



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ กรณีศึกษาการสร้างระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์  
 Case Study of Metal Sheet Thickness Measurement System by Hall Effect

ชื่อนักศึกษา 1. นายนิเวทย์ คงศรีลังก์ รหัสประจำตัว 47035572  
 2. นางสาวรุ่งรัตน์ ประเสริฐ รหัสประจำตัว 47035580  
 3. นายสหัส เสือยืนยง รหัสประจำตัว 47035592

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา คอมพิวเตอร์  
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.กิติพงศ์ มะโน  
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.พิชญ์สินี มะโน

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อ.สุชิน อวหาญ	
2. ผศ.กิติพงศ์ มะโน	
3. อ.ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์	
4. อ.วรวิทย์ สมหา	
5. รศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันจันทร์ที่ 24 เดือนเมษายน พ.ศ. 2549 เวลา 10.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.วิสุทธิ์ ชาติ)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....



<BT481132>

กรณีศึกษาการสร้างระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

## ปริญญาานิพนธ์

กรณีศึกษาการสร้างระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์

CASE STUDY OF METAL SHEET THICKNEES MEASUREMENT SYSTEM

BY HALL EFFECT



นิเวทย์ คองศิริลังก์  
วุฒิจันทร์ ประเสริฐ  
สหัส เลื่อยินยง

เลขที่.....  
เลขทะเบียน..... **66710**  
วัน,เดือน,ปี - 8 พ.ย. 2549

b. 1111111111
i. ....

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาคอมพิวเตอร์

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปฏิญานินพนธ์

**เรื่อง** กรณีศึกษาการสร้างระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับฮอลล์

Case Study of Metal Sheet Thickness Measurement System by Hall Effect

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการวัดความหนาแผ่นโลหะ โดยใช้ตัวรับฮอลล์
2. เพื่อออกแบบระบบวัดความหนาแผ่นโลหะ โดยใช้ตัวรับฮอลล์
3. เพื่อสร้างระบบวัดความหนาแผ่นโลหะ โดยใช้ตัวรับฮอลล์
4. เพื่อทดสอบหาขีดความสามารถระบบวัดความหนาแผ่นโลหะ โดยใช้ตัวรับฮอลล์
5. เพื่อประยุกต์ความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการวัดความหนาของแผ่นโลหะจริง

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ความรู้เกี่ยวกับระบบวัดความหนาแผ่นโลหะ โดยใช้ตัวรับฮอลล์
2. ได้แบบระบบวัดความหนาแผ่นโลหะ โดยใช้ตัวรับฮอลล์
3. ได้ระบบวัดความหนาแผ่นโลหะ โดยใช้ตัวรับฮอลล์
4. ได้ผลการทดลองขีดความสามารถระบบวัดความหนาแผ่นโลหะ โดยใช้ตัวรับฮอลล์
5. นำโปรแกรมไปใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	กรณีศึกษาการสร้างระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์
นักศึกษาชื่อ	นายนิเวทย์ คงศรีลิ่งก์ นางสาวรุ่งรัตน์ ประเสริฐ นายสหัส เสือยืนยง
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กิติพงษ์ มะโน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์พิชญ์สินี มะโน
หลักสูตร	ศาสตราจารย์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	คอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2548

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอ กรณีศึกษาการสร้างระบบการวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์ โดยอาศัยการวัดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กและนำมาเปรียบเทียบเป็นความหนาและแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ ผลการทำงานของระบบสามารถวัดความหนาของเหล็กได้ตั้งแต่ 1 ถึง 5 มิลลิเมตร

## II

<b>Thesis</b>	Case Study of Metal Sheet Thickness Measurement System by Hall Effect
<b>students</b>	Mr.Niwet      Kongsrilang Mrs.Rungrut    Prasert Mr.Sahat      Suayunyong
<b>Advisor</b>	Assist. Prof. Kittipong    Mano
<b>Co-Advisor</b>	Mrs.Pitsini                  Mano
<b>Education Level</b>	Bachelor of Science in Industrial Education
<b>Program in</b>	Computer
<b>Academic Year</b>	2005

### ABSTRACT

This thesis presents the case study of metal sheet thickness measurement system by Hall Effect. The concept of variability of the electromagnetic field has been used as parameter for comparing to the thickness of the metal sheet. The result of the thickness will be process by the computer program and display. As the results of the operating experiment, the effectiveness of the metal sheet thickness measurement system by Hall Effect was confirmed and can measure the metal at 1 to 5 millimeters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้น เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จากหลายๆ ฝ่ายด้วยกันในด้านการให้คำปรึกษานั้นต้องขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์กิติพงศ์ มะโน, อาจารย์พิชัญลีณี มะโน, อาจารย์โกศล ตราชู และอาจารย์ประจำภาควิชาเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน ที่นอกจากให้ความช่วยเหลือในด้านการให้คำปรึกษาแล้วยังช่วยในการวิเคราะห์ปัญหา และให้การสนับสนุนทางด้านเครื่องมือต่างๆ นอกจากนี้ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ ที่คอยให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการปฏิบัติตนและการจัดทำปริญญานิพนธ์ คุณแม่และอีกหลายๆ ท่านที่คอยให้กำลังใจในการทำงานจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหานิพนธ์	1
1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ	1
1.3 สมมุติฐานของการจัดทำโครงการ	1
1.4 ขีดความสามารถของโครงการ	2
1.5 ขั้นตอนการทำโครงการ	2
1.6 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 การทดสอบชิ้นงาน	4
2.2.1 การทดสอบแบบทำลาย Destructive Testing : DF	5
2.2.2 การทดสอบแบบไม่ทำลาย Non Destructive Testing : NDT	5
2.2.3 วัตถุประสงค์ของการทดสอบแบบไม่ทำลาย	8
2.2.3.1 เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์	8
2.2.3.2 เพื่อการปรับปรุงเทคนิคการผลิต	8
2.2.3.3 เพื่อลดต้นทุนการผลิต	8
2.2.4 ประเภทของการทดสอบโดยไม่ทำลาย	8
2.2.4.1 การทดสอบโดยการตรวจพินิจ (Visual Testing)	8
2.2.4.2 การทดสอบโดยใช้การซึมของของเหลว (Liquid Penetrant Testing)	8
2.2.4.3 การทดสอบโดยกระแสไหลวน (Eddy Current Testing)	9
2.3 ทฤษฎีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	9
2.3.1 สนามแม่เหล็ก	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บรรณานุกรม	40
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	41
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	42
ภาคผนวก ค การอุปการณ์	48
ภาคผนวก ง รายละเอียดคุณสมบัติของอุปกรณ์	51
ภาคผนวก จ แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม	86
ภาคผนวก ฉ รหัสต้นฉบับของโปรแกรม	89
ภาคผนวก ช คู่มือการใช้งาน	99
ประวัติผู้แต่ง	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดของการทดสอบโดยไม่ทำลาย	9
3.1 ผลการวัดชิ้นงานด้วยหัววัด	31
3.2 ผลการวัดชิ้นงานด้วยเวอเนียร์คาลิปเปอร์	31
4.1 ผลการทดลอง	34
4.2 ผลการวัดชิ้นงานด้วยหัววัดจำนวน 10 ครั้ง	37
ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรภาคขยายและวงจรแปลงสัญญาณ	49
ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	49
ช.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้น	110
ช.2 ข้อมูลจำเพาะ	111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การตรวจสอบด้วยสายตา	6
2.2 การตรวจสอบด้วยรังสี	6
2.3 การตรวจสอบด้วยอุลตราโซนิกส์	7
2.4 การตรวจสอบด้วยผงแม่เหล็ก	7
2.5 วัตถุประสงค์ของการทดสอบโดยไม่ทำลาย	7
2.6 เส้นแรงของสนามไฟฟ้ารอบประจุไฟฟ้าบวกซึ่งมีขนาดเล็ก	11
2.7 แรงแม่เหล็ก $F_m$ ที่กระทำกับอนุภาคที่มีขนาดประจุไฟฟ้า เคลื่อนที่ด้วยความเร็วตั้งฉาก กับสนามแม่เหล็ก $B$ จะมีขนาด $F_m = qvB$ และทิศทางตั้งฉาก $v$ และ $B$	13
2.8 ฟลักซ์จากสองประจุไฟฟ้าต่างชนิดกัน ฟลักซ์สุทธิที่ไหลผ่านผิว $a$ เป็นศูนย์ผ่านผิว $b$ เป็นบวก	14
2.9 ฟลักซ์สุทธิจากแท่งแม่เหล็ก	15
2.10 การเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กกับเวลาเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นรอบฟลักซ์แม่เหล็กนั้น	16
2.11 แสดงปรากฏการณ์ฮอลล์	17
2.12 หลักการของฮอลล์เจเนอเรเตอร์	18
2.13 ผงเหล็กเรียงตัวตามเส้นแรงแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก	19
2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $B$ และ $H$	20
3.1 ผังการทำงานของระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์	22
3.2 การต่อออปแอมป์แอมป์บนพื้นฐาน Instrument Amplifier	23
3.3 การเพิ่มอัตราขยายเข้าไปใน Instrument Amplifier	23
3.4 วงจร Instrument Amplifier จากการคำนวณแล้ว	25
3.5 การจัดขาของ ADC0804	25
3.6 วงจรแปลงสัญญาณที่ใช้ไอซี ADC0804	26
3.7 วงจรภายในของโมดูล Ezy USB M-01	27
3.8 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	28
3.9 ตัวรับรู้ฮอลล์	29
3.10 การต่อตัวรับรู้ฮอลล์กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและโวลต์มิเตอร์	29
3.11 การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

30

<b>รูปที่</b>	<b>หน้า</b>
3.12 การวางตัวรับข้อมูลกับแท่งแม่เหล็กถาวร	30
4.1 การใช้มัลติมิเตอร์วัดสัญญาณแอมป์พุต	32
4.2 หัววัดที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว	33
4.3 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ	33
4.4 การทดสอบชิ้นงานกับหัววัด	34
4.6 ลักษณะหน้าจอลงหลังจากการเรียกโปรแกรม	35
4.7 ฮาร์ดแวร์ทั้งระบบ	36
4.8 ผลลัพธ์ของโปรแกรมเมื่อทำการใช้งาน	36
ก 1 แสดงเครื่องต้นแบบของระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับข้อมูล	42
ก 2 หัววัดของระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับข้อมูล	42
ข.1 วงจรภาคขยาย	44
ข.2 วงจรแปลงสัญญาณ	44
ข.3 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรภาคขยายและวงจรแปลงสัญญาณ	45
ข.4 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรภาคขยายและวงจรแปลงสัญญาณ	45
ข.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	46
ข.6 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	46
ข.7 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	47
ข.8 วงจรภายในของโมดูล Ezy USB M-01	47
จ.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรม	87
ข.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับข้อมูล (ด้านหน้า)	101
ข 2 วินโดวส์ตรวจพบฮาร์ดแวร์ใหม่	102
ข 3 วินโดวส์ตรวจพบระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับข้อมูล	102
ข 4 การเลือกวิธีการค้นหาไดรฟ์เวอร์	103
ข.5 การเลือกตำแหน่งของไดรฟ์เวอร์	103
ข 6 เมื่อระบุตำแหน่งไดรฟ์เวอร์แล้ว	104
ข.7 ไดรฟ์เวอร์ที่วินโดวส์ตรวจพบ	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ช.8 ผลการติดตั้งของไดร์ฟเวอร์	105
ช.9 รายการสาร์ดแวร์ที่ถูกเพิ่มขึ้นมา	105
ช.10 หน้าตาโปรแกรมระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์	106
ช.11 การค้นหาอุปกรณ์ แบบ Description	107
ช.12 โปรแกรมทำการติดต่ออุปกรณ์สำเร็จ	108
ช.13 ผลลัพธ์ของโปรแกรมเมื่อทำการทดสอบเสร็จ	109



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านอุตสาหกรรม ได้มีความก้าวหน้าไปอย่างมาก การตรวจสอบผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์ในขบวนการผลิต เพื่อรักษาคุณภาพและมาตรฐานไว้มีความจำเป็นอย่างมากในการตรวจสอบบำรุงรักษาวัสดุหรือเครื่องมือต่างๆ โดยการทดสอบ สามารถแบ่งออกไปได้เป็น 2 ประเภท คือ การตรวจสอบแบบทำลาย การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ในโครงการนี้จะใช้การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย เพราะเป็นการรักษาวัสดุที่นำมาตรวจสอบไม่ให้เกิดการเสียหาย ซึ่งสามารถตรวจสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของชิ้นงานที่นำมาตรวจสอบได้โดยการใช้ความร้อน แสง ไฟฟ้า หรือใช้อ่านแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไปตามโครงสร้างของชิ้นงานที่ตรวจสอบ ซึ่งการตรวจสอบแบบไม่ทำลายชิ้นงานนั้นมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Testing) การตรวจสอบโดยใช้กระแสไหลวน (Eddy Current) การตรวจสอบโดยการใช้วิธีการวัดเส้นแรงรั่วไหลของสนามแม่เหล็ก (Flux Leakage) โดยการตรวจสอบที่ยกตัวอย่างมาทั้ง 3 วิธี นั้นมีทั้งข้อดีและข้อเสีย คือ การตรวจสอบด้วยสายตานั้น มีความสะดวกโดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ประกอบแต่มีความล้าช้า การตรวจสอบโดยการใช้วิธีการกระแสไหลวนนั้นสามารถตรวจสอบวัสดุที่มีค่าไม่เป็นสภาพแม่เหล็กได้ แต่มีความยุ่งยากในการสร้างของหัวโพรบที่ใช้ในการตรวจสอบ เพราะในสร้างหัวโพรบจะต้องมีความละเอียดและมีความแม่นยำในจำนวนรอบของโพรบ การตรวจสอบโดยวิธีการวัดเส้นแรงรั่วไหลของสนามแม่เหล็ก เป็นวิธีการที่ใช้กับวัสดุทดลองที่ตรวจสอบค่าเป็นสภาพแม่เหล็ก โดยในอดีตวิธีนี้มีความยุ่งยากแต่ในปัจจุบันได้มีผู้ผลิต ไอซี สำเร็จรูปขึ้นเพื่อที่จะใช้ในการตรวจสอบสนามแม่เหล็กโดยเฉพาะ ซึ่งผู้จัดทำเลือกใช้ในการตรวจสอบโดยวิธีการวัดเส้นแรงรั่วไหลของสนามแม่เหล็กโดยใช้ไอซีสำเร็จรูปมาใช้ในการสร้างเครื่องตรวจสอบความหนาของโลหะเหล็กโดยวิธีการวัดเส้นแรงรั่วไหลของสนามแม่เหล็กขึ้น

### 1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ

เพื่อสร้างระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์ เพื่อลดความยุ่งยากในการตรวจสอบความหนาของแผ่นโลหะ แบบใช้เลเซอร์ หรือการใช้ยูลตราโซนิกส์ และสามารถนำระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์ไปใช้งานได้จริง

### 1.3 สมมติฐานของการจัดทำโครงการ

การทดสอบโดยการวัดความหนาด้วยตัวรับรู้อัลตราซาวด์สามารถบอกความหนาของแผ่นโลหะที่เป็นเหล็กกล้าที่มีความหนาตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 5 มิลลิเมตรได้  
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขีดความสามารถของโครงการ

ในการตรวจสอบความหนาของแผ่นโลหะ โดยใช้ปรากฏการณ์ฮอลล์ได้ออกแบบและใช้ส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ เพื่อให้ทำให้เกิดประโยชน์และอำนวยความสะดวกในการใช้ ซึ่งคุณสมบัติของเครื่องมีดังนี้

1. สามารถใช้ตัวรับฮอลล์ร่วมกับแม่เหล็กถาวรเป็นหัววัดความหนาของแผ่นโลหะเหล็กกล้าได้
2. สามารถเชื่อมต่อร่วมกับไมโครคอมพิวเตอร์ได้
3. แสดงผลการวัดความหนาของแผ่นโลหะด้วยคอมพิวเตอร์ได้
4. ความหนาที่สามารถวัดได้ 1 มิลลิเมตร ถึง 5 มิลลิเมตร

## 1.5 ขั้นตอนการของการทำโครงการ

โครงการนี้ประกอบด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ซึ่งการทำงานระยะแรกเริ่มต้นจากการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของตัวรับฮอลล์ ทำการออกแบบฮาร์ดแวร์และสร้างฮาร์ดแวร์ตามที่ได้ออกแบบขึ้นมา จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมควบคุมฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้น

## 1.6 เนื้อหาโดยสังเขป

ในปฏิญานิพนธ์นี้ ได้มีการรวบรวมข้อมูลรายละเอียด ทางทฤษฎี หลักการทำงาน การออกแบบ และการสร้างวงจรที่ใช้งานและคู่มือการใช้งาน ซึ่งจะมีเนื้อหาโดยสังเขปของแต่ละบทดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำซึ่งจะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปฏิญานิพนธ์ ขีดความสามารถของโครงการ และเนื้อหาโดยสังเขปของแต่ละบท

บทที่ 2 การทดสอบแบบทำลายและการทดสอบแบบไม่ทำลาย ทฤษฎีและหลักการทำงานของสนามแม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก สมการของแมกซ์เวลล์ ปรากฏการณ์ฮอลล์ ทฤษฎีและหลักการทำงานในการตรวจสอบโดยใช้ปรากฏการณ์ฮอลล์ ชนิดของฮอลล์

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน ส่วนของฮาร์ดแวร์ คือ หัววัดสนามแม่เหล็ก วงจรขยายแรงดัน วงจรแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิตอล และซอฟต์แวร์ คือ ค่าที่รับมาจากการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล แล้วแสดงผลออกทางจอคอมพิวเตอร์

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไขและพัฒนา

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ง รายละเอียดคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ ผังการทำงานของโครงการ  
ภาคผนวก ฉ รหัสต้นฉบับของโปรแกรม  
ภาคผนวก ช คู่มือการใช้งานโครงงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 กล่าวนำ

ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect) ใน ค.ศ. 1879 เอ็ดวิน ฮอลล์ (Edwin Hall) นักศึกษา มหาวิทยาลัยจอห์น ฮอปกินส์ ซึ่งในขณะนั้นเมื่ออายุ 24 ปี ได้พบว่า เมื่อนำแผ่นตัวนำบางที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านไปวางไว้ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก พาหะประจุ (charge carriers) ในตัวนำสามารถเบนไปจากแนวทางเดิมได้ และการเบนนี้มีผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในตัวนำบางในทิศตั้งฉากกับทั้งกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก การค้นพบนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ฮอลล์

การตรวจสอบด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect Testing) นั้นเป็นเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่อาศัยหลักการของการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทำการสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น กับลักษณะของเนื้อวัสดุที่ใช้ในการทดสอบโดยวิธีการส่งสนามแม่เหล็กไปที่ชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ แล้วใช้ ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กเป็นตัวตรวจสอบจับค่าความเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องสัมผัสระหว่างตัวฮอลล์กับชิ้นงานโดยตรง แต่งานที่ทำงานการตรวจสอบนั้นจะต้องเป็นตัวนำไฟฟ้าเท่านั้น

การตรวจสอบด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์ เป็นเทคนิคที่ไม่กว้างขวางมากนัก นอกเหนือจากการตรวจสอบเพื่อหารอยบกพร่องแล้ว การตรวจสอบด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์นั้นยังสามารถใช้ในการตรวจสอบคุณลักษณะทางกลและทางโลหะการ ซึ่งสัมพันธ์กับคุณลักษณะทางไฟฟ้าและแม่เหล็กได้โดยทางอ้อม นอกจากนี้ผลกระทบทางรูปทรง เช่น ความหนา ความโค้งช่องว่างระหว่างตัวฮอลล์กับชิ้นงานจะมีผลต่อการไหลหรือการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของปรากฏการณ์ฮอลล์และสามารถตรวจวัดได้

เนื่องจากมีตัวแปรสำคัญมากมายที่เป็นอิทธิพลต่อการตรวจสอบด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์ ซึ่งก็เป็นทั้งข้อดีและข้อเสียของเทคนิคนี้ เพราะพารามิเตอร์ที่ไม่สำคัญอาจจะรบกวน หรือบดบังข้อมูลที่สำคัญทำให้เกิดการแปลผลการตรวจสอบผิดพลาดไปได้ ดังนั้นตัวแปรทุกตัวที่มีผลกระทบต่อความเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะต้องนำมาพิจารณาอยู่เสมอ จึงทำให้การตรวจสอบด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์ค่อนข้างซับซ้อน และต้องใช้การในฝนและความชำนาญมากในการตรวจสอบ

#### 2.2 การทดสอบชิ้นงาน

ในการทดสอบชิ้นงาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีด้วยกันคือ การทดสอบแบบทดสอบทำลาย (Destructive Testing) และการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non Destructive Testing) ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1 การทดสอบแบบทำลาย Destructive Testing : DT

เป็นวิธีการทดสอบที่ทำให้เกิดแตกหักก่อนแล้วพิจารณาถึงโครงสร้างของวัสดุอีกครั้งโดยมากจะใช้ทดสอบพารามิเตอร์ดังนี้

1. การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tension Test)
2. การทดสอบความทนทานต่อการดัดโค้ง (Bending Test)
3. การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Test)
4. การทดสอบความทนทานต่อความล้า (Fatigue Test)
5. การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)
6. การทดสอบการรับแรง (Load Test)
7. การทดสอบความทนทานต่อการแตกหักด้วยแรงดันภายใน (Breaking Test by Internal Pressure)

แต่หากการทดสอบโดยการทำลายดังกล่าวนั้น จะทำให้วัสดุ อุปกรณ์ หรือโครงสร้างเกิดการแตกหักเสียหายเสียหายใช้งานอีกไม่ได้ ยกตัวอย่างเช่น กรณีของผลิตภัณฑ์ของโรงงานผลิตภัณฑ์เหล็กและเหล็กกล้า ซึ่งทำผลิตภัณฑ์รูปร่างและขนาดเป็นแบบเดียวกัน โดยวิธีการผลิตแบบเดียวกัน (หล่อ อัด รีด เชื่อม เป็นต้น) เป็นจำนวนมากจะใช้วิธีสุ่มตัวอย่างจากผลิตภัณฑ์แต่ละชุด (ในวิธีการสุ่มตัวอย่าง จะเรียกชุดของผลิตภัณฑ์ว่า lot) มาทำการทดสอบแบบทำลายและประเมินค่าของแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ทั้งจำนวน ในทางกลับกัน ตัวอย่างในการนี้ของผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมหนัก ซึ่งผลิตทีละจำนวนน้อยเพียงชิ้นเดียว ถ้านำมาทดสอบแบบทำลายแล้ว ก็จะไม่เหลือผลิตภัณฑ์ไปส่งมอบแก่ลูกค้าได้ ดังนั้นในกรณีที่ต้องการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการใช้ผลิตภัณฑ์ชิ้นนี้ ก็จะไปทดสอบแบบทำลายไม่ได้ จึงอาศัยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

### 2.2.2 การทดสอบแบบไม่ทำลาย Non Destructive Testing : NDT

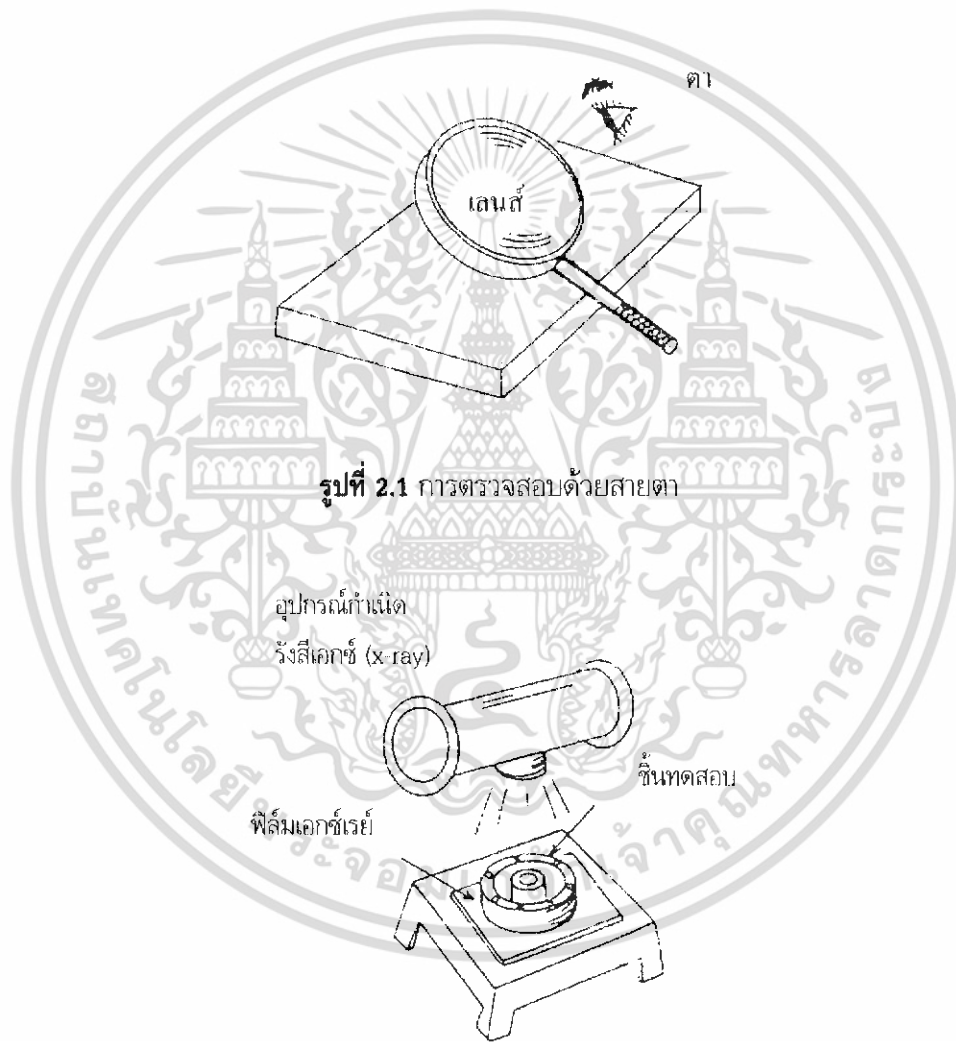
สมาคมวิศวกรรมเครื่องกลของอเมริกา (ASIME) จะเรียกว่าการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non Destructive Examination : NDE) เนื่องจาก เป็นการทดสอบวัสดุชิ้นงานโดยไม่ทำลายให้เสียหายนั่นเอง กล่าวคือ เป็นการทดสอบชิ้นงานที่เหมือนกับวัสดุ อุปกรณ์ หรือโครงสร้าง (ต่อไปจะเรียกว่าชิ้นทดสอบ) โดยไม่ก่อให้เกิดรอยขีดข่วน การแยกส่วน หรือการแตกหักภายใน และเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างขนาด หรือสมรรถนะ

ในการนี้จะใช้ลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์ของชิ้นทดสอบ เช่น แสง ความร้อน รั้งสี คลื่น เสียงอัลตราโซนิคส์ (Ultrasonic) ไฟฟ้า หรือค่านางแม่เหล็กซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามความผิดปกติของโครงสร้างภายใน หรือของโครงสร้างภายใน หรือรอยบกพร่องที่มีอยู่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิธีการทดสอบนั้นไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ทดสอบเลยก็ได้ วิธีที่เร็วที่สุด ประหยัดที่สุด และยังมีประสิทธิภาพมากที่สุดคือการตรวจด้วยสายตาเป็นขั้นเริ่มแรก จากนั้นก็มีการตรวจสอบรอยบกพร่องด้วยกระแสไฟฟ้า) ซึ่งเป็นการใช้อุปกรณ์ต่างๆ เข้ามาช่วยดังรูปที่ 2.1 - 2.4

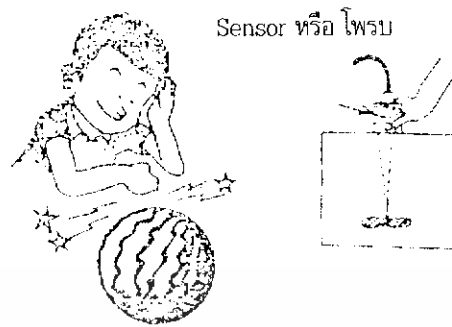
ที่กล่าวมาข้างต้นว่า การทดสอบแบบไม่ทำลายนั้นใช้แทนการทดสอบแบบทำลายได้ไม่ได้หมายความว่าเมื่อทำการทดสอบแบบไม่ทำลายได้แล้ว การทดสอบแบบทำลายจะกลายเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็นไป การทดสอบแบบไม่ทำลายนั้นเป็นการใช้ลักษณะทางสมบัติฟิสิกส์



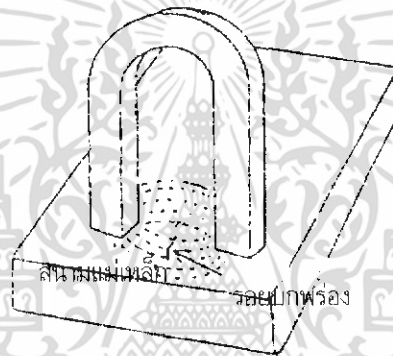
รูปที่ 2.1 การตรวจสอบด้วยสายตา

รูปที่ 2.2 การตรวจสอบด้วยรังสี

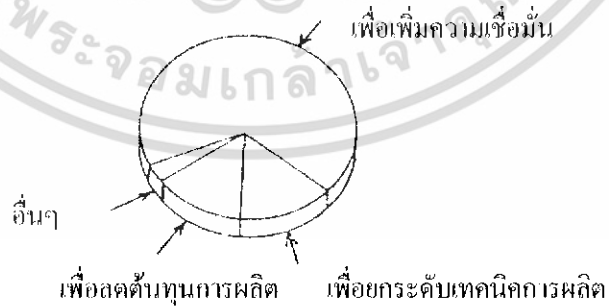
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การตรวจสอบด้วยอุลตราโซนิคส์



รูปที่ 2.4 การตรวจสอบด้วยผงแม่เหล็ก



รูปที่ 2.5 วัตถุประสงค์ของการทดสอบโดยไม่ทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 วัตถุประสงค์ของการทดสอบแบบไม่ทำลาย

วัตถุประสงค์หลักของการทดสอบแบบไม่ทำลาย มีดังต่อไปนี้

#### 2.2.3.1 เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์

อุปกรณ์ และโครงสร้างต่างๆ นั้น จะต้องมีความปลอดภัยในขณะที่ใช้งาน ถ้าไม่มีรอยบกพร่องอยู่เลยก็จะมี ความแข็งแรงทนทานเท่ากับวัสดุที่ไม่มีรอยบกพร่อง ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วการที่ไม่มีรอยบกพร่องเลยย่อมเป็นไปได้ ทำนองเดียวกันวิธีการผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดรอยบกพร่องก็เป็นไปไม่ได้ ดังนั้น ที่ตัวชิ้นงาน หรือบริเวณรอยเชื่อมนั้นไม่มีรอยบกพร่องอยู่เท่าใดจะประเมินได้โดยไม่ทำลายนั่นเอง โดยการ ใช้วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายอย่างเหมาะสม จะสามารถตรวจสอบให้แน่ใจถึงความปลอดภัยและเพิ่มความเชื่อมั่นขึ้นได้ ซึ่งก็เป็นวัตถุประสงค์ที่สำคัญประการหนึ่งของการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

#### 2.2.3.2 เพื่อการปรับปรุงเทคนิคการผลิต

ตัวอย่างของการทดสอบแบบไม่ทำลาย เพื่อกำหนดวิธีการเชื่อมที่เหมาะสม จะทำการวางแผนการเชื่อมต่างๆ แล้วสร้างแผ่นทดสอบโดยเชื่อมตามแผนที่วางไว้ จากนั้นก็ทำการทดสอบโดยไม่ทำลายโดยวิธีการต่างๆ เริ่มตั้งแต่การทดสอบด้วยรังสีจากผลการทดสอบก็จะนำมาแก้ไขปรับปรุงวิธีการเชื่อม แล้วตัดสินใจเลือกวิธีการเชื่อมที่จะได้รอยเชื่อมที่มีคุณภาพตามต้องการ ซึ่งวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายก็มีส่วนช่วยในการปรับปรุงเทคนิคในการเชื่อมได้ ปัจจุบันนี้ การทดสอบแบบไม่ทำลายได้มีส่วนช่วยในการปรับปรุงเทคนิคการผลิตต่างๆ เป็นอย่างมากเริ่มจากเทคนิคในเชื่อมเป็นประการแรก ต่อไปในอนาคตการทดสอบโดยไม่ทำลายก็จะมีบทบาทสำคัญโดยขาดเสียมิได้ในการช่วยพัฒนาปรับปรุงเทคนิคการผลิตต่างๆ มากยิ่งขึ้น

#### 2.2.3.3 เพื่อลดต้นทุนการผลิต

ในการทดสอบแบบทำลายนั้น จะเพิ่มค่าใช้จ่ายในการทดสอบขึ้น แต่ถ้าทำการทดสอบโดยไม่ทำลาย ในระหว่างกระบวนการผลิตอย่างเคร่งครัด จะทำให้ไม่มีการส่งผ่านผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสียไปยังกระบวนการต่อไปโดยไม่รู้ล่วงหน้า ลดการสูญเสียในขั้นตอนต่อไปได้ ซึ่งทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตโดยรวมลงได้

อุปมาเหมือนกับเหมือนกับการเจ็บไข้ได้ป่วย ถ้ารู้อาการล่วงหน้าได้ยิ่งเร็วเท่าใด ก็สามารถรักษาให้หายได้เร็วขึ้นเท่านั้น ทำนองเดียวกันถ้าได้ประยุกต์การทดสอบโดยไม่ทำลายตั้งแต่ขั้นต้นๆ ของกระบวนการผลิต ทำการตั้งเฝ้าผลิตภัณฑ์ของเสียออกและซ่อมแซมเพิ่มเติม ประหยัดกระบวนการ และค่าใช้จ่ายโดยรวมไปได้ ซึ่งเท่ากับเป็นการลดต้นทุนการผลิตลง

### 2.2.4 ประเภทของการทดสอบโดยไม่ทำลาย

#### 2.2.4.1 การทดสอบโดยการตรวจพินิจ (Visual Testing)

ตามทฤษฎีแล้วจะใช้สายตาดู ในกรณีที่น่าจะเป็นจะใช้แว่นขยาย ไม่บรรทัดเว้า (Convex ruler) เกจชนิดพิเศษต่างๆ เพื่อวัดขนาดของรอยแตกเหลื่อม (Overlapped) หลุมบ่อต่างๆ ความสูงของตะเข็บเชื่อมและการเชื่อมเชื่อมกันเนื่องงาน (Undercut) เป็นต้น

#### 2.2.4.2 การทดสอบโดยใช้การซึมของของเหลว (Liquid Penetrant Testing)

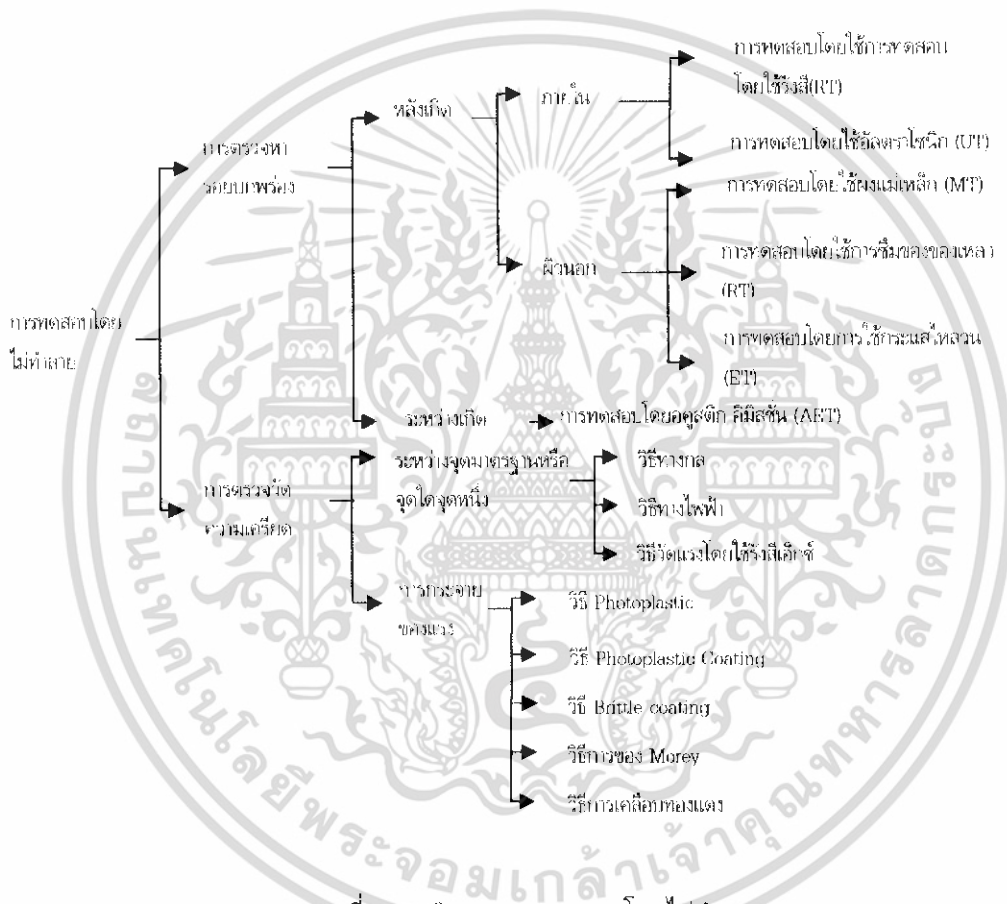
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ตรวจสอบหารอยแตกเฉพาะที่บริเวณผิวพื้นเท่านั้น ใช้วัสดุที่เป็นโลหะ และโลหะโดยทั่วไป

### 2.2.4.3 การทดสอบโดยกระแสไหลวน (Eddy Current Testing)

ใช้ตรวจสอบหารอยขีดข่วนที่ผิววัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยไม่ต้องสัมผัส และสามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็วใช้ในการตรวจสอบรอยแตกของแท่งหรือท่อโดยอัตโนมัติ

นอกจากการทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อตรวจสอบหารอยบกพร่องบริเวณผิวแล้วยังมีการทดสอบโดยไม่ทำลายแบบอื่น ๆ อีก และสามารถสรุปเป็นไดอะแกรมได้ดังตารางที่ 2.1



ตารางที่ 2.1 ชนิดของการทดสอบโดยไม่ทำลาย

## 2.3 ทฤษฎีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

การที่จะเข้าใจเกี่ยวกับฟลักซ์แม่เหล็กได้นั้น จำเป็นที่จะต้องศึกษาเกี่ยวกับเรื่องสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กให้มีความเข้าใจก่อน เนื่องจากฟลักซ์แม่เหล็กมีความสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กอย่างมาก

จากกฎของคูลอมบ์ (Coulomb's law) กล่าวว่า ประจุไฟฟ้าเหมือนกันจะผลักกันและประจุไฟฟ้าที่ต่างกันจะดูดกัน โดยจะสามารถเรียกแรงที่ประจุ 2 ตัว กระทำต่อกันว่า แรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Force) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = \frac{kp_1p_2}{r^2} \quad (2.1)$$

ความสัมพันธ์พื้นฐานของแรงสัมพัทธ์ระหว่างประจุจากสมการ (2.1) สามารถพิจารณาได้จากแนวความคิดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ โดยแยกออกเป็นสองส่วน คือ การเกิดสนามไฟฟ้าจากประจุหนึ่งตัว กับอีกส่วนหนึ่งเป็นการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของประจุอีกตัวหนึ่ง

ในส่วนแรกนั้น ประจุไฟฟ้าอนุภาค  $q_1$  จะทำให้เกิดอิทธิพลเชิงกลไฟฟ้า หรือสนามไฟฟ้า  $E_1$  ในบริเวณรอบประจุนั้น ไม่ว่าจะมียุ่กประจุไฟฟ้าหนึ่งที่ปรากฏอยู่หรือไม่ก็ตาม

$$E_1 = \frac{kp_1}{r^2} \quad (2.2)$$

แต่อีกส่วนหนึ่งนั้น ประจุไฟฟ้าตัวหนึ่ง  $q_2$  เมื่ออยู่ในอิทธิพลของสนามดังกล่าวแล้ว แสดงการตอบสนองต่ออิทธิพลของสนามนั้น ซึ่งปรากฏเป็นแรงมีขนาดและทิศทาง

$$F_2 = q_2E_1 \quad (2.3)$$

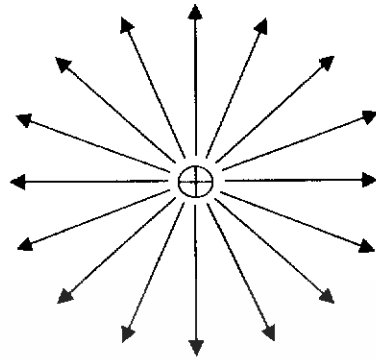
ถ้าหากแทนสมการ (2.3) ลงในสมการ (2.2) จะได้สมการของคูลอมบ์ ดังเช่นสมการ (2.1) สมการ (2.3) นั้นเป็นการอธิบายอิทธิพลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่อประจุไฟฟ้า ที่เข้าไปอยู่ในสนามนั้น และต่อมาได้กลายเป็นนิยามของสนามไฟฟ้าตามสมการ (2.4) เมื่อ  $q$  เป็นขนาดของประจุไฟฟ้าทดสอบที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก  $E$  จะถูกแรงกระทำดังนี้

$$F = qE \quad \text{หรือ} \quad E = \frac{F}{q} \quad (2.4)$$

หน่วยของสนามไฟฟ้า  $E$  มีหน่วยเป็นแรงต่อประจุไฟฟ้า หรือนิวตันต่อคูลอมบ์ หรือบางครั้งอาจจะอยู่ในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้าต่อระยะทาง หรือโวลต์ต่อเมตร

จากสมการ (2.4) จะพบว่าแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับประจุ แต่เป็นอิสระกับความเร็วของประจุ และทิศทางของสนามไฟฟ้า ณ จุดที่พิจารณาจะมีทิศทางขนานกับแรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าบวก ซึ่งเมื่อนำไปวางทดสอบที่ตำแหน่งนั้น อีกทั้งสนามไฟฟ้าจากหลายประจุไฟฟ้า ณ ตำแหน่งนั้นจะเป็นผลรวมของเวกเตอร์ของแต่ละสนามไฟฟ้าจากประจุไฟฟ้าต่างๆ ที่กระทำที่จุดนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 เส้นแรงของสนามไฟฟ้ารอบประจุไฟฟ้าบวกซึ่งมีขนาดเล็ก

เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไหลปริมาณคงที่ที่ไหลผ่านพื้นที่ ซึ่งมีขนาด และรูปร่างต่างๆกัน เช่น การไหลของน้ำจากต้นทางไปสู่ปลายทางของท่อ โดยที่ปริมาณของน้ำทั้งหมดนั้นจะมีค่าเท่ากัน แต่ปริมาณของน้ำที่ไหลต่อหน่วยพื้นที่ย่อมแตกต่างกัน เช่นเดียวกันกับ เส้นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเริ่มต้นจากประจุบวกผ่านไปบริเวณต่างๆไปสู่ประจุลบ นั่นคือ จำนวนเส้นแรงทั้งหมดเทียบได้กับปริมาณกระแสไฟฟ้าทั้งหมดหรือฟลักซ์ ในขณะที่เส้นแรงไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่จะเทียบได้กับปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่หรือความหนาแน่นของฟลักซ์ (Flux Density) ทำให้ทราบนิยามของฟลักซ์ไฟฟ้าว่าเป็นผลคูณของสนามไฟฟ้า  $E$  และพื้นที่ภาคตัดขวาง  $A$  ซึ่งทำมุม  $\phi$  กับทิศทางตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า ดังนี้

$$\Psi = EA \cos \phi \quad (2.5)$$

### 2.3.1 สนามแม่เหล็ก

สมการของคูลอมบ์ ซึ่งแสดงแรงทางไฟฟ้าสถิตระหว่างประจุทั้งสองนั้นใช้เฉพาะกรณีนี้ที่ประจุได้ประจุหนึ่งในสองประจุนั้นเคลื่อนที่ ถ้าหากประจุทั้งสองต่างก็เคลื่อนที่ แรงกระทำระหว่างประจุทั้งสองจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าที่ได้ในสมการของคูลอมบ์ แรงที่เพิ่มเข้ามานี้เรียกว่า แรงแม่เหล็ก (Magnetic Force) โดยจะเกิดขึ้นเมื่อประจุไฟฟ้าทั้งสองเกิดการเคลื่อนที่ นั่นคือ แรงแม่เหล็กเป็นแรงที่กระทำระหว่างกระแสไฟฟ้าสองกระแส ซึ่งจะแตกต่างจากแรงไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากประจุเมื่ออยู่กับที่กระทำกัน

การคำนวณหาค่าแรงแม่เหล็กทำได้จากการนำสมการ (2.1) คูณเข้ากับอัตราส่วนกำลังสองระหว่าง  $v$  คือค่าความเร็วสัมพัทธ์ของประจุทั้งสอง และ  $c$  เป็นความเร็วของแสง ดังนี้

$$F_m = \frac{kq_1q_2}{r^2} \left( \frac{v^2}{c^2} \right) \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.6) สามารถแยกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเป็นแรงที่ได้จากไฟฟ้าสถิตและส่วนที่สองเป็นอิทธิพลของสนามแม่เหล็ก สามารถแยกได้ดังนี้

$$B1 = \frac{kq1}{r^2} \left( \frac{v}{r^2} \right) \quad (2.7)$$

$$F2 = q2vB1 \quad (2.8)$$

ซึ่งสามารถเขียนสมการ (2.7) และ (2.8) ใหม่ให้อยู่ในรูปทั่วไป เพื่อใช้เป็นนิยามของสนามแม่เหล็ก  $B$  หรือที่เรียกว่า ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) หรือความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Magnetic Induction) ได้ดังนี้

$$B1 = \frac{kq2}{r^2} \left( \frac{v}{c^2} \right) \quad (2.9)$$

$$K = \frac{K}{c^2} \quad (2.10)$$

$$B = kv \frac{q}{r^2} \quad (2.11)$$

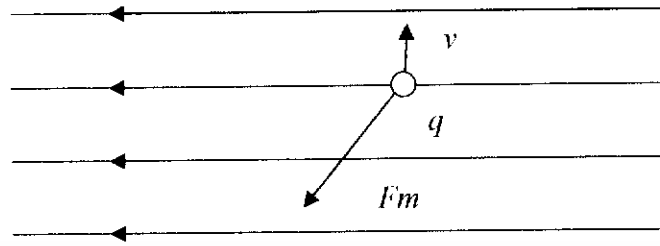
โดยที่สนามแม่เหล็ก  $B$  มีหน่วยเป็นเทสลา (Tesla) หรือ  $Ns/Cm$  หรือ  $Ns/Am$  หรือ  $kg/Cs$  ส่วนแรงแม่เหล็ก

$$F = vB \quad (2.12)$$

นอกจากนั้นแล้ว ยังมีการใช้หน่วยเป็นเวเบอร์ต่อตารางเมตร ( $Weber / m^2, Wb / m^2$ ) และอีกหน่วยหนึ่งคือ หน่วยเกาส์ ( $Gauss, G$ ) เพื่อให้ทราบไว้แนวทางเราอาจนำเอาสนามแม่เหล็กโลกมาอ้างว่ามีขนาดประมาณ  $10^{-4} T$  หรือ  $1G$

จากสมการ (2.12) ขนาดของแรงจากสนามแม่เหล็กนั้น นอกจากเป็นสัดส่วนกับทั้งขนาดและความเร็วของประจุไฟฟ้าในอิทธิพลของสนามแม่เหล็กแล้ว ยังขึ้นอยู่กับทิศทางซึ่งประจุนั้นเคลื่อนที่อยู่ภายใต้อิทธิพลนั้นตั้งฉากกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก และทิศทางการเคลื่อนที่ประจุนั้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แรงแม่เหล็ก  $F_m$  ที่กระทำกับอนุภาคที่มีขนาดประจุไฟฟ้า เคลื่อนที่ด้วยความเร็วตั้งฉาก กับสนามแม่เหล็ก  $B$  จะมีขนาด  $F_m = qvB$  และทิศทางตั้งฉาก  $v$  และ  $B$

## 2.4 สมการของแมกซ์เวลล์

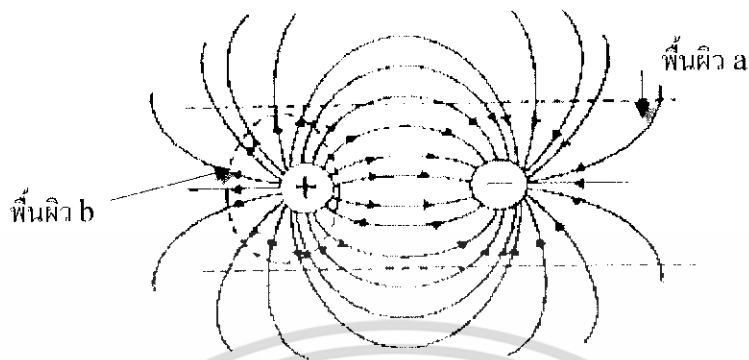
กฎของเกาส์สำหรับไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งอธิบายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าและประจุไฟฟ้าที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้น

กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากล่าวว่าฟลักซ์ไฟฟ้าทั้งหมดหรือผลรวมขององค์ประกอบของสนามไฟฟ้า ซึ่งอยู่ตามแนวตั้งฉาก และผ่านออกมาจากผิวที่ปิดสนิทจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลรวมของประจุที่อยู่ในผิวนั้น เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\Psi = \sum (En \nabla S) = \frac{1}{\epsilon_0} \quad (2.13)$$

โดยจะต้องคำนึงเครื่องหมายประจุด้วย ทั้งนี้ เส้นแรงไฟฟ้าเริ่มจากประจุไฟฟ้าบวกไปสิ้นสุดที่ประจุไฟฟ้าลบ

กฎของเกาส์สำหรับสนามไฟฟ้านี้เริ่มใช้กับปรากฏการณ์ไฟฟ้าสถิตย์ อันเป็นกรณีที่สนามไฟฟ้ามีค่าคงที่ไม่แปรกับเวลา และกฎนี้สามารถใช้ได้กับกรณีเมื่อสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปกับเวลา คือฟังก์ชันของเวลาด้วย



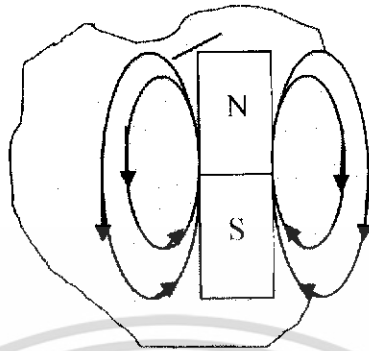
**รูปที่ 2.8** ฟลักซ์จากสองประจุไฟฟ้าต่างชนิดกัน ฟลักซ์สุทธิที่ไหลผ่านผิว a เป็นศูนย์ผ่านผิว b เป็นบวก

กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็ก (Gauss's law magnetic) กฎนี้ใช้อธิบายสนามแม่เหล็ก มีความคล้ายคลึงและคู่กับกฎของเกาส์สำหรับไฟฟ้าสถิตย์

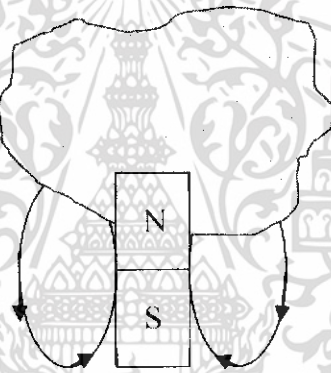
กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็กนี้ กล่าวว่า ฟลักซ์แม่เหล็กทั้งหมดที่ผ่านพื้นผิวที่ปิดสนิท ซึ่งภายในอาจมีหรือไม่มีแท่งแม่เหล็กเลยก็ตาม จะเป็นศูนย์ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\phi = \sum (B_n \Delta S) = 0 \quad (2.14)$$

จะเห็นว่า สมการ (2.13) และ (2.14) มีความคล้ายคลึงกันซึ่งสมการ (2.14) นี้อาจเขียนแทนได้ตั้งสมการที่ (2.13) โดยการแทน และด้วย และตามลำดับ ส่วนทางขวามือสมการเป็นศูนย์เนื่องมาจากในการทดลองยังไม่เคยพบว่ามีขั้วแม่เหล็กเดี่ยว ไม่เหมือนประจุไฟฟ้าบวกหรือลบซึ่งอยู่เป็นอิสระได้โดยลำพัง หมายถึง ในผิวที่ปิดใดๆ เส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านออกมาไปจากผิวต้องผ่านส่วนกลับเข้าไปในผิวด้วย ผลลัพธ์สุทธิจึงเป็นศูนย์อยู่เสมอ ทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กซึ่งเป็นปริมาณโดยตรงกับจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กเป็นศูนย์ด้วย กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็กนี้ใช้ได้ทั้งกรณีที่สนามแม่เหล็กคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงไปกับเวลา



ก. ฟลักซ์สุทธิจากแท่งแม่เหล็กที่อยู่ภายในผิวปิดเป็นศูนย์



ข. ฟลักซ์สุทธิจากแท่งแม่เหล็กที่อยู่ภายในผิวปิดเพียงขั้วเดียวเป็นศูนย์

รูปที่ 2.9 ฟลักซ์สุทธิจากแท่งแม่เหล็ก

จากผลสรุปที่กล่าวไว้ว่า “จะมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้น เมื่อสนามแม่เหล็กเปลี่ยนไปจากเดิม หรือ หากมีการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก จะมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้น

กฎของฟาราเดย์ และเฮนรีสำหรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Faraday Henry's law of induced electromotive force) จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และฟลักซ์ไฟฟ้าเปลี่ยนไป  $\Delta\Phi$  กับเวลา  $\Delta t$  คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเท่ากันเท่ากับ ค่าลบของอัตราการเปลี่ยน ฟลักซ์แม่เหล็กซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

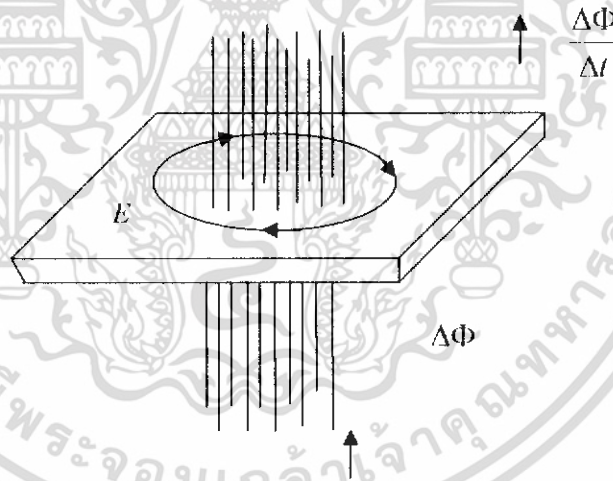
$$\text{แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ} = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \tag{2.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องหมายลบปรากฏในสมการ เพื่อเป็นการแสดงว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีทิศทางที่ต่อต้าน การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก ซึ่งเป็นไปตามกฎเกณฑ์ทั่วไปในธรรมชาติ ที่ว่าหากมีการเปลี่ยนแปลงก็จะมี ความพยายามที่จะต่อต้านการเปลี่ยนแปลงนั้น ทั้งนี้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำคือ งานที่ต้องกระทำต่อหนึ่ง หน่วยประจุไฟฟ้าในการที่จะทำให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ ไปตามเส้นล้อมรอบฟลักซ์แม่เหล็กที่พิจารณาไว้ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ อาจเขียนให้อยู่ในรูปเป็นผลบวกของผลคูณ ของแรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าหนึ่ง หน่วยคือ  $E$  หรือองค์ประกอบสนามไฟฟ้า  $E$  เมื่อคิดในแนวขนานกับระยะทางคิดเป็นช่วงสั้นๆ  $\Delta L$  ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเส้นซึ่งล้อมรอบฟลักซ์แม่เหล็กนั้น เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ} = \sum (E \Delta L) = - \left( \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right) \quad (2.15)$$

หรืออีกนัยหนึ่ง การหมุนเวียนของสนามไฟฟ้ารอบเส้นที่ล้อมรอบปิดพื้นที่บริเวณหนึ่งไว้ เป็นค่าลบของอัตราการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งผ่านและตั้งฉากกับพื้นที่ล้อมปิดดังกล่าว



**รูปที่ 2.10** การเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กกับเวลาหนึ่งวงทำให้เกิดสนามไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นรอบ ฟลักซ์แม่เหล็กนั้น

ความสัมพันธ์ของการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และกระแสไฟฟ้านี้ระบุว่า การหมุนเวียนของสนามแม่เหล็ก ารคณเส้นที่ล้อมปิดพื้นที่หนึ่งจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านและตั้งฉากกับพื้นที่ล้อมปิดนั้น ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sum (B \Delta L) = \mu_0 I \quad (2.17)$$

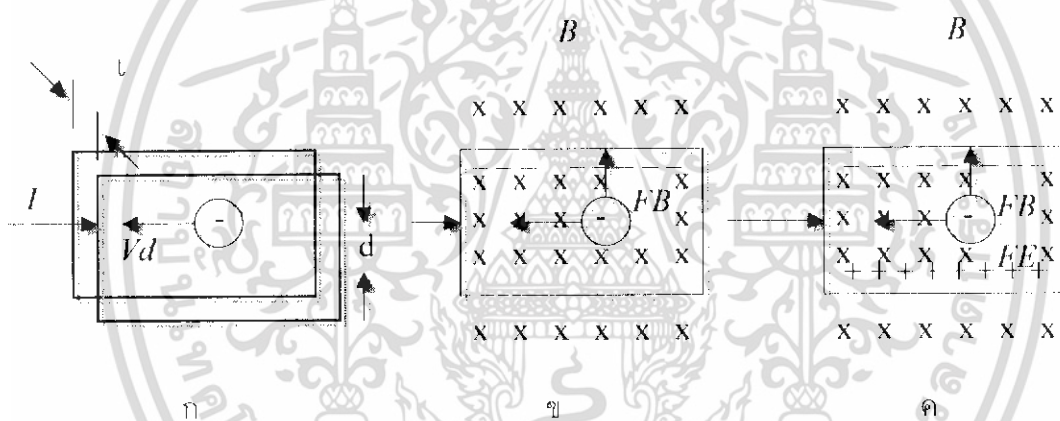
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $Bt$  เป็นองค์ประกอบของสนามแม่เหล็ก  $B$  ที่ขนานกับระยะทาง  $\Delta l$  ที่ล้อมปิดบริเวณสนามแม่เหล็ก จะเกิดขึ้นไม่เพียงเฉพาะบริเวณที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นด้วยหากสนามไฟฟ้าแปรไปกับเวลา ซึ่งเขียนสมการได้ดังนี้

$$\sum(Bt\Delta L) = \mu_0 \left( I + \epsilon_0 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right) \quad (2.18)$$

หรืออีกนัยหนึ่ง การหมุนเวียนของสนามแม่เหล็กรอบเส้นที่ปิดล้อมพื้นที่บริเวณหนึ่งไว้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน และอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กในบริเวณนั้น

## 2.5 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)



รูปที่ 2.11 แสดงปรากฏการณ์ฮอลล์

การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์อธิบายได้โดยใช้รูป 1.12 ก - ค ดังนี้

รูปที่ 2.11 ก แผ่นตัวนำบางที่มีความกว้าง  $d$  หนา  $l$  และมีกระแสไฟฟ้า (conventional current)  $I$  ผ่านในทิศจากด้านซ้ายไปด้านขวา พาหะประจุคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ (ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน  $V_d$ ) ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า  $I$  จากด้านขวาไปด้านซ้าย

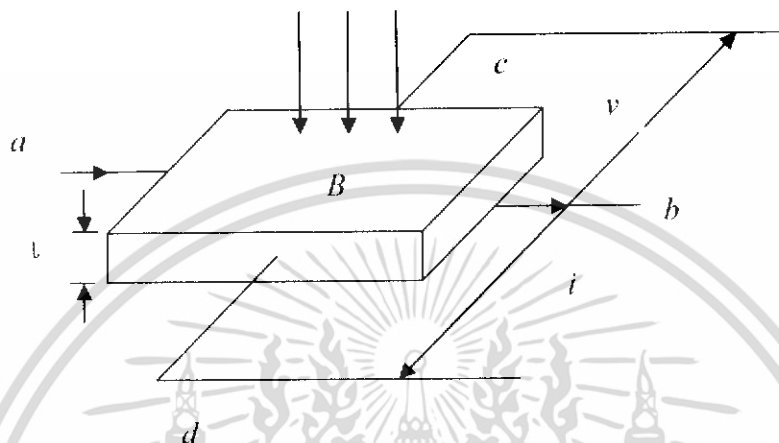
รูปที่ 2.11 ข เมื่อใส่สนามแม่เหล็ก  $B$  ในทิศพุ่งเข้าหาและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบางหรือกระดาก จะเกิดแรงแม่เหล็ก  $F_B$  กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบาง

รูปที่ 2.11 ค เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก ส่วนขอบด้านล่างจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันที่ขอบทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (hall field)  $E_H$  ในแผ่นตัวนำบางมีทิศจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า  $F/E$  กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านข้าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้ายโดยไม่เบน

### 2.5.1 ฮอลล์เอฟเฟกต์



รูปที่ 2.12 หลักการของฮอลล์เอฟเฟกต์

ในรูปที่ 2.12 ให้กระแส  $I$  (A) ไหลผ่านไปในตัวนำ เช่น เจอร์เมเนียมที่มีความหนา  $t$  (m) ซึ่งวางอยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีความหนาแน่นของฟลักซ์  $B$  (Wb/m) ในแนวตั้งฉากกับระนาบของสารกึ่งตัวนำนั้นจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า  $V$  (V) ขึ้นในแนวตั้งฉากกับทั้ง  $B$  และ  $I$  ดังนี้

$$V = \frac{niB}{t} \quad (2.19)$$

ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ของฮอลล์ (Hall Effect) และ  $n(m^2/C)$  เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของฮอลล์ (Hall Coefficient) ถ้าทราบค่า  $n$ ,  $t$ ,  $i$  เราจะสามารถหาค่า  $B$  โดยการวัด  $V$  ฮอลล์เอฟเฟกต์มีขนาดเล็กมาก ( $t$  มีค่าอยู่ประมาณ 0.1 มิลลิเมตร) จนสามารถนำไปวัดความหนาแน่นของฟลักซ์ในที่แคบ ๆ ได้ความไวของเครื่องนี้สามารถวัดได้ถึงระดับ  $10^{-1} (Wb/m^2)$  การปรับเทียบทำได้โดยการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของฮอลล์ (Hall Emf) ในความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กที่ทราบค่าแล้ว

### 2.5.2 ชนิดของฮอลล์

ฮอลล์แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ชนิดสวิตช์ ชนิดเป็นตัวลatches และชนิดเป็นอุปกรณ์เชิงเส้น ชนิดสวิตช์ และชนิดแลตซ์เป็นอุปกรณ์ทางดิจิทัล คือ จะเอาต์พุตเพียงสองสถานะ ไม่เปิดก็ปิด ในขณะที่ฮอลล์แบบเชิงเส้นจะให้แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามขนาดของสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

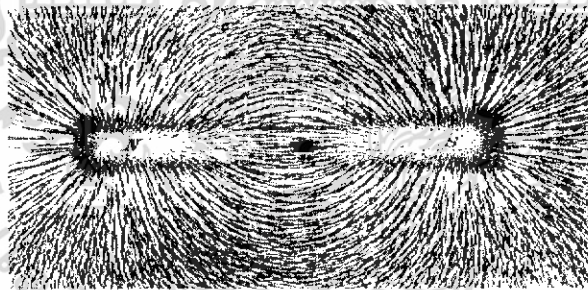
ฮอลล์ชนิดสวิตช์ (Switch Hall Device) เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในสภาวะปกติ ปิด และจะเปิด เมื่อได้รับสนามแม่เหล็ก และจะปิดเมื่อหยุดให้สนามแม่เหล็ก

เนื่องจากฮอลล์เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีผลต่อการทำงานของฮอลล์ ภายในไอซีจึงจะต้องมีส่วนชดเชยอุณหภูมิ ฮอลล์ชนิดเชิงเส้นที่ดีจะต้องมีความเที่ยงตรงขณะที่อุณหภูมิที่ใช้งานปกติ แรงดันที่วัดได้ไม่ควรพลาดเกิด 5 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันที่อุณหภูมิปกติ

แรงดันของฮอลล์ชนิดเชิงเส้นจะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องขยายเพื่อเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้น และถ้าสนามแม่เหล็กมีค่าน้อยแรงดันที่ได้ก็จะมีค่าน้อย แต่ถ้าหากสนามแม่เหล็กมีค่ามากค่าของแรงดันก็จะมากตามไปด้วย

## 2.6 พื้นฐานการตรวจสอบด้วยสนามแม่เหล็ก

ตามธรรมชาติแล้วสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) จะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อมีขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ววางห่างกันเป็นระยะทางจำกัดค่าหนึ่งเสมอ โครงสร้างทางแม่เหล็กนี้เราเรียกว่า โพล แม่เหล็ก (Magnetic Dipole) ดังรูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขั้วแม่เหล็กที่โรยบนแผ่นกระดาษที่มีแท่งแม่เหล็ก 2 อันวางขนานกัน จะปรากฏขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว เส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งออกจากขั้วหนึ่งไปหาอีกขั้วหนึ่ง



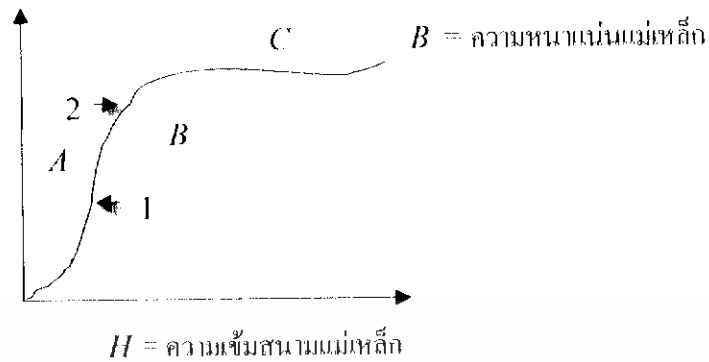
รูปที่ 2.13 ขั้วแม่เหล็กเรียงตัวตามเส้นแรงแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก

### 2.6.1 การตรวจสอบหาความหนาของแผ่นโลหะด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า

การเกิดสนามแม่เหล็ก ตามกฎของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากล่าวคือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น และจะเหนี่ยวนำชั้นทดสอบที่เป็นเหล็กด้วย ดังนั้นเมื่อทำการปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไป บริเวณที่เป็นชิ้นงานจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กทำให้เกิดเป็นฟุ้งของเส้นแรงแม่เหล็กออกมา

สิ่งที่ช่วยเหนี่ยวนำชั้นทดสอบให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ได้นั้นจะมีสิ่งเกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแม่เหล็ก (Magnetic Induction)  $B$  และความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Strength)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $B$  และ  $H$

เมื่อชิ้นงานที่เหนี่ยวนำเป็นแม่เหล็กได้ถูกเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก ที่จำเป็นต่อการปรับแต่งให้ได้ค่าความหนาแน่นแม่เหล็ก  $B$  ให้สูงอย่างเหมาะสมได้ ซึ่งมันจะขึ้นอยู่กับความสามารถนำแม่เหล็กของชิ้นงานด้วย

$A =$  เส้นโค้งจนถึงจุดที่ 1 ค่า  $H$  จะเป็นสัดส่วนต่อการเพิ่มค่า  $B$

$B =$  ระหว่างจุด 1 ถึงจุด 2 จะเกิดการนำแม่เหล็กในชั้นทดสอบเหล็กได้สูงที่สุด

$C =$  จากจุดที่ 2 เป็นพื้นที่การอิ่มตัวของแม่เหล็ก เช่น เส้นโค้งเอียงจะแสดงถึงความต้านทานแม่เหล็กภายในเหล็กที่เป็นสัดส่วนต่อความต้านทานในอากาศ

$B =$  ความหนาแน่นแม่เหล็ก (Magnetic Induction) หน่วยเป็น *Tesla*

$H =$  ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Strength) หน่วยเป็น  $kA/m$

ความเป็นแม่เหล็ก (Ferro Magnetic) ของชิ้นงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1. วัสดุแม่เหล็กอ่อน จะใช้แรงแม่เหล็กค่อนข้างน้อย ค่ารีมานนซ์ต่ำ ที่นำมาใช้ในการเกิดสนามแม่เหล็กภายนอก เมื่อปิดสวิตช์สนามแม่เหล็กในชั้นทดสอบจะหายไปหมด จัดได้ว่าเป็นวัสดุที่ง่ายต่อการทำให้เป็นและลบล้างอำนาจแม่เหล็ก วัสดุประเภทนี้ไม่ได้หมายความรวมถึงวัสดุที่มีความอ่อนนุ่ม ทำให้วงฮิสเตอร์รีสเทอ์ของวัสดุแม่เหล็กอ่อนมีลักษณะแคบ แรงลบล้างแม่เหล็กมีค่าน้อยคืออยู่ในช่วง 0.004 - 0.088 แอมแปร์ต่อเซนติเมตร วัสดุแม่เหล็กอ่อน ได้แก่ โลหะผสม  $Fe - 4\% Si$  ที่นำมาทำเป็นแกนหม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และวัสดุใหม่ที่เรียกว่า แก้วโลหะก็จัดเป็นวัสดุใหม่ที่เรียกว่า แก้วโลหะก็จัดเป็นวัสดุแม่เหล็กอ่อนที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปทำเป็นแม่เหล็กประสิทธิภาพสูงในอุปกรณ์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัสดุแม่เหล็กแข็ง ได้แก่ ซีเมนต์สอปเหล็กที่มี  $C' > 0.2\%$  ทำให้เกิดความเสียหายต่อสนามแม่เหล็ก มีคุณสมบัติที่ตรงข้ามกับวัสดุเหล็กอ่อนคือต้องการสนามแม่เหล็กภายนอกความเข้มสูงในการทำให้เป็นแม่เหล็ก การสล้างสภาวะแม่เหล็กก็ทำได้ยาก ขนาดวงฮีสเทอรีซิสจึงมีความกว้างมาก ค่ารีมานนซ์จะสูงมาก ตัวอย่างวัสดุแม่เหล็กแข็งได้แก่ โลหะผสมอัลนิโค ซึ่งเป็นโลหะผสมที่ได้จากการผสมโลหะอลูมิเนียม นิกเกิลและโคบอลต์เข้าด้วยกัน แรงสล้างแม่เหล็กของโลหะผสมชนิดนี้สูงถึง 40 - 160 กิโลแอมแปร์ต่อเมตร อัลนิโคจึงเป็นวัสดุแม่เหล็กที่มีความสำคัญและใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

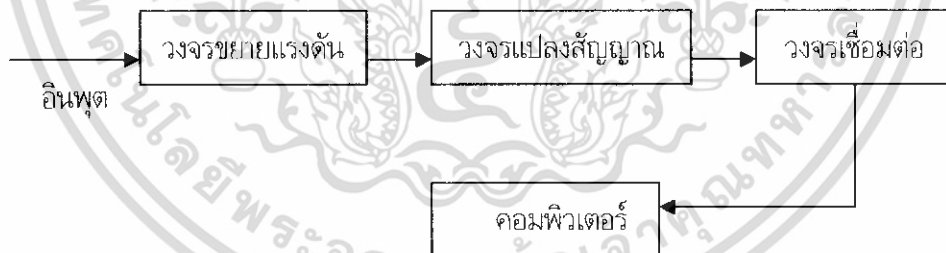
### การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

#### 3.1 กล่าวนำ

การออกแบบจัดสร้างระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราโซนิก ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์ และส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ ซึ่งในส่วนของฮาร์ดแวร์ประกอบไปด้วย ภาคขยายแรงดัน ภาคแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และส่วนของการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ส่วนซอฟต์แวร์ก็จะใช้ในการติดต่อกับฮาร์ดแวร์ เพื่อนำค่าที่ได้จากการวัดมาแสดงผลให้ผู้ใช้งาน ซึ่งเนื้อหาของปริภูมิฟังก์ชันนี้จะกล่าวถึงเฉพาะในส่วนของฮาร์ดแวร์ โดยประกอบไปด้วยหลักการการออกแบบวงจร ขั้นตอนการออกแบบวงจรภาคต่าง ๆ และส่วนประกอบอื่นที่สำคัญในการออกแบบ

#### 3.2 การออกแบบและการสร้างส่วนของฮาร์ดแวร์

ในส่วนนี้จะมีการทำงานดังแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.1 ซึ่งจะมีหลักการทำงานคือ สัญญาณอินพุตที่ได้จากตัวรับรู้อัลตราโซนิกจะถูกขยายสัญญาณโดยภาคขยายแรงดัน เสร็จแล้วก็นำไปแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วจึงส่งสัญญาณไปที่คอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลทางจอภาพ

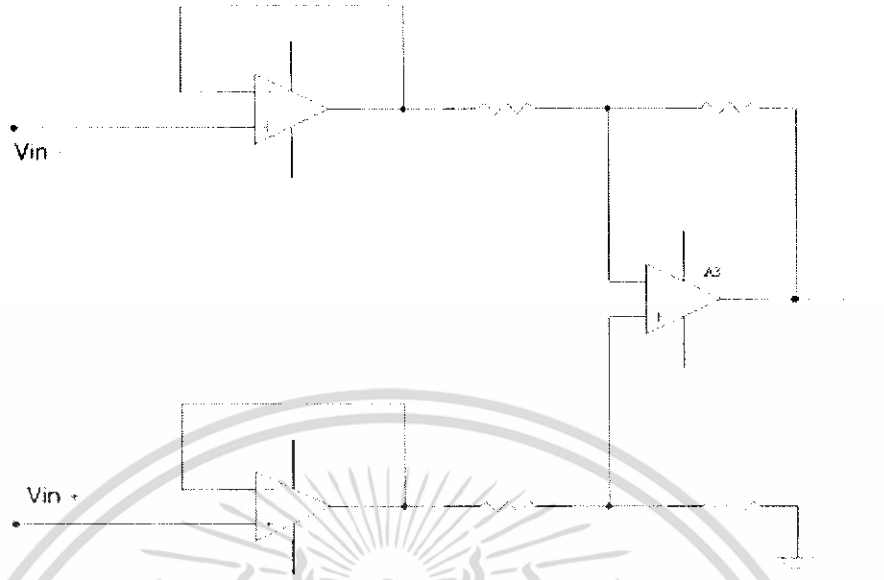


รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราโซนิก

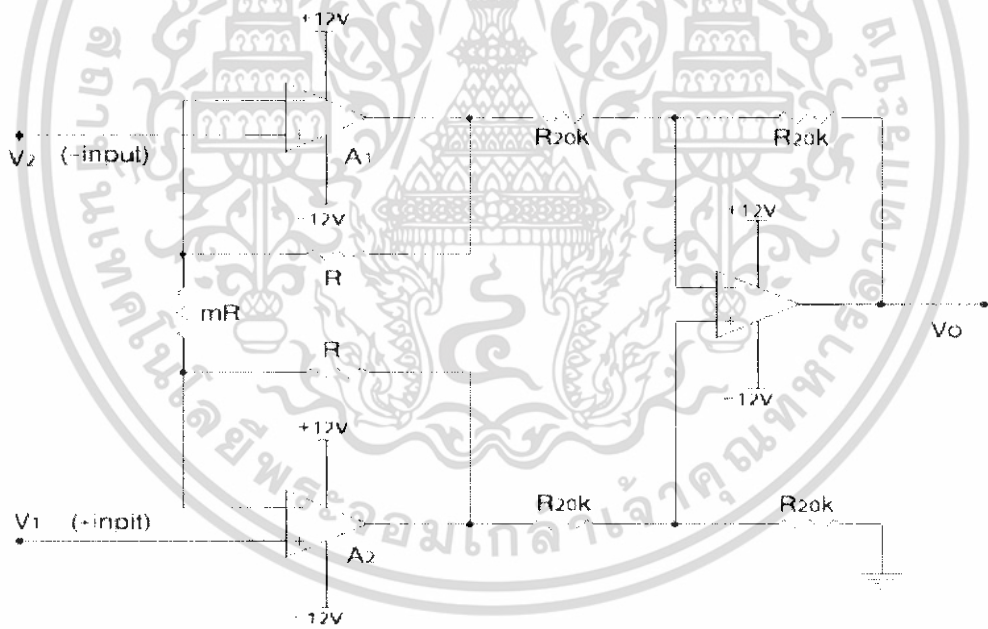
##### 3.2.1 ภาคขยายแรงดัน

ในโครงการนี้ได้ใช้วงจรขยาย **Instrument Amplifier** เพื่อเป็นการลดสัญญาณรบกวนที่มากับสัญญาณเอาต์พุตของ ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กเพื่อที่จะนำสัญญาณที่ได้ไปประมวลผลให้มีความแม่นยำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การต่อออปแอมป์แบบพื้นฐาน Instrument Amplifier



รูปที่ 3.3 การเพิ่มอัตราขยายเข้าไปใน Instrument Amplifier

จากรูปที่ 3.2 เป็นการต่อออปแอมป์แบบพื้นฐาน Instrument Amplifier สังเกตจะเห็นว่ามีส่วนประกอบอยู่ 2 ส่วนคือส่วนของอินพุต ซึ่งประกอบด้วยวงจรเดินตามแรงดัน 2 วงจร และอีกส่วนหนึ่งคือส่วนของเอาต์พุต ซึ่งประกอบด้วยวงจรขยายแบบตรีแย็บเทียบแรงดัน โดยเราสามารถเปลี่ยนอัตราขยายได้โดยการเปลี่ยนวงจรแรงดันตามในช่วงอินพุตเป็นวงจรการขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.3 สังเกตดูจะเห็นว่า การขยายสัญญาณอินพุตในช่วงแรกนั้นเป็นการขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในเพียงการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยูได้เห็น ใบเซปรีเซชันด้านกรรค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกให้ออกแบบให้มีความแตกต่างกันเล็กน้อย ความต้านทาน  $mR$  ถูกสร้างขึ้นมาจากความต้านทานที่มีค่าเท่ากันสองตัว ต่อแบบอนุกรมซึ่งทำให้เราสามารถคำนวณอัตราขยายได้ดังนี้

$$A_{DIFF} = -\frac{V_i}{V_1 - V_2} = 1 + \frac{2}{m} \quad (3.1)$$

เมื่อ 
$$m = \frac{mR}{R} \quad (3.2)$$

ในโครงการนี้เราต้องการอัตราขยายเท่ากับ 5 เท่า และกำหนดให้  $R = 10k\Omega$

จาก 
$$A_{DIFF} = 1 + \frac{2}{m} \quad (3.3)$$

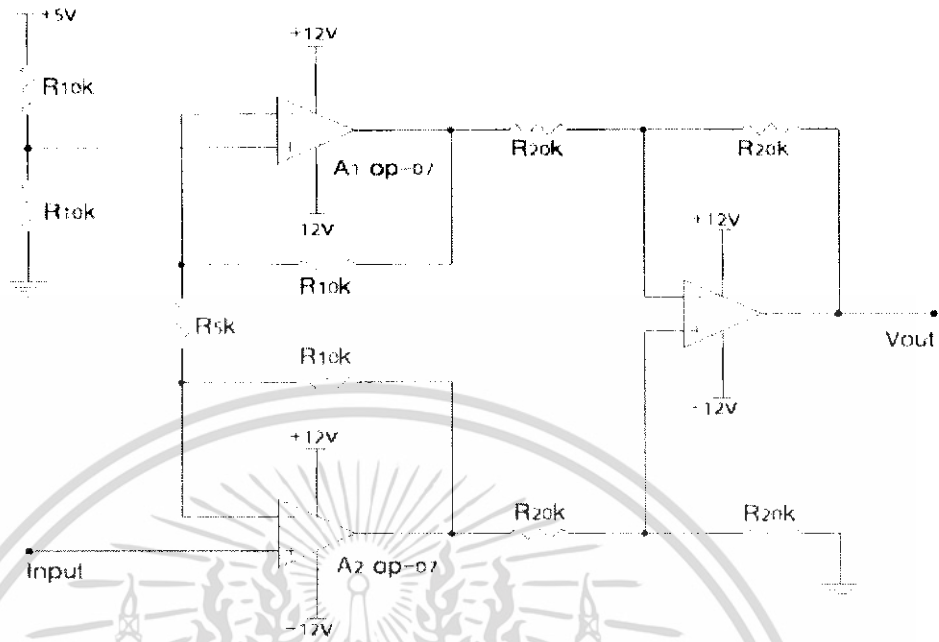
เมื่อ  $A_{DIFF} = 11$  ดังนั้นจะได้  $m = 0.2$  เมื่อได้ค่า  $m$  เราสามารถหาความต้านทานได้ดังจากสมการที่ 3.2 ดังนี้

$$0.2 = \frac{mR}{10k\Omega} \quad (3.4)$$

ดังนั้น  $mR = 2k\Omega$

ส่วนวงจรทางด้านเอาต์พุตเราต้องการให้เป็นวงจรขยายแบบเปรียบเทียบแรงดันที่ไม่ให้อัตราการขยายดังนั้นเราเลยกำหนดให้ความต้านทานทั้ง 4 ตัวของภาคเอาต์พุตมีค่าเท่ากันที่  $20k\Omega$  ดังแสดงในรูปที่

3.4

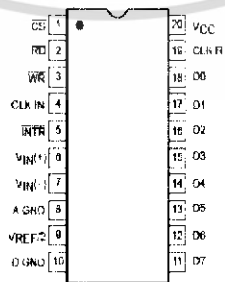


รูปที่ 3.4 วงจร Instrument Amplifier จากกรคำนวณแล้ว

### 3.2.2 ภาคแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ในที่นี้เราใช้เลือกใช้ไอซีเบอร์ ADC0804 ซึ่งมีคุณสมบัติและหน้าที่ของขาดังต่อไปนี้

- เช้ากันได้กับไมโครโปรเซสเซอร์ส่วนใหญ่
- อินพุตซึ่งแตกต่างกัน
- ทั้งระดับตรรกะของ ทีทีแอล และ ซีมอส เช้ากันได้
- สามารถเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกหรือภายในตัวเองได้
- สัญญาณอินพุตตั้งแต่ 0 ถึง Vcc
- แหล่งจ่ายไฟเดี่ยว 5 โวลต์



รูปที่ 3.5 การจัดขาของ ADC0804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของแต่ละขา

ขาที่ 1 CS เป็นขาที่สั่งให้พร้อมในการทำงาน

ขาที่ 2 RD เมื่อขานี้เป็น 0 จะทำให้สามารถอ่านข้อมูลจากขาสัญญาณ D0 - D7 ได้

ขาที่ 3 WR เป็นขาที่จะใช้สำหรับสั่งให้เปลี่ยนข้อมูล เมื่อเราต้องการแปลงข้อมูลเป็นดิจิตอลเราจะให้ขานี้เป็น 0

ขาที่ 4 CLK IN ขาที่ต่อสำหรับการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกา

ขาที่ 5 INTR ขาที่บอกสถานะของการแปลงข้อมูล หากเป็น 0 แสดงว่าการแปลงข้อมูลสิ้นสุดลงแล้ว ในแต่ละครั้งของการแปลงข้อมูล

ขาที่ 6 VIN(+) ขาอินพุต

ขาที่ 7 VIN(-) ขาอินพุต

ขาที่ 8 A GND กราวด์ของสัญญาณแอนะล็อก

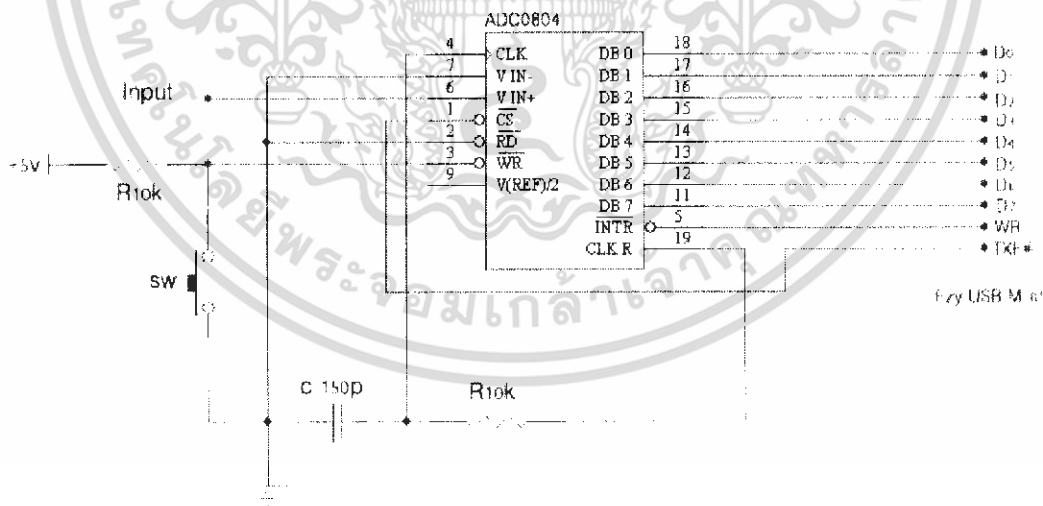
ขาที่ 9 ขาความต้านทานต้านอินพุต

ขาที่ 10 D GND กราวด์ของสัญญาณดิจิตอล

ขาที่ 11 - 18 ขาข้อมูล

ขาที่ 19 ขาที่ต่อสำหรับการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกา

ขาที่ 20 แหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์



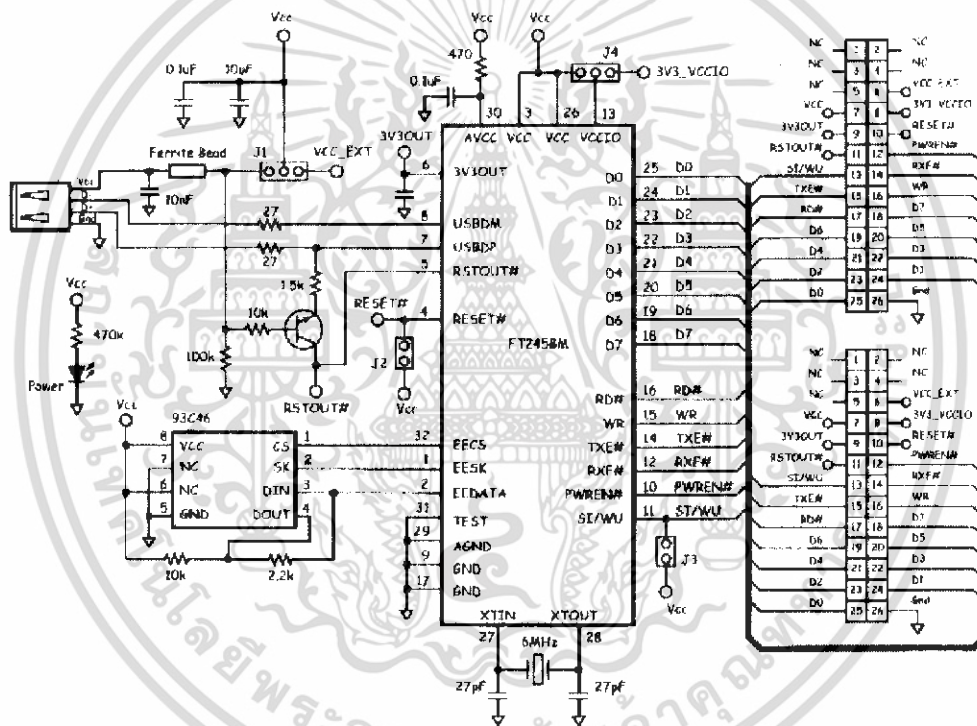
รูปที่ 3.6 วงจรแปลงสัญญาณที่ใช้ไอซี ADC0804

จากวงจรรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ว่า CS ของจะถูกต่อกับขา TXP# ของบอร์ดที่ใช้เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งหน้าที่ของขานี้คือ ใช้ในการบอกสถานะของบอร์ดเชื่อมต่อหากเป็น 0 แสดงว่าบอร์ดพร้อมที่จะอ่านข้อมูลจากขาข้อมูลของไอซี ADC0804 แล้ว ส่วนขา WR จะต่อกับสวิตช์ หากมีการกดสวิตช์จะเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติเห็นภาพประกอบเช่นนี้การกระทำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสั่งให้ไอซี เริ่มแปลงข้อมูล เมื่อแปลงข้อมูลเสร็จแล้วขา INTR จะเป็นสถานะ 0 สังเกตได้จาก INTR จะต่อกับขา WR ของบอร์ดเชื่อมต่อเมื่อได้รับสถานะ 0 แสดงว่าเราสั่งให้บอร์ดอ่านข้อมูลไป โดยมีเงื่อนไขว่าขา TXE# จะต้องเป็น สถานะ 0 ด้วย เหตุผลดังที่กล่าวไปข้างต้นแล้ว

### 3.3.3 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์

ในโครงงานนี้เลือกใช้บอร์ดเชื่อมต่อของบริษัท แอสทรอน ลอจิก รีเสิร์ชแอนด์ดีเวลอปเมนต์ จำกัด รุ่น Ezy USB-M01 ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อทางพอร์ต USB โดยภายในโมดูลประกอบด้วยไอซี FT245BM ของบริษัทฟิวเจอร์เทคโนโลยีดีไวซ์อินเตอร์เนชันแนล จำกัด ซึ่งมีลักษณะการส่งถ่ายข้อมูลภายในแบบเข้าก่อนออกก่อน (FIFO) ทำหน้าที่เป็นส่วนการเชื่อมต่อกับระบบบัส USB



รูปที่ 3.7 วงจรภายในของโมดูล Ezy USB M-01

หน้าที่ของโมดูลที่ใช้ในโครงงานนี้

ขาที่ 6 แหล่งจ่ายไฟ (+)

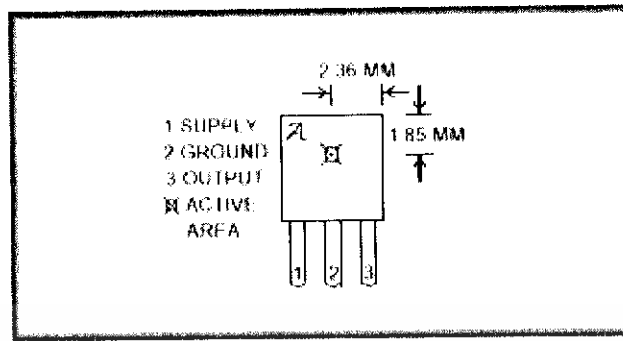
ขาที่ 15 TXE# ขณะที่เป็นลอจิกสูงห้ามทำการอ่านข้อมูลออกมาจากโมดูล ส่วนในขณะที่เป็นลอจิกต่ำสามารถเขียนข้อมูลไปยังโมดูลได้โดยการทำให้ลอจิกที่ขา WR เปลี่ยนจากลอจิกสูงเป็นลอจิกต่ำ

ขาที่ 16 WR เมื่อลอจิกที่ขา WR เปลี่ยนแปลงสถานะจากสูงไปเป็นลอจิกต่ำ จะทำให้มีการเขียนข้อมูลที่อยู่บนขา D0-D7 เข้าไปในโมดูล

ขาที่ 18-25 เป็นขาข้อมูล D7-D0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



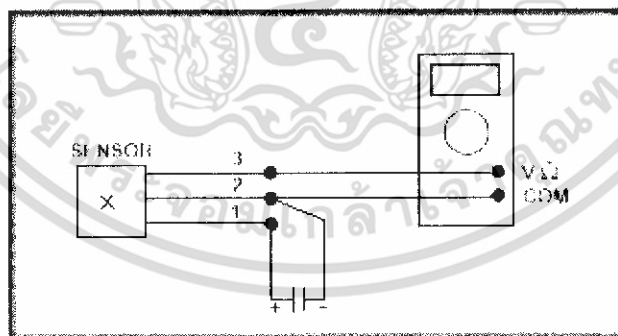


รูปที่ 3.9 ตัวรับรู้อัลลส์

ตัวรับรู้อัลลส์เป็นวงจรรวม มีขนาดและลักษณะดังรูปที่ 3.9 และมีสมบัติดังนี้

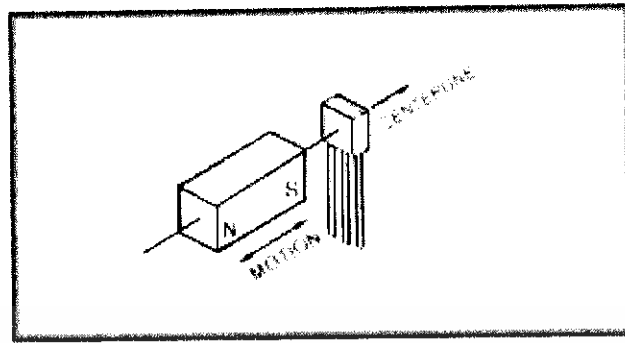
- Input Voltage 4.5 - 6 V
- Offset Voltage 2.5 V (ค่าโดยประมาณ)
- Sensitivity 13 V/T

เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงหรือเซลล์ไฟฟ้า 4.5 - 6 โวลต์ เข้ากับขา 1 และขา 2 และ ต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับขา 2 และขา 3 ดังรูปที่ 3.10 โวลต์มิเตอร์จะแสดงค่าประมาณ 2.5 โวลต์ ค่านี้เป็นความต่างศักย์ขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก เรียกว่า Offset voltage ค่านี้อาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยขึ้นอยู่กับโวลเตจของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ต่อกับขา 1 และขา 2 แต่จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของโวลต์เตจของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง



รูปที่ 3.10 การต่อตัวรับรู้อัลลส์กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและโวลต์มิเตอร์

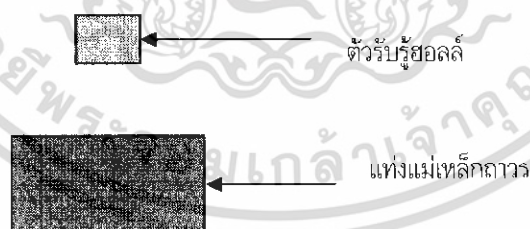
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก

เมื่อนำแม่เหล็กเข้าใกล้ตัวรับรู้ฮอลล์ ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศของสนามแม่เหล็ก กล่าวคือถ้านำขั้วใต้เข้าใกล้ ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถ้านำขั้วเหนือเข้าใกล้ ความต่างศักย์จะมีค่าลดลง ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไปมีความสัมพันธ์กับความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux density)

ดังนั้นเราสามารถสร้างหัววัดโดยอาศัยหลักการนี้ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.12 เราจะวางตัวรับรู้ฮอลล์ขนานกับแท่งแม่เหล็กถาวร โดยเราสามารถนำแผ่นโลหะที่จะทดสอบมาถักันกลางระหว่างตัวรับรู้ฮอลล์กับแท่งแม่เหล็ก จะทำให้แรงดันแอดด์พุดที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไปตามความหนาแน่นโลหะที่ใช้ทดสอบ หากแผ่นโลหะมีความหนามากจะทำให้ตัวรับรู้ฮอลล์ได้รับสนามแม่เหล็กจากแท่งแม่เหล็กน้อยมากทำให้แรงดันแอดด์พุดที่ได้จะมีค่าน้อยด้วย แต่ในทางกลับกันหากแผ่นโลหะมีความหนาน้อยลงจะทำให้ตัวรับรู้ฮอลล์ได้รับสนามแม่เหล็กมากขึ้น จะทำให้แรงดันแอดด์พุดมากขึ้นด้วย



รูปที่ 3.12 การวางตัวรับรู้ฮอลล์กับแท่งแม่เหล็กถาวร

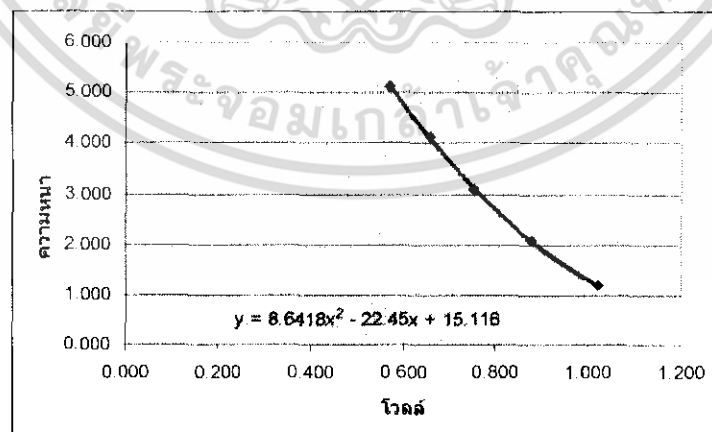
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความ หนา	ที่จุดต่างๆ หน่วยเป็นไมล์										ค่า เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1 mm	1.08	1	0.98	1.02	1.12	0.98	1.02	1.04	1.04	1.02	1.023
2 mm	0.94	0.84	0.84	0.88	0.90	0.80	0.86	0.92	0.90	0.86	0.879
3 mm	0.76	0.71	0.75	0.80	0.75	0.73	0.71	0.76	0.82	0.75	0.750
4 mm	0.69	0.61	0.61	0.71	0.71	0.63	0.63	0.69	0.71	0.63	0.658
5 mm	0.57	0.49	0.55	0.61	0.65	0.55	0.53	0.59	0.59	0.55	0.570

ตารางที่ 3.1 ผลการวัดชิ้นงานด้วยหัววัด

ความ หนา	ที่จุดต่างๆ หน่วยเป็นมิลลิเมตร										ค่า เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1 mm	1.15	1.15	1.20	1.25	1.20	1.25	1.20	1.25	1.15	1.10	1.188
2 mm	2.10	2.10	2.10	2.00	2.00	2.10	2.10	2.10	2.00	2.10	2.081
3 mm	3.10	3.20	3.00	3.15	3.10	3.00	3.10	3.10	3.15	3.20	3.103
4 mm	4.10	4.15	4.10	4.10	4.10	4.00	4.00	4.20	4.20	4.25	4.113
5 mm	5.00	5.10	5.00	5.20	5.10	5.15	5.10	5.20	5.15	5.10	5.122

ตารางที่ 3.2 ผลการวัดชิ้นงานด้วยเวอร์คาลิปเปอร์



รูปที่ 3.13 กราฟและสมการที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 กล่าวนำ

หลังจากที่ได้สร้างระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์ เพื่อตรวจสอบหาความหนาของแผ่นโลหะ โดยใช้ไอซีซึ่งเป็นตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก เป็นตัวตรวจจับเส้นทางเดินของสนามแม่เหล็ก ตามการออกแบบในบทที่ 3 ไปแล้ว เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและทดสอบเครื่องต้นแบบ โดยการทดลองใส่ส่วนของฮาร์ดแวร์ และการทดสอบทั้งระบบโดยการทดลองสามารถวัดได้จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์และจอภาพแสดงผลของคอมพิวเตอร์

#### 4.2 การทดลองและการทดสอบฮาร์ดแวร์

ในการทดลองส่วนของฮาร์ดแวร์นั้นเราจะทดลองวัดสัญญาณแอมพลิจูดที่ได้จากภาคขยายก่อน โดยใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันแอมพลิจูดของภาคขยายดังรูปที่ 4.1 ซึ่งแรงดันที่เกิดขึ้นเกิดจากการนำชิ้นงานทดสอบมาทดสอบกับหัววัดนั่นเอง



รูปที่ 4.1 การใช้มัลติมิเตอร์วัดสัญญาณแอมพลิจูด

##### 4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. Magnetic Sensor เบอร์ 3503 ที่ประกอบเป็นหัววัดเรียบร้อยแล้วดังรูปที่ 4.2
2. วงจรขยาย (Amplifier Circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบดังรูปที่ 4.3
4. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter)



รูปที่ 4.2 หัววัดที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 4.3 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

#### 4.2.2 ลำดับการทดลอง

1. นำชิ้นงานที่ระดับความหนาต่างระดับกันที่จะทำการทดสอบซึ่งมีความหนาดังแต่ 0.5 มิลลิเมตร ถึง 5 มิลลิเมตร
2. นำชิ้นงานไปทำการทดสอบกับหัววัด ลักษณะที่ 1 ดังรูปที่ 4.4 และลักษณะที่ 2 ดังรูปที่ 4.5
3. นำมัลติมิเตอร์วัดระดับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 4.4 การทดสอบชิ้นงานกับหัววัด

#### 4.2.3 ผลการทดลองฮาร์ดแวร์กับชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง

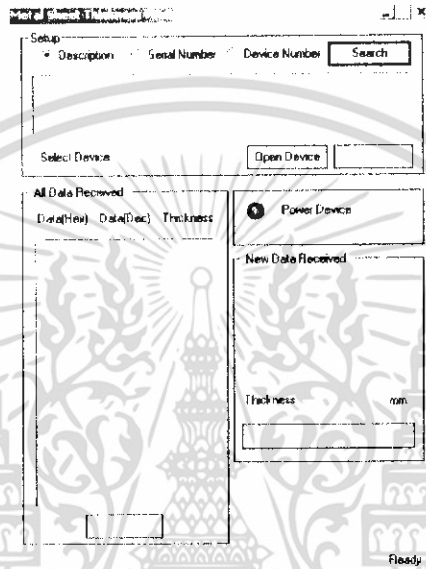
ความหนาของชิ้นงานทดสอบ	แรงดันเอาต์พุต (V)
1 มิลลิเมตร	1.083
2 มิลลิเมตร	0.945
3 มิลลิเมตร	0.762
4 มิลลิเมตร	0.692
5 มิลลิเมตร	0.572

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อระดับความหนาของชิ้นงานมีการเปลี่ยนจะทำให้ระดับแรงดันเอาต์พุตจะมีที่เปลี่ยนตามด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การทดลองและทดสอบซอฟต์แวร์

ในการทดลองส่วนของซอฟต์แวร์นั้นเราจะนำสัญญาณที่วัดได้จากการทดลองฮาร์ดแวร์ มาต่อกับบอร์ดเชื่อมต่อเพื่อนำมาแสดงผลในรูปแบบของความหนา ส่วนของโปรแกรมนั้นจะใช้ภาษา Visual C++ ในการเขียนโปรแกรม โดยหน้าต่างของโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 4.6

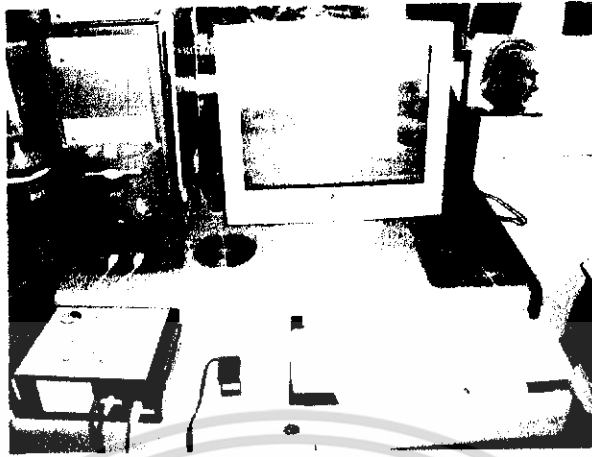


รูปที่ 4.6 ลักษณะหน้าต่างจอหลังจากการเรียกโปรแกรม

#### 4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. Magnetic Sensor เบอร์ 3503 ที่ประกอบเป็นหัววัดเรียบร้อยแล้ว
2. ฮาร์ดแวร์ทั้งระบบ ที่ประกอบเรียบร้อยแล้วดังรูปที่ 4.7
3. ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ
4. จอแสดงผลของคอมพิวเตอร์

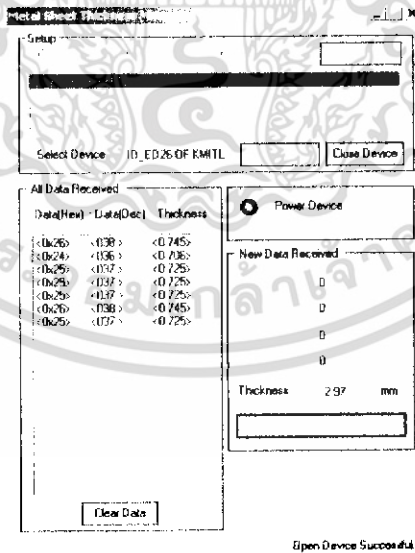
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ฮาร์ดแวร์ทั้งระบบ

#### 4.3.2 ลำดับการทดลอง

1. เปิดโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ
2. นำชิ้นงานไปทำการทดสอบกับหัววัดจำนวน 4 ครั้งต่อหนึ่งชิ้นงานดังรูปที่ 4.4
3. กดสวิตช์ที่หัววัดเพื่อนำค่าไปแสดงผล
4. กดปุ่ม Generate เพื่ออ่านค่าความหนาที่ได้
5. ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.8 และค่าที่อ่านได้แต่ละความหนาดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.8 ผลลัพธ์ของโปรแกรมเมื่อทำการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความ หนา	ครั้งที่ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)										ค่า เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1 mm	1.08	1.00	0.98	1.05	1.12	0.98	1.02	1.04	1.12	1.05	1.044
2 mm	2.12	2.15	1.98	2.10	2.25	2.30	2.10	2.30	1.98	1.82	2.110
3 mm	3.15	2.98	2.80	2.91	3.21	3.25	2.78	2.90	3.10	3.15	3.023
4 mm	3.80	4.12	4.20	3.85	3.95	3.82	4.12	4.21	3.95	4.21	4.023
5 mm	5.12	4.98	5.23	5.31	5.30	5.20	4.82	4.79	5.21	5.30	5.126

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดชิ้นงานด้วยหัววัดจำนวน 10 ครั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุป

การออกแบบจัดสร้างระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์ จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาหลักการเส้นทางเดินของสนามแม่เหล็ก ที่เกิดขึ้นในแผ่นโลหะ เพื่อที่จะใช้การเปลี่ยนแปลงของเส้นทางเดินของสนามแม่เหล็กมาใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติของแผ่นโลหะ โดยโครงการนี้จะใช้ชิ้นงานที่มีความหนาตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 5 มิลลิเมตร สามารถตรวจหาความหนาของชิ้นงานของโลหะที่ระดับต่างกันได้ ซึ่งในการตรวจระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กจะมีผลในการตรวจจับ ของตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กถ้าระยะห่างของชิ้นงานกับตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กมีระยะกว้างขึ้นจะทำให้การตรวจสอบมีความแม่นยำและความละเอียดน้อยลง แต่ถ้าระยะห่างของชิ้นงานกับตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กแคบลงจะทำให้การตรวจสอบมีความแม่นยำและความละเอียดมากขึ้น ซึ่งในโครงการนี้เราได้ใช้ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กเบอร์ 3503 ซึ่งเป็นตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบลิเนียร์ และชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบเป็นแผ่นโลหะเหล็กกล้า ที่มีระดับความหนาไม่เท่ากัน เพื่อเป็นการจำลองความหนาของแผ่นโลหะ ซึ่งเมื่อทำการนำตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กมาวางบนชิ้นงาน เมื่อเรวัตที่ระดับความหนาของชิ้นงานทดสอบที่มีความหนามากที่สุด ค่าของแรงดันที่ออกมาจะมีค่าน้อยที่สุด และเมื่อลดระดับความหนาของโลหะลดลงเรื่อยๆ ก็จะทำให้แรงดันที่ได้มามีค่ามากขึ้นตามไปด้วย และเมื่อนำแรงดันที่ออกมาของโลหะที่มีความหนาสูงสุดและที่ระดับความหนาขั้นต่ำที่สุดมาเปรียบเทียบกันจะพบว่าระดับที่ออกมาจะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนชัด ซึ่งการทดลองนี้มีความเชื่อถือได้และเป็นไปตามหลักการที่ได้เสนอไว้ แต่ก็ยังว่าโครงการที่ได้พัฒนาขึ้นยังมีข้อจำกัดอยู่ และเพื่อให้เห็นคุณลักษณะของระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์ ดังกล่าวข้างต้น จึงขอสรุปคุณลักษณะที่สำคัญไว้ดังนี้

1. สามารถบอกความแตกต่างความหนาของโลหะแผ่นได้
2. สามารถแสดงผลหน้าจอภาพของคอมพิวเตอร์ได้
3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานวัดความหนาของโลหะเหล็กที่ซับซ้อนขึ้นต่อไปได้

#### 5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์ ปรากฏว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสามารถสรุปได้สองด้านหลัก ๆ ดังนี้

- 1 ด้านฮาร์ดแวร์ ความล่าช้าในการออกแบบวงจร เนื่องจากระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์ มีความเกี่ยวข้องกับสนามแม่เหล็ก โดยที่เนื้อหาของสนามแม่เหล็กนั้นเมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อนข้างมากและในส่วนของการทำงานที่ใช้งานนั้นจะต้องใช้งานกับอุปกรณ์อื่นๆ มาประกอบด้วย เช่น ภาควิชาขยายแรงดัน และส่วนของการอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งอุปกรณ์พวกนี้มีรูปแบบที่แตกต่างกันออกไปทำให้ต้องศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้ไปด้วย

**วิธีการแก้ไข** แต่งงานกันศึกษาหน้าที่ คุณลักษณะของตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กและวงจรที่นำมาใช้ในโครงการเพื่อให้สามารถเข้าและสามารถออกแบบวงจรได้เร็วขึ้น

2. ด้านซอฟต์แวร์ ต้องศึกษาโปรแกรม Visual C++ ตั้งแต่พื้นฐานทั้งหมด เพราะผู้จัดทำไม่มีความรู้เกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมภาษานี้มาก่อน

**วิธีการแก้ไข** ศึกษาโปรแกรมภาษา Visual C++ ได้ไม่ยากนักเพราะมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับภาษา C มาก่อน ทำให้การศึกษาคือโปรแกรมเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว

3. ด้านการจัดทำปริญญาณิพนธ์ ข้อมูลที่นำมาจัดทำปริญญาณิพนธ์ส่วนใหญ่เป็นภาษาต่างประเทศจึงทำให้ลำบากในการเรียบเรียงสำนวน ทำให้เกิดความล่าช้าในการจัดทำ

**วิธีการแก้ไข** พยายามแปลและจัดเรียงเรียงสำนวนให้ง่ายต่อการเข้าใจมากที่สุด ด้านการจัดพิมพ์ปริญญาณิพนธ์ ต้องศึกษาการใช้โปรแกรม “Visio 2003, Microsoft Word, Protel 99 SE”

### 5.3 แนวทางการพัฒนา

ปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำได้พยายามทำให้ระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์ มีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่ด้วยงบประมาณที่มีอยู่จำกัด ประกอบด้วยความรู้และประสบการณ์ของผู้จัดทำในการทำงานยังมีไม่มากเพียงพอ จึงทำให้เครื่องยังมีข้อจำกัดและสมควรที่จะได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้นได้อีกดังต่อไปนี้

1. ควรปรับปรุงให้ใช้ในการทดสอบมีการเคลื่อนที่ของตัวตรวจจับเป็นแบบอัตโนมัติ
2. ควรปรับปรุงให้สามารถหารอยบกพร่องของชิ้นงานได้
3. ซอฟต์แวร์ที่ใช้ควรมีฟังก์ชันการทำงานที่มากขึ้น

## บรรณานุกรม

วราเทพ ไพบุลย์รัตนากา และบุญอนันต์ เกียงเอียง. 2537. **สัมผัสโลก USB ด้วย Ezy USB Module.**

กรุงเทพฯ : แอสทรอน ลอจิก รีเสิร์ชแอนด์ดีเวลอปเม้นต์.

ยุทธนา ลีลาศวัฒนกุล. 2544. **คู่มือการเขียนโปรแกรมและงาน Visual C++ 6.0 ฉบับโปรแกรมเมอร์.**

กรุงเทพฯ : อินโฟเพรส.

พูลิณี ซาโตะ. 2530. **การทดสอบแบบไม่ทำลาย.** แปลและเรียบเรียงโดย ปริทรรศน์ พันธุ์บรรยงค์, บัณฑิต

โรจนคารยานนท์, ก่อเกียรติ บุญชูโกศล และสมยศ ศรีสถิต. กรุงเทพฯ : เอเชียเพรส.

เกรียงศักดิ์ เหลืองอำพล, ธนาธิป คำจันทร์, ปรีดา กาลธยานันต์ และภาสกร อนันตพันธ์. 2537. **ตัวตรวจจับ**

**และแสดงผลของเครื่องตรวจสอบรื้อร้าวท่อเหล็ก.** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า

คุณทหารลาดกระบัง.

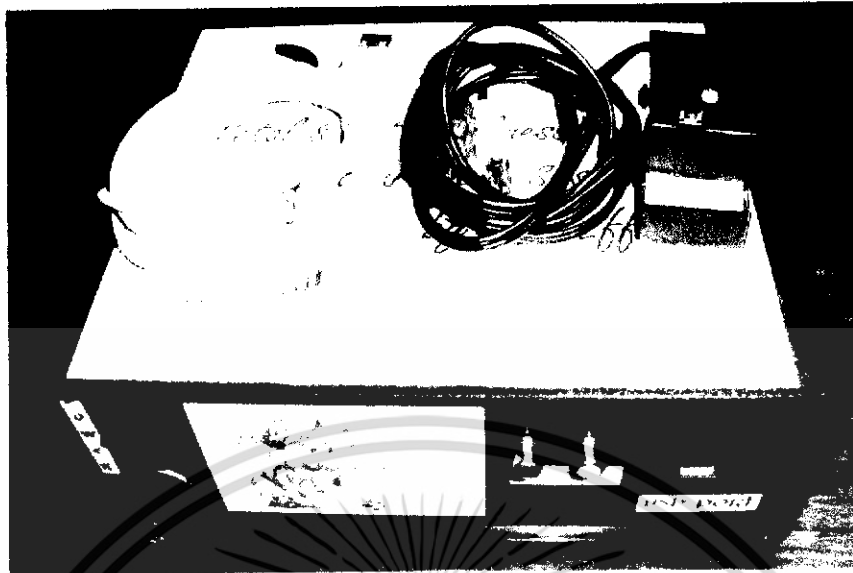
กิตติพงษ์ ขวัญแรง, ปรีชา เต็มมุกดา และรัตติกา หนูสา. 2541. **เครื่องตรวจหารอยบกพร่องของโลหะเหล็ก**

**โดยใช้ปรากฏการณ์ฮอลล์.** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ภาคผนวก ก  
เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 แสดงเครื่องต้นแบบของระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์

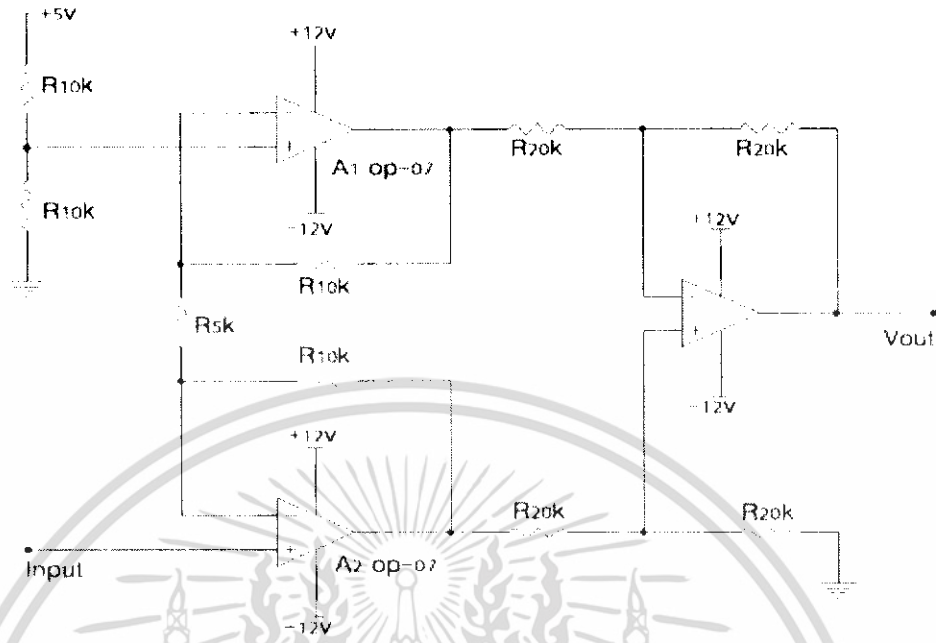


รูปที่ ก.2 หัววัดของระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์

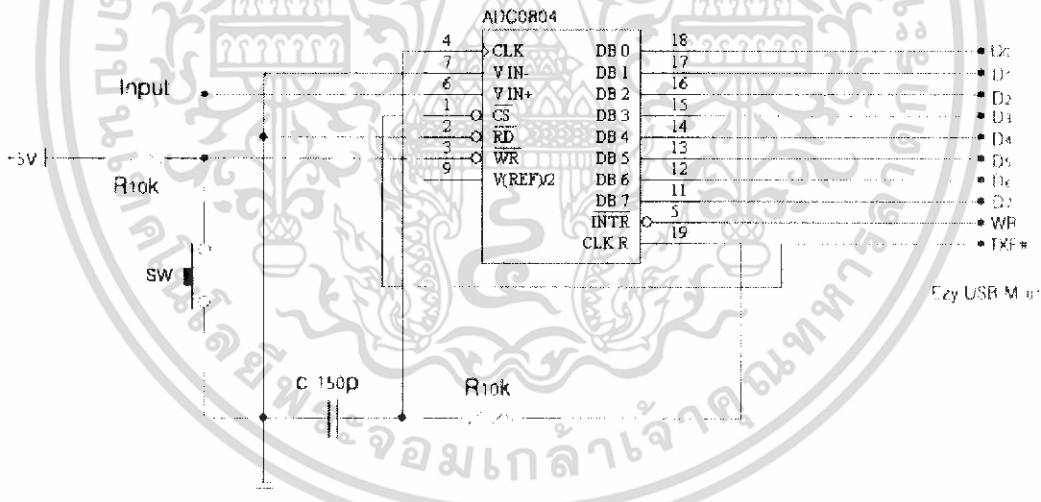
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

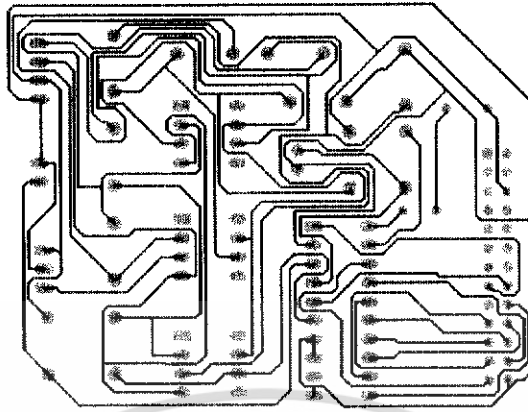


รูปที่ ๑.1 วงจรภาคขยาย

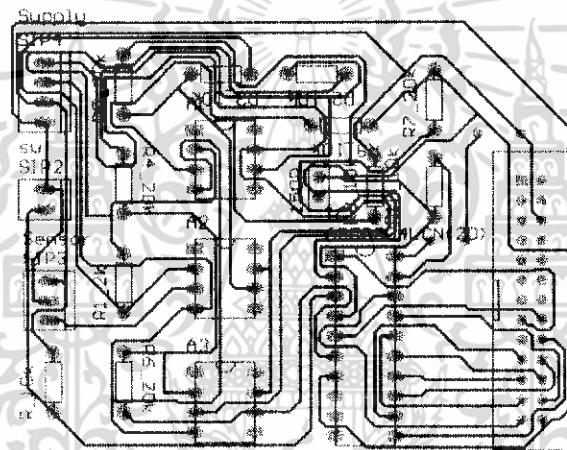


รูปที่ ๑.2 วงจรแปลงสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

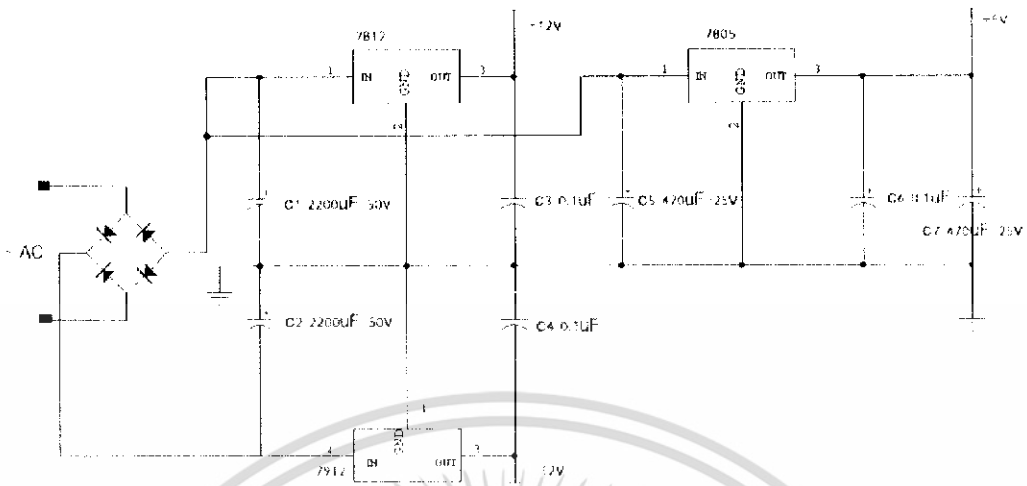


รูปที่ ข.3 แผงวงจรพิมพ์พ่วงจรมอเตอร์และวงจรแปลงสัญญาณ

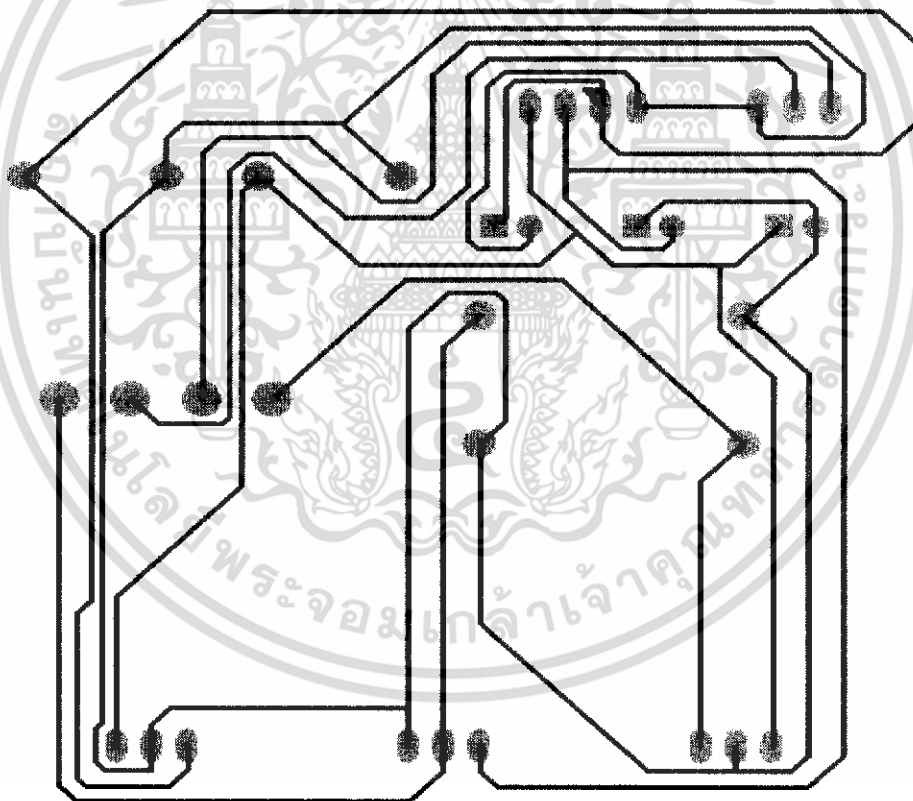


รูปที่ ข.4 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผงวงจรพิมพ์พ่วงจรมอเตอร์และวงจรแปลงสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

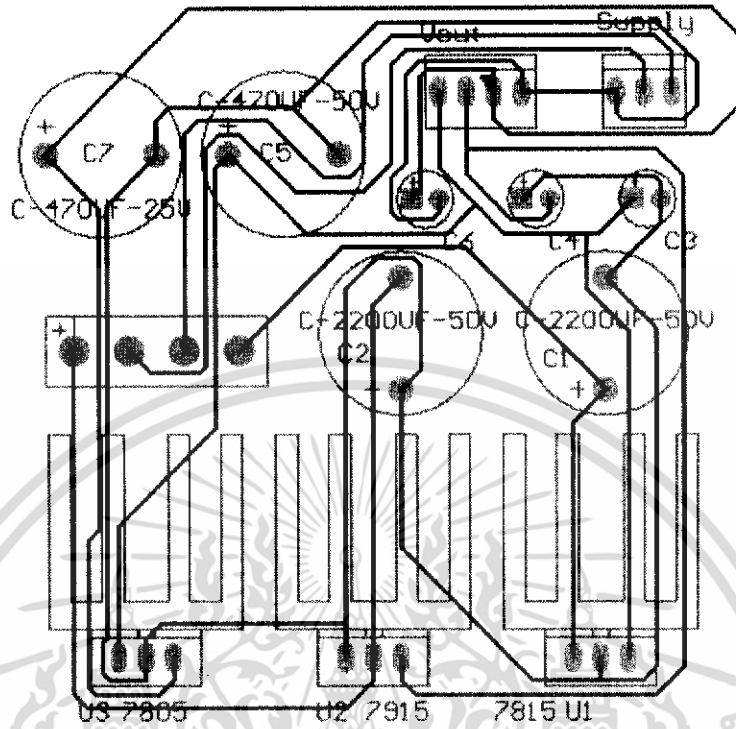


รูปที่ ข.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

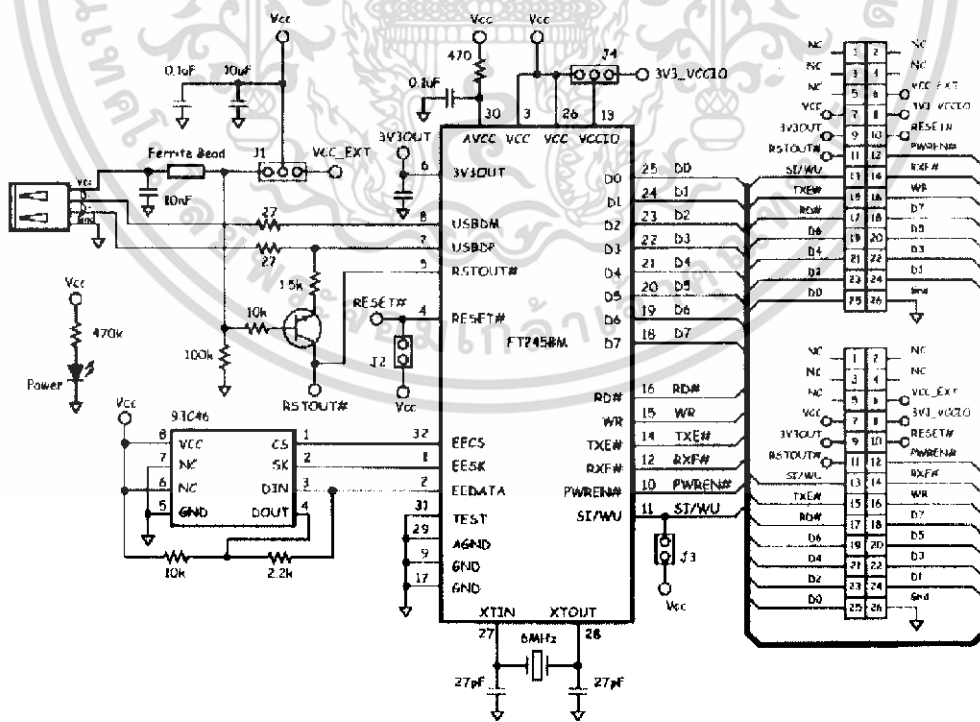


รูปที่ ข.6 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.7 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ ข.8 วงจรภายในของโมดูล Ezy USB M-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรภาคขยายและวงจรแปลงสัญญาณ

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	ADC0804LCN	1 ตัว
IC2, IC3, IC4	OP07	3 ตัว
IC5	U3503	1 ตัว
<b>อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ</b>		
C1	150 p เซรามิก	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1, R2, R3, R4, R10, R11	10 k $\Omega$ 1/4 W 1%	6 ตัว
R5, R6, R7, R8	20 k $\Omega$ 1/4 W 1%	4 ตัว
R9	5 k $\Omega$ 1/4 W 1%	1 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
SW1	สวิตช์กดติดปล่อยดับ	1 ตัว
SIP4	Connector 4 pin	2 ตัว

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	7812	1 ตัว
IC2	7912	1 ตัว
IC3	7805	1 ตัว
<b>อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ</b>		
C1, C2	2200 $\mu$ F 50 V	2 ตัว
C3, C4, C6	0.1 $\mu$ F เซรามิก	3 ตัว
C5, C7	470 $\mu$ F 25 V	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2(ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์อื่นๆ		
SIP4	Connector 4 pin	2 ตัว
T1	หม้อแปลง 220 V / 9-0-9 1 A	1 ตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 3503

Data Sheet  
27501B-

## RATIOMETRIC, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS

The UGN3503LT, UGN3503U, and UGN3503UA Hall-effect sensors accurately track extremely small changes in magnetic flux density—changes generally too small to operate Hall-effect switches.

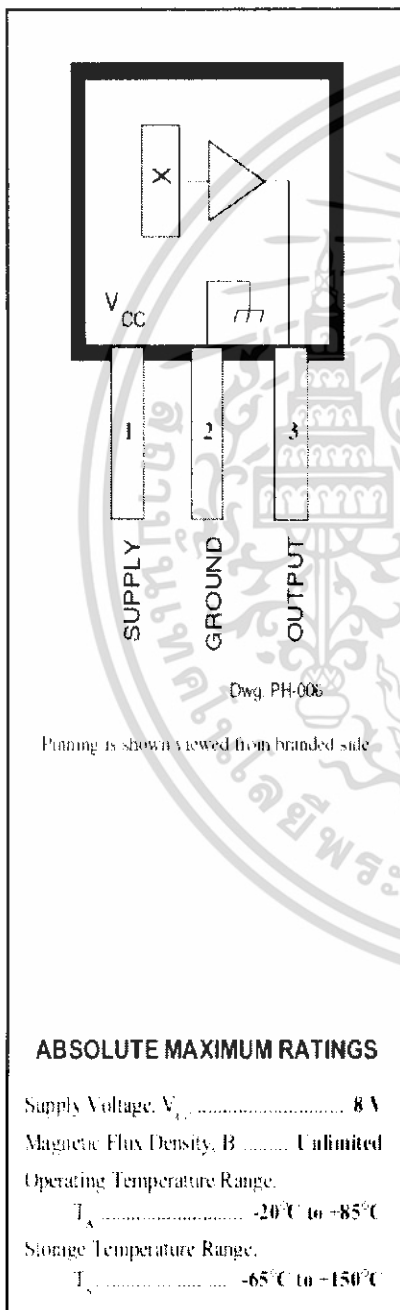
As motion detectors, gear tooth sensors, and proximity detectors, they are magnetically driven mirrors of mechanical events. As sensitive monitors of electromagnets, they can effectively measure a system's performance with negligible system loading while providing isolation from contaminated and electrically noisy environments.

Each Hall-effect integrated circuit includes a Hall sensing element, linear amplifier, and emitter-follower output stage. Problems associated with handling tiny analog signals are minimized by having the Hall cell and amplifier on a single chip.

Three package styles provide a magnetically optimized package for most applications. Package suffix 'LT' is a miniature SOT-89/TO-243AA transistor package for surface-mount applications; suffix 'U' is a miniature three-lead plastic SIP, while 'UA' is a three-lead ultra-mini-SIP. All devices are rated for continuous operation over the temperature range of -20°C to +85°C.

### FEATURES

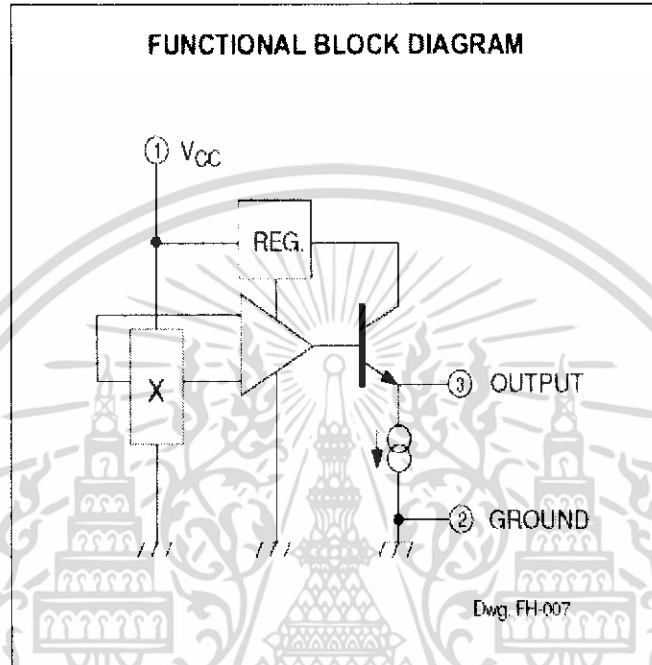
- Extremely Sensitive
- Flat Response to 23 kHz
- Low-Noise Output
- 4.5 V to 6 V Operation
- Magnetically Optimized Package



Always order by complete part number, e.g., **UGN3503UA**.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3503**  
**RATIOMETRIC,**  
**LINEAR**  
**HALL-EFFECT SENSORS**



**ELECTRICAL CHARACTERISTICS at  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5\text{ V}$**

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Limits			Units
			Min.	Typ.	Max.	
Operating Voltage	$V_{CC}$		4.5	—	6.0	V
Supply Current	$I_{CC}$		—	9.0	13	mA
Quiescent Output Voltage	$V_{OUT}$	$B = 0\text{ G}$	2.25	2.50	2.75	V
Sensitivity	$\Delta V_{OUT}$	$B = 0\text{ G to } \pm 900\text{ G}$	0.75	1.30	1.75	mV/G
Bandwidth (-3 dB)	BW		—	23	—	kHz
Broadband Output Noise	$V_{out}$	$BW = 10\text{ Hz to } 10\text{ kHz}$	—	90	—	$\mu\text{V}$
Output Resistance	$R_{OUT}$		—	50	220	$\Omega$

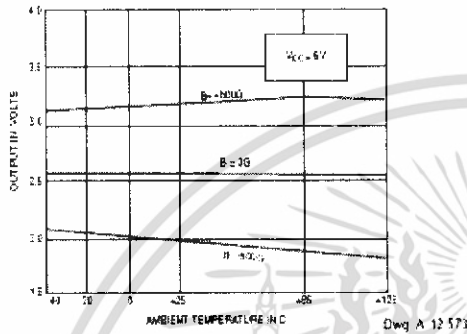
All output-voltage measurements are made with a voltmeter having an input impedance of at least 10 k $\Omega$ .

Magnetic flux density is measured at most sensitive area of device located 0.016" (0.41 mm) below the branded face of the "U" package, 0.020" (0.51 mm) below the branded face of the "UA" package, and 0.030" (0.76 mm) below the branded face of the "LT" package.

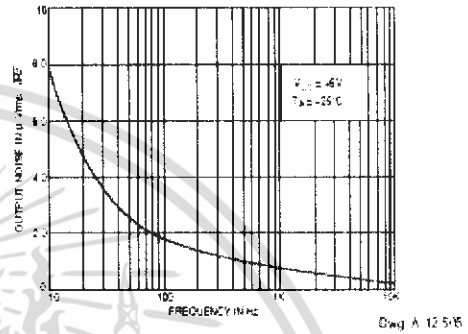
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3503**  
**RATIOMETRIC,**  
**LINEAR**  
**HALL-EFFECT SENSORS**

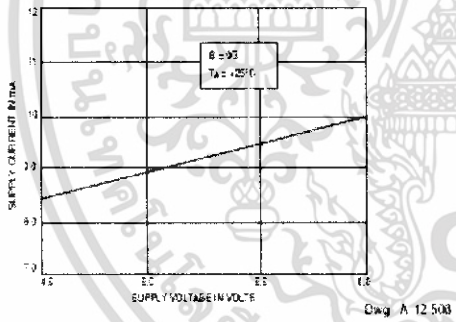
**OUTPUT VOLTAGE AS A FUNCTION OF TEMPERATURE**



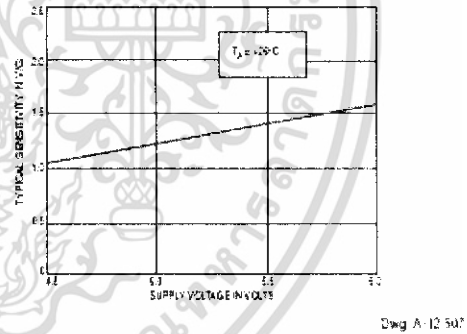
**OUTPUT NOISE AS A FUNCTION OF FREQUENCY**



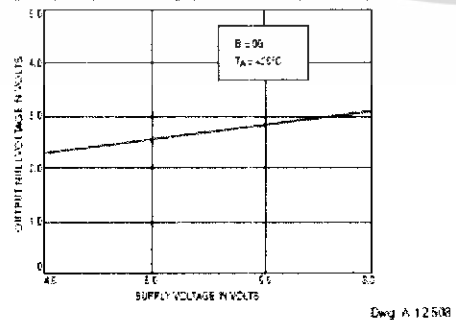
**SUPPLY CURRENT AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE**



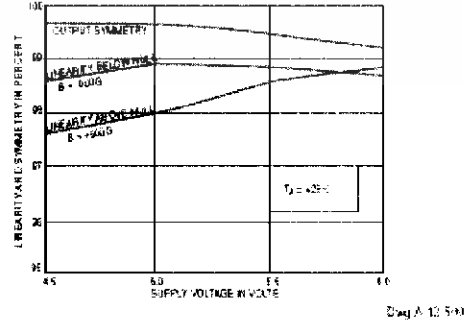
**DEVICE SENSITIVITY AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE**



**OUTPUT NULL VOLTAGE AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE**

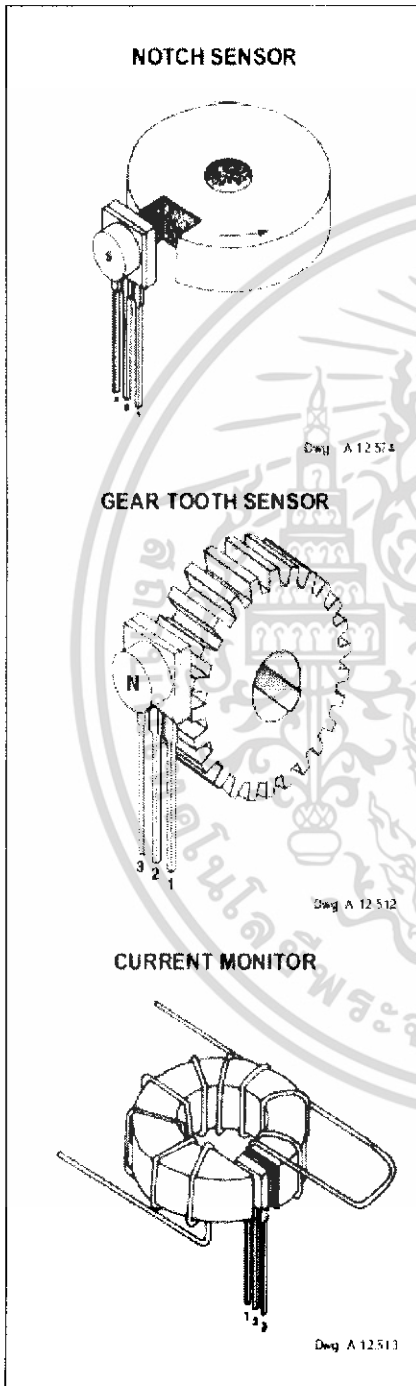


**LINEARITY AND SYMMETRY AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3503  
RATIOMETRIC,  
LINEAR  
HALL-EFFECT SENSORS**



**OPERATION**

The output null voltage ( $B = 0$  G) is nominally one-half the supply voltage. A south magnetic pole, presented to the branded face of the Hall-effect sensor will drive the output higher than the null voltage level. A north magnetic pole will drive the output below the null level.

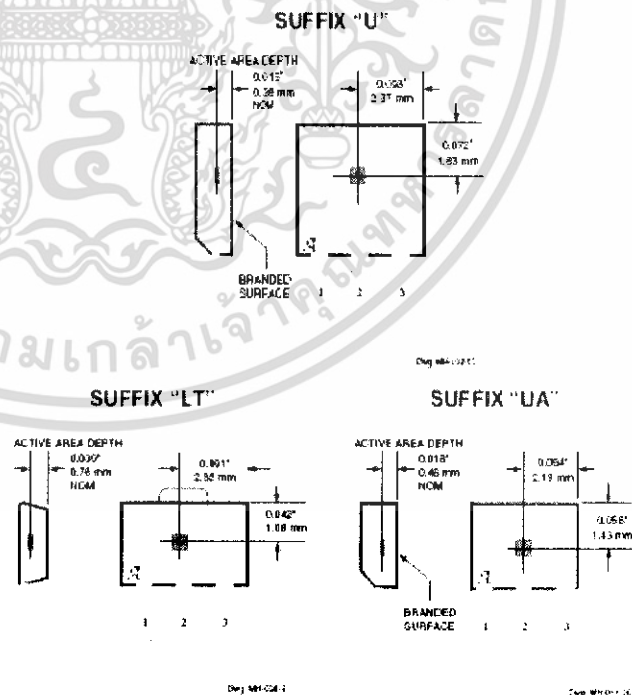
In operation, instantaneous and proportional output-voltage levels are dependent on magnetic flux density at the most sensitive area of the device. Greatest sensitivity is obtained with a supply voltage of 6 V, but at the cost of increased supply current and a slight loss of output symmetry. The sensor's output is usually capacitively coupled to an amplifier that boosts the output above the millivolt level.

In two applications shown, a permanent bias magnet is attached with epoxy glue to the back of the epoxy package. The presence of ferrous material at the face of the package acts as a flux concentrator.

The south pole of a magnet is attached to the back of the package if the Hall-effect IC is to sense the presence of ferrous material. The north pole of a magnet is attached to the back surface if the integrated circuit is to sense the absence of ferrous material.

Calibrated linear Hall devices, which can be used to determine the actual flux density presented to the sensor in a particular application, are available.

**SENSOR LOCATIONS**



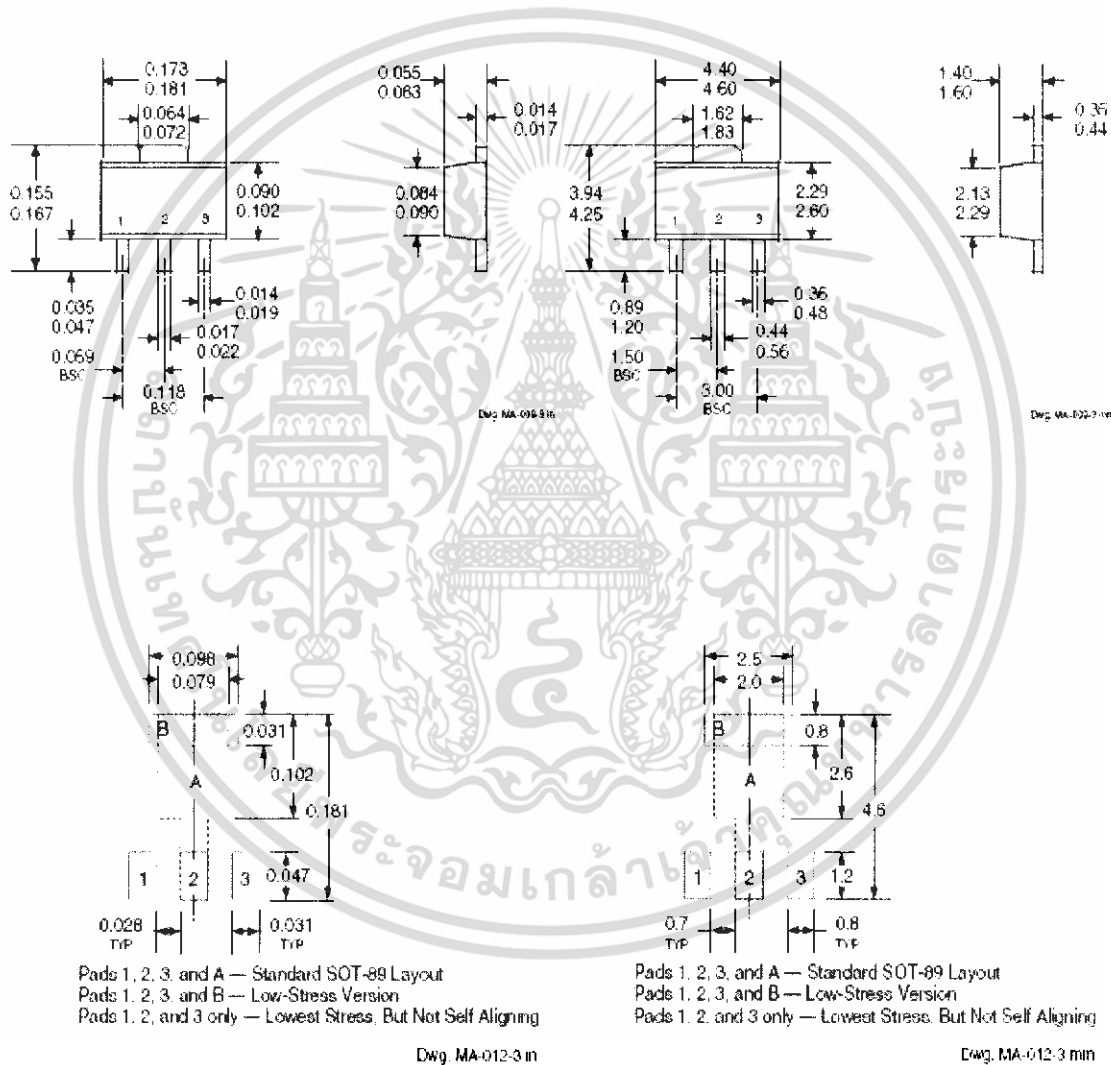
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3503**  
**RATIOMETRIC,**  
**LINEAR**  
**HALL-EFFECT SENSORS**

**UGN3503LT**  
(SOT-89/TO-243AA)

Dimensions in Inches  
(for reference only)

Dimensions in Millimeters  
(controlling dimensions)

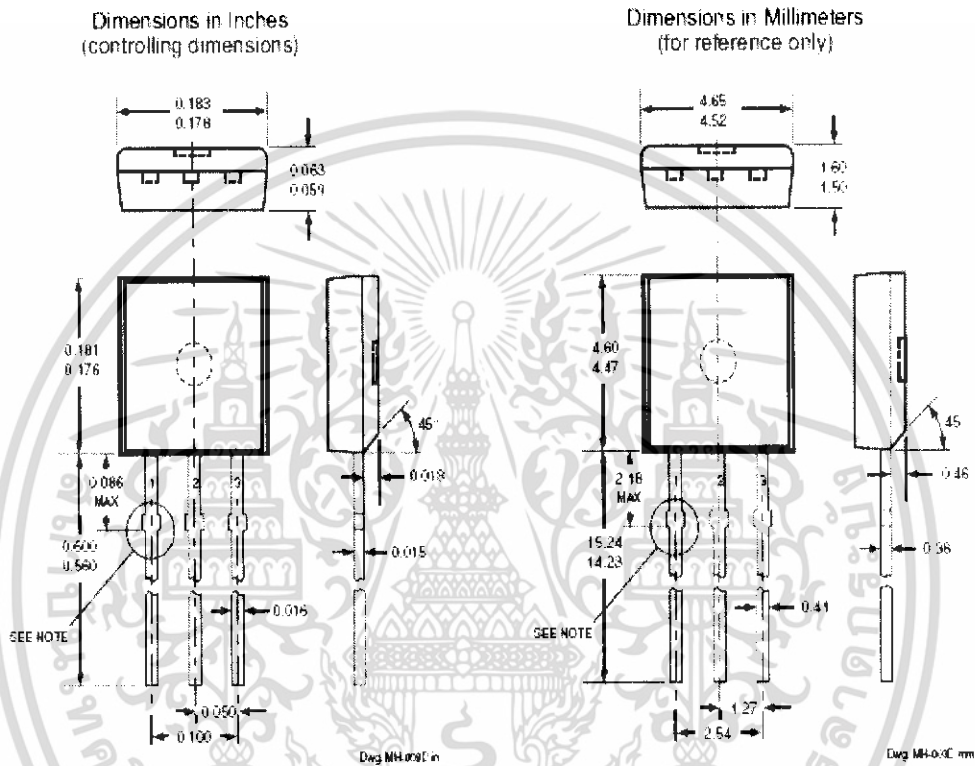


NOTE Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3503**  
**RATIOMETRIC,**  
**LINEAR**  
**HALL-EFFECT SENSORS**

**UGN3503U**

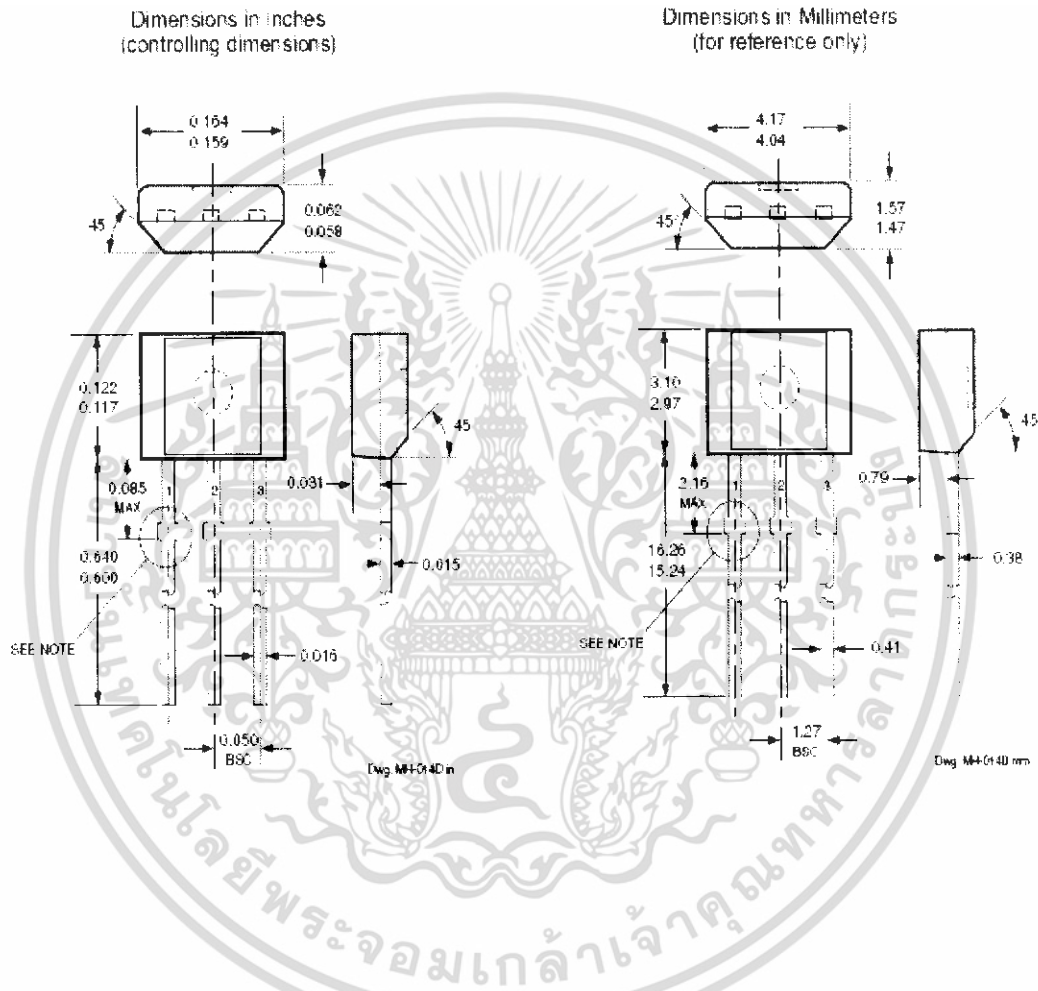


- NOTES: 1. Tolerances on package height and width represent allowable mold offsets. Dimensions given are measured at the widest point (parting line).
2. Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.
3. Height does not include mold gate flash.
4. Recommended minimum PWB hole diameter to clear transition area is 0.035" (0.89 mm).
5. Minimum lead length was 0.500" (12.70 mm). If existing product to the original specifications is not acceptable, contact sales office before ordering.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3503**  
**RATIOMETRIC,**  
**LINEAR**  
**HALL-EFFECT SENSORS**

**UGN3503UA**



- NOTES
- 1 Tolerances on package height and width represent allowable mold offsets. Dimensions given are measured at the widest point (parting line).
  - 2 Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.
  - 3 Height does not include mold gate flash.
  - 4 Minimum lead length was 0.500" (12.70 mm). If existing product to the original specifications is not acceptable, contact sales office before ordering.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DATA SHEET



**ADC0803/0804**

**CMOS 8-bit A/D converters**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CMOS 8-bit A/D converters

## ADC0803/0804

## DESCRIPTION

The ADC0803 family is a series of three CMOS 8-bit successive approximation A/D converters using a resistive ladder and capacitive array together with an auto-zero comparator. These converters are designed to operate with microprocessor-controlled buses using a minimum of external circuitry. The 3-State output data lines can be connected directly to the data bus.

The differential analog voltage input allows for increased common-mode rejection and provides a means to adjust the zero-scale offset. Additionally, the voltage reference input provides a means of encoding small analog voltages to the full 8 bits of resolution.

## FEATURES

- Compatible with most microprocessors
- Differential inputs
- 3-State outputs
- Logic levels TTL and MOS compatible
- Can be used with internal or external clock
- Analog input range 0 V to  $V_{CC}$
- Single 5 V supply
- Guaranteed specification with 1 MHz clock

## PIN CONFIGURATION

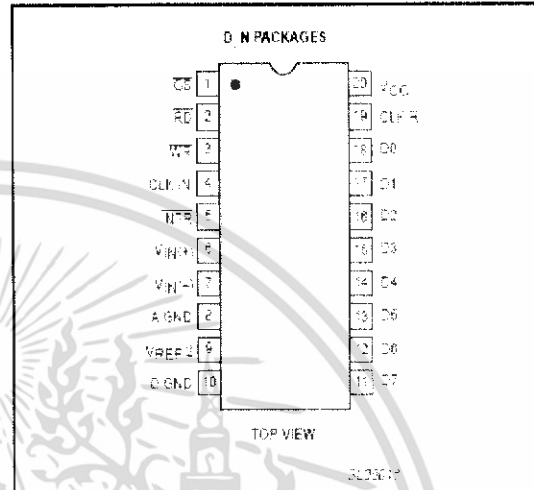


Figure 1. Pin configuration

## APPLICATIONS

- Transducer-to-microprocessor interface
- Digital thermometer
- Digitally-controlled thermostat
- Microprocessor-based monitoring and control systems

## ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	TOPSIDE MARKING	DWG #
20-pin plastic small outline (SO) package	0 to 70 °C	ADC0803CD, ADC0804CD	ADC0803-1CD, ADC0804-1CD	SOT1163-1
20-pin plastic small outline (SO) package	-40 to 85 °C	ADC0803LCD, ADC0804LCD	ADC0803-1LCD, ADC0804-1LCD	SOT1163-1
20-pin plastic dual in-line package (DIP)	0 to 70 °C	ADC0803CN, ADC0804CN	ADC0803-1CN, ADC0804-1CN	SOT1146-1
20-pin plastic dual in-line package (DIP)	-40 to +85 °C	ADC0803LCN, ADC0804LCN	ADC0803-1LCN, ADC0804-1LCN	SOT1146-1

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	RATING	UNIT
$V_{CC}$	Supply voltage		6.5	V
	Logic control input voltages		-0.3 to +15	V
	All other input voltages		-0.3 to ( $V_{CC} + 0.3$ )	V
$T_{amb}$	Operating temperature range			°C
	ADC0803LCD/ADC0804LCD		-40 to +85	°C
	ADC0803LCN/ADC0804LCN		-40 to +85	°C
	ADC0803CD/ADC0804CD		0 to +70	°C
	ADC0803CN/ADC0804CN		0 to +70	°C
$T_{stg}$	Storage temperature		-65 to +150	°C
$T_{sol}$	Lead soldering temperature (10 seconds)		230	°C
$P_D$	Maximum power dissipation <sup>1</sup>	$T_{amb} = 25$ °C (still air)		mW
	N package		1690	mW
	D package		1390	mW

## NOTE:

1. Derate above 25 °C at the following rates: N package at 13.5 mW/°C; D package at 11.1 mW/°C. ดูที่หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## CMOS 8-bit A/D converters

ADC0803/0804

## DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ ,  $f_{CLK} = 1\text{ MHz}$ ,  $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ , unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNIT
			Min	Typ	Max	
	ADC0803 relative accuracy error (adjusted)	Full-Scale adjusted			0.50	LSB
	ADC0804 relative accuracy error (unadjusted)	$V_{REF}/2 = 2.500\text{ V}_{DC}$			1	LSB
$R_{i2}$	$V_{REF}/2$ input resistance <sup>2</sup>	$V_{CC} = 0\text{ V}^2$	400	600		$\Omega$
	Analog input voltage range <sup>3</sup>		-0.05		$V_{CC} + 0.05$	V
	DC common-mode error	Over analog input voltage range		1/16	1/8	LSB
	Power supply sensitivity	$V_{CC} = 5\text{ V} \pm 10\%$ <sup>1</sup>		1/16		LSB
Control inputs						
$V_{i+}$	Logical "1" input voltage	$V_{CC} = 5.25\text{ V}_{DC}$	2.0		15	$V_{CC}$
$V_{i-}$	Logical "0" input voltage	$V_{CC} = 4.75\text{ V}_{DC}$			0.8	$V_{CC}$
$I_{i+}$	Logical "1" input current	$V_{i+} = 5\text{ V}_{DC}$		0.005	1	$\mu\text{A}_{DC}$
$I_{i-}$	Logical "0" input current	$V_{i-} = 0\text{ V}_{DC}$	-1	-0.005		$\mu\text{A}_{DC}$
Clock in and clock R						
$V_{+}$	Clock in positive-going threshold voltage		2.7	3.1	3.5	$V_{CC}$
$V_{-}$	Clock in negative-going threshold voltage		1.5	1.8	2.1	$V_{CC}$
$V_H$	Clock in hysteresis ( $V_{+} - V_{-}$ )		0.6	1.3	2.0	$V_{CC}$
$V_{O-}$	Logical "0" clock R output voltage	$I_{OL} = 360\text{ }\mu\text{A}$ , $V_{CC} = 4.75\text{ V}_{DC}$			0.4	$V_{CC}$
$V_{O+}$	Logical "1" clock R output voltage	$I_{OH} = -360\text{ }\mu\text{A}$ , $V_{CC} = 4.75\text{ V}_{DC}$	2.4			$V_{CC}$
Data output and INTR						
$V_{O-}$	Logical "0" output voltage					
	Data outputs	$I_{OL} = 1.6\text{ mA}$ , $V_{CC} = 4.75\text{ V}_{DC}$			0.4	$V_{CC}$
	INTR outputs	$I_{OL} = 1.0\text{ mA}$ , $V_{CC} = 4.75\text{ V}_{DC}$			0.4	$V_{CC}$
$V_{O+}$	Logical "1" output voltage	$I_{OH} = -360\text{ }\mu\text{A}$ , $V_{CC} = 4.75\text{ V}_{DC}$	2.4			$V_{CC}$
		$I_{O+} = -10\text{ }\mu\text{A}$ , $V_{CC} = 4.75\text{ V}_{DC}$	4.5			
$I_{OZ-}$	3-State output leakage	$V_{OZ-} = 0\text{ V}_{DC}$ , CS = logical "1"	-3			$\mu\text{A}_{DC}$
$I_{OZ+}$	3-State output leakage	$V_{OZ+} = 5\text{ V}_{DC}$ , CS = logical "1"			3	$\mu\text{A}_{DC}$
$I_{SC+}$	+Output short-circuit current	$V_{OUT} = 0\text{ V}$ , $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	4.5	12		$\text{mA}_{DC}$
$I_{SC-}$	-Output short-circuit current	$V_{OUT} = V_{CC}$ , $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	9.0	30		$\text{mA}_{DC}$
$I_{CC}$	Power supply current	$f_{CLK} = 1\text{ MHz}$ , $V_{REF}/2 = \text{OPEN}$ , CS = Logical "1", $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$		3.0	3.5	mA

## NOTES:

- Analog inputs must remain within the range  $-0.05 \leq V_{IN} \leq V_{CC} + 0.05\text{ V}$ .
- See typical performance characteristics for input resistance at  $V_{CC} = 5\text{ V}$ .
- $V_{REF}/2$  and  $V_{i+}$  must be applied after the  $V_{CC}$  has been turned on to prevent the possibility of latching.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	TO	FROM	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNIT
					Min	Typ	Max	
	Conversion time			$f_{CLK} = 1 \text{ MHz}^1$	66		73	$\mu\text{s}$
$f_{CLK}$	Clock frequency <sup>1</sup>				0.1	1.0	3.0	MHz
	Clock duty cycle <sup>1</sup>				40		60	%
CR	Free-running conversions rate			CS = 0, $f_{CLK} = 1 \text{ MHz}$ INTR tied to WR			13690	convs/s
$t_{W, WRIL}$	Start pulse width			CS = 0	30			ns
$t_{ACC}$	Access time	Output	RD	CS = 0, $C_L = 100 \text{ pF}$		75	100	ns
$t_{HL}, t_{OH}$	3-State control	Output	RD	$C_L = 10 \text{ pF}$ , $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ See 3-State test circuit		70	100	ns
$t_{W1}, t_{d1}$	INTR delay	INTR	WD or RD			100	150	ns
$C_{iL}$	Logic input capacitance					5	7.5	pF
$C_{OL}$	3-State output capacitance					5	7.5	pF

## NOTE:

1. Accuracy is guaranteed at  $f_{CLK} = 1 \text{ MHz}$ . Accuracy may degrade at higher clock frequencies.

## FUNCTIONAL DESCRIPTION

These devices operate on the Successive Approximation principle. Analog switches are closed sequentially by successive approximation logic until the input to the auto-zero comparator  $|V_{IN(+)} - V_{IN(-)}|$  matches the voltage from the decoder. After all bits are tested and determined, the 8-bit binary code corresponding to the input voltage is transferred to an output latch. Conversion begins with the arrival of a pulse at the WR input if the CS input is low. On the High-to-Low transition of the signal at the WR or the CS input, the SAR is initialized, the shift register is reset, and the INTR output is set high. The A/D will remain in the reset state as long as the CS and WR inputs remain low. Conversion will start from one to eight clock periods after one or both of these inputs makes a Low-to-High transition. After the conversion is complete, the INTR pin will make a High-to-Low transition. This can be used to interrupt a processor, or otherwise signal the availability of a new conversion result. A read (RD) operation (with CS low) will clear the INTR line and enable the output latches. The device may be run in the free-running mode as described later. A conversion in progress can be interrupted by issuing another start command.

## Digital Control Inputs

The digital control inputs (CS, WR, RD) are compatible with standard TTL logic voltage levels. The required signals at these inputs correspond to Chip Select, START Conversion, and Output Enable control signals, respectively. They are active-Low for easy interface to microprocessor and microcontroller control buses. For applications not using microprocessors, the CS input (Pin 1) can be grounded and the A/D START function is achieved by a negative-going pulse to the WR input (Pin 3). The Output Enable function is achieved by a logic low signal at the RD input (Pin 2) which may be grounded to constantly have the latest conversion present at the output.

## ANALOG OPERATION

## Analog Input Current

The analog comparisons are performed by a capacitive charge summing circuit. The input capacitor is switched between  $V_{IN(+)}$  and  $V_{IN(-)}$  while reference capacitors are switched between taps on the reference voltage divider string. The net charge corresponds to the weighted difference between the input and the most recent total value set by the successive approximation register.

The internal switching action causes displacement currents to flow at the analog inputs. The voltage on the on-chip capacitance is switched through the analog differential input voltage, resulting in proportional currents entering the  $V_{IN(+)}$  input and leaving the  $V_{IN(-)}$  input. These transient currents occur at the leading edge of the internal clock pulses. They decay rapidly so do not inherently cause errors as the on-chip comparator is strobed at the end of the clock period.

## Input Bypass Capacitors and Source Resistance

Bypass capacitors at the input will average the charges mentioned above, causing a DC and an AC current to flow through the output resistance of the analog signal sources. This charge pumping action is worse for continuous conversions with the  $V_{IN(+)}$  input at full scale. This current can be a few microamps, so bypass capacitors should NOT be used at the analog inputs of the  $V_{IN(+)}$  input for high resistance sources ( $> 1 \text{ k}\Omega$ ). If input bypass capacitors are desired for noise filtering and a high source resistance is desired to minimize capacitor size, detrimental effects of the voltage drop across the input resistance can be eliminated by adjusting the full scale with both the input resistance and the input bypass capacitor in place. This is possible because the magnitude of the input current is a precise linear function of the differential voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Large values of source resistance where an input bypass capacitor is not used will not cause errors as the input currents settle out prior to the comparison time. If a low pass filter is required in the system, use a low valued series resistor (< 1 k $\Omega$ ) for a passive RC section or add an op amp active filter (low pass). For applications with source resistances at or below 1 k $\Omega$ , a 0.1  $\mu$ F bypass capacitor at the inputs will prevent pickup due to series lead inductance or a long wire. A 100  $\Omega$  series resistor can be used to isolate this capacitor (both the resistor and capacitor should be placed out of the feedback loop) from the output of the op amp, if used.

### Analog Differential Voltage Inputs and Common-Mode Rejection

These A/D converters have additional flexibility due to the analog differential voltage input. The  $V_{IN(-)}$  input (Pin 7) can be used to subtract a fixed voltage from the input reading (tare correction). This is also useful in a 4/20 mA current loop conversion. Common-mode noise can also be reduced by the use of the differential input.

The time interval between sampling  $V_{IN(+)}$  and  $V_{IN(-)}$  is 4.5 clock periods. The maximum error due to this time difference is given by:

$$V_{\text{max}} = (V_P / (2f_{\text{CM}})) (4.5f_{\text{CLK}})$$

where:

$V_P$  = error voltage due to sampling delay

$V_P$  = peak value of common mode voltage

$f_{\text{CM}}$  = common mode frequency

For example, with a 60 Hz common-mode frequency,  $f_{\text{CM}}$ , and a 1 MHz A/D clock,  $f_{\text{CLK}}$ , keeping this error to 1/4 LSB (about 6 mV) would allow a common-mode voltage,  $V_P$ , which is given by:

$$V_P = \frac{(V_{\text{max}}) (f_{\text{CLK}})}{(2f_{\text{CM}}) (4.5)}$$

or

$$V_P = \frac{(5 \times 10^{-3}) (10^6)}{(6.28) (60) (4.5)} = 2.96\text{V}$$

The allowed range of analog input voltages usually places more severe restrictions on input common-mode voltage levels than this, however.

An analog input span less than the full 5 V capability of the device, together with a relatively large zero offset, can be easily handled by use of the differential input. (See Reference Voltage Span Adjust)

### Noise and Stray Pickup

The leads of the analog inputs (Pins 6 and 7) should be kept as short as possible to minimize input noise coupling and stray signal pick-up. Both EMI and undesired digital signal coupling to these inputs can cause system errors. The source resistance for these inputs should generally be below 5 k $\Omega$  to help avoid undesired noise pickup. Input bypass capacitors at the analog inputs can create errors as described previously. Full scale adjustment with any input bypass capacitors in place will eliminate these errors.

### Reference Voltage

For application flexibility, these A/D converters have been designed to accommodate fixed reference voltages of 5V to Pin 20 or 2.5 V to Pin 9, or an adjusted reference voltage at Pin 9. The reference can be set by forcing it at  $V_{\text{REF}/2}$  input, or can be determined by the supply voltage (Pin 20). Figure 6 indicates how this is accomplished.

### Reference Voltage Span Adjust

Note that the Pin 9 ( $V_{\text{REF}/2}$ ) voltage is either 1/2 the voltage applied to the  $V_{\text{CC}}$  supply pin, or is equal to the voltage which is externally forced at the  $V_{\text{REF}/2}$  pin. In addition to allowing for flexible references and full span voltages, this also allows for a ratiometric voltage reference. The internal gain of the  $V_{\text{REF}/2}$  input is 2, making the full-scale differential input voltage twice the voltage at Pin 9.

For example, a dynamic voltage range of the analog input voltage that extends from 0 to 4 V gives a span of 4 V (4-0), so the  $V_{\text{REF}/2}$  voltage can be made equal to 2 V (half of the 4 V span) and full scale output would correspond to 4 V at the input.

On the other hand, if the dynamic input voltage had a range of 0.5 to 3.5 V, the span or dynamic input range is 3 V (3.5-0.5). To encode this 3 V span with 0.5 V yielding a code of zero, the minimum expected input (0.5 V, in this case) is applied to the  $V_{IN(-)}$  pin to account for the offset, and the  $V_{\text{REF}/2}$  pin is set to 1/2 the 3 V span, or 1.5 V. The A/D converter will now encode the  $V_{IN(+)}$  signal between 0.5 and 3.5 V with 0.5 V at the input corresponding to a code of zero and 3.5 V at the input producing a full scale output code. The full 8 bits of resolution are thus applied over this reduced input voltage range. The required connections are shown in Figure 7.

### Operating Mode

These converters can be operated in two modes:

- 1) absolute mode
- 2) ratiometric mode

In absolute mode applications, both the initial accuracy and the temperature stability of the reference voltage are important factors in the accuracy of the conversion. For  $V_{\text{REF}/2}$  voltages of 2.5 V, initial errors of  $\pm 10$  mV will cause conversion errors of  $\pm 1$  LSB due to the gain of 2 at the  $V_{\text{REF}/2}$  input. In reduced span applications, the initial value and stability of the  $V_{\text{REF}/2}$  input voltage become even more important as the same error is a larger percentage of the  $V_{\text{REF}/2}$  nominal value. See Figure 8.

In ratiometric converter applications, the magnitude of the reference voltage is a factor in both the output of the source transducer and the output of the A/D converter, and, therefore, cancels out in the final digital code. See Figure 9.

Generally, the reference voltage will require an initial adjustment. Errors due to an improper reference voltage value appear as full-scale errors in the A/D transfer function.

### ERRORS AND INPUT SPAN ADJUSTMENTS

There are many sources of error in any data converter, some of which can be adjusted out. Inherent errors, such as relative accuracy, cannot be eliminated, but such errors as full-scale and zero scale offset errors can be eliminated quite easily. See Figure 7.

### Zero Scale Error

Zero scale error of an A/D is the difference of potential between the ideal 1/2 LSB value (9.6 mV for  $V_{\text{REF}/2}=2.500$  V) and that input voltage which just causes an output transition from code 0000 0000 to a code of 0000 0001.

If the minimum input value is not ground potential, a zero offset can be made. The converter can be made to output a digital code of 0000 0000 for the minimum expected input voltage by biasing the  $V_{IN(-)}$  input to that minimum value expected at the  $V_{IN(+)}$  input to that minimum value expected at the  $V_{IN(+)}$  input. This uses the differential mode of the converter. Any offset adjustment should be done prior to full scale adjustment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Full Scale Adjustment

Full scale gain is adjusted by applying any desired offset voltage to  $V_{IN}(-)$ , then applying the  $V_{IN}(+)$  a voltage that is  $1\frac{1}{2}$  LSB less than the desired analog full-scale voltage range and then adjusting the magnitude of  $V_{REF}/2$  input voltage (or the  $V_{CC}$  supply if there is no  $V_{REF}/2$  input connection) for a digital output code which just changes from 1111 1110 to 1111 1111. The ideal  $V_{IN}(+)$  voltage for this full-scale adjustment is given by:

$$V_{IN}(+) = V_{IN}(-) + 1.5 \times \frac{V_{MAX} - V_{MIN}}{255}$$

where:

$V_{MAX}$  = high end of analog input range (ground referenced)

$V_{MIN}$  = low end (zero offset) of analog input (ground referenced)

### CLOCKING OPTION

The clock signal for these A/Ds can be derived from external sources, such as a system clock, or self-clocking can be accomplished by adding an external resistor and capacitor, as shown in Figure 11.

Heavy capacitive or DC loading of the CLK R pin should be avoided as this will disturb normal converter operation. Loads less than 50pF are allowed. This permits driving up to seven A/D converter CLK IN pins of this family from a single CLK R pin of one converter. For larger loading of the clock line, a CMOS or low power TTL buffer or PNP input logic should be used to minimize the loading on the CLK R pin.

### Restart During a Conversion

A conversion in process can be halted and a new conversion began by bringing the CS and WR inputs low and allowing at least one of them to go high again. The output data latch is not updated if the conversion in progress is not completed; the data from the previously completed conversion will remain in the output data latches until a subsequent conversion is completed.

### Continuous Conversion

To provide continuous conversion of input data, the CS and RD inputs are grounded and INTR output is tied to the WR input. This INTR:WR connection should be momentarily forced to a logic low upon power-up to insure circuit operation. See Figure 10 for one way to accomplish this.

### DRIVING THE DATA BUS

This CMOS A/D converter, like MOS microprocessors and memories, will require a bus driver when the total capacitance of the data bus gets large. Other circuitry tied to the data bus will add to the total capacitive loading, even in the high impedance mode.

There are alternatives in handling this problem. The capacitive loading of the data bus slows down the response time, although DC specifications are still met. For systems with a relatively low CPU clock frequency, more time is available in which to establish proper logic levels on the bus, allowing higher capacitive loads to be driven (see Typical Performance Characteristics).

At higher CPU clock frequencies, time can be extended for I/O reads (and/or writes) by inserting wait states (6680), or using clock-extending circuits (6600, 8035).

Finally, if time is critical and capacitive loading is high, external bus drivers must be used. These can be 3-State buffers (low power Schottky is recommended, such as the N74LS240 series) or special higher current drive products designed as bus drivers. High current bipolar bus drivers with PNP inputs are recommended as the PNP input offers low loading of the A/D output, allowing better response time.

### POWER SUPPLIES

Noise spikes on the  $V_{CC}$  line can cause conversion errors as the internal comparator will respond to them. A low-inductance filter capacitor should be used close to the converter  $V_{CC}$  pin and values of 1  $\mu$ F or greater are recommended. A separate 5 V regulator for the converter (and other 5 V linear circuitry) will greatly reduce digital noise on the  $V_{CC}$  supply and the attendant problems.

### WIRING AND LAYOUT PRECAUTIONS

Digital wire-wrap sockets and connections are not satisfactory for breadboarding this (or any) A/D converter. Sockets on PC boards can be used. All logic signal wires and leads should be grouped or kept as far as possible from the analog signal leads. Single wire analog input leads may pick up undesired hum and noise, requiring the use of shielded leads to the analog inputs in many applications.

A single-point analog ground separate from the logic or digital ground points should be used. The power supply bypass capacitor and the self-clocking capacitor, if used, should be returned to digital ground. Any  $V_{REF}/2$  bypass capacitor, analog input filter capacitors, and any input shielding should be returned to the analog ground point. Proper grounding will minimize zero-scale errors which are present in every code. Zero-scale errors can usually be traced to improper board layout and wiring.

## APPLICATIONS

### Microprocessor Interfacing

This family of A/D converters was designed for easy microprocessor interfacing. These converters can be memory mapped with appropriate memory address decoding for  $\overline{CS}$  (read) input. The active-Low write pulse from the processor is then connected to the  $\overline{WR}$  input of the A/D converter, while the processor active-Low read pulse is fed to the converter  $\overline{RD}$  input to read the converted data. If the clock signal is derived from the microprocessor system clock, the designer/programmer should be sure that there is no attempt to read the converter until 74 converter clock pulses after the start pulse goes high. Alternatively, the  $\overline{INTR}$  pin may be used to interrupt the processor to cause reading of the converted data. Of course, the converter can be connected and addressed as a peripheral (in I/O space) as shown in Figure 12. A bus driver should be used as a buffer to the A/D output in large microprocessor systems where the data leaves the PC board and/or must drive capacitive loads in excess of 100 pF. See Figure 14.

Interfacing the SCN8048 microcomputer family is pretty simple, as shown in Figure 13. Since the SCN8048 family has 24 I/O lines, one of these (shown here as bit 0 or port 1) can be used as the chip select signal to the converter, eliminating the need for an address decoder. The  $\overline{RD}$  and  $\overline{WR}$  signals are generated by reading from and writing to a dummy address.

### Digitizing a Transducer Interface Output

#### Circuit Description

Figure 15 shows an example of digitizing transducer interface output voltage. In this case, the transducer interface is the NE5521, an LVDT (Linear Variable Differential Transformer) Signal Conditioner. The diode at the A/D input is used to insure that the input to the A/D does not go excessively beyond the supply voltage of the A/D. See

the NE5521 data sheet for a complete description of the operation of that part.

#### Circuit Adjustment

To adjust the full scale and zero scale of the A/D, determine the range of voltages that the transducer interface output will take on. Set the LVDT core for null and set the Zero Scale Scale Adjust Potentiometer for a digital output from the A/D of 1000 000. Set the LVDT core for maximum voltage from the interface and set the Full Scale Adjust potentiometer so the A/D output is just barely 1111 1111.

## A Digital Thermostat

#### Circuit Description

The schematic of a Digital Thermostat is shown in Figure 16. The A/D digitizes the output of the LM35, a temperature transducer IC with an output of 10 mV per °C. With  $V_{REF}/2$  set for 2.56 V, this 10 mV corresponds to 1/2 LSB and the circuit resolution is 2 °C. Reducing  $V_{REF}/2$  to 1.28 yields a resolution of 1 °C. Of course, the lower  $V_{REF}/2$  is, the more sensitive the A/D will be to noise.

The desired temperature is set by holding either of the set buttons closed. The SCC60C451 programming could cause the desired (set) temperature to be displayed while either button is depressed and for a short time after it is released. At other times the ambient temperature could be displayed.

The set temperature is stored in an SCN8051 internal register. The A/D conversion is started by writing anything at all to the A/D with port pin P10 set high. The desired temperature is compared with the digitized actual temperature, and the heater is turned on or off by clearing setting port pin P12. If desired, another port pin could be used to turn on or off an air conditioner.

The display drivers are NE567s if common anode LED displays are used. Of course, it is possible to interface to LCD displays as well.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

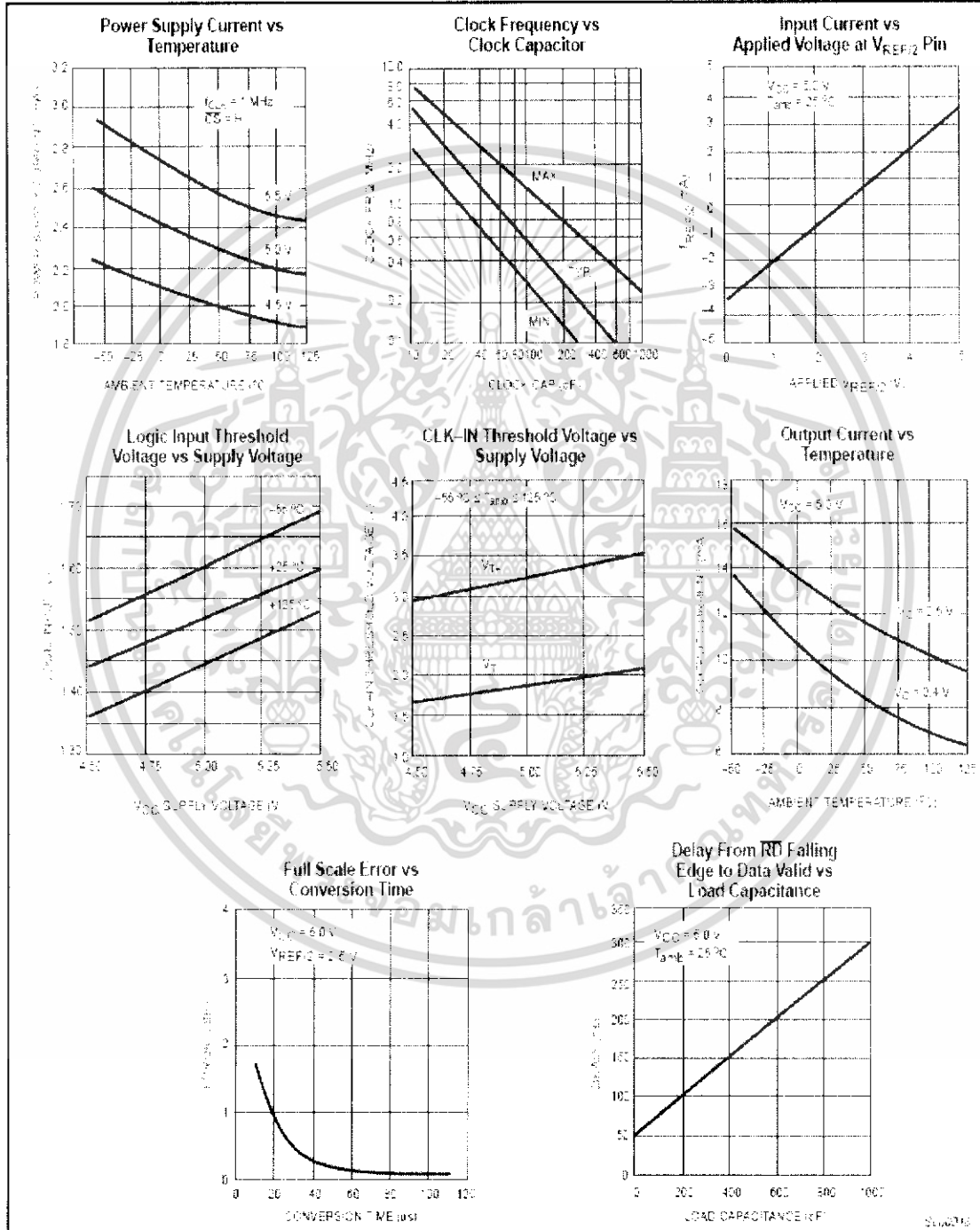


Figure 3. Typical Performance Characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3-STATE TEST CIRCUITS AND WAVEFORMS (ADC0801-1)

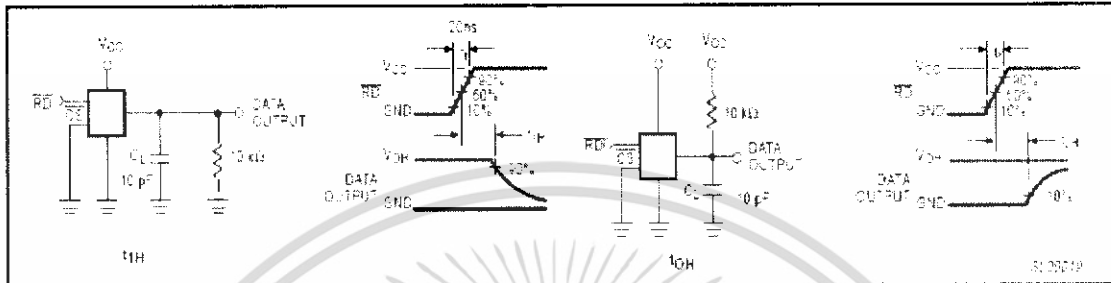
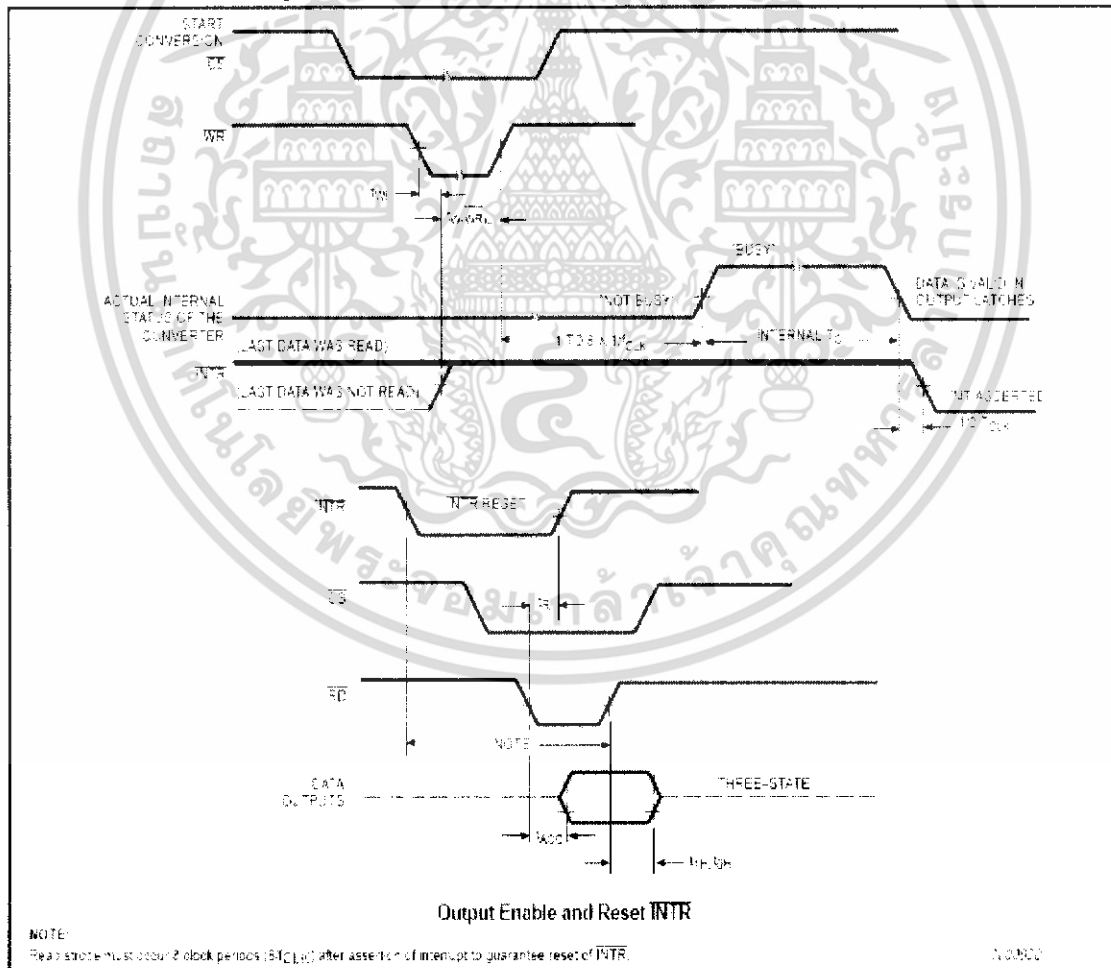


Figure 4. 3-State Test Circuits and Waveforms (ADC0801-1)

TIMING DIAGRAMS (All timing is measured from the 50% voltage points)



Output Enable and Reset INTR

NOTE: Read strobe must occur 2 clock periods (8TCLK) after assertion of interrupt to guarantee reset of INTR.

AD00019

Figure 5. Timing Diagrams

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

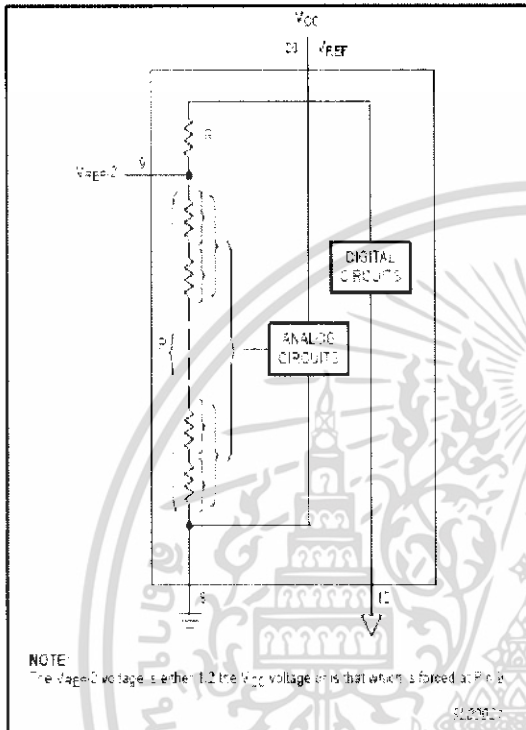


Figure 6. Internal Reference Design

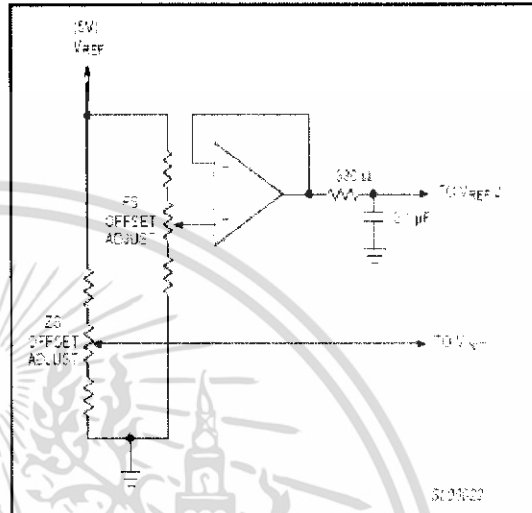


Figure 7. Offsetting the Zero Scale and Adjusting the Input Range (Span)

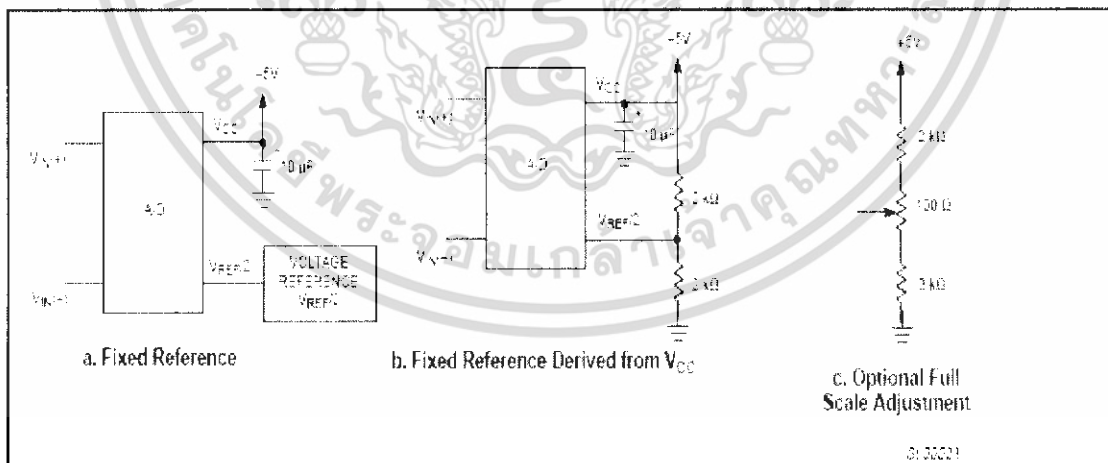


Figure 8. Absolute Mode of Operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

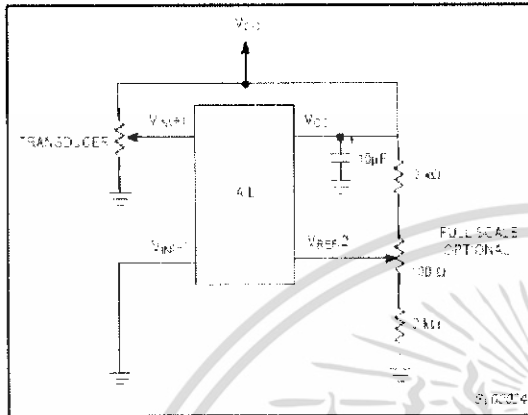


Figure 9. Ratiometric Mode of Operation with Optional Full Scale Adjustment

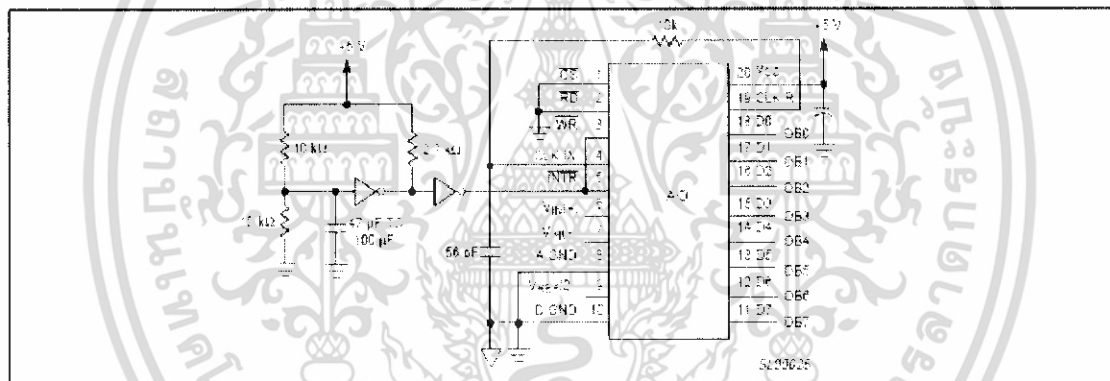


Figure 10. Connection for Continuous Conversion

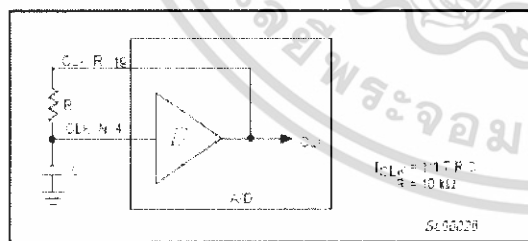


Figure 11. Self-Clocking the Converter

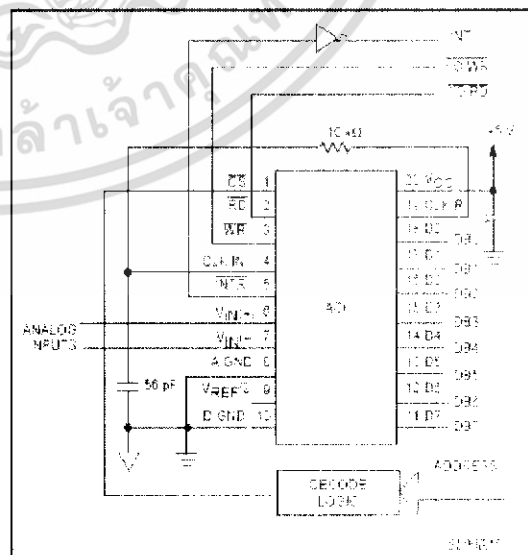


Figure 12. Interfacing to 8080A Microprocessor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

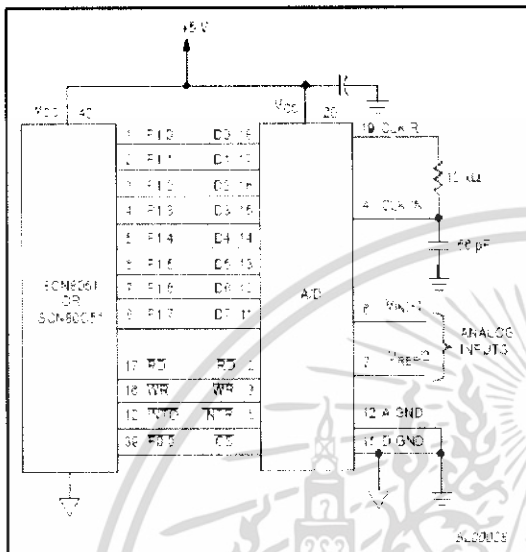


Figure 13. SCN8051 Interfacing

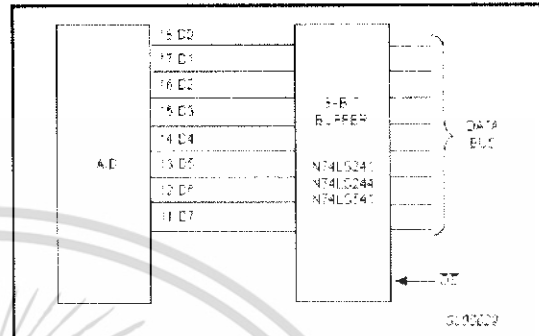


Figure 14. Buffering the A/D Output to Drive High Capacitance Loads and for Driving Off-Board Loads

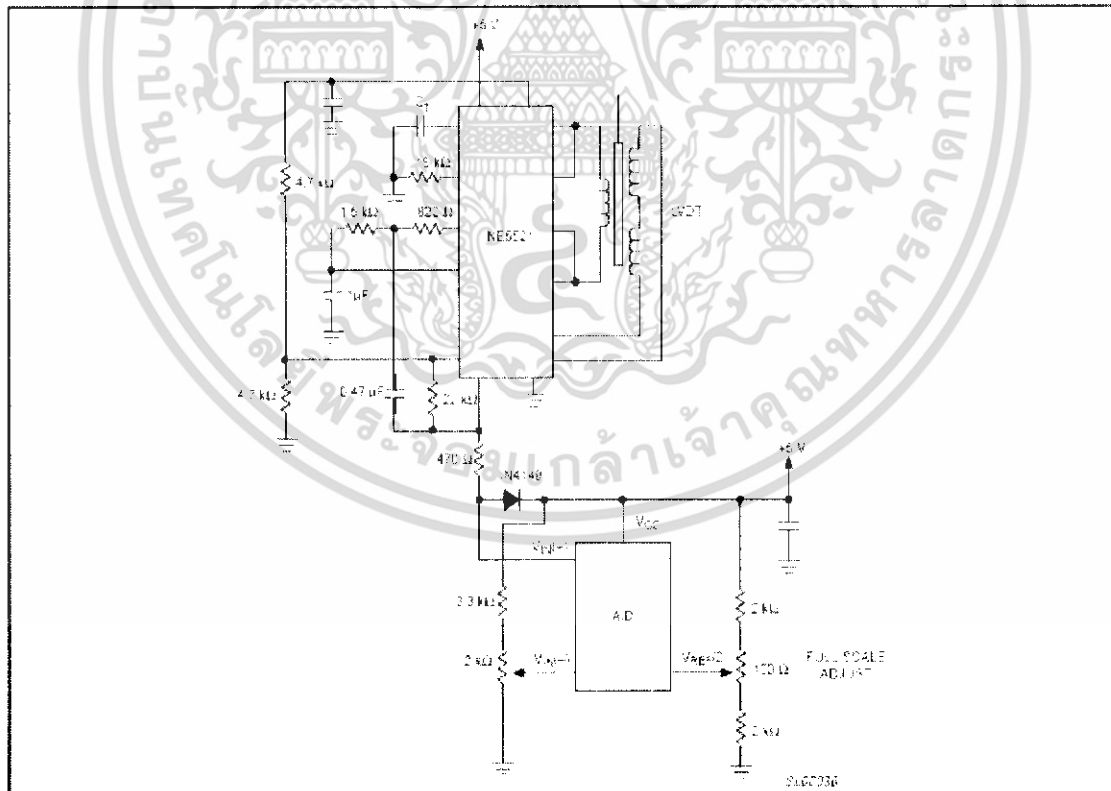
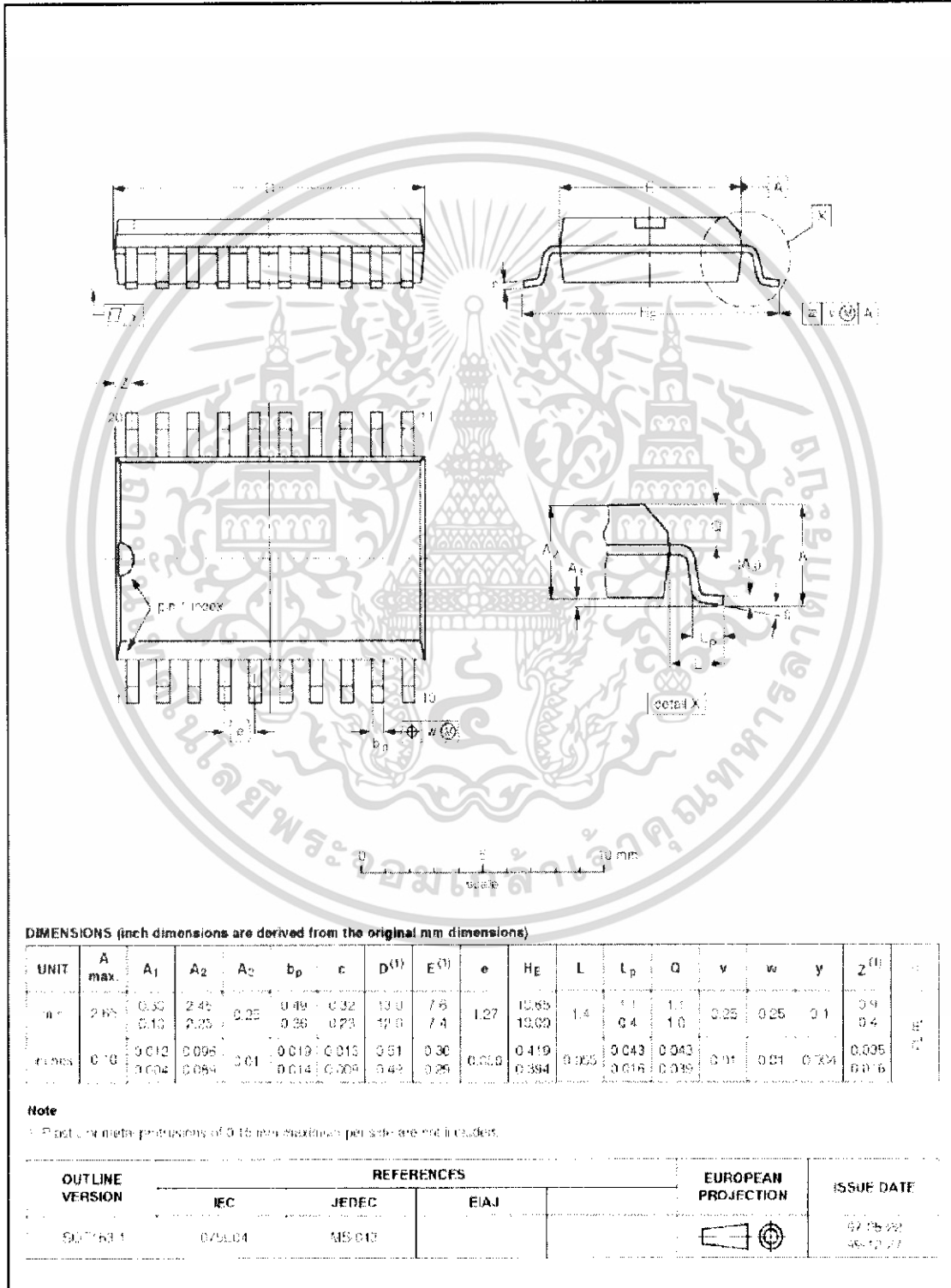


Figure 15. Digitizing a Transducer Interface Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SO20: plastic small outline package; 20 leads; body width 7.5 mm

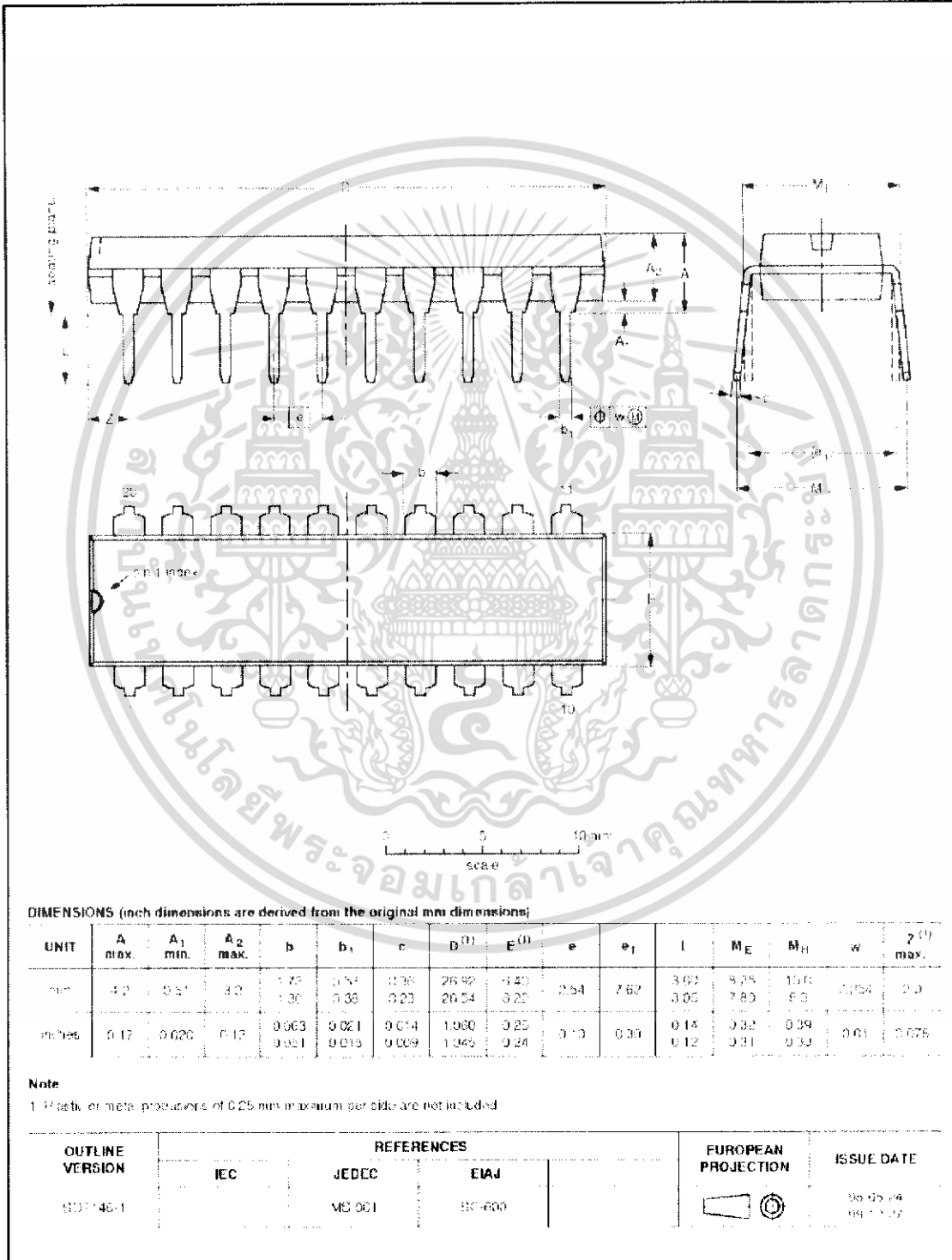
SOT163-1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIP20: plastic dual in-line package: 20 leads (300 mil)

SOT146-1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CMOS 8-bit A/D converters

ADC0803/0804

## REVISION HISTORY

Rev	Date	Description
_3	20021017	Product data; third version; supersedes data of 2001 Aug 03. Engineering Change Notice 853-0034 28949 (date: 20020916). <b>Modifications:</b> • Add "Topside Marking" column to Ordering information table.
_2	20010803	Product data; second version (9397 750 08926). Engineering Change Notice 853-0034 26832 (date: 20010803).
_1	19940631	Product data; initial version. Engineering Change Notice 853-0034 13721 (date: 19940631).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# Ultralow Offset Voltage Operational Amplifiers

## OP07

### FEATURES

Low  $V_{OS}$ : 75  $\mu\text{V}$  Max  
 Low  $V_{OS}$  Drift: 1.3  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  Max  
 Ultra-Stable vs. Time: 1.5  $\mu\text{V}/\text{Month}$  Max  
 Low Noise: 0.6  $\mu\text{V p-p}$  Max  
 Wide Input Voltage Range:  $\pm 14\text{ V}$   
 Wide Supply Voltage Range: 3 V to 18 V  
 Fits 725, 108A/308A, 741, AD510 Sockets  
 125 $^\circ\text{C}$  Temperature-Tested Dice

### APPLICATIONS

Wireless Base Station Control Circuits  
 Optical Network Control Circuits  
 Instrumentation  
 Sensors and Controls  
 Thermocouples  
 RTDs  
 Strain Bridges  
 Shunt Current Measurements  
 Precision Filters

### GENERAL DESCRIPTION

The OP07 has very low input offset voltage (75  $\mu\text{V}$  max for OP07E) which is obtained by trimming at the wafer stage. These low offset voltages generally eliminate any need for external nulling. The OP07 also features low input bias current ( $\pm 4\text{ nA}$  for OP07E) and high open-loop gain (200 V/mV for OP07E). The low offsets and high open-loop gain make the OP07 particularly useful for high-gain instrumentation applications.

The wide input voltage range of  $\pm 14\text{ V}$  minimum combined with high CMRR of 106 dB (OP07E) and high input impedance provides high accuracy in the noninverting circuit configuration. Excellent linearity and gain accuracy can be maintained even at

high closed-loop gains. Stability of offsets and gain with time or variations in temperature is excellent. The accuracy and stability of the OP07, even at high gain, combined with the freedom from external nulling have made the OP07 an industry standard for instrumentation applications.

The OP07 is available in two standard performance grades. The OP07E is specified for operation over the  $0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$  range, and OP07C over the  $-40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$  temperature range.

The OP07 is available in epoxy 8-lead Mini-DIP and 8-lead SOIC. It is a direct replacement for 725, 108A, and OP07 amplifiers; 741-types may be directly replaced by removing the 741's nulling potentiometer. For improved specifications, see the OP177 or OP1177. For ceramic DIP and TO-99 packages and standard micro circuit (SMD) versions, see the OP77.

### PIN CONNECTIONS

Epoxy Mini-Dip (P-Suffix)  
 8-Pin SO (S-Suffix)

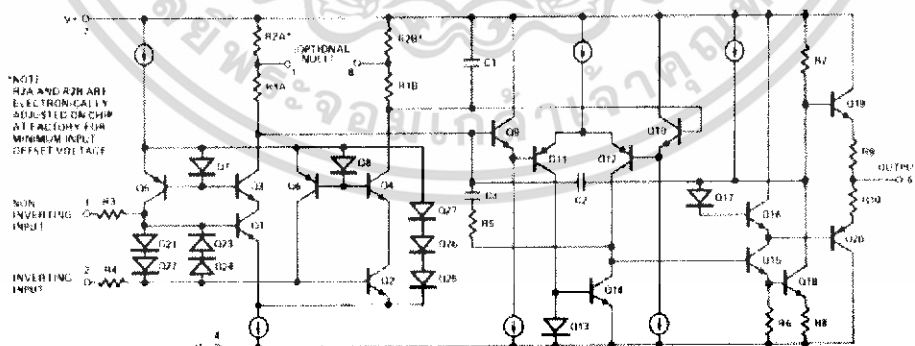
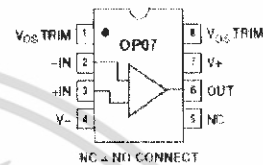


Figure 1. Simplified Schematic

### REV. A

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
 Tel: 781/329-4700  
 Fax: 781/326-8703  
 www.analog.com  
 © Analog Devices, Inc., 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## OP07—SPECIFICATIONS

### OP07E ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_S = \pm 15$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>INPUT CHARACTERISTICS</b>						
Input Offset Voltage <sup>1</sup>	$V_{OS}$			30	75	$\mu\text{V}$
Long-Term $V_{OS}$ Stability <sup>2</sup>	$V_{OS}$ Time		0.3	1.5		$\mu\text{V}/\text{Mo}$
Input Offset Current	$I_{OS}$		0.5	3.8		nA
Input Bias Current	$I_B$		$\pm 1.2$	$\pm 4.0$		nA
Input Noise Voltage	$e_n$ p-p	0.1 Hz to 10 Hz <sup>3</sup>	0.35	0.6		$\mu\text{V}$ p-p
Input Noise Voltage Density	$e_n$	$f_0 = 10$ Hz	10.3	18.0		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_0 = 100$ Hz <sup>3</sup>	10.0	13.0		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_0 = 1$ kHz	9.6	11.0		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
Input Noise Current	$I_n$ p-p		14	30		pA p-p
Input Noise Current Density	$I_n$	$f_0 = 10$ Hz	0.32	0.80		$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_0 = 100$ Hz <sup>3</sup>	0.14	0.23		$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_0 = 1$ kHz	0.12	0.17		$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
Input Resistance - Differential Mode <sup>4</sup>	$R_{IN}$		15	50		$\text{M}\Omega$
Input Resistance - Common-Mode	$R_{INCM}$			160		$\text{G}\Omega$
Input Voltage Range	IVR		$\pm 13$	$\pm 14$		V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13$ V	106	123		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3$ V to $\pm 18$ V	5	20		$\mu\text{V}/\text{V}$
Large-Signal Voltage Gain	$A_{VO}$	$R_L \geq 2$ k $\Omega$ , $V_O = \pm 10$ V	200	500		V/mV
		$R_L \geq 500$ $\Omega$ , $V_O = \pm 0.5$ V, $V_S = \pm 3$ V <sup>5</sup>	150	400		V/mV
<b>OUTPUT CHARACTERISTICS</b>						
Output Voltage Swing	$V_O$	$R_L \geq 10$ k $\Omega$	$\pm 12.5$	$\pm 13.0$		V
		$R_L \geq 2$ k $\Omega$	$\pm 12.0$	$\pm 12.8$		V
		$R_L \geq 1$ k $\Omega$	$\pm 10.5$	$\pm 12.0$		V
<b>DYNAMIC PERFORMANCE</b>						
Slew Rate	SR	$R_L \geq 2$ k $\Omega$ <sup>3</sup>	0.1	0.3		V/ $\mu\text{s}$
Closed-Loop Bandwidth	BW	$A_{VOL} = 1^5$	0.4	0.6		MHz
Closed-Loop Output Resistance	$R_{OL}$	$V_O = 0$ , $I_O = 0$		60		$\Omega$
Power Consumption	$P_d$	$V_S = \pm 15$ V, No Load		75	120	mW
		$V_S = \pm 13$ V, No Load		4	6	mW
Offset Adjustment Range		$R_P = 20$ k $\Omega$		$\pm 4$		mV

#### NOTES

<sup>1</sup>Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

<sup>2</sup>Long-term input offset voltage stability refers to the averaged trend time of  $V_{OS}$  vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the initial hour of operation, changes in  $V_{OS}$  during the first 30 operating days are typically 2.5  $\mu\text{V}$  refer to the typical performance curves. Parameter is sample tested.

<sup>3</sup>Sample tested.

<sup>4</sup>Guaranteed by design.

<sup>5</sup>Guaranteed but not tested.

Specifications subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**OP07C ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $V_S = \pm 15\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>INPUT CHARACTERISTICS</b>						
Input Offset Voltage <sup>1</sup>	$V_{OS}$			60	150	$\mu\text{V}$
Long-Term $V_{OS}$ Stability <sup>2</sup>	$V_{OS}/\text{Time}$			0.4	2.0	$\mu\text{V}/\text{Mo}$
Input Offset Current	$I_{OS}$			0.8	6.0	nA
Input Bias Current	$I_b$			$\pm 1.8$	$\pm 7.0$	nA
Input Noise Voltage	$e_n$ p-p	0.1 Hz to 10 Hz <sup>3</sup>		0.38	0.65	$\mu\text{V}$ p-p
Input Noise Voltage Density	$e_n$	$f_n = 10\text{ Hz}$		10.5	20.0	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_n = 100\text{ Hz}$ <sup>4</sup>		10.2	13.5	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_n = 1\text{ kHz}$		9.8	11.5	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
Input Noise Current	$I_n$ p-p			15	35	$\text{pA}$ p-p
Input Noise Current Density	$I_n$	$f_n = 10\text{ Hz}$		0.35	0.60	$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_n = 100\text{ Hz}$ <sup>4</sup>		0.15	0.27	$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_n = 1\text{ kHz}$		0.13	0.18	$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
Input Resistance- Differential Mode <sup>4</sup>	$R_{IN}$		8	33	$\text{M}\Omega$	
Input Resistance- Common-Mode	$R_{INCM}$			120	$\text{G}\Omega$	
Input Voltage Range	IVR		$\pm 13$	$\pm 14$	V	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13\text{ V}$	100	120	dB	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$		7	32	$\mu\text{V}/\text{V}$
Large-Signal Voltage Gain	$A_{VOL}$	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ , $V_O = \pm 10\text{ V}$	120	400	V/mV	
		$R_L \geq 500\ \Omega$ , $V_O = \pm 0.5\text{ V}$ , $V_S = \pm 3\text{ V}$ <sup>4</sup>	100	400	V/mV	
<b>OUTPUT CHARACTERISTICS</b>						
Output Voltage Swing	$V_O$	$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	$\pm 12.0$	$\pm 13.0$	V	
		$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	$\pm 11.5$	$\pm 12.8$	V	
		$R_L \geq 1\text{ k}\Omega$		$\pm 12.0$	V	
<b>DYNAMIC PERFORMANCE</b>						
Slew Rate	SR	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ <sup>5</sup>	0.1	0.3	$\text{V}/\mu\text{s}$	
Closed-Loop Bandwidth	BW	$A_{VOL} = 1$ <sup>7</sup>	0.4	0.6	MHz	
Closed-Loop Output Resistance	$R_{OL}$	$V_O = 0$ , $I_O = 0$		60	$\Omega$	
Power Consumption	$P_d$	$V_S = \pm 15\text{ V}$ , No Load		80	150	mW
		$V_S = \pm 13\text{ V}$ , No Load		4	8	mW
Offset Adjustment Range		$R_P = 20\text{ k}\Omega$		$\pm 4$	mV	

## NOTES

<sup>1</sup>Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

<sup>2</sup>Long-term input offset voltage stability refers to the averaged trend time of  $V_{OS}$  vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the initial hour of operation, changes in  $V_{OS}$  during the first 30 operating days are typically 2.5  $\mu\text{V}$  refer to the typical performance curves. Parameter is sample tested.

<sup>3</sup>Sample tested.

<sup>4</sup>Guaranteed by design.

<sup>5</sup>Guaranteed but not tested.

Specifications subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## OP07—SPECIFICATIONS

### OP07E ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_S = \pm 15\text{ V}$ , $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>INPUT CHARACTERISTICS</b>						
Input Offset Voltage <sup>1</sup>	$V_{OS}$			45	130	$\mu\text{V}$
Voltage Drift without External Trim <sup>2</sup>	$\text{TCV}_{OS}$			0.3	1.3	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Voltage Drift with External Trim <sup>3</sup>	$\text{TCV}_{OS(ET)}$	$R_F = 20\text{ k}\Omega$		0.3	1.3	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	$I_{OS}$			0.9	5.3	nA
Input Offset Current Drift	$\text{TCI}_{OS}$			8	35	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$I_B$			$\pm 1.5$	$\pm 5.5$	nA
Input Bias Current Drift	$\text{TCI}_B$			13	35	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Voltage Range	IVR		$\pm 13$	$\pm 13.5$		V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13\text{ V}$	103	123		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$		7	32	$\mu\text{V}/\text{V}$
Large-Signal Voltage Gain	$A_{VO}$	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ , $V_{I1} = \pm 10\text{ V}$	180	450		$\text{V}/\text{mV}$
<b>OUTPUT CHARACTERISTICS</b>						
Output Voltage Swing	$V_O$	$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	$\pm 12$	$\pm 12.6$		V

#### NOTES

<sup>1</sup>Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

<sup>2</sup>Guaranteed by design.

<sup>3</sup>Sample tested.

Specifications subject to change without notice.

( $V_S = \pm 15\text{ V}$ ,  $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

### OP07C ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>INPUT CHARACTERISTICS</b>						
Input Offset Voltage <sup>1</sup>	$V_{OS}$			85	250	$\mu\text{V}$
Voltage Drift without External Trim <sup>2</sup>	$\text{TCV}_{OS}$			0.5	1.8	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Voltage Drift with External Trim <sup>3</sup>	$\text{TCV}_{OS(ET)}$	$R_F = 20\text{ k}\Omega$		0.4	1.8	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	$I_{OS}$			1.0	8.0	nA
Input Offset Current Drift	$\text{TCI}_{OS}$			12	50	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$I_B$			$\pm 2.2$	$\pm 9.0$	nA
Input Bias Current Drift	$\text{TCI}_B$			18	50	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Voltage Range	IVR		$\pm 13$	$\pm 13.5$		V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13\text{ V}$	97	120		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$		10	51	$\mu\text{V}/\text{V}$
Large-Signal Voltage Gain	$A_{VO}$	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ , $V_{I1} = \pm 10\text{ V}$	100	400		$\text{V}/\text{mV}$
<b>OUTPUT CHARACTERISTICS</b>						
Output Voltage Swing	$V_O$	$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	$\pm 11$	$\pm 12.6$		V

#### NOTES

<sup>1</sup>Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

<sup>2</sup>Guaranteed by design.

<sup>3</sup>Sample tested.

Specifications subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\***

Supply Voltage ( $V_S$ )	$\pm 22$ V
Input Voltage*	$\pm 22$ V
Differential Input Voltage	$\pm 30$ V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range	
S, P Packages	$-65^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range	
OP07E	$0^\circ\text{C}$ to $70^\circ\text{C}$
OP07C	$-40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	$-150^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$
Lead Temperature Range (Soldering, 60 sec)	$300^\circ\text{C}$

\*For supply voltages less than  $\pm 22$  V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Package Type	$\theta_{JA}$ *	$\theta_{JC}$	Units
8-Lead Plastic DIP (P)	103	43	$^\circ\text{C/W}$
8-Lead SOIC (S)	158	43	$^\circ\text{C/W}$

\* $\theta_{JA}$  is specified for worst case conditions, i.e.,  $\theta_{JA}$  is specified for device in socket for P-DIP package,  $\theta_{JA}$  is specified for device soldered to printed circuit board for SO package.

**ORDERING GUIDE**

Model	Temperature Range	Package Description	Package Option	Branding Information
OP07EP	$0^\circ\text{C}$ to $70^\circ\text{C}$	8-Lead Epoxy DIP	P-8	
OP07CP	$-40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$	8-Lead Epoxy DIP	P-8	
OP07CS	$-40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$	8-Lead SOIC	S-8	

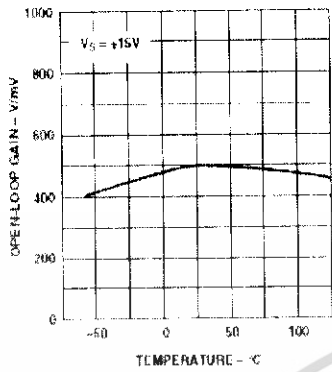
**CAUTION**

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the OP07 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high-energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.

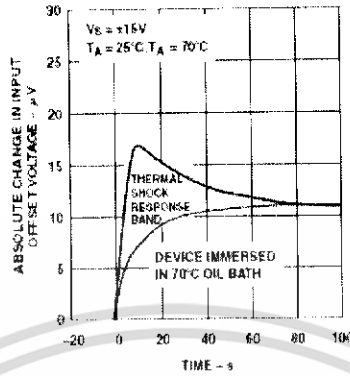


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

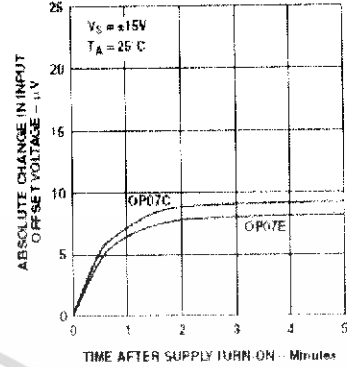
## OP07 – Typical Performance Characteristics



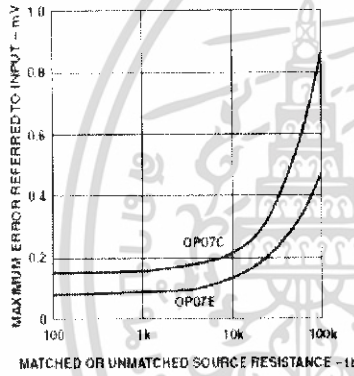
TPC 1. Open-Loop Gain vs. Temperature



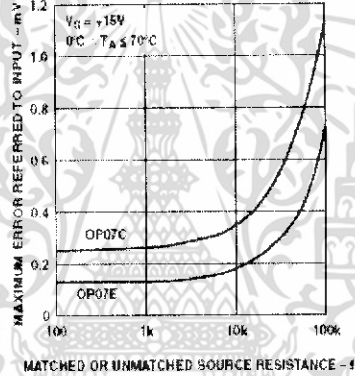
TPC 2. Offset Voltage Change Due to Thermal Shock



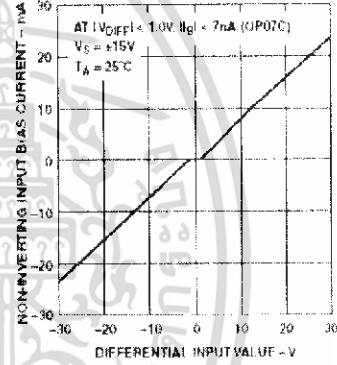
TPC 3. Warm-Up Drift



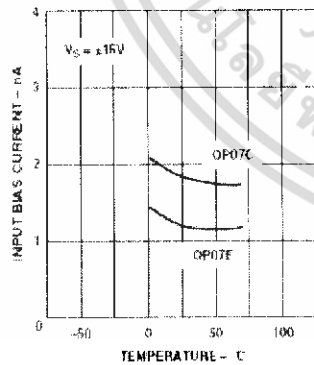
TPC 4. Maximum Error vs. Source Resistance



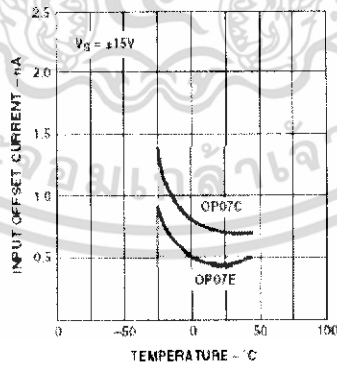
TPC 5. Maximum Error vs. Source Resistance



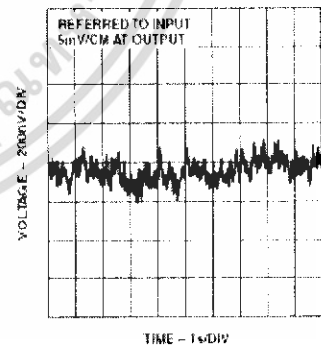
TPC 6. Input Bias Current vs. Differential Input Voltage



TPC 7. Input Bias Current vs. Temperature

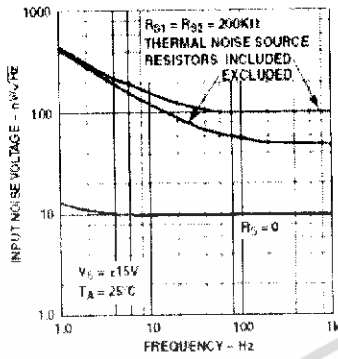


TPC 8. Input Offset Current vs. Temperature

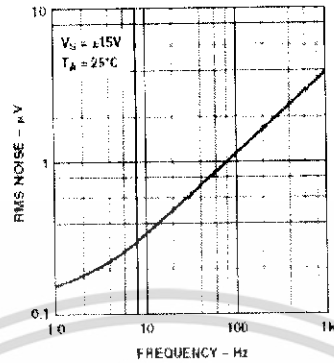


TPC 9. Low Frequency Noise

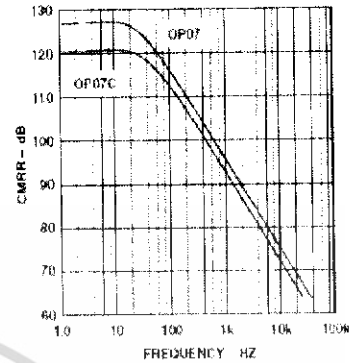
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



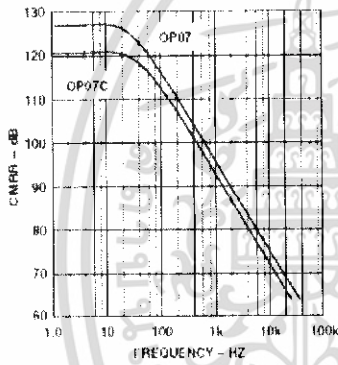
TPC 10. Total Input Noise Voltage vs. Frequency



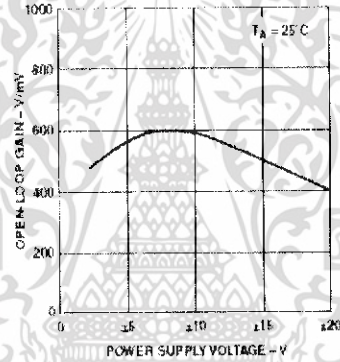
TPC 11. Input Wideband Noise vs. Bandwidth (0.1 Hz to Frequency Indicated)



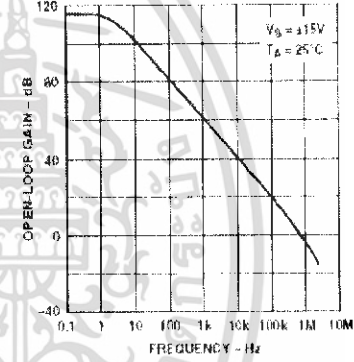
TPC 12. CMRR vs. Frequency



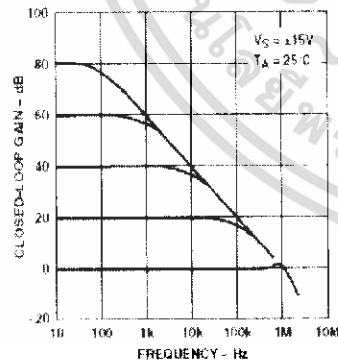
TPC 13. PSRR vs. Frequency



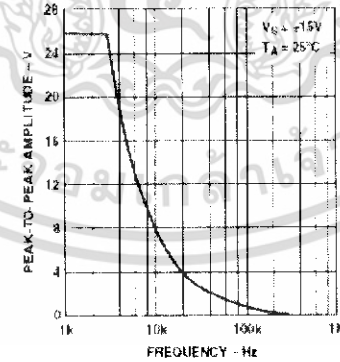
TPC 14. Open-Loop Gain vs. Power Supply Voltage



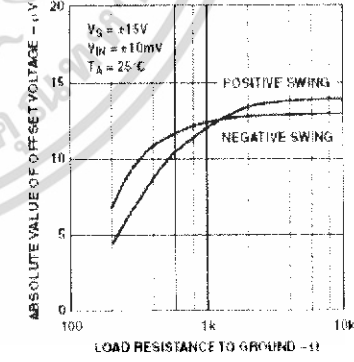
TPC 15. Open-Loop Frequency Response



TPC 16. Closed-Loop Response for Various Gain Configurations



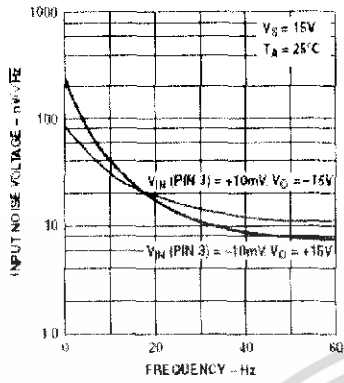
TPC 17. Maximum Output Swing vs. Frequency



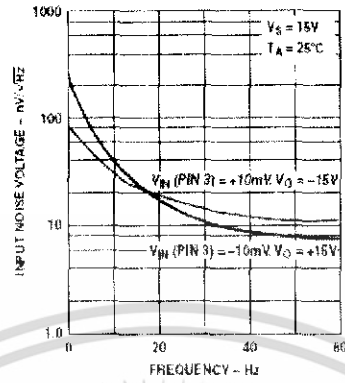
TPC 18. Maximum Output Voltage vs. Load Resistance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

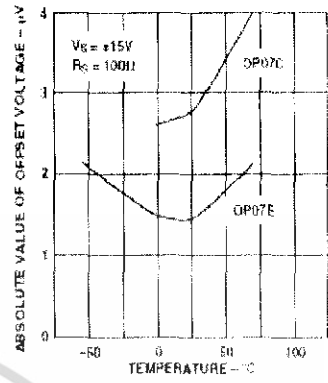
OP07



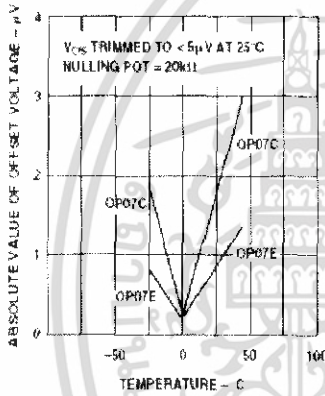
TPC 19. Power Consumption vs. Power Supply



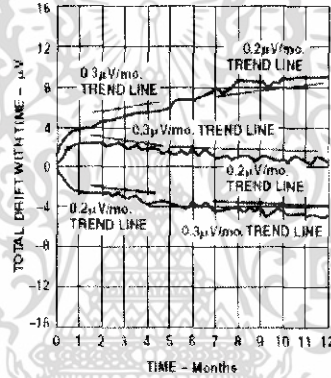
TPC 20. Output Short-Circuit Current vs. Time



TPC 21. Untrimmed Offset Voltage vs. Temperature



TPC 22. Trimmed Offset Voltage vs. Temperature



TPC 23. Offset Voltage Stability vs. Time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07

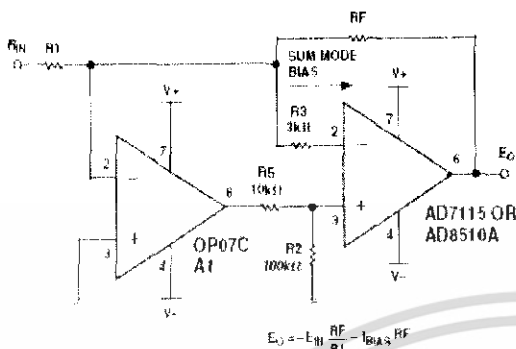


Figure 2. Typical Offset Voltage Test Circuit

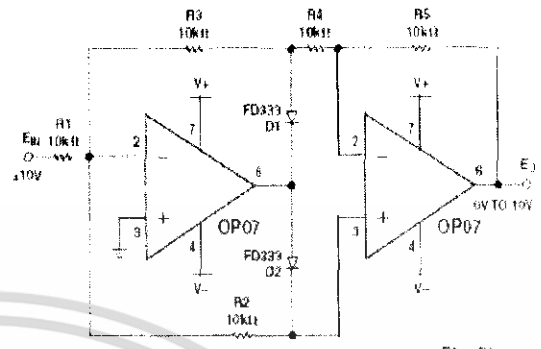


Figure 5. Burn-In circuit

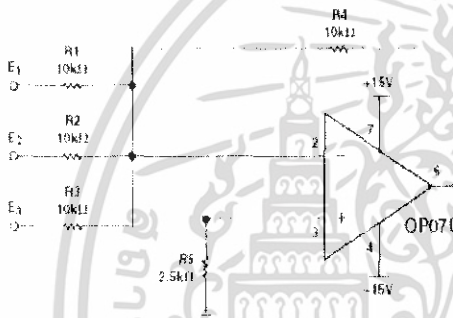
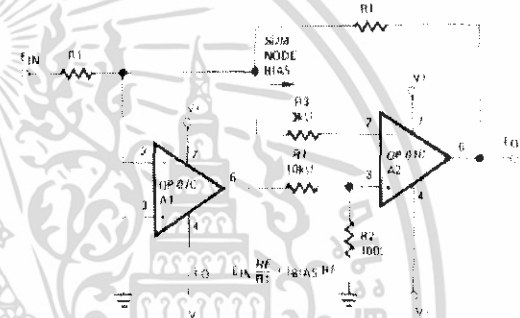


Figure 3. Typical Low-Frequency Noise Circuit



PINOUTS SHOWN FOR J, P, AND Z PACKAGES

Figure 6. High-Speed, Low VOS Composite Amplifier

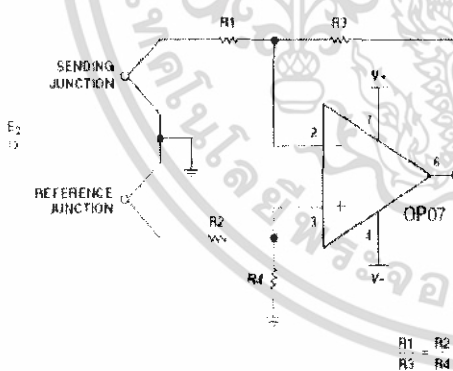
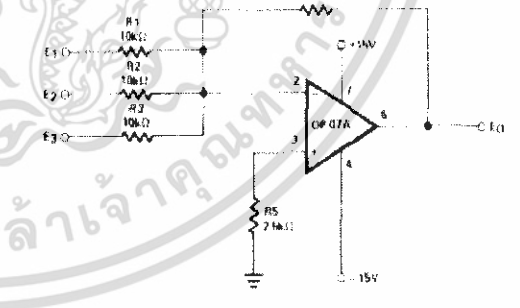


Figure 4. Optional Offset Nulling Circuit



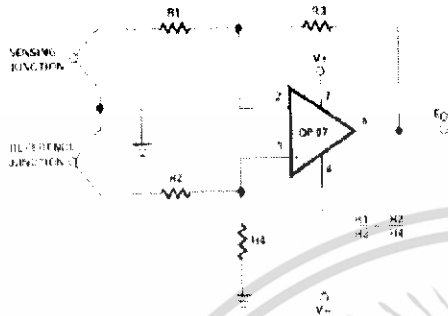
PINOUTS SHOWN FOR J, P, AND Z PACKAGES

Figure 7. Adjustment-Free Precision Summing Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

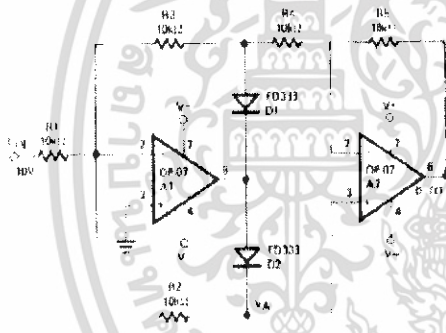
# OP07

## TYPICAL APPLICATIONS



PINOUTS SHOWN FOR J, P, AND Z PACKAGES

Figure 8. High-Stability Thermocouple Amplifier



PINOUTS SHOWN FOR J, P, AND Z PACKAGES

Figure 9. Precision Absolute-Value Circuit

## APPLICATIONS INFORMATION

OP07 series units may be substituted directly into 725, 108A, 308A\* and OP05 sockets with or without removal of external compensation or nulling components. Additionally, the OP07 may be used in unnullled 741 type sockets. However, if conventional 741 nulling circuitry is in use, it should be modified or removed to enable proper OP07 operation. OP07 offset voltage may be nulled to zero through use of a potentiometer (see offset nulling circuit diagram).

## PRECISION ABSOLUTE-VALUE CIRCUIT

The OP07 provides stable operation with load capacitance of up to 500 pF and  $\pm 10$  V swings; larger capacitances should be decoupled with a 50  $\Omega$  decoupling resistor.

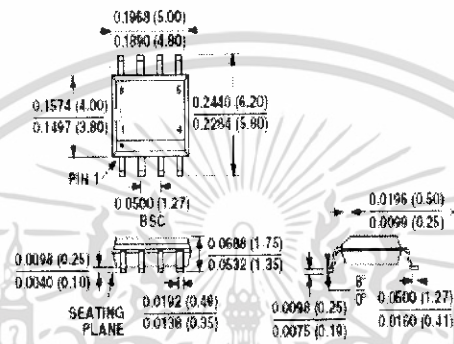
Stray thermoelectric voltages generated by dissimilar metals at the contacts to the input terminals can degrade drift performance. Therefore, best operation will be obtained when both input contacts are maintained at the same temperature, preferably close to the package temperature.

\*TO-99 Package only

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## OUTLINE DIMENSIONS

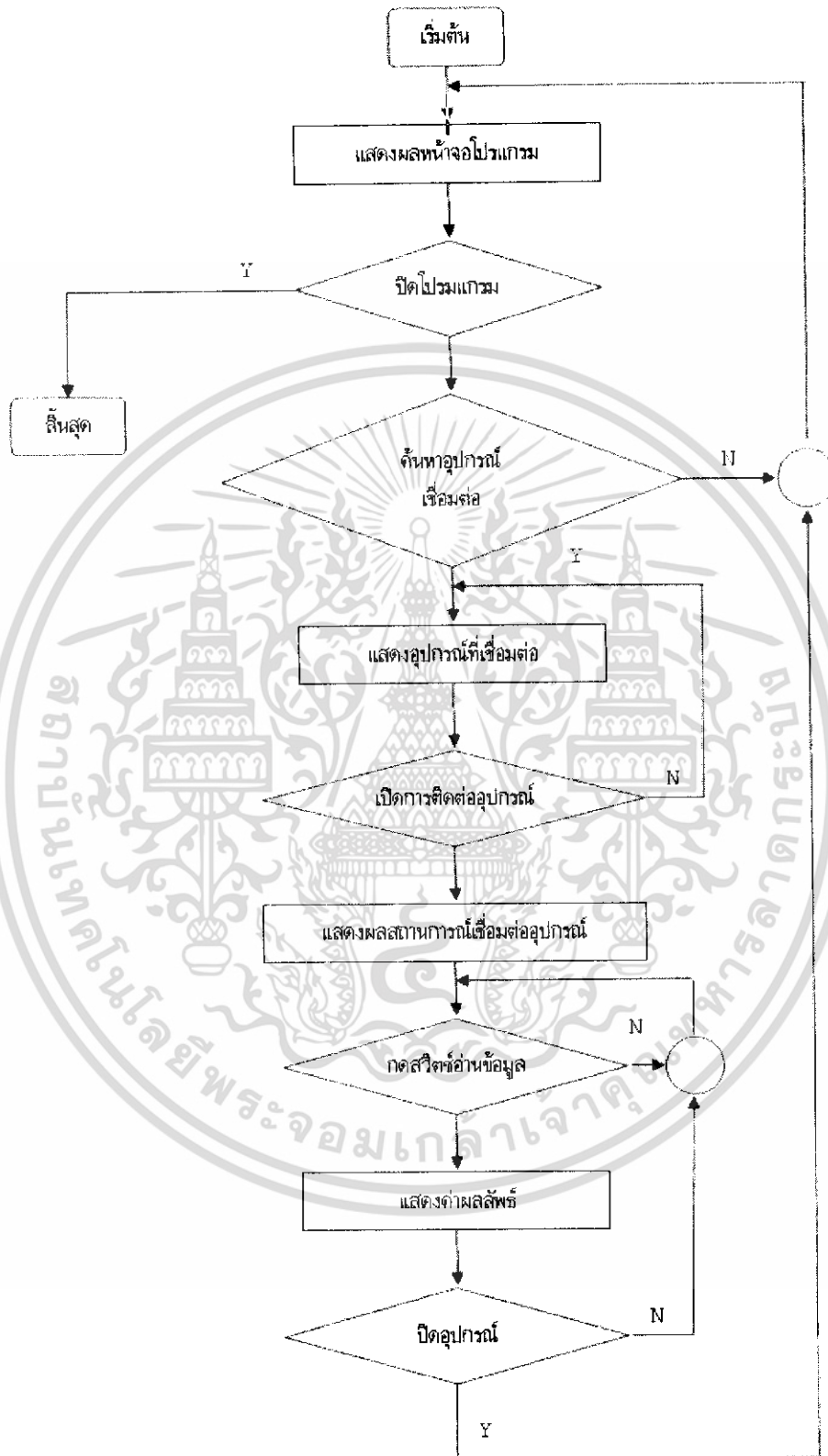
Dimensions shown in inches and (mm).

5-Lead SO DIP  
(S-Suffix)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ จ.1** แผนผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก จ**  
**รหัสต้นฉบับของโปรแกรม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง

```
// USBDirectMonitorDlg.cpp : implementation file
//

#include "stdafx.h"
#include "USBDirectMonitor.h"
#include "USBDirectMonitorDlg.h"

#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[] = __FILE__;
#endif

//////////////////////////////////////
// CABoutDlg dialog used for App About

class CABoutDlg : public CDialog
{
public:
    CABoutDlg();

// Dialog Data
//{{AFX_DATA(CABoutDlg)
enum { IDD = IDD_ABOUTBOX };
//}}AFX_DATA

// ClassWizard generated virtual function overrides
//{{AFX_VIRTUAL(CABoutDlg)
protected:
virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); // DDX/DDV
support
//}}AFX_VIRTUAL

// Implementation
protected:
//{{AFX_MSG(CABoutDlg)
//}}AFX_MSG
DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

CABoutDlg::CABoutDlg() : CDialog(CABoutDlg::IDD)
{
//{{AFX_DATA_INIT(CABoutDlg)
//}}AFX_DATA_INIT
}

void CABoutDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
    CDialog::DoDataExchange(pDX);
//{{AFX_DATA_MAP(CABoutDlg)
//}}AFX_DATA_MAP
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CABoutDlg, CDialog)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//{{AFX_MSG_MAP(CAboutDlg)
    // No message handlers
//}}AFX_MSG_MAP
END_MESSAGE_MAP()

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
// CUSBDirectMonitorDlg dialog

CUSBDirectMonitorDlg::CUSBDirectMonitorDlg(CWnd* pParent /*=NULL*/)
    : CDialog(CUSBDirectMonitorDlg::IDD, pParent)
{
    //{{AFX_DATA_INIT(CUSBDirectMonitorDlg)

    m_Radio_Search = 0;
    data1 = 0;
    data2 = 0;
    data3 = 0;
    data4 = 0;

    //}}AFX_DATA_INIT
    // Note that LoadIcon does not require a subsequent DestroyIcon
    in Win32
    m_hIcon = AfxGetApp()->LoadIcon(IDR_MAINFRAME);
}

void CUSBDirectMonitorDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
    CDialog::DoDataExchange(pDX);
    //{{AFX_DATA_MAP(CUSBDirectMonitorDlg)
    DDX_Control(pDX, IDC_LED8, m_LED8);
    DDX_Control(pDX, IDC_LIST_RECEIVE, m_List_Receive);
    DDX_Control(pDX, IDC_LIST_DEVICE, m_List_Device);
    DDX_Radio(pDX, IDC_RADIO_SEARCH1, m_Radio_Search);
    //DDX_Text(pDX, IDC_STATIC_DATA1, m_data1);
    //DDX_Text(pDX, IDC_STATIC_DATA2, m_data2);
    //DDX_Text(pDX, IDC_STATIC_DATA3, m_data3);
    //}}AFX_DATA_MAP
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CUSBDirectMonitorDlg, CDialog)
    //{{AFX_MSG_MAP(CUSBDirectMonitorDlg)
    ON_WM_SYSCOMMAND()
    ON_WM_PAINT()
    ON_WM_QUERYDRAGICON()
    ON_BN_CLICKED(IDC_CLEAR_RECEIVE, OnClearReceive)
    ON_BN_CLICKED(IDC_CLOSE_DEVICE, OnCloseDevice)
    ON_LBN_SELCHANGE(IDC_LIST_DEVICE, OnSelchangeListDevice)
    ON_BN_CLICKED(IDC_OPEN_DEVICE, OnOpenDevice)
    ON_BN_CLICKED(IDC_SEARCH, OnSearch)
    ON_WM_TIMER()
    ON_BN_CLICKED(IDC_BUTTON_GEN, OnGen)
    //}}AFX_MSG_MAP
END_MESSAGE_MAP()

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
// CUSBDirectMonitorDlg message handlers

```

เอก... นั้น ไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BOOL CUSBDirectMonitorDlg::OnInitDialog()
{
    CDialog::OnInitDialog();

    // Add "About..." menu item to system menu.

    // IDM_ABOUTBOX must be in the system command range.
    ASSERT((IDM_ABOUTBOX & 0xFFFF) == IDM_ABOUTBOX);
    ASSERT(IDM_ABOUTBOX < 0xF000);

    CMenu* pSysMenu = GetSystemMenu(FALSE);
    if (pSysMenu != NULL)
    {
        CString strAboutMenu;
        strAboutMenu.LoadString(IDS_ABOUTBOX);
        if (!strAboutMenu.IsEmpty())
        {
            pSysMenu->AppendMenu(MF_SEPARATOR);
            pSysMenu->AppendMenu(MF_STRING, IDM_ABOUTBOX,
strAboutMenu);
        }
    }

    // Set the icon for this dialog. The framework does this
    automatically
    // when the application's main window is not a dialog
    SetIcon(m_hIcon, TRUE); // Set big icon
    SetIcon(m_hIcon, FALSE); // Set small icon

    // TODO: Add extra initialization here

    hIconLEDOff = (HICON)LoadImage(AfxGetApp()-
>m_hInstance,MAKEINTRESOURCE(IDI_LED_OFF), IMAGE_ICON,16,16,LR_DEFAULT
COLOR);
    hIconSWOff = (HICON)LoadImage(AfxGetApp()-
>m_hInstance,MAKEINTRESOURCE(IDI_SW_OFF), IMAGE_ICON,12,28,LR_DEFAULT
COLOR);
    hIconSWOn = (HICON)LoadImage(AfxGetApp()-
>m_hInstance,MAKEINTRESOURCE(IDI_SW_ON), IMAGE_ICON,12,28,LR_DEFAULT
COLOR);
    hIconLEDOn = (HICON)LoadImage(AfxGetApp()-
>m_hInstance,MAKEINTRESOURCE(IDI_LED_ON), IMAGE_ICON,16,16,LR_DEFAULT
COLOR);

    return TRUE; // return TRUE unless you set the focus to a
control
}

void CUSBDirectMonitorDlg::OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam)
{
    if ((nID & 0xFFFF) == IDM_ABOUTBOX)
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ CABoutDlgAbout เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        dlgAbout.DoModal();
    }
    else
    {
        CDialog::OnSysCommand(nID, lParam);
    }
}

// If you add a minimize button to your dialog, you will need the
// code below
// to draw the icon. For MFC applications using the document/view
// model,
// this is automatically done for you by the framework.

void CUSBDirectMonitorDlg::OnPaint()
{
    if (!IsIconic())
    {
        CPaintDC dc(this); // device context for painting
        SendMessage(WM_ICONERASEBKGND, (WPARAM) dc.GetSafeHdc(),
0);
        // Center icon in client rectangle
        int cxIcon = GetSystemMetrics(SM_CXICON);
        int cyIcon = GetSystemMetrics(SM_CYICON);
        CRect rect;
        GetClientRect(&rect);
        int x = (rect.Width() - cxIcon + 1) / 2;
        int y = (rect.Height() - cyIcon + 1) / 2;
        // Draw the icon
        dc.DrawIcon(x, y, m_hIcon);
    }
    else
    {
        CDialog::OnPaint();
    }
}

// The system calls this to obtain the cursor to display while the
// user drags
// the minimized window.
HCURSOR CUSBDirectMonitorDlg::OnQueryDragIcon()
{
    return (HCURSOR) m_hIcon;
}

FT_STATUS CUSBDirectMonitorDlg::OpenBy()
{
    UpdatedData(TRUE);
    FT_STATUS ftStatus;
    ULONG x=0;
    if(m_Radio_Search==0)
        ftStatus = FT_OpenEx((PVOID) (LPCTSTR)m_Selected Device,
FT_OPEN_BY_DESCRIPTION, &ftHandle);
    if(m_Radio_Search == 1)
        ftStatus = FT_OpenEx((PVOID) (LPCTSTR)m_Selected Device,
FT_OPEN_BY_SERIAL_NUMBER, &ftHandle);
    if((m_Radio_Search==2) || (m_Radio_Search==1))//if open by
device OR no method was selected

```

เอกสารนี้เป็นของลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    {
        if(m_Selected Device.GetLength() < 1)//nothing entered -
open default device 0
        {
            ftStatus = FT_Open(x,&ftHandle);//load default
device 0
        }
        else
        {
            if(m_Selected Device.GetLength() > 2)//no Open()
method selected...
            {
                AfxMessageBox("Select a method to open or
enter a valid device number (0-64).");
                return FT_DEVICE_NOT_OPENED;
            }
            x = atoi(m_Selected Device);
            ftStatus = FT_Open(x,&ftHandle);
        }
    }
    return ftStatus;
}

void CUSBDirectMonitorDlg::OnClearReceive()
{
    // TODO: Add your control notification handler code here
    CString str1;
    m_List_Receive.ResetContent();
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_DATA, "");
    str1.Format("0");
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_DATA1, str1);
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_DATA2, str1);
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_DATA3, str1);
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_DATA4, str1);
}

void CUSBDirectMonitorDlg::OnSelchangeListDevice()
{
    // TODO: Add your control notification handler code here
    UpdateData(TRUE);
    int pos = m_List_Device.GetCurSel();
    m_List_Device.GetText(pos, m_Selected_Device);
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_SELECTED_DEVICE, m_Selected_Device);
    UpdateData(FALSE);
}

void CUSBDirectMonitorDlg::OnOpenDevice()
{
    // TODO: Add your control notification handler code here
    UpdateData(TRUE);

    //open the device
    FT_STATUS ftStatus = OpenBy();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if (ftStatus > 0)
        {
            SetDlgItemText(IDC_STATIC_STATUS, "Could not open
device.");
        }
        else
        {
            SetDlgItemText(IDC_STATIC_STATUS, "Open Device
Successful.");
            GetDlgItem(IDC_OPEN_DEVICE) -> EnableWindow(FALSE);
            GetDlgItem(IDC_CLOSE_DEVICE) -> EnableWindow(TRUE);
            GetDlgItem(IDC_SEARCH) -> EnableWindow(FALSE);

            GetDlgItem(IDC_RADIO_SEARCH1) -> EnableWindow(FALSE);
            GetDlgItem(IDC_RADIO_SEARCH2) -> EnableWindow(FALSE);
            GetDlgItem(IDC_RADIO_SEARCH3) -> EnableWindow(FALSE);
            GetDlgItem(IDC_LIST_DEVICE) -> EnableWindow(FALSE);
            GetDlgItem(IDC_CLEAR_RECEIVE) -> EnableWindow(TRUE);
            m_LED8.SetIcon(hIconLEDOn);
            m_LED8.UpdateWindow();

            FT_ResetDevice(ftHandle);
            FT_Purge(ftHandle, FT_PURGE_RX | FT_PURGE_TX);
            FT_ResetDevice(ftHandle);
            FT_SetTimeouts(ftHandle, 3000, 3000); //extend timeout
while board finishes reset
            Sleep(150);
            if (!SetTimer(1, 100, NULL))
            {
                MessageBox(_T("Timer failed"), _T
("Error"), MB_ICONSTOP | MB_OK);
            }
        }
    }

void CUSBDirectMonitorDlg::OnSearch()
{
    // TODO: Add your control notification handler code here
    FT_STATUS ftStatus;
    DWORD numDevs;

    UpdateData(TRUE);
    m_List_Device.ResetContent();

    ftStatus = FT_ListDevices(&numDevs, NULL, FT_LIST_NUMBER_ONLY);
    if (ftStatus == FT_OK)
    {
        // FT_ListDevices OK, show number of devices connected in
list box

        CString str;
        str.Format("%d", (int)numDevs);
        //SetDlgItemText(IDC_STATIC_NUMBER_OF_DEVICE, str);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//if current mode is open "by description" then list
descriptions of all connected devices
if((m_Radio_Search==0) && (numDevs>0))
{
    ftStatus = FT_ListDevices(&numDevs, NULL,
FT_LIST_NUMBER_ONLY);
    if(ftStatus == FT_OK)
    {
        char *BufPtrs[64]; // pointer to array of 64
pointers
        for(DWORD d=0; d<numDevs; d++)
            BufPtrs[d] = new char[64];
            BufPtrs[d] = NULL;

        flStatus = FT_ListDevices(BufPtrs, &numDevs,
FT_LIST_ALL|FT_OPEN_BY_DESCRIPTION);
        if (FT_SUCCESS(flStatus))
        {
            for(DWORD u=0; u<numDevs; u++)
            {
                str.Format("%s", BufPtrs[u]);
                m_List_Device.AddString(str);
            }
        }
        else
        {
            str.Format("ListDevices failed");
            m_List_Device.AddString(str);
        }

        //free ram to avoid memory leaks
        for(d=0; d<numDevs; d++)
        {
            delete BufPtrs[d];
        }
    }
}

//if current mode is open "by serial number" the list
descriptions
//of all connected devices
if((m_Radio_Search==1) && (numDevs>0))
{
    //AfxMessageBox("by serial");
    ftStatus = FT_ListDevices(&numDevs, NULL,
FT_LIST_NUMBER_ONLY);
    if(ftStatus == FT_OK)
    {
        char *BufPtrs[64];
        for(DWORD d=0; d<numDevs; d++)
            BufPtrs[d] = new char[64];
            BufPtrs[d] = NULL;

        flStatus = FT_ListDevices(BufPtrs, &numDevs,
FT_LIST_ALL|FT_OPEN_BY_SERIAL_NUMBER);
        if (FT_SUCCESS(flStatus))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        for(DWORD u=0; u<numDevs; u++)
        {
            str.Format("%s", BufPtrs[u]);
            m_List_Device.AddString(str);
        }
    }
    else
    {
        str.Format("ListDevices failed");
        m_List_Device.AddString(str);
    }
    //free ram to avoid memory leaks
    for(d=0; d<numDevs; d++)
        delete BufPtrs[d];
}

//if current mode is open "by device #" then list device
numbers
if((m_Radio_Search==2) && (numDevs>0))
{
    for(DWORD d=0; d<numDevs; d++)
    {
        str.Format("%d", d);
        m_List_Device.AddString(str);
    }
}
else
{
    // FT listDevices failed
    AfxMessageBox("FT listDevices failed");
}
;

void CUSBDirectMonitorDlg::OnTimer(UINT nIDEvent)
{
    // TODO: Add your message handler code here and/or call default
    if(nIDEvent == 1)
    {
        DWORD EventDword;
        DWORD RxBytes;
        DWORD TxBytes;
        CString str;

        if(FT_GetStatus(ftHandle, &RxBytes, &TxBytes, &EventDword) == FT_OK)
        {
            if(RxBytes>0)
            {
                FT_STATUS ftStatus;
                DWORD BytesReceived;
                unsigned char *RxBuffer;
                RxBuffer = new unsigned char [RxBytes];
                FT_SetTimeouts(ftHandle, 500, 0);
            }
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ใดๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

        delete [] RxBuffer;
    } //RxByte
    } //GetStatus
} //if Event1

CDialog::OnTimer(nTDEvent);
}

void CUSBDirectMonitorDlg::OnCloseDevice()
{
    // TODO: Add your control notification handler code here
    FT_Close(ftHandle);
    KillTimer(1);
    CString str1;
    m_List_Receive.ResetContent();
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_DATA, "");
    str1.Format("");
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_DATA1, str1);
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_DATA2, str1);
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_DATA3, str1);
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_DATA4, str1);
    m_LED8.SetIcon(mIconLEDOff);
    m_LED8.UpdateWindow();
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_STATUS, "Device Closed.");
    GetDlgItem(IDC_OPEN_DEVICE)->EnableWindow(TRUE);
    GetDlgItem(IDC_CLOSE_DEVICE)->EnableWindow(FALSE);
    GetDlgItem(IDC_SEARCH)->EnableWindow(TRUE);
    GetDlgItem(IDC_RADIO_SEARCH1)->EnableWindow(TRUE);
    GetDlgItem(IDC_RADIO_SEARCH2)->EnableWindow(TRUE);
    GetDlgItem(IDC_RADIO_SEARCH3)->EnableWindow(TRUE);
    GetDlgItem(IDC_LIST_DEVICE)->EnableWindow(TRUE);
    GetDlgItem(IDC_BUTTON_GEN)->EnableWindow(FALSE);
    GetDlgItem(IDC_CLEAR_RECEIVE)->EnableWindow(FALSE);
}

void CUSBDirectMonitorDlg::OnGen()
{
    // TODO: Add your control notification handler code here
    CString str1;
    data_ans = (data1+data2+data3+data4) / 4;
    str1.Format("%.2f", data_ans);
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_DATA, str1);

    data1=0;
    data2=0;
    data3=0;
    data4=0;

    str1.Format("0");
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_DATA1, str1);
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_DATA2, str1);
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_DATA3, str1);
    SetDlgItemText(IDC_STATIC_DATA4, str1);
    GetDlgItem(IDC_BUTTON_GEN)->EnableWindow(FALSE);
}

```

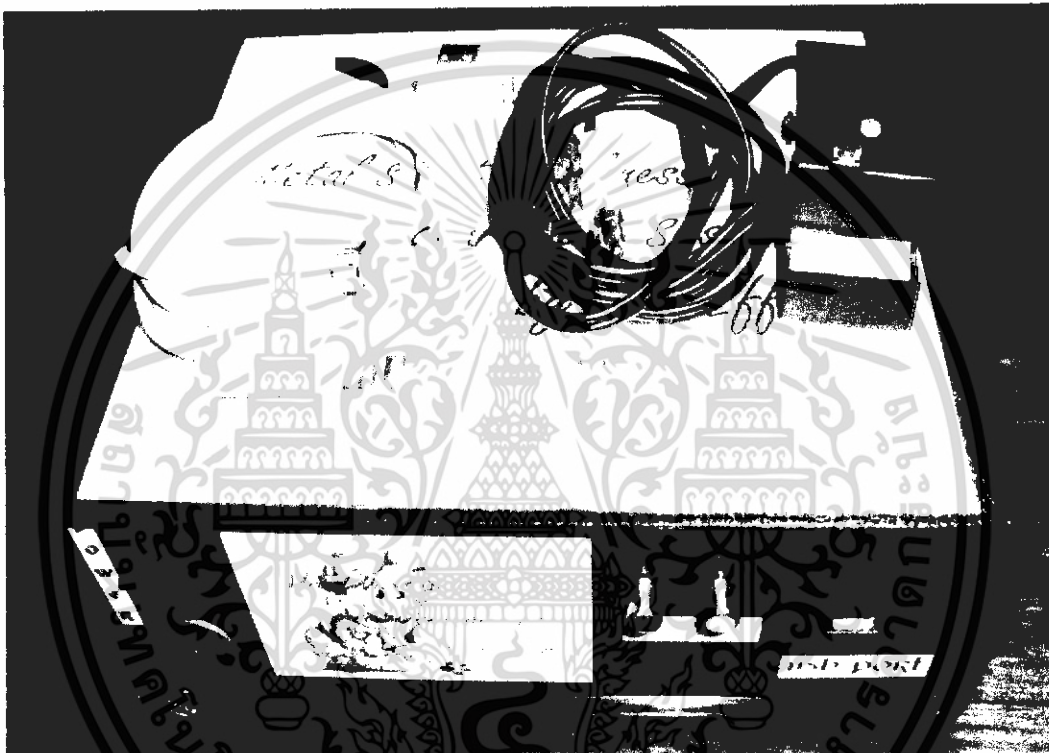
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน  
ระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์



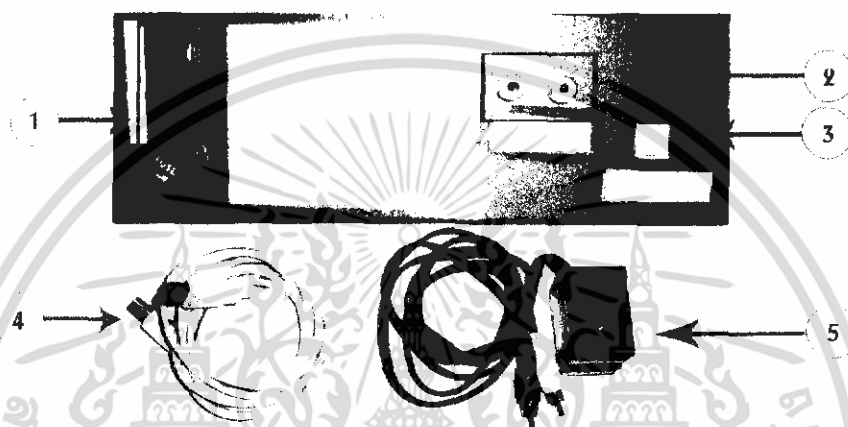
ภาควิชาวิศวกรรม  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะลงมือใช้งานระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์ ควรศึกษาการใช้งานจากคู่มือการใช้งานให้เข้าใจ เพื่อการใช้งานที่ถูกต้อง และเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์

## 2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์



รูปที่ ๒.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์

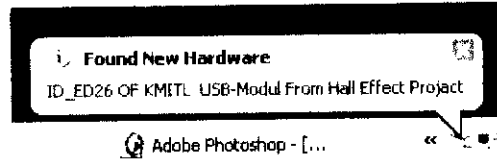
จากรูปที่ ๒.1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. พิวส์, สวิตช์ปิด - เปิดการทำงานของเครื่อง
2. ช่องเชื่อมต่อตัวหัววัด
3. ช่องเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB
4. สายเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB
5. หัววัด

## 3. การติดตั้งและการใช้งาน

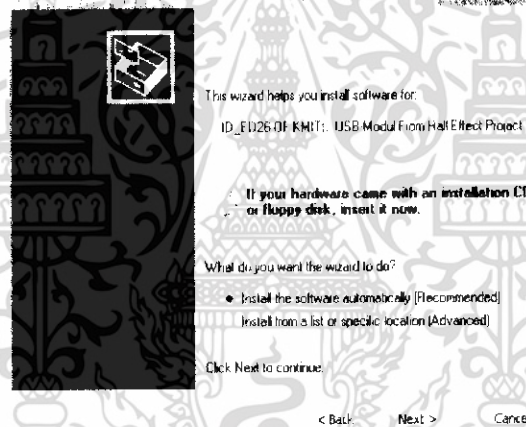
- 3.1 เสียบปลั๊กไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์
- 3.2 เปิดสวิตช์การทำงานของเครื่อง
- 3.3 เสียบสายเชื่อมต่อหัววัด
- 3.4 เสียบสาย USB เข้ากับระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์ จากนั้นวินโดวส์จะแสดงไดอะล็อกการตรวจพบอุปกรณ์ใหม่ภายในระบบ ดังรูปที่ ๒.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 วินโดวส์ตรวจพบฮาร์ดแวร์ใหม่

3.5 หลังจากนั้นจะมีไดอะล็อกแสดงว่าฮาร์ดแวร์ใหม่ที่วินโดวส์ตรวจพบคือ ID\_ED26 OF KMITL USB-Module Form Hall Effect Project ปรากฏขึ้นมา ให้ทำการเลือกวิธีการติดตั้งไดรฟ์เวอร์ในตัวเลือกที่ 2 ซึ่งเป็นการระบุตำแหน่งที่ตั้งของไดรฟ์เวอร์เอง จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Next เพื่อดำเนินการติดตั้งไดรฟ์เวอร์ต่อไป ดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 วินโดวส์ตรวจพบระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์

3.6 หลังจากนั้นจะมีไดอะล็อกสำหรับการค้นหาไดรฟ์เวอร์ปรากฏขึ้นมา ให้เลือกวิธีการค้นหาวิธีแรก แล้วเลือกเฉพาะตัวเลือก "Include this location in the search" จากนั้นคลิกปุ่ม Next ดังรูปที่ ข.4

Please choose your search and installation options.



- Search for the best driver in these locations.

Use the check boxes below to limit or expand the default search, which includes local paths and removable media. The best driver found will be installed.

Search removable media (floppy, CD-ROM, ...)

- Include this location in the search

|

Don't search. I will choose the driver to install.

Choose this option to select the device driver from a list. Windows does not guarantee that the driver you choose will be the best match for your hardware.

< Back Next > Cancel

#### รูปที่ ข.4 การเลือกวิธีการค้นหาไดรฟ์เวอร์

3.7 คลิกที่ปุ่ม Browse แล้วทำการระบุตำแหน่งของไดรฟ์เวอร์ซึ่งอยู่ภายใน CD-ROM ที่ไฟล์เตอร์ ".../Drivers/KMITL D2XXDirect Drivers" แล้วกดปุ่ม OK ดังรูปที่ ข.5

Select the folder that contains drivers for your hardware.

- Desktop
- + My Documents
- + My Computer
- + My Network Places
- T-st
- picture
- รูป

To view any subfolders, click a plus sign above.

OK Cancel

#### รูปที่ ข.5 การเลือกตำแหน่งของไดรฟ์เวอร์

3.8 เมื่อเลือกตำแหน่งของไดรฟ์เวอร์แล้วให้คลิกปุ่ม Next ดังที่ ข.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Please choose your search and installation options:



- Search for the best driver in these locations.

Use the check boxes below to limit or expand the default search, which includes local paths and removable media. The best driver found will be installed.

Search removable media (floppy, CD-ROM )

- Include this location in the search:

C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\1 ▾ Browse

Don't search, I will choose the driver to install

Choose the option to select the device driver from a list. Windows does not guarantee that the driver you choose will be the best match for your hardware.

< Back Next > Cancel

### รูปที่ ๓.6 เมื่อระบบตำแหน่งไดรฟ์เวอร์แล้ว

3.9 หลังจากนั้นวินโดวส์จะทำการตรวจหาไดรฟ์เวอร์ที่เหมาะสมที่อยู่ในไฟล์เตอร์ดังกล่าวแล้วแจ้งผลให้ทราบ ซึ่งในขั้นตอนนี้ชื่อฮาร์ดแวร์จะเปลี่ยนเป็น ID\_ED26 OF KMITL USB-Module Form Hall Effect Project และมีไดอะล็อกเตือนว่าไดรฟ์เวอร์ดังกล่าวยังไม่ผ่านการทดสอบของวินโดวส์ XP ให้คลิกที่ปุ่ม Continue Anyway จากนั้นวินโดวส์จะเริ่มติดตั้งไฟล์ต่างๆ ของไดรฟ์เวอร์เข้าสู่ระบบ ดังรูปที่ ๓.7

Please wait while the wizard installs the software...



ID\_ED26 OF KMITL USB-Module Form Hall Effect Project

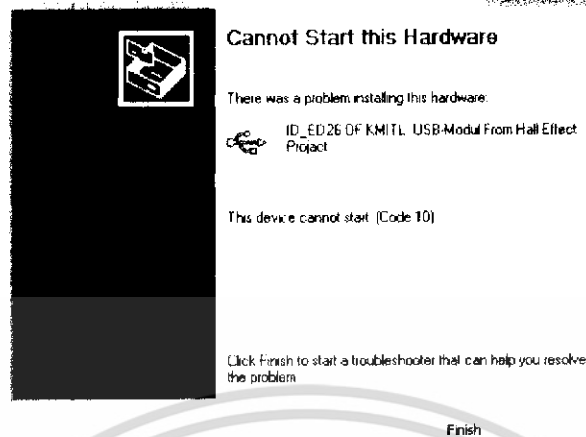
FTD2XX.dll  
To C:\WINDOWS\system32

๒๕๕๓-๐๖-๒๖ ๑๖:๑๖:๑๖

### รูปที่ ๓.7 ไดรฟ์เวอร์ที่วินโดวส์ตรวจพบ

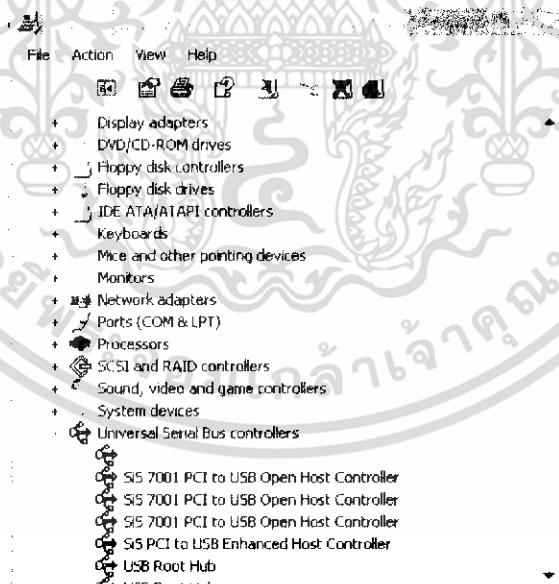
3.10 ในขั้นตอนสุดท้ายวินโดวส์จะทำการติดตั้งไดรฟ์เวอร์จากข้อ 3.6 ลงในระบบและจะมีไดอะล็อกแจ้งผลการติดตั้งดังรูป ๓.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.๘ ผลการติดตั้งของไดร์ฟเวอร์

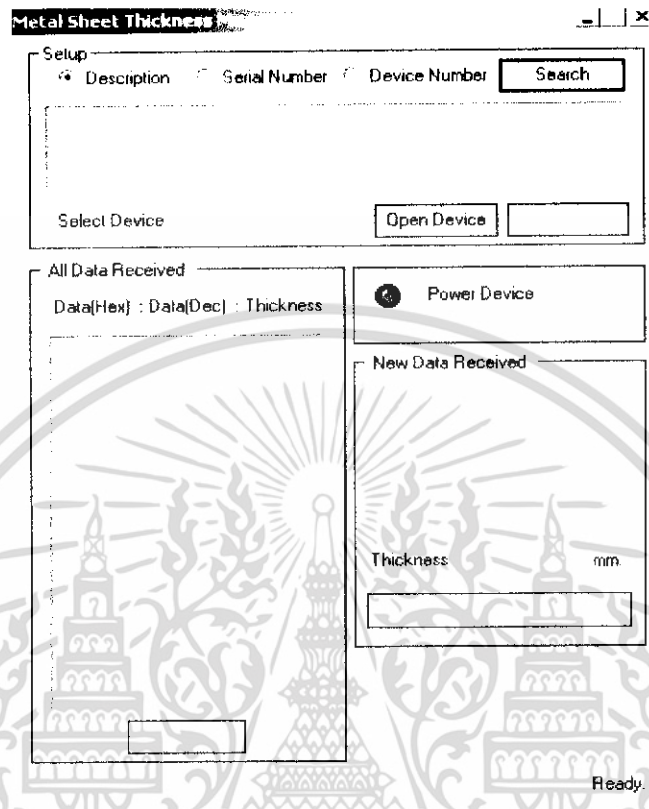
3.11 เราสามารถตรวจสอบได้ว่าโมดูล ID\_ED26 OF KMITL USB-Module Form Hall Effect Project สามารถทำงานได้หรือไม่โดยการดูที่ Control Panel > System ที่เห็น Device Manager จะเห็นได้ว่าในรายการฮาร์ดแวร์ที่ต่อกับระบบมีรายการของ ID\_ED26 OF KMITL USB-Module Form Hall Effect Project เพิ่มขึ้นมา ดังที่ ๓.9



รูปที่ ๓.๙ รายการฮาร์ดแวร์ที่ถูกเพิ่มขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

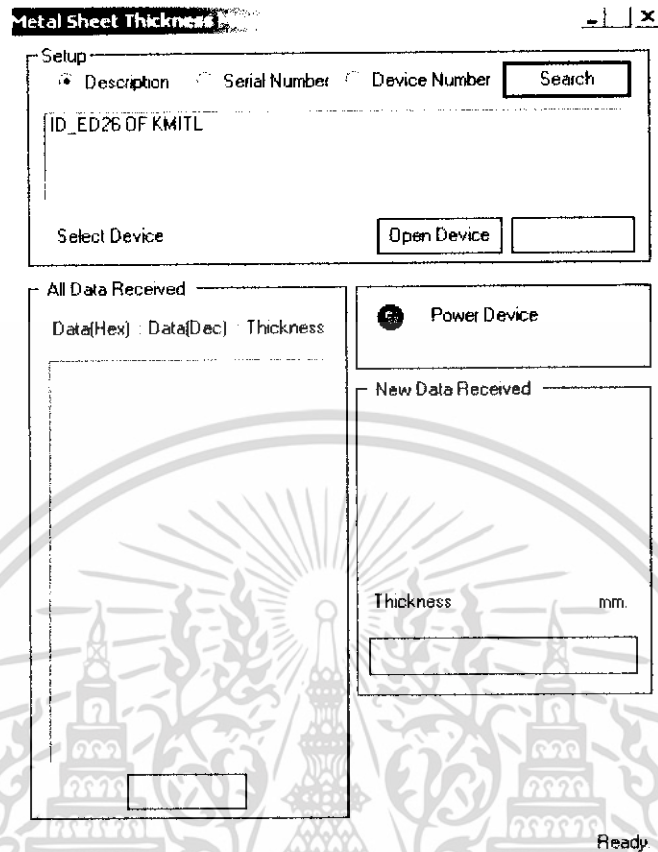
### 3.12 เปิดโปรแกรมระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์ ผลลัพธ์ดังรูปที่ ข.10



รูปที่ ข.10 หน้าตาโปรแกรมระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้อัลตราซาวด์

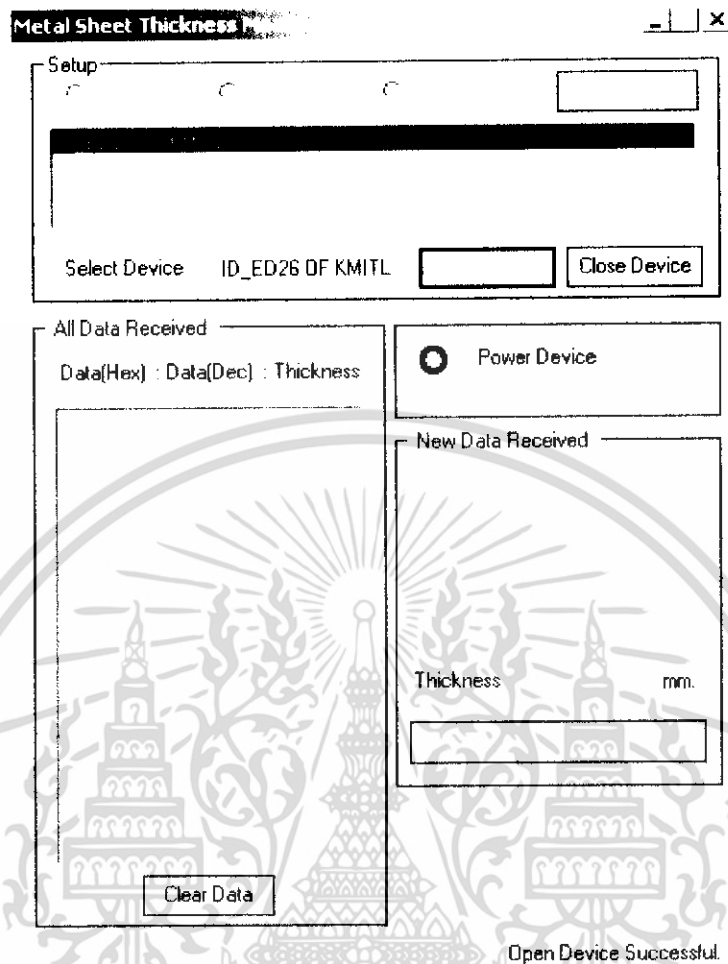
3.13 กดปุ่ม Search เพื่อค้นหาอุปกรณ์ที่ต่อกับระบบ โดยสามารถค้นหาได้ 3 แบบคือ Description คือการค้นหาคำอธิบายผลิตภัณฑ์, Serial Number คือการค้นหาหมายเลขยี่ห้ออุปกรณ์, และแบบ Device Number คือการค้นหาหมายเลขลำดับของอุปกรณ์ หากโปรแกรมเจออุปกรณ์จะแสดงดังรูปที่ ข.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.11 การค้นหาอุปกรณ์ แบบ Description

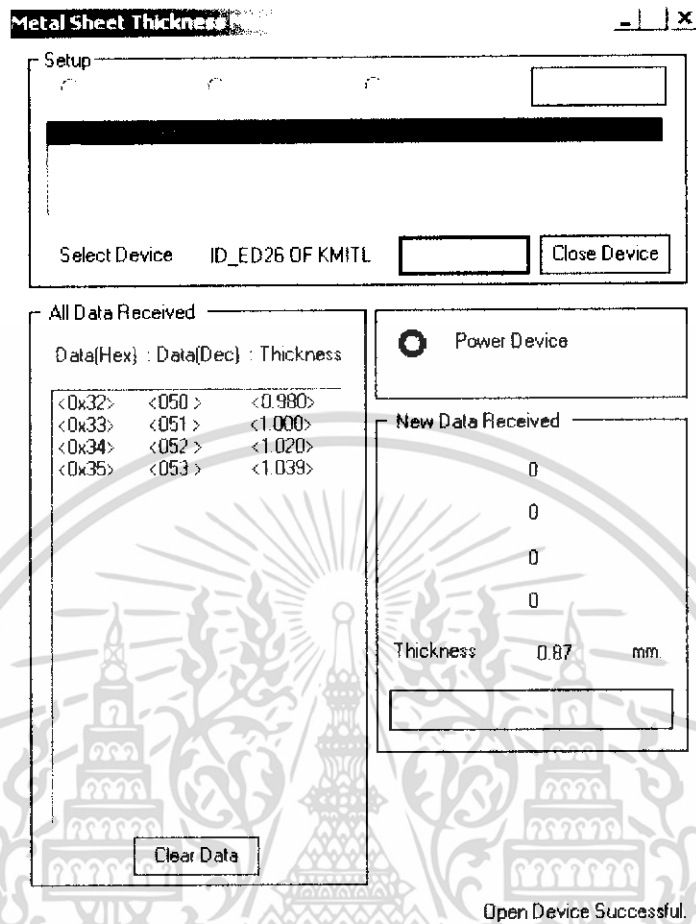
3.14 เลือกที่แถบรายการที่แสดงขึ้นมาแล้วกดปุ่ม Open หากการติดต่ออุปกรณ์สำเร็จที่แถบ Ready จะแสดงข้อความ "Open Device Successful." หากการติดต่อไม่สำเร็จจะแสดงข้อความว่า "Could not open device." ดังแสดงในรูปที่ ๓.12



รูปที่ 3.12 โปรแกรมทำการติดต่ออุปกรณ์สำเร็จ

3.15 ทดลองกดสวิตซ์ที่หัววัดของระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์ 4 ครั้ง แล้วทำการกดปุ่ม Generate เพื่อแสดงความหนาดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.13 ผลลัพธ์ของโปรแกรมเมื่อทำการกดสวิตช์

- 3.16 หากต้องการอ่านค่าต่อไป ทำได้โดยการกดสวิตช์ที่หัวอ่านอีกครั้ง
- 3.17 หากต้องการลบข้อมูลที่อ่านเข้ามาให้กดที่ปุ่ม Clear Data
- 3.18 หลังจากใช้งานเสร็จก่อนการออกจากโปรแกรมทุกครั้ง จะต้องปิดการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ก่อน โดยการกดที่ปุ่ม Close Device แล้วจึงค่อยปิดโปรแกรม

#### 4. การแก้ไขปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาในการใช้งานระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์ สามารถตรวจสอบแนวทางแก้ไขปัญหามือเบื้องต้นได้จากตารางข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ ข.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้น

อาการ	สาเหตุและ/หรือวิธีแก้ไข
เปิดโปรแกรมแล้วไม่สามารถติดต่อกับระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์ ได้	ตรวจสอบการติดตั้งไดรฟ์เวอร์ หรือให้แน่ใจแล้วว่าไดรฟ์เวอร์ได้ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว โดยสามารถตรวจสอบการติดตั้งได้โดยทำตามข้อ 3.10
ระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์ ไม่ทำงาน	ตรวจสอบพิวส์ของระบบวัดความหนาของแผ่นโลหะโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์ หรือดูปลั๊กไฟว่าได้เสียบไว้หรือไม่
ไม่สามารถติดตั้งไดรฟ์เวอร์	ตรวจสอบระบบปฏิบัติการว่าวินโดวส์ติดตั้งเวอร์ชันใดหากเป็น Windows XP สามารถติดตั้งตามขั้นตอนที่ 3.3 ถึง 3.10 ได้ทันที หากเป็นเวอร์ชันอื่นบางขั้นตอนอาจแตกต่างกันออกไปแต่สามารถติดตั้งได้เหมือนกัน

## 5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

### 5.1 การดูแลรักษา

1. เช็ดทำความสะอาดตัวเครื่องและหัววัดด้วยผ้านุ่ม อย่าใช้สารใดๆ ที่เป็นตัวทำละลายเพราะอาจทำให้ตัวเครื่องเสียหาย
2. ตรวจสอบขั้วต่อสายไฟของวงจรภายในเครื่องให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานเสมอ
3. ควรมีการซ่อมบำรุงเป็นระยะเพื่อป้องกันการลดอัตราการเสื่อมสภาพของตัวเครื่องเพื่อให้งานตัวเครื่องเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 5.2 ข้อควรระวัง

1. ควรศึกษาคู่มือการใช้งานระบบก่อนการใช้งานระบบ
2. ควรวางตัวเครื่องใกล้กับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อความสะดวกในการใช้งาน
3. การเคลื่อนย้ายควรเคลื่อนย้ายด้วยความระมัดระวัง เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบ
4. เนื่องจากหัววัดเป็นตัวตรวจสอบสนามแม่เหล็ก ดังนั้นไม่ควรทำการวัดหรือตรวจสอบชิ้นงานใกล้กับแหล่งสนามแม่เหล็กอื่น

5. การใช้งานโปรแกรมแต่ละครั้ง หลังจากเปิดการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์แล้วจะต้องปิดการเชื่อมต่อก่อนการปิดโปรแกรมทุกครั้ง เพื่อป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดกับระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. ข้อมูลจำเพาะ

ตารางที่ ๕.2 ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
หัววัดของระบบ	ใช้หลักการตรวจสอบความเข้มข้นแม่เหล็ก โดยใช้ตัวตรวจสอบความเข้มข้นแม่เหล็กทำงานร่วมกับแม่เหล็กถาวร
วงจรมหาขยาย	จะใช้ออปแอมป์ในการประกอบวงจร ในลักษณะของวงจร Instrument Amplifier เพื่อขยายสัญญาณที่มีขนาดเล็กและป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้น
การเชื่อมต่อ	เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB
แหล่งจ่ายพลังงาน	ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 - 60 เฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายนิเวทย์ คงศรีลังก์
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 5 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2526
ภูมิลำเนา	248/1 หมู่ 7 ตำบล กรุงเทพมหานคร อำเภอ ทุ่งใหญ่ จังหวัด นครศรีธรรมราช 80240
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนองค์การสวนยาง 3 จังหวัด นครศรีธรรมราช
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเสมีตจวนวิทยาคม จังหวัด นครศรีธรรมราช
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมการต่อเรือ นครศรีธรรมราช จังหวัด นครศรีธรรมราช
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต
ปริญญาตรี	สาขาวิชา คอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
คติพจน์	อย่าเสียดายในสิ่งที่ทำ แต่จงเสียดายในสิ่งที่ไม่ได้ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายสหัส เลื่อยีนยง
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 22 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2526
ภูมิลำเนา	62/1 หมู่ 1 ตำบล นาเหนือ อำเภอ อ่าวลึก จังหวัด กระบี่ 81110
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนศึกษาสงเคราะห์เขาพนม จังหวัด กระบี่
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนศึกษาสงเคราะห์เขาพนม จังหวัด กระบี่
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคพังงา จังหวัด พังงา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคพังงา จังหวัด พังงา
ปริญญาตรี	สาขาวิชา คอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. ทำวันนี้ให้ดีที่สุด
คติพจน์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นางสาวรุ่งรัตน์ ประเสริฐ
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 18 เดือน มกราคม พ.ศ.2526
ภูมิลำเนา	53/89 หมู่ 7 ตำบล บางชัน อำเภอ คลองสามวา จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10520
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดคูบัว
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสตรีศรีอยุธยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี จังหวัด กรุงเทพมหานคร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี จังหวัด กรุงเทพมหานคร
ปริญญาตรี	สาขาวิชา คอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
คติพจน์	ทะเลสาบต้องมีคลื่น ชีวิตจะราบรื่นต้องมีอุปสรรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้