD</sub> = 7.0 V; f <sub>SCLK</sub> = 0; display load = 10 mA; note 5	┘	0	300	mV
TC0	V <sub>LCD</sub> temperature coefficient 0	V <sub>DD</sub> = 2.85 V; V <sub>LCD</sub> = 7.0 V; f <sub>SCLK</sub> = 0; display load = 10 mA	┘	1	┘	mV/K
TC1	V <sub>LCD</sub> temperature coefficient 1	V <sub>DD</sub> = 2.85 V; V <sub>LCD</sub> = 7.0 V; f <sub>SCLK</sub> = 0; display load = 10 mA	┘	9	┘	mV/K
TC2	V <sub>LCD</sub> temperature coefficient 2	V <sub>DD</sub> = 2.85 V; V <sub>LCD</sub> = 7.0 V; f <sub>SCLK</sub> = 0; display load = 10 mA	┘	17	┘	mV/K
TC3	V <sub>LCD</sub> temperature coefficient 3	V <sub>DD</sub> = 2.85 V; V <sub>LCD</sub> = 7.0 V; f <sub>SCLK</sub> = 0; display load = 10 mA	┘	24	┘	mV/K

**Notes**

1. The maximum possible V<sub>LCD</sub> voltage that may be generated is dependent on voltage, temperature and (display) load.
2. Internal clock.
3. RAM contents equal '0'. During power-down, all static currents are switched off.
4. If external V<sub>LCD</sub>, the display load current is not transmitted to I<sub>DD</sub>.
5. Tolerance depends on the temperature (typically zero at 27 °C, maximum tolerance values are measured at the temperate range limit).

## 48 □ 84 pixels matrix LCD controller/driver

## PCD8544

## 12 AC CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$f_{osc}$	oscillator frequency		20	34	65	kHz
$f_{clk(ext)}$	external clock frequency		10	32	100	kHz
$f_{frame}$	frame frequency	$f_{osc}$ or $f_{clk(ext)} = 32$ kHz; note 1	┘	67	┘	Hz
$t_{VHRL}$	$V_{DD}$ to $\overline{RES}$ LOW	Fig.16	0 <sup>(2)</sup>	┘	30	ms
$t_{WL(RES)}$	$\overline{RES}$ LOW pulse width	Fig.16	100	┘	┘	ns
<b>Serial bus timing characteristics</b>						
$f_{SCLK}$	clock frequency	$V_{DD} = 3.0 V \pm 10\%$	0	┘	4.00	MHz
$T_{cy}$	clock cycle SCLK	All signal timing is based on 20% to 80% of $V_{DD}$ and maximum rise and fall times of 10 ns	250	┘	┘	ns
$t_{WH1}$	SCLK pulse width HIGH		100	┘	┘	ns
$t_{WL1}$	SCLK pulse width LOW		100	┘	┘	ns
$t_{su2}$	$\overline{SCE}$ set-up time		60	┘	┘	ns
$t_{h2}$	$\overline{SCE}$ hold time		100	┘	┘	ns
$t_{WH2}$	$\overline{SCE}$ min. HIGH time		100	┘	┘	ns
$t_{h5}$	$\overline{SCE}$ start hold time; note 3		100	┘	┘	ns
$t_{su3}$	$\overline{D/C}$ set-up time		100	┘	┘	ns
$t_{h3}$	$\overline{D/C}$ hold time		100	┘	┘	ns
$t_{su4}$	SDIN set-up time		100	┘	┘	ns
$t_{h4}$	SDIN hold time	100	┘	┘	ns	

## Notes

- $T_{frame} = \frac{f_{clk ext}}{480}$
- $\overline{RES}$  may be LOW before  $V_{DD}$  goes HIGH.
- $t_{h5}$  is the time from the previous SCLK positive edge (irrespective of the state of  $\overline{SCE}$ ) to the negative edge of  $\overline{SCE}$  (see Fig.15).

48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

12.1 Serial interface

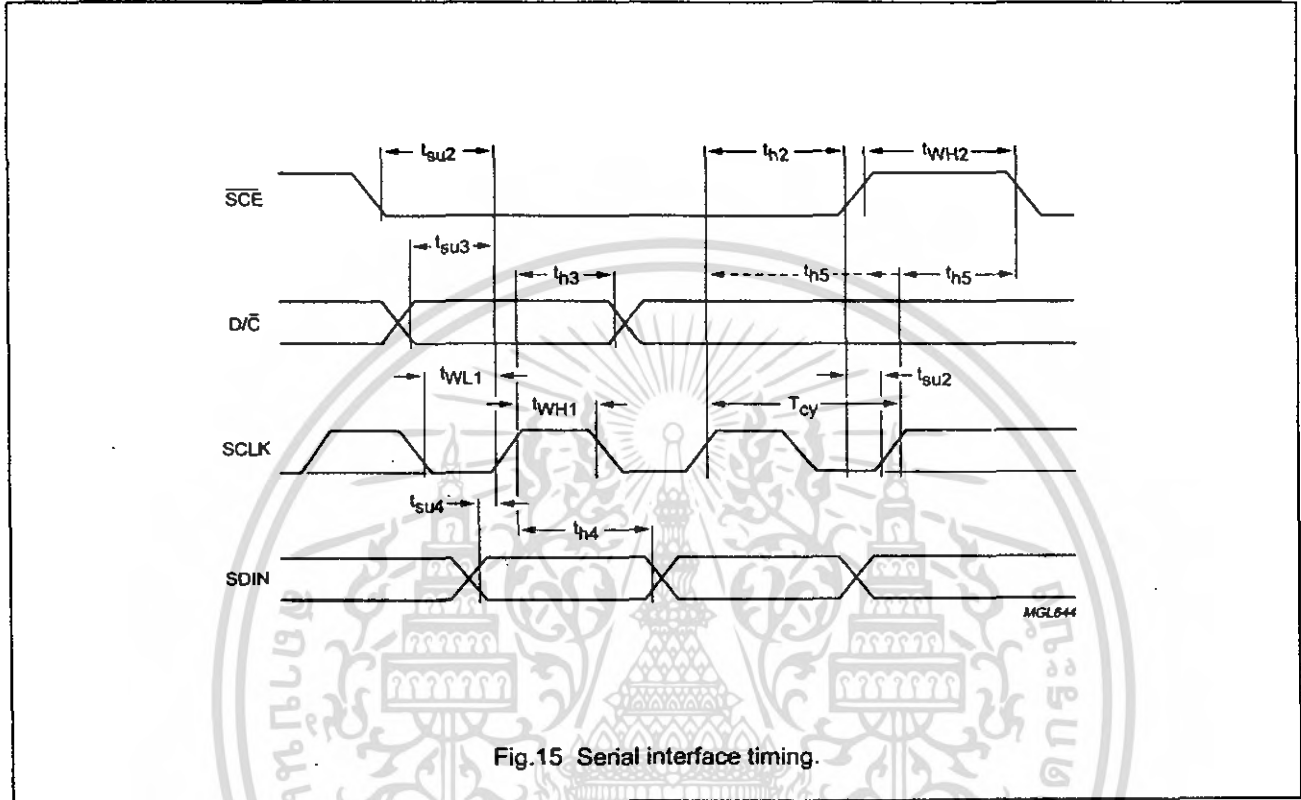


Fig.15 Serial interface timing.

12.2 Reset

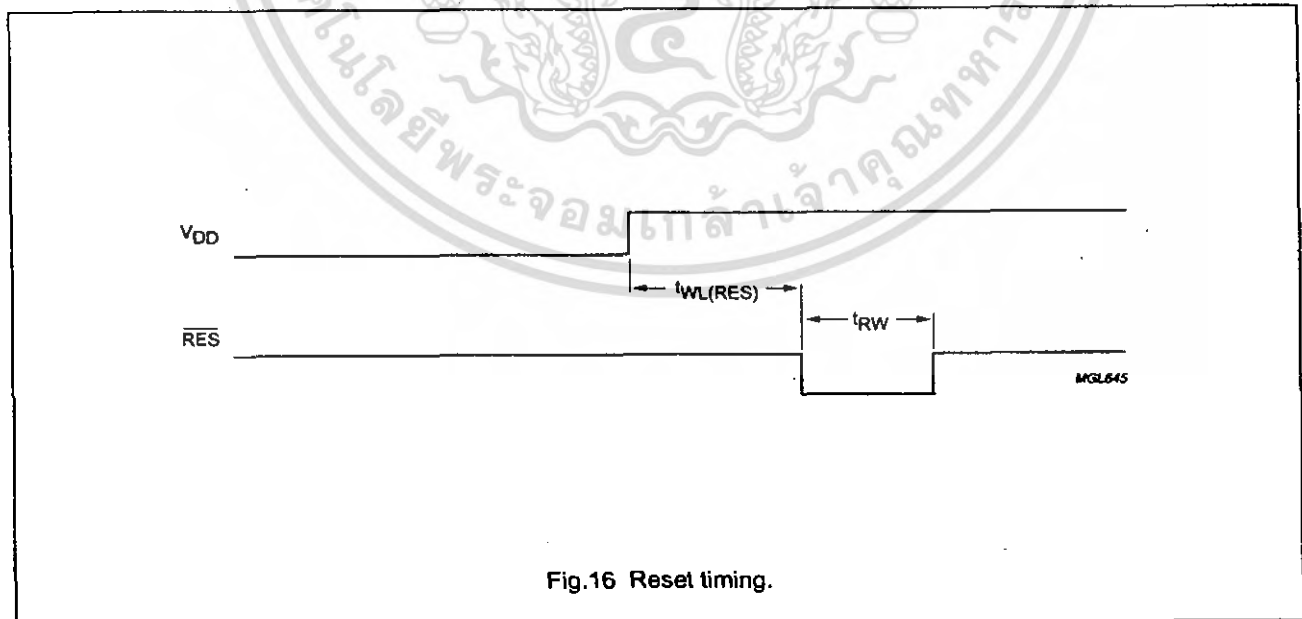




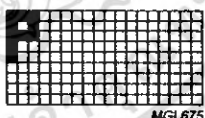
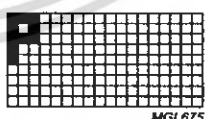
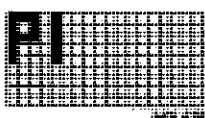
Fig.16 Reset timing.

48  $\square$  84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

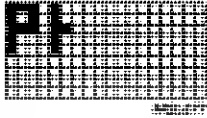




13 APPLICATION INFORMATION

Table 6 Programming example

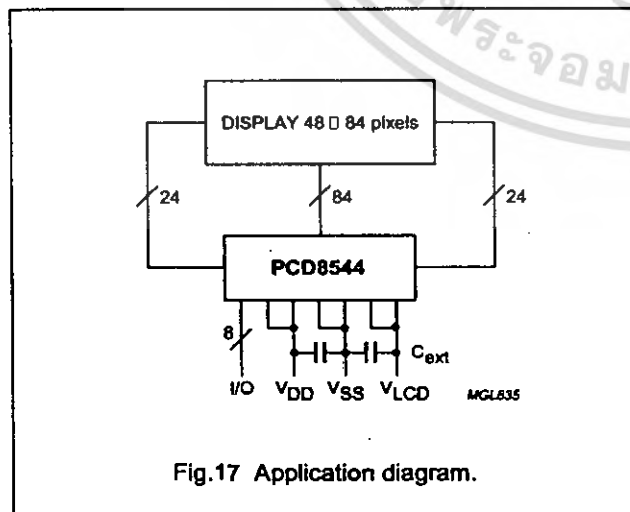
STEP	SERIAL BUS BYTE									DISPLAY	OPERATION
	D/C	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
1	start										SC $\bar{E}$ is going LOW
2	0	0	0	1	0	0	0	0	1		function set PD = 0 and V = 0, select extended instruction set (H = 1 mode)
3	0	1	0	0	1	0	0	0	0		set V <sub>OP</sub> ; V <sub>OP</sub> is set to a +16 $\square$ b [V]
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0		function set PD = 0 and V = 0, select normal instruction set (H = 0 mode)
5	0	0	0	0	0	1	1	0	0		display control set normal mode (D = 1 and E = 0)
6	1	0	0	0	1	1	1	1	1		data write Y and X are initialized to 0 by default, so they are not set here
7	1	0	0	0	0	0	1	0	1		data write
8	1	0	0	0	0	0	1	1	1		data write
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0		data write
10	1	0	0	0	1	1	1	1	1		data write

48  $\square$  84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

STEP	SERIAL BUS BYTE									DISPLAY	OPERATION
	D/C	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
11	1	0	0	0	0	0	1	0	0		data write
12	1	0	0	0	1	1	1	1	1		data write
13	0	0	0	0	0	1	1	0	1		display control; set inverse video mode (D = 1 and E = 1)
14	0	1	0	0	0	0	0	0	0		set X address of RAM; set address to '0000000'
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0		data write

The pinning is optimized for single plane wiring e.g. for chip-on-glass display modules. Display size: 48  $\square$  84 pixels.



The required minimum value for the external capacitors is:  $C_{ext} = 1.0 \mu F$ .

Higher capacitor values are recommended for ripple reduction.

14 BONDING PAD LOCATIONS

14.1 Bonding pad information (see Fig.18)

PARAMETER	SIZE
Pad pitch	min. 100 $\mu m$
Pad size, aluminium	80 $\square$ 100 $\mu m$
Bump dimensions	59 $\square$ 89 $\square$ 17.5 ( $\square 5$ ) $\mu m$
Wafer thickness	max. 380 $\mu m$

48  $\times$  84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

14.2 Bonding pad location

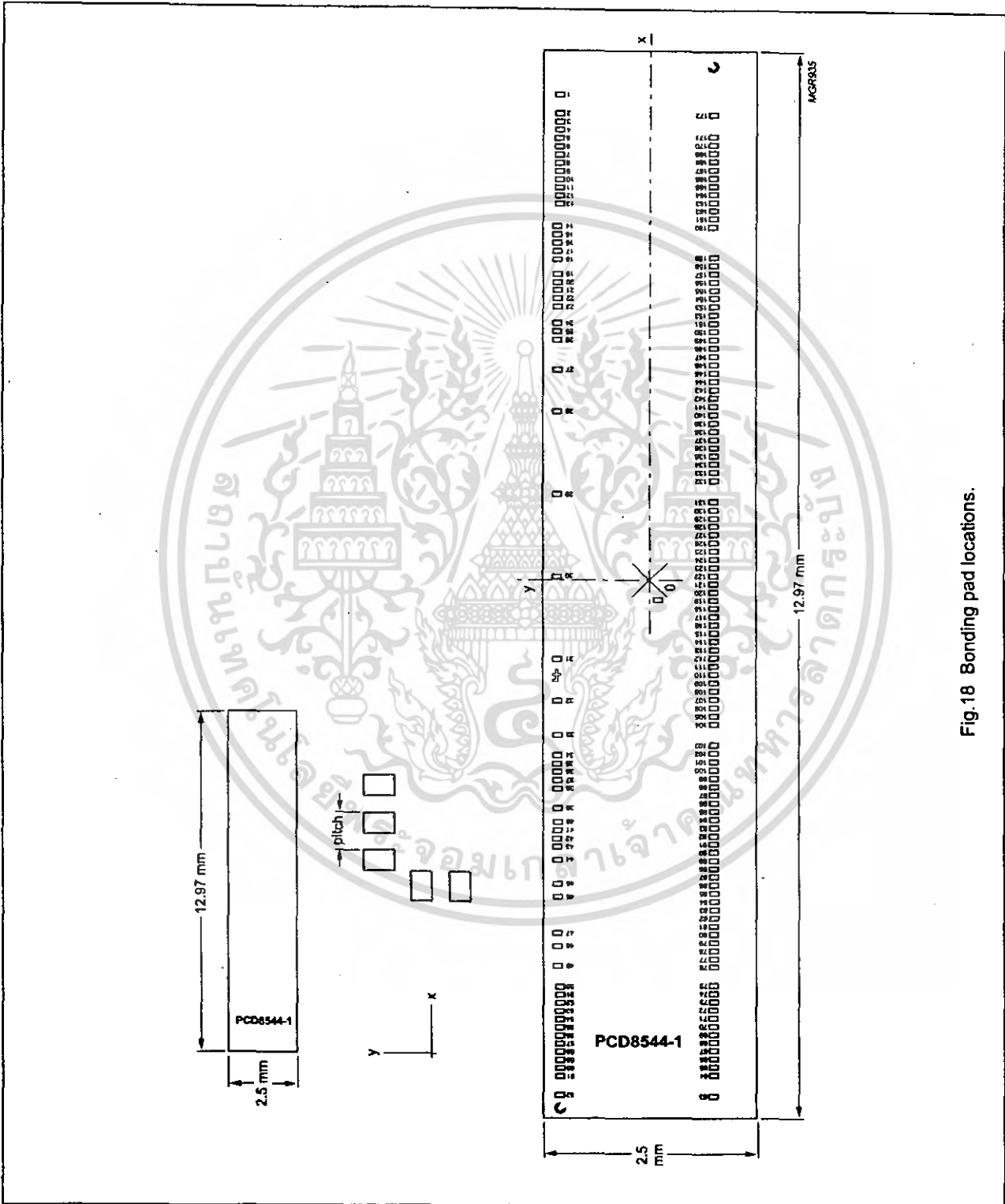


Fig.18 Bonding pad locations.

48  $\times$  84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

**Table 7** Bonding pad locations (dimensions in  $\mu\text{m}$ ).  
All X/Y coordinates are referenced to the centre of chip (see Fig.18)

PAD	PAD NAME	x	y
1	dummy1	+5932	+1060
2	R36	+5704	+1060
3	R37	+5604	+1060
4	R38	+5504	+1060
5	R39	+5404	+1060
6	R40	+5304	+1060
7	R41	+5204	+1060
8	R42	+5104	+1060
9	R43	+5004	+1060
10	R44	+4904	+1060
11	R45	+4804	+1060
12	R46	+4704	+1060
13	R47	+4604	+1060
14	V <sub>DD1</sub>	+4330	+1085
15	V <sub>DD1</sub>	+4230	+1085
16	V <sub>DD1</sub>	+4130	+1085
17	V <sub>DD1</sub>	+4030	+1085
18	V <sub>DD1</sub>	+3930	+1085
19	V <sub>DD2</sub>	+3750	+1085
20	V <sub>DD2</sub>	+3650	+1085
21	V <sub>DD2</sub>	+3550	+1085
22	V <sub>DD2</sub>	+3450	+1085
23	V <sub>DD2</sub>	+3350	+1085
24	V <sub>DD2</sub>	+3250	+1085
25	V <sub>DD2</sub>	+3150	+1085
26	V <sub>DD2</sub>	+3050	+1085
27	SCLK	+2590	+1085
28	SDIN	+2090	+1085
29	D/C	+1090	+1085
30	SCE	+90	+1085
31	RES	-910	+1085
32	OSC	-1410	+1085
33	T3	-1826	+1085
34	V <sub>SS2</sub>	-2068	+1085
35	V <sub>SS2</sub>	-2168	+1085
36	V <sub>SS2</sub>	-2268	+1085
37	V <sub>SS2</sub>	-2368	+1085
38	V <sub>SS2</sub>	-2468	+1085

PAD	PAD NAME	x	y
39	T4	-2709	+1085
40	V <sub>SS1</sub>	-2876	+1085
41	V <sub>SS1</sub>	-2976	+1085
42	V <sub>SS1</sub>	-3076	+1085
43	V <sub>SS1</sub>	-3176	+1085
44	T1	-3337	+1085
45	V <sub>LCD2</sub>	-3629	+1085
46	V <sub>LCD2</sub>	-3789	+1085
47	V <sub>LCD1</sub>	-4231	+1085
48	V <sub>LCD1</sub>	-4391	+1085
49	T2	-4633	+1085
50	R23	-4894	+1060
51	R22	-4994	+1060
52	R21	-5094	+1060
53	R20	-5194	+1060
54	R19	-5294	+1060
55	R18	-5394	+1060
56	R17	-5494	+1060
57	R16	-5594	+1060
58	R15	-5694	+1060
59	R14	-5794	+1060
60	R13	-5894	+1060
61	R12	-5994	+1060
62	dummy2	-6222	+1060
63	dummy3	-6238	-738
64	R0	-5979	-738
65	R1	-5879	-738
66	R2	-5779	-738
67	R3	-5679	-738
68	R4	-5579	-738
69	R5	-5479	-738
70	R6	-5379	-738
71	R7	-5279	-738
72	R8	-5179	-738
73	R9	-5079	-738
74	R10	-4979	-738
75	R11	-4879	-738
76	C0	-4646	-746

## 48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver

## PCD8544

PAD	PAD NAME	x	y
77	C1	-4546	-746
78	C2	-4446	-746
79	C3	-4346	-746
80	C4	-4246	-746
81	C5	-4146	-746
82	C6	-4046	-746
83	C7	-3946	-746
84	C8	-3846	-746
85	C9	-3746	-746
86	C10	-3646	-746
87	C11	-3546	-746
88	C12	-3446	-746
89	C13	-3346	-746
90	C14	-3246	-746
91	C15	-3146	-746
92	C16	-3046	-746
93	C17	-2946	-746
94	C18	-2846	-746
95	C19	-2746	-746
96	C20	-2646	-746
97	C21	-2546	-746
98	C22	-2446	-746
99	C23	-2346	-746
100	C24	-2246	-746
101	C25	-2146	-746
102	C26	-2046	-746
103	C27	-1946	-746
104	C28	-1696	-746
105	C29	-1596	-746
106	C30	-1496	-746
107	C31	-1396	-746
108	C32	-1296	-746
109	C33	-1196	-746
110	C34	-1096	-746
111	C35	-996	-746
112	C36	-896	-746
113	C37	-796	-746
114	C38	-696	-746
115	C39	-596	-746
116	C40	-496	-746
117	C41	-396	-746

PAD	PAD NAME	x	y
118	C42	-296	-746
119	C43	-196	-746
120	C44	-96	-746
121	C45	0	-746
122	C46	+104	-746
123	C47	+204	-746
124	C48	+304	-746
125	C49	+404	-746
126	C50	+504	-746
127	C51	+604	-746
128	C52	+704	-746
139	C53	+804	-746
130	C54	+904	-746
131	C55	+1004	-746
132	C56	+1254	-746
133	C57	+1354	-746
134	C58	+1454	-746
135	C59	+1554	-746
136	C60	+1654	-746
137	C61	+1754	-746
138	C62	+1854	-746
139	C63	+1954	-746
140	C64	+2054	-746
141	C65	+2154	-746
142	C66	+2254	-746
143	C67	+2354	-746
144	C68	+2454	-746
145	C69	+2554	-746
146	C70	+2654	-746
147	C71	+2754	-746
148	C72	+2854	-746
149	C73	+2954	-746
150	C74	+3054	-746
151	C75	+3154	-746
152	C76	+3254	-746
153	C77	+3354	-746
154	C78	+3454	-746
155	C79	+3554	-746
156	C80	+3654	-746
157	C81	+3754	-746
158	C82	+3854	-746

## 48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

PAD	PAD NAME	x	y
159	C83	+3954	-746
160	R35	+4328	-738
161	R34	+4428	-738
162	R33	+4528	-738
163	R32	+4628	-738
164	R31	+4728	-738
165	R30	+4828	-738
166	R29	+4928	-738
167	R28	+5028	-738
168	R27	+5128	-738
169	R26	+5228	-738
170	R25	+5328	-738
171	R24	+5428	-738
172	dummy4	+5694	-738

48 □ 84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

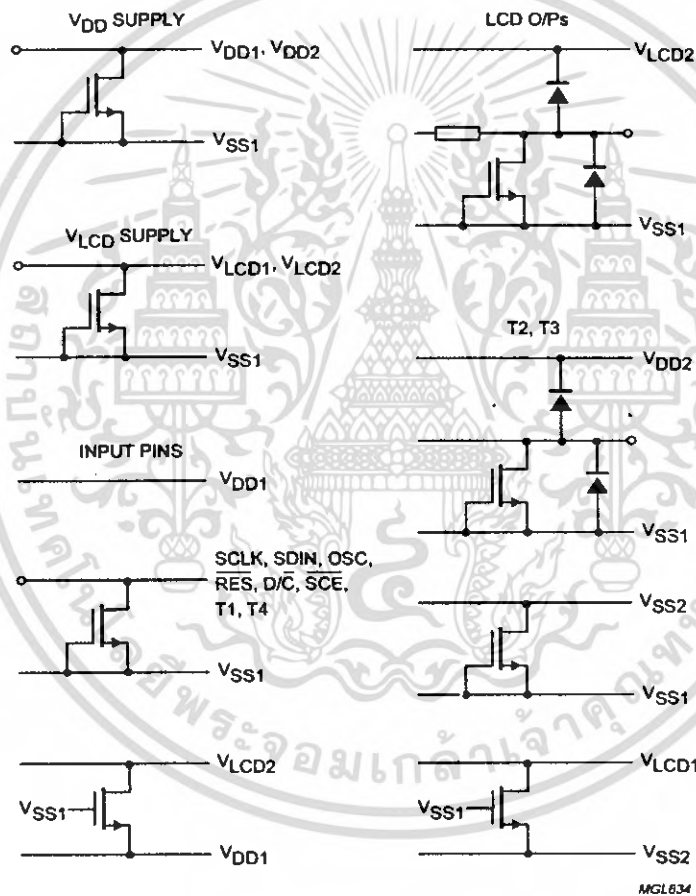


Fig.19 Device protection diagram.

48 □ 84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

15 TRAY INFORMATION

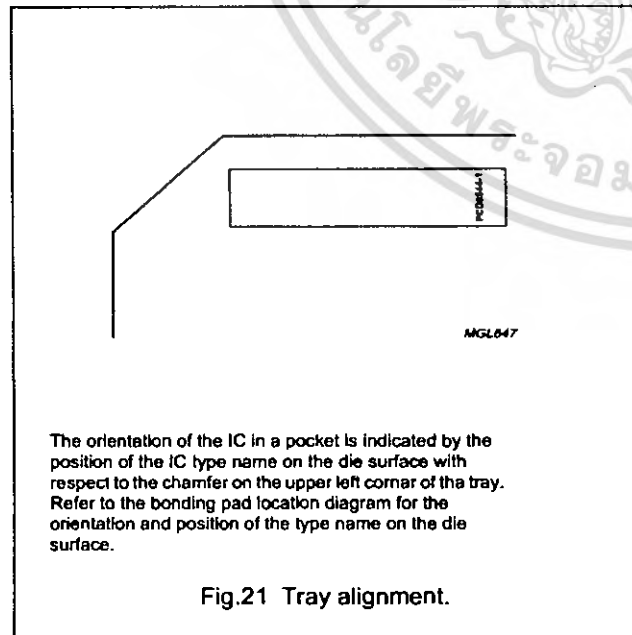
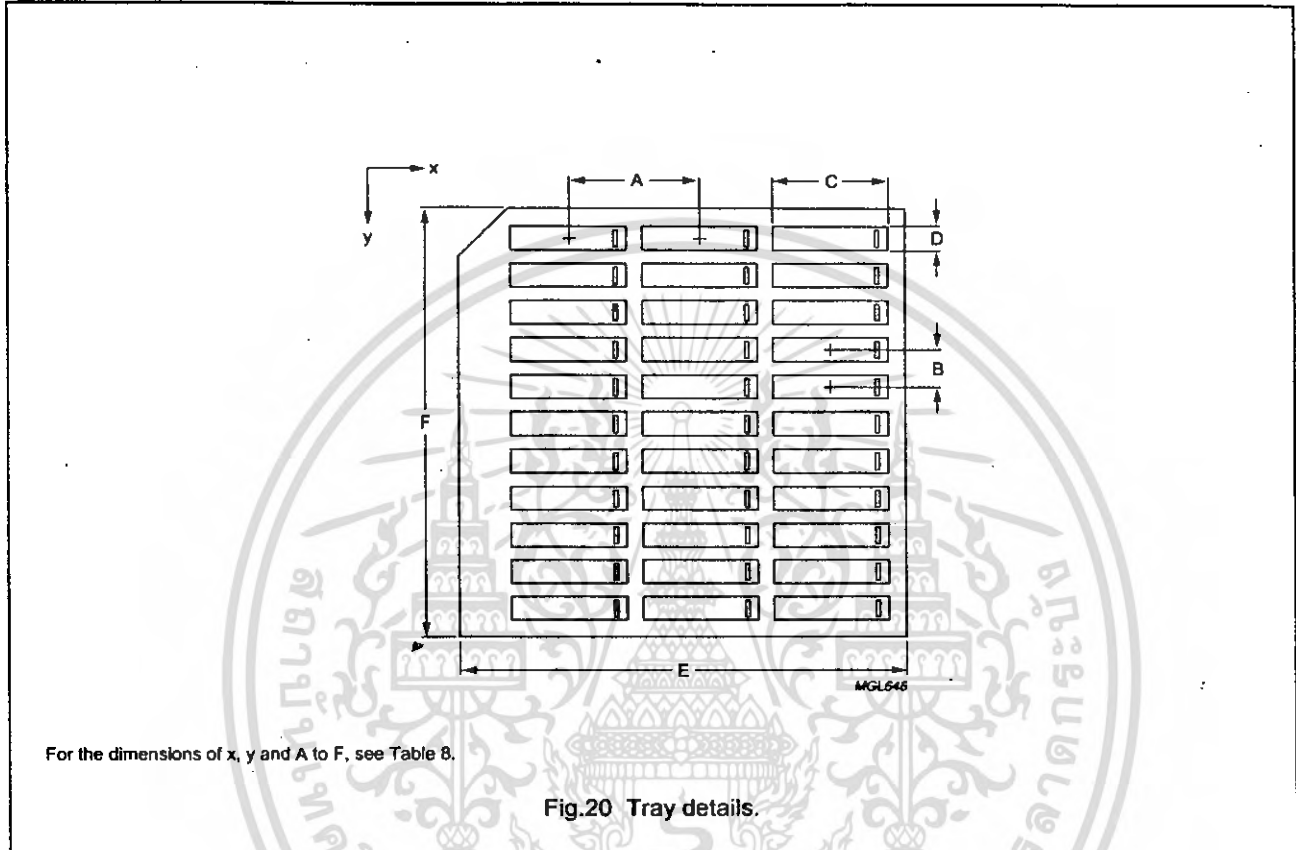


Table 8 Dimensions

DIM.	DESCRIPTION	VALUE
A	pocket pitch, in the x direction	14.82 mm
B	pocket pitch, in the y direction	4.39 mm
C	pocket width, in the x direction	13.27 mm
D	pocket width, in the y direction	2.8 mm
E	tray width, in the x direction	50.67 mm
F	tray width, in the y direction	50.67 mm
x	no. of pockets in the x direction	3
y	no. of pockets in the y direction	11

48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

**16 DEFINITIONS**

<b>Data sheet status</b>	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
<b>Limiting values</b>	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
<b>Application information</b>	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

**17 LIFE SUPPORT APPLICATIONS**

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

## NOTES



# Philips Semiconductors – a worldwide company

**Argentina:** see South America

**Australia:** 34 Waterloo Road, NORTH RYDE, NSW 2113, Tel. +61 2 9805 4455, Fax. +61 2 9805 4466

**Austria:** Computerstr. 6, A-1101 WIEN, P.O. Box 213, Tel. +43 1 60 101 1248, Fax. +43 1 60 101 1210

**Belarus:** Hotel Minsk Business Center, Bld. 3, r. 1211, Volodarski Str. 6, 220050 MINSK, Tel. +375 172 20 0733, Fax. +375 172 20 0773

**Belgium:** see The Netherlands

**Brazil:** see South America

**Bulgaria:** Philips Bulgaria Ltd., Energoproject, 15th floor, 51 James Bourchier Blvd., 1407 SOFIA, Tel. +359 2 68 9211, Fax. +359 2 68 9102

**Canada:** PHILIPS SEMICONDUCTORS/COMPONENTS, Tel. +1 800 234 7381, Fax. +1 800 943 0087

**China/Hong Kong:** 501 Hong Kong Industrial Technology Centre, 72 Tat Chee Avenue, Kowloon Tong, HONG KONG, Tel. +852 2319 7888, Fax. +852 2319 7700

**Colombia:** see South America

**Czech Republic:** see Austria

**Denmark:** Sydhavnsgade 23, 1780 COPENHAGEN V, Tel. +45 33 29 3333, Fax. +45 33 29 3905

**Finland:** Sirkkälöntie 3, FIN-02630 ESPOO, Tel. +358 9 615 800, Fax. +358 9 6158 0920

**France:** 51 Rue Camot, BP317, 92156 SURESNES Cedex, Tel. +33 1 4099 6161, Fax. +33 1 4099 6427

**Germany:** Hammerbrookstraße 69, D-20097 HAMBURG, Tel. +49 40 2353 60, Fax. +49 40 2353 6300

**Hungary:** see Austria

**India:** Philips INDIA Ltd, Band Box Building, 2nd floor, 254-D, Dr. Annie Besant Road, Worli, MUMBAI 400 025, Tel. +91 22 493 8541, Fax. +91 22 493 0966

**Indonesia:** PT Philips Development Corporation, Semiconductors Division, Gedung Philips, Jl. Buncit Raya Kav.99-100, JAKARTA 12510, Tel. +62 21 794 0040 ext. 2501, Fax. +62 21 794 0080

**Ireland:** Newstead, Clonskeagh, DUBLIN 14, Tel. +353 1 7640 000, Fax. +353 1 7640 200

**Israel:** RAPAC Electronics, 7 Kehilat Saioniki St, PO Box 18053, TEL AVIV 61180, Tel. +972 3 645 0444, Fax. +972 3 649 1007

**Italy:** PHILIPS SEMICONDUCTORS, Piazza IV Novembre 3, 20124 MILANO, Tel. +39 2 8752 2531, Fax. +39 2 8752 2557

**Japan:** Philips Bldg 13-37, Kohnan 2-chome, Minato-ku, TOKYO 108-8507, Tel. +81 3 3740 5130, Fax. +81 3 3740 5077

**Korea:** Philips House, 260-199 Itaewon-dong, Yongsan-ku, SEOUL, Tel. +82 2 709 1412, Fax. +82 2 709 1415

**Malaysia:** No. 76 Jalan Universiti, 46200 PETALING JAYA, SELANGOR, Tel. +60 3 750 5214, Fax. +60 3 757 4880

**Mexico:** 5900 Gateway East, Suite 200, EL PASO, TEXAS 79905, Tel. +9-5 800 234 7381, Fax +9-5 800 943 0087

**Middle East:** see Italy

**Netherlands:** Postbus 90050, 5600 PB EINDHOVEN, Bldg. VB, Tel. +31 40 27 82785, Fax. +31 40 27 88399

**New Zealand:** 2 Wagener Place, C.P.O. Box 1041, AUCKLAND, Tel. +64 9 849 4160, Fax. +64 9 849 7811

**Norway:** Box 1, Manglerud 0612, OSLO, Tel. +47 22 74 8000, Fax. +47 22 74 8341

**Pakistan:** see Singapore

**Philippines:** Philips Semiconductors Philippines Inc., 106 Valero St. Salcedo Village, P.O. Box 2108 MCC, MAKATI, Metro MANILA, Tel. +63 2 816 6380, Fax. +63 2 817 3474

**Poland:** Ul. Lukiska 10, PL 04-123 WARSZAWA, Tel. +48 22 612 2831, Fax. +48 22 612 2327

**Portugal:** see Spain

**Romania:** see Italy

**Russia:** Philips Russia, Ul. Usatcheva 35A, 119048 MOSCOW, Tel. +7 095 755 6918, Fax. +7 095 755 6919

**Singapore:** Lorong 1, Toa Payoh, SINGAPORE 319762, Tel. +65 350 2538, Fax. +65 251 6500

**Slovakia:** see Austria

**Slovenia:** see Italy

**South Africa:** S.A. PHILIPS Pty Ltd., 195-215 Main Road Martindale, 2092 JOHANNESBURG, P.O. Box 7430 Johannesburg 2000, Tel. +27 11 470 5911, Fax. +27 11 470 5494

**South America:** Al. Vicente Pinzon, 173, 6th floor, 04547-130 SÃO PAULO, SP, Brazil, Tel. +55 11 821 2333, Fax. +55 11 821 2382

**Spain:** Balmaes 22, 08007 BARCELONA, Tel. +34 93 301 6312, Fax. +34 93 301 4107

**Sweden:** Kottbygatan 7, Akalla, S-16485 STOCKHOLM, Tel. +46 8 5985 2000, Fax. +46 8 5985 2745

**Switzerland:** Allmendstrasse 140, CH-8027 ZÜRICH, Tel. +41 1 488 2741 Fax. +41 1 488 3263

**Taiwan:** Philips Semiconductors, 6F, No. 96, Chien Kuo N. Rd., Sec. 1, TAIPEI, Taiwan Tel. +886 2 2134 2886, Fax. +886 2 2134 2874

**Thailand:** PHILIPS ELECTRONICS (THAILAND) Ltd., 209/2 Sanpavuth-Bangna Road Prakanong, BANGKOK 10260, Tel. +66 2 745 4090, Fax. +66 2 398 0793

**Turkey:** Talatpasa Cad. No. 5, 80640 GÜLTEPE/ISTANBUL, Tel. +90 212 279 2770, Fax. +90 212 282 6707

**Ukraine:** PHILIPS UKRAINE, 4 Patrice Lumumba str., Building B, Floor 7, 252042 KIEV, Tel. +380 44 264 2776, Fax. +380 44 268 0461

**United Kingdom:** Philips Semiconductors Ltd., 276 Bath Road, Hayes, MIDDLESEX UB3 5BX, Tel. +44 181 730 5000, Fax. +44 181 754 8421

**United States:** 811 East Arques Avenue, SUNNYVALE, CA 94088-3409, Tel. +1 800 234 7381, Fax. +1 800 943 0087

**Uruguay:** see South America

**Vietnam:** see Singapore

**Yugoslavia:** PHILIPS, Trg N. Pasica 5A, 11000 BEOGRAD, Tel. +381 11 62 5344, Fax. +381 11 63 5777

Internet: <http://www.semiconductors.philips.com>

For all other countries apply to: Philips Semiconductors, International Marketing & Sales Communications, Building BE-p, P.O. Box 216, 5600 MD EINDHOVEN, The Netherlands, Fax. +31 40 27 24825

© Philips Electronics N.V. 1999

SCA63

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

465008/750/01/pp32

Date of release: 1999 Apr 12

Document order number: 9387 750 05024

Let's make things better.

Philips  
Semiconductors



PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
Philips Semiconductors