

เครื่องวัดความชื้นลำไยอบแห้ง

Dried Longan Moisture Measurement System



โดย

นางสาวเกษร โภธีรักษา

นายสนธยา เสนาะศัพย์



2พ.  
0812  
9547

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **61442**  
วัน,เดือน,ปี 17 ก.ค. 2549

b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องวัดความชื้นลำไยอบแห้ง

## Dried Longan Moisture Measurement System

โดย

นางสาวเกษร โพธิ์รักษา รหัส 45015269

นายสนธยา เสนาะศัพย์ รหัส 45015297

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.กิตติพล ชิตสกุล

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดความชื้นลำไยอบแห้ง

Dried Longans Moisture Measurement System

ผู้จัดทำ

1.นางสาวเกษร โพธิ์รักษา

2.นายสนธยา เสนาะศัพย์





(ดร.กิตติพล ชิตสกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดความชื้นลำไยอบแห้ง

Dried Longans Moisture Measurement System

1.นางสาวเกษร โพธิ์รักษา รหัส 45015269

2.นายสนธยา เสนาะศัพย์ รหัส 45015297

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้



(ดร.กิติพล ชิตสกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องวัดความชื้นลำไยอบแห้ง

นางสาวเกษร โภธีรักษา  
นายสนธยา เสนาะศัพย์  
ดร.กิตติพล ชิตสกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา)  
ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2547

### บทคัดย่อ

การสร้างเครื่องวัดความชื้นลำไยอบแห้งในโครงการนี้ สามารถทำได้โดยการใช้ capacitive sensors เป็นตัวบอกระดับความชื้น โดยหัวใจหลักของโครงการคือ ตัว capacitor ที่จะนำมาทำการทดสอบหาค่าความชื้น ซึ่งตัว capacitor ที่จะนำมาใช้นี้จะต้องสร้างให้มีขนาดเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของงาน แต่การใช้ตัว capacitor เป็นตัวบอกระดับความชื้นนั้นยังไม่สามารถทำได้โดยตรง ดังนั้นจึงอาศัยหลักการของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่วัดได้จากตัว capacitor มาเป็นตัวบอกระดับความชื้นที่เกิดจากปริมาณความหนาแน่นของไดอิเล็กทริกแต่ละชนิดที่นำมาทดสอบ ว่าแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Dried Longans Moisture Measurement System**

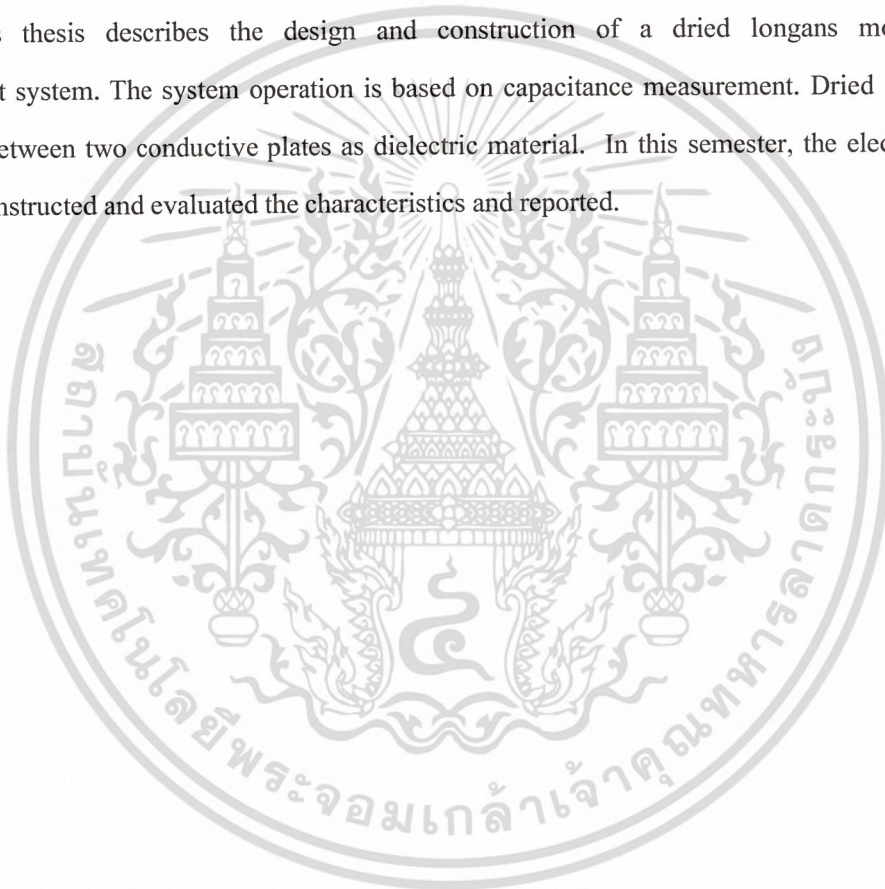
Miss. Keasorn Phoruksa

Mr. Sonthaya Sanorsab

Dr. Kitiphol Chitsakul (Advisor)

2<sup>nd</sup> semester, Academic year 2004**Abstract**

This thesis describes the design and construction of a dried longans moisture measurement system. The system operation is based on capacitance measurement. Dried longans are placed between two conductive plates as dielectric material. In this semester, the electronic system is constructed and evaluated the characteristics and reported.



### กิตติกรรมประกาศ

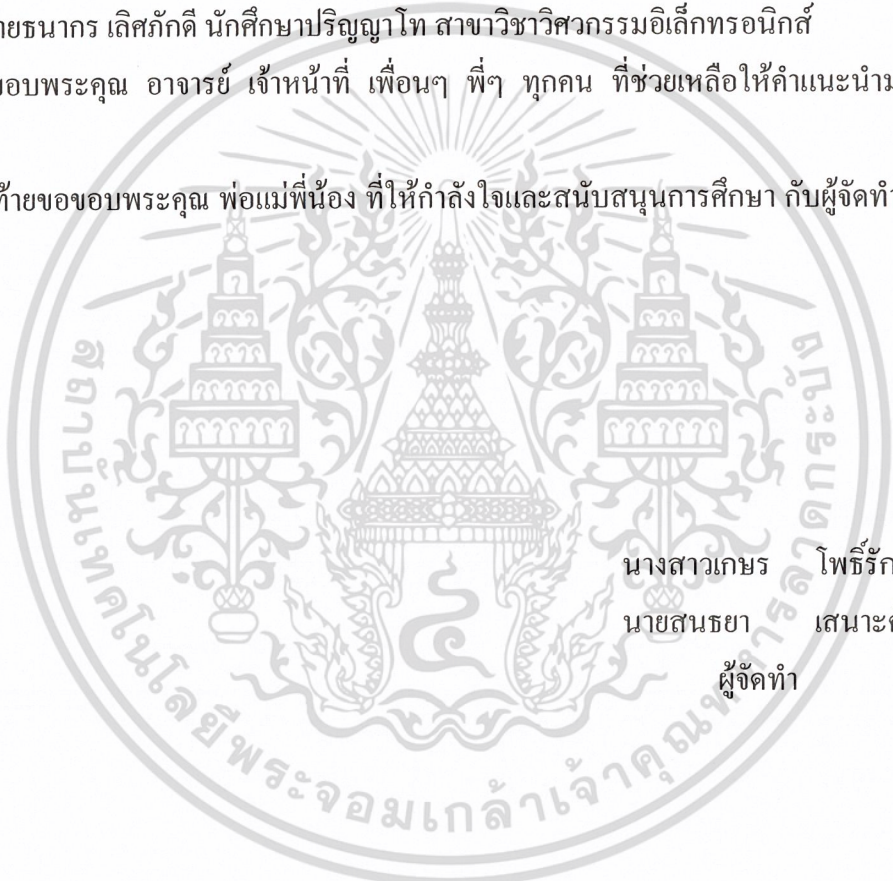
ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดร.กิติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยกรุณาให้คำปรึกษา เสนอแนวคิด วางแนวทางในการทำโครงการ ตลอดจนชี้แนะแก้ปัญหาจนปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณในความช่วยเหลืออย่างมากทั้งในด้าน เครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนคำแนะนำและข้อมูลจากบุคคลต่อไปนี้

1. นายอภิรักษ์ ฤกษ์รัตน์ นักวิจัยศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์
2. นายธนากร เลิศภักดี นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ เจ้าหน้าที่ เพื่อนๆ พี่ๆ ทุกคน ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำมาโดยตลอด

สุดท้ายขอขอบพระคุณ พ่อแม่พี่น้อง ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษา กับผู้จัดทำโครงการมาโดยตลอด



นางสาวเกษร โภธีรักษา  
นายสนธยา เสนาะศัพท์  
ผู้จัดทำ

## สารบัญ

| เรื่อง  | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อ  | I    |
| ABSTRACT  | II   |
| กิตติกรรมประกาศ   | III  |
| สารบัญ  | IV   |
| บทที่ 1 บทนำ  | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาของโครงการ                                  | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ                                | 1    |
| 1.3 แนวคิดของโครงการ                                      | 1    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                             | 2    |
| 1.5 โครงสร้างของโครงการประกอบด้วย                         | 2    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและการนำไปใช้งานของ เซ็นเซอร์ค่าความจุไฟฟ้า  | 3    |
| 2.1 ตัวเก็บประจุและความจุไฟฟ้า                            | 3    |
| 2.2 ตัวเก็บประจุที่เป็นเซ็นเซอร์                          | 7    |
| บทที่ 3 การออกแบบและ โครงสร้างของ เซ็นเซอร์ค่าความจุไฟฟ้า | 8    |
| 3.1 ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ                            | 8    |
| 3.2 หลักการคำนวณค่าความจุ เพื่อนำมาสร้างตัวเก็บประจุ      | 9    |
| 3.3 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ                              | 9    |
| บทที่ 4 การออกแบบและ โครงสร้าง                            | 10   |
| 4.1 โครงสร้างของระบบวัดความจุไฟฟ้า                        | 10   |
| 4.2 วงจรกำเนิดสัญญาณ (Signal generator)                   | 10   |
| 4.3 วงจรดีเทคเตอร์ (Deteceter circuit)                    | 13   |
| 4.4 วงจร AC Amplifier                                     | 13   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|   |           |
|---|-----------|
| 4.5 วงจรกรองความถี่ (Band pass filter)                                | 14        |
| 4.6 วงจร RMS to DC convertor (RMS to DC convertor)                    | 14        |
| 4.7 วงจร A/D Convertor  | 15        |
| 4.8 การแสดง Display   | 19        |
| <b>บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง</b>                                  | <b>21</b> |
| 5.1 ทดสอบการทำงานของภาค Input (Signal generator)                      | 21        |
| 5.2 ทดสอบการทำงานของภาค Detector                                      | 21        |
| 5.3 ทดสอบการทำงานของภาค AC Amplifier                                  | 22        |
| 5.4 ทดสอบการทำงานของภาค Band pass filter                              | 22        |
| 5.5 ผลการทดลอง โดยใช้ตัวเก็บประจุที่รู้จัก                            | 22        |
| 5.6 ผลการทดลองที่ได้จาก ตัวเก็บประจุ ที่สร้างขึ้นที่ไดอิเล็กทริกต่างๆ | 23        |
| 5.7 แสดงขั้นตอนการทดลองและผลที่ได้จากเครื่องวัด                       | 25        |
| <b>บทที่ 6 บทสรุป</b>   | <b>29</b> |
| <b>เอกสารอ้างอิง</b>  | <b>30</b> |
| <b>ภาคผนวก</b>  | <b>31</b> |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ลำไยเป็นไม้ผลเขตร้อนประเภทยืนต้นที่มีปลูกอยู่ทั่วไปภายในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือบางจังหวัด ทั้งนี้ลำไยยังเป็นไม้ผลที่มีผู้นิยมบริโภคกันเป็นอย่างมากทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ จึงถูกจัดเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่ทำรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกและประเทศโดยการส่งออก ไปจำหน่ายยังต่างประเทศอีกทางหนึ่ง การจำหน่ายลำไยในปัจจุบันนี้มีอยู่หลายรูปแบบ เช่น จำหน่ายเป็นลำไยสด ลำไยบรรจุกระป๋อง ลำไยอบแห้ง เป็นต้น

การทำลำไยอบแห้งนั้นจัดได้ว่าเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากจากจำนวนปริมาณของผลผลิตที่มีมากจนทำให้ล้นตลาด ทำให้ผลผลิตที่มีมากเก็บรักษาให้คงรูปอยู่ได้ไม่นาน จึงจำเป็นต้องทำการแปรรูปเพื่อรักษาผลผลิตให้มีระยะเวลาในการเก็บรักษาให้นานขึ้น ทั้งยังเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรอีกด้วย เนื่องจากลำไยอบแห้งมีราคาต่อกิโลกรัมค่อนข้างสูง ปัญหาของการทำลำไยอบแห้งสำหรับผู้ผลิตรายย่อยในปัจจุบันได้แก่การใช้เทคโนโลยีการอบแห้งขั้นต่ำทำให้การควบคุมคุณภาพของผลผลิตทำได้ยาก จึงเป็นที่มาของการทำโครงการเครื่องความชื้นของลำไยอบแห้งนี้

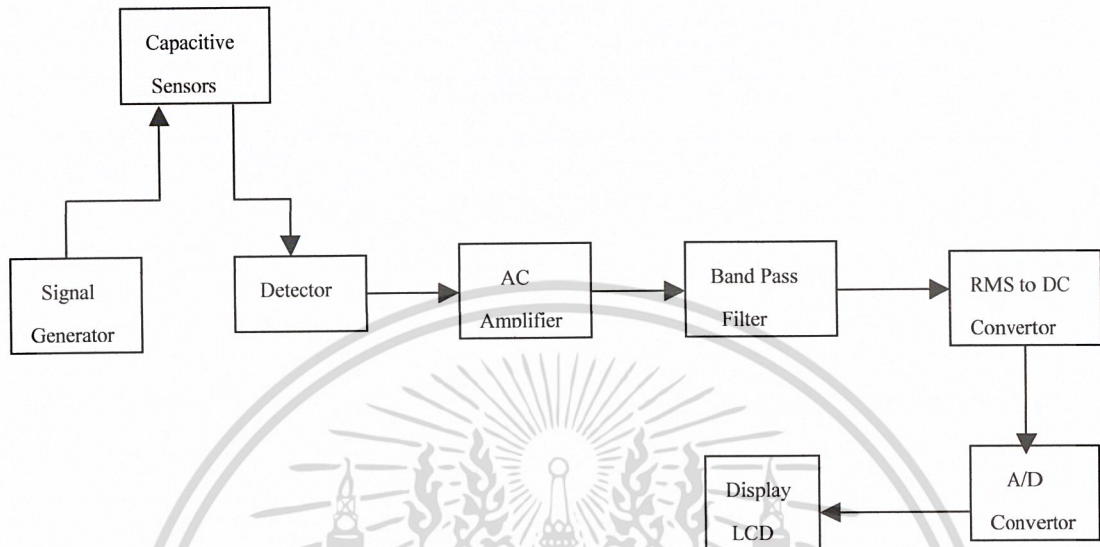
### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เมื่อเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมนำลำไยสดมาทำเป็นลำไยอบแห้งจึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีของเครื่องจักรเพื่อเข้าสู่กระบวนการอบ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการอบแล้วต้องมีการตรวจสอบค่าความชื้นของลำไยที่อบแล้วด้วยเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาด และยังเป็นตัวกำหนดอายุของการเก็บรักษาได้อีกด้วย เครื่องวัดความชื้นของลำไยอบแห้งจึงเป็นอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นในด้านของการวัดค่าความชื้นหลังจากที่ทำการอบเสร็จแล้ว แต่เนื่องจากอุปกรณ์เครื่องนี้มีความค่อนข้างสูง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงทำให้เกิดแนวความคิดที่จะสร้างเครื่องวัดตัวนี้ขึ้นมา เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มทางเลือกให้แก่เกษตรกรและผู้ประกอบการด้านการทำลำไยอบแห้ง

### 1.3 แนวคิดของโครงการ

จากวัตถุประสงค์ของการทำโครงการที่ต้องการได้เครื่องวัดความชื้นของลำไยอบแห้งราคาถูกมีขนาดเล็กและใช้งานง่ายนั้น จึงมีแนวคิดในการวัดความชื้นโดยการสุ่มผลลำไยที่ก่อนอบและหลังการอบมาเปรียบเทียบ โดยวัดค่าแรงดันทางไฟฟ้าของการสุ่มวัดค่าก่อนและหลังอบแล้วนำมาคำนวณเป็นค่าความชื้น โดยเครื่องมือวัดตามแนวคิดนี้จะมีโครงสร้างตามรูปที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของเครื่องวัดความชื้นของล้าโยบแห้ง

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากโครงการ

เมื่อเครื่องวัดความชื้นล้าโยบแห้งเครื่องนี้เสร็จสมบูรณ์ ก็จะทำให้เกิดประโยชน์ต่อเกษตรกร และก็จะเป็ประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์เครื่องวัดความชื้นในประเทศได้ ทำให้เกษตรกรหรือผู้ประกอบการไม่ต้องซื้ออุปกรณ์ที่มีราคาแพงจากต่างประเทศ ทำให้ไม่ต้องเสียค่าขนส่ง การค้าให้ต่างประเทศอีกด้วย

#### 1.5 โครงสร้างของโครงการประกอบด้วย

- 1.บทที่ 1 เป็นการเสนอถึงสาเหตุความเป็นมาที่ทำให้เกิดโครงการนี้
- 2.บทที่ 2 จะเป็นกล่าวถึงทฤษฎีและการนำไปใช้งาน
- 3.บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและ โครงสร้างของเซ็นเซอร์ค่าความจุไฟฟ้า
- 4.บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบและ โครงสร้างของโครงการ
- 5.บทที่ 5 กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองที่ได้
- 6.บทที่ 6 จะเป็นการสรุปและแนวทางในการพัฒนาโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

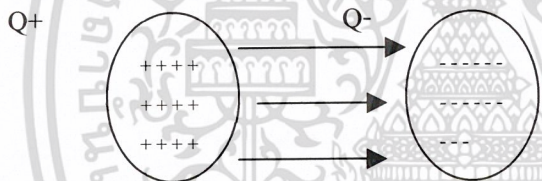
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและการนำไปใช้งานของเซ็นเซอร์ค่าความจุไฟฟ้า

ตั้งแต่ปี 1965 เป็นต้นมาเริ่มมีการวิจัยการนำค่าความจุมาทำเป็นตัวเซ็นเซอร์ในด้านต่างๆ เช่น วัดระดับดิสกรีในเหล้า วัดอุณหภูมิ เป็นต้น และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ให้มีขนาดเล็กและความไวสูง ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ เซ็นเซอร์ค่าความจุไฟฟ้าพอสังเขป

#### 2.1 ตัวเก็บประจุและความจุไฟฟ้า

ตัวเก็บประจุถูกสร้างขึ้นเพื่อเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าในรูปประจุไฟฟ้า ตัวเก็บประจุจะประกอบด้วยตัวนำรูปทรงใดๆ 2 ชิ้น วางอยู่ใกล้กัน ระหว่างตัวนำทั้งสองจะคั่นด้วย ไดอิเล็กทริก โดยตัวนำทั้งสองจะเก็บสะสมประจุในปริมาณเท่ากัน แต่เป็นชนิดตรงกันข้าม



รูปที่ 2.1 การสะสมประจุระหว่างตัวนำให้เกิดค่าความจุ

ความจุไฟฟ้าเป็นค่าคงที่บอกถึงความสามารถในการเก็บประจุหรือพลังงานไฟฟ้ากำหนด ให้เป็นอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณประจุบนตัวนำชิ้นใดชิ้นหนึ่ง กับความต่างศักย์ระหว่างตัวนำทั้งสองดังสมการ

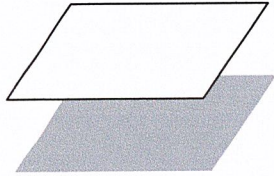
$$C = Q / V$$

$$\text{หน่วย } F = \text{Columb} / \text{Volt}$$

- ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน

ลักษณะเป็นแผ่นตัวนำรูปทรงเรขาคณิตวางขนานกันขึ้นระหว่างกันด้วยไดอิเล็กทริก ค่าความจุคำนวณคร่าว ๆ ได้โดยสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน

$$\text{ได้ } C = Q / V = \epsilon S / d$$

C คือค่าความจุ

$\epsilon$  ค่าไดอิเล็กทริก

S พื้นที่แผ่นประจุ

d ระยะห่างระหว่างแผ่นประจุทั้งสอง

Q ปริมาณประจุบนตัวนำ

V ต่างศักย์ระหว่างตัวนำทั้งสอง

- ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบทรงกระบอก

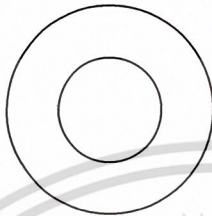


รูปที่ 2.3 ตัวเก็บประจุแบบทรงกระบอก

$$\text{ได้ } C = 2\pi\epsilon L / \ln(a/b) = Q / V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบทรงกลมร่วมซ้อนจุดศูนย์กลาง



รูปที่ 2.4 ตัวเก็บประจุแบบทรงกลมร่วมซ้อนจุดศูนย์กลาง

$$\text{ได้ } C = 4\pi\epsilon / [(1/a) - (1/b)]$$

- ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบทรงกลมเดี่ยว

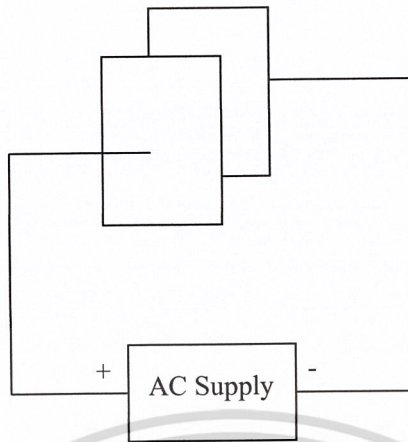


รูปที่ 2.5 ตัวเก็บประจุแบบทรงกลมเดี่ยว

$$\text{ได้ } C = 4\pi\epsilon a$$

ในโครงการนี้จะใช้ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน โดยแผ่นตัวนำทั้งสองจะแยกจากกันโดยฉนวนที่เรียกว่า ไดอิเล็กทริก ( $\epsilon$ ) ซึ่งระยะห่างของแผ่นประจุนั้นจะเป็นบริเวณไดอิเล็กทริกจะประกอบไปด้วย สนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยให้ตัวเก็บประจุต่ออยู่กับ AC Supply ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แนวความคิดของเซ็นเซอร์วัดความชื้นในตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน

ในการใช้งานด้านกระแสสลับ ตัวเก็บประจุจะถูกใช้งานในด้านการวัดความชื้น ซึ่งมันจะแตกต่างกับการใช้งานในด้านกระแสสลับแบบธรรมดา ซึ่งจะมีความถี่ 1 Hz ส่วนความถี่ที่ใช้งานในด้านวัดความชื้นนั้นจะใช้ความถี่ในช่วงระหว่าง 1 MHz – 50 MHz เมื่อใช้งานเป็นตัวเซ็นเซอร์จะมีความถี่อยู่ในย่านความถี่วิทยุ และ RF เซ็นเซอร์ เป็นตัวเก็บประจุประเภทเซ็นเซอร์ความชื้นจะทำงานด้วยกระแสสลับมีความถี่ในย่านที่เหมือนกับเครื่องส่งวิทยุทั่วไป ความถี่วิทยุนี้โดยทั่วไปจะพิจารณาในช่วงระหว่าง 0.1 MHz – 100 MHz ตัวเก็บประจุชนิดเซ็นเซอร์ความชื้นทุกชนิดจะทำงานในช่วงความถี่นี้

แนวความคิดเกี่ยวกับตัวเก็บประจุ ได้สามารถอธิบายได้อย่างง่ายดาย โดยรูปภาพ หรือการเรียนรู้โดยตรงได้ เพราะเป็นพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการสังเกตปรากฏการณ์ อย่างไรก็ตามมันเป็นแนวความคิดที่สำคัญ ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการประมาณค่าความชื้น ซึ่งมันจะสามารถแสดงค่าได้ค่อนข้างน่าพอใจ โดยปราศจากการใช้คณิตศาสตร์ทั้งหมด

ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้ซึ่งมันก็คือค่าความจุในตัวเก็บประจุ โดยหาค่าความจุได้จาก

$$C = \epsilon S / d$$

C คือค่าความจุ

$\epsilon$  ค่าไดอิเล็กทริก

S พื้นที่แผ่นประจุ

d ระยะห่างระหว่างแผ่นประจุทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุจะมีพื้นที่แผ่นประจุ (S) และระยะห่างระหว่างแผ่นประจุ (d) ประจุในตัวเก็บประจุจะขึ้นกับคุณสมบัติของสาร ไดอิเล็กทริก ( $\epsilon$ ) ซึ่งค่า  $\epsilon$  ของไดอิเล็กทริกแต่ละแบบจะไม่เท่ากัน โดย  $\epsilon$  ของสุญญากาศ = 1 ,  $\epsilon$  ของน้ำที่อุณหภูมิ 0 องศา = 88 ซึ่งค่า  $\epsilon$  นี้ตัวเก็บประจุจะถูก ประจุจากตัวที่มีค่า  $\epsilon$  ต่ำๆ ได้ดีกว่าแบบที่มีค่า  $\epsilon$  สูงๆ พลังงานส่วนใหญ่ที่ตัวเก็บประจุต้องการจะมาจากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า เพื่อที่จะมาประจุ ให้แผ่นประจุของตัวเก็บประจุ

## 2.2 ตัวเก็บประจุที่เป็นเซ็นเซอร์วัดความชื้น

การใช้ตัวเก็บประจุเป็นตัววัดความชื้นในวัสดุใด ๆ นั้นวัสดุที่จะนำมาทดสอบ จะถูกวางอยู่ระหว่างแผ่นประจุทั้งสองของตัวเก็บประจุ เนื่องจากปริมาณน้ำในวัสดุนั้น ๆ มีผลต่อความเป็นไดอิเล็กทริกของวัสดุนั้น ๆ จึงสามารถนำหลักการมาใช้ในการตรวจวัดความชื้นในวัสดุได้ ความถูกต้องแม่นยำในการวัดค่าความชื้น โดยวัดค่าความจุไฟฟ้าจะขึ้นกับความหนาแน่นทางโครงสร้าง ความเป็นเนื้อเดียวตลอดและอุณหภูมิ อุณหภูมินั้นสามารถที่จะชดเชยให้แก่ระบบทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ ส่วนความหนาแน่นและความเป็นเนื้อเดียวตลอด การแก้ไขทำค่อนข้างยาก เนื่องจากค่า  $\epsilon$  ที่ทำให้เกิดเป็นค่าความจุจะเป็นค่าเฉลี่ยของ  $\epsilon$  ของวัสดุชนิดอื่นๆด้วยเช่นอากาศหากมีที่ว่างมากและพื้นที่ไม่แน่นอน ค่าที่วัดออกมาอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนแม้จะมีวัสดุที่วัดปริมาณเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ขึ้นมาในขั้นตอนการใช้งาน

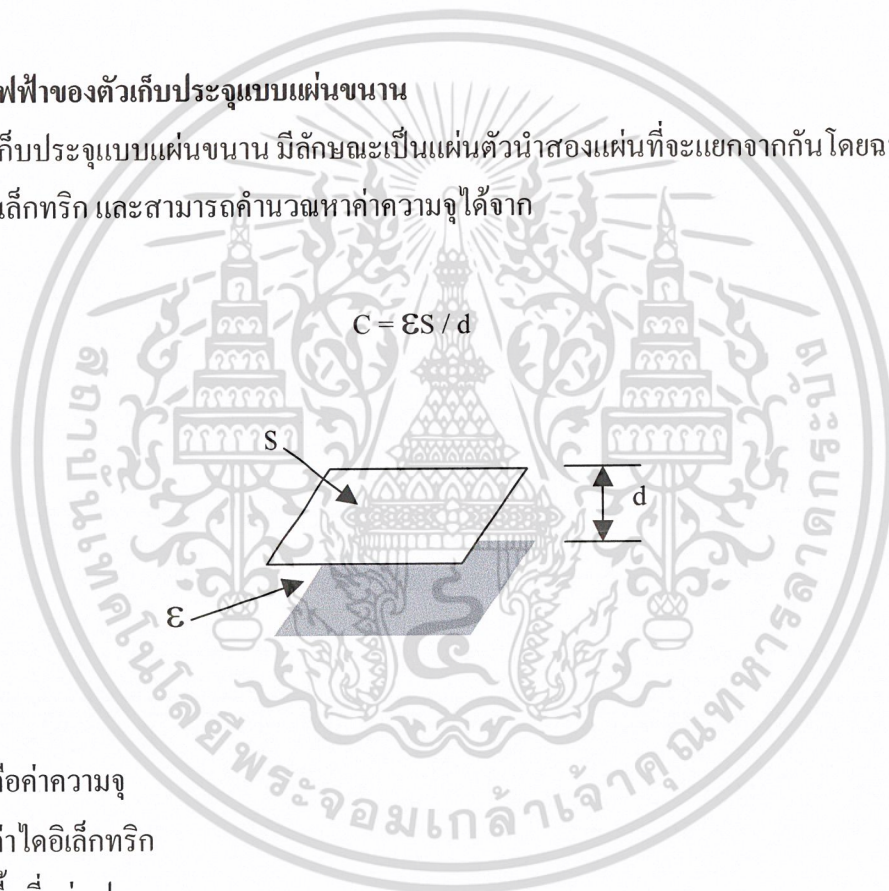
### บทที่ 3

#### การออกแบบและโครงสร้างของ เซ็นเซอร์ค่าความจุไฟฟ้า

เซ็นเซอร์ค่าความจุไฟฟ้า ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างอยู่ในอุตสาหกรรม เช่น เครื่องวัดคุณสมบัติทางไดอิเล็กทริก ของวัสดุ เครื่องวัดระดับดิกิริในเหล้า ค่าความจุที่วัดได้จาก เซ็นเซอร์ค่าความจุไฟฟ้ามักมีค่าค่อนข้างน้อยเนื่องจากโครงสร้างทางกายภาพ ถ้าต้องการให้ตัว เซ็นเซอร์ค่าความจุไฟฟ้ามีความไว จะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับวัสดุประสงค์ของการใช้งาน และในโครงการงานนี้จะใช้ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนานในการสร้างตัวเก็บประจุ

#### 3.1 ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน

ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน มีลักษณะเป็นแผ่นตัวนำสองแผ่นที่จะแยกจากกันโดยฉนวนที่เรียกว่า ไดอิเล็กทริก และสามารถคำนวณหาค่าความจุได้จาก



C คือค่าความจุ

$\epsilon$  ค่าไดอิเล็กทริก

S พื้นที่แผ่นประจุ

d ระยะห่างระหว่างแผ่นประจุทั้งสอง

รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน

ตัวเก็บประจุจะมีพื้นที่แผ่นประจุ (S) และระยะห่างระหว่างแผ่นประจุ (d) ประจุในตัวเก็บประจุจะขึ้นกับคุณสมบัติของสาร ไดอิเล็กทริก ( $\epsilon$ ) ซึ่งค่า  $\epsilon$  ของไดอิเล็กทริกแต่ละแบบจะไม่เท่ากัน โดย  $\epsilon$  ของสุญญากาศ = 1 ,  $\epsilon$  ของน้ำที่อุณหภูมิ 0 องศา = 81 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 หลักการคำนวณค่า capacitance เพื่อนำมาสร้าง capacitor

ในการสร้างตัวเก็บประจุในโครงงานนี้กำหนดให้มีระยะ  $d = 4 \text{ cm}$  , พื้นที่แผ่นตัวนำ กว้าง  $10 \text{ cm}$  ยาว  $10 \text{ cm}$  และตัวไดอิเล็กทริกที่ใช้ในการคำนวณเริ่มต้นคือ อากาศ ซึ่งมีค่า  $\epsilon = 1$  เพราะฉะนั้น จะได้ค่าความจุเริ่มต้นดังนี้

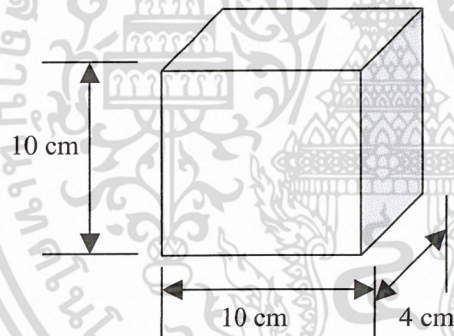
$$C = \epsilon S / d$$

$$C = [8.854 \times 10^{-12} \times 1 \times 10 \times 10^{-2} \times 10 \times 10^{-2}] / [4 \times 10^{-2}]$$

$$C = 2.2 \text{ pF}$$

คือค่าความจุที่นำมาใช้เป็นตัวทดสอบ (C Test) ในการทดลอง และสาเหตุที่กำหนดให้ตัว capacitor มีขนาดตามนี้ก็เพราะการใช้งานของเราเป็นแค่การสู่วัดเท่านั้น ไม่ได้ทำการวัดทั้งหมด

### 3.3 โครงสร้างของตัว capacitor



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของตัว capacitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

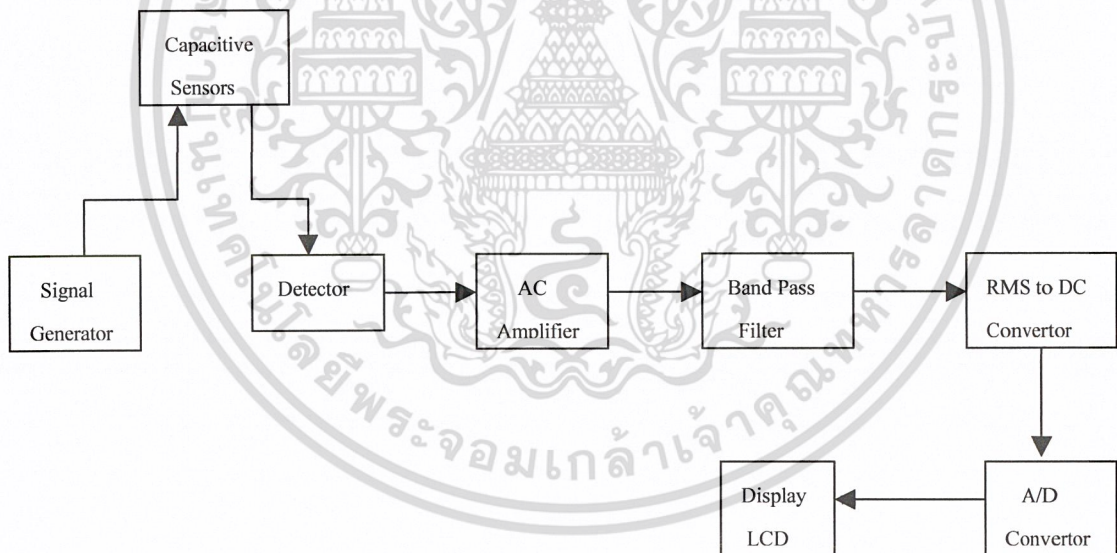
## บทที่ 4

### การออกแบบและโครงสร้าง

เซ็นเซอร์ค่าความจุไฟฟ้าได้ถูกใช้อย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม เช่น เครื่องวัดคุณสมบัติของวัสดุคิบ เครื่องวัดระดับเหลว หรือเครื่องวัดความหนาแน่น เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ความจุจากเซ็นเซอร์ค่าความจุไฟฟ้า จะมีขนาดต่ำมากๆ (เช่น น้อยกว่า 10pF) ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการออกแบบวงจรที่ใช้ในการวัดค่าความจุจากเซ็นเซอร์ค่าความจุไฟฟ้าที่ได้สร้างขึ้น

#### 4.1 โครงสร้างของระบบวัดความจุไฟฟ้า

จากโครงสร้างของวงจรการวัดความจุแสดงในรูปที่ 4.1 วงจรสร้างความถี่ที่ป้อนกระแสให้กับ เซ็นเซอร์ค่าความจุไฟฟ้า เพื่อให้เกิดแรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์ที่ขึ้นอยู่กับค่าความจุซึ่งเป็นไดอิเล็กทริกในเซ็นเซอร์ ค่าแรงดันนี้จะเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟตรงที่แสดงผลบนส่วนแสดงผลแบบผลึกเหลว

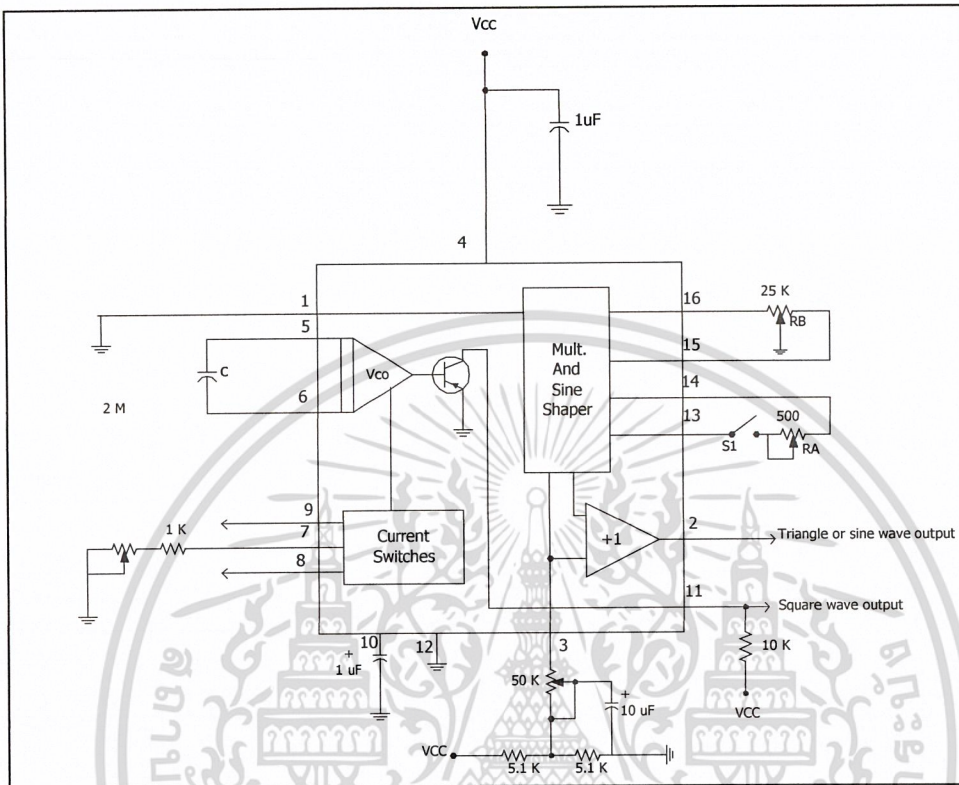


รูปที่ 4.1 ระบบวัดค่าความจุไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการ

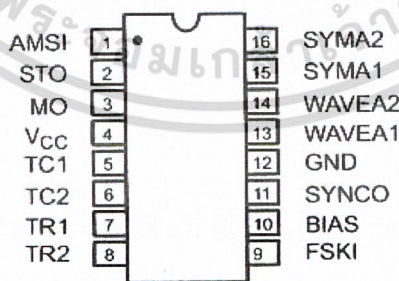
#### 4.2 วงจรกำเนิดสัญญาณ ( Signal generator )

วงจรกำเนิดสัญญาณ แสดงในรูปที่ 2 ใช้ไอซี XR -2206 เป็นไอซีกำเนิดสัญญาณ ความถี่สูง โดยมีช่วงความถี่ตั้งแต่ 0.01 Hz – 1 MHz โดยสามารถสร้างสัญญาณความถี่สูงได้หลายแบบ สัญญาณสามเหลี่ยม สัญญาณฟันเลื่อย สัญญาณไซน์ และสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 วงจรกำเนิดสัญญาณ (Signal generator)



16 Lead PDIP, CDIP (0.300")

รูปที่ 4.3 แสดงขาไอซีเบอร์ XR-2206

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงหน้าที่การทำงานแต่ละขาของไอซีเบอร์ XR-2206

| Pin | Symbol | Description                       |
|-----|--------|-----------------------------------|
| 1   | AMSI   | Amplitude Modulating Signal Input |
| 2   | STO    | Sine or Triangle Wave Output      |
| 3   | MO     | Multiplier Output                 |
| 4   | Vcc    | Positive Power Supply             |
| 5   | TC1    | Timing Capacitor Input            |
| 6   | TC2    | Timing Capacitor Input            |
| 7   | TR1    | Timing Resistor 1 Output          |
| 8   | TR2    | Timing Resistor 2 Output          |
| 9   | FSKI   | Frequency Shift Keying Input      |
| 10  | BIAS   | Internal Voltage Reference        |
| 11  | SYNCO  | Sync Output                       |
| 12  | GND    | Ground                            |
| 13  | WAVE1  | Wave Form Adjust Input 1          |
| 14  | WAVE2  | Wave Form Adjust Input 2          |
| 15  | SYMA1  | Wave Symetry Adjust 1             |
| 16  | SYMA2  | Wave Symetry Adjust 2             |

ไอซี XR-2206 สามารถผลิตความถี่ได้ในช่วง 0.01 Hz – 1 MHz สำหรับในวงจรดังรูปที่ 4.2 ค่าความถี่ของวงจรควบคุมโดย ค่า R รวมที่ขา 7 และค่า C ระหว่างขา 5,6 ดังคำนวณจากสมการที่ (4.1)

$$F = 1 / [RC] \quad (4.1)$$

จากวงจรดังรูปที่ 4.2 ต้องการความถี่สูงสุด  $F = 250 \text{ KHz}$  ใช้ค่า  $C = 0.1 \mu\text{F}$  โดยการปรับค่า VR1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 วงจรดีเทคเตอร์ (Detector Circuit)

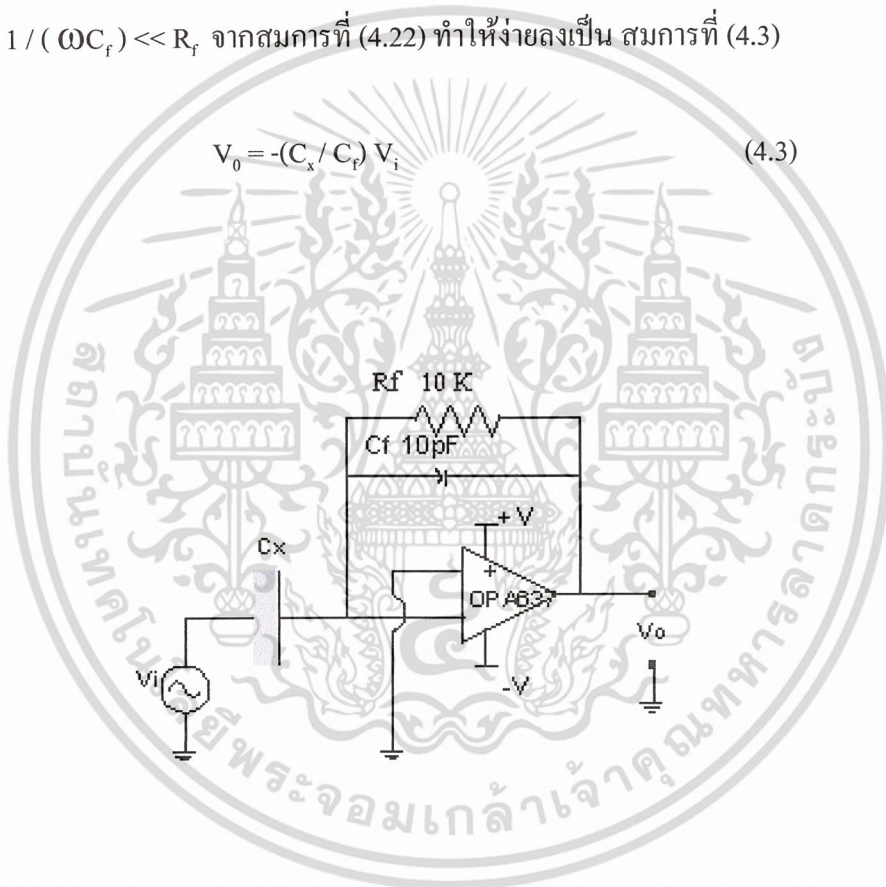
วงจรดีเทคเตอร์แสดงในรูปที่ 4.4 ใช้หลักการของวงจรถ่ายประจุ ซึ่งสะสมอยู่บนแผ่นประจุของตัวเก็บประจุ  $C_x$  ที่คั่นด้วยไดโอดเล็กทริกจากการประจุโดย  $V_i$  โดย  $V_o$  หาได้จากสมการที่ (4.2)

$$V_o = -[j\omega C_x R_f] / [j\omega C_f R_f + 1] \quad (4.2)$$

โดย  $\omega$  เป็นค่าความถี่เชิงมุมของแรงดันไฟฟ้า

หากเลือกให้  $1 / (\omega C_f) \ll R_f$  จากสมการที่ (4.22) ทำให้ง่ายลงเป็น สมการที่ (4.3)

$$V_o = -(C_x / C_f) V_i \quad (4.3)$$



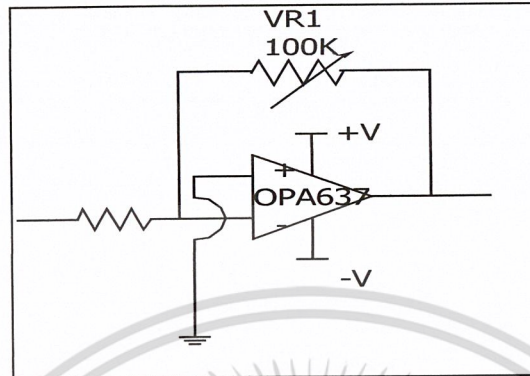
รูปที่ 4.4 วงจรดีเทคเตอร์

จากสมการที่ 4.3 จะเห็นว่าแรงดันเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของขนาดของ  $C_x$  ต่อ  $C_f$

### 4.4 วงจร AC Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

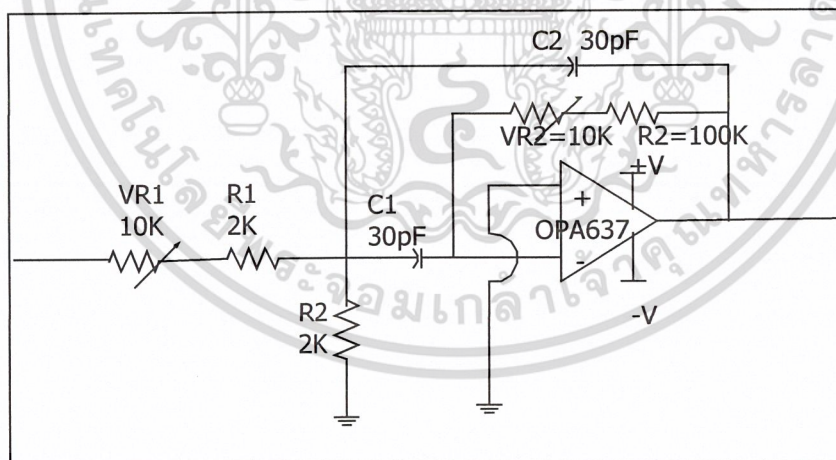
วงจร AC Amplifier แสดงในรูปที่ 4.4 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่รับเข้ามาจาก วงจร detector และเนื่องจากสัญญาณที่ วงจร detector ส่งมานั้นเล็กมาก จึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณให้มีค่าเพียงพอกับการใช้งาน



รูปที่ 4.5 วงจร AC Amplifier

#### 4.5 วงจรกรองความถี่ (Band pass filter)

วงจรกรองความถี่แสดงในรูปที่ 4.5 เป็นวงจรที่ทำหน้าที่กรองความถี่ในย่านใช้งาน ที่ได้ จากวงจร AC Amplifier จะกรองโดยเฉพาะย่านความถี่ที่ใช้งานคือ 250 KHz

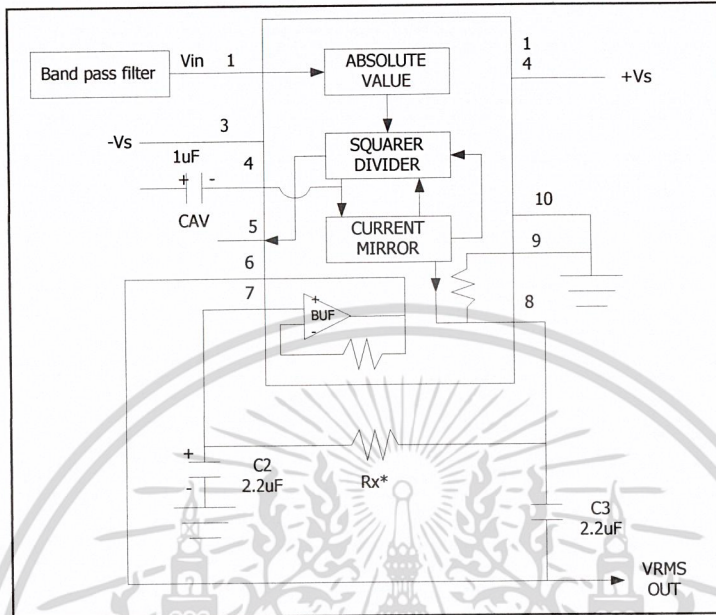


รูปที่ 4. 6 วงจรกรองความถี่ (Band pass filter)

#### 4.6 วงจร RMS to DC converter ( RMS to DC converter Circuit)

วงจร RMS to DC converter แสดงในรูปที่ 4.6 ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณ AC จาก Band pass filter ให้เป็นสัญญาณ DC ในรูปของแรงดัน และนำค่าแรงดันที่ได้มาแสดงผลโดยการ plot กราฟ

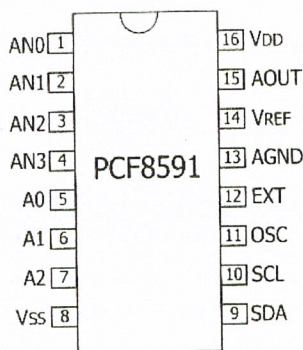
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 วงจร RMS to DC converter

#### 4.7 วงจร A/D Converter

เราใช้ไอซี A/Dเบอร์ PCF8591 ทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ขนาด 8 บิต 4 ช่อง และทำหน้าที่เป็น ไอซีแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกในเวลาเดียวกันด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I<sup>2</sup>C ทำให้สามารถต่อพ่วงไอซี PCF8591 ได้สูงสุดถึง 8 ตัว รองรับการอ่านค่าสัญญาณอะนาลอกอินพุตได้สูงสุดถึง 32 ช่องและสามารถส่งสัญญาณอะนาลอกเอาต์พุตสูงสุดได้ถึง 8 ช่อง ด้วยการกำหนดแอดเดรสจากขา A0,A1,A2 การจัดขาของ PCF8591 แสดงดังรูปรายละเอียดตำแหน่งขาต่างๆมีดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รูปที่ 4.8 แสดงการจัดขาของไอซี PCF8591

ขา AN0-AN3 เป็นขาอินพุตสำหรับป้อนสัญญาณอนาล็อกที่ต้องการแปลงค่า

ขา A0-A2 เป็นขาสำหรับกำหนดข้อมูลแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์ ปกติต่อลงกราวด์ แต่ถ้ามีการใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ต้องกำหนดการต่อขา A0-A2 ของ PCF8591 ให้ไม่ตรงกัน จึงทำให้สามารถต่อใช้งานร่วมกันได้สูงสุด 8 ตัว

ขา Vss เป็นขาต่อกราวด์

ขา SDA,SCL เป็นขาเชื่อมต่อบัส I<sup>2</sup>C

ขา OSC เป็นขาสำหรับต่อกับสัญญาณนาฬิกาภายนอกเมื่อขา EXT ต่อกับไฟ +5 V และจะทำงานเป็นขาเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาถ้าขา EXT ต่อลงกราวด์

ขา EXT เป็นสำหรับเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ถ้าต่อไฟ +5 V จะเป็นการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก โดยต่อสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ถ้าต่อขานี้ลงกราวด์ จะเป็นการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายใน

ขา AGND เป็นขากราวด์ของแรงดันอ้างอิง ปกติต่อลงกราวด์

ขา Vref เป็นขาสำหรับป้อนแรงดัน ปกติต่อเข้าไฟเลี้ยง +5 V

ขา AOUT เป็นขาเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก

ขา Vdd เป็นขาต่อไฟเลี้ยง จ่ายได้ตั้งแต่ +2 ถึง +6 V ปกติใช้ +5 V

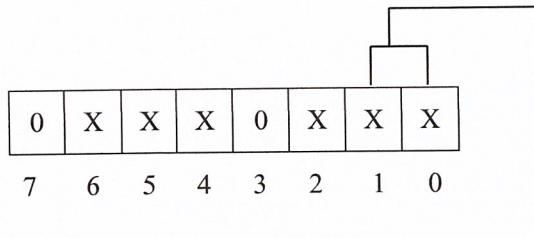
### รายละเอียดของฟังก์ชันต่างๆของ PCF8591

#### ตำแหน่งแอดเดรส

ในระบบบัส I<sup>2</sup>C การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจน ถ้าเป็นการอ้างถึงแบบ 7 บิต ข้อมูลกำหนดแอดเดรส 4 บิตบนจะเป็นค่าแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์ตัวนั้นๆ ที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี PCF8591 จะมีค่าเท่ากับ 1001 (ฐานสอง) ข้อมูล 3 บิตถัดมาจะเป็นค่าของแอดเดรสที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์เพื่อเลือกไอซี PCF8591 ที่ต้องการติดต่อกับในกรณีที่มีการต่อใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซีตัวนั้นๆ

#### ข้อมูลควบคุม

หลังจากส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสแก่ PCF8591 แล้ว ต้องส่งข้อมูลควบคุมตามไปด้วยเพื่อกำหนดคุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกภายใน PCF8591 โดยมีรายละเอียดดังนี้



ช่องอินพุทของ A/D ที่ต้องการติดต่อ

00 ช่อง 0

01 ช่อง 1

10 ช่อง 2

11 ช่อง 3

**บิต 6** ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการเอ็นเอเบิลขาอนาล็อกเอาต์พุท เมื่อต้องการเอ็นเอเบิลต้องกำหนดให้ขานี้เป็น “1”

**บิต 4 และ 5** ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณอนาล็อกอินพุทที่ป้อนให้แก่ PCF8591

**บิต 2** ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุทอนาล็อกว่าจะเป็นการอ่านจากเพียงอินพุทเดียวหรืออ่านแบบเรียงลำดับทุกอินพุท ถ้าต้องการเลือกให้อ่านแบบเรียงลำดับต้องกำหนดให้ขานี้เป็น “1”

**บิต 0 และ 1** ใช้สำหรับกำหนดช่องของอินพุทอนาล็อกที่ต้องการอ่าน ถ้ากำหนดให้บิต 2 เป็น “1” หลังจากอ่านค่าของบิต 0 และ บิต 1 แล้ว ในการอ่านค่าครั้งต่อไปจะเป็นการอ่านค่าอินพุทจากช่องที่ 1

ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน PCF8591

เมื่อจ่ายไฟให้แก่ PCF8591 ครั้งแรก บิตต่างๆของข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมจะเป็น “0”

**ออสซิลเลเตอร์**

วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน PCF8591 จะสร้างสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล เมื่อต้องการใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน ขา EXT ต้องต่อลงกราวด์ ถ้าต้องการใช้ออสซิลเลเตอร์จากภายนอกขา EXT ต้องต่อเข้ากับไฟบวก และป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ของ PCF8591 โดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ป้อนให้กับออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 1.25 MHz

### การอ่านค่าข้อมูลอินพุทอนาลอกของ PCF8591

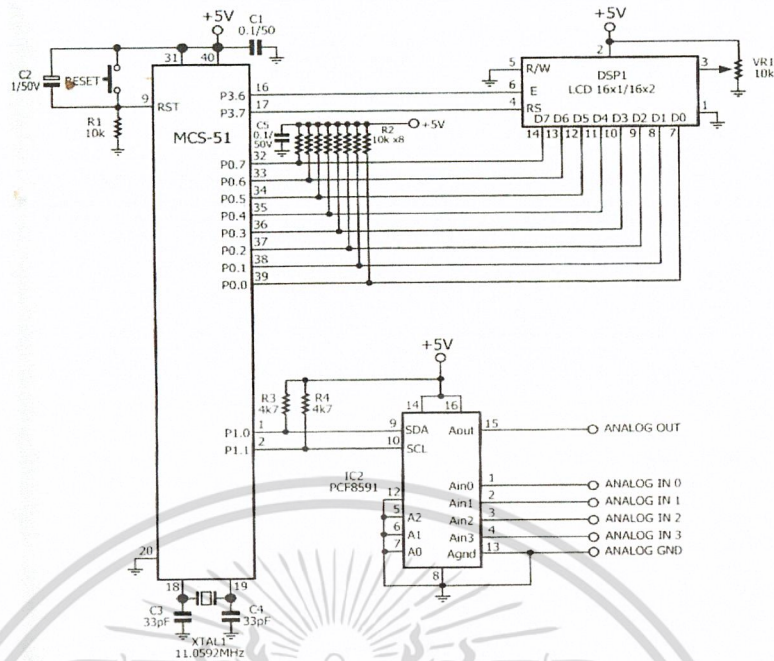
มีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยในที่นี้กำหนดแอดเดรสของ PCF8591 ไว้ที่ 000 (ขา A0,A1,A2 ต่อลงกราวด์ทั้งหมด) และให้ทำงานในโหมดเขียนข้อมูล(ป้อนข้อมูลลอจิก “0” ให้แก่ บิต R/W )
2. เรียกโปรแกรมย่อยการติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
3. ส่งข้อมูลควบคุมไปยัง PCF8591
4. ส่งสัญญาณ STOP
5. เรียกโปรแกรมย่อยการติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
6. ส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสอีกครั้ง โดยครั้งนี้กำหนดให้เป็น โหมดอ่านข้อมูล (ส่งลอจิก “1” ให้แก่บิต R/W)เพื่อเริ่มต้นอ่านข้อมูลจากช่องสัญญาณอนาลอกอินพุท
7. อ่านค่าจากขาอินพุทของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลช่องที่ 1
8. หากต้องการอ่านค่าในช่องต่อไปก็ให้เริ่มต้นการติดต่อใหม่ ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าต่อเนื่องทั้ง 4 ช่องหรือมากกว่าจึงต้องเขียน โปรแกรมลูปเพื่อกำหนดรอบการทำงาน 4 รอบ หรือมากกว่า ภูจะสามารถอ่านได้ครบทุกช่อง

### การเขียนข้อมูลไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก

การเขียนข้อมูลไปยังขาอนาลอกเอาต์พุทมีข้อแตกต่างจากการอ่านข้อมูลดังนี้

1. เรียกโปรแกรมย่อยการติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
2. ส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยให้ทำงานใน โหมดเขียนข้อมูล (บิต R/W เป็นลอจิก “0”)
3. ส่งข้อมูลควบคุม 40H ไปยัง PCF8591 เพื่อเอ็นเอเบิลอนาลอกเอาต์พุท
4. ส่งข้อมูล ไปยังเอาต์พุทอนาลอก โดยค่าที่ส่งออกไปจะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0-255
5. ส่งสภาวะหยุด

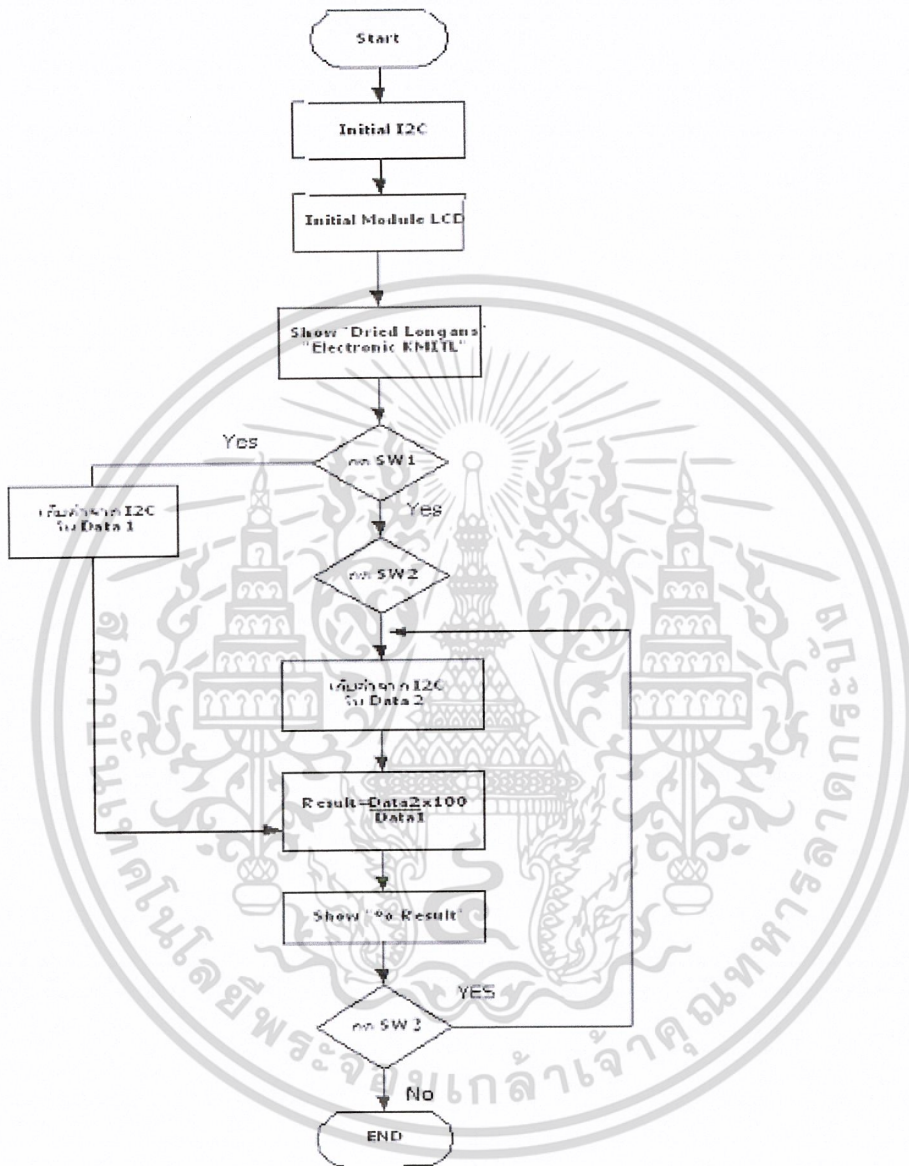


รูปที่ 4.9 แสดงวงจรการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ให้อินเตอร์เฟซกับ ADC/DAC บนระบบบัส I<sup>2</sup>C

#### 4.8 การแสดง Display

การเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงค่าออกทาง LCD นี้เราใช้โปรแกรมภาษาเบสิก BASCOM-8051 ในการเขียนเพื่อแสดงค่าออกทาง LCD โดยมีหลักการทำงานดัง Flowchart นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

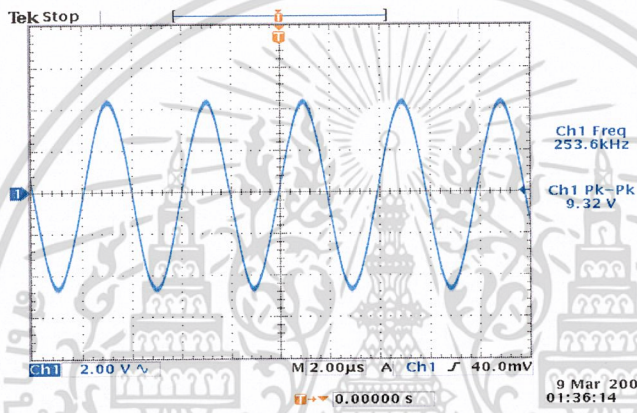
บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะแสดงผลการทดลองฟังก์ชันการทำงานของแต่ละส่วนของวงจรที่ใช้ และวัดค่าแรงดันเอาต์พุตที่ภาค RMS to DC converter จากตัวเก็บประจุที่รู้ค่าโดยใช้ค่าความจุ  $C_x$  ตั้งแต่ 1- 10 pF ก่อนที่จะใช้ค่า  $C_x$  ของตัวเซ็นเซอร์ ที่สร้างขึ้นมาเพื่อทดลองหาค่าแรงดันที่ไดโอดเล็กริกต่างๆ ที่ความถี่ 250 KHz

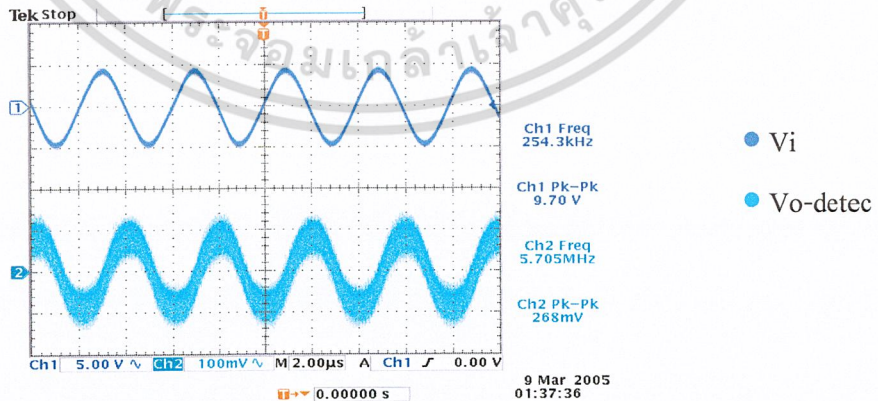
5.1 ทดสอบการทำงานของภาค Input (Signal generator)

ใช้ออสซิลโคปวัดแรงดันที่เอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณรูปที่ 4.2



รูปที่ 5.1 แสดงสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณ( $V_i$  ของรูปที่ 4.4)

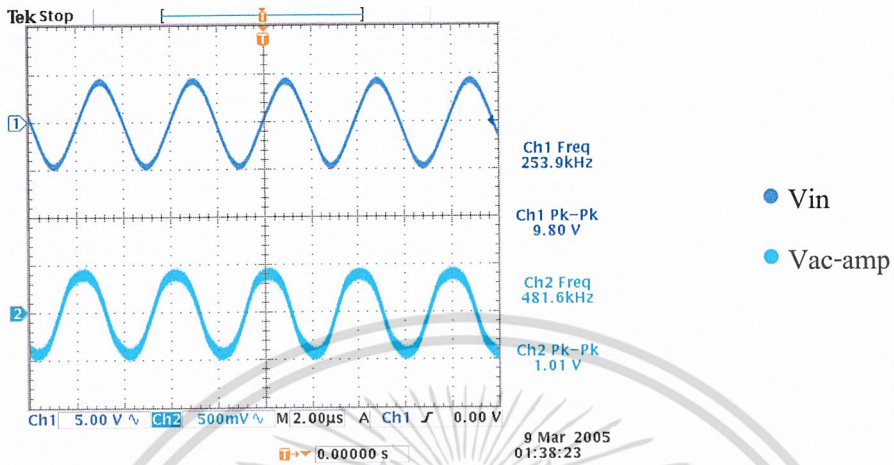
5.2 ทดสอบการทำงานของภาค Detector



รูปที่ 5.2 แสดงสัญญาณเอาต์พุต  $V_i$  เทียบกับ  $V_o$  ของวงจรดีเทคเตอร์(รูปที่ 4.4)ที่ค่า  $C_x = 2.2$  pF เป็น  $C_x$  ที่สร้างขึ้น โดยใช้ไดโอดเล็กริกเป็นอากาศ

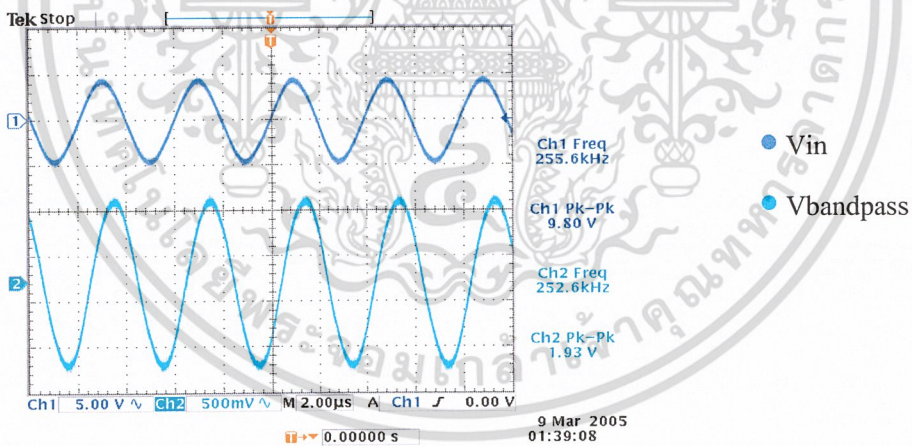
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ทดสอบการทำงานของภาค AC amplifier



รูปที่ 5.3 แสดงสัญญาณของ Vininput เทียบกับ Vac-amp

### 5.4 ทดสอบการทำงานของภาค Band pass filter

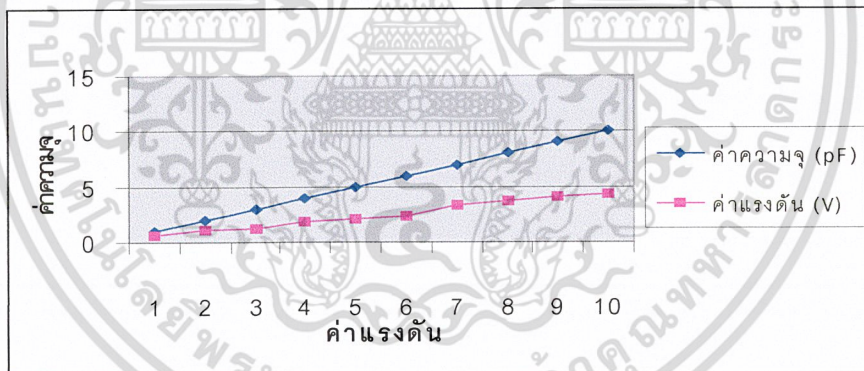


รูปที่ 5.4 แสดงสัญญาณของ Vininput เทียบกับ Vbandpass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.5 ผลการทดลองโดยใช้ค่า capacitor ที่รู้ค่าแทน $C_x$ (รูปที่ 4.4)

| ค่าความจุ $C_x$ (pF) | ค่าแรงดันที่ RMS to DC (Vdc) |
|----------------------|------------------------------|
| 1                    | 0.66                         |
| 2                    | 1.09                         |
| 3                    | 1.3                          |
| 4                    | 1.86                         |
| 5                    | 2.06                         |
| 6                    | 2.4                          |
| 7                    | 3.34                         |
| 8                    | 3.78                         |
| 9                    | 4.1                          |
| 10                   | 4.3                          |

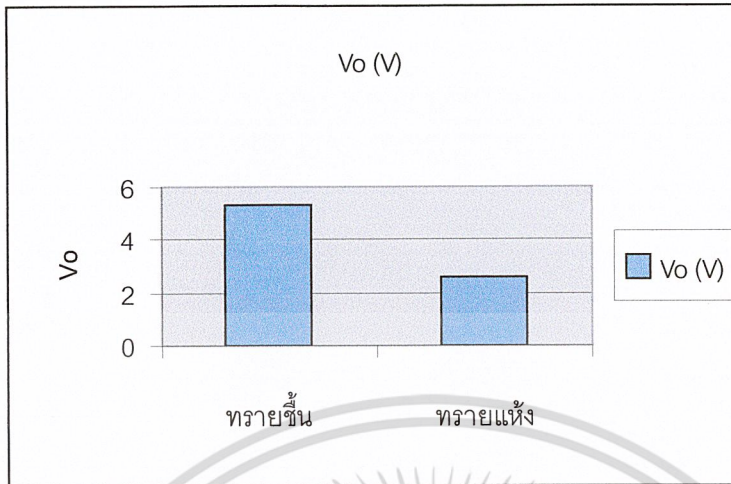


รูปที่ 5.5 แสดงค่าแรงดันกับค่าความจุ

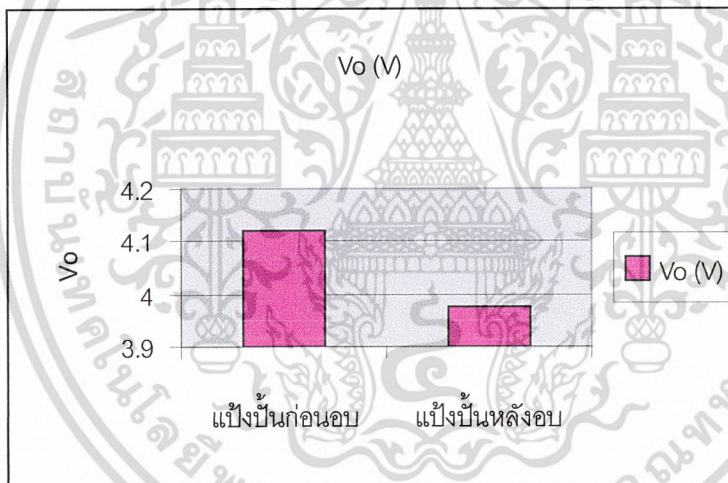
### 5.6 ผลการทดลองที่ได้จาก capacitor ที่สร้างขึ้นที่ไดโอดีทรักต่างๆ

| ไดโอดีทรัก     | $V_o$ (V) |
|----------------|-----------|
| ทรายขึ้น       | 5.32      |
| ทรายแห้ง       | 2.569     |
| แป้งปั้นก่อนอบ | 4.12      |
| แป้งปั้นหลังอบ | 3.977     |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



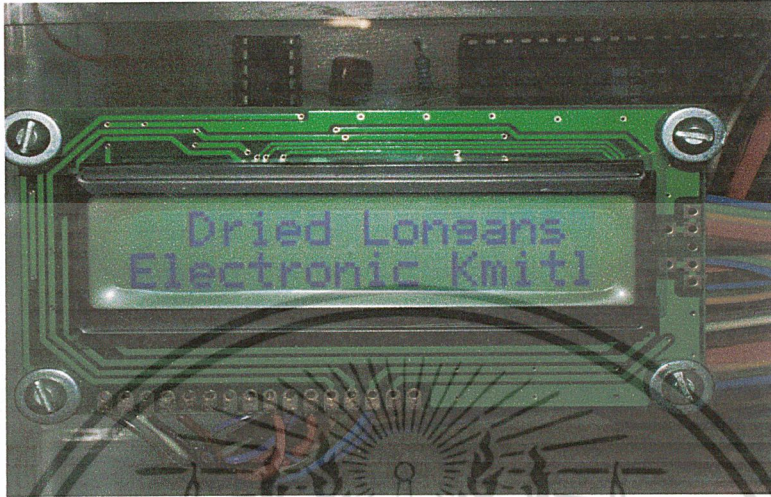
รูปที่ 5.6 แสดงค่าแรงดันที่ลดลงของไดโอดีทรกที่เป็นทราย



รูปที่ 5.7 แสดงค่าแรงดันที่ลดลงของไดโอดีทรกที่เป็นแป้งปั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.7 แสดงขั้นตอนการทดลองและผลที่ได้จากเครื่องวัด

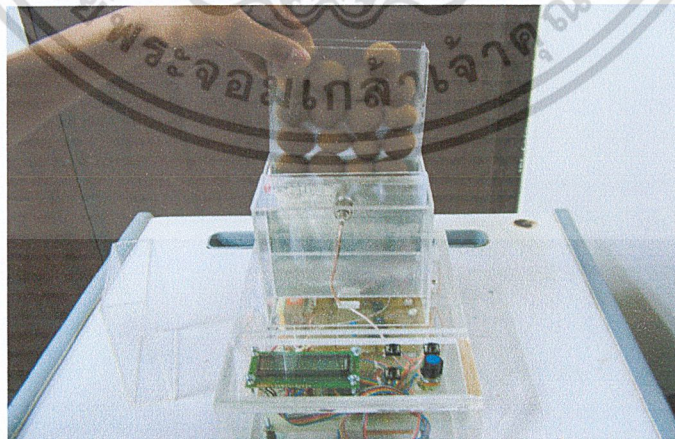


รูปที่ 5.8 แสดงสถานะการทำงานของเครื่อง

เมื่อเปิดเครื่องจะแสดงข้อความ “Dried Longans Electronic KMITL”  
เริ่มการทดลอง

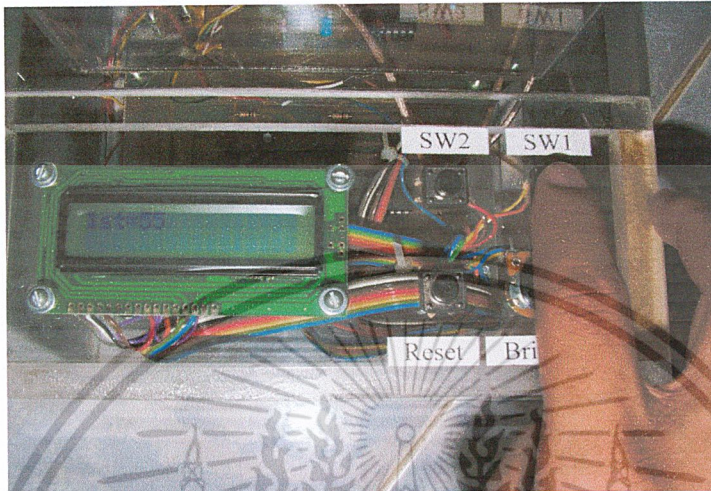
- การทดลองครั้งนี้จะวัดค่าของ ไดโอดีทรกที่เป็นลำใยที่อบแล้วมาเทียบกับไดโอดีทรกที่เป็นอากาศ

1.ใส่ ไดโอดีทรกที่เป็นลำใยที่อบแล้วดังรูป

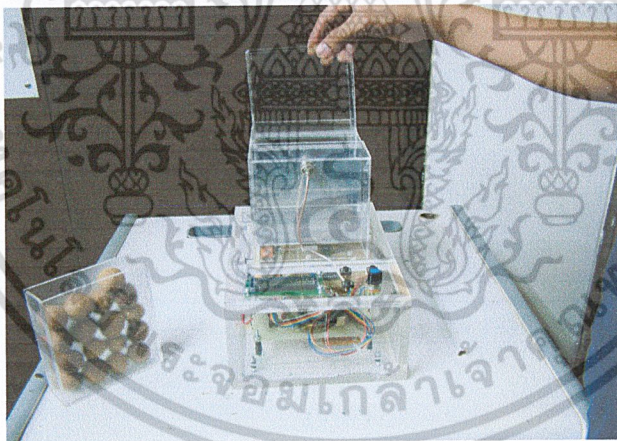


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อใส่ไดโอดีล็กทริกแล้วให้กดปุ่ม SW1



3. หลังจากนั้นใส่ไดโอดีล็กทริกที่เป็นอากาศ

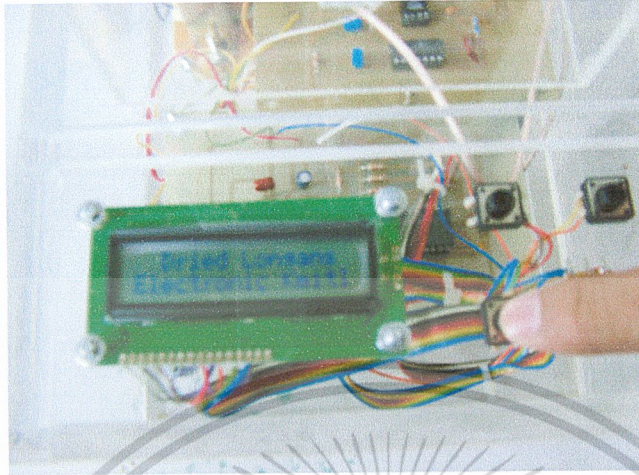


4. เมื่อใส่ไดโอดีล็กทริกแล้วให้กดปุ่ม SW2 LCD จะแสดงผลออกเป็น %



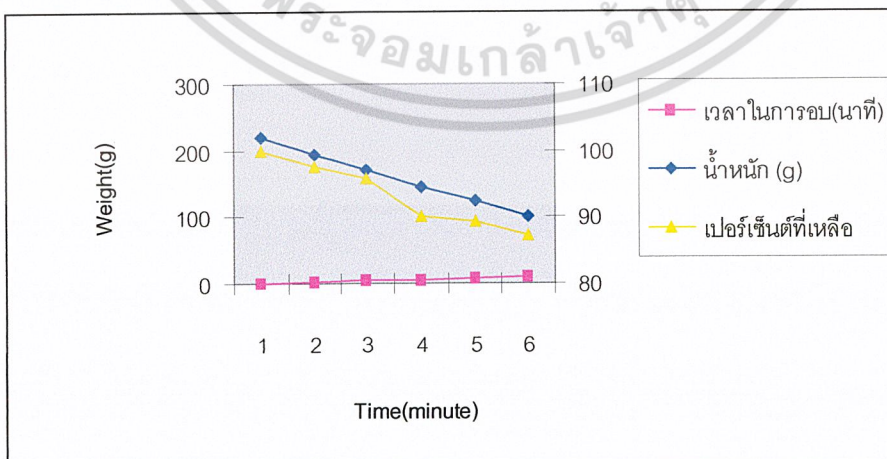
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กดปุ่ม reset เพื่อเริ่มรับค่าใหม่ LCD จะแสดงสถานะเริ่มต้นของเครื่อง



- ผลการทดลองโดยนำน้ำใส่ส้อมมาอบที่เวลาต่างๆ

| เวลาในการอบ(นาที) | น้ำหนัก (g) | เปอร์เซ็นต์ที่เหลือของน้ำ (%) |
|-------------------|-------------|-------------------------------|
| 0                 | 220         | 100                           |
| 2                 | 195         | 97.67                         |
| 4                 | 170         | 95.81                         |
| 6                 | 145         | 90.09                         |
| 8                 | 125         | 89.43                         |
| 10                | 100         | 87.3                          |



รูปที่ 5.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์เทียบกับเวลาการอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบหาค่าความถูกต้องของเครื่อง

ในการทดสอบครั้งนี้จะทำการวัดค่าของวัตถุชุดเดิมทั้ง 2 ครั้ง โดยการวัดแต่ละครั้งจะทำการเรียงวัตถุใหม่ทุกครั้งทำซ้ำแบบเดิม 10 รอบ

| จำนวนครั้ง | เปอร์เซ็นต์ที่วัดได้ (%) |
|------------|--------------------------|
| 1          | 86.84                    |
| 2          | 93.59                    |
| 3          | 97.47                    |
| 4          | 100                      |
| 5          | 96.30                    |
| 6          | 97.44                    |
| 7          | 98.70                    |
| 8          | 96.20                    |
| 9          | 97.50                    |
| 10         | 97.53                    |

ค่าความถูกต้อง = 96.157 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

## บทสรุป

ในการทำงานของวงจรโดยใช้ตัว capacitor เป็นตัวเซ็นเซอร์ เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันที่เปลี่ยนไปตามค่าของ ไดอิเล็กทริกแต่ละชนิด โดยในวงจรจะใช้ความถี่คงที่ ที่ค่าเดียวกันตลอด โดยจะใช้ IC XR-2206 ให้สัญญาณรูป sine ที่มีความถี่ 250 KHz

โดย XR-2206 กำหนดค่าความถี่ที่แน่นอนคือ 250 KHz ขนาด Amplitude 10 Vp-p ป้อนให้ C Test โดยใช้ Cf เป็นตัวอ้างอิงตามรูปที่ 4.4

แล้วดีเทคสัญญาณรูปคลื่น sine ส่งให้ภาค AC Amp ขยายสัญญาณให้สูงขึ้น ส่งต่อไปภาค Band pass filter ให้ผ่านเฉพาะที่ความถี่ 250 KHz แล้วแปลงเป็นแรงดัน DC โดยวงจร RMS to DC converter แล้วส่งต่อไปให้ วงจร A/D Convertor เพื่อแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแล้วทำการประมวลผลด้วย microcontroller AT89C52 แล้วแสดงผลออก LCD Display

ในการทดสอบจะใช้ capacitor 2 แบบ คือ แบบค่ามาตรฐาน(ตัวที่รู้จัก) และแบบที่สร้างขึ้นเองแล้วใช้ค่าไดอิเล็กทริกแต่ละชนิดเป็นตัวกำหนดค่าความจุ

เริ่มการทดลอง ผลการทดลองที่ได้ในตอนแรกคือหาการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาท์พุทภาค RMS to DC converter โดยการเปลี่ยนค่าของตัว Capacitor ว่าถ้าความจุของ Capacitor เปลี่ยนไปค่าของแรงดันจะเปลี่ยนไปด้วยหรือไม่ และจากการทดลองพบว่ายิ่ง Capacitor มีความจุมากค่าของแรงดันก็มากด้วยและค่าแรงดันจะลดลงเมื่อ Capacitor มีค่าน้อยลง

ในการทดลองครั้งที่สองคือจะทำการวัดค่าความจุของ ไดอิเล็กทริกที่จะนำมาวัดเพื่อหาค่าแรงดันเอาท์พุทภาค RMS to DC converter แต่ในการทดลองครั้งนี้จะใช้ไดอิเล็กทริกตัวเดียวกัน โดยครั้งแรกนำไดอิเล็กทริกตัวนั้นไปวัดค่าแล้วเก็บเป็นค่าที่ 1 และครั้งที่สองนำไดอิเล็กทริกตัวนั้นไปทำการอบ หรือตากแดดเพื่อให้ไดอิเล็กทริกตัวนั้นแห้งลงแล้วนำไปวัดค่าอีกครั้งหลังจากนั้นใช้สูตรการคำนวณหาค่าแรงดันคือ

$$(\text{ค่าที่}2)/(\text{ค่าแรก}) * 100\% = \text{ค่า}\% \text{ของแรงดันที่เหลืออยู่}$$

และค่าที่ได้นี้จะคิดเป็นค่าของความชื้นของน้ำที่เหลืออยู่

เนื่องจากผลการทดลองที่ได้จากการวัดค่าที่เปลี่ยนแปลงของน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์เทียบกับเวลาการอบผลที่ออกมาจะไม่ได้มาตรฐานนัก เพราะการทดลองครั้งนี้ใช้เตาไมโครเวฟมาทำการอบลำไยทำให้มีน้ำออกมาบริเวณที่เปลือกของลำไยแตกออกค่าที่วัดออกมาได้นั้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย เพราะในความเป็นจริงการอบลำไยจะใช้ลมร้อนในการเป่าจนกว่าลำไยจะแห้งจะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนกว่านี้

ดังนั้นค่าความชื้นที่ได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณความหนาแน่นหรือน้ำหนักของวัตถุที่นำมาเป็น

ไดอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. Larry K. Baxter. "Capacitive Sensors Design and Applications." IEEE Press Series on Electronics Technology Robert J. Herrick, Series Editor. 1997.
2. วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล "เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51" Index Innovative Experiment Press.
3. อภินัย ฤกษ์รัตน์ "การสร้างภาพตัดขวางความต้านทานไฟฟ้าภายในวัตถุ." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
4. งานวิจัยจากศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์. "Measurement of gain Moisture." สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.
5. อภินัย ฤกษ์รัตน์, ธนากร เลิศภักดี, กิตติพล ชิดสกุล และมนัส สังวรศิลป์. "Small Capacitance Measuring Circuit For Capacitive Sensors." ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
6. [www.idrc.ca:8080/library/document/046680/chape4\\_e.html+measurement+moisture+longans](http://www.idrc.ca:8080/library/document/046680/chape4_e.html+measurement+moisture+longans). "Measurement Moisture Longans." 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

## แสดงการเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงค่าออก LCD

```
$regfile "8052.dat"
```

```
$ramstart = 0
```

```
$ramsize = 256
```

```
$crystal = 11059200
```

```
$baud = 9600
```

```
$large
```

```
Dim Data_1 As Byte
```

```
Dim Data_2 As Byte
```

```
Dim Resut As Single
```

```
Dim Show As String * 8
```

```
Dim Idw As Byte
```

```
Dim Idr As Byte
```

```
Dim Chanel As Byte
```

```
Dim Dtoa As Byte
```

```
Chanel = 64
```

```
Idw = 144
```

```
Idr = 145
```

```
Dtoa = 0
```

```
Sw1 Alias P1.2
```

```
Sw2 Alias P1.3
```

```
Config Scl = P1.1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Config Sda = P1.0

Config Lcdpin = Pin , Db4 = P2.0 , Db5 = P2.1 , Db6 = P2.2 , Db7 = P2.3 , E = P2.4 , Rs = P2.5

Config Lcd = 16 \* 2

Cursor Off

I2cstart

I2cwbyte Idw

I2cwbyte Chanel

I2cwbyte Dtoa

I2cstop

I2cstart

I2cwbyte Idw

I2cwbyte Chanel

I2cwbyte Dtoa

I2cstop

ClS

Lcd " Dried Longans "

Lowerline

Lcd "Electronic Kmitl"

Do

Debounce Sw1 , 0 , Set\_data1 , Sub

Debounce Sw2 , 0 , Set\_data2 , Sub

Loop

Set\_data1:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
I2cstart
```

```
I2cwbyte Idr
```

```
I2crbyte Data_1 , 9
```

```
I2cstop
```

```
I2cstart
```

```
I2cwbyte Idr
```

```
I2crbyte Data_1 , 9
```

```
I2cstop
```

```
'Print "Value 1 = " ; Data_1
```

```
Cls
```

```
Lcd "1st="
```

```
Lcd Data_1
```

```
Return
```

```
Set_data2:
```

```
I2cstart
```

```
I2cwbyte Idr
```

```
I2crbyte Data_2 , 9
```

```
I2cstop
```

```
I2cstart
```

```
I2cwbyte Idr
```

```
I2crbyte Data_2 , 9
```

```
I2cstop
```

```
'Print "Value 2 = " ; Data_2
```

```
Cls
```

```
Lcd "1st="
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lcd Data\_1

Locate 1 , 9

Lcd "2nd="

Lcd Data\_2

Resut = Data\_2 / Data\_1

Resut = Resut \* 100

Show = Fusing(resut , ### . #)

'Print "Result = " ; Show

Lowerline

Lcd "Result= "

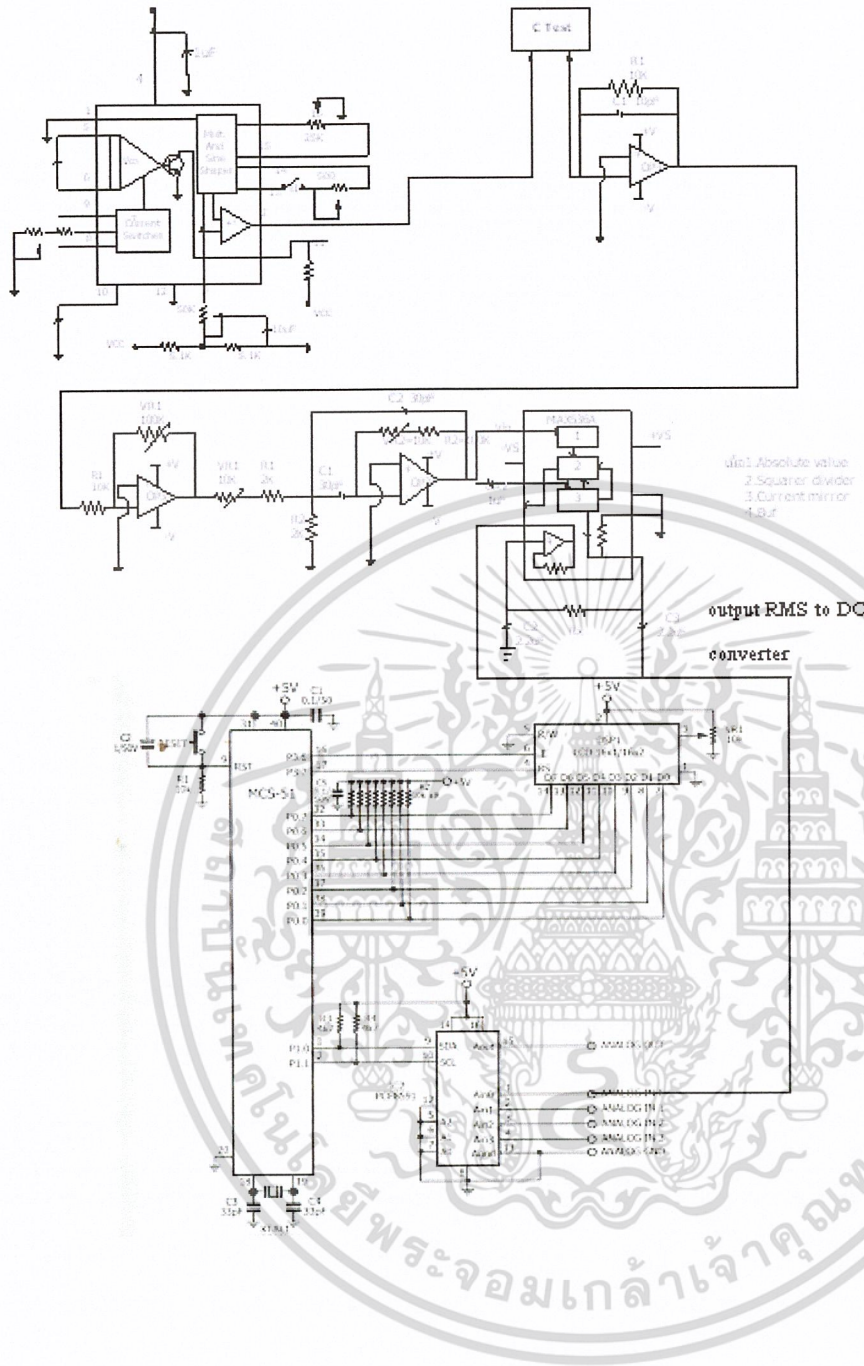
Lcd Show

Lcd " %"

Return

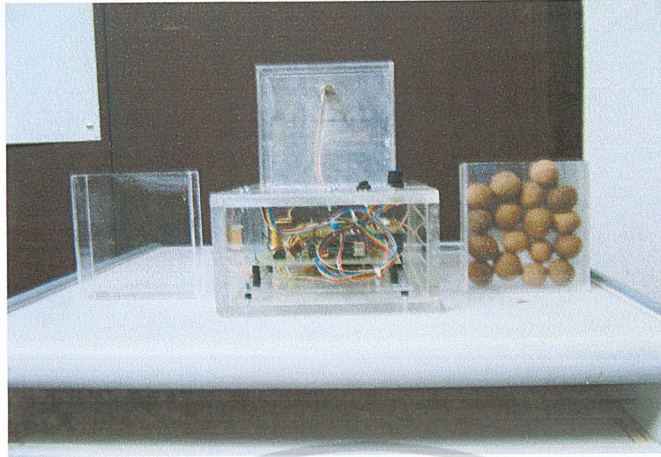


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

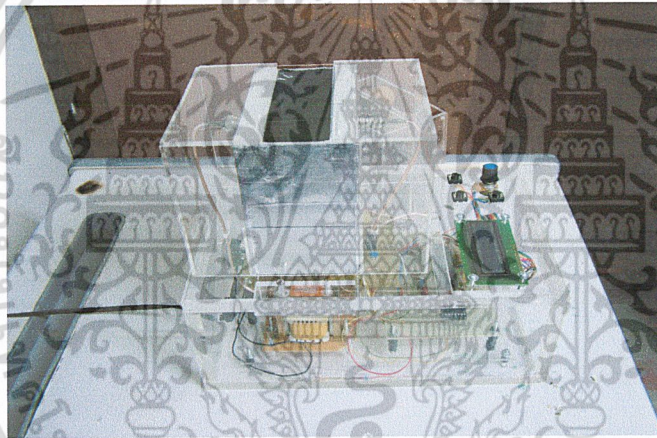


รูปที่1 แสดง โครงสร้างของวงจรรวมทั้งหมดทุกภาค

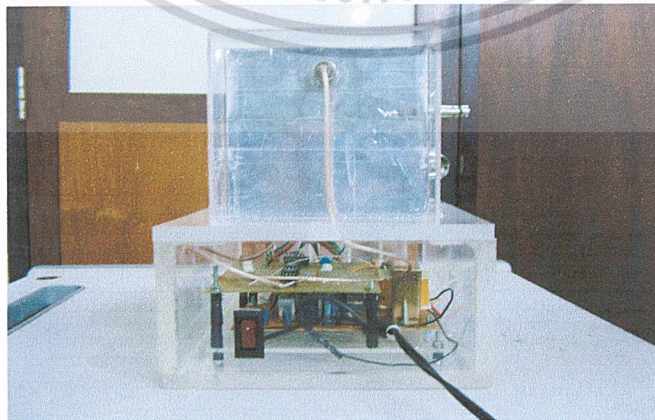
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 เครื่องวัดความชื้นดำโยบแห้ง

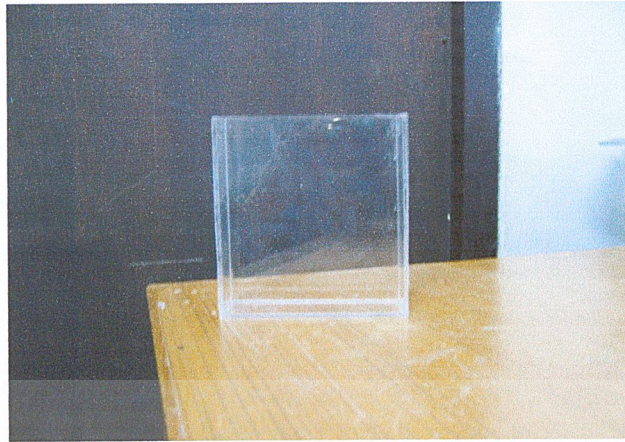


รูปที่ 3 รูปด้านข้างกล่องเครื่องวัด



รูปที่ 4 รูปด้านหลังกล่องเครื่องวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



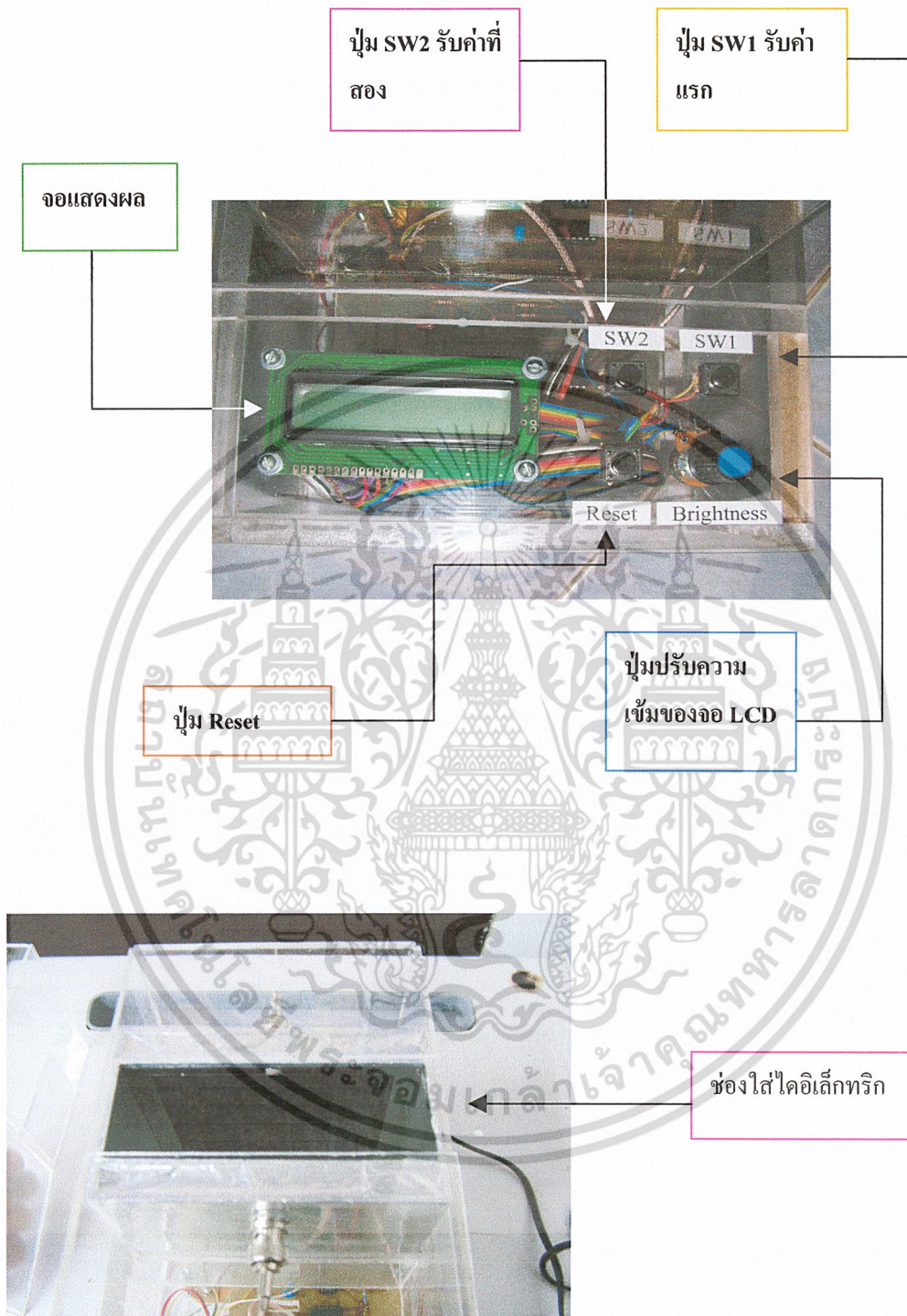
รูปที่ 5 กล่องใสไดโอดีเล็กทริก

คู่มือการใช้งานเครื่องวัดความชื้นลำโยบแห้ง



ปุ่มเปิด/ปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. กดปุ่มสวิทช์เพื่อเปิดเครื่อง เมื่อเปิดเครื่องจะแสดงข้อความ “Dried Longans Electronic KMITL”
2. ใส่ค่าไดโอดีทริกครั้งแรกและครั้งที่ใส่ค่าไดโอดีทริกต้องมีความหนาแน่นหรือน้ำหนักมากกว่าหรือในปริมาณที่เท่ากัน และเมื่อใส่ไดโอดีทริกแรกแล้วให้กดปุ่ม SW1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใส่ค่าไดโอดีเล็กทริกที่สอง หลังจากนั้นกดปุ่ม SW2 LCD จะแสดงผลความแตกต่างออกเป็น %
4. ถ้าต้องการดูความแตกต่างต่อไปอีก ก็ใส่ไดโอดีเล็กทริกที่มีค่าน้อยกว่าครั้งแรกแล้วกดปุ่ม SW2
5. กดปุ่ม Reset เพื่อกลับไปปรับค่าใหม่ โดยจอ LCD จะแสดงสถานะเดิมของจอเหมือนตอนเปิดเครื่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

## 1 FEATURES

- Single power supply
- Operating supply voltage 2.5 V to 6 V
- Low standby current
- Serial input/output via I<sup>2</sup>C-bus
- Address by 3 hardware address pins
- Sampling rate given by I<sup>2</sup>C-bus speed
- 4 analog inputs programmable as single-ended or differential inputs
- Auto-incremented channel selection
- Analog voltage range from V<sub>SS</sub> to V<sub>DD</sub>
- On-chip track and hold circuit
- 8-bit successive approximation A/D conversion
- Multiplying DAC with one analog output.

## 2 APPLICATIONS

- Closed loop control systems
- Low power converter for remote data acquisition
- Battery operated equipment
- Acquisition of analog values in automotive, audio and TV applications.

## 4 ORDERING INFORMATION

| TYPE NUMBER | PACKAGE |   |          |
|-------------|---------|---|----------|
|             | NAME    | DESCRIPTION   | VERSION  |
| PCA8591P    | DIP16   | plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body | SOT38-1  |
| PCA8591T    | SO16    | plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm  | SOT162-1 |



## 3 GENERAL DESCRIPTION

The PCF8591 is a single-chip, single-supply low power 8-bit CMOS data acquisition device with four analog inputs, one analog output and a serial I<sup>2</sup>C-bus interface. Three address pins A0, A1 and A2 are used for programming the hardware address, allowing the use of up to eight devices connected to the I<sup>2</sup>C-bus without additional hardware. Address, control and data to and from the device are transferred serially via the two-line bidirectional I<sup>2</sup>C-bus.

The functions of the device include analog input multiplexing, on-chip track and hold function, 8-bit analog-to-digital conversion and an 8-bit digital-to-analog conversion. The maximum conversion rate is given by the maximum speed of the I<sup>2</sup>C-bus.

# 8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

## 5 BLOCK DIAGRAM

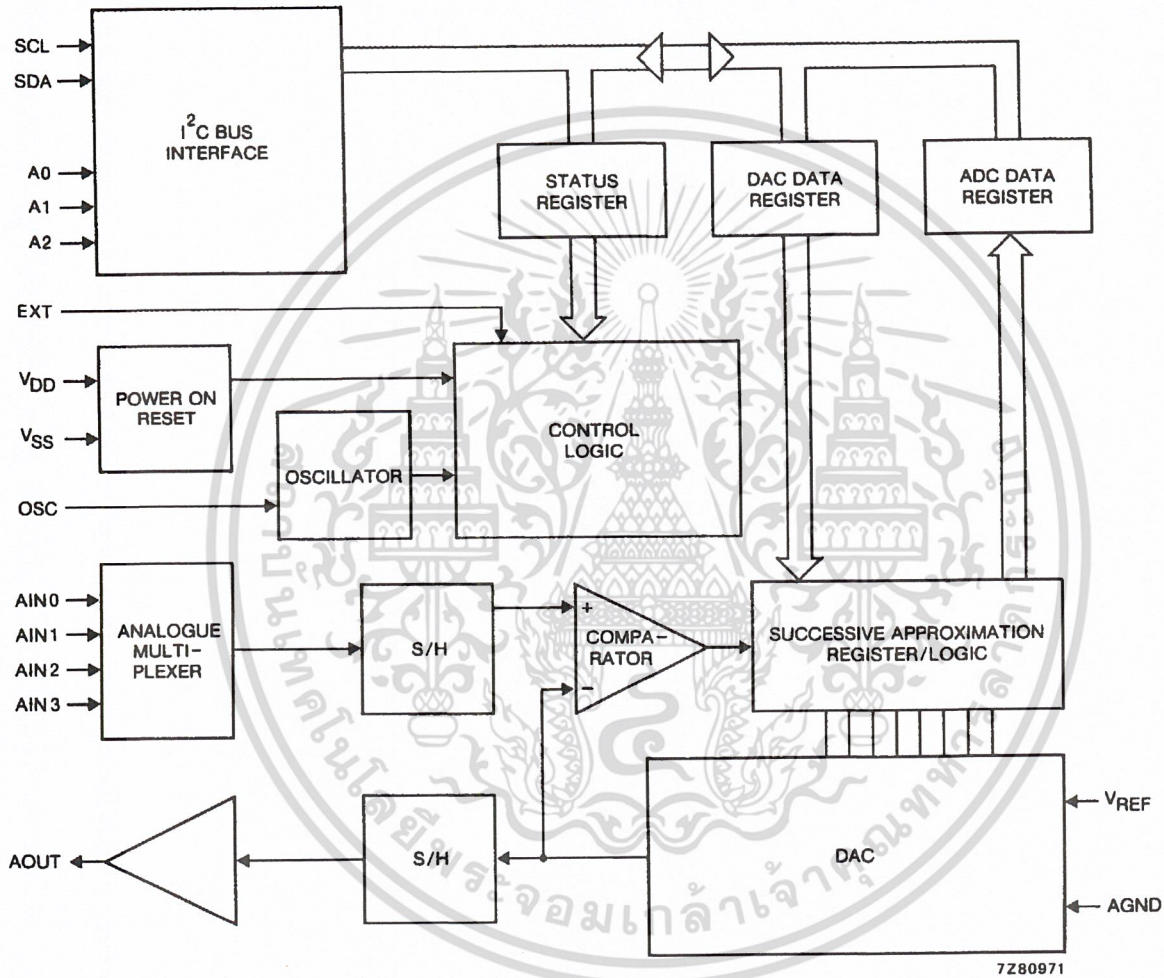


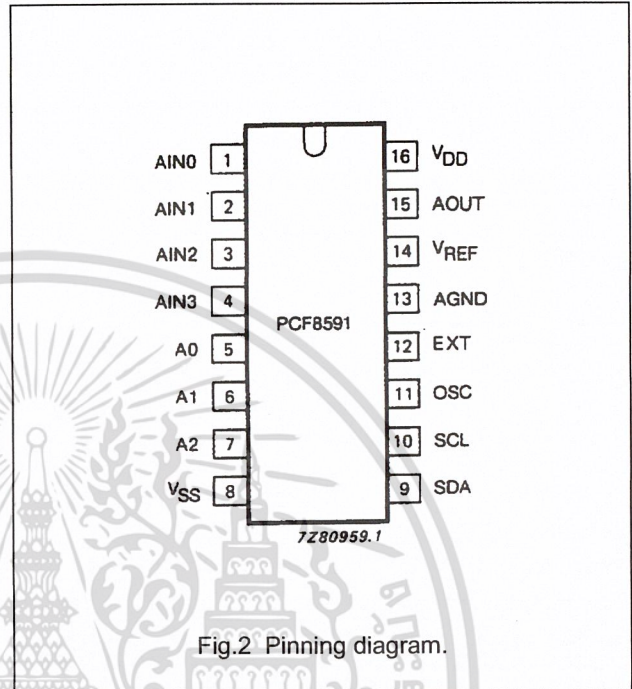
Fig.1 Block diagram.

## 8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

## 6 PINNING

| SYMBOL           | PIN | DESCRIPTION                                   |
|------------------|-----|---|
| AIN0             | 1   | analog inputs<br>(A/D converter)              |
| AIN1             | 2   |   |
| AIN2             | 3   |   |
| AIN3             | 4   |   |
| A0               | 5   | hardware address                              |
| A1               | 6   |   |
| A2               | 7   |   |
| V <sub>SS</sub>  | 8   | negative supply voltage                       |
| SDA              | 9   | I <sup>2</sup> C-bus data input/output        |
| SCL              | 10  | I <sup>2</sup> C-bus clock input              |
| OSC              | 11  | oscillator input/output                       |
| EXT              | 12  | external/internal switch for oscillator input |
| AGND             | 13  | analog ground                                 |
| V <sub>REF</sub> | 14  | voltage reference input                       |
| AOUT             | 15  | analog output (D/A converter)                 |
| V <sub>DD</sub>  | 16  | positive supply voltage                       |



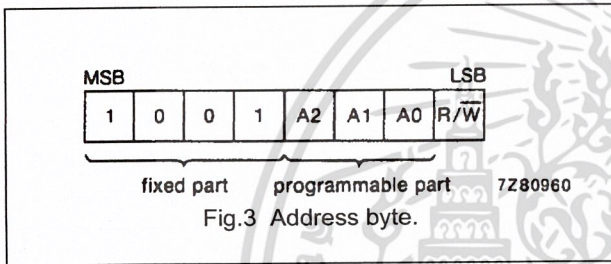
## 8-bit A/D and D/A converter

## PCF8591

## 7 FUNCTIONAL DESCRIPTION

## 7.1 Addressing

Each PCF8591 device in an I<sup>2</sup>C-bus system is activated by sending a valid address to the device. The address consists of a fixed part and a programmable part. The programmable part must be set according to the address pins A0, A1 and A2. The address always has to be sent as the first byte after the start condition in the I<sup>2</sup>C-bus protocol. The last bit of the address byte is the read/write-bit which sets the direction of the following data transfer (see Figs 3, 15 and 16).



## 7.2 Control byte

The second byte sent to a PCF8591 device will be stored in its control register and is required to control the device function.

The upper nibble of the control register is used for enabling the analog output, and for programming the analog inputs as single-ended or differential inputs. The lower nibble selects one of the analog input channels defined by the upper nibble (see Fig.4). If the auto-increment flag is set the channel number is incremented automatically after each A/D conversion.

If the auto-increment mode is desired in applications where the internal oscillator is used, the analog output enable flag in the control byte (bit 6) should be set. This allows the internal oscillator to run continuously, thereby preventing conversion errors resulting from oscillator start-up delay. The analog output enable flag may be reset at other times to reduce quiescent power consumption.

The selection of a non-existing input channel results in the highest available channel number being allocated. Therefore, if the auto-increment flag is set, the next selected channel will be always channel 0. The most significant bits of both nibbles are reserved for future functions and have to be set to 0. After a Power-on reset condition all bits of the control register are reset to 0. The D/A converter and the oscillator are disabled for power saving. The analog output is switched to a high-impedance state.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

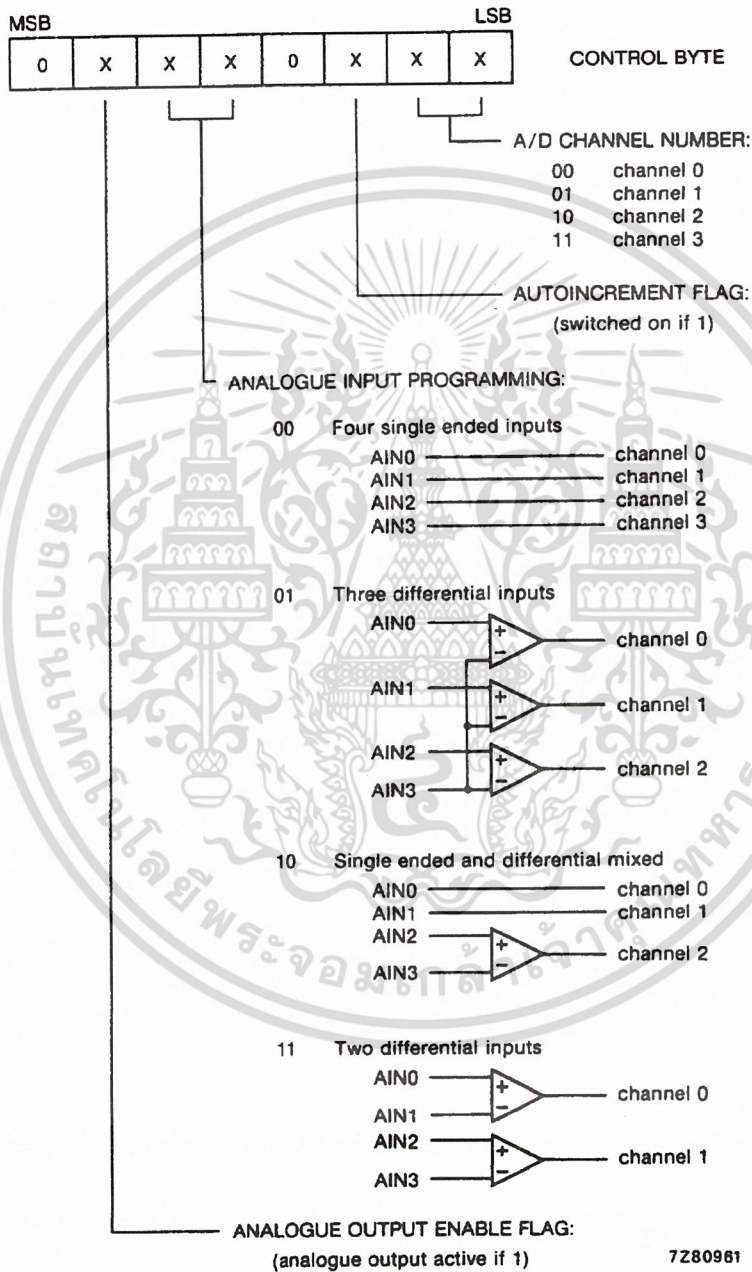


Fig.4 Control byte.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.3 D/A conversion

The third byte sent to a PCF8591 device is stored in the DAC data register and is converted to the corresponding analog voltage using the on-chip D/A converter. This D/A converter consists of a resistor divider chain connected to the external reference voltage with 256 taps and selection switches. The tap-decoder switches one of these taps to the DAC output line (see Fig.5).

The analog output voltage is buffered by an auto-zeroed unity gain amplifier. This buffer amplifier may be switched on or off by setting the analog output enable flag of the control register. In the active state the output voltage is held until a further data byte is sent.

The on-chip D/A converter is also used for successive approximation A/D conversion. In order to release the DAC for an A/D conversion cycle the unity gain amplifier is equipped with a track and hold circuit. This circuit holds the output voltage while executing the A/D conversion.

The output voltage supplied to the analog output AOUT is given by the formula shown in Fig.6. The waveforms of a D/A conversion sequence are shown in Fig.7.

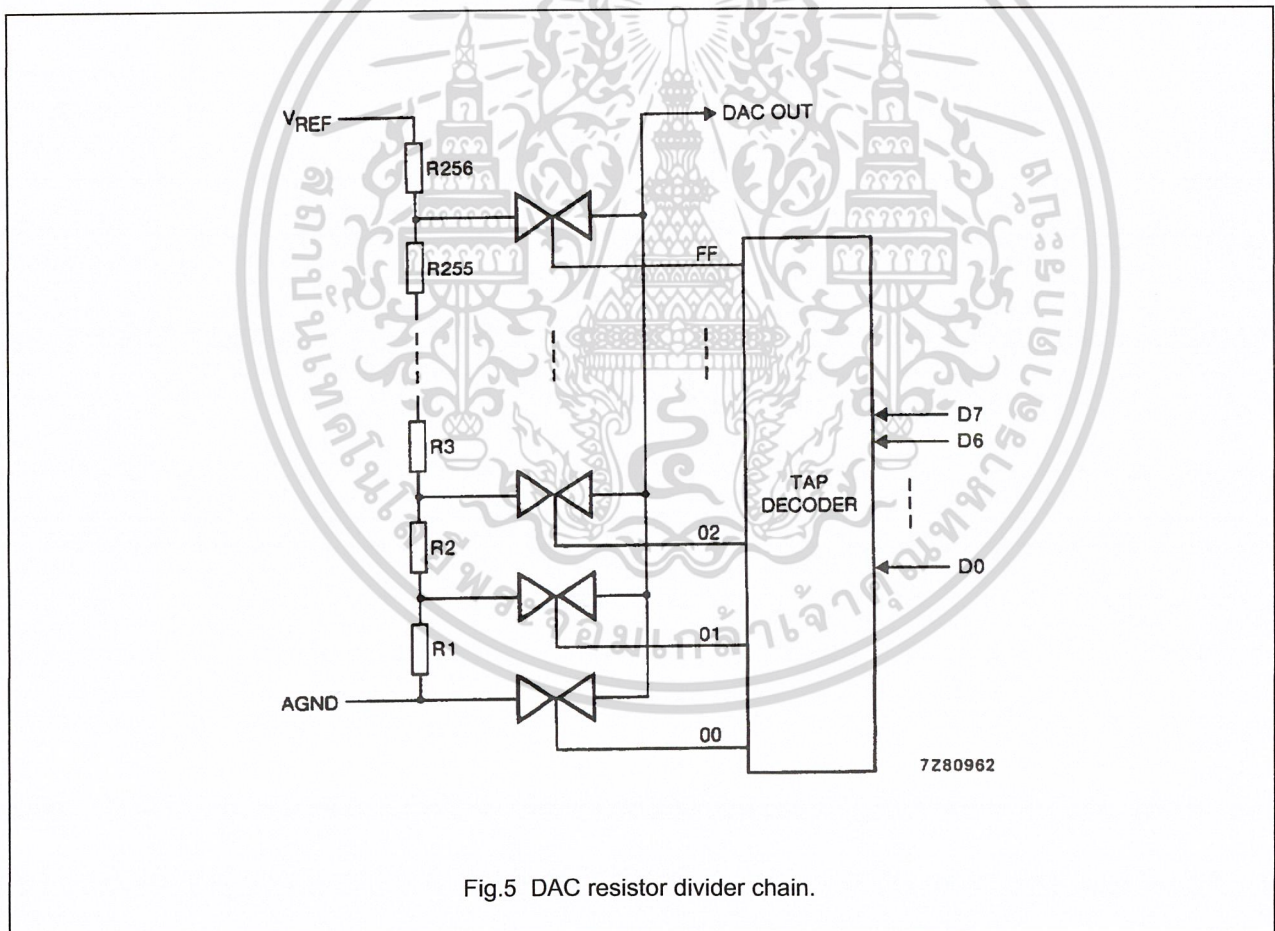


Fig.5 DAC resistor divider chain.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

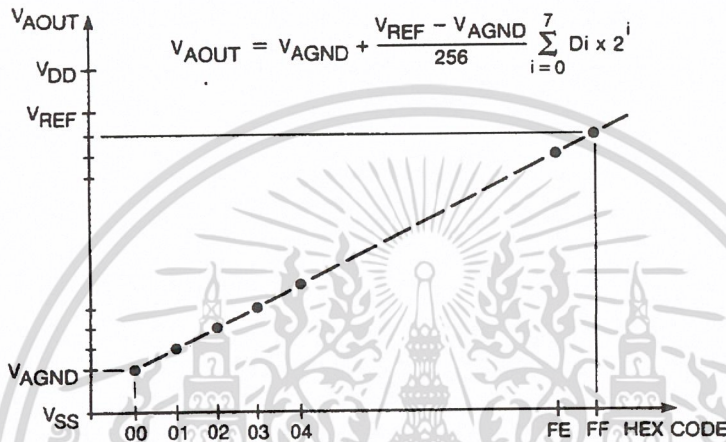
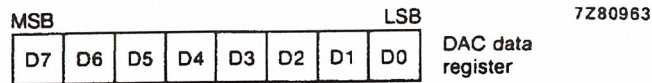


Fig.6 DAC data and DC conversion characteristics.

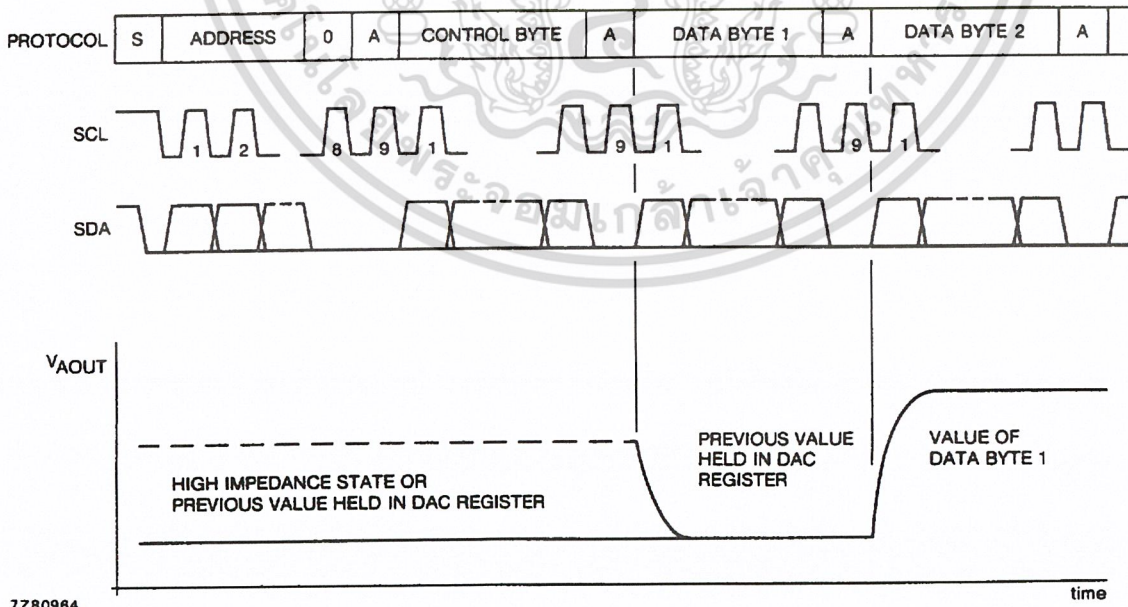


Fig.7 D/A conversion sequence.

# 8-bit A/D and D/A converter

# PCF8591

## 7.4 A/D conversion

The A/D converter makes use of the successive approximation conversion technique. The on-chip D/A converter and a high-gain comparator are used temporarily during an A/D conversion cycle.

An A/D conversion cycle is always started after sending a valid read mode address to a PCF8591 device. The A/D conversion cycle is triggered at the trailing edge of the acknowledge clock pulse and is executed while transmitting the result of the previous conversion (see Fig.8).

Once a conversion cycle is triggered an input voltage sample of the selected channel is stored on the chip and is converted to the corresponding 8-bit binary code. Samples picked up from differential inputs are converted to an 8-bit two's complement code (see Figs 9 and 10).

The conversion result is stored in the ADC data register and awaits transmission. If the auto-increment flag is set the next channel is selected.

The first byte transmitted in a read cycle contains the conversion result code of the previous read cycle. After a Power-on reset condition the first byte read is a hexadecimal 80. The protocol of an I<sup>2</sup>C-bus read cycle is shown in Chapter 8, Figs 15 and 16.

The maximum A/D conversion rate is given by the actual speed of the I<sup>2</sup>C-bus.

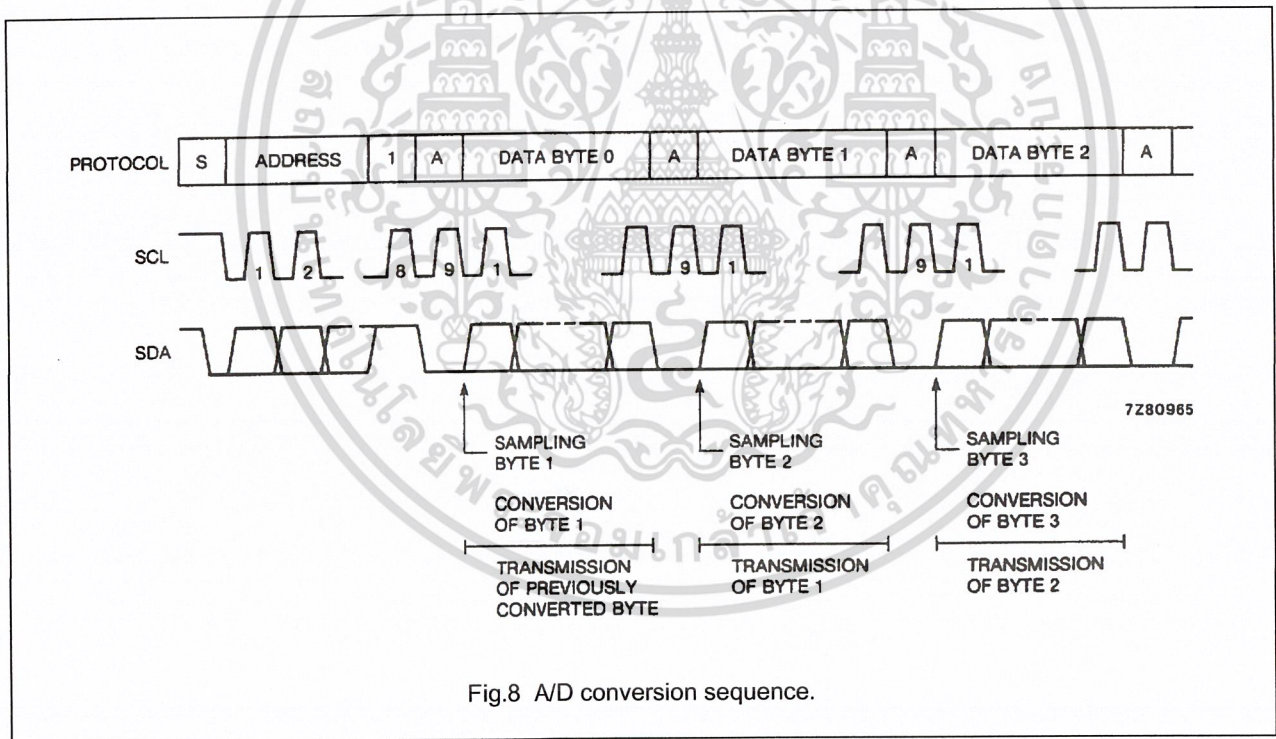


Fig.8 A/D conversion sequence.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

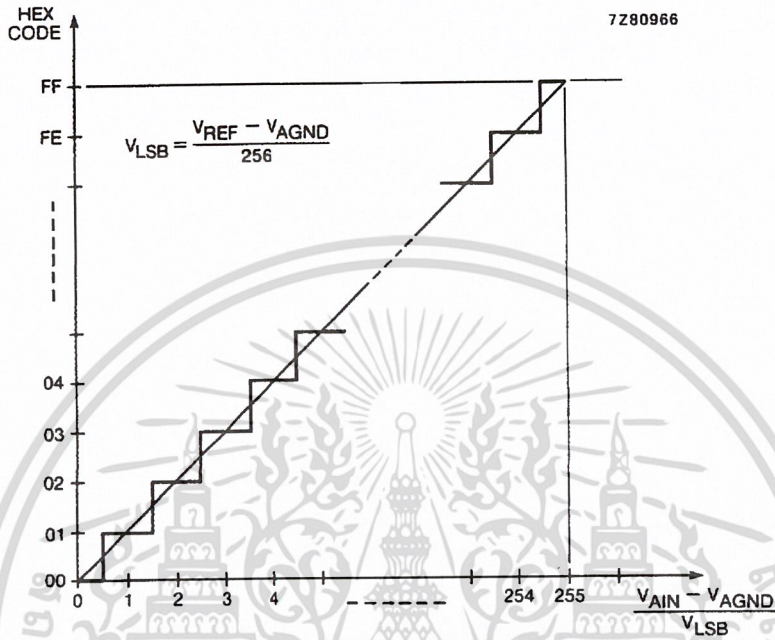


Fig.9 A/D conversion characteristics of single-ended inputs.

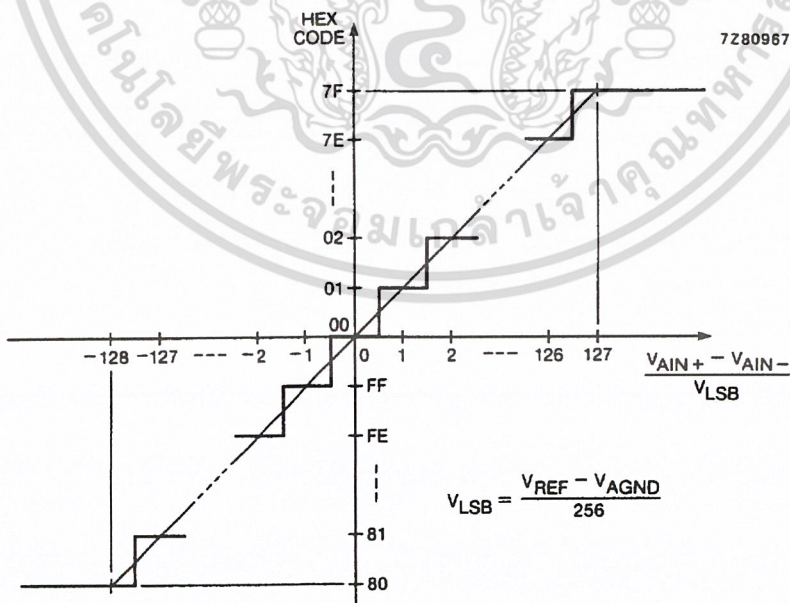


Fig.10 A/D conversion characteristics of differential inputs.

## 8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

### 7.5 Reference voltage

For the D/A and A/D conversion either a stable external voltage reference or the supply voltage has to be applied to the resistor divider chain (pins  $V_{REF}$  and AGND).

The AGND pin has to be connected to the system analog ground and may have a DC off-set with reference to  $V_{SS}$ .

A low frequency may be applied to the  $V_{REF}$  and AGND pins. This allows the use of the D/A converter as a one-quadrant multiplier; see Chapter 15 and Fig.6.

The A/D converter may also be used as a one or two quadrant analog divider. The analog input voltage is divided by the reference voltage. The result is converted to a binary code. In this application the user has to keep the reference voltage stable during the conversion cycle.

### 7.6 Oscillator

An on-chip oscillator generates the clock signal required for the A/D conversion cycle and for refreshing the auto-zeroed buffer amplifier. When using this oscillator the EXT pin has to be connected to  $V_{SS}$ . At the OSC pin the oscillator frequency is available.

If the EXT pin is connected to  $V_{DD}$  the oscillator output OSC is switched to a high-impedance state allowing the user to feed an external clock signal to OSC.



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

8 CHARACTERISTICS OF THE I<sup>2</sup>C-BUS

The I<sup>2</sup>C-bus is for bidirectional, two-line communication between different ICs or modules. The two lines are a serial data line (SDA) and a serial clock line (SCL). Both lines must be connected to a positive supply via a pull-up resistor. Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.

8.1 Bit transfer

One data bit is transferred during each clock pulse. The data on the SDA line must remain stable during the HIGH period of the clock pulse as changes in the data line at this time will be interpreted as a control signal.

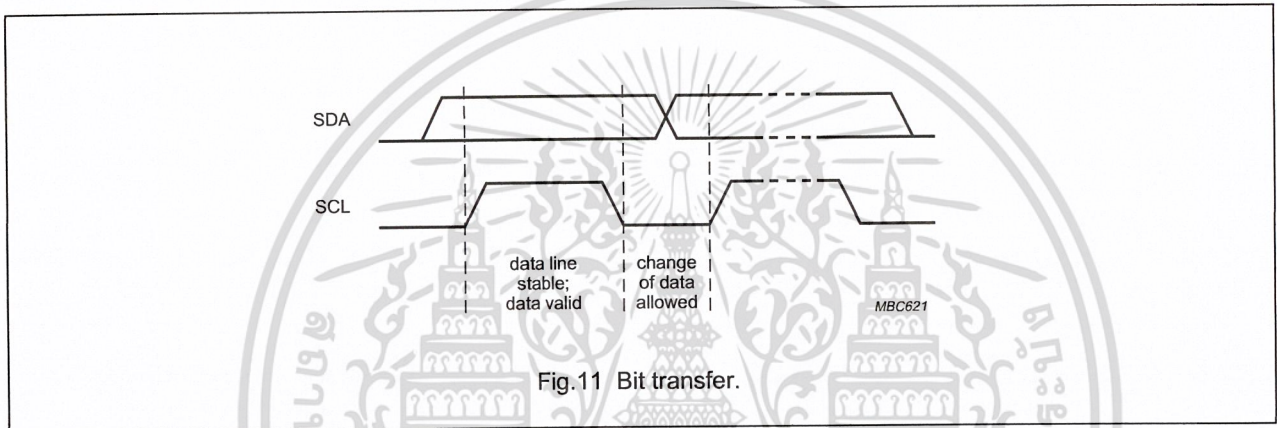


Fig.11 Bit transfer.

8.2 Start and stop conditions

Both data and clock lines remain HIGH when the bus is not busy. A HIGH-to-LOW transition of the data line, while the clock is HIGH, is defined as the start condition (S). A LOW-to-HIGH transition of the data line while the clock is HIGH, is defined as the stop condition (P).

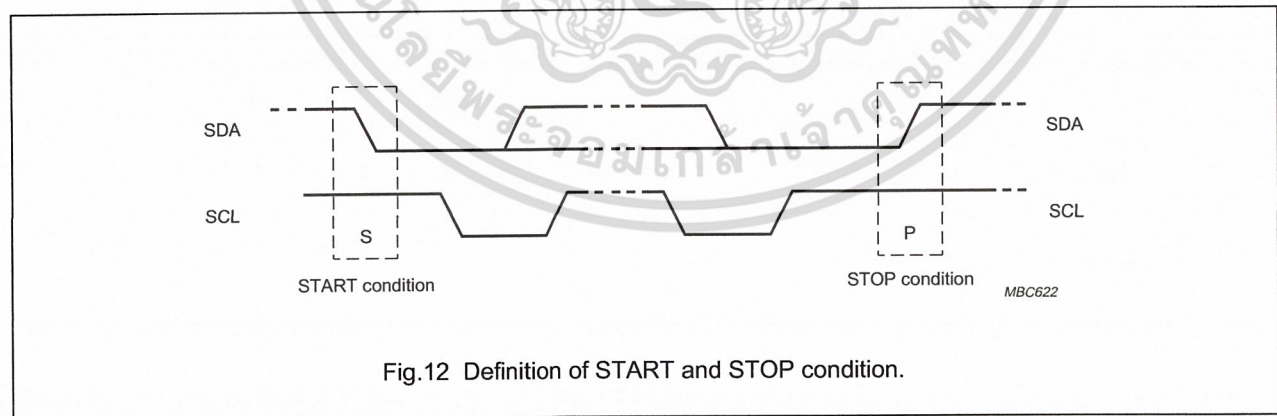


Fig.12 Definition of START and STOP condition.

## 8-bit A/D and D/A converter

## PCF8591

### 8.3 System configuration

A device generating a message is a 'transmitter', a device receiving a message is the 'receiver'. The device that controls the message is the 'master' and the devices which are controlled by the master are the 'slaves'.

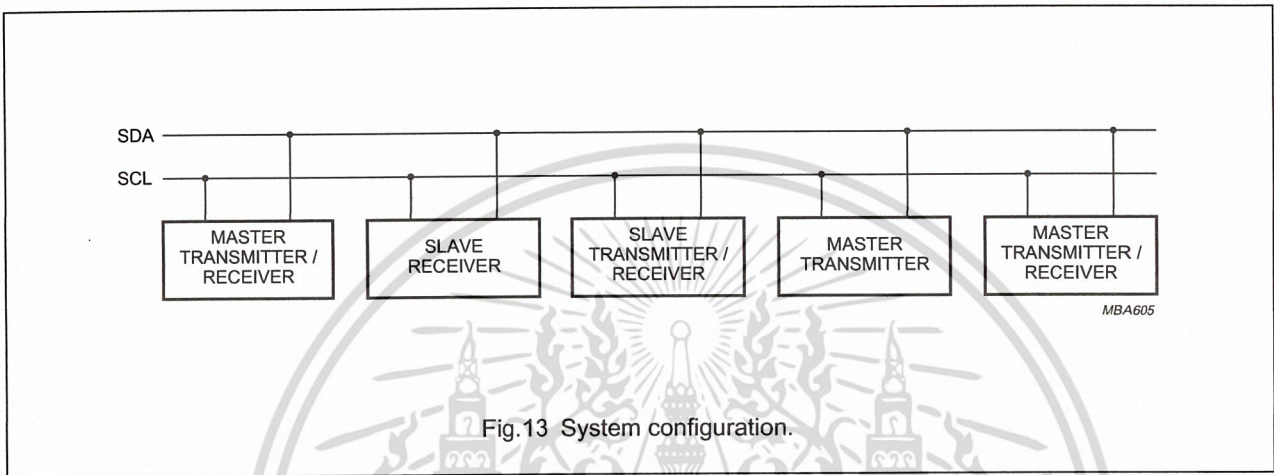


Fig.13 System configuration.

### 8.4 Acknowledge

The number of data bytes transferred between the start and stop conditions from transmitter to receiver is not limited. Each data byte of eight bits is followed by one acknowledge bit. The acknowledge bit is a HIGH level put on the bus by the transmitter whereas the master also generates an extra acknowledge related clock pulse. A slave receiver which is addressed must generate an acknowledge after the reception of each byte. Also a master must generate an acknowledge after the reception of each byte that has been clocked out of the slave transmitter. The device that acknowledges has to pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse, so that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. A master receiver must signal an end of data to the transmitter by **not** generating an acknowledge on the last byte that has been clocked out of the slave. In this event the transmitter must leave the data line HIGH to enable the master to generate a stop condition.

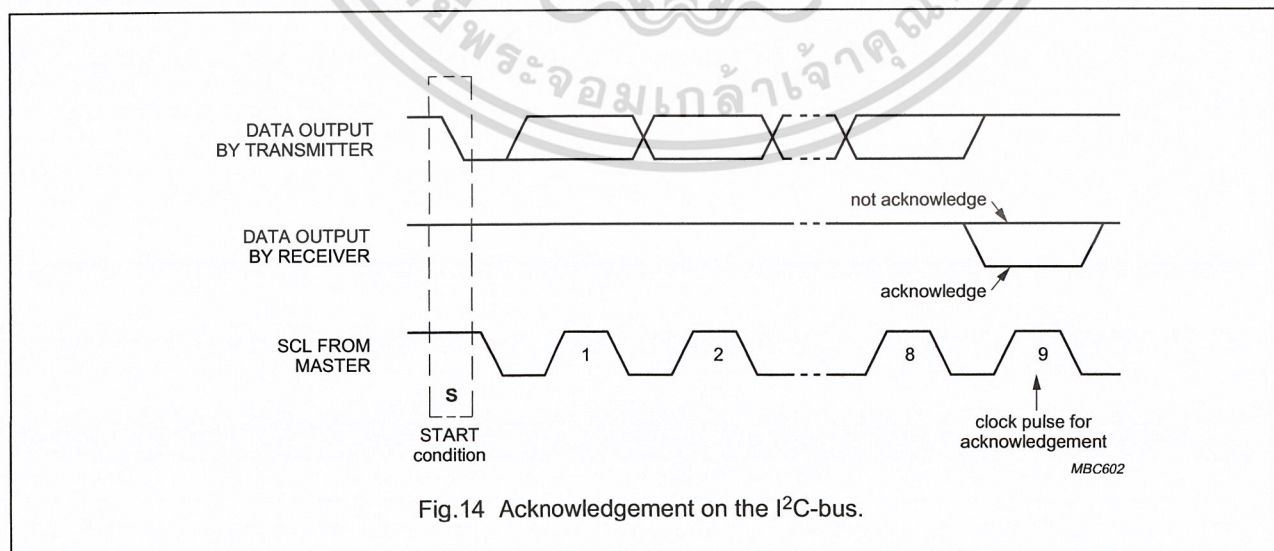


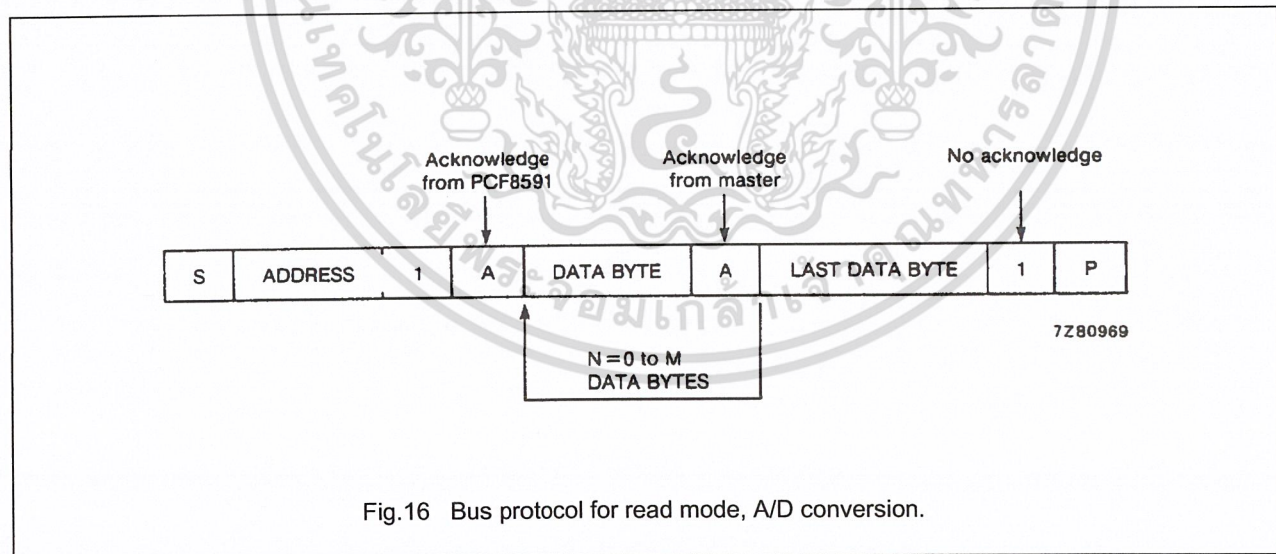
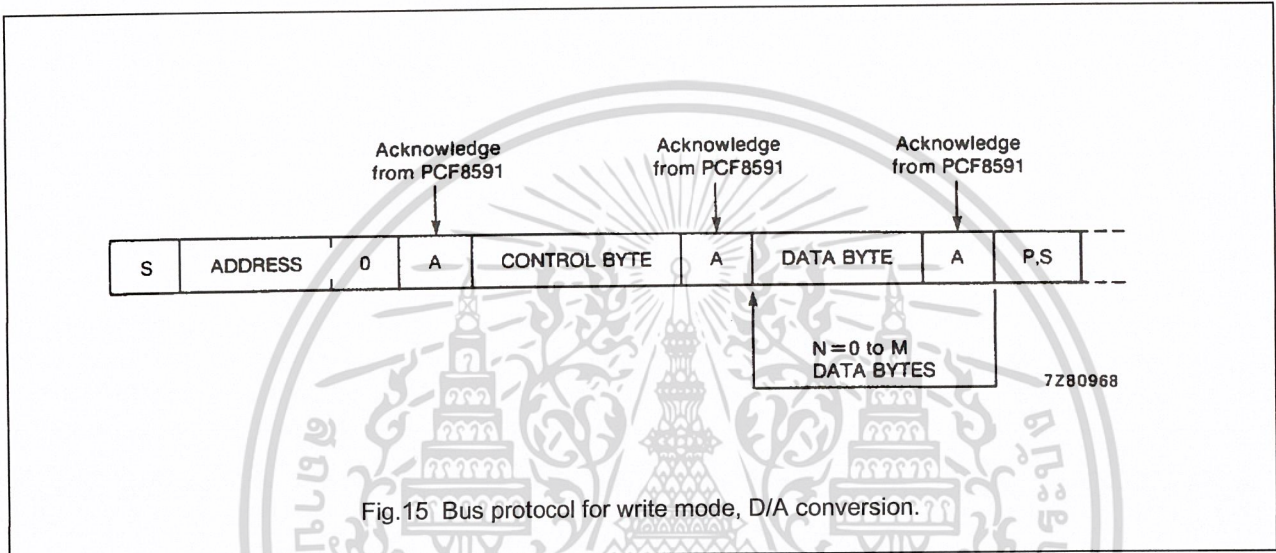
Fig.14 Acknowledgement on the I<sup>2</sup>C-bus.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

8.5 I<sup>2</sup>C-bus protocol

After a start condition a valid hardware address has to be sent to a PCF8591 device. The read/write bit defines the direction of the following single or multiple byte data transfer. For the format and the timing of the start condition (S), the stop condition (P) and the acknowledge bit (A) refer to the I<sup>2</sup>C-bus characteristics. In the write mode a data transfer is terminated by sending either a stop condition or the start condition of the next data transfer.



## 8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

## 9 LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

| SYMBOL           | PARAMETER                           | MIN. | MAX.           | UNIT |
|------------------|-------------------------------------|------|----------------|------|
| $V_{DD}$         | supply voltage (pin 16)             | -0.5 | +8.0           | V    |
| $V_I$            | input voltage (any input)           | -0.5 | $V_{DD} + 0.5$ | V    |
| $I_I$            | DC input current                    | -    | $\pm 10$       | mA   |
| $I_O$            | DC output current                   | -    | $\pm 20$       | mA   |
| $I_{DD}, I_{SS}$ | $V_{DD}$ or $V_{SS}$ current        | -    | $\pm 50$       | mA   |
| $P_{tot}$        | total power dissipation per package | -    | 300            | mW   |
| $P_O$            | power dissipation per output        | -    | 100            | mW   |
| $T_{amb}$        | operating ambient temperature       | -40  | +85            | °C   |
| $T_{stg}$        | storage temperature                 | -65  | +150           | °C   |

## 10 HANDLING

Inputs and outputs are protected against electrostatic discharge in normal handling. However, to be totally safe, it is desirable to take precautions appropriate to handling MOS devices. Advice can be found in Data Handbook IC12 under "Handling MOS Devices".

## 8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

## 11 DC CHARACTERISTICS

 $V_{DD} = 2.5 \text{ V to } 6 \text{ V}$ ;  $V_{SS} = 0 \text{ V}$ ;  $T_{amb} = -40 \text{ }^{\circ}\text{C to } +85 \text{ }^{\circ}\text{C}$  unless otherwise specified.

| SYMBOL   | PARAMETER                                 | CONDITIONS                                  | MIN.                | TYP. | MAX.                | UNIT             |
|--|---|---|---------------------|------|---------------------|------------------|
| <b>Supply</b>                                      |   |   |                     |      |                     |                  |
| $V_{DD}$   | supply voltage (operating)                |   | 2.5                 | –    | 6.0                 | V                |
| $I_{DD}$   | supply current                            |   |                     |      |                     |                  |
|  | standby                                   | $V_I = V_{SS} \text{ or } V_{DD}$ ; no load | –                   | 1    | 15                  | $\mu\text{A}$    |
|  | operating, AOUT off                       | $f_{SCL} = 100 \text{ kHz}$                 | –                   | 125  | 250                 | $\mu\text{A}$    |
|  | operating, AOUT active                    | $f_{SCL} = 100 \text{ kHz}$                 | –                   | 0.45 | 1.0                 | $\text{mA}$      |
| $V_{POR}$  | Power-on reset level                      | note 1                                      | 0.8                 | –    | 2.0                 | V                |
| <b>Digital inputs/output: SCL, SDA, A0, A1, A2</b> |   |   |                     |      |                     |                  |
| $V_{IL}$   | LOW level input voltage                   |   | 0                   | –    | $0.3 \times V_{DD}$ | V                |
| $V_{IH}$   | HIGH level input voltage                  |   | $0.7 \times V_{DD}$ | –    | $V_{DD}$            | V                |
| $I_L$  | leakage current<br>A0, A1, A2<br>SCL, SDA | $V_I = V_{SS} \text{ to } V_{DD}$           | –250                | –    | +250                | $\text{nA}$      |
|  |   | $V_I = V_{SS} \text{ to } V_{DD}$           | –1                  | –    | +1                  | $\mu\text{A}$    |
| $C_i$  | input capacitance                         |   | –                   | –    | 5                   | $\text{pF}$      |
| $I_{OL}$   | LOW level SDA output current              | $V_{OL} = 0.4 \text{ V}$                    | 3.0                 | –    | –                   | $\text{mA}$      |
| <b>Reference voltage inputs</b>                    |   |   |                     |      |                     |                  |
| $V_{REF}$  | reference voltage                         | $V_{REF} > V_{AGND}$ ; note 2               | $V_{SS} + 1.6$      | –    | $V_{DD}$            | V                |
| $V_{AGND}$   | analog ground voltage                     | $V_{REF} > V_{AGND}$ ; note 2               | $V_{SS}$            | –    | $V_{DD} - 0.8$      | V                |
| $I_{LI}$   | input leakage current                     |   | –250                | –    | +250                | $\text{nA}$      |
| $R_{REF}$  | input resistance                          | pins $V_{REF}$ and AGND                     | –                   | 100  | –                   | $\text{k}\Omega$ |
| <b>Oscillator: OSC, EXT</b>                        |   |   |                     |      |                     |                  |
| $I_{LI}$   | input leakage current                     |   | –                   | –    | 250                 | $\text{nA}$      |
| $f_{OSC}$  | oscillator frequency                      |   | 0.75                | –    | 1.25                | $\text{MHz}$     |

## Notes

- The power on reset circuit resets the I<sup>2</sup>C-bus logic when  $V_{DD}$  is less than  $V_{POR}$ .
- A further extension of the range is possible, if the following conditions are fulfilled:

$$\frac{V_{REF} + V_{AGND}}{2} \geq 0.8\text{V}, V_{DD} - \frac{V_{REF} + V_{AGND}}{2} \geq 0.4\text{V}$$

## 8-bit A/D and D/A converter

## PCF8591

**12 D/A CHARACTERISTICS**

$V_{DD} = 5.0\text{ V}$ ;  $V_{SS} = 0\text{ V}$ ;  $V_{REF} = 5.0\text{ V}$ ;  $V_{AGND} = 0\text{ V}$ ;  $R_L = 10\text{ k}\Omega$ ;  $C_L = 100\text{ pF}$ ;  $T_{amb} = -40\text{ }^\circ\text{C}$  to  $+85\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

| SYMBOL               | PARAMETER                    | CONDITIONS   | MIN.     | TYP. | MAX.                | UNIT          |
|----------------------|------------------------------|--|----------|------|---------------------|---------------|
| <b>Analog output</b> |                              |  |          |      |                     |               |
| $V_{OA}$             | output voltage               | no resistive load                                      | $V_{SS}$ | –    | $V_{DD}$            | V             |
|                      |                              | $R_L = 10\text{ k}\Omega$                              | $V_{SS}$ | –    | $0.9 \times V_{DD}$ | V             |
| $I_{LO}$             | output leakage current       | AOUT disabled  | –        | –    | 250                 | nA            |
| <b>Accuracy</b>      |                              |  |          |      |                     |               |
| $OS_e$               | offset error                 | $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$                   | –        | –    | 50                  | mV            |
| $L_e$                | linearity error              |  | –        | –    | $\pm 1.5$           | LSB           |
| $G_e$                | gain error                   | no resistive load                                      | –        | –    | 1                   | %             |
| $t_{DAC}$            | settling time                | to $\frac{1}{2}$ LSB full scale step                   | –        | –    | 90                  | $\mu\text{s}$ |
| $f_{DAC}$            | conversion rate              |  | –        | –    | 11.1                | kHz           |
| SNRR                 | supply noise rejection ratio | $f = 100\text{ Hz}$ ;<br>$V_{DDN} = 0.1 \times V_{PP}$ | –        | 40   | –                   | dB            |

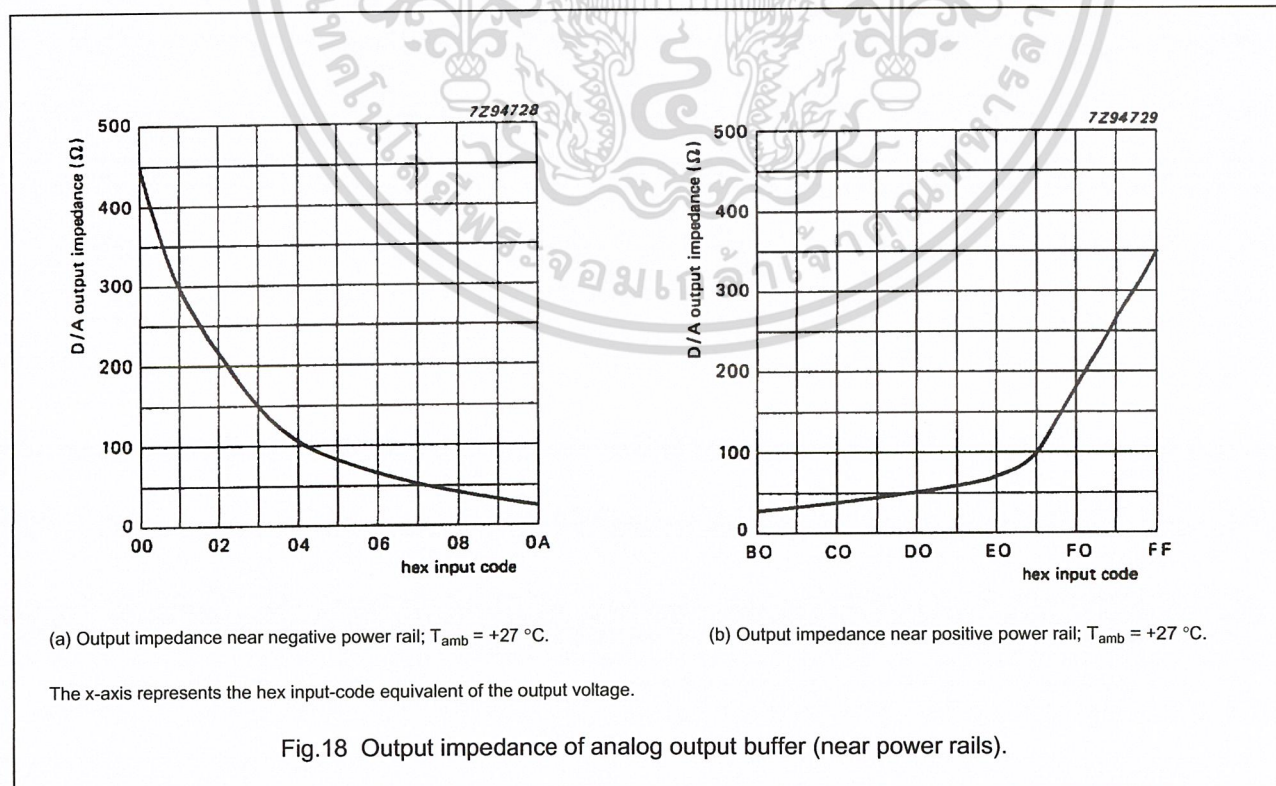
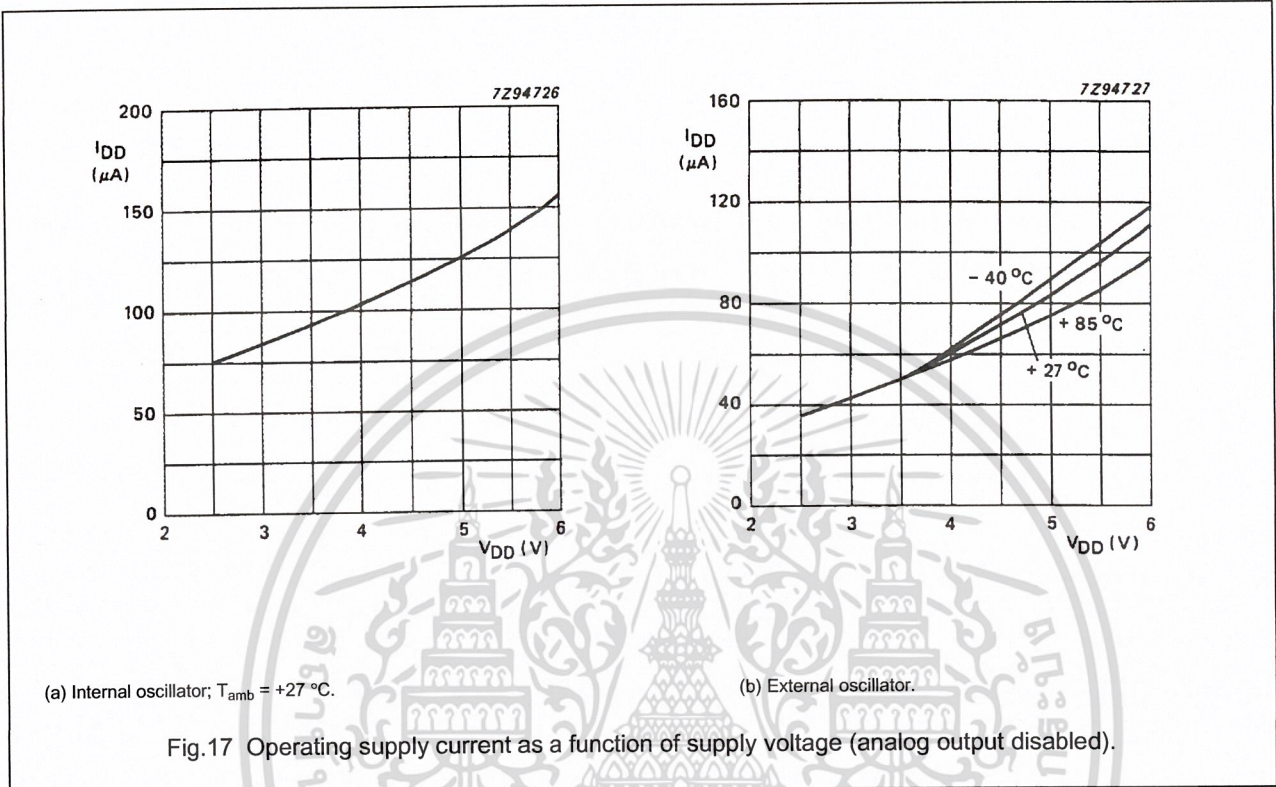
**13 A/D CHARACTERISTICS**

$V_{DD} = 5.0\text{ V}$ ;  $V_{SS} = 0\text{ V}$ ;  $V_{REF} = 5.0\text{ V}$ ;  $V_{AGND} = 0\text{ V}$ ;  $R_S = 10\text{ k}\Omega$ ;  $T_{amb} = -40\text{ }^\circ\text{C}$  to  $+85\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

| SYMBOL               | PARAMETER                      | CONDITIONS   | MIN.                | TYP. | MAX.                | UNIT          |
|----------------------|--------------------------------|--|---------------------|------|---------------------|---------------|
| <b>Analog inputs</b> |                                |  |                     |      |                     |               |
| $V_{IA}$             | analog input voltage           |  | $V_{SS}$            | –    | $V_{DD}$            | V             |
| $I_{LIA}$            | analog input leakage current   |  | –                   | –    | 100                 | nA            |
| $C_{IA}$             | analog input capacitance       |  | –                   | 10   | –                   | pF            |
| $C_{ID}$             | differential input capacitance |  | –                   | 10   | –                   | pF            |
| $V_{IS}$             | single-ended voltage           | measuring range  | $V_{AGND}$          | –    | $V_{REF}$           | V             |
| $V_{ID}$             | differential voltage           | measuring range;<br>$V_{FS} = V_{REF} - V_{AGND}$      | $-\frac{V_{FS}}{2}$ | –    | $+\frac{V_{FS}}{2}$ | V             |
| <b>Accuracy</b>      |                                |  |                     |      |                     |               |
| $OS_e$               | offset error                   | $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$                   | –                   | –    | 20                  | mV            |
| $L_e$                | linearity error                |  | –                   | –    | $\pm 1.5$           | LSB           |
| $G_e$                | gain error                     |  | –                   | –    | 1                   | %             |
| $GS_e$               | small-signal gain error        | $\Delta V_i = 16\text{ LSB}$                           | –                   | –    | 5                   | %             |
| CMRR                 | common-mode rejection ratio    |  | –                   | 60   | –                   | dB            |
| SNRR                 | supply noise rejection ratio   | $f = 100\text{ Hz}$ ;<br>$V_{DDN} = 0.1 \times V_{PP}$ | –                   | 40   | –                   | dB            |
| $t_{ADC}$            | conversion time                |  | –                   | –    | 90                  | $\mu\text{s}$ |
| $f_{ADC}$            | sampling/conversion rate       |  | –                   | –    | 11.1                | kHz           |

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

14 AC CHARACTERISTICS

All timing values are valid within the operating supply voltage and ambient temperature range and reference to  $V_{IL}$  and  $V_{IH}$  with an input voltage swing of  $V_{SS}$  to  $V_{DD}$ .

| SYMBOL  | PARAMETER                    | MIN. | TYP. | MAX. | UNIT    |
|---|------------------------------|------|------|------|---------|
| <b>I<sup>2</sup>C-bus timing (see Fig.19; note 1)</b> |                              |      |      |      |         |
| $f_{SCL}$   | SCL clock frequency          | –    | –    | 100  | kHz     |
| $t_{SP}$  | tolerable spike width on bus | –    | –    | 100  | ns      |
| $t_{BUF}$   | bus free time                | 4.7  | –    | –    | $\mu$ s |
| $t_{SU;STA}$  | START condition set-up time  | 4.7  | –    | –    | $\mu$ s |
| $t_{HD;STA}$  | START condition hold time    | 4.0  | –    | –    | $\mu$ s |
| $t_{LOW}$   | SCL LOW time                 | 4.7  | –    | –    | $\mu$ s |
| $t_{HIGH}$  | SCL HIGH time                | 4.0  | –    | –    | $\mu$ s |
| $t_r$   | SCL and SDA rise time        | –    | –    | 1.0  | $\mu$ s |
| $t_f$   | SCL and SDA fall time        | –    | –    | 0.3  | $\mu$ s |
| $t_{SU;DAT}$  | data set-up time             | 250  | –    | –    | ns      |
| $t_{HD;DAT}$  | data hold time               | 0    | –    | –    | ns      |
| $t_{VD;DAT}$  | SCL LOW-to-data out valid    | –    | –    | 3.4  | $\mu$ s |
| $t_{SU;STO}$  | STOP condition set-up time   | 4.0  | –    | –    | $\mu$ s |

Note

1. A detailed description of the I<sup>2</sup>C-bus specification, with applications, is given in brochure "The I<sup>2</sup>C-bus and how to use it". This brochure may be ordered using the code 9398 393 40011.

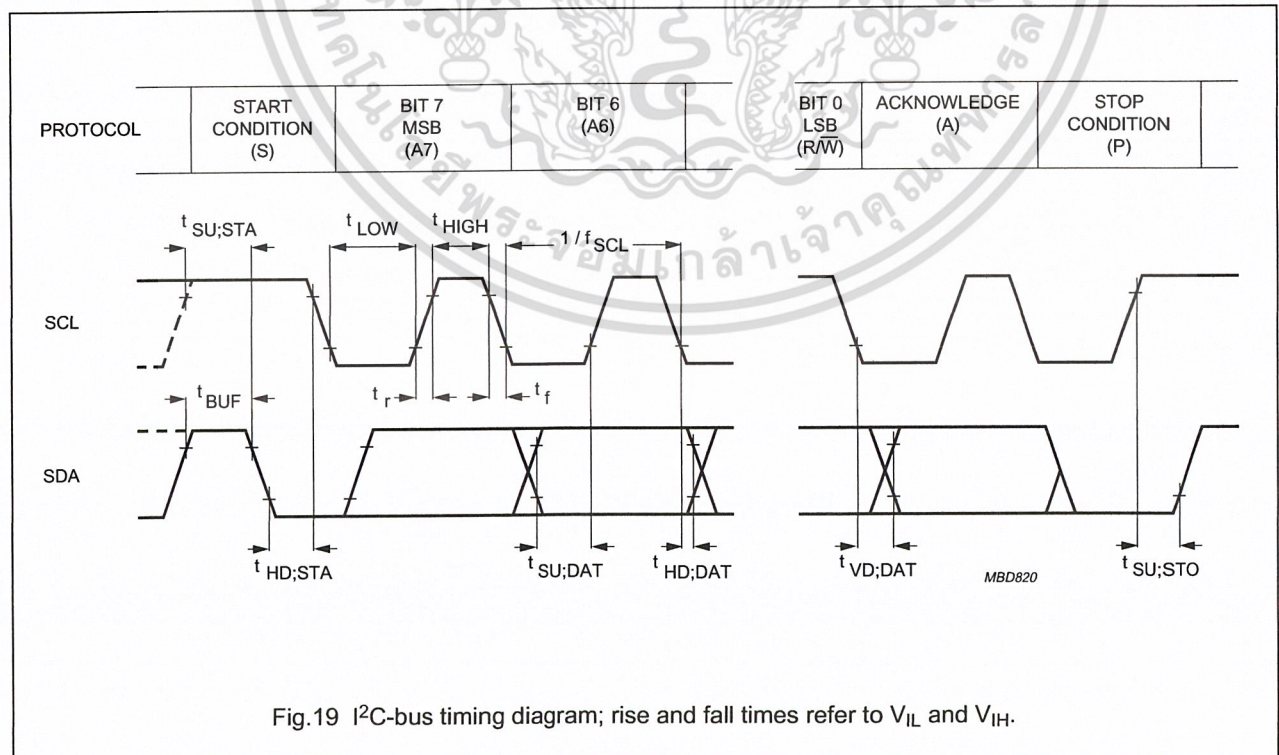
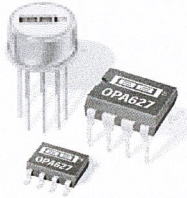


Fig.19 I<sup>2</sup>C-bus timing diagram; rise and fall times refer to  $V_{IL}$  and  $V_{IH}$ .



**OPA627**  
**OPA637**

## Precision High-Speed *Difet*<sup>®</sup> OPERATIONAL AMPLIFIERS

### FEATURES

- VERY LOW NOISE: 4.5nV/√Hz at 10kHz
- FAST SETTLING TIME:  
OPA627—550ns to 0.01%  
OPA637—450ns to 0.01%
- LOW  $V_{OS}$ : 100μV max
- LOW DRIFT: 0.8μV/°C max
- LOW  $I_B$ : 5pA max
- OPA627: Unity-Gain Stable
- OPA637: Stable in Gain  $\geq 5$

### APPLICATIONS

- PRECISION INSTRUMENTATION
- FAST DATA ACQUISITION
- DAC OUTPUT AMPLIFIER
- OPTOELECTRONICS
- SONAR, ULTRASOUND
- HIGH-IMPEDANCE SENSOR AMPS
- HIGH-PERFORMANCE AUDIO CIRCUITRY
- ACTIVE FILTERS

### DESCRIPTION

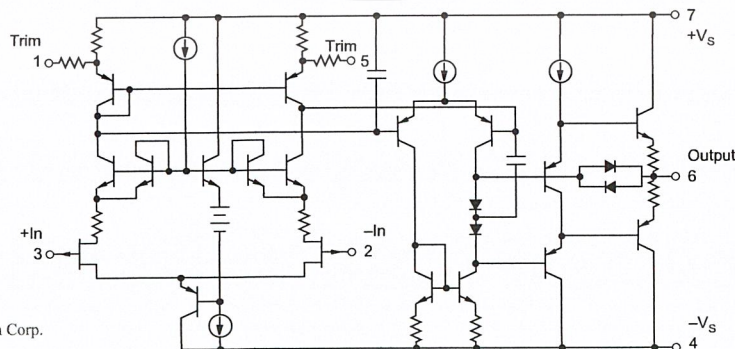
The OPA627 and OPA637 *Difet* operational amplifiers provide a new level of performance in a precision FET op amp. When compared to the popular OPA111 op amp, the OPA627/637 has lower noise, lower offset voltage, and much higher speed. It is useful in a broad range of precision and high speed analog circuitry.

The OPA627/637 is fabricated on a high-speed, dielectrically-isolated complementary NPN/PNP process. It operates over a wide range of power supply voltage— $\pm 4.5V$  to  $\pm 18V$ . Laser-trimmed *Difet* input circuitry provides high accuracy and low-noise performance comparable with the best bipolar-input op amps.

High frequency complementary transistors allow increased circuit bandwidth, attaining dynamic performance not possible with previous precision FET op amps. The OPA627 is unity-gain stable. The OPA637 is stable in gains equal to or greater than five.

*Difet* fabrication achieves extremely low input bias currents without compromising input voltage noise performance. Low input bias current is maintained over a wide input common-mode voltage range with unique cascode circuitry.

The OPA627/637 is available in plastic DIP, SOIC and metal TO-99 packages. Industrial and military temperature range models are available.



*Difet*<sup>®</sup>, Burr-Brown Corp.

International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85706 • Tel: (520) 746-1111 • Twx: 910-952-1111  
Internet: <http://www.burr-brown.com/> • FAXLine: (800) 548-6133 (US/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 066-6491 • FAX: (520) 889-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-6132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SPECIFICATIONS

## ELECTRICAL

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ , and  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.

| PARAMETER   | CONDITIONS  | OPA627BM, BP, SM<br>OPA637BM, BP, SM |  |  | OPA627AM, AP, AU<br>OPA637AM, AP, AU |                               |  | UNITS  |
|---|---|--------------------------------------|--|--|--------------------------------------|-------------------------------|--|--|
|   |   | MIN                                  | TYP  | MAX  | MIN                                  | TYP                           | MAX  |  |
| <b>OFFSET VOLTAGE</b> <sup>(1)</sup><br>Input Offset Voltage<br>AP, BP, AU Grades<br>Average Drift<br>AP, BP, AU Grades<br>Power Supply Rejection   | $V_S = \pm 4.5$ to $\pm 18\text{V}$   |                                      | 40<br>100<br>0.4<br>0.8                        | 100<br>250<br>0.8<br>2                                       |                                      | 130<br>280<br>1.2<br>2.5      | 250<br>500<br>2  | $\mu\text{V}$<br>$\mu\text{V}$<br>$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$<br>$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$<br>dB   |
| <b>INPUT BIAS CURRENT</b> <sup>(2)</sup><br>Input Bias Current<br>Over Specified Temperature<br>SM Grade<br>Over Common-Mode Voltage<br>Input Offset Current<br>Over Specified Temperature<br>SM Grade  | $V_{CM} = 0\text{V}$<br>$V_{CM} = 0\text{V}$<br>$V_{CM} = 0\text{V}$<br>$V_{CM} = \pm 10\text{V}$<br>$V_{CM} = 0\text{V}$<br>$V_{CM} = 0\text{V}$   |                                      | 1<br>1<br>1<br>0.5<br>1<br>50                  | 5<br>1<br>50<br>5<br>1<br>50                                 |                                      | 2<br>2<br>1<br>1<br>1<br>2    | 10<br>2<br>nA<br>pA<br>10<br>2<br>nA   | pA<br>nA<br>nA<br>pA<br>pA<br>nA<br>nA   |
| <b>NOISE</b><br>Input Voltage Noise<br>Noise Density: $f = 10\text{Hz}$<br>$f = 100\text{Hz}$<br>$f = 1\text{kHz}$<br>$f = 10\text{kHz}$<br>Voltage Noise, $\text{BW} = 0.1\text{Hz}$ to $10\text{Hz}$<br>Input Bias Current Noise<br>Noise Density, $f = 100\text{Hz}$<br>Current Noise, $\text{BW} = 0.1\text{Hz}$ to $10\text{Hz}$ |   |                                      | 15<br>8<br>5.2<br>4.5<br>0.6                   | 40<br>20<br>8<br>6<br>1.6                                    |                                      | 20<br>10<br>5.6<br>4.8<br>0.8 | nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$<br>nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$<br>nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$<br>nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$<br>$\mu\text{Vp-p}$<br>fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$<br>fA-p |  |
| <b>INPUT IMPEDANCE</b><br>Differential<br>Common-Mode   |   |                                      | $10^{13} \parallel 8$<br>$10^{13} \parallel 7$ |  |                                      | *                             | *  | $\Omega \parallel \text{pF}$<br>$\Omega \parallel \text{pF}$   |
| <b>INPUT VOLTAGE RANGE</b><br>Common-Mode Input Range<br>Over Specified Temperature<br>Common-Mode Rejection  | $V_{CM} = \pm 10.5\text{V}$   |                                      | $\pm 11$<br>$\pm 10.5$<br>106                  | $\pm 11.5$<br>$\pm 11$<br>116                                |                                      | *                             | *  | V<br>V<br>dB   |
| <b>OPEN-LOOP GAIN</b><br>Open-Loop Voltage Gain<br>Over Specified Temperature<br>SM Grade   | $V_O = \pm 10\text{V}$ , $R_L = 1\text{k}\Omega$<br>$V_O = \pm 10\text{V}$ , $R_L = 1\text{k}\Omega$<br>$V_O = \pm 10\text{V}$ , $R_L = 1\text{k}\Omega$                                      |                                      | 112<br>106<br>100                              | 120<br>117<br>114  |                                      | 106<br>100<br>110             | 116<br>110   | dB<br>dB<br>dB   |
| <b>FREQUENCY RESPONSE</b><br>Slew Rate: OPA627<br>OPA637<br>Settling Time: OPA627 0.01%<br>0.1%<br>OPA637 0.01%<br>0.1%<br>Gain-Bandwidth Product: OPA627<br>OPA637<br>Total Harmonic Distortion + Noise  | $G = -1$ , 10V Step<br>$G = -4$ , 10V Step<br>$G = -1$ , 10V Step<br>$G = -1$ , 10V Step<br>$G = -4$ , 10V Step<br>$G = -4$ , 10V Step<br>$G = 1$<br>$G = 10$<br>$G = +1$ , $f = 1\text{kHz}$ |                                      | 40<br>100                                      | 55<br>135<br>550<br>450<br>450<br>300<br>16<br>80<br>0.00003 |                                      | *                             | *  | V/ $\mu\text{s}$<br>V/ $\mu\text{s}$<br>ns<br>ns<br>ns<br>ns<br>MHz<br>MHz<br>%  |
| <b>POWER SUPPLY</b><br>Specified Operating Voltage<br>Operating Voltage Range<br>Current  |   |                                      | $\pm 15$                                       | $\pm 15$   |                                      | *                             | *  | V<br>V<br>mA   |
| <b>OUTPUT</b><br>Voltage Output<br>Over Specified Temperature<br>Current Output<br>Short-Circuit Current<br>Output Impedance, Open-Loop   | $R_L = 1\text{k}\Omega$<br>$V_O = \pm 10\text{V}$<br>1MHz   |                                      | $\pm 11.5$<br>$\pm 11$<br>$\pm 35$             | $\pm 12.3$<br>$\pm 11.5$<br>+45<br>-55<br>$\pm 100$          |                                      | *                             | *  | V<br>mA<br>mA<br>$\Omega$  |
| <b>TEMPERATURE RANGE</b><br>Specification: AP, BP, AM, BM, AU<br>SM<br>Storage: AM, BM, SM<br>AP, BP, AU<br>$\theta_{JA}$ : AM, BM, SM<br>AP, BP<br>AU  |   |                                      | -25<br>-55<br>-60<br>-40                       | +85<br>+125<br>+150<br>+125                                  |                                      | *                             | *  | $^\circ\text{C}$<br>$^\circ\text{C}$<br>$^\circ\text{C}$<br>$^\circ\text{C}$<br>$^\circ\text{C/W}$<br>$^\circ\text{C/W}$<br>$^\circ\text{C/W}$ |

\* Specifications same as "B" grade.

NOTES: (1) Offset voltage measured fully warmed-up. (2) High-speed test at  $T_J = +25^\circ\text{C}$ . See Typical Performance Curves for warmed-up performance.

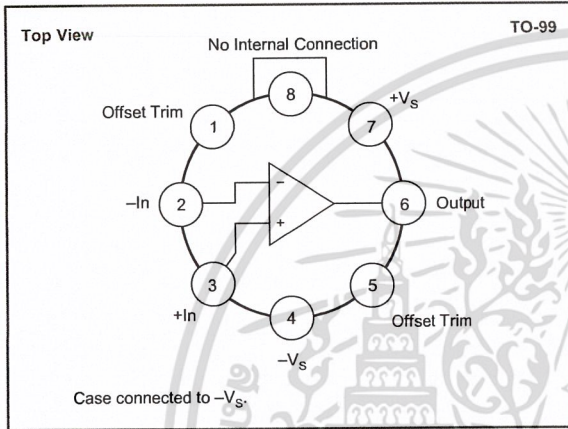
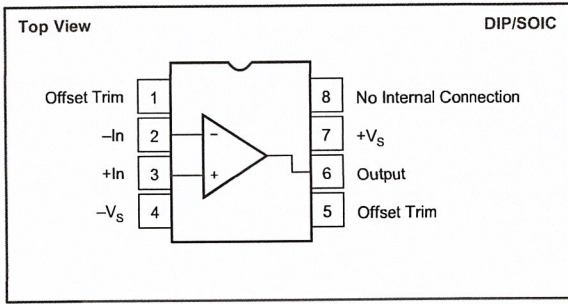
The information provided herein is believed to be reliable; however, BURR-BROWN assumes no responsibility for inaccuracies or omissions. BURR-BROWN assumes no responsibility for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. Prices and specifications are subject to change without notice. No patent rights or licenses to any of the circuits described herein are implied or granted to any third party. BURR-BROWN does not authorize or warrant any BURR-BROWN product for use in life support devices and/or systems.



OPA627, 637

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PIN CONFIGURATIONS**



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)</sup>**

|   |  |
|---|--|
| Supply Voltage .....                    | ±18V   |
| Input Voltage Range .....               | +V <sub>S</sub> + 2V to -V <sub>S</sub> - 2V |
| Differential Input Range .....          | Total V <sub>S</sub> + 4V                    |
| Power Dissipation .....                 | 1000mW                                       |
| Operating Temperature                   |  |
| M Package .....                         | -55°C to +125°C                              |
| P, U Package .....                      | -40°C to +125°C                              |
| Storage Temperature                     |  |
| M Package .....                         | -65°C to +150°C                              |
| P, U Package .....                      | -40°C to +125°C                              |
| Junction Temperature                    |  |
| M Package .....                         | +175°C                                       |
| P, U Package .....                      | +150°C                                       |
| Lead Temperature (soldering, 10s) ..... | +300°C                                       |
| SOIC (soldering, 3s) .....              | +260°C                                       |

NOTE: (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage.

**PACKAGE/ORDERING INFORMATION**

| PRODUCT  | PACKAGE     | PACKAGE DRAWING NUMBER <sup>(1)</sup> | TEMPERATURE RANGE |
|----------|-------------|---------------------------------------|-------------------|
| OPA627AP | Plastic DIP | 006                                   | -25°C to +85°C    |
| OPA627BP | Plastic DIP | 006                                   | -25°C to +85°C    |
| OPA627AU | SOIC        | 182                                   | -25°C to +85°C    |
| OPA627AM | TO-99 Metal | 001                                   | -25°C to +85°C    |
| OPA627BM | TO-99 Metal | 001                                   | -25°C to +85°C    |
| OPA627SM | TO-99 Metal | 001                                   | -55°C to +125°C   |
| OPA637AP | Plastic DIP | 006                                   | -25°C to +85°C    |
| OPA637BP | Plastic DIP | 006                                   | -25°C to +85°C    |
| OPA637AU | SOIC        | 182                                   | -25°C to +85°C    |
| OPA637AM | TO-99 Metal | 001                                   | -25°C to +85°C    |
| OPA637BM | TO-99 Metal | 001                                   | -25°C to +85°C    |
| OPA637SM | TO-99 Metal | 001                                   | -55°C to +125°C   |

NOTE: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix C of Burr-Brown IC Data Book.

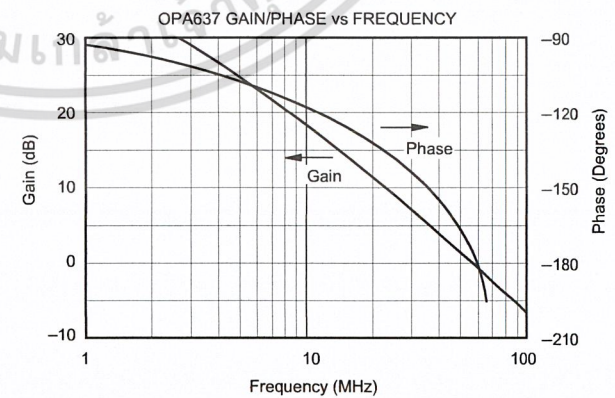
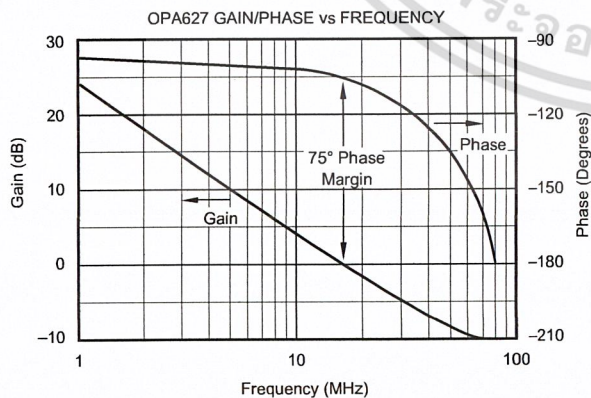
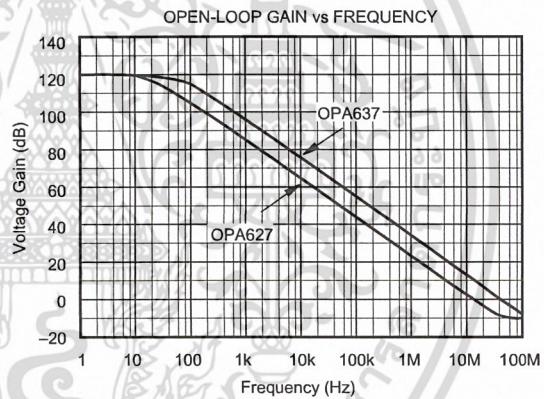
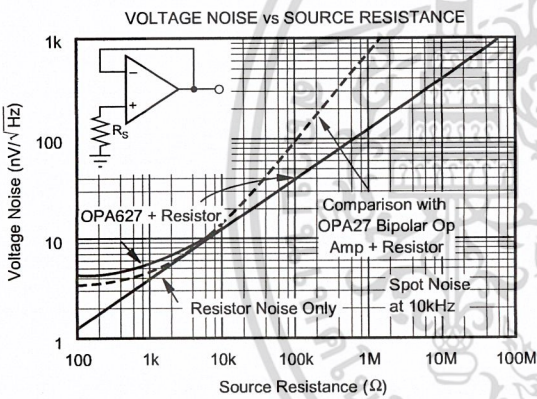
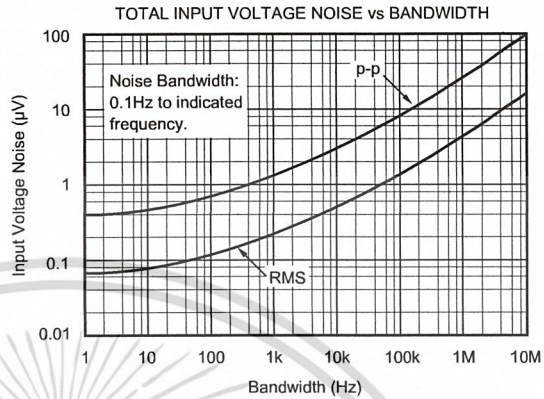
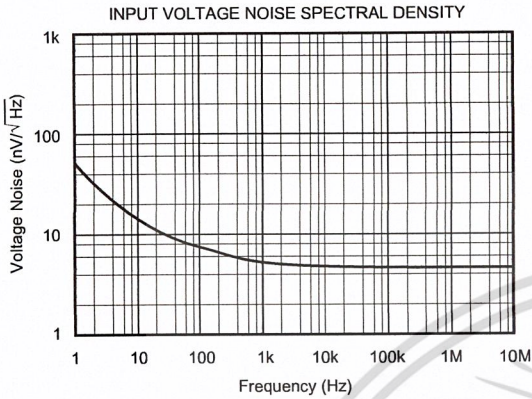
**ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY**

This integrated circuit can be damaged by ESD. Burr-Brown recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

# TYPICAL PERFORMANCE CURVES

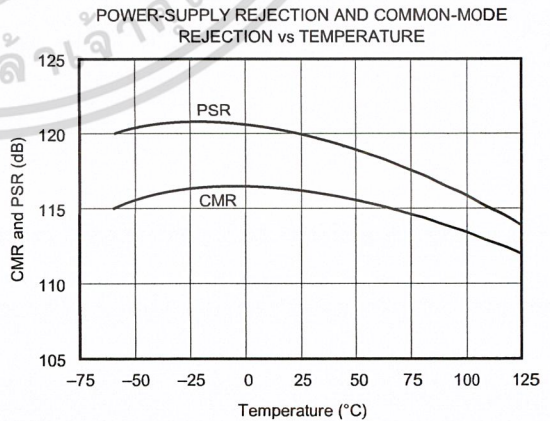
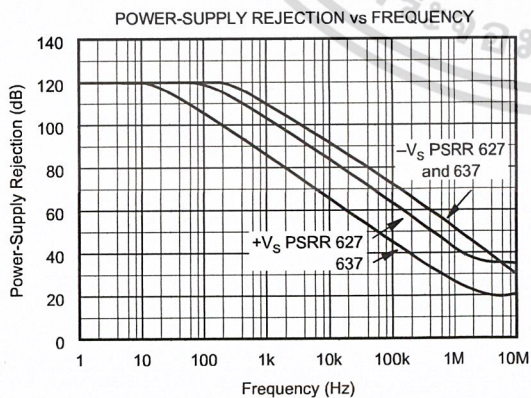
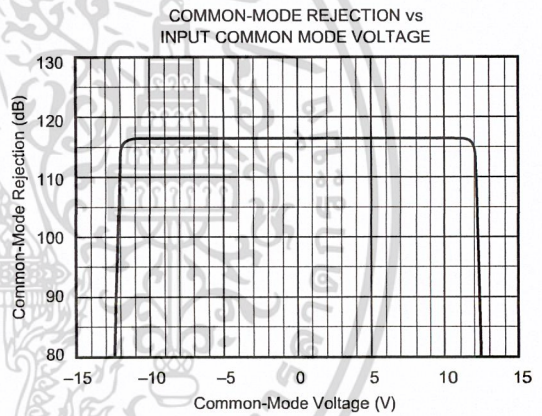
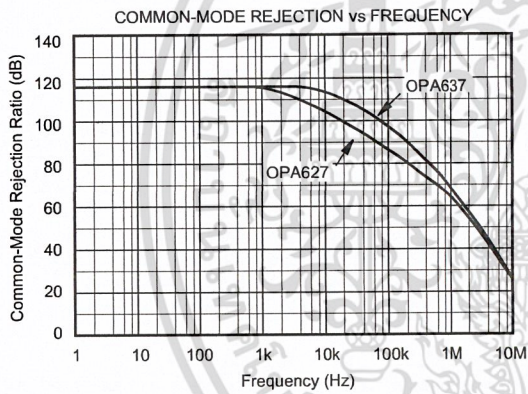
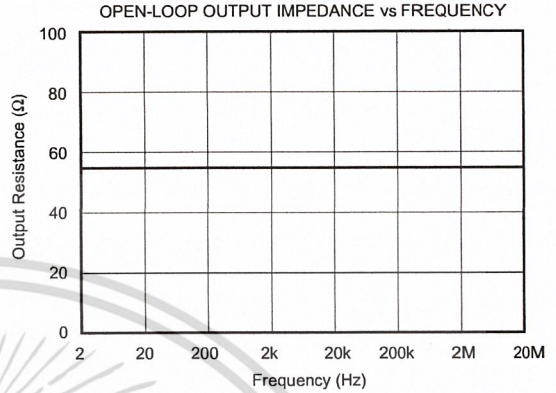
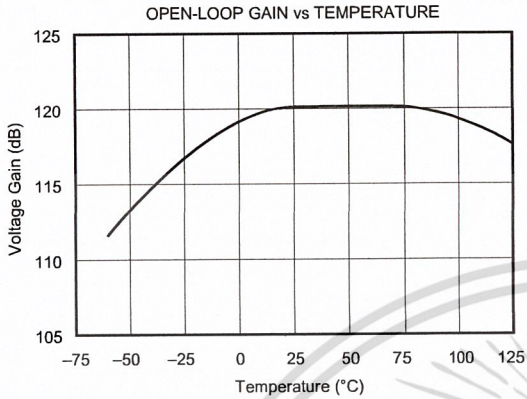
At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ , and  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.



OPA627, 637

# TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

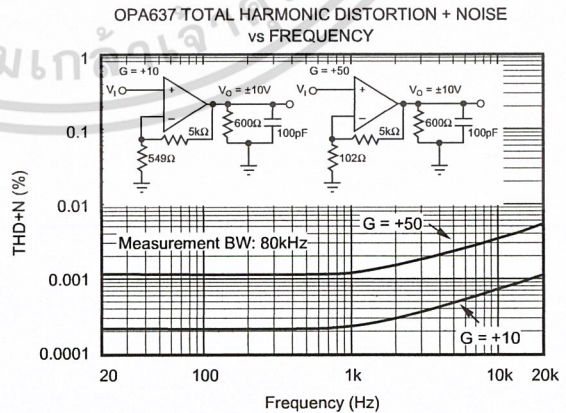
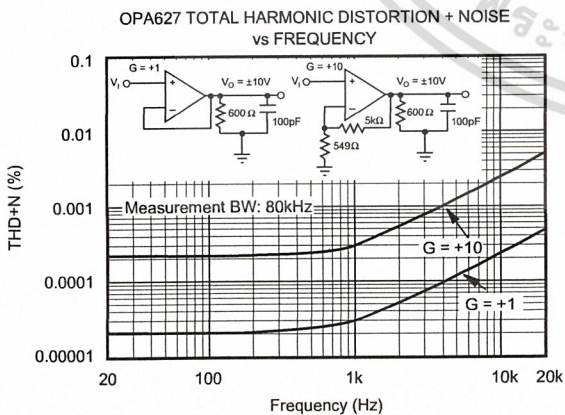
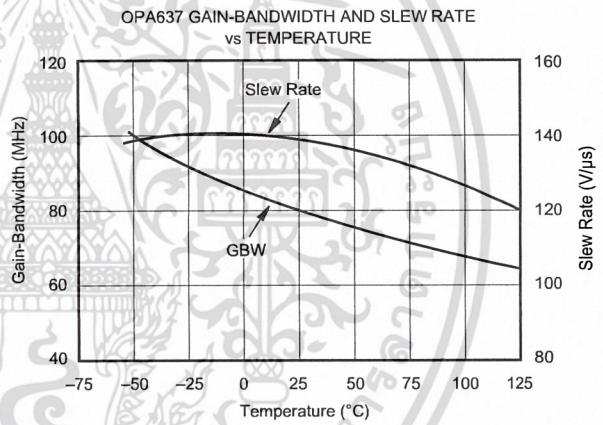
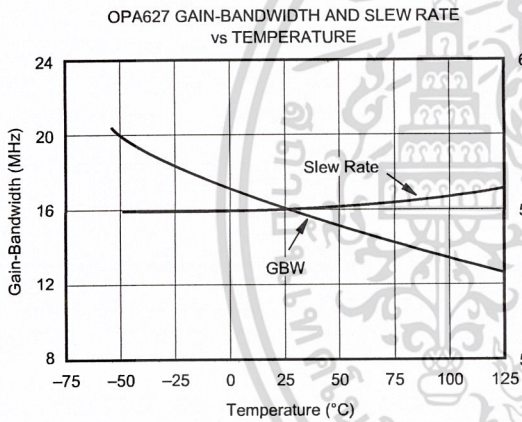
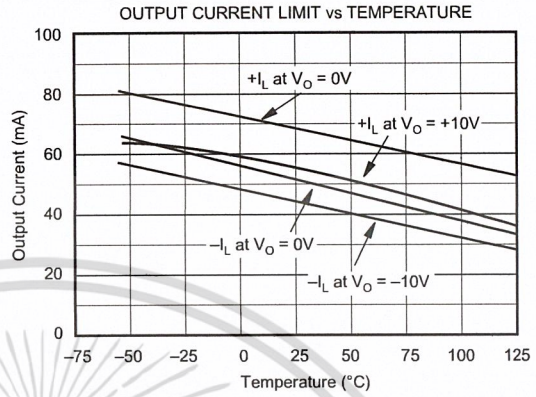
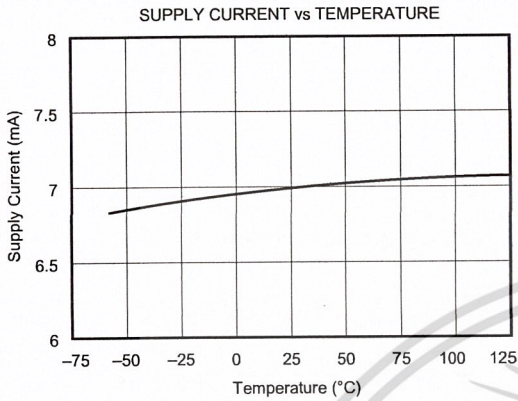
At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ , and  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ , and  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.

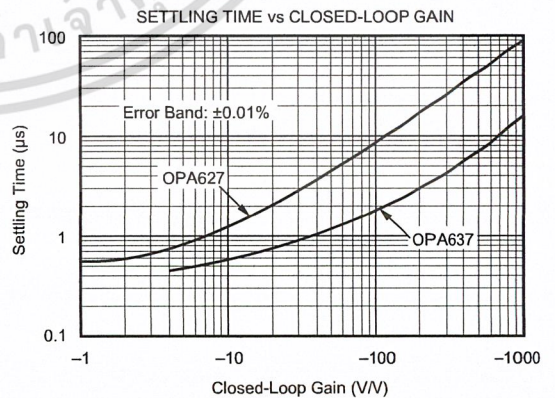
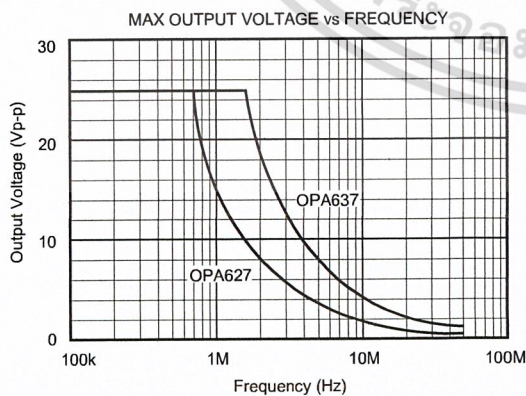
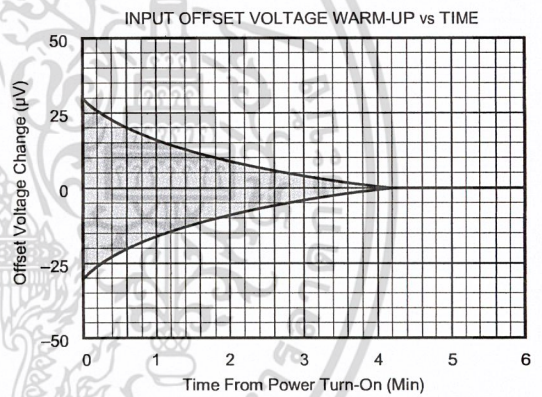
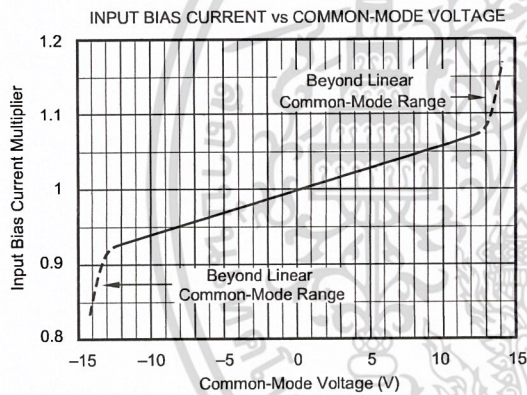
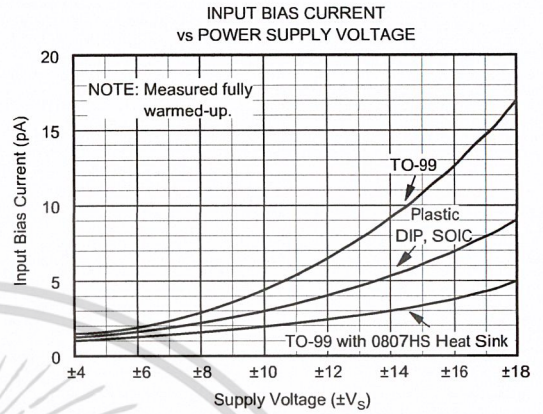
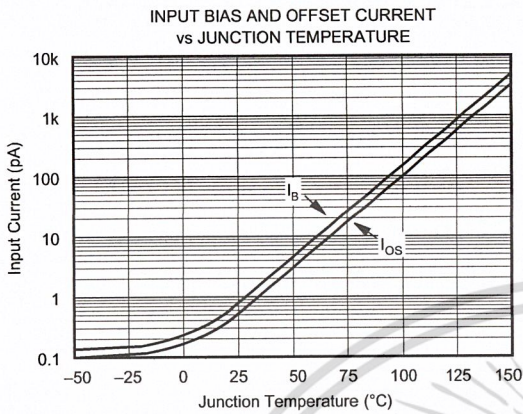


**OPA627, 637**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

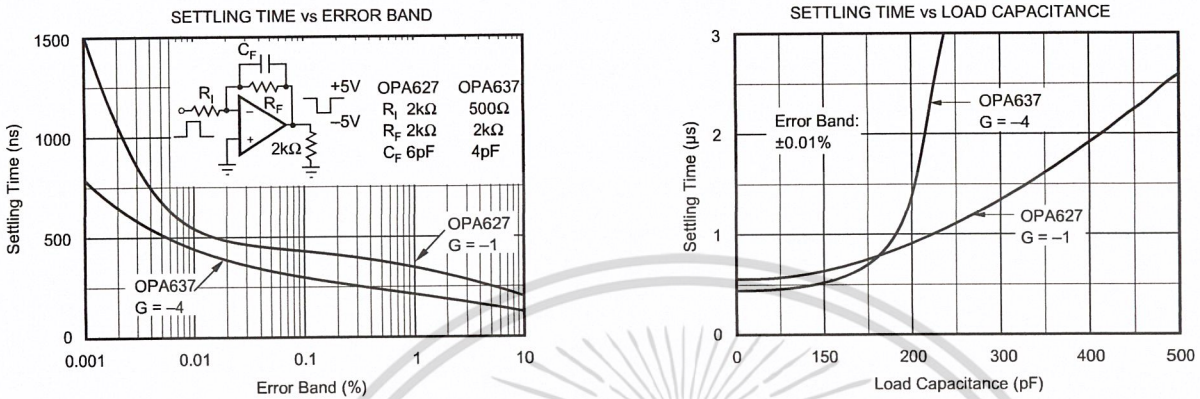
# TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ , and  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.



# TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ , and  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.



## APPLICATIONS INFORMATION

The OPA627 is unity-gain stable. The OPA637 may be used to achieve higher speed and bandwidth in circuits with noise gain greater than five. Noise gain refers to the closed-loop gain of a circuit as if the non-inverting op amp input were being driven. For example, the OPA637 may be used in a non-inverting amplifier with gain greater than five, or an inverting amplifier of gain greater than four.

When choosing between the OPA627 or OPA637, it is important to consider the high frequency noise gain of your circuit configuration. Circuits with a feedback capacitor (Figure 1) place the op amp in unity noise-gain at high frequency. These applications must use the OPA627 for proper stability. An exception is the circuit in Figure 2, where a small feedback capacitance is used to compensate for the input capacitance at the op amp's inverting input. In this case, the closed-loop noise gain remains constant with frequency, so if the closed-loop gain is equal to five or greater, the OPA637 may be used.

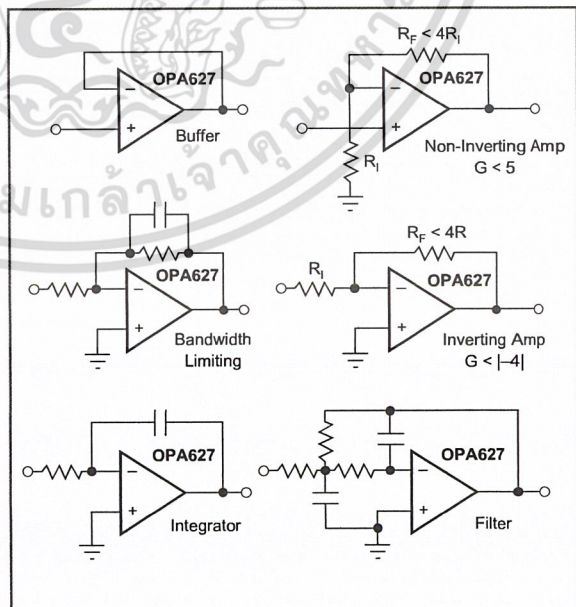


FIGURE 1. Circuits with Noise Gain Less than Five Require the OPA627 for Proper Stability.



OPA627, 637

### OFFSET VOLTAGE ADJUSTMENT

The OPA627/637 is laser-trimmed for low offset voltage and drift, so many circuits will not require external adjustment. Figure 3 shows the optional connection of an external potentiometer to adjust offset voltage. This adjustment should not be used to compensate for offsets created elsewhere in a system (such as in later amplification stages or in an A/D converter) because this could introduce excessive temperature drift. Generally, the offset drift will change by approximately  $4\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  for 1mV of change in the offset voltage due to an offset adjustment (as shown on Figure 3).

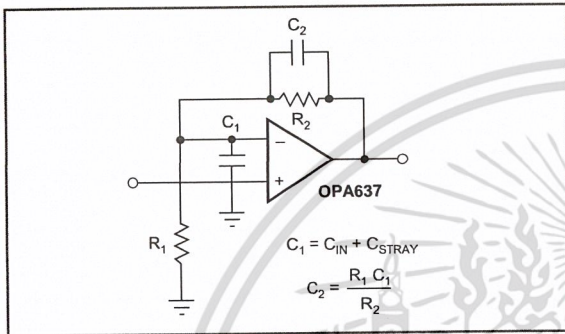


FIGURE 2. Circuits with Noise Gain Equal to or Greater than Five May Use the OPA637.

### NOISE PERFORMANCE

Some bipolar op amps may provide lower voltage noise performance, but both voltage noise and bias current noise contribute to the total noise of a system. The OPA627/637 is unique in providing very low voltage noise and very low current noise. This provides optimum noise performance over a wide range of sources, including reactive source impedances. This can be seen in the performance curve showing the noise of a source resistor combined with the noise of an OPA627. Above a  $2\text{k}\Omega$  source resistance, the op

amp contributes little additional noise. Below  $1\text{k}\Omega$ , op amp noise dominates over the resistor noise, but compares favorably with precision bipolar op amps.

### CIRCUIT LAYOUT

As with any high speed, wide bandwidth circuit, careful layout will ensure best performance. Make short, direct interconnections and avoid stray wiring capacitance—especially at the input pins and feedback circuitry.

The case (TO-99 metal package only) is internally connected to the negative power supply as it is with most common op amps. Pin 8 of the plastic DIP, SOIC, and TO-99 packages has no internal connection.

Power supply connections should be bypassed with good high frequency capacitors positioned close to the op amp pins. In most cases  $0.1\mu\text{F}$  ceramic capacitors are adequate. The OPA627/637 is capable of high output current (in excess of 45mA). Applications with low impedance loads or capacitive loads with fast transient signals demand large currents from the power supplies. Larger bypass capacitors such as  $1\mu\text{F}$  solid tantalum capacitors may improve dynamic performance in these applications.

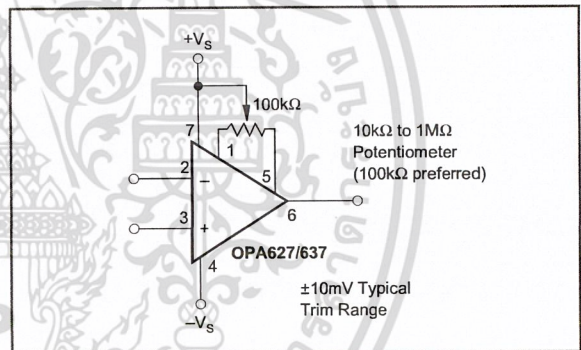


FIGURE 3. Optional Offset Voltage Trim Circuit.

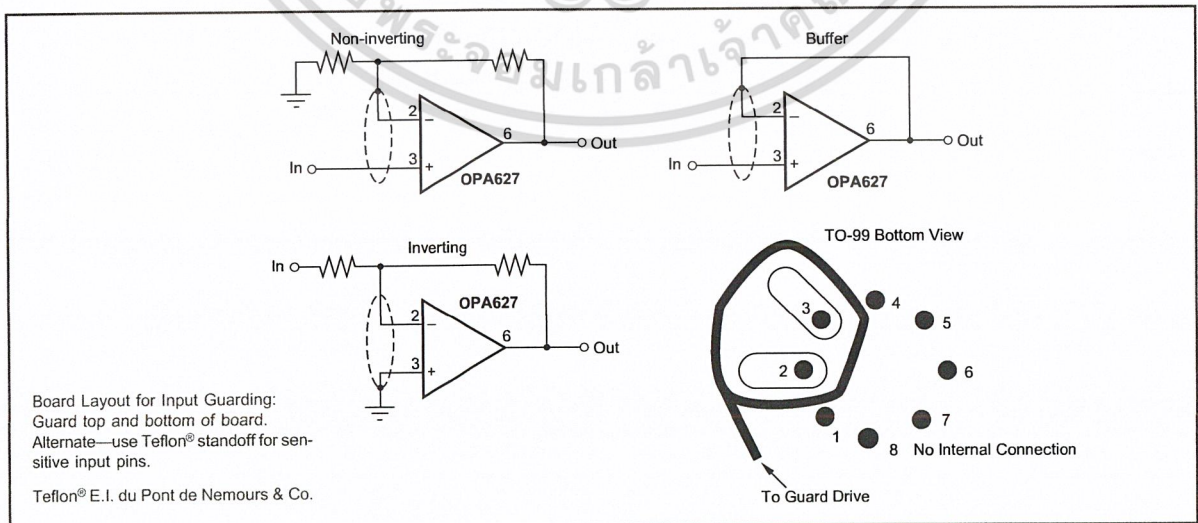


FIGURE 4. Connection of Input Guard for Lowest  $I_B$ .

## INPUT BIAS CURRENT

**Difet** fabrication of the OPA627/637 provides very low input bias current. Since the gate current of a FET doubles approximately every 10°C, to achieve lowest input bias current, the die temperature should be kept as low as possible. The high speed and therefore higher quiescent current of the OPA627/637 can lead to higher chip temperature. A simple press-on heat sink such as the Burr-Brown model 807HS (TO-99 metal package) can reduce chip temperature by approximately 15°C, lowering the  $I_B$  to one-third its warmed-up value. The 807HS heat sink can also reduce low-frequency voltage noise caused by air currents and thermoelectric effects. See the data sheet on the 807HS for details.

Temperature rise in the plastic DIP and SOIC packages can be minimized by soldering the device to the circuit board. Wide copper traces will also help dissipate heat.

The OPA627/637 may also be operated at reduced power supply voltage to minimize power dissipation and temperature rise. Using  $\pm 5V$  power supplies reduces power dissipation to one-third of that at  $\pm 15V$ . This reduces the  $I_B$  of TO-99 metal package devices to approximately one-fourth the value at  $\pm 15V$ .

Leakage currents between printed circuit board traces can easily exceed the input bias current of the OPA627/637. A circuit board "guard" pattern (Figure 4) reduces leakage effects. By surrounding critical high impedance input circuitry with a low impedance circuit connection at the same potential, leakage current will flow harmlessly to the low-impedance node. The case (TO-99 metal package only) is internally connected to  $-V_S$ .

Input bias current may also be degraded by improper handling or cleaning. Contamination from handling parts and circuit boards may be removed with cleaning solvents and deionized water. Each rinsing operation should be followed by a 30-minute bake at 85°C.

Many FET-input op amps exhibit large changes in input bias current with changes in input voltage. Input stage cascode circuitry makes the input bias current of the OPA627/637 virtually constant with wide common-mode voltage changes. This is ideal for accurate high input-impedance buffer applications.

## PHASE-REVERSAL PROTECTION

The OPA627/637 has internal phase-reversal protection. Many FET-input op amps exhibit a phase reversal when the input is driven beyond its linear common-mode range. This is most often encountered in non-inverting circuits when the input is driven below  $-12V$ , causing the output to reverse into the positive rail. The input circuitry of the OPA627/637 does not induce phase reversal with excessive common-mode voltage, so the output limits into the appropriate rail.

## OUTPUT OVERLOAD

When the inputs to the OPA627/637 are overdriven, the output voltage of the OPA627/637 smoothly limits at approximately 2.5V from the positive and negative power supplies. If driven to the negative swing limit, recovery

takes approximately 500ns. When the output is driven into the positive limit, recovery takes approximately 6 $\mu$ s. Output recovery of the OPA627 can be improved using the output clamp circuit shown in Figure 5. Diodes at the inverting input prevent degradation of input bias current.

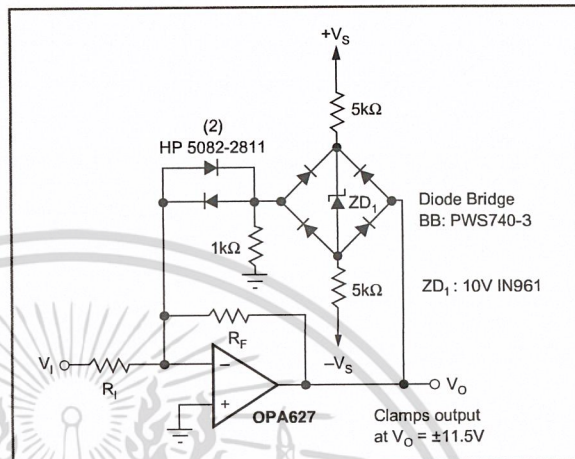


FIGURE 5. Clamp Circuit for Improved Overload Recovery.

## CAPACITIVE LOADS

As with any high-speed op amp, best dynamic performance can be achieved by minimizing the capacitive load. Since a load capacitance presents a decreasing impedance at higher frequency, a load capacitance which is easily driven by a slow op amp can cause a high-speed op amp to perform poorly. See the typical curves showing settling times as a function of capacitive load. The lower bandwidth of the OPA627 makes it the better choice for driving large capacitive loads. Figure 6 shows a circuit for driving very large load capacitance. This circuit's two-pole response can also be used to sharply limit system bandwidth. This is often useful in reducing the noise of systems which do not require the full bandwidth of the OPA627.

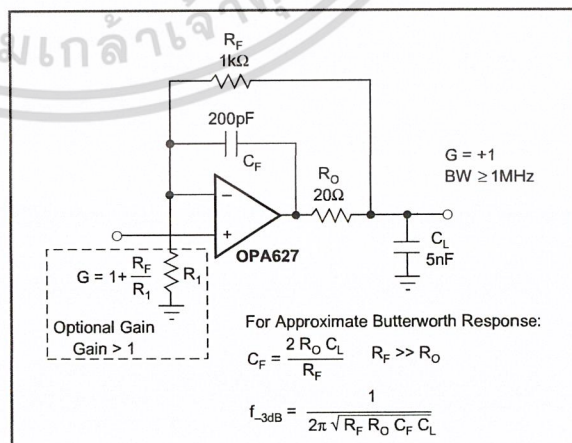


FIGURE 6. Driving Large Capacitive Loads.

## INPUT PROTECTION

The inputs of the OPA627/637 are protected for voltages between  $+V_s + 2V$  and  $-V_s - 2V$ . If the input voltage can exceed these limits, the amplifier should be protected. The diode clamps shown in Figure 7a will prevent the input voltage from exceeding one forward diode voltage drop beyond the power supplies—well within the safe limits. If the input source can deliver current in excess of the maximum forward current of the protection diodes, use a series resistor,  $R_s$ , to limit the current. Be aware that adding resistance to the input will increase noise. The  $4nV/\sqrt{Hz}$  theoretical thermal noise of a  $1k\Omega$  resistor will add to the  $4.5nV/\sqrt{Hz}$  noise of the OPA627/637 (by the square-root of the sum of the squares), producing a total noise of  $6nV/\sqrt{Hz}$ . Resistors below  $100\Omega$  add negligible noise.

Leakage current in the protection diodes can increase the total input bias current of the circuit. The specified maximum leakage current for commonly used diodes such as the 1N4148 is approximately  $25nA$ —more than a thousand times larger than the input bias current of the OPA627/637. Leakage current of these diodes is typically much lower and may be adequate in many applications. Light falling on the junction of the protection diodes can dramatically increase leakage current, so common glass-packaged diodes should be shielded from ambient light. Very low leakage can be achieved by using a diode-connected FET as shown. The 2N4117A is specified at  $1pA$  and its metal case shields the junction from light.

Sometimes input protection is required on I/V converters of inverting amplifiers (Figure 7b). Although in normal operation, the voltage at the summing junction will be near zero (equal to the offset voltage of the amplifier), large input transients may cause this node to exceed  $2V$  beyond the power supplies. In this case, the summing junction should be protected with diode clamps connected to ground. Even with the low voltage present at the summing junction, common signal diodes may have excessive leakage current. Since the reverse voltage on these diodes is clamped, a diode-connected signal transistor can be used as an inexpensive low leakage diode (Figure 7b).

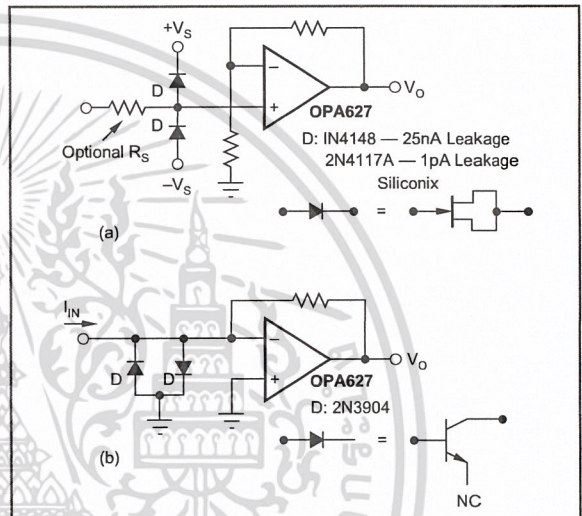


FIGURE 7. Input Protection Circuits.

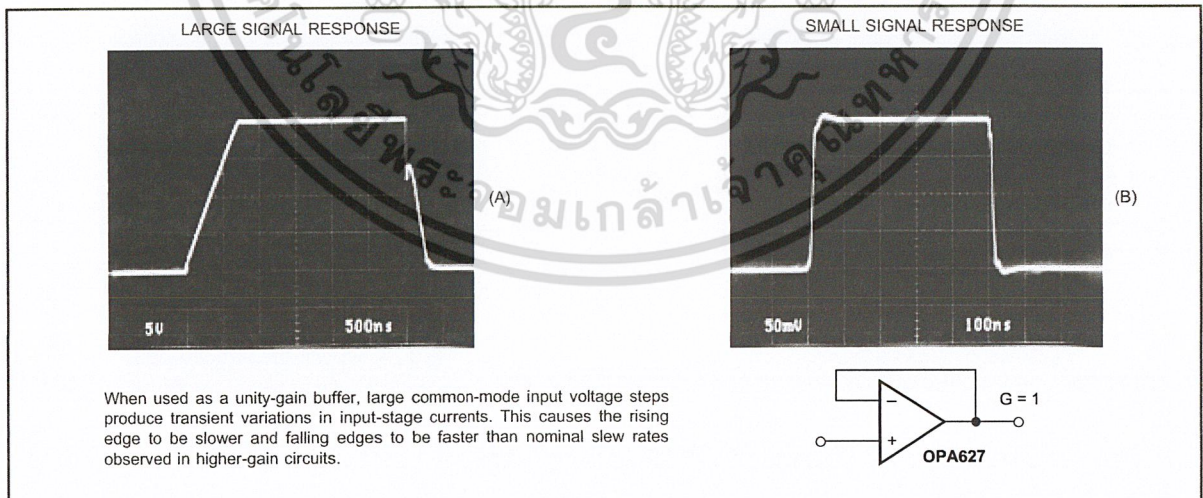


FIGURE 8. OPA627 Dynamic Performance,  $G = +1$ .

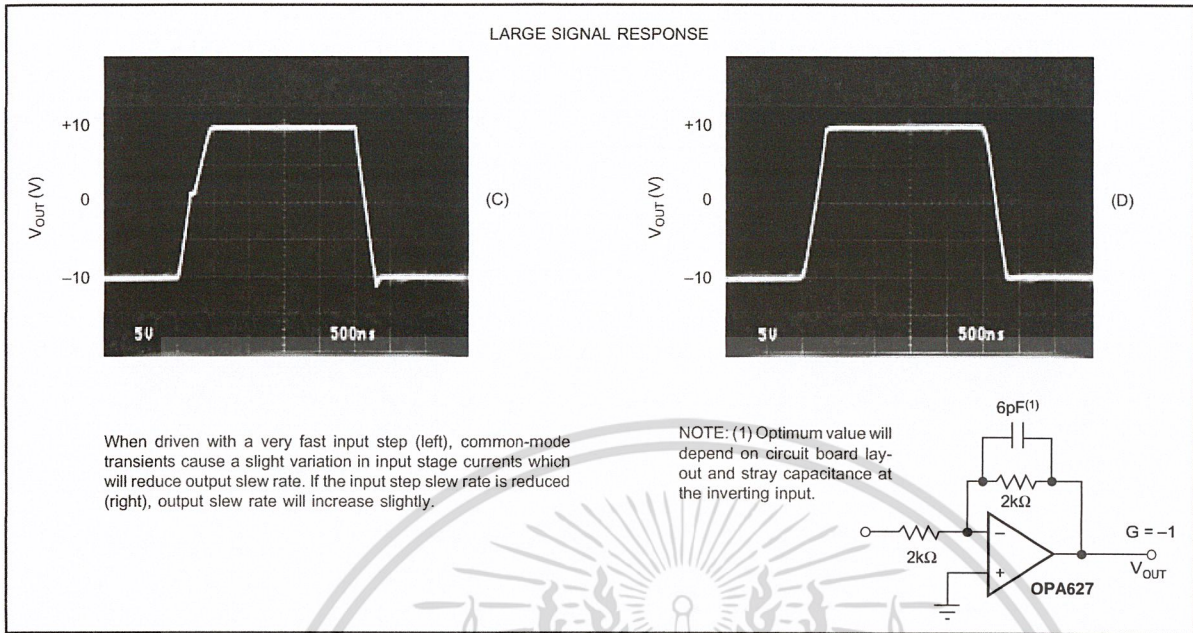


FIGURE 9. OPA627 Dynamic Performance,  $G = -1$ .

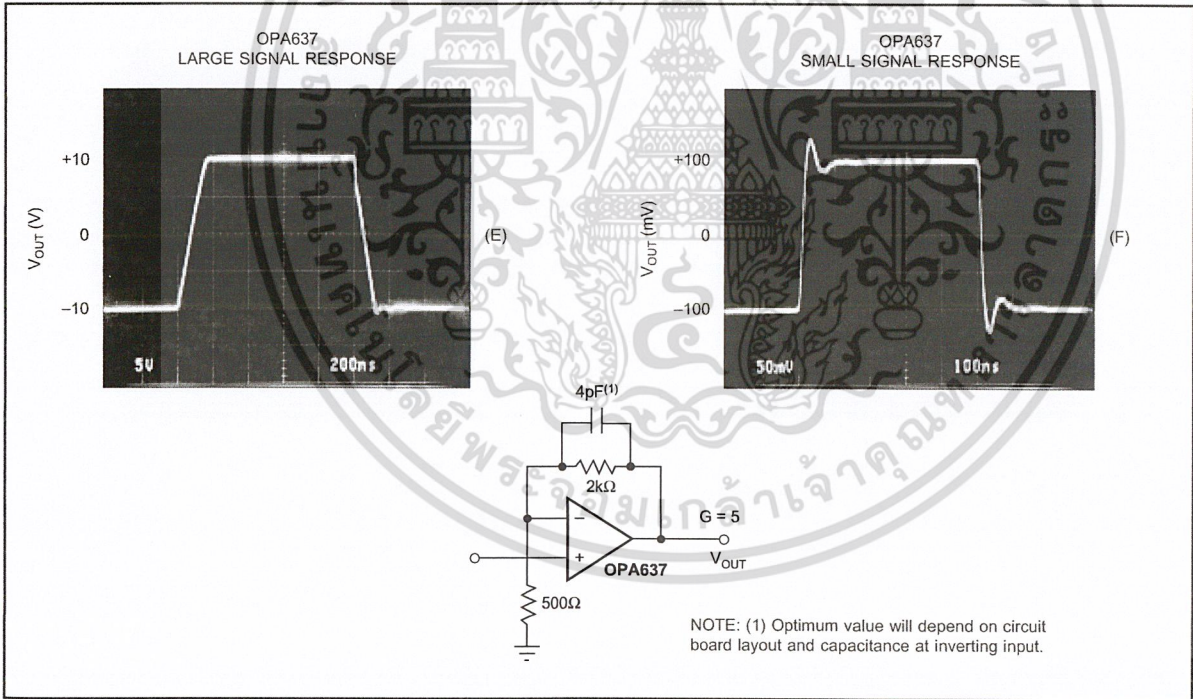


FIGURE 10. OPA637 Dynamic Response,  $G = 5$ .

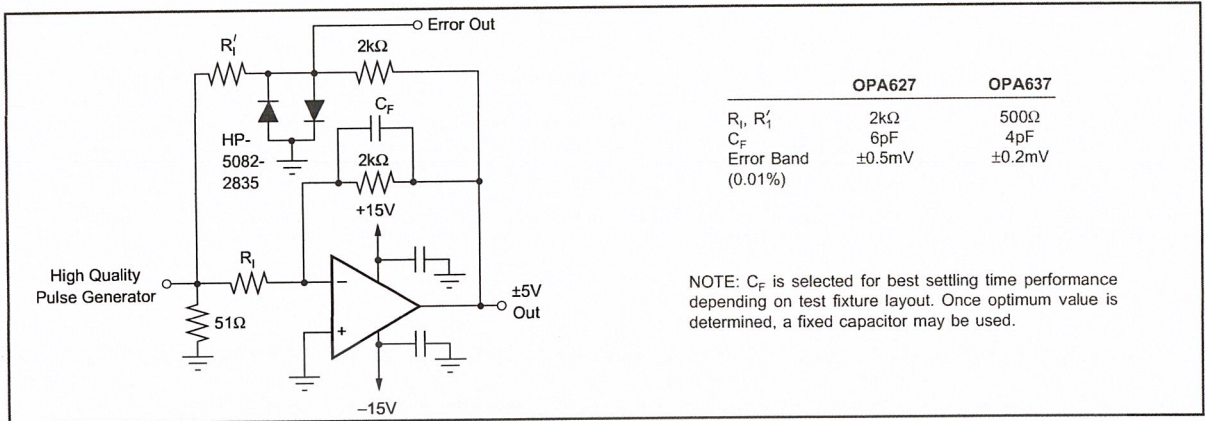


FIGURE 11. Settling Time and Slew Rate Test Circuit.

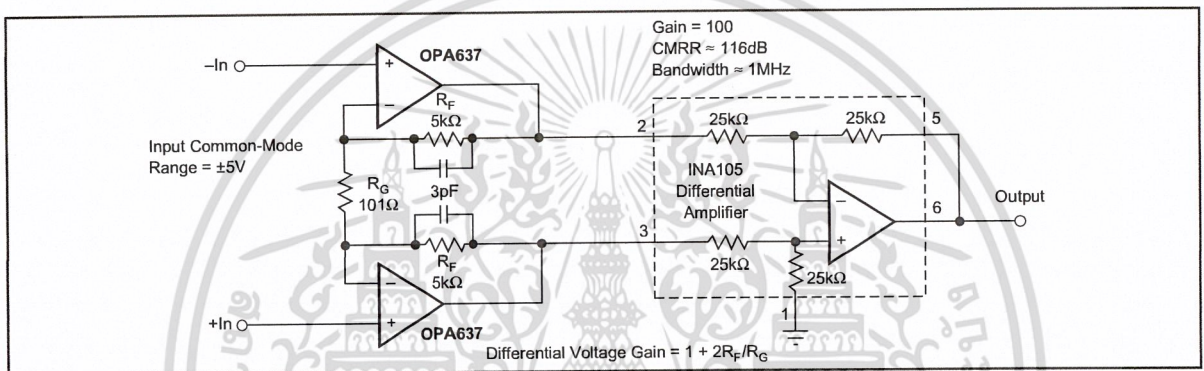


FIGURE 12. High Speed Instrumentation Amplifier, Gain = 100.

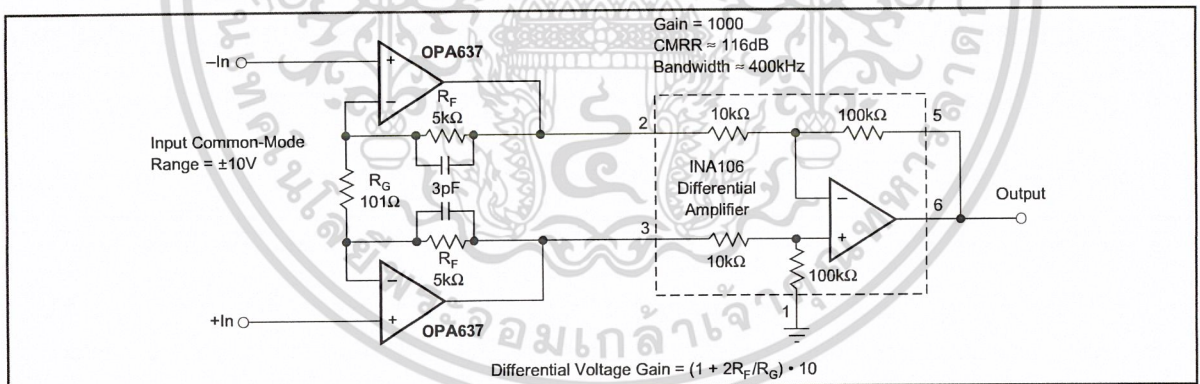


FIGURE 13. High Speed Instrumentation Amplifier, Gain = 1000.

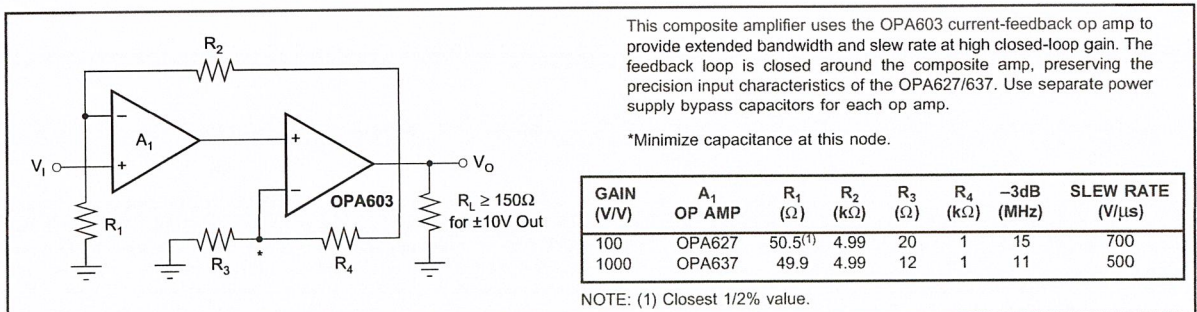


FIGURE 14. Composite Amplifier for Wide Bandwidth.