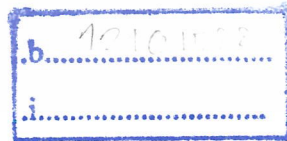


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการใช้เลเซอร์ไดโอดวัดความลึกของวัตถุ



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 104375  
วัน,เดือน,ปี - 2 . 11 . ย . 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# The Study of Using Laser Diode to Determine Depth of Machined Work Piece



MR. NATTHAWUTHI

SANGUANPONGS

MR. SAPPASITH

SERMSRITHONG

MR. ARMORN

KUNPRAYOONSAWAT

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT**

**OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF**

**BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรองรับปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การศึกษาการใช้เลเซอร์ไดโอดวัดความลึกของวัตถุ  
The Study of Using Laser Diode to Determine Depth of Machined Work Piece

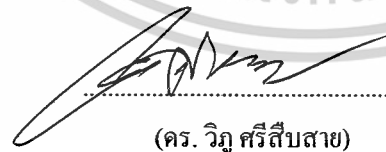
นักศึกษา	นายณัฐวุฒิ	สงวนพงษ์	รหัสนักศึกษา	48010280
นักศึกษา	นายสรรพสิทธิ์	เสริมศรีทอง	รหัสนักศึกษา	48010941
นักศึกษา	นายอมร	คุณประยูรสวัสดิ์	รหัสนักศึกษา	48011074

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท



(ผศ.ดร. สรรพสิทธิ์ถิมนรัตน์)



(ดร. วิภู ศรีสืบสาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญาานิพนธ์	การศึกษาการใช้เลเซอร์ไดโอดวัดความลึกของวัตถุ
นักศึกษา	นายณัฐวุฒิ สงวนพงษ์ นายสรรพสิทธิ์ เสริมศรีทอง นายอมร คุณประยูรสวัสดิ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2551
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญาานิพนธ์	ผศ.ดร. สรรพสิทธิ์ ลิ้มนรรรัตน์ ดร. วิภู ศรีสืบสาย

### บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้เลเซอร์ไดโอดในการวัดความลึกของวัตถุ ซึ่งลักษณะของวัตถุที่จะนำมาวัดจะต้องมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้และมีจุดอ้างอิงกับความลึกที่จะทำการวัด โดยการดำเนินการของโครงการนี้จะใช้เลเซอร์ไดโอดที่มีโฟโตไดโอดเป็นเครื่องมือวัดความลึกของวัตถุ ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้า แล้วจึงนำค่าที่วัดได้นี้ไปแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อนำไปประมวลผลและสร้างโปรแกรมการวัดความลึกของวัตถุโดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ วิซวล เบสิก 6.0 โดยผลการทดลองจากการวัดค่าความลึกของชิ้นงานที่นำมาทดสอบ ซึ่งเป็นชิ้นงานที่ได้จากการกัดให้มีความลึกที่ระดับต่าง ๆ กัน คือ 1,2,3,4,5 มิลลิเมตร ได้ผลการทดลองคือค่าสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้จะลดลง 1 มิลลิโวลต์ ที่ความลึก 1 มิลลิเมตร มีแนวโน้มเป็นเชิงเส้น และจากการวัดความลึกของชิ้นงานที่ความลึก 1 มิลลิเมตร จำนวน 30 ครั้ง พบว่าการใช้เลเซอร์ไดโอดวัดความลึกของวัตถุมีค่า Mean Absolute Deviation เท่ากับ 0.067 มิลลิเมตร หรือมีความผิดพลาดไป 0.067 มิลลิเมตร และมีค่าการวัดซ้ำที่ตำแหน่งเดิมเท่ากับ 0.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Thesis** The Study of Using Laser Diode to Determine Depth of Machined Work Piece

**Student** Mr. Natthawuthi Sanguanpongs  
Mr. Sappasith Sermsrithong  
Mr. Armorn Kunprayoonsawat

**Degree** Bachelor of Engineering in Industrial Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

**Academic Year** 2008

**Advisor** Asst. Prof. Dr. Sunpasit Limnararat  
Dr. Wipoo Sriseubsai

### ABSTRACT

This project was to study and develop the using of laser diode to determine the object's depth. The reflection ability and reference point of sample were required. Laser diode provided the electrical signal and could be transferred to the object's depth by analog to digital and computer program that was developed by Microsoft Visual Basic 6.0. The experiments were performed by measuring the various depths: 1, 2, 3, 4, and 5 mm, respectively. The results show that when 1mm of depth was increased, the voltage was increased, 1mV. The result data from measured 30 trials for each depth were plotted and showed linear pattern. The depth Mean Absolute Deviation was 0.067 or the error was 0.067 and the Repeatability was 0.26.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำสนับสนุนของอาจารย์เป็นอย่างดี ตลอดจนงานโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณ

ผศ. ดร.สรรพสิทธิ์ ถิ่นนวรรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำ และกำลังใจตลอดในการทำโครงการนี้ รวมถึงช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ดร.วิภู ศรีสืบสาย อาจารย์ที่ปรึกษาสำหรับคำแนะนำ ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ความเอาใจใส่เป็นอย่างดี และอำนวยความสะดวกในเรื่องการสร้างฮาร์ดแวร์

ดร.อนิรุท ไชยจารุวิช เป็นผู้อำนวยความสะดวกในการมาทำงานที่คณะวิศวกรรมอุตสาหกรรม และเป็นผู้ที่ช่วยคอยควบคุมดูแลเรื่องปริญญานิพนธ์ ให้คำแนะนำในการเขียนปริญญานิพนธ์ และตลอดจนเรื่องค่าใช้จ่ายในการทำโปรเจกต์ในครั้งนี้

ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ อาจารย์เป็นผู้ให้คำแนะนำถึงแนวทางการทำที่เป็นไปได้ ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ และคำปรึกษาที่ดีตลอดมา

ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่ได้ให้โอกาส คำแนะนำ และความเอาใจใส่เป็นอย่างดี

รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช อาจารย์เป็นผู้ให้คำแนะนำ ความเอาใจใส่ และกำลังใจตลอดในการทำโครงการนี้เป็นอย่างดี

ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต อาจารย์เป็นผู้ให้คำแนะนำถึงแนวทางในการทำที่เป็นไปได้ ความช่วยเหลือต่างๆ และคำปรึกษาที่ดีตลอดมา

อาจารย์กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข เป็นผู้อำนวยความสะดวกในการมาทำงานที่คณะวิศวกรรมอุตสาหกรรม และสำหรับคอมพิวเตอร์ในการใช้ควบคุมโครงการปริญญานิพนธ์

อาจารย์พลชัย โชติปราชญ์กุล เป็นผู้อำนวยความสะดวกในการมาทำงานที่คณะวิศวกรรมอุตสาหกรรม และสำหรับอุปกรณ์ในการใช้ทำโครงการปริญญานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน ที่มอบวิชาความรู้ต่างๆ ให้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนที่ให้โอกาสและคอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา

ขอขอบคุณ พี่แต้นสำหรับเรื่องการดูแลเอกสารต่างๆ และจัดการในทุกๆ เรื่อง

ขอขอบคุณ พี่ชุกและพี่โหน่งสำหรับคำแนะนำในทุกๆ เรื่อง

ขอขอบคุณ เพื่อนภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกคนรวมทั้งเพื่อนต่างภาควิชา และต่างคณะอีกมากมายที่มอบกำลังใจ ความผูกพัน ไมตรี และความสนุกสนาน ตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้โอกาสคณะผู้จัดทำสามารถบรรลุเป้าหมายของโครงการนี้

นาย ณัฐวุฒิ สงวนพงษ์

นาย สรรพสิทธิ์ เสริมศรีทอง

นาย อมร คุณประยูรสวัสดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี</b>	
2.1 ธรรมชาติของแสง.....	3
2.1.1 หลักของฮอยเกนส์.....	4
2.1.2 การแทรกสอดของแสง.....	4
2.1.3 การเลี้ยวเบนของแสง (Diffraction).....	5
2.2 หลักการเกิดแสงเลเซอร์ทั่วไป.....	6
2.2.1 เลเซอร์ไดโอด.....	9
2.2.2 กลไกการเปล่งแสงของเลเซอร์ไดโอด.....	10
2.2.3 กลไกการทำงานของโฟโตไดโอด.....	12
2.3 ทฤษฎีเซลล์โซลาร์เซลล์.....	14
2.3.1 เงื่อนไขของเลเซอร์ออสซิลเลชันเมื่อมีแควิตี้ภายนอก.....	14
2.3.2 กำลังเอาต์พุตและความถี่ออสซิลเลชัน.....	17
2.3.3 กำลังเอาต์พุตและความยาวแควิตี้ภายนอก.....	19
2.4 อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to digital converters).....	22
2.4.1 ลักษณะทั่วไปของบอร์ด ET-AD12.....	23
2.4.2 คุณสมบัติของบอร์ด ET-AD12.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบและต่อวงจรไฟฟ้าของเลเซอร์ไดโอด.....	25
3.1.1 เลเซอร์ไดโอดและโฟโตไดโอด.....	25
3.1.2 การออกแบบและต่อวงจรไฟฟ้าของเลเซอร์ไดโอด.....	26
3.2 การทดลองหาความสามารถของเลเซอร์ไดโอดในการวัดความลึกของวัตถุ.....	26
3.3 การทดลองหาค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดความลึกของวัตถุ โดยใช้เลเซอร์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้.....	27
3.4 การออกแบบและต่อวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล.....	28
3.5 การออกแบบและสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการวัดความลึกของวัตถุ.....	29
3.6 การวางแผนการทดลองโปรแกรมวัดความลึกของวัตถุ โดยใช้เลเซอร์.....	31

### บทที่ 4 ผลการดำเนินการ

4.1 ผลการดำเนินการด้านฮาร์ดแวร์.....	33
4.2 ผลการทดลองด้าน โปรแกรม.....	34
4.3 ผลการทดลอง.....	36
4.3.1 การหาค่าความผิดพลาด (Error).....	36
4.3.2 การวัดความลึกซ้ำที่ตำแหน่งเดิม (Repeatability).....	38
4.3.3 ค่าความละเอียดในการวัด.....	38
4.3.4 การทดลองใช้เลเซอร์ไดโอดวัดความสูง.....	39

### บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและแนวทางการแก้ไข

5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์.....	41
5.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานด้านซอฟต์แวร์.....	41
5.3 ข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาและแก้ไข.....	41

บรรณานุกรม.....42

ภาคผนวก.....ผ.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงที่ตามองเห็น.....	3
รูปที่ 2.2 แสดงหน้าคลื่นวงกลม.....	3
รูปที่ 2.3 แสดงหน้าคลื่นระนาบ.....	3
รูปที่ 2.4 แสดงหน้าคลื่นใหม่.....	4
รูปที่ 2.5 แสดงคลื่นแสง 2 ขบวนจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์แทรกสอดกันบนฉาก.....	4
รูปที่ 2.6 แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่น.....	5
รูปที่ 2.7 แสดงลดทอนการเลี้ยวเบนของช่องแคบเดี่ยว.....	5
รูปที่ 2.8 แสดงการดูดกลืนพลังงาน.....	7
รูปที่ 2.9 แสดงการดูดกลืนพลังงานและการปล่อยโฟตอนโดยธรรมชาติ.....	8
รูปที่ 2.10 แสดงการปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้น.....	8
รูปที่ 2.11 แสดงองค์ประกอบในการทำให้เกิดเลเซอร์.....	9
รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด.....	10
รูปที่ 2.13 แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดที.....	11
รูปที่ 2.14 รอยต่อพีเอ็นทีโคปสารเจือปนด้วยความเข้มสูง.....	11
รูปที่ 2.15 แสดงรอยต่อพีเอ็นทีกำเนิดแสงเลเซอร์ในเลเซอร์ไดโอด.....	11
รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างพื้นฐานรอยต่อ pn ของไฟโตไดโอด.....	12
รูปที่ 2.17 แสดงแถบพลังงานของไฟโตไดโอด.....	13
รูปที่ 2.18 ลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในไฟโตไดโอด.....	13
รูปที่ 2.19 แสดงแบบจำลองการเดินทางของแสงภายในแควิตีของเลเซอร์ไดโอดที่มีแควิตีภายนอก.....	14
รูปที่ 2.20 แบบจำลองแควิตีของเลเซอร์ที่มีแควิตีภายนอก.....	15
รูปที่ 2.21 แบบจำลองวงจรสมมูลของเลเซอร์ไดโอดเมื่อมีตัวสะท้อนภายนอก.....	16
รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเอาต์พุตกับค่ากระแสขับ.....	17
รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังเอาต์พุตและค่ากระแสขับที่ค่าความยาวแควิตีภายนอกต่างๆกัน.....	18
รูปที่ 2.24 ค่ากำลังเอาต์พุตเป็นฟังก์ชันของความยาวแควิตีภายนอก.....	20
รูปที่ 2.25 ค่ากำลังเอาต์พุตเป็นฟังก์ชันของความยาวแควิตีภายนอกสำหรับตำแหน่งของแควิตีภายนอกที่ต่างกัน (ก) $R=0.248$ , $L=15-19$ mm (ข) $R=0.248$ , $L=100-104$ mm.....	20
รูปที่ 2.26 ค่ากำลังเอาต์พุตเป็นฟังก์ชันของความยาวแควิตีภายนอกสำหรับค่าการสะท้อนกลับของแสงที่ต่างกัน (ก) $R=0.0115$ , $L=15-19$ mm (ข) $R=0.387$ , $L=15-19$ mm.....	21
รูปที่ 2.27 การแทรกสอดภายในเลเซอร์แควิตีแบบฟาบริ-เพอโร (Fabry-Perot).....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.28 การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณการแทรกสอดภายในเลเซอร์แควิตีแบบฟาบรี-เพอร์โร.....	22
รูปที่ 2.29 บอร์ด ET-AD12.....	23
รูปที่ 3.1 เลเซอร์ไดโอด รุ่น SANYO DL3038-011(ก) โครงสร้างภายนอกของเลเซอร์ไดโอด (ข) ไดอะแกรม แสดงภายในของเลเซอร์ไดโอด.....	26
รูปที่ 3.2 วงจรไฟฟ้าของเลเซอร์ไดโอด.....	26
รูปที่ 3.3 แสดงความสามารถของเลเซอร์ไดโอดในการวัดความลึกที่ระดับต่างๆ.....	27
รูปที่ 3.4 แสดงค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดความลึกของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้.....	28
รูปที่ 3.5 วงจรเพิ่มเติมที่ใช้ร่วมกับบอร์ด ET-AD12.....	29
รูปที่ 3.6 การออกแบบ โปรแกรมที่ใช้ในการวัดความลึกของวัตถุ.....	30
รูปที่ 3.7 โปรแกรมวัดความลึกของวัตถุ.....	31
รูปที่ 3.8 ชิ้นงานตัวอย่างที่จะทำการวัดความลึก.....	32
รูปที่ 4.1 การติดตั้งหัวเลเซอร์เข้ากับตัวเครื่อง.....	33
รูปที่ 4.2 การทดลองใช้เลเซอร์วัดความลึกของวัตถุ.....	34
รูปที่ 4.3 รูปแบบฟอร์มของ โปรแกรม ก่อนทำการวัดความลึก.....	35
รูปที่ 4.4 รูปแบบฟอร์ม พร้อมข้อมูลแรงดันค่าที่ 1 หลังจากทำการวัด.....	35
รูปที่ 4.5 รูปแบบฟอร์ม พร้อมข้อมูลแรงดันค่าที่ 2 หลังจากทำการวัด.....	36
รูปที่ 4.6 รูปแบบฟอร์ม พร้อมค่าความลึกที่ได้จากการคำนวณ.....	36
รูปที่ 4.7 แสดงความสามารถของเลเซอร์ไดโอดในการวัดความสูงที่ระดับต่างๆ.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สัญลักษณ์และจุดเชื่อมต่อของบอร์ด ET-AD12.....	24
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองหาค่าความผิดพลาด.....	37
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองหาค่าความละเอียดในการวัด.....	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจำเป็นต้องมีการทดสอบผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อหาคุณภาพและมาตรฐานของผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังใช้ในการตรวจสอบบำรุงวัสดุหรือเครื่องมือต่างๆ ด้วย สำหรับการทดสอบดังกล่าวแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การทดสอบแบบทำลายและการทดสอบแบบไม่ทำลาย อย่างไรก็ตามในที่นี้จะกล่าวถึงการทดสอบแบบไม่ทำลาย เพราะมีข้อดีคือไม่ทำให้วัสดุที่นำมาทดสอบเกิดความเสียหาย ดังนั้นวิธีการนี้จึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นวิธีการทดสอบ นอกจากนี้ในกรณีที่วัสดุที่นำมาทดสอบบางอย่างมีขนาดเล็กและบาง อาจเกิดความเสียหายได้ขณะนำมาทดสอบ ดังนั้นเทคนิคทางแสงจึงเป็นตัวเลือกที่ดีตัวหนึ่ง

ดังนั้นทางกลุ่มผู้จัดทำจึงเห็นความสำคัญของการตรวจสอบด้วยแสงเลเซอร์ ซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมมากในตอนนี้ อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้โดยใช้ทฤษฎีเซลล์ฟิมิกซิงในการตรวจสอบความลึกของวัตถุได้ ซึ่งเทคโนโลยีการตรวจสอบด้วยวิธีอื่นสามารถทำได้แต่อาจมีความยุ่งยากมากกว่า ผู้จัดทำจึงมีความเห็นร่วมกันว่าการวัดความลึกด้วยแสงเลเซอร์ดังกล่าวมีประโยชน์อย่างมากสามารถนำไปใช้ได้จริงจึงมีความเห็นว่าจะทำการวัดความลึกของวัตถุด้วยวิธีดังกล่าว

### 1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของโครงการ ได้แก่

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการตรวจสอบการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้ทฤษฎีเซลล์ฟิมิกซิงได้
2. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจสอบความลึกของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ได้
3. เพื่อทำการศึกษาโปรแกรม Visual Basic และนำมาประยุกต์ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลเพื่อทำงานร่วมกับเครื่องมือตรวจสอบความลึกได้

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษารั้งนี้ สามารถกำหนดได้ดังนี้

1. สามารถตรวจสอบความลึกของวัตถุที่สามารถสะท้อนแสงได้โดยใช้เลเซอร์
2. สามารถบอกความลึกที่วัดได้จากตรวจสอบ
3. สามารถนำผลการตรวจสอบมาแสดงผลเป็นข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายได้
2. สามารถเข้าใจวิธีการตรวจสอบความลึกของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ได้
3. สามารถใช้โปรแกรม Visual Basic ในการรับ-ส่งข้อมูลเพื่อทำงานร่วมกับเครื่องมือตรวจสอบความลึกได้



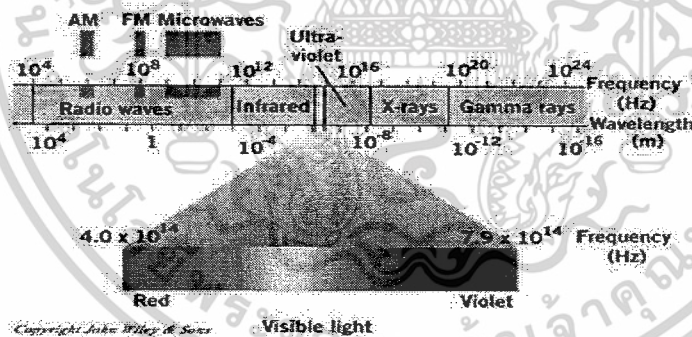
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

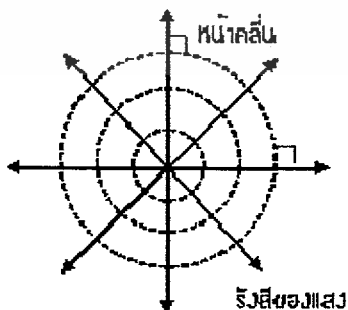
# หลักการและทฤษฎี

### 2.1 ธรรมชาติของแสง

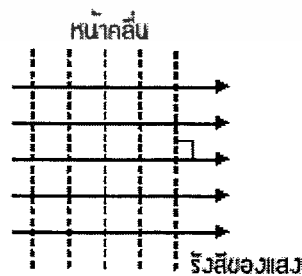
ก่อนศตวรรษที่ 17 การศึกษาเรื่องแสงเชื่อกันว่า แสงเป็นอนุภาคที่ถูกส่งออกมาจากต้นกำเนิดแสง แสงสามารถผ่านทะลุวัตถุโปร่งใสและสะท้อนจากผิวของวัตถุทึบแสงได้ เมื่ออนุภาคเหล่านี้ผ่านเข้าสู่ตาจะทำให้เกิดความรู้สึกรู้สึกในการมองเห็น นิวตัน (Newton) ได้เสนอทฤษฎีอนุภาคของแสง (particle theory) ซึ่งสามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์สะท้อนและการหักเหของแสง ฮอยเกนส์ (Christain Huygen) ได้เสนอทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นแสง (Waves Theory) กล่าวว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และเดินทางในลักษณะของคลื่น นอกจากนี้ยังได้แสดงให้เห็นว่า การกระเจิง และการหักเหสามารถอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎีคลื่นแสง ทอมัส ยัง (Thomas Young) ได้ค้นพบปรากฏการณ์การแทรกสอดของแสง เฟรสเนล (Augustin Fresnel) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของแสง แสงช่วงที่ตาสามารถมองเห็นมีค่าอยู่ระหว่าง 400 – 700 นาโนเมตร และมีความถี่ในช่วง 10<sup>3</sup>-10<sup>5</sup> เฮิรตซ์ โดยแสงสีม่วงที่มีความยาวคลื่นน้อยที่สุด หรือ ความถี่สูงสุด ส่วนแสงสีอื่น ๆ ให้สเปกตรัมของแสงในช่วงนี้ที่มีความยาวคลื่นสูงขึ้นตามลำดับ จนถึงแสงสีแดงมีความยาวคลื่นมากที่สุดหรือมีความถี่ต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.1, 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.1 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงที่ตามองเห็น



รูปที่ 2.2 แสดงหน้าคลื่นวงกลม

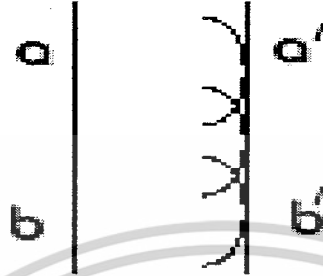


รูปที่ 2.3 แสดงหน้าคลื่นระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 หลักของฮอยเกนส์

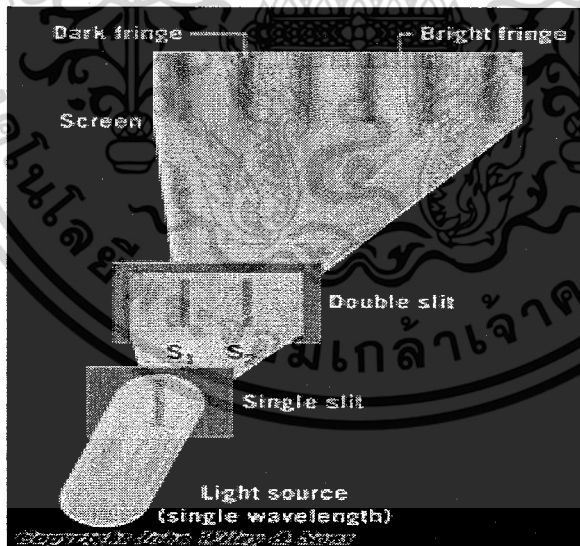
หลักของฮอยเกนส์ กล่าวว่า “ทุก ๆ จุดบนหน้าคลื่นเดียวกัน อาจถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นชุดใหม่ ที่แผ่ออกไปทุกทิศทางด้วยอัตราเร็วเท่าเดิม” ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงหน้าคลื่นใหม่

### 2.1.2 การแทรกสอดของแสง

การแทรกสอดของแสง (Interference) เกิดได้ต่อเมื่อคลื่นแสง 2 ขบวนเคลื่อนที่มาพบกัน จะเกิดการรวมตัวกันและแทรกสอดกันเกิดเป็นแถบมืดและแถบสว่างบนฉาก โดยแหล่งกำเนิดแสงจะต้องเป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์ (Coherent Source) คือเป็นแหล่งกำเนิดที่ให้คลื่นแสงความถี่เดียวกัน และความยาวคลื่นเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5



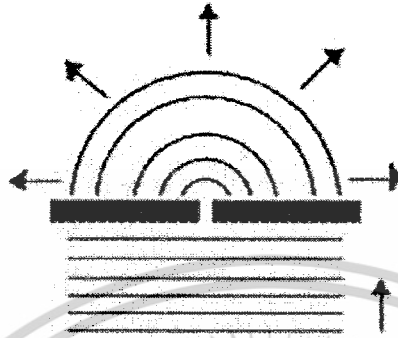
รูปที่ 2.5 แสดงคลื่นแสง 2 ขบวนจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์แทรกสอดกันบนฉาก

จากรูปที่ 2.5 แถบสว่างบนฉากเกิดจากการแทรกสอดแบบเสริม และแถบมืดเกิดจากการแทรกสอดแบบหักล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

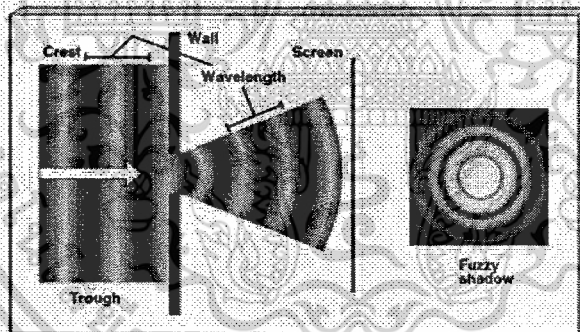
### 2.1.3 การเลี้ยวเบนของแสง (Diffraction)

การเลี้ยวเบนของคลื่น (Diffraction) เกิดขึ้นเมื่อคลื่นถูกกีดขวาง สิ่งกีดขวางอาจเป็นฉากที่มีรูเปิดเล็ก ๆ หรือช่องแคบที่ปล่อยให้คลื่นผ่านไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่น

สมมติลำแสงขนานมาจากทางซ้ายผ่านช่องแคบดังรูป ถ้าแสงไม่มีการเลี้ยวเบนแสงที่ผ่านออกไปจะมีขนาดเท่ากับช่องแคบ  $S$  แต่ความจริงแล้วแสงมีการเลี้ยวเบน จึงปรากฏเป็นแถบมืดและสว่างสลับซ้ายขวา ดังแสดงรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงผลของการเลี้ยวเบนของช่องแคบเดี่ยว

แต่การเข้าใจธรรมชาติของแสงก็ไม่สามารถใช้ทฤษฎีคลื่นแสงมาอธิบายการเกิดเลเซอร์ได้ ดังนั้นหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงหลักการเกิดแสงเลเซอร์และการประยุกต์ใช้งาน (สุรพล รักวิจัย ; 2547 , ฟิสิกส์ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 หลักการเกิดแสงเลเซอร์ทั่วไป

เลเซอร์(Laser) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากกระบวนการที่เรียกว่า Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation ความคิดในการสร้างเลเซอร์เริ่มจากทฤษฎีของไอน์สไตน์ (Albert Einstein) ในปี ค.ศ. 1917 ซึ่งอธิบายหลักการปล่อยโฟตอนโดยการกระตุ้น (stimulated emission) อะตอม เพราะในการเกิดการปล่อยโฟตอนดังกล่าวจะทำให้เกิดความเข้มแสงเพิ่ม ซึ่งเป็นหลักการของเลเซอร์โดยทั่วไป

ในปี ค.ศ. 1945 กอร์ดอน (James P. Gordon), ซีเจอร์ (H.J.Zuiger) และทาวเนส (Charles H. Townes) แห่งมหาวิทยาลัย โคโลัมเบีย สหรัฐอเมริกา ได้สร้างเมเซอร์ (Maser) สำเร็จเป็นครั้งแรก เมเซอร์นี้ทำงานโดยการปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้นและได้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วง ไมโครเวฟ (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

ในปี ค.ศ. 1958 ชอว์โลว์ (Arthur Schawlow) และทาวเนส (Charles Townes) ได้เสนอว่าหลักการของเมเซอร์สามารถนำมาใช้ในการผลิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงที่ตามองเห็น ซึ่งเรียกว่า ออปติคอลเมเซอร์ (optical maser) หรือ LASER ได้

จากข้อเสนอของทาวเนส และชอว์โลว์ ได้ปรากฏเป็นจริงในอีก 2 ปีต่อมา คือ ในปี ค.ศ. 1960 ไมแมน (Theodore Maiman) แห่งห้องปฏิบัติการวิจัยของบริษัทฮิวส์ (Hughes) สหรัฐอเมริกา ได้สร้างเลเซอร์เครื่องแรกของโลกสำเร็จ โดยเลเซอร์เครื่องแรกนี้เป็นเลเซอร์ทับทิม (ruby laser) ซึ่งเป็นเลเซอร์ของแข็ง (solid state laser) และให้แสงสีแดงเป็นช่วงๆ หรือแบบพัลส์ (pulse) ที่มีความยาวคลื่น 694.3 nm

ต่อมาในปลายปี ค.ศ. 1960 มีการสร้างเลเซอร์แก๊ส (gas laser) เครื่องแรกของโลก ซึ่งเป็นแก๊สผสมระหว่างฮีเลียมกับนีออน โดย จาวาน (A. Javan), เบนเนท (W.R.Bennett, Jr.) และ เฮอร์เรียท (D.R.Herriot) แห่งห้องปฏิบัติการเบลล์ (Bell) สหรัฐอเมริกา อย่างไรก็ตาม ฮีเลียม - นีออน เลเซอร์เครื่องแรกที่ทำให้รังสีอินฟราเรดอย่างต่อเนื่องที่มีความยาวคลื่น 1.15  $\mu\text{m}$  และในปี ค.ศ. 1962 ริกเดน (J.D.Rigden) และไวท์ (A.D.White) แห่งห้องปฏิบัติการเบลล์ก็ประสบความสำเร็จในการสร้างฮีเลียม - นีออนเลเซอร์ ที่ให้แสงสีแดงอย่างต่อเนื่องที่มีความยาวคลื่น 632.8 nm ซึ่งถือว่าเป็นเลเซอร์เครื่องแรกที่ทำานแบบต่อเนื่อง (continuous wave หรือ CW) ในช่วงที่ตามองเห็น การพัฒนาฮีเลียม - นีออนเลเซอร์ ยังคงดำเนินการมาจนถึงปัจจุบันเพราะเลเซอร์ชนิดที่เป็นเลเซอร์ที่รู้จัก และใช้งานอย่างกว้างขวางที่สุดมากกว่าบรรดาเลเซอร์ต่างๆ ทั้งหมดที่สร้างมา ยิ่งกว่านั้นเมื่อเร็วๆ นี้ได้มีการผลิตฮีเลียม - นีออนเลเซอร์ ในเชิงพาณิชย์ซึ่งให้แสงสีเขียว และแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 543.5 nm และ 1532.5 nm ตามลำดับ นอกเหนือจากฮีเลียม - นีออนเลเซอร์ให้แสงสีแดงที่ใช้กันอยู่ทั่วไปแล้วอีกด้วย

ในปี ค.ศ. 1962 เช่นกัน ได้มีการค้นพบเลเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำ (semiconductor diode laser หรือเรียกสั้น ๆ ว่า diode laser) ซึ่งเป็นแกเลียม - อาร์เซไนต์ (GaAs p-n junction) และให้เลเซอร์ในช่วงใกล้อินฟราเรดหรือความยาวคลื่นประมาณ 8500 nm

และนับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1962 เป็นต้นมาได้มีการค้นพบเลเซอร์แบบอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งจะสรุปเฉพาะเลเซอร์ที่สำคัญ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลเซอร์ของแข็ง

เลเซอร์ก๊าซ

เลเซอร์ของเหลว

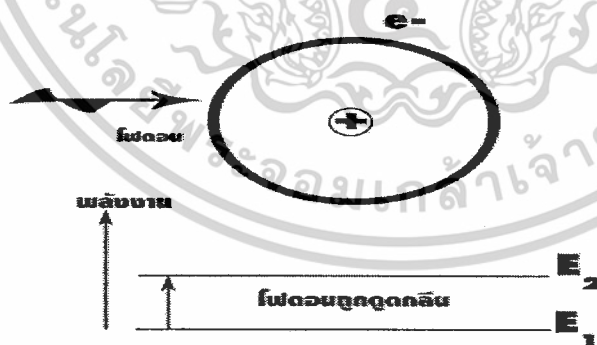
เลเซอร์ไดโอด

ในที่นี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะเลเซอร์ไดโอดเท่านั้น

การพัฒนาเลเซอร์ยังคงดำเนินต่อไปนี้ มีการค้นพบเลเซอร์ชนิดใหม่ๆ ที่มีความยาวคลื่นต่างๆ ดังเช่น เอกไซเมอร์เลเซอร์ (excimer laser) หรือ rare gas halide laser ที่พบในปี ค.ศ. 1975 เป็นเลเซอร์ที่ให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190 - 300 nm และในปี ค.ศ. 1984 โรบินสัน (A.L. Robinson) และคณะแห่งห้องปฏิบัติการลอเรนซ์ลิเวอร์มอร์ (Lawrence Livermore Laboratory) สหรัฐอเมริกา ก็ประสบความสำเร็จเป็นครั้งแรก ในการสร้างเอกเรย์เลเซอร์ (X-ray laser) ซึ่งให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ประมาณ 1 - 2 Å

จะเห็นได้ว่าได้มีการค้นพบเลเซอร์ชนิดต่างๆ มากมาย ซึ่งเลเซอร์เหล่านี้สามารถให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เกือบจะทุกความยาวคลื่น ตั้งแต่รังสีเอกซ์ - อัลตราไวโอเล็ต - ช่วงที่ตามองเห็น - จนถึงรังสีอินฟราเรดและมีเลเซอร์อีกหลายชนิดที่ทำงานได้ทั้งแบบคลื่นต่อเนื่อง (Continuous wave) และแบบพัลส์ (pulsed) ดังนั้นปัจจุบันนี้เลเซอร์จึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆอย่างกว้างขวาง

การทำงานของเลเซอร์พิจารณาระดับพลังงาน (energy level) ของอะตอม (หรือ โมเลกุล) 2 ระดับ คือ อิเล็กตรอนในอะตอมนั้นมีพลังงาน  $E_1$  และ  $E_2$  โดยที่  $E_1 < E_2$  ดังแสดงในรูป ถ้าอิเล็กตรอนในอะตอมอยู่ที่ระดับพลังงานที่ต่ำกว่าคือ  $E_1$  เมื่อมีโฟตอนที่มีพลังงาน  $hf = E_2 - E_1$  มาตกกระทบอะตอม โฟตอนจะถูกดูดกลืน แล้วอิเล็กตรอนในอะตอมจะถูกกระตุ้น (excite) จากระดับพลังงาน  $E_1$  ให้ไปอยู่ที่ระดับพลังงานที่สูงกว่าคือ  $E_2$  ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า การดูดกลืนพลังงาน (absorption) ดังแสดงในรูปที่ 2.8

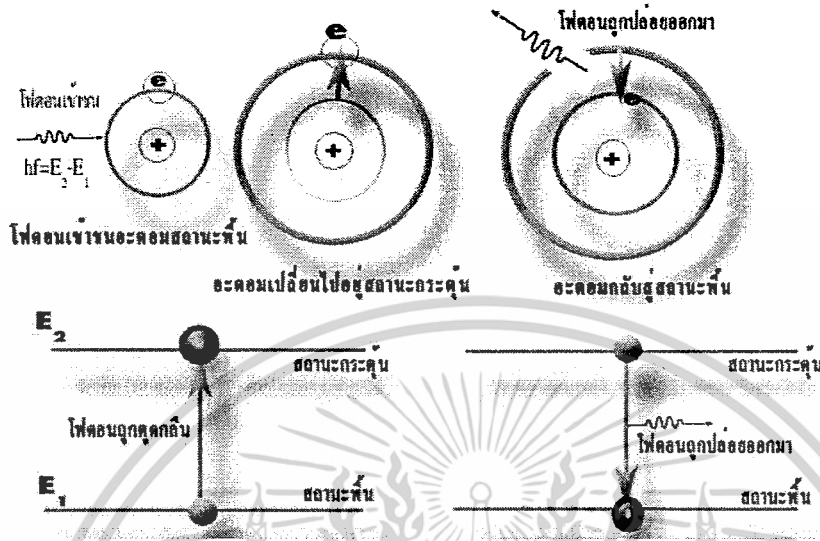


รูปที่ 2.8 แสดงการดูดกลืนพลังงาน

อิเล็กตรอนในอะตอมจะอยู่ที่ระดับพลังงาน  $E_2$  ชั่วขณะหนึ่ง แล้วสลายกลับมาอยู่ที่ระดับพลังงาน  $E_1$  ตามเดิม โดยการปล่อยโฟตอนออกมา

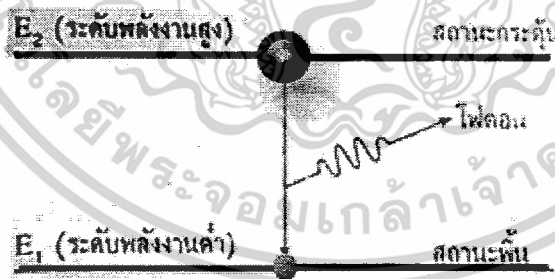
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางกลับกัน ถ้าอิเล็กตรอนในอะตอมอยู่ที่ระดับพลังงาน  $E_2$  มันจะหวนกลับมาสู่ระดับพลังงานที่ต่ำกว่า  $E_1$  และปล่อยโฟตอนหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา การปล่อยโฟตอนโดยวิธีนี้เป็น การปลดปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ โฟตอนที่ปล่อยออกมามีทิศทางไม่แน่นอน ดังแสดงในรูปที่ 2.9

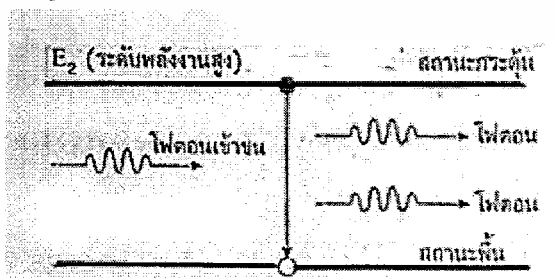


รูปที่ 2.9 แสดงการดูดกลืนพลังงานและการปล่อยโฟตอน โดยธรรมชาติ

อย่างไรก็ตาม ในปี ค.ศ. 1917 ไอน์สไตน์ ได้พบว่าการปล่อยโฟตอนมีได้ 2 แบบ คือ นอกจากแบบธรรมชาติที่เราเรารู้จักกันดีแล้ว ยังมีอีกแบบหนึ่งที่เรียกว่าการปลดปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้น โฟตอนที่ปล่อยออกมามีทิศทางแน่นอน และมีความเข้มสูง เพราะจำนวนโฟตอนที่ปล่อยออกมามีจำนวนเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ



รูปที่ 2.10 แสดงการปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

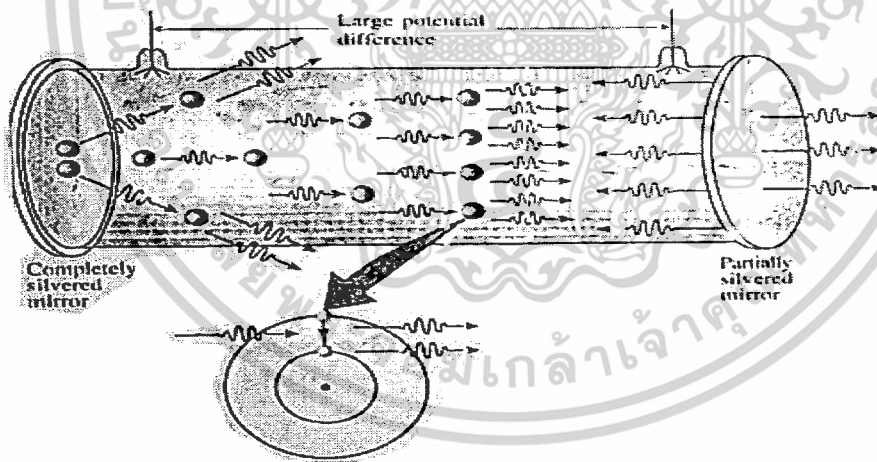
ถ้าอะตอมเมื่อตอนเริ่มต้น (initial state) อยู่ที่ระดับพลังงาน E2 และมีโฟตอนจากภายนอกที่มีความถี่ มากระตุ้นอะตอม ในที่สุดอะตอมจะกลับสู่ระดับพลังงาน E1 และขณะเดียวกันจะปล่อยโฟตอนออกมา 1 ตัว ซึ่งรวมกับตัวเดิม 1 ตัว กลายเป็นมีโฟตอน 2 ตัว ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่าการปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้น

หลักสำคัญในการปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้น มี 2 ประการ คือ

ประการที่ 1 พลังงานของโฟตอนตัวที่ 2 ที่เกิดจากการกระตุ้นจะมีพลังงานเท่ากับโฟตอนตัวแรกที่มากระตุ้น (stimulating photon) ซึ่งทำให้เกิดการปล่อยโฟตอน นั่นคือ ความถี่ (หรือความยาวคลื่น) ของโฟตอนทั้งสองเท่ากัน และใน....

ประการที่ 2 โฟตอนทั้งสองจะมีเฟสเดียวกัน คือ อาพันธ์ (coherent) กัน องค์ประกอบที่สำคัญในการทำให้เกิดแสงเลเซอร์

1. วัสดุที่ต้องการการกระตุ้นให้ปล่อยแสงเลเซอร์ (อาจเป็นของแข็ง ของเหลว แก๊สหรือสารประกอบ) ซึ่งเรียกว่า ตัวกลางเลเซอร์ (laser medium) หรือตัวกลางทำงาน (working medium หรือ active medium)
2. การทำให้เกิดการกลับประชากร (population inversion) ในตัวกลางทำงาน โดยกระบวนการที่เรียกว่า การปั๊มเลเซอร์ (laser pumping)
3. กระบวนการที่ทำให้เกิดการแกว่งกวัดเลเซอร์ (laser oscillation) เพื่อเพิ่ม (amplify) ความเข้มของกระบวนการปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้นจนสามารถมีแสงเลเซอร์ออกมาได้ กระบวนการนี้ใช้กระจกเลเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทำให้เกิดความสั่นพ้อง (เจ. วิลสัน; 2544, Lasers : principles and applications.) ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงองค์ประกอบในการทำให้เกิดเลเซอร์

### 2.2.1 เลเซอร์ไดโอด

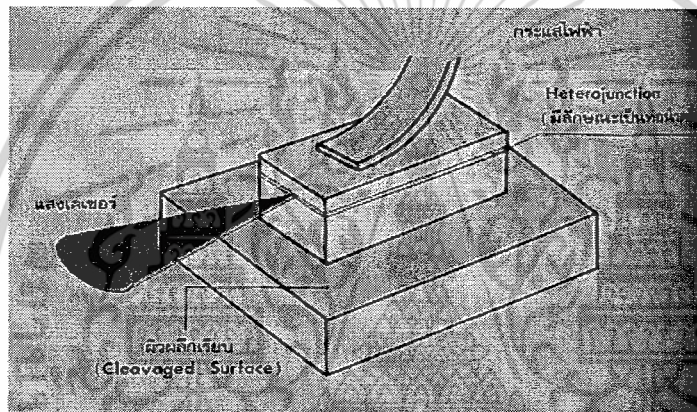
เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งทำจากสารประกอบ เช่น GaAs (แกลเลียมอาร์เซไนด์) GaAlAs (แกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์) InGaAsP อินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสฟายด์) ซึ่งมีค่าแถบพลังงานต่าง ๆ กัน จึงเป็นตัวกำหนดค่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ เช่น GaAs ให้แสงเลเซอร์ที่ค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาวคลื่น 0.8  $\mu\text{m}$  (อินฟราเรด), GaAlAs ให้แสงเลเซอร์ที่ค่าความยาวคลื่น 0.7  $\mu\text{m}$  (สีแดง), InGaAsP ให้แสงเลเซอร์ที่ค่าความยาวคลื่น 1.3 และ 1.55  $\mu\text{m}$  (อินฟราเรด)

เลเซอร์ไดโอดแต่ละชนิดจึงมีการใช้งานที่แตกต่างกันตามลักษณะ และคุณสมบัติของค่าความยาวคลื่นนั้น ๆ เช่น เลเซอร์ไดโอดที่ให้สีแดงจะใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ส่วนเลเซอร์ไดโอดที่ให้แสงอินฟราเรดที่ค่าความยาวคลื่น 1.55  $\mu\text{m}$  จะใช้ในระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง เป็นต้น

โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด ได้แก่ หัวต่อพีเอ็นแบบเฮตเตอโรจังก์ชัน (Heterojunction) เช่น GaAlAs/GaAs ทำให้ประสิทธิภาพของเลเซอร์ไดโอดเริ่มทำงาน น้อยลง การฉีดกระแสไฟฟ้าผ่านหัวต่อพีเอ็นของเลเซอร์ไดโอดเป็นวิธีการปั๊มพลังงาน เพื่อให้เกิดการรวมตัวของพาหะนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำและนำมาสู่การเปล่งแสง แสงที่เปล่งออกมาจะถูกขยายสัญญาณให้มีความเข้มสูงขึ้น ด้วยแควิตี้แสงที่เกิดจากผิวมันสะท้อนแสงของผิวผลึกที่ทำให้แตกโดยธรรมชาติ (Cleaved Surface) ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดง โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด

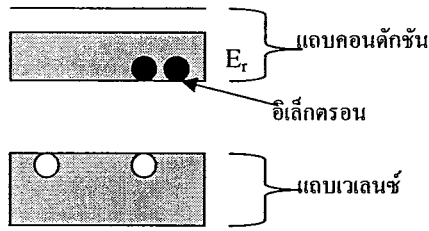
เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่มีขนาดเล็กจิ๋วกินไฟน้อย สามารถผลิตได้จำนวนมาก ๆ ด้วยเทคโนโลยีด้านสารกึ่งตัวนำ เลเซอร์ไดโอดถูกใช้งาน อย่างกว้างขวางตั้งแต่การใช้เป็นเลเซอร์พอยนเตอร์ (Laser Pointer) ใช้ในการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ใช้เป็นหัวอ่าน ของเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องวีดิโอเลเซอร์ดิสก์ และเครื่องถ่ายเอกสารประเภทเลเซอร์ พรินเตอร์ (Laser Printer) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ศึกษาวิจัยการสร้างเลเซอร์ไดโอดด้วยเทคโนโลยีด้านการปลูกผลึกจากของเหลว (Liquid Phase Epitaxy : LPE) และเทคโนโลยีการปลูกผลึกด้วยลำโมเลกุล (Molecular Beam Epitaxy : MBE)

เลเซอร์ไดโอดมีกำลังแสงต่ำตั้งแต่ระดับไมโครวัตต์ ( $\mu\text{W}$ ) จนสูงถึงวัตต์ (W) และเป็นเลเซอร์ที่มีจุดเด่นคือ สามารถโมดูลเลตสัญญาณได้ โดยตรง โดยผ่านเข้าไปทางด้านกระแสไฟฟ้าที่ฉีดผ่านตัวสิ่งประดิษฐ์ จึงสะดวกต่อการใช้งาน โดยเฉพาะการสื่อสารทางด้านแสง

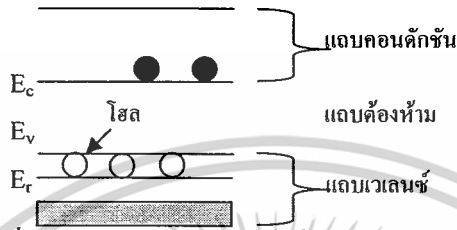
### 2.2.2 กลไกการเปล่งแสงของเลเซอร์ไดโอด

โครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอด คือ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานแบบตรง (Direct Band Gap) ซึ่งจะมีสารเจือปนชนิดเอ็นและสารเจือปนสำหรับชนิดพี ลักษณะของแถบพลังงานแสดงได้ดังแสดงในรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

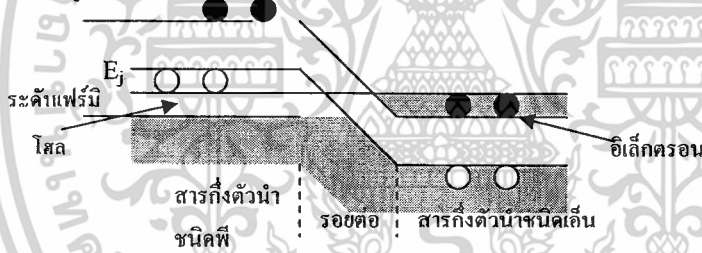


รูปที่ 2.14 แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น



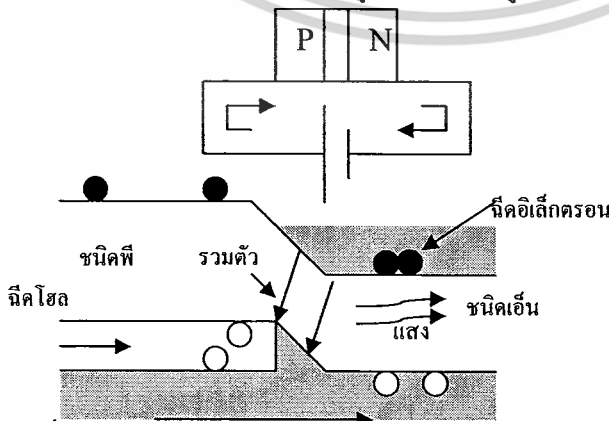
รูปที่ 2.13 แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดพี

เนื่องจากการโคปสารเจือปนนั้นจะโคปมาก ดังนั้นระดับพลังงานเฟอร์มิจึงล้าเข้าไปในแถบวาเลนซ์สำหรับชนิดพี และเข้าไปในแถบคอนดักชันสำหรับชนิดเอ็น เรียกสารกึ่งตัวนำที่โคปมากเช่นนี้ว่า ดีเจนเนอเรต (Degenerated Semiconductor) เมื่อนำสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดมาสร้างเป็นรอยต่อพี-เอ็นแบบโค โอคจะได้อแถบพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 รอยต่อพีเอ็นที่โคปสารเจือปนด้วยความเข้มข้นสูง

ในการกระตุ้นพาหะเพื่อให้เกิดเลเซอร์นั้น จะใช้วิธีฉีดกระแสไฟฟ้าจากภายนอกให้ไหลเข้าสู่รอยต่อพีเอ็น โดยป้อนแรงดันไฟฟ้าแบบไบแอสตาม(Forward Bias) นั่นคือป้อนแรงดันไฟบวกเข้าด้านพี และป้อนแรงดันไฟลบเข้าด้านเอ็น จะทำให้แถบพลังงานเปลี่ยนรูป ดังแสดงในรูปที่ 2.15



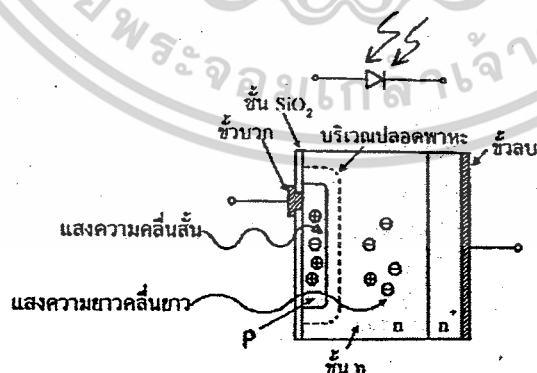
รูปที่ 2.15 แสดงรอยต่อพีเอ็นที่กำเนิดแสงเลเซอร์ในเลเซอร์โค โอค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กตรอนจะไหลจากด้านเอ็นเข้าสู่รอยต่อและโฮลจะไหลจากด้านพีเข้าสู่รอยต่อ ที่บริเวณรอยต่อจะมี คู่ของอิเล็กตรอนและโฮลเกิดขึ้นจำนวนมาก เมื่ออิเล็กตรอนและโฮลรวมตัวกัน (Recombine) จะเกิดการเปล่งแสงออกมาโดยพลังงานโฟตอนจะมีค่าเท่ากับช่องว่างพลังงานของรอยต่อ  $E=h\nu$  หลักการเปล่งแสงเช่นนี้คล้ายกับกรณีของไดโอดเปล่งแสง (LED: Light Emitting Diode) แต่การทำให้เกิดเลเซอร์นั้นจะต้องฉีดกระแสให้มากเป็นพิเศษ ถ้ากระแสมีค่าน้อยการเปล่งแสงจะเป็นแบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous Emission) และเมื่อเพิ่มกระแสให้สูงกว่ากระแสขีดเริ่ม (Threshold Current:  $I_{th}$ ) จะเกิดประชากรผกผัน (Population Inversion) กล่าวคือ ถ้าจำนวนคู่ของอิเล็กตรอนและโฮลมีค่ามากกว่าค่าหนึ่งแล้ว ก็จะทำให้เกิดการรวมตัวของอิเล็กตรอนและโฮล และเกิดการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น (Stimulated Emission) โดยที่ด้านข้างภายนอกของรอยต่อพีเอ็นจะถูกออกแบบให้เป็นผิวมันแบบกระจก ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนโพรงเชิงทัศน (Optical Resonator) แสงที่สะท้อนกลับเข้ามาภายในเรโซเนเตอร์นี้จะกลายเป็นแสงเลเซอร์วิ่งออกสู่ภายนอกในที่สุด เมื่อเกิดการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น กระแสไฟฟ้าจะไหลเพิ่มอย่างรวดเร็ว เรียกกระแสไฟฟ้าที่เริ่มทำให้เกิดการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นนี้ว่า กระแสไฟฟ้าขีดเริ่ม (Threshold Current:  $I_{th}$ ) ในยุคแรกๆ โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดเป็นรอยต่อพีเอ็นของวัสดุที่มีช่องว่างพลังงานเท่ากันซึ่งเรียกว่ารอยต่อแบบโฮโมจังก์ชัน (Homojunction) ซึ่งมีข้อเสียว่าพาหะที่ถูกฉีดเข้าไปนั้นบางตัวแทนที่จะรวมตัวกันแต่จะวิ่งแพร่กระจายไปทั่ว ทำให้ประสิทธิภาพของเลเซอร์มีค่าต่ำ และต้องใช้วิธีการฉีดกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ ต่อมาได้มีการแช่ตัวเลเซอร์ไดโอดลงในไนโตรเจนเหลว (77K) ทำให้การแพร่กระจายของพาหะลดน้อย จึงเกิดเลเซอร์แบบต่อเนื่อง

### 2.2.3 กลไกการทำงานของโฟโตไดโอด

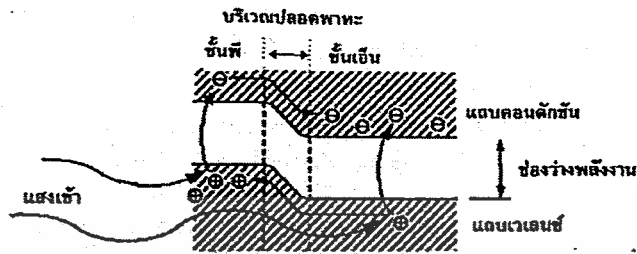
โฟโตไดโอด (Photodiode) เป็นสิ่งประดิษฐ์ตรวจจับแสงชนิดโฟโตอิเล็กทริกแบบภายใน (Internal Photoelectric) มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อ pn เมื่อมีแสงตกกระทบบนรอยต่อ pn จะทำให้เกิดกระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่า โฟโตไดโอดเป็นตัวตรวจจับแสงที่สามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าและสามารถตรวจวัดความเข้มแสงได้ การผลิตได้จากสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ เช่น Si, GaAs, GaAsP และ GaP ซึ่งมีความไวต่อแสงในย่านความยาวคลื่นต่างๆ กัน ซึ่งในที่นี้จะได้อธิบายการทำงานของโฟโตไดโอดที่มีโครงสร้างพื้นฐานรอยต่อ pn ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดง โครงสร้างพื้นฐานรอยต่อ pn ของ โฟโตไดโอด

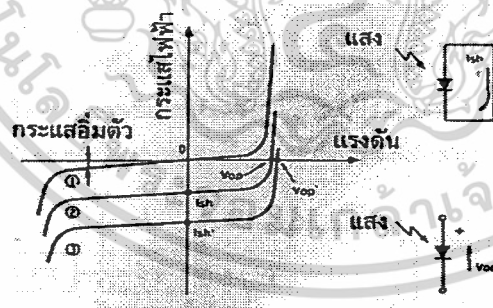
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.18 ด้านที่รับแสงเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด p ที่ติดกับสารกึ่งตัวนำชนิด n ที่รอยต่อ pn นี้จะเป็นบริเวณเขตปลอดพาหะจะทำหน้าที่เป็นส่วนเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งแถบพลังงานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อ pn แสดงได้ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงแถบพลังงานของโฟโตไดโอด

เมื่อมีแสงตกกระทบโฟโตไดโอดแสงจะถูกดูดกลืนโดยที่พลังงานโฟตอนของแสง ( $E=h\nu$ ) จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าช่องว่างของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ( $E_g$ ) โดยพลังงานโฟตอนของแสงจะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากแถบพลังงานวาเลนซ์ขึ้นไปสู่แถบพลังงานคอนดักชัน ซึ่งจะทำให้แถบพลังงานวาเลนซ์มีโฮลเหลืออยู่ การเกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลนี้จะเกิดได้ทั้งในชั้น p ชั้น n และบริเวณปลอดพาหะ อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในแถบพลังงานคอนดักชันในชั้นบริเวณเขตปลอดพาหะจะถูกศักย์ไฟฟ้าภายใน (built in potential) ทำให้เคลื่อนที่ไปสู่ชั้น n ส่วนโฮลที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่จากแถบพลังงานวาเลนซ์ในชั้น n หรือบริเวณเขตปลอดพาหะไปสู่ชั้น p ซึ่งจะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามกับอิเล็กตรอน จำนวนคู่อิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดขึ้นนี้จะมีปริมาณแปรผันกับจำนวนโฟตอนของแสงที่สารกึ่งตัวนำดูดกลืน อิเล็กตรอนที่สะสมในชั้น n จะทำให้ชั้น n มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ และโฮลที่สะสมในชั้น p จะทำให้ชั้น p มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ดังนั้นเมื่อต่อโฟโตไดโอดกับวงจรภายนอก อิเล็กตรอนและโฮลก็จะเคลื่อนที่ออกจากชั้น n และชั้น p ที่สะสมอยู่ไปสู่วงจรที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในโฟโตไดโอด

จากรูปที่ 2.18 จะแสดงลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในโฟโตไดโอด เส้นกราฟ I-V หมายเลข 1 จะแสดงในกราฟที่ไม่มีแสงตกกระทบโฟโตไดโอดซึ่งจะมีคุณสมบัติเหมือนไดโอดโดยทั่วไป เมื่อมีแสงตกกระทบโฟโตไดโอดและมีความเข้มแสงมากขึ้นจะทำให้เส้นกราฟ I-V เปลี่ยนแบบขนานกับเส้นกราฟ หมายเลข 1 มาเป็นเส้นกราฟหมายเลข 2 และ 3 ตามลำดับ ช่วงการตอบสนองทางแสงขึ้นอยู่กับวัสดุสารกึ่งตัวนำที่นำมาผลิตโฟโตไดโอด (สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว; 2529, เลเซอร์เอชไอวี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ทฤษฎีเซลล์ผสมตัวเอง

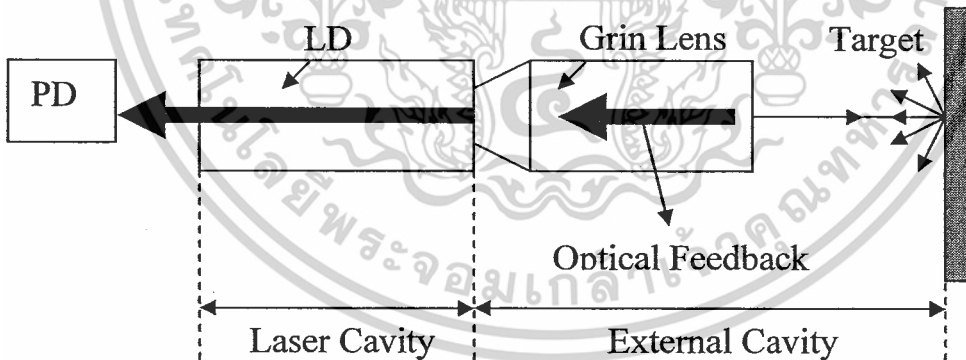
ปรากฏการณ์เซลล์ผสมตัวเอง (Self-Mixing Phenomena) หรือการย้อนกลับทางแสง (Optical Feedback Effect) เกิดขึ้นเมื่อจัดเรียงองค์ประกอบทางแสงให้มีการสะท้อนกลับของแสงเลเซอร์จากตัวสะท้อนภายนอก (External Reflector) กลับเข้าไปในเลเซอร์แควิตีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกำลังเอาท์พุทและความถี่ออสซิลเลชันของเลเซอร์ ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงสามารถตรวจวัดได้ด้วยโฟโตไดโอด ซึ่งอาจอยู่ที่ปลายเลเซอร์หรืออาจเป็นโฟโตไดโอดที่ถูกออกแบบมาให้อยู่ภายในชุดเลเซอร์ไดโอด (Laser Diode Package)

ทฤษฎีเซลล์ผสมตัวเองมีการวิเคราะห์ 2 แบบคือ

1. แบบของ Lang และ Kobayashi เป็นการวิเคราะห์สมการต่างๆอธิบายผลของเลเซอร์เมื่อมีการย้อนกลับทางแสงในเทอมของตัวแปรทางแสงและทางไฟฟ้า

2. แบบที่ใช้แบบจำลอง Three Mirror Cavity เป็นแบบที่สามารถเข้าใจได้ง่ายกว่าเนื่องจากไม่มีสมการที่ซับซ้อน

นอกจากนี้ยังจำแนกการวิเคราะห์ผลของเซลล์ผสมตัวเองตามการแปรเปลี่ยนของค่าความยาวแควิตีภายนอก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความยาวแควิตีภายนอกเป็นช่วง (ประมาณ 1 มิลลิเมตร) และการเปลี่ยนแปลงความยาวแควิตีภายนอกเป็นช่วงสั้น ระดับความยาวคลื่นแสง นั้นจะส่งผลให้ค่ากำลังของแสงย้อนกลับมีการเปลี่ยนแปลง โดยจะพิจารณาเงื่อนไขของเลเซอร์ออสซิลเลชัน ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความยาวแควิตีภายนอกเป็นช่วงยาวและพิจารณาปัจจัยอื่นๆ เช่น ค่ากำลังเอาท์พุทของเลเซอร์ ระยะห่างระหว่างพื้นผิวการสะท้อนหรือความยาวแควิตีภายนอก และลักษณะของพื้นผิวการสะท้อนซึ่งมีค่าการสะท้อนต่างกัน เป็นต้น ซึ่งสามารถนำเลเซอร์นี้ไปสร้างภาพสามมิติ เพราะเลเซอร์มีความเป็นระเบียบของคลื่นแสง ดังนั้นจึงสามารถบันทึกข้อมูลของภาพสามมิติได้เพราะบันทึกทั้งความเข้มแสงและเฟส (หน้าคลื่น) ของแสงด้วย ภาพที่บันทึกจึงมีข้อมูลเกี่ยวกับความลึกของภาพด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.19



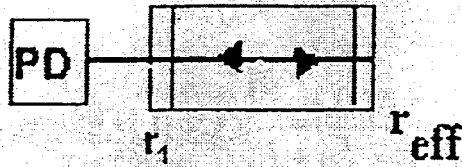
รูปที่ 2.19 แสดงแบบจำลองการเดินทางของแสงภายในแควิตีของเลเซอร์ไดโอดที่มีแควิตีภายนอก

### 2.3.1 เงื่อนไขของเลเซอร์ออสซิลเลชันเมื่อมีแควิตีภายนอก

พิจารณาแบบจำลองแควิตีของเลเซอร์ไดโอดซึ่งมีตัวสะท้อนภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 2.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2.21 แบบจำลองวงจรสมมูลของเลเซอร์ไดโอดเมื่อมีตัวสะท้อนภายนอก

จากรูปที่ 2.21 ค่าการสะท้อนยังผลของกระจกหน้าของเลเซอร์ เนื่องจากผลของตัวสะท้อนภายนอก แทนด้วย  $r_{eff}$  ซึ่ง

$$r_{eff} = \frac{r_2 + r_3 \exp(-i\Omega\tau)}{1 + r_2 r_3 \exp(-i\Omega\tau)} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $\tau$  คือ เวลาไปกลับของแสงเลเซอร์ในแควิตีภายนอกมีค่าเท่ากับ  $2L/c$   
 $c$  คือ ความเร็วแสงในสุญญากาศมีค่าเท่ากับ  $3 \times 10^8$  เมตร / วินาที

ดังนั้นจากแบบจำลองจะได้ว่า ค่ากำลังขยายเชิงซ้อน ( $\exp(\beta\tau_D)$ ) เท่ากับ ค่าการสูญเสียทั้งหมดของการสะท้อนเนื่องจากแบบจำลองนั้นคือ

$$\exp(\beta\tau_D) = r_1 r_{eff} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $\tau_D$  คือ เวลาครบรอบของแสงภายในเลเซอร์แควิตีมีค่าเท่ากับ  $\frac{2\eta l}{c}$   
 $\eta l$  คือ ความยาวแควิตีขั้วผล(Effective Cavity Length) เนื่องจากมีตัวสะท้อนภายนอก

แทนสมการ (2.3) ในสมการ (2.4) จะได้ความสัมพันธ์

$$\exp(\beta\tau_D) = \exp\left[-\ln\left(\frac{1}{r_1 r_2}\right)\right] \left[\frac{1 + r_3 / r_2 \exp(-i\Omega\tau)}{1 + r_2 r_3 \exp(-i\Omega\tau)}\right] \quad (2.5)$$

สามารถเขียนส่วนจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพของกำลังขยายเชิงซ้อนได้เป็น

$$\beta_r = \frac{2}{\tau_D} \ln\left(\frac{1}{r_1 r_2}\right) + \frac{2}{\tau_D} g(r_3, \tau, \Omega) \quad (2.6)$$

$$\beta_i = \frac{1}{\tau_D} \phi(r_3, \tau, \Omega) \quad (2.7)$$

ซึ่ง

$$g(r_3, \tau, \Omega) = \frac{1}{2} \ln\left[\frac{1 + 2r_2 r_3 \cos(\Omega\tau) + (r_2 r_3)^2}{1 + 2r_3 / r_2 \cos(\Omega\tau) + (r_3 / r_2)^2}\right] \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 
$$\phi(r_3, \tau, \Omega) = \arctan \left[ \frac{(r_2 r_3 - r_3 / r_2) \sin(\Omega \tau)}{1 + r_3^2 + (r_2 r_3 + r_3 / r_2) \cos(\Omega \tau)} \right] \quad (2.9)$$

พิจารณาเลเซอร์ออสซิลเลชันภายใต้เงื่อนไขสภาวะคงที่ในแบบจำลอง สามารถกำหนดเงื่อนไขของเลเซอร์ออสซิลเลชันที่จุดเริ่มทำงานได้จากสมการที่ (2.1) และ (2.2) ได้เป็น

$$\frac{1}{2}(G_h - \Gamma_o - \beta_r) + i(\omega_N - \Omega + \beta_i) = 0 \quad (2.10)$$

เมื่อ  $G_h$  กำลังขยายขีดเริ่ม

ซึ่งจะได้กำลังขยายขีดเริ่มและความถี่ออสซิลเลชันเป็น

$$G_h = \Gamma_o + \beta_r = \Gamma_o + \frac{2}{\tau_D} g(r_3, \tau, \Omega) \quad (2.11)$$

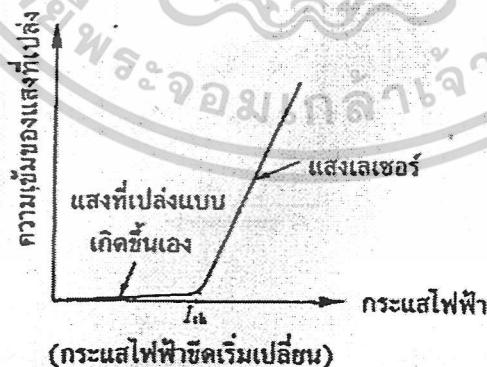
$$\Omega = \omega_N + \beta_i = \omega_N + \frac{1}{\tau_D} \phi(r_3, \tau, \Omega) \quad (2.12)$$

เมื่อ  $\Gamma_o$  คือ ค่าการสูญเสียของแสงเลเซอร์ในแควิตีขณะที่ยังไม่มีการย้อนกลับของแสงภายนอก

$$\Gamma_o = \Gamma_o + \frac{2}{\tau_D} \ln \left( \frac{1}{r_1 r_2} \right) \quad (2.13)$$

### 2.3.2 กำลังเอาต์พุตและความถี่ออสซิลเลชัน

ขณะที่ไม่มีการย้อนกลับของแสง กำลังเอาต์พุตหรือความเข้มของแสงที่ปล่อยออกมาเป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับค่ากระแสแซบ (Injection Current) และมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่ากระแสแซบ ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเอาต์พุตกับค่ากระแสแซบ

แต่ในกรณีของแบบจำลองหรือเมื่อมีแควิตีภายนอก ความสัมพันธ์นี้จะไม่เป็นเชิงเส้นแต่จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่ากำลังขยายขีดเริ่มและความถี่ออสซิลเลชัน ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
104375  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

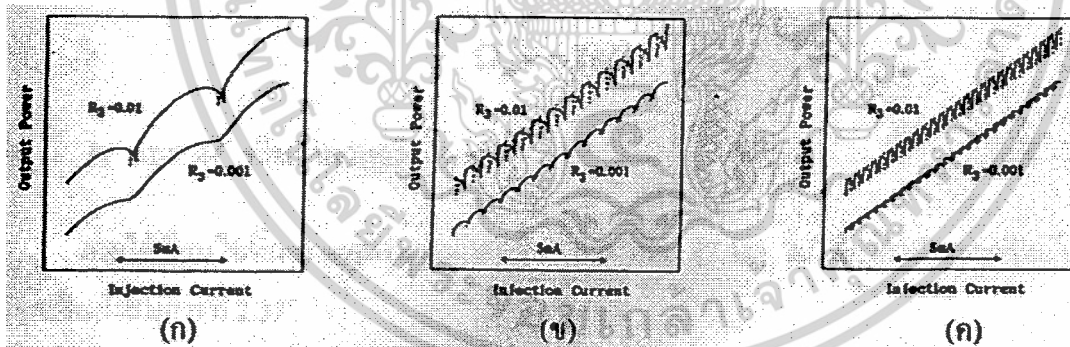
$$P = \mu \frac{\Omega}{G_h} (I - I_{th}) \quad (2.14)$$

เมื่อ  $I_{th}$  คือ กระแสขั้ว ณ จุดเริ่มทำงานของเลเซอร์  
 $\mu$  คือ สัมประสิทธิ์ที่กำหนดโดยพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ในเลเซอร์แควิตี

$$\mu = \frac{\Gamma \varepsilon h}{4\pi\tau_M q} \quad (2.15)$$

เมื่อ  $\Gamma$  คือ คอนไฟน์เมนต์แฟกเตอร์  
 $\varepsilon$  คือ ประสิทธิภาพการป้อนกระแสแก่เลเซอร์  
 $h$  คือ ค่าคงที่พลังค์ มีค่าเท่ากับ  $6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$   
 $\tau_M$  คือ ช่วงชีวิตของแสงเนื่องจากการสูญเสียจากการสะท้อน  
 $q$  คือ ประจุไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

ขณะที่ไม่มีการย้อนกลับของแสงภายนอก  $\Omega$  และ  $G_h$  จะมีค่าคงที่ ดังนั้นกำลังเอาต์พุตของเลเซอร์ออสซิลเลชันจึงแปรผันเชิงเส้นกับค่ากระแสขั้วเลเซอร์เท่านั้น แต่เมื่อมีการย้อนกลับของแสงภายนอกเข้าสู่เลเซอร์แควิตี ค่า  $\Omega$  และ  $G_h$  จะมีค่าเปลี่ยนแปลง ซึ่งความถี่ออสซิลเลชันและค่ากำลังขยายขีดเริ่มมีค่าขึ้นกับกำลังย้อนกลับของแสงภายนอกและความยาวแควิตีภายนอก สามารถอธิบายได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ของกำลังเอาต์พุตและค่ากระแสขั้วที่ค่าความยาวแควิตีภายนอกต่างๆกัน

(ก)  $L=10 \eta l$  (ข)  $L=50 \eta l$  (ค)  $L=100 \eta l$

จากรูปที่ 2.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังเอาต์พุตของเลเซอร์กับค่ากระแสขั้วที่มีความยาวแควิตีภายนอกต่างๆ กัน เมื่อกระแสขั้วเพิ่มขึ้นค่ากำลังเอาต์พุตจะมีค่าเพิ่มขึ้น และเนื่องจากมีตัวสะท้อนภายนอกทำให้ค่ากำลังเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะลูกคลื่น โดยเมื่อความยาวแควิตีมากขึ้นคาบของลูกคลื่นจะลดลงและที่ค่าการสะท้อนกลับของแสงมากขึ้นขนาดแอมพลิจูดของลูกคลื่นจะใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 กำลังเอาต์พุตและความยาวแควิตีภายนอก

ผลของความยาวแควิตีภายนอกที่มีต่อกำลังเอาต์พุตสามารถอธิบายได้ในเชิงคุณภาพ และด้วยผลการทดลองภายใต้เงื่อนไขสำหรับมัลติโหมคอสซิลเลชันของเลเซอร์ไดโอด ซึ่งให้แต่ละโหมคเป็นอิสระต่อกันทำให้ได้กำลังขยายขีดเริ่มของแต่ละโหมคเป็นดังนี้

$$G_{N_{th}} = \Gamma_o + \frac{2}{\tau_D} g(r_3, \tau, \Omega_N) \quad \text{สำหรับโหมคที่ } N_{th} \quad (2.16)$$

$$G_{N'_{th}} = \Gamma_o + \frac{2}{\tau_D} g(r_3, \tau, \Omega_{N'_{th}}) \quad \text{สำหรับโหมคที่ } N'_{th} \quad (2.17)$$

เมื่อ  $\Omega_N$  ความถี่เชิงมุมของการออสซิลเลชันของโหมคที่  $N$

$\Omega_{N'}$  ความถี่เชิงมุมของการออสซิลเลชันของโหมคที่  $N'_{th}$

จากสมการที่ 2.13 ค่ากำลังเอาต์พุตมีค่าสูงสุดเมื่อ ค่ากำลังขยายขีดเริ่มมีค่าต่ำสุด ซึ่งเงื่อนไขสำหรับค่ากำลังขยายขีดเริ่มมีค่าต่ำสุดพิจารณาได้จากสมการที่ 2.7 ซึ่งจะเป็นดังนี้

$$\Omega_N \tau = 2M\pi \quad (2.18)$$

$$\Omega_{N'} \tau = 2M'\pi \quad (2.19)$$

เมื่อ  $M$  และ  $M'$  เป็นจำนวนจริง

ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมของสมการที่ (2.17) และ (2.18) จะได้ค่ากำลังขยายขีดเริ่มมีค่าต่ำสุดเป็นดังสมการ

$$G_{th} = G_{N_{th}} = G_{N'_{th}} = \frac{2}{\tau_D} \ln \left( \frac{1+r_2/r_3}{1+r_3/r_2} \right) \quad (2.20)$$

และให้ความถี่ออสซิลเลชันของแต่ละโหมคเท่ากับความถี่โจเนนซ์เชิงมุม ซึ่งก็คือ

$$\Omega_N \approx \frac{N\pi c}{\eta l} \quad (2.21)$$

$$\Omega_{N'} \approx \frac{N'\pi c}{\eta l} \quad (2.22)$$

จากสมการที่ (2.17), (2.18), (2.20) และ (2.21) พบว่า ค่ากำลังเอาต์พุตมีค่าสูงสุด เมื่อความยาวแควิตีภายนอกมีค่าเท่ากับจำนวนเต็มเท่าของความยาวแควิตียังผล  $\eta l$  ทำให้ได้ว่ากำลังของเลเซอร์ออสซิลเลชันมีค่าสูงสุดตามเงื่อนไข

$$\frac{L}{\eta l} = \frac{m}{n} \quad (2.23)$$

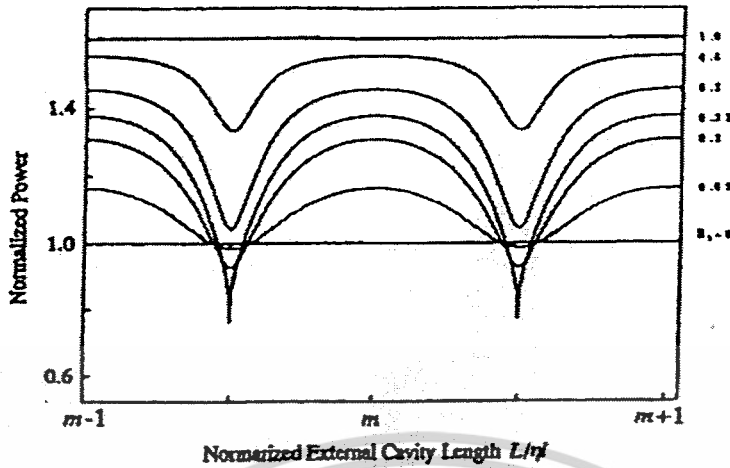
เมื่อ  $m=M'-M$  และ  $n=N'-N$  โดย  $N'=N+1$

และค่ากำลังเอาต์พุตทั้งหมดที่เงื่อนไขสูงสุด สามารถคำนวณได้จากการรวมกันอย่างเป็นเชิงเส้นของแต่ละโหมคกำลังดังสมการ

$$P \approx \mu\omega_N \left( \frac{1}{G_{N_{th}}} + \frac{1}{G_{N'_{th}}} \right) (I - I_{th}) \quad (2.24)$$

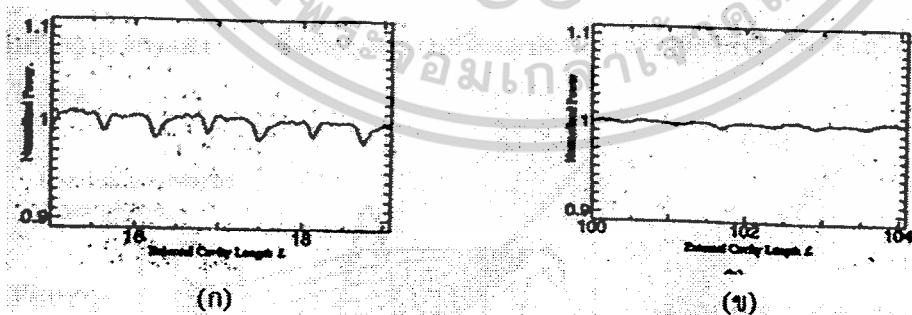
และผลจากการคำนวณแสดงดังแสดงในรูปที่ 2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 กำลังเอาต์พุตเป็นฟังก์ชันของความยาวแควิตีภายนอก

จากรูปที่ 2.24 เป็นผลจากการคำนวณค่ากำลังเอาต์พุตซึ่งเป็นฟังก์ชันของความยาวแควิตีภายนอก สำหรับการออสซิลเลชันของ 2 โหมดแสงซึ่งอธิบายได้ว่าค่ากำลังเอาต์พุตมีค่าสูงสุดที่ค่าความยาวแควิตีภายนอกมีค่าเท่ากับจำนวนเต็มเท่าของ  $\lambda/2$  เส้นโค้งต่างๆ พลอตสำหรับค่าการสะท้อนกลับของแสงที่ต่างกัน พบว่ามีการจมลงของคลื่นที่ระยะครึ่งหนึ่งของค่าความยาวแควิตีภายนอก และมีค่าสูงที่ค่าการสะท้อนกลับของแสงอยู่ในระดับปานกลาง สามารถสรุปผลต่อเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระยะแควิตีภายนอกและค่าสะท้อนกลับของแสงเนื่องจากตัวสะท้อนภายนอกที่มีต่อกำลังเอาต์พุตของเลเซอร์ได้ คือ เมื่อมีตัวสะท้อนภายนอกที่มีค่าการสะท้อนกลับเท่ากัน แต่วางอยู่ที่ระยะห่างจากเลเซอร์ต่างกัน จะมีการจมลงของกำลังเอาต์พุตมากกว่าเมื่อตัวสะท้อนภายนอกวางอยู่ที่ระยะห่างจากเลเซอร์น้อยกว่า ดังรูปที่ 2.27 และ ในอีกกรณีคือเมื่อวางตัวสะท้อนภายนอกห่างจากเลเซอร์เป็นระยะทางเท่ากันแต่มีค่าการสะท้อนกลับของแสงที่สูงกว่า จะมีการจมลงของกำลังเอาต์พุตที่มากกว่าหรือกล่าวได้ว่าเมื่อมีการสะท้อนหลายๆ ครั้งหรือมีการออสซิลเลชันแบบมัลติโหมดเนื่องจากตัวสะท้อนภายนอก จะเกิดถูกคลื่นหรือกวัดแกว่งสัญญาณย่อยๆ มากมายระหว่างค่ากำลังเอาต์พุตสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.25 และ 2.26

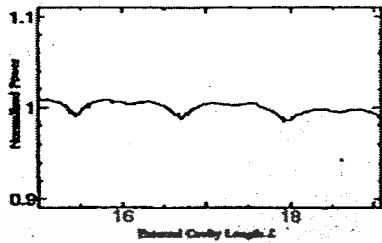


รูปที่ 2.25 ค่ากำลังเอาต์พุตเป็นฟังก์ชันของความยาวแควิตีภายนอกสำหรับตำแหน่งของแควิตีภายนอกที่ต่างกัน

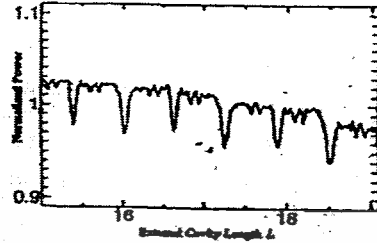
(ก)  $R=0.248$ ,  $L=15-19$  mm

(ข)  $R=0.248$ ,  $L=100-104$  mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



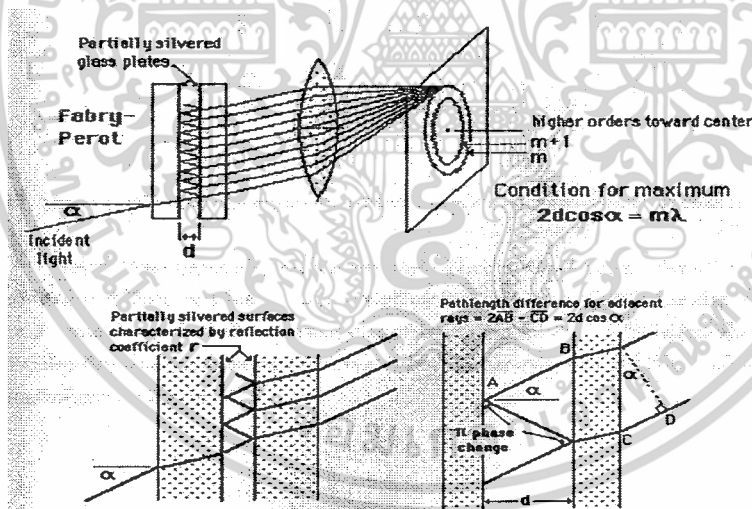
(ข)

รูปที่ 2.26 ค่ากำลังเอาพุทเป็นฟังก์ชันของความยาวแควิตีภายนอกสำหรับค่าการสะท้อนกลับของแสงที่ต่างกัน

(ก)  $R=0.0115$ ,  $L=15-19$  mm

(ข)  $R=0.387$ ,  $L=15-19$  mm

การแทรกสอดของแสงที่เกิดจากการสะท้อนกลับและเลเซอร์ไดโอดซึ่งแสงทั้งสองส่วนนี้จะมีการเคลื่อนที่ไปในตัวกลางเป็นระยะทางต่างๆ กัน จากนั้นก็จะกลับมาพบกันและแทรกสอดกันภายในเลเซอร์แควิตีแบบฟาบริ-เพอร์โร (Fabry-Perot) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของแสง ซึ่งสัญญาณการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถวัดได้จากโฟโตไดโอดภายในเลเซอร์ไดโอด ดังแสดงในรูปที่ 2.27

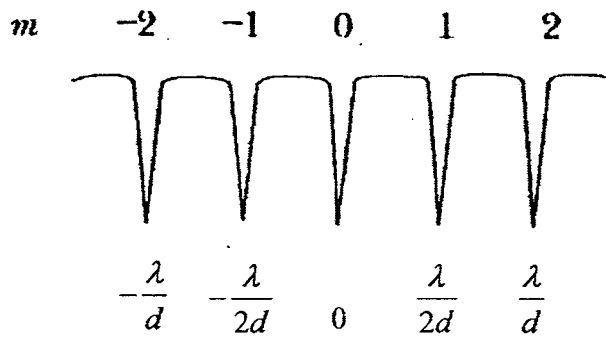


รูปที่ 2.27 การแทรกสอดภายในเลเซอร์แควิตีแบบฟาบริ-เพอร์โร (Fabry-Perot)

จากรูปที่ 2 แสดงเลเซอร์จากแหล่งกำเนิดให้แสงออกมาทำมุม  $\alpha$  ถ้าแสงนี้จะทำให้เกิดการสะท้อนหลายครั้ง และเมื่อแสงที่หักเหผ่านออกไปตกกระทบบนพื้นผิววัตถุแสงจะสะท้อนกลับภายในเลเซอร์แควิตีจะทำให้เกิดการแทรกสอดภายในเลเซอร์แควิตีแบบฟาบริ-เพอร์โร ลักษณะของการแทรกสอดที่เกิดขึ้นสามารถได้จากสมการที่ (2.24) และการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณการแทรกสอดภายในเลเซอร์แควิตีแบบฟาบริ-เพอร์โร นี้สามารถ ดังแสดงในรูปที่ 2.28

$$2d \cos \alpha = m \lambda \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณการแทรกสอดภายในเลเซอร์แควิตีแบบฟาบริ-เพอร์โร

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณการแทรกสอดภายในเลเซอร์แควิตีแบบฟาบริ-เพอร์โร จะเกิดได้ทั้งสนามใกล้เคียงและสนามไกล และยังเกิดจากปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น ค่ากำลังเอาต์พุทของเลเซอร์ ระยะห่างระหว่างพื้นผิวการสะท้อนหรือความยาวแควิตีภายนอก และลักษณะของพื้นผิวการสะท้อนซึ่งมีค่าการสะท้อนต่างๆ กัน ซึ่งจะพบว่าเกิดการจางลงของสัญญาณเป็นระยะ โดยมีความสัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆ (สุรศักดิ์ พิพัฒน์ศาสตร์; 2547, การสร้างภาพพื้นผิวด้วยหลักการเซลล์พิกซิ่ง ในเลเซอร์ไดโอด)

#### 2.4 อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to digital converters)

อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณ ดิจิตอล (Analog to digital converters ; ADC) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล

ในการที่จะทำการเลือกอุปกรณ์ ADC สำหรับกระบวนการทางอุตสาหกรรมจะพิจารณาจากลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ ADC โดยพิจารณาจากลักษณะดังนี้

- อัตราแซมปลิง(Sampling rate)

อัตราแซมปลิง (Sampling rate) นี้เป็นอัตราของสัญญาณอนาล็อก ที่ถูกทำการทดสอบ ค่าอัตราแซมปลิง ที่สูงจะมีความสำคัญกับระบบที่มีความซับซ้อน โดยที่สัญญาณทั้งหมดจะต้องถูกทำการทดสอบในช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยค่าขีดจำกัดบนของ อัตราแซมปลิงจะถูกควบคุมโดย คอนเวอร์สไทม์ (conversion time ADC)

- คอนเวอร์สไทม์ (conversion time)

คอนเวอร์สไทม์ (conversion time) เป็นค่าสำหรับการแปลงจากสัญญาณอนาล็อก ไปเป็นสัญญาณดิจิทัลออกมา

- รีโซลูชัน ของ ADC (Resolution of the ADC)

รีโซลูชัน (Resolution) จะอ้างถึงความแน่นอนในการที่จะแทนค่าสัญญาณอนาล็อก ด้วยสัญญาณดิจิทัล ซึ่งจะถูกตัดสินใจ โดยอาศัย จำนวนของระดับควอนติเซชัน (quantization level) โดยยึดจำนวนของบิตที่ใช้ใน ADC ซึ่งจำนวนของระดับควอนติเซชัน (quantization level) หาได้จากสูตร

$$\text{ระดับควอนติเซชัน (quantization level)} = 2^N \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

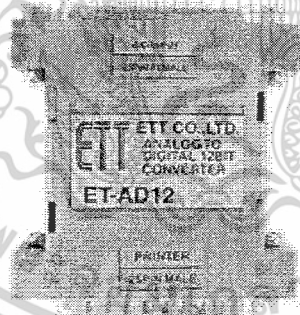
N คือ จำนวนบิตที่ถูกใช้โดย ADC การเว้นช่องว่างระหว่าง ระดับควอนติเซชัน (quantization level) จะเป็นค่าฟลูตเติลสำหรับสัญญาณอนาล็อก ที่เข้ามาจะถูกแบ่ง โดยจำนวนของ ระดับควอนติเซชัน (quantization level) สัญญาณอนาล็อก ที่เข้ามาจะถูกขยายให้เป็นฟลูตเติลของ 0 – 10 โวลต์ (อภิชาติ ฎุฬลัษ; 2548, เขียน โปรแกรม Hardware Interface ด้วย VB)

#### 2.4.1 ลักษณะทั่วไปของบอร์ด ET-AD12

ET-AD12 เป็นบอร์ด ใช้เปลี่ยนสัญญาณจากอนาล็อก เป็นสัญญาณทางดิจิตอลขนาด 12 บิต โดย ออกแบบให้เป็น บอร์ดขนาดเล็ก ใช้เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ PC ทางพอร์ตขนานของเครื่องพิมพ์ทำการเชื่อมต่อเป็นไปได้โดยง่าย เพราะไม่ต้องเปิดฝาเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อติดตั้งแต่อย่างใด และการพัฒนาโปรแกรม ก็สามารถทำได้โดยง่าย โดยสามารถเขียน โปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ PC ได้มากมายหลายภาษา ตามความถนัดซึ่ง ในที่นี้ผู้จัดทำได้ใช้โปรแกรม VisualBasic6 ซึ่งมีสิ่งที่สนับสนุนการทำงานกับพอร์ตได้

#### 2.4.2 คุณสมบัติของบอร์ด ET-AD12

CONVERSION TIME	:	60US
SAMPLING RATE	:	11.1KHZ
ADC/CHANNEL	:	2CHANNEL
GAIN ERROR	:	+/-2LSB
ANALOG INPUT RANGE	:	-0.05V TO+5.05V
+VCC SUPPLY	:	+9VDC



รูปที่ 2.29 บอร์ด ET-AD12 (<http://www.ett.co.th/>)

#### การติดตั้งบอร์ด ET-AD12 กับเครื่องคอมพิวเตอร์

สำหรับการติดตั้งบอร์ด ET-AD12 เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ PC สามารถทำได้โดยง่าย เพียงเสียบแผง บอร์ด ET-AD12 เข้ากับพอร์ตขนานซึ่งปกติใช้กับเครื่องพิมพ์ ซึ่งจะมีคอนเน็คเป็นแบบ DB25PIN ตัวเมีย โดย ต้องนำแผงบอร์ด ET-AD12 ด้านที่เป็นคอนเน็คเตอร์ DB25PIN ตัวผู้เสียบต่อเข้าไป ส่วนคอนเน็คเตอร์ตัวเมีย ซึ่ง อยู่ทางด้านทางของแผงบอร์ด นั้นเป็นจุดที่ใช้สำหรับต่อสัญญาณอนาล็อกอินพุตและแหล่งจ่ายไฟจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสัญญาณอนาล็อกอินพุต ที่ป้อนให้บอร์ด ET-AD12 ทางคอนเน็คเตอร์ DB25PIN ตัวเมีย นั้น ต้องเป็นสัญญาณซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 VDC ถึง +5 VDC (อภิมิติ ภูพลับ; 2546, เริ่มต้นเขียน โปรแกรมติดต่อกและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic)

**ตารางที่ 2.1 สัญญาณและจุดเชื่อมต่อของบอร์ด ET-AD12**

(<http://www.alldatasheet.com/>)

ชื่อสัญญาณของบอร์ด ET-AD12	ตำแหน่ง CONNECTOR DB25PIN ตัวเมีย
สัญญาณ ANALOG INPUT CHANNEL0	ขา 11 ของ CONNECTOR DB25PIN ตัวเมีย
สัญญาณ ANALOG INPUT CHANNEL1	ขา 9 ของ CONNECTOR DB25PIN ตัวเมีย
ไฟเลี้ยงวงจร (+VCC=+9VDC)	ขา 25 ของ CONNECTOR DB25PIN ตัวเมีย
สัญญาณGROUND	ขา 21,22,23,24 ของ CONNECTOR DB25PIN ตัวเมีย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงาน

โครงการนี้เกิดจากสมมติฐานที่ว่าถ้าแสงเลเซอร์ตกกระทบพื้นผิววัตถุแล้วจะต้องเกิดการสะท้อนของแสงกลับมาไม่มากนัก ถ้านำตัวตรวจรับแสงมาจัดวางในตำแหน่งที่แสงสะท้อนกลับก็น่าที่จะตรวจวัดสัญญาณการสะท้อนกลับได้บ้าง จากการเลือกเลเซอร์และตัวตรวจรับแสงที่จะใช้งาน ก็พบข้อสงสัยว่าทำไมเลเซอร์ถึงมี 3 ขา จากการศึกษาดูโครงสร้างจึงพบว่า ภายในประกอบไปด้วยตัวเลเซอร์ไดโอดและโฟโตไดโอด ซึ่งการผลิตอุปกรณ์ทางแสงโดยทั่วไปจะนำโฟโตไดโอดมาควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ไดโอดให้มีค่าคงที่ตลอดเพื่อให้กำลังของแสงเลเซอร์ที่ออกมาคงที่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงได้ตั้งสมมติฐานขึ้นมาว่าถ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเลเซอร์ไดโอดคงที่ตลอดเวลาและนำโฟโตไดโอดที่อยู่ภายในมาวัดปริมาณความเข้มแสงย้อนกลับจะทำได้หรือไม่ และได้ตั้งสมมติฐานขึ้นมาอีกข้อหนึ่งว่าถ้าระยะห่างระหว่างเลเซอร์ไดโอดที่อยู่ในมีโฟโตไดโอดกับพื้นผิววัตถุที่ทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนแสงเกิดการเปลี่ยนแปลง จะสามารถวัดสัญญาณจากโฟโตไดโอดได้หรือไม่ จากการทดลองในขั้นต้นพบว่าสามารถวัดสัญญาณได้แต่สัญญาณที่ได้ต่ำมาก จึงทำให้เกิดโครงการนี้ เพื่อที่จะวัดสัญญาณการสะท้อนและนำสัญญาณการสะท้อนนี้ไปใช้ต่อไป

ในการศึกษาครั้งนี้ได้วางแผนการดำเนินงานดังนี้

- 1.) การออกแบบและต่อวงจรไฟฟ้าของเลเซอร์ไดโอด
- 2.) การทดลองหาความสามารถของเลเซอร์ไดโอดในการวัดความลึกของวัตถุ
- 3.) การทดลองหาค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดความลึกของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้
- 4.) การออกแบบและต่อวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล
- 5.) การออกแบบและสร้าง โปรแกรมที่ใช้ในการวัดความลึกของวัตถุ

### 3.1 การออกแบบและต่อวงจรไฟฟ้าของเลเซอร์ไดโอด

#### 3.1.1 เลเซอร์ไดโอดและโฟโตไดโอด

ลักษณะของเลเซอร์ไดโอดซึ่งภายในมีโฟโตไดโอด รุ่น SANYO DL3038-011 ซึ่งมี 3 ขา

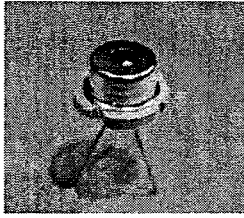
โดยแต่ละขามีหน้าที่ดังนี้

ขาที่ 1 เป็นโฟโตไดโอด มีหน้าที่ ควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ไดโอดให้มีค่าคงที่ตลอดเพื่อให้แสงเลเซอร์ออกมาคงที่ตลอดเวลา

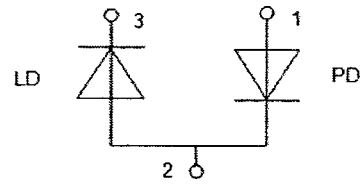
ขาที่ 2 เป็นขาที่ใช้ต่อเข้าแหล่งจ่ายไฟจากภายนอกให้แก่เลเซอร์ไดโอด

ขาที่ 3 เป็นเลเซอร์ไดโอด มีหน้าที่เปล่งแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

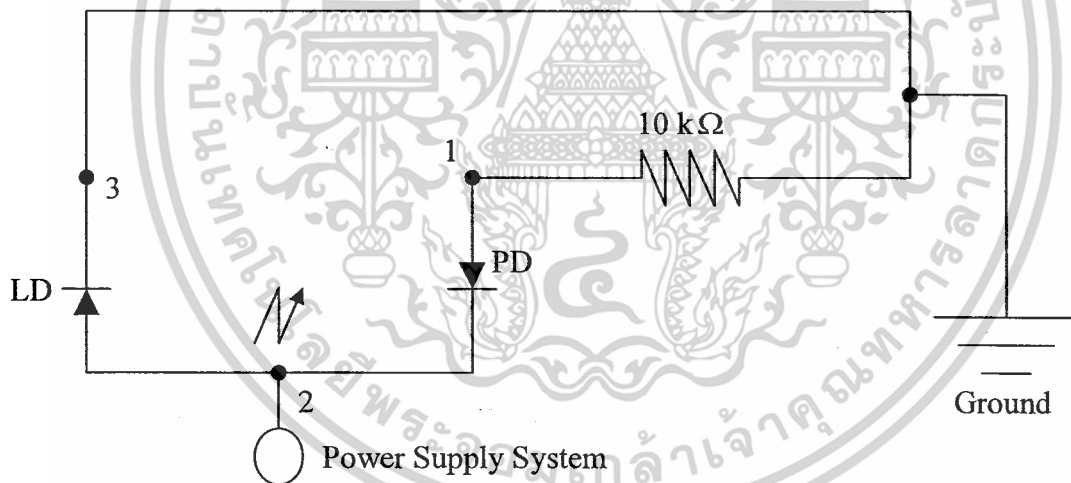
รูปที่ 3.1 เลเซอร์ไดโอด รุ่น SANYO DL3038-011

(ก) โครงสร้างภายนอกของเลเซอร์ไดโอด

(ข) โดอะแกรมแสดงภายในของเลเซอร์ไดโอด

### 3.1.2 การออกแบบและต่อวงจรไฟฟ้าของเลเซอร์ไดโอด

จากลักษณะของเลเซอร์ไดโอดที่กล่าวมาข้างต้น สามารถออกแบบและต่อวงจรไฟฟ้าของเลเซอร์ไดโอดได้ซึ่งวงจรนี้ประกอบไปด้วย เลเซอร์ไดโอด, โฟโตไดโอด ซึ่งต่ออนุกรมกับตัวต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์ม ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (สุรศักดิ์ พิพัฒน์ศาสตร์; 2547, การสร้างภาพพื้นผิววัตถุด้วยหลักการเซลล์พิกซิ่งในเลเซอร์ไดโอด)



รูปที่ 3.2 วงจรไฟฟ้าของเลเซอร์ไดโอด

### 3.2 การทดสอบหาความสามารถของเลเซอร์ไดโอดในการวัดความลึกของวัตถุ

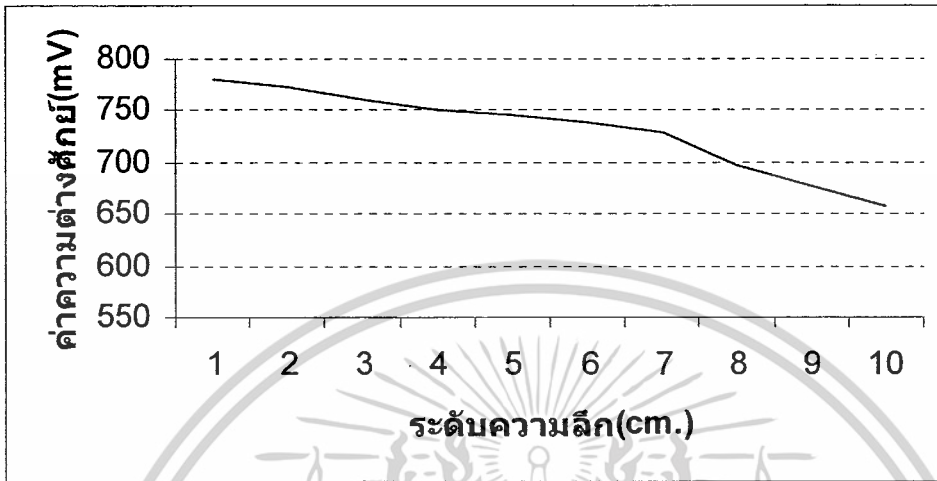
การทดสอบหาความสามารถของเลเซอร์ไดโอดในการวัดความลึกของวัตถุ สามารถทำได้โดยการทดสอบวัดค่าความลึก ที่ระดับความลึกต่างๆ กัน จากการ ซึ่งการทดสอบสามารถดำเนินการได้ดังนี้

- 1.) นำชิ้นงานที่ต้องการทดสอบติดตั้ง บนแท่งวางภายใต้หัวเลเซอร์ไดโอด
- 2.) ฉายแสงเลเซอร์ไดโอด ไปยังตำแหน่งที่ต้องการจะวัดความลึกของชิ้นงาน
- 3.) วัดค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับโฟโตไดโอด โดยใช้โวลต์มิเตอร์

บันทึกค่าไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.) ฉายแสงเลเซอร์ไดโอด ไปยังตำแหน่งที่ต้องการจะวัดความลึกต่อไป จนถึงระดับความลึก 10 เซนติเมตร บันทึกค่าความต่างศักย์ที่ได้ ผลการทดลองแสดงดังในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงความสามารถของเลเซอร์ไดโอดในการวัดความลึกที่ระดับต่างๆ

จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าเลเซอร์ไดโอดมีความสามารถในการวัดความลึกที่ระดับต่างๆ ได้ โดยที่ระดับความลึก 1 มิลลิเมตร สามารถวัดค่าความต่างศักย์ได้ 780 มิลลิโวลต์ เมื่อความลึกเพิ่มขึ้นค่าความต่างศักย์ที่ได้ มีค่าลดลง ในลักษณะเป็นเส้นตรง ดังนั้นจะสามารถใช้เลเซอร์ไดโอดวัดความลึกของวัตถุได้ จนกว่าจะไม่สามารถวัดค่าความต่างศักย์ได้ เนื่องจากแสงที่ตกกระทบพื้นผิวไม่สามารถสะท้อนกลับมา และโฟโตไดโอดไม่สามารถตรวจรับแสงได้

### 3.3 การทดลองหาค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดความลึกของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้

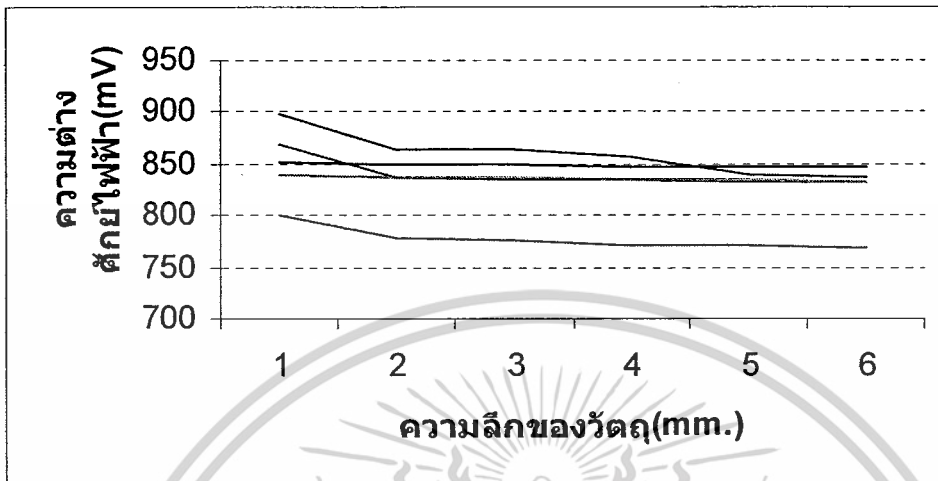
การทดลองหาค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดความลึกของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ สามารถทำได้เช่นเดียวกับการทดลองหาความสามารถของเลเซอร์ไดโอดในการวัดความลึกของวัตถุ สามารถดำเนินการทดลองได้ดังนี้

- 1.) นำชิ้นงานที่ต้องการทดสอบติดตั้ง บนแท่งวางภายใต้หัวเลเซอร์ไดโอด
- 2.) ฉายแสงเลเซอร์ไดโอด ไปยังตำแหน่งแรกที่จะใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงกับ ระดับความลึกที่ต้องการจะวัดต่อไป
- 3.) วัดค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับโฟโตไดโอด โดยใช้โวลต์มิเตอร์ บันทึกค่าไว้เป็นค่าความต่างศักย์อ้างอิง
- 4.) ฉายแสงเลเซอร์ไดโอด ไปยังตำแหน่งที่ต้องการจะวัดความลึก
- 5.) วัดค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับโฟโตไดโอด โดยใช้โวลต์มิเตอร์ บันทึกค่าไว้
- 6.) ทำการวัดความลึกของวัตถุจนถึงระดับความลึก 6 มิลลิเมตร ทำการทดลองจำนวน 5 ครั้ง และ

บันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.4



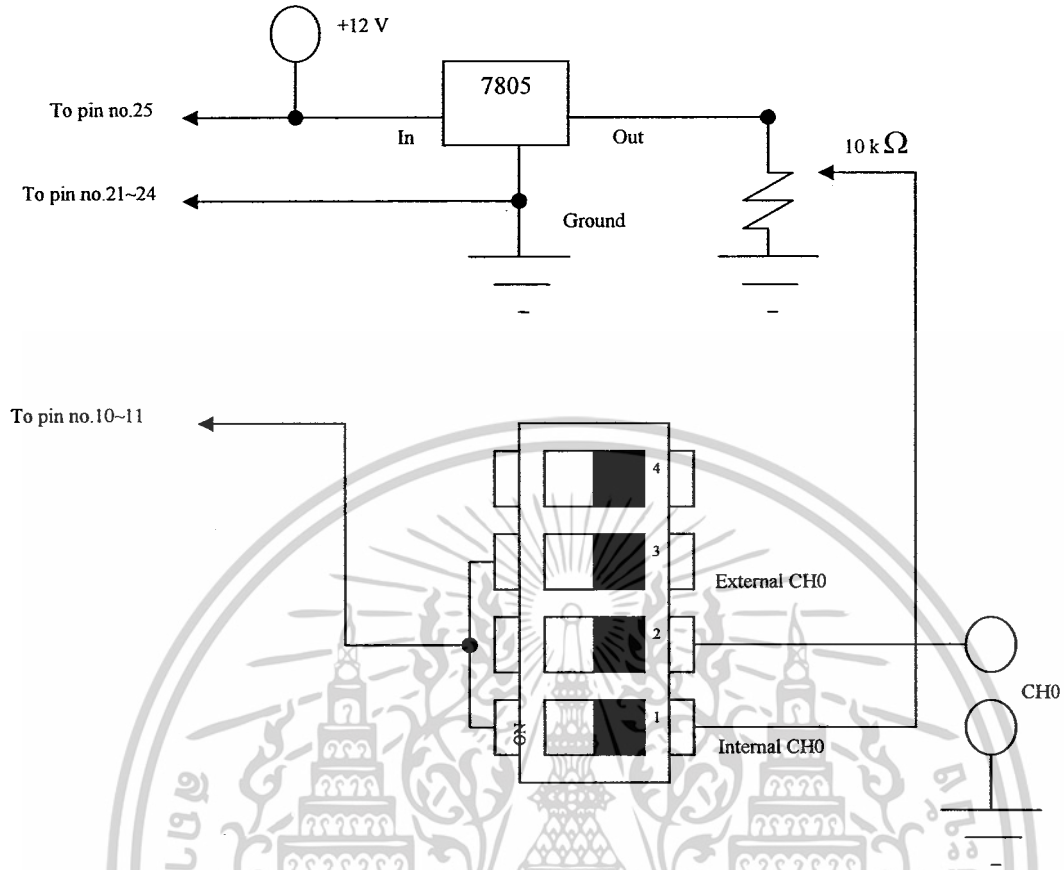
รูปที่ 3.4 แสดงค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดความลึกของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้

จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าการวัดความลึกของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ค่าทางไฟฟ้าที่ได้คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งมีค่าลดลง 1 มิลลิโวลต์ เมื่อความลึกของวัตถุเพิ่มขึ้น 1 มิลลิเมตร จากผลการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดความลึกของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ไดโอดได้

### 3.4 การออกแบบและต่อวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล

การออกแบบและต่อวงจรแปลงสัญญาณข้อมูลอนาล็อกเป็นสัญญาณข้อมูลดิจิทัลนั้น ในที่นี้เลือกใช้ตัวแปลงสัญญาณ ET-AD12 ซึ่งเป็นบอร์ดที่ใช้เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตขนาน โดยในการต่อสัญญาณอนาล็อกจากภายนอก และแหล่งจ่ายไฟนั้นจะต้องประกอบวงจรเพิ่มเติม ซึ่งวงจรนี้จะประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายไฟจากภายนอกขนาด 12 โวลต์, regulator voltage เบอร์ 7805, ลิมิตสวิตช์ชนิด 8 ขา และนำวงจรนี้ไปต่อขนานกับตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับโฟโต ไดโอดต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

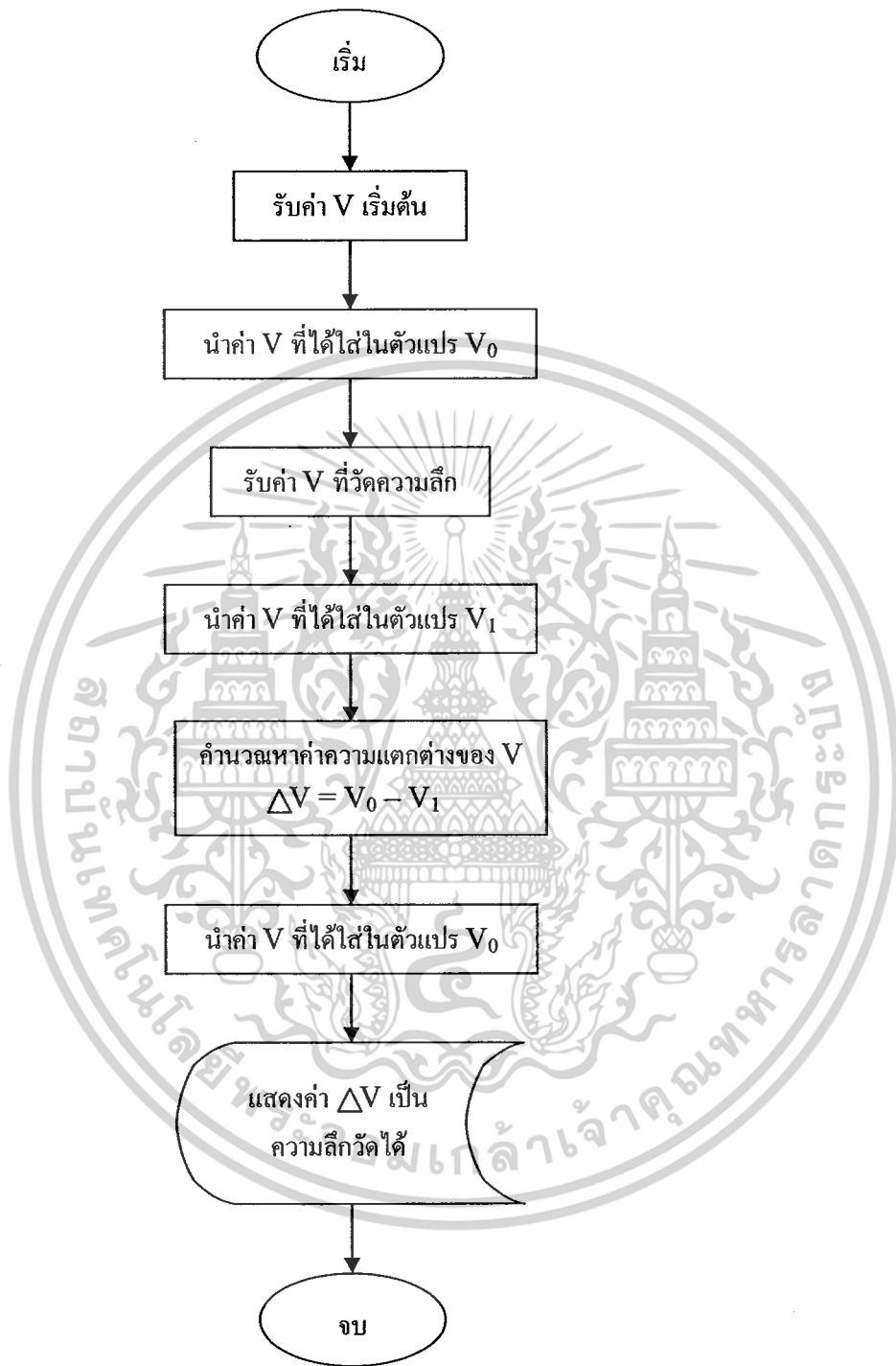


รูปที่ 3.5 วงจรเพิ่มเติมที่ใช้ร่วมกับบอร์ด ET-AD12

### 3.5 การออกแบบและสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการวัดความลึกของวัตถุ

จากสรุปผลการทดลองในหัวข้อที่ 3.3 การทดลองหาค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดความลึกของวัตถุ โดยใช้เลเซอร์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ สามารถนำมาทำการออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในการวัดความลึกของวัตถุได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในการวัดความลึกของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการออกแบบโปรแกรมข้างต้น สามารถนำมาสร้างเป็นตัวโปรแกรมโดยประยุกต์ใช้

โปรแกรม Visual Basic 6.0 ได้ ซึ่งโปรแกรมจะประกอบไปด้วย

- 1.) ค่าแรงดันค่าที่ 1 คือ ค่าความต่างศักย์อ้างอิงที่วัดที่ตำแหน่งอ้างอิง เพื่อจะใช้เป็นค่าอ้างอิงกับค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากการวัดความลึกของวัตถุ
- 2.) ค่าแรงดันค่าที่ 2 คือ ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากตำแหน่งที่ต้องการวัดความลึก เพื่อนำไปอ้างอิงกับค่าความต่างศักย์อ้างอิง
- 3.) ปุ่มคำนวณ คือ ปุ่มที่ใช้คลิกให้โปรแกรมทำการคำนวณหาค่าความลึกของวัตถุ โดยใช้ค่าที่ได้จากการวัดค่าความต่างศักย์ ที่เก็บไว้ในค่าแรงดันค่าที่ 1 และ 2
- 4.) เมื่อคลิกที่ปุ่มคำนวณก็จะได้ค่าความลึกของวัตถุในหน่วยมิลลิเมตร ออกมา โปรแกรมการวัดความลึกของวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ 3.7

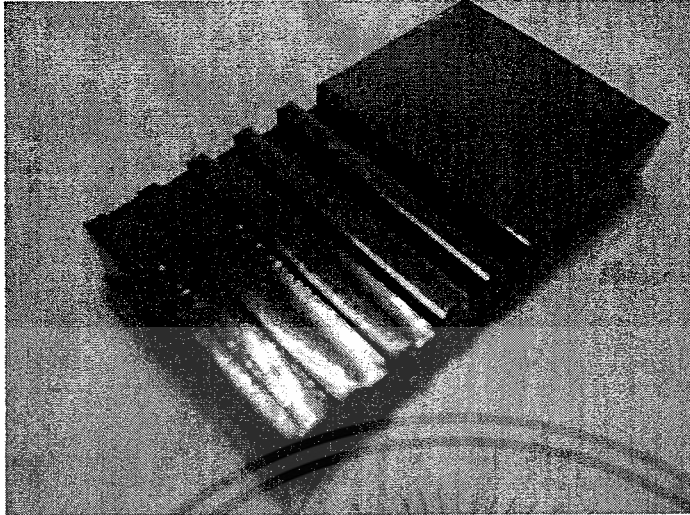


รูปที่ 3.7 โปรแกรมวัดความลึกของวัตถุ

### 3.6 การวางแผนการทดลองโปรแกรมวัดความลึกของวัตถุ โดยใช้เลเซอร์

การดำเนินการทดลองเริ่มจากการเลือกชิ้นงานตัวอย่าง ที่จะทำการทดลอง โดยชิ้นงานจะต้องมีพื้นผิวที่สามารถสะท้อนแสงได้ จึงจะเหมาะสมต่อการวัดความลึก โดยใช้เลเซอร์ไดโอด ในที่นี้เลือกชิ้นงานทดลองที่เป็นวัสดุเนื้อเดียวกันคือ อคิลริก ขนาด กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 9 เซนติเมตร สูง 1.5 เซนติเมตร นำมากัดให้เป็นร่องที่ระดับความลึก 1 มิลลิเมตรถึง 5 มิลลิเมตร แล้วจึงนำไปพันสีเพื่อให้เป็นวัสดุทึบแสง ดังแสดงในรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### รูปที่ 3.8 ชิ้นงานตัวอย่างที่จะทำการวัดความลึก

การทดลองควรปฏิบัติ ดังนี้

1. วัตถุที่นำมาทดลองต้องเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด
2. วัตถุที่นำมาทดลองต้องเป็นวัตถุทึบแสง และมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสง
3. ต้องจัดวางวัตถุให้อยู่ในตำแหน่งที่แสงเลเซอร์ตกกระทบพอดี
4. ควรทำการทดลองในที่ ที่มีอุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกัน อุณหภูมิที่จะเพิ่มขึ้นแก่ตัว เลเซอร์ไดโอด
5. ควรทำการทดลองในที่ ที่มีแสงสว่างเพียงพอ และคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการ

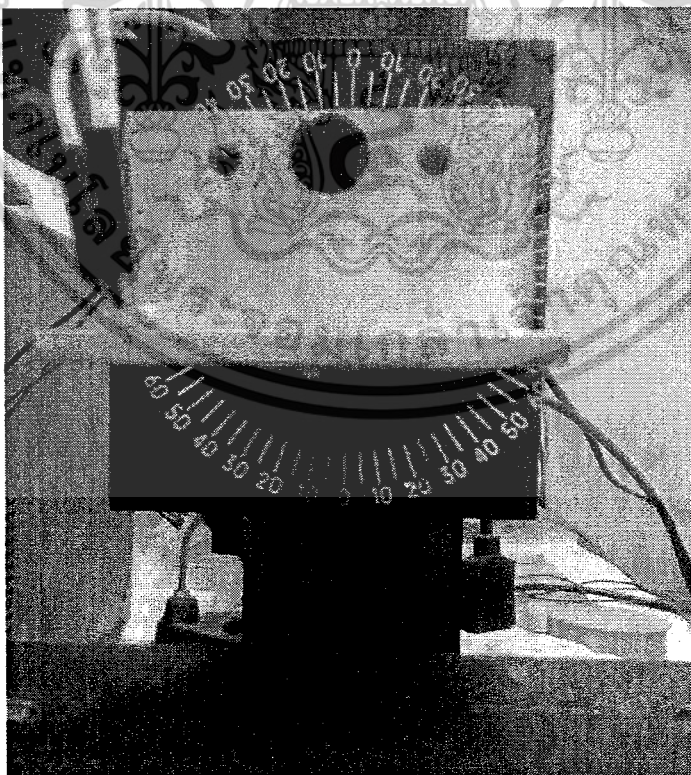
การศึกษาการวัดความลึกของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ แบ่งการดำเนินการเป็น 2 ด้าน คือด้านฮาร์ดแวร์ เกี่ยวข้องกับการศึกษาหลักการทำงานของเลเซอร์ไดโอด และพิจารณาถึงความสามารถในการพัฒนาการวัดความลึกของวัตถุ หลังการศึกษาการทำงานของการวัดความลึกของวัตถุ และส่วนที่ 2 คือด้านซอฟต์แวร์ เกี่ยวข้องกับการศึกษาการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมในการดำเนินการคือ โปรแกรมภาษา Visual Basic 6.0 ในการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ และเครื่องวัดความลึกของวัตถุ ในกระบวนการวัดความลึก การดำเนินการทั้งหมด ได้ผลดังนี้

#### 4.1 ผลการดำเนินการด้านฮาร์ดแวร์

จากการออกแบบและติดตั้งหัวเลเซอร์ไดโอดเข้ากับตัวเครื่อง สามารถใช้วัดความลึกของวัตถุได้ โดยตัวแทนติดตั้งหัวเลเซอร์ไดโอดประกอบด้วย

- 1.) ที่ติดตั้งหัวเลเซอร์ไดโอด ซึ่งมีลักษณะเป็นรู สามารถถอดเปลี่ยนหัวเลเซอร์ไดโอดได้
- 2.) ที่ปรับระดับความสูงของที่ติดตั้งหัวเลเซอร์ไดโอด
- 3.) แทนวางชิ้นงานทดสอบ ซึ่งสามารถปรับเลื่อนระยะไปในแนวแกน X และแกน Y ได้

ลักษณะตัวเครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การติดตั้งหัวเลเซอร์เข้ากับตัวเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังการติดตั้งหัวเลเซอร์เข้ากับตัวเครื่องแล้ว สามารถจัดวางชิ้นงานที่เลือกไว้บนแท่นวางชิ้นงานทดสอบ ตำแหน่งภายใต้หัวเลเซอร์ไดโอด เพื่อที่จะทำการฉายแสงเลเซอร์วัดความลึกของวัตถุ จากนั้นก็ทำการจ่ายไฟให้แก่เลเซอร์ไดโอด ขนาด 2.2 โวลต์ เลเซอร์ไดโอดก็จะเริ่มฉายแสง ลงบนชิ้นงานทดสอบ เพื่อทำการวัดความลึกต่อไป แสดงดังรูปที่ 4.2

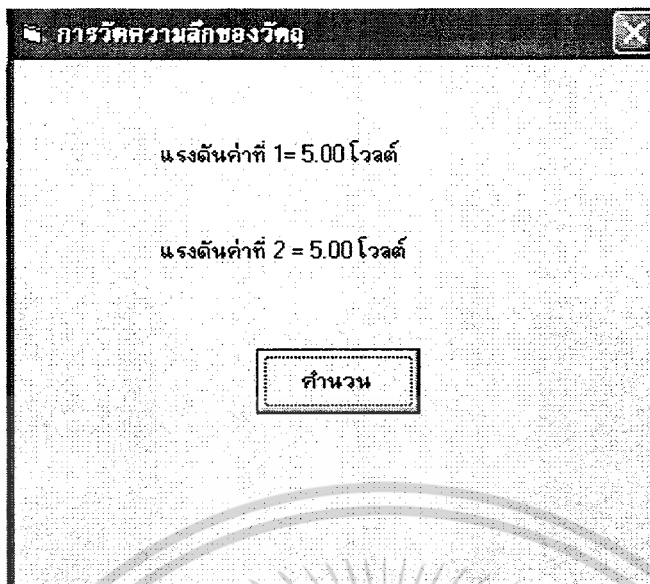


รูปที่ 4.2 การทดลองใช้เลเซอร์วัดความลึกของวัตถุ

#### 4.2 ผลการทดลองด้านโปรแกรม

การทดลอง โปรแกรมเริ่มต้นที่หน้าจอแรก เมื่อเปิด โปรแกรมขึ้นมาและยังไม่ได้ทำการจ่ายไฟให้แก่เลเซอร์ไดโอด เลเซอร์ไดโอดจะยังไม่เกิดการฉายแสง ค่าแรงดันค่าที่ 1 และ 2 จะมีค่าอยู่ที่ 5.00 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

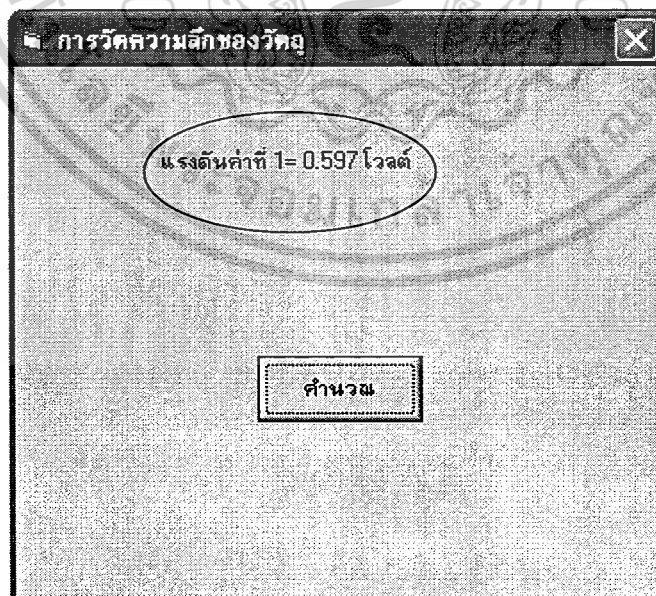
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูปแบบฟอร์มของ โปรแกรม ก่อนทำการวัดความลึก

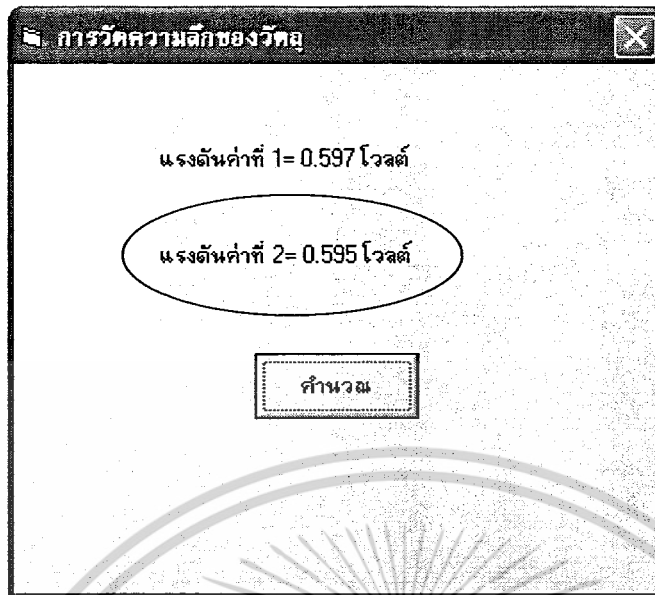
จากรูปแบบฟอร์มนี้ จำเป็นจะต้องวัดความลึกของวัตถุ เพื่อให้การวัดความลึกของวัตถุเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า โดยจะได้เป็นค่าแรงดันค่าที่ 1 เมื่อฉายแสงเลเซอร์ไดโอดไปที่ตำแหน่งแรกที่ใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิง ในการวัดความลึก และค่าแรงดันค่าที่ 2 เมื่อทำการฉายแสงไปที่ตำแหน่งที่ต้องการวัดความลึก จากนั้นทำการคลิกที่ปุ่มคำนวณ

เมื่อกดปุ่มเพื่อทำการคำนวณความลึกของวัตถุ โปรแกรมจะทำการคำนวณความลึกของวัตถุ โดยใช้ข้อมูล ค่าแรงดันที่วัด ได้ทั้ง 2 ค่า และคำนวณค่าความลึกของวัตถุในหน่วยมิลลิเมตรออกมา ซึ่งมีรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

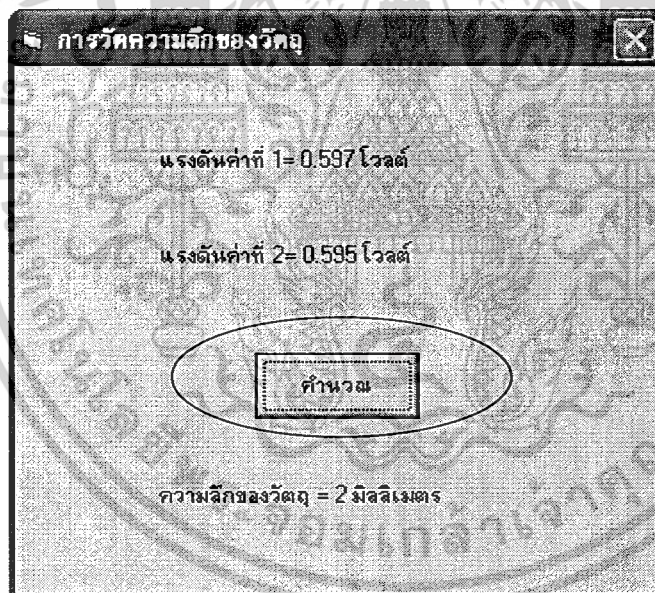


รูปที่ 4.4 รูปแบบฟอร์ม พร้อมข้อมูลแรงดันค่าที่ 1 หลังจากทำการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 รูปแบบฟอร์ม พร้อมข้อมูลแรงดันค่าที่ 2 หลังจากทำการวัด



รูปที่ 4.6 รูปแบบฟอร์ม พร้อมค่าความลึกที่ได้จากการคำนวณ

### 4.3 ผลการทดลอง

#### 4.3.1 การหาค่าความผิดพลาด (Error)

ในการคำนวณคู่ตัวอย่างหรือการกำหนดจำนวนครั้งที่ใช้ในการทดลองจะคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$N = \left\{ \left[ \frac{K}{S} (n \sum x^2 - (\sum x)^2)^{1/2} \right] / (\sum x) \right\}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$N$  = จำนวนครั้งที่ใช้ในการทดลอง

$n$  = จำนวนตัวอย่างการทดลอง

$K$  = ตัวประกอบของความเชื่อมั่น

$S$  = ความคลาดเคลื่อน

$X$  = ค่าที่ได้จากการทดลอง

ถ้าต้องการระดับความเชื่อมั่น 99.7% และยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ 5% และที่ระดับความเชื่อมั่น 99.7% จะได้ว่า  $K=3$  จากการคำนวณจะได้ค่า  $N=30$  ทำการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองหาค่าความผิดพลาด

ครั้ง	ค่ามาตรฐาน(มิลลิเมตร)	ค่าที่วัดได้(มิลลิเมตร)	ความผิดพลาด(ค่าสัมบูรณ์)
1	1	1	0
2	1	1	0
3	1	1	0
4	1	1	0
5	1	1	0
6	1	1	0
7	1	1	0
8	1	1	0
9	1	1	0
10	1	1	0
11	1	1	0
12	1	2	1
13	1	1	0
14	1	1	0
15	1	1	0
16	1	1	0
17	1	1	0
18	1	1	0
19	1	1	0
20	1	1	0
21	1	1	0
22	1	0	1
23	1	1	0
24	1	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองหาค่าความผิดพลาด (ต่อ)

ครั้ง	ค่ามาตรฐาน(มิลลิเมตร)	ค่าที่วัดได้(มิลลิเมตร)	ความผิดพลาด(ค่าสัมบูรณ์)
25	1	1	0
26	1	1	0
27	1	1	0
28	1	1	0
29	1	1	0
30	1	1	0
Sum of Absolute Deviations			2
Mean Absolute Deviations (MAD)			0.067

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าทำการทดลองโดยใช้การทดลองจำนวน 30 ครั้ง ผลการทดลองจะได้ค่า MAD เท่ากับ 0.067 มิลลิเมตร

#### 4.3.2 การวัดความลึกซ้ำที่ตำแหน่งเดิม (Repeatability)

$$s = \left[ \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 - 1/N \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right) / (N-1) \right]^{1/2}$$

เมื่อ

S = ค่า Repeatability

X = ค่าที่ได้จากการทดลอง

N = จำนวนตัวอย่างการทดลอง

ได้ค่า Repeatability จากการคำนวณดังนี้

$$S = \left[ (2 - 1/30(2)) / (30-1) \right]^{1/2}$$

$$= 0.26$$

#### 4.3.3 ค่าความละเอียดในการวัด (Resolution)

การหาค่าความละเอียดในการวัด ทำได้โดยการทดลองวัดความลึกที่ระดับความลึกต่างกันครั้งละ 0.1 มิลลิเมตร โดยทำการวัดตั้งแต่ระดับความลึก 0 มิลลิเมตร จนถึงระดับความลึก 3.5 มิลลิเมตร ได้ผลการทดลองทั้งหมด 35 ค่า ดังแสดงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองหาค่าความละเอียดในการวัด

ครั้งที่	ระดับความลึก(มิลลิเมตร)	ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (มิลลิโวลต์)
1	0	800
2	0.1	800
3	0.2	800
4	0.3	800
5	0.4	799
6	0.5	799
7	0.6	799
8	0.7	799
9	0.8	799
10	0.9	799
11	1	799
12	1.2	799
13	1.3	799
14	1.4	799
15	1.5	798
16	1.6	798
17	1.7	789
18	1.8	788
19	1.9	788
20	2	788
21	2.1	788
22	2.2	788
23	2.3	788
24	2.4	788
25	2.5	788
26	2.6	787
27	2.7	787
28	2.8	787
29	2.9	787

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองหาค่าความละเอียดในการวัด (ต่อ)

ครั้งที่	ระดับความลึก(มิลลิเมตร)	ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (มิลลิโวลต์)
30	3	787
31	3.1	787
32	3.2	787
33	3.3	787
34	3.4	787
35	3.5	787

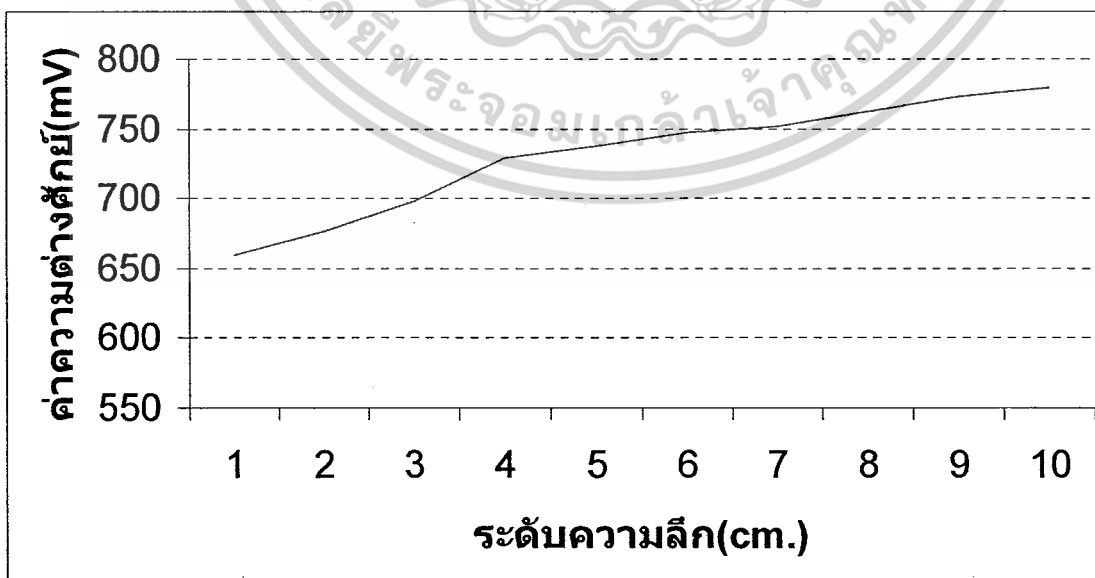
จากผลการทดลองหาค่าความละเอียดในการวัด สามารถสรุปได้ว่า ค่าความต่างศักย์ที่วัดความแตกต่างได้ คือ ค่าที่ระดับความลึกของการทดสอบเท่ากับ 0.4 มิลลิเมตร ดังนั้น ค่าความละเอียดในการวัดความลึกของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ไดโอด จะเท่ากับ 0.4

#### 4.3.4 การทดลองใช้เลเซอร์ไดโอดวัดความสูง

การทดลองใช้เลเซอร์ไดโอดวัดความสูง สามารถดำเนินการทดลองได้ดังนี้

- 1.) ฉายแสงเลเซอร์ไดโอด ไปที่แท่นวางชิ้นงานทดสอบ
- 2.) เคลื่อนหัวเลเซอร์ไดโอดออกจากห่างจากระดับแท่นวางชิ้นงานทดสอบ ที่ละ 1 มิลลิเมตร จนหัวเลเซอร์ไดโอดมีระดับความสูงห่างจากแท่นวางชิ้นงานทดสอบ เท่ากับ 10 เซนติเมตร
- 3.) วัดค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับโฟโต ไดโอด โดยใช้โวลต์มิเตอร์ ที่ระดับความสูงต่างๆ บันทึกค่า

ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงความสามารถของเลเซอร์ไดโอดในการวัดความสูงที่ระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาก็เท่านั้น แม้ผู้ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าเลเซอร์ไดโอดมีความสามารถในการวัดความสูงที่ระดับต่างๆได้ โดยที่ระดับความสูง 1 มิลลิเมตร สามารถวัดค่าความต่างศักย์ได้ 654 มิลลิโวลต์ เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นค่าความต่างศักย์ที่ได้ มีค่าเพิ่มขึ้น ในลักษณะเป็นเส้นตรง ดังนั้นจะสามารถใช้เลเซอร์ไดโอดวัดความสูงของวัตถุได้ จนกว่าจะไม่สามารถวัดค่าความต่างศักย์ได้ เนื่องจากแสงที่ตกกระทบพื้นผิวไม่สามารถสะท้อนกลับมา และโฟโตไดโอดไม่สามารถตรวจรับแสงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและแนวทางการแก้ไข

### 5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์

จากการศึกษาในครั้งนี้ สามารถสรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์ ได้

1. การทดลองนี้ได้เลือกใช้เลเซอร์ไดโอดซึ่งภายในมีโฟโตไดโอด รุ่น SANYO DL3038-011 ซึ่งมี 3 ขา ใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 2.2 V ซึ่งเป็นค่าแรงดันที่ถือว่าต่ำมาก
2. การทดลองนี้เลือกใช้พาวเวอร์ซัพพลายที่มีการวัดเป็นแบบอนาล็อก ซึ่งค่าที่จ่ายออกมาจะไม่แน่นอน ยกเว้นการควบคุม
3. ตัวเครื่องที่ใช้ในการติดตั้งหัวเลเซอร์ เป็นตัวเครื่องที่ทำการปรับปรุงมาจากเครื่องกัด ซึ่งเป็นเครื่องกัดที่ใช้ในการทดลอง มีขนาดเล็กพอเหมาะกับการใช้วัดความลึกของวัตถุที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก

### 5.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานด้านซอฟต์แวร์

การแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์นั้นจะใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ในการประมวลผลโดยในการเขียนโปรแกรม จะทำการแสดงผลออกทางหน้าจอ คือ สามารถแสดงผลออกมาในรูปแบบของค่าที่วัดได้ ซึ่งจะแสดงออกมาเป็นค่าแรงดันทางไฟฟ้า 2 ค่า คือ ค่าแรงดันที่ 1 เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ที่ตำแหน่งอ้างอิง และค่าแรงดันที่ 2 เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ที่ตำแหน่งที่ต้องการวัดความลึกที่อ้างอิงกับตำแหน่งแรก ซึ่งค่าทั้ง 2 จะนำมาใช้ทำการคำนวณและประมวลผลออกมาเป็นค่าความลึกของวัตถุในหน่วยมิลลิเมตร

### 5.3 ข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาและแก้ไข

- สามารถนำแนวความคิดในการเลเซอร์ตรวจวัด ไปใช้ในงานอื่นๆ
- ควรเปลี่ยนการจ่ายไฟให้แก่เลเซอร์ไดโอดมาเป็นพาวเวอร์ซัพพลายที่แสดงผลเป็นแบบดิจิทัล เพื่อความแน่นอนและคงที่ในการจ่ายไฟ
- เลเซอร์ไดโอดควรเลือกใช้แบบที่มีสารประกอบภายในเป็น ฮีเลียม-นีออน ซึ่งจะสามารถเปล่งแสงออกมาได้ และควรจะใช้แบบที่มีกำลังสูงๆ เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายทางไฟฟ้า
- การวัดควรจะลดความผิดพลาดให้น้อยลง โดยลดปัจจัยที่จะมีผลต่อการวัดทางแสง เช่น แสงจากภายนอก เป็นต้น
- ควรใช้ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีความละเอียดมากขึ้น เพื่อเพิ่มความละเอียดให้กับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. กิตติ ภัคดีพัฒนากุล, Visual Basic 6.0 ฉบับโปรแกรมเมอร์, เลทีบี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์, 2545
2. เฉลิมพล พรธโนภาส, วงจรขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอด, คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544
3. ชาร์ลส์ เอ. ชูลเลอร์, Electronics : principles and applications, แมคกรอ-ฮิล, 2541
4. เจ. วิลสัน, Lasers : principles and applications, เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า, 2544
5. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว, เลเซอร์อินเจียร์ริง, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529
6. สุรพล รักวิจิตร, ฟิสิกส์ 2, คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547
7. สุรศักดิ์ พิพัฒน์ศาสตร์, การสร้างภาพพื้นผิววัตถุด้วยหลักการเซล์ฟมิกซิงในเลเซอร์ไดโอด, คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547
8. อภิชาติ ภูพิลัป, เขียน โปรแกรม Hardware Interface ด้วย VB6, ไอดีซีอินโฟสทริบิวเตอร์เซ็นเตอร์, 2548
9. อภิชาติ ภูพิลัป, เริ่มต้นเขียน โปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic, อินโฟเพลส, 2546
10. <http://www.alldatasheet.com/>
11. <http://www.ett.co.th/>
12. <http://www.google.co.th/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DL-3038-011

## Index Guided AlGaInP Laser Diode

### Overview

DL-3038-011 is index guided 635 nm (Typ.) AlGaInP laser diode. The low threshold current and short wavelength are achieved by a strained multiple quantum well active layer. The lasing wavelength is the same as He-Ne gas lasers. DL-3038-011 is suitable for laser pointers.

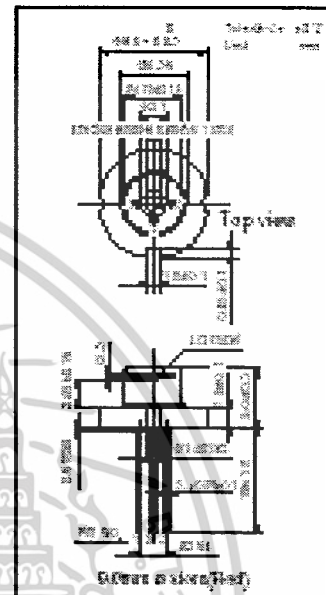
### Features

- Short wavelength : 635 nm (Typ.)
- High output power : 5 mW CW
- Low threshold current :  $I_{th} = 40$  mA (Typ.)
- Low operating voltage :  $V_{op} = 2.2$  V (Typ.)

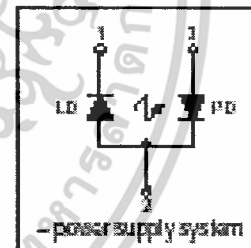
### Absolute Maximum Ratings at $T_c = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Light Output	$P_o$	5	mW
Reverse Voltage	Laser PIN $V_R$	2	V
		30	
Operating Temperature	$T_{opr}$	-10 to +40	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40 to +85	$^\circ\text{C}$

### Package Dimensions



### Electrical Connection



### Electrical and Optical Characteristics at $T_c = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Threshold Current	$I_{th}$	CW	-	40	70	mA
Operating Current	$I_{op}$	$P_o = 5$ mW	-	55	85	mA
Operating Voltage	$V_{op}$	$P_o = 5$ mW	-	2.2	2.4	V
Lasing Wavelength	$\lambda_p$	$P_o = 5$ mW	-	635	640	nm
Beam Divergence	Perpendicular	$\theta_{\perp}$	25	35	40	deg.
	Parallel	$\theta_{\parallel}$	6	8	10	deg.
Off-axis Angle	Perpendicular	$\Delta\theta_{\perp}$	-	-	$\pm 3$	deg.
	Parallel	$\Delta\theta_{\parallel}$	-	-	$\pm 3$	deg.
Differential Efficiency	$dP_o/dI_{op}$	-	0.1	0.3	-	mW/mA
Monitoring Output Current	$I_m$	$P_o = 5$ mW	0.05	0.2	-	mA
Astigmatism	$A_s$	$P_o = 5$ mW	-	8	-	$\mu\text{m}$

\*) Full angle at half maximum note : The above product specifications are subject to change without notice.

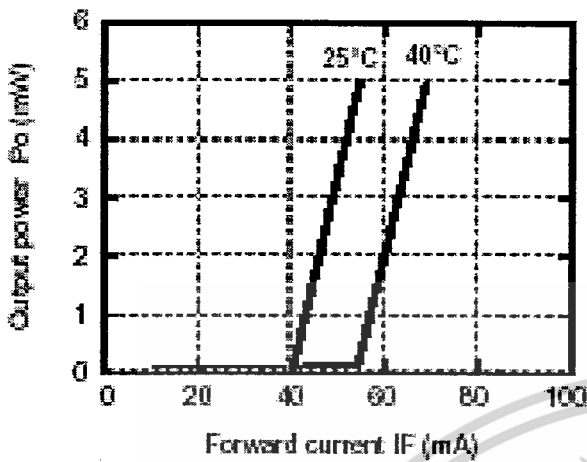
**SANYO Electric Co., Ltd. Semiconductor Business Headquarters**  
 TOKYO OFFICE Tokyo Bldg., 1-10, 1 Chome, Ueno, Taisho-ku, TOKYO, 110-8534 JAPAN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น No. 2796 GI / 2557 GI (UM) No. 5355 J / 3

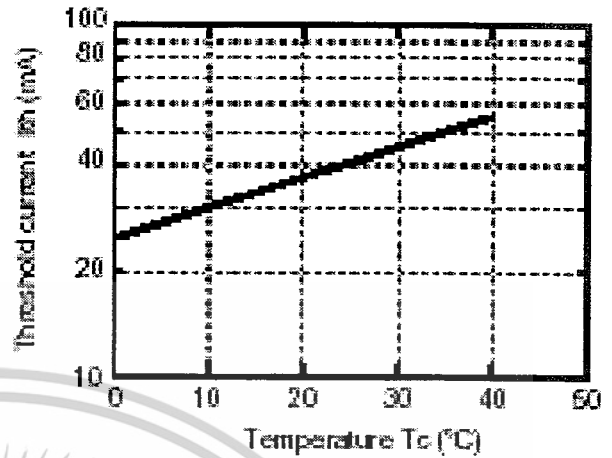
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Characteristics

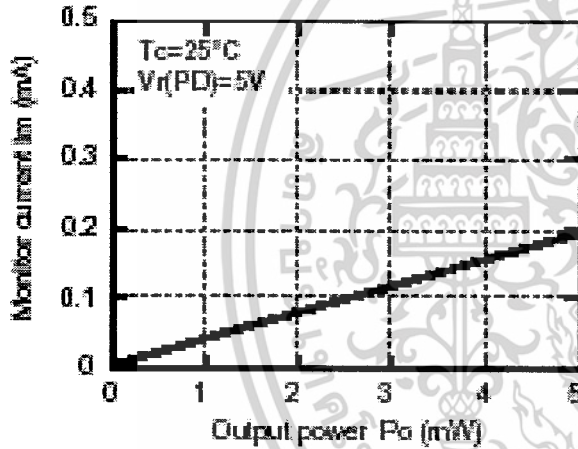
Output power vs. Forward current



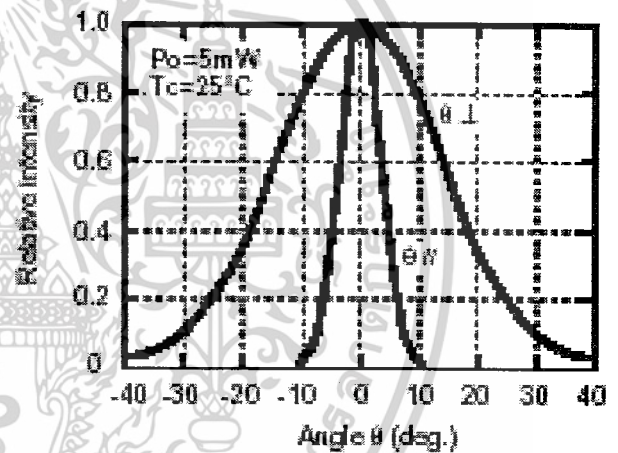
Threshold current vs. Temperature



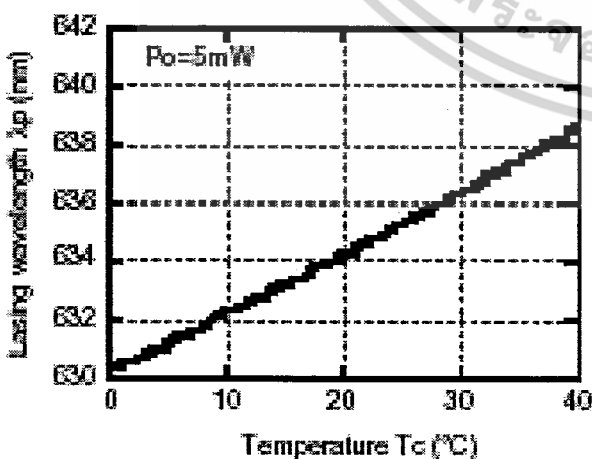
Monitor current vs. Output power



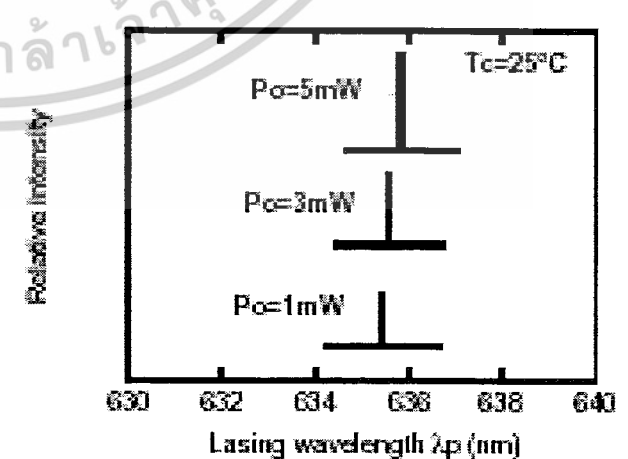
Beam divergence



Lasing wavelength vs. Temperature



Output power vs. Lasing wavelength



เอกสารนี้เป็นเอกสารทศวงนวิชาหการเขงานเพอการศกษาเท่านั้น เมอนุญาตหนาเปเซบระเส

ไมวารณมใตๆ ทั้งลน อกทั้งหามใให้ดัดแปลงเนือหาและดองอองงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใ้


**CAUTION**

1. No products described or contained herein are intended for use in surgical implants, life-support systems, aerospace equipment, nuclear power control systems, vehicles, disaster / crime-prevention equipment or the like, and the failure of which may directly or indirectly cause injury, death or property loss.
2. Anyone purchasing any products described or contained herein for an above-mentioned use shall:
  - 1) Accept full responsibility and indemnify and defend SANYO ELECTRIC CO., LTD., its affiliates, subsidiaries and distributors or any of their officers and employees, jointly and severally, against any and all claims and litigation and all damages, costs and expenses associated with such use.
  - 2) Not impose any responsibility for any fault or negligence which may be cited in any such claim or litigation on SANYO ELECTRIC CO., LTD., its affiliates, subsidiaries and distributors or any of their officers and employees jointly or severally.
3. Information (including circuit diagrams and circuit parameters) disclosed herein is for example only; it is not guaranteed for mass production, SANYO believes the information disclosed herein is accurate and reliable, but no guarantees are made or implied regarding its use or any infringements of intellectual property rights or other rights of third parties.

### Precautionary instructions in handling gallium arsenic products

Special precautions must be taken in handling this product because it contains, gallium arsenic, which is designated as a toxic substance by law. Be sure to adhere strictly to all applicable laws and regulations enacted for this substance, particularly when it comes to disposal.

Manufactured by : Tottori SANYO Electric Co., Ltd.  
 Electronics Device Business Headquarters LED Division  
 5-318, Tachikawa-cho, Tottori City, 680-8534 Japan  
 TEL: +81-857-21-2137 FAX: +81-857-21-2161

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 No.5853 3/3  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Micropower Sampling 12-Bit A/D Converters In SO-8 Packages

## FEATURES

- 12-Bit Resolution
- 8-Pin SOIC Plastic Package
- Low Cost
- Low Supply Current: 250 $\mu$ A Typ.
- Auto Shutdown to 1nA Typ.
- Guaranteed  $\pm 3/4$ LSB Max DNL
- Single Supply 5V to 9V Operation
- On-Chip Sample-and-Hold
- 60 $\mu$ s Conversion Time
- Sampling Rates:
  - 12.5 ksp/s (LTC1286)
  - 11.1 ksp/s (LTC1298)
- I/O Compatible with SPI, Microwire, etc.
- Differential Inputs (LTC1286)
- 2-Channel MUX (LTC1298)
- 3V Versions Available: LTC1285/LTC1288

## APPLICATIONS

- Battery-Operated Systems
- Remote Data Acquisition
- Battery Monitoring
- Handheld Terminal Interface
- Temperature Measurement
- Isolated Data Acquisition

## DESCRIPTION

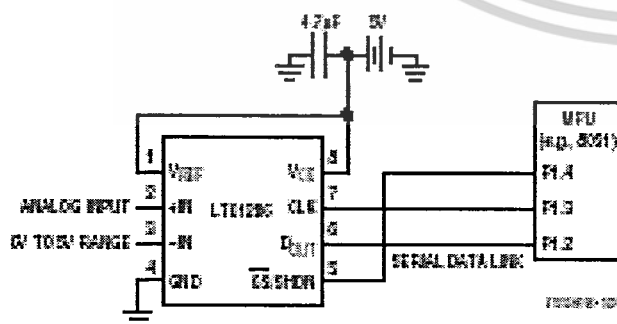
The LTC1286/LTC1298 are micropower, 12-bit, successive approximation sampling A/D converters. They typically draw only 250 $\mu$ A of supply current when converting and automatically power down to a typical supply current of 1nA whenever they are not performing conversions. They are packaged in 8-pin SO packages and operate on 5V to 9V supplies. These 12-bit, switched-capacitor, successive approximation ADCs include sample-and-holds. The LTC1286 has a single differential analog input. The LTC1298 offers a software selectable 2-channel MUX.

On-chip serial ports allow efficient data transfer to a wide range of microprocessors and microcontrollers over three wires. This, coupled with micropower consumption, makes remote location possible and facilitates transmitting data through isolation barriers.

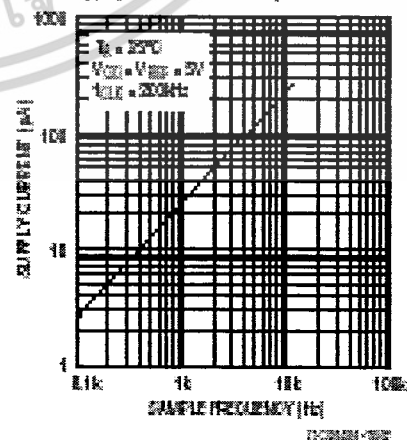
These circuits can be used in ratiometric applications or with an external reference. The high impedance analog inputs and the ability to operate with reduced spans (to 1.5V full scale) allow direct connection to sensors and transducers in many applications, eliminating the need for gain stages.

## TYPICAL APPLICATIONS

25 $\mu$ W, SO-8 Package, 12-Bit A/D  
Samples at 20kHz and Runs Off a 5V Supply



Supply Current vs Sample Rate



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Notes 1 and 2)

Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) to GND .....	12V	Power Dissipation .....	500mW
Voltage		Operating Temperature Range	
Analog and Reference .....	-0.3V to $V_{CC} + 0.3V$	LTC1286C/LTC1298C .....	0°C to 70°C
Digital Inputs .....	-0.3V to 12V	LTC1286I/LTC1298I .....	-40°C to 85°C
Digital Output .....	-0.3V to $V_{CC} + 0.3V$	Storage Temperature Range .....	-65°C to 150°C
		Lead Temperature (Soldering, 10 sec.) .....	300°C

## PACKAGE/ORDER INFORMATION

<p>TOP VIEW</p> <p>8-PIN PACKAGE 8-LEAD PLASTIC DIP <math>T_{max} = 150°C, \theta_{JA} = 130°C/W</math></p>	ORDER PART NUMBER	<p>TOP VIEW</p> <p>8-PIN PACKAGE 8-LEAD PLASTIC SOIC <math>T_{max} = 150°C, \theta_{JA} = 175°C/W</math></p>	ORDER PART NUMBER
	LTC1286CN8 LTC1286IN8		LTC1286CS8 LTC1286IS8
PART MARKING		PART MARKING	
1286C 1286I		1286C 1286I	
<p>TOP VIEW</p> <p>8-PIN PACKAGE 8-LEAD PLASTIC DIP <math>T_{max} = 150°C, \theta_{JA} = 130°C/W</math></p>	ORDER PART NUMBER	<p>TOP VIEW</p> <p>8-PIN PACKAGE 8-LEAD PLASTIC SOIC <math>T_{max} = 150°C, \theta_{JA} = 175°C/W</math></p>	ORDER PART NUMBER
	LTC1298CN8 LTC1298IN8		LTC1298CS8 LTC1298IS8
PART MARKING		PART MARKING	
1298C 1298I		1298C 1298I	

Consult factory for military grade parts.

## RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_{CC}$	Supply Voltage (Note 3)	LTC1298	4.5		9.0	V
		LTC1286	4.5		5.5	V
CLK	Clock Frequency	$V_{CC} = 5V$	(Note 4)		200	kHz
$t_{CYC}$	Total Cycle Time	LTC1298, $f_{CLK} = 200kHz$	80			$\mu s$
		LTC1286, $f_{CLK} = 200kHz$	90			$\mu s$
$t_{HD}$	Hold Time, $D_{OUT}$ After CLK $\uparrow$	$V_{CC} = 5V$	150			$\mu s$
$t_{SU,CS}$	Setup Time ( $CS$ ), Before First CLK $\uparrow$ (See Operating Sequence)	LTC1298, $V_{CC} = 5V$	2			$\mu s$
		LTC1286, $V_{CC} = 5V$	2			$\mu s$
$t_{SU,D1}$	Setup Time, $D_{OUT}$ Stable Before CLK $\uparrow$	$V_{CC} = 5V$	400			$\mu s$
$t_{HIGH,CLK}$	CLK High Time	$V_{CC} = 5V$	2			$\mu s$
$t_{LOW,CLK}$	CLK Low Time	$V_{CC} = 5V$	2			$\mu s$
$t_{HIGH,CS}$	$CS$ High Time Between Data Transfer Cycles	$V_{CC} = 5V$	2			$\mu s$
$t_{LOW,CS}$	$CS$ Low Time During Data Transfer	LTC1298, $f_{CLK} = 200kHz$	75			$\mu s$
		LTC1286, $f_{CLK} = 200kHz$	85			$\mu s$

## CONVERTER AND MULTIPLEXER CHARACTERISTICS (Note 5)

PARAMETER	CONDITIONS	LTC1286			LTC1298			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Resolution (No Missing Codes)		12			12			Bits
Integral Linearity Error	(Note 6)	±3/4 ±2			±3/4 ±2			LSB
Differential Linearity Error		±1/4 ±3/4			±1/4 ±3/4			LSB
Offset Error		3/4 ±2			3/4 ±2			LSB
Gain Error		±2 ±8			±2 ±8			LSB
Analog Input Range	(Notes 7 and 8)	-0.05V to $V_{CC} + 0.05V$						V
REF Input Range (LTC1286)	$4.5 \leq V_{CC} \leq 5.5V$	1.5V to $V_{CC} + 0.05V$						V
	$5.5V < V_{CC} \leq 9V$	1.5V to 0.05V						V
Analog Input Leakage Current (Note 10)		±1			±1			µA

## DIGITAL AND DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 5)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_{IH}$	High Level Input Voltage	$V_{CC} = 5.25V$	2			V
$V_{IL}$	Low Level Input Voltage	$V_{CC} = 4.75V$	0.9			V
$I_{IH}$	High Level Input Current	$V_{IN} = V_{CC}$	2.5			µA
$I_{IL}$	Low Level Input Current	$V_{IN} = 0V$	-2.5			µA
$V_{OH}$	High Level Output Voltage	$V_{CC} = 4.75V, I_O = -10\mu A$	4.0			V
		$V_{CC} = 4.75V, I_O = 25\mu A$	4.62			V
$V_{OL}$	Low Level Output Voltage	$V_{CC} = 4.75V, I_O = 1.5mA$	0.4			V
$I_{OZ}$	Hi-Z Output Leakage	$CS = High$	±2			µA
$I_{SOURCE}$	Output Source Current	$V_{OUT} = 0V$	-25			mA
$I_{SINK}$	Output Sink Current	$V_{OUT} = V_{CC}$	45			mA
$R_{REF}$	Reference Input Resistance (LTC1286)	$CS = V_{CC}$	5000			kΩ
		$CS = GND$	55			kΩ
$I_{REF}$	Reference Current (LTC1286)	$CS = V_{CC}$	0.091			25
		$I_{OVC} \geq 640\mu s, f_{CLK} \leq 250kHz$	90			140
		$I_{OVC} = 90\mu s, f_{CLK} = 200kHz$	50			140
$I_{CC}$	Supply Current	$CS = V_{CC}$	0.004			±3.0
		LTC1286, $I_{OVC} \geq 640\mu s, f_{CLK} \leq 250kHz$	200			400
		LTC1286, $I_{OVC} = 90\mu s, f_{CLK} = 200kHz$	25.0			500
		LTC1298, $I_{OVC} \geq 720\mu s, f_{CLK} \leq 250kHz$	29.0			490
		LTC1298, $I_{OVC} = 90\mu s, f_{CLK} = 200kHz$	34.0			540

## DYNAMIC ACCURACY $f_{SAMPL} = 12.5kHz$ (LTC1286), $f_{SAMPL} = 11.1kHz$ (LTC1298) (Note 5)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$S/N(dB)$	Signal-to-Noise Plus Distortion Ratio	1kHz/7kHz Input Signal	71/68			dB
THD	Total Harmonic Distortion (Up to 5th Harmonic)	1kHz/7kHz Input Signal	-84/-83			dB
SFDR	Spurious-Free Dynamic Range	1kHz/7kHz Input Signal	90/86			dB
	Peak Harmonic or Spurious Noise	1kHz/7kHz Input Signal	-93/-85			dB



เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกึ่ง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# AC CHARACTERISTICS (Note 5)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$t_{SAMPL}$	Analog Input Sample Time	See Operating Sequence		1.5		CLK Cycles
$f_{SAMPL, MAX}$	Maximum Sampling Frequency	LTC1286 LTC1298	● ●	12.5 11.1		k-Hz k-Hz
$t_{CONV}$	Conversion Time	See Operating Sequence		12		CLK Cycles
$t_{DLY}$	Delay Time, CLK <sub>L</sub> to D <sub>OUT</sub> Data Valid	See Test Circuits	●	250	600	ns
$t_{DLY}$	Delay Time, CS <sub>F</sub> to D <sub>OUT</sub> Hi-Z	See Test Circuits	●	150	300	ns
$t_{EN}$	Delay Time, CLK <sub>L</sub> to D <sub>OUT</sub> Enable	See Test Circuits	●	75	200	ns
$t_{HOLD}$	Time Output Data Remains Valid After CLK <sub>L</sub>	$C_{LOAD} = 100pF$		250		ns
$t_f$	D <sub>OUT</sub> Fall Time	See Test Circuits	●	20	75	ns
$t_r$	D <sub>OUT</sub> Rise Time	See Test Circuits	●	20	75	ns
$C_{IN}$	Input Capacitance	Analog Inputs, Ch Channel Analog Inputs, Clf Channel Digital Input		20 5 5		pF pF pF

The ● denotes specifications which apply over the full operating temperature range.

**Note 1:** Absolute maximum ratings are those values beyond which the life of a device may be impaired.

**Note 2:** All voltage values are with respect to GND.

**Note 3:** These devices are specified at 2V. For 3V specified devices, see LTC1286 and LTC1298.

**Note 4:** Increased leakage currents at elevated temperatures cause the SNR to droop, therefore it is recommended that  $f_{CLK} \geq 120kHz$  at 85°C,  $f_{CLK} \geq 75kHz$  at 70° and  $f_{CLK} \geq 11kHz$  at 25°C.

**Note 5:**  $V_{CC} = 5V$ ,  $V_{REF} = 5V$  and  $CLK = 200kHz$  unless otherwise specified.

**Note 6:** Linearity error is specified between the actual and points of the  $I_eD$  transfer curve.

**Note 7:** Two on-chip diodes are tied to each reference and analog input which will conduct for reference or analog input voltages one diode drop below GND or one diode drop above V<sub>CC</sub>. This special low 50nV forward bias of either diode for  $4.5V \leq V_{CC} \leq 5.5V$ . This means that as long as the reference or analog input does not exceed the supply voltage by more than 50nV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0V to 5V input voltage range, the device requires a minimum supply voltage of 4.95V over initial tolerances, temperature variations and loading. For  $5.5V < V_{CC} \leq 5V$ , reference and analog input range can't exceed 0.05V. If reference and analog input range are greater than 0.05V, the output code will not be guaranteed to be correct.

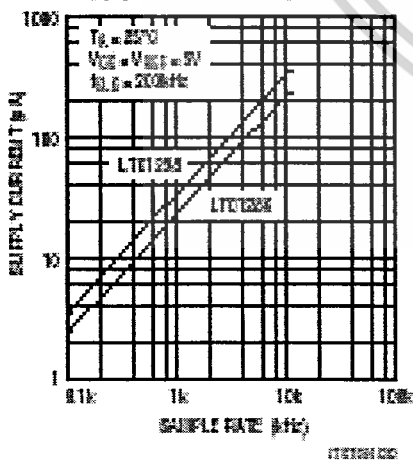
**Note 8:** The supply voltage range for the LTC1286 is from 4.5V to 5V, but the supply voltage range for the LTC1298 is only from 4.5V to 5.5V.

**Note 9:** Recommended operating conditions

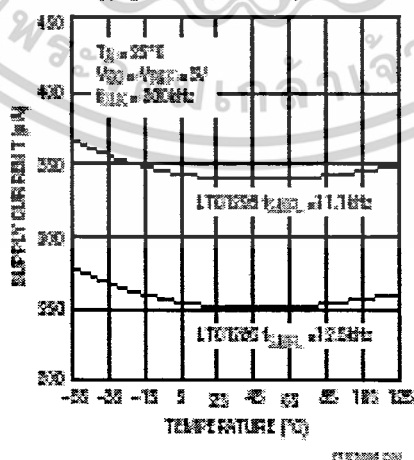
**Note 10:** Channel leakage current is measured after the channel selection.

# TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

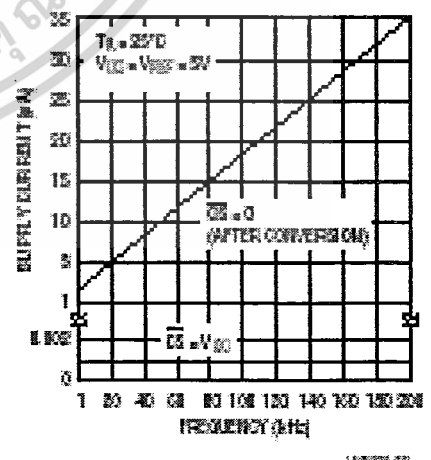
Supply Current vs Sample Rate



Supply Current vs Temperature



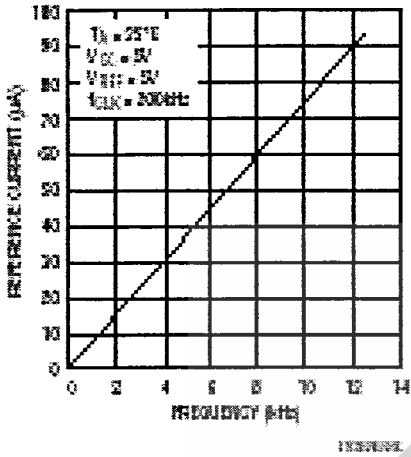
Shutdown Supply Current vs Clock Rate with CS High and CS Low



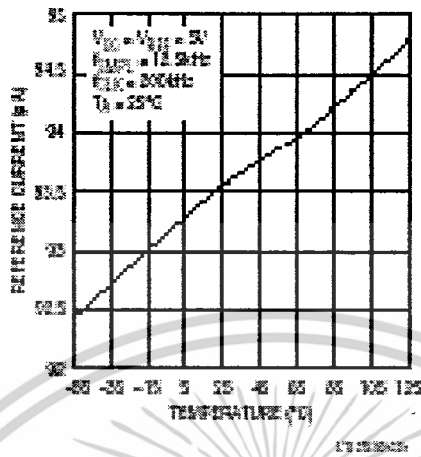
4 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

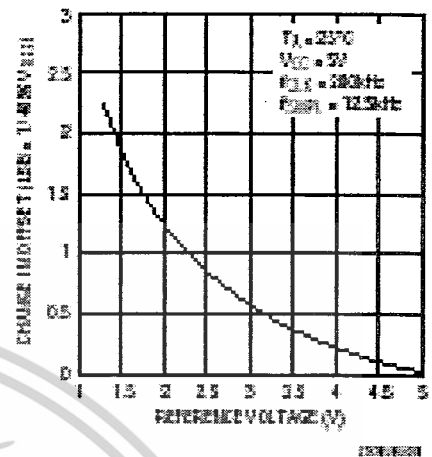
Reference Current vs Sample Rate (LTC1286)



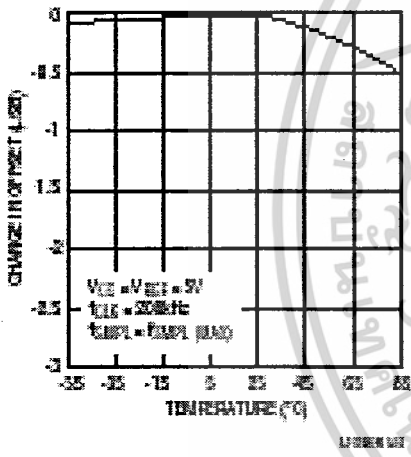
Reference Current vs Temperature



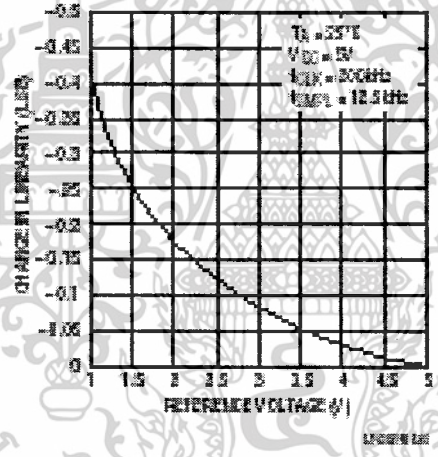
Change in Offset vs Reference Voltage



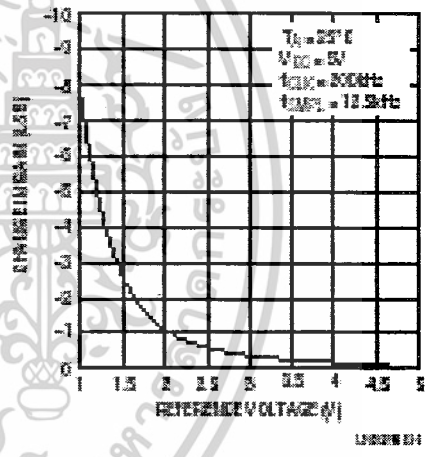
Change in Offset vs Temperature



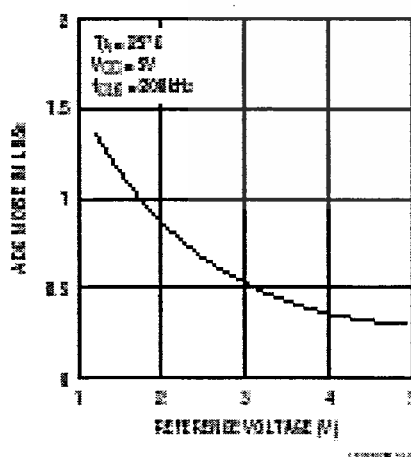
Change in Linearity vs Reference Voltage



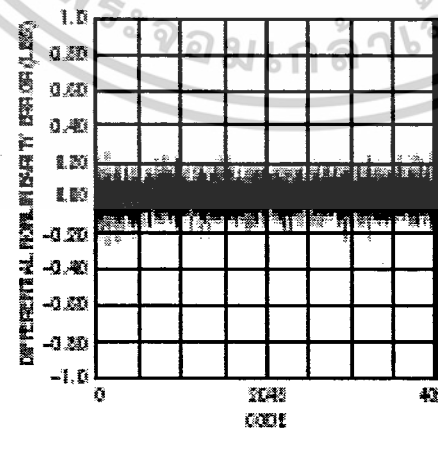
Change in Gain vs Reference Voltage



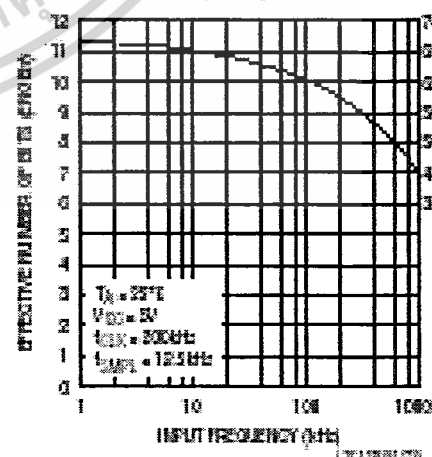
Peak-to-Peak ADC Noise vs Reference Voltage



Differential Nonlinearity vs Code



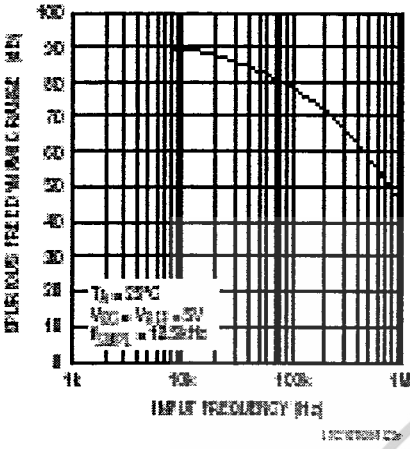
Effective Bits and S(N + D) vs Input Frequency



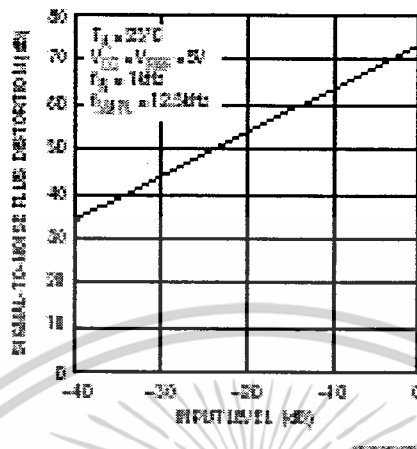
เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกา  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

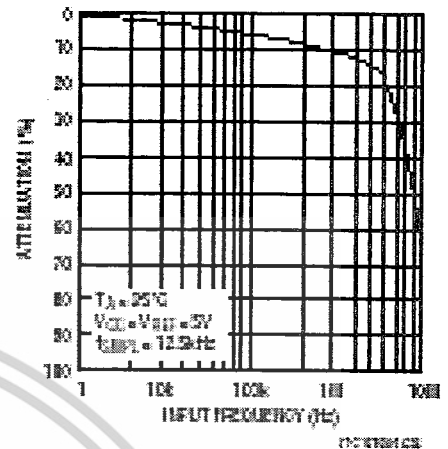
**Spurious Free Dynamic Range vs Frequency**



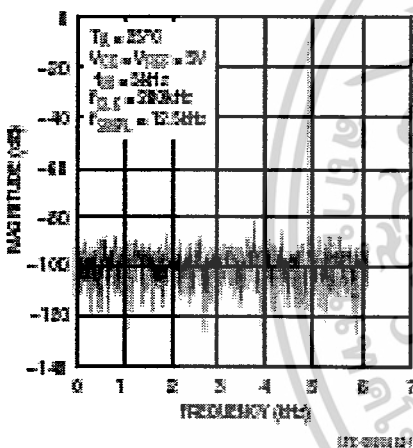
**SNR+D vs Input Level**



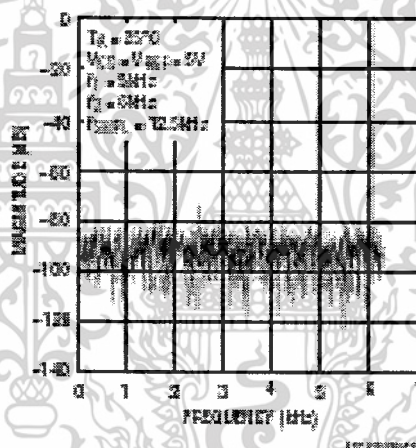
**Attenuation vs Input Frequency**



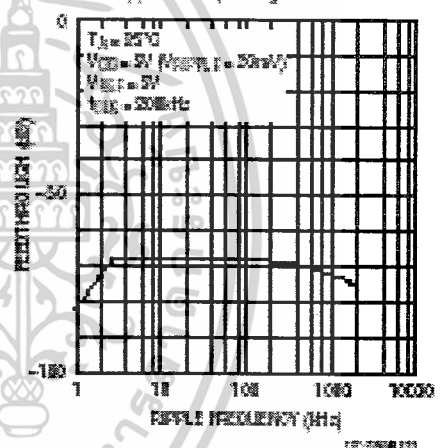
**4096 Point FFT Plot**



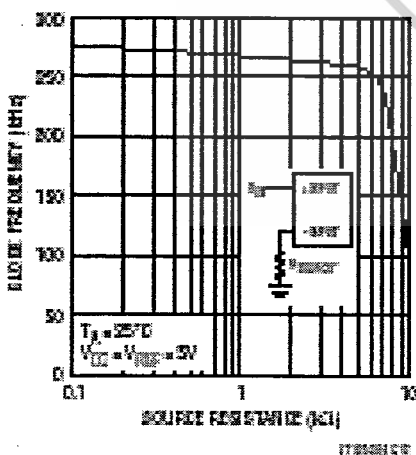
**Intermodulation Distortion**



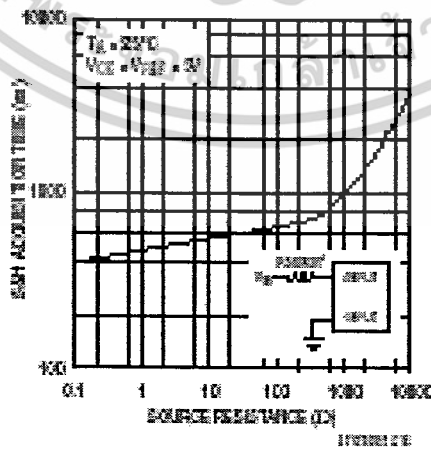
**Power Supply Feedthrough vs Ripple Frequency**



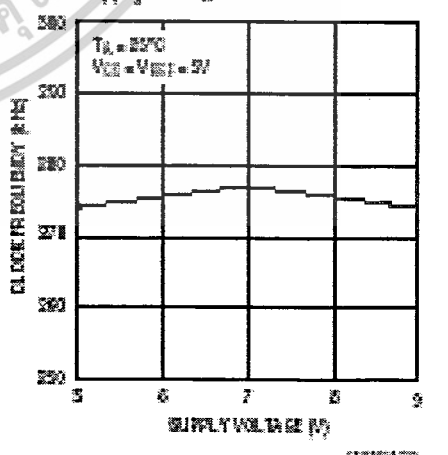
**Maximum Clock Frequency vs Source Resistance**



**Sample and Hold Acquisition Time vs Source Resistance**

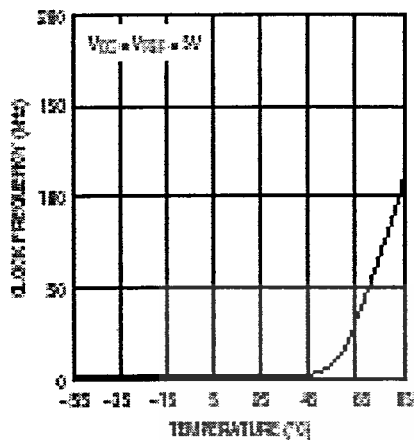


**Maximum Clock Frequency vs Supply Voltage**



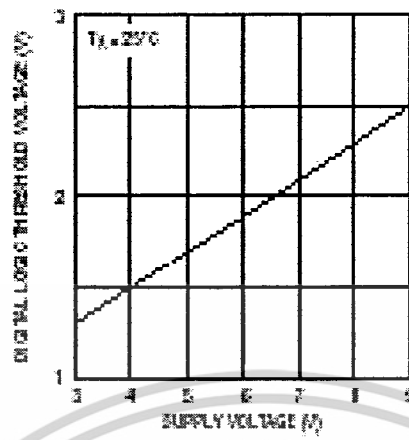
# TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Minimum Clock Frequency for 0.1 LSB Error vs Temperature



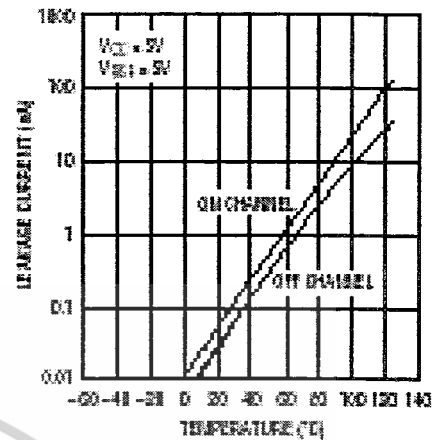
LTC1286-10

Digital Input Logic Threshold vs Supply Voltage



LTC1286-10

Input Channel Leakage Current vs Temperature



LINEAR

## PIN FUNCTIONS

### LTC1286

**V<sub>REF</sub> (Pin 1):** Reference Input. The reference input defines the span of the A/D converter.

**IN<sup>+</sup> (Pin 2):** Positive Analog Input.

**IN<sup>-</sup> (Pin 3):** Negative Analog Input.

**GND (Pin 4):** Analog Ground. GND should be tied directly to an analog ground plane.

**CS/SHDN (Pin 5):** Chip Select Input. A logic low on this input enables the LTC1286. A logic high on this input disables and powers down the LTC1286.

**D<sub>OUT</sub> (Pin 6):** Digital Data Output. The A/D conversion result is shifted out of this output.

**CLK (Pin 7):** Shift Clock. This clock synchronizes the serial data transfer and determines conversion speed.

**V<sub>CC</sub> (Pin 8):** Power Supply Voltage. This pin provides power to the A/D converter. It must be kept free of noise and ripple by bypassing directly to the analog ground plane.

### LTC1298

**CS/SHDN (Pin 1):** Chip Select Input. A logic low on this input enables the LTC1298. A logic high on this input disables and powers down the LTC1298.

**CH0 (Pin 2):** Analog Input.

**CH1 (Pin 3):** Analog Input.

**GND (Pin 4):** Analog Ground. GND should be tied directly to an analog ground plane.

**D<sub>IN</sub> (Pin 5):** Digital Data Input. The multiplexer address is shifted into this input.

**D<sub>OUT</sub> (Pin 6):** Digital Data Output. The A/D conversion result is shifted out of this output.

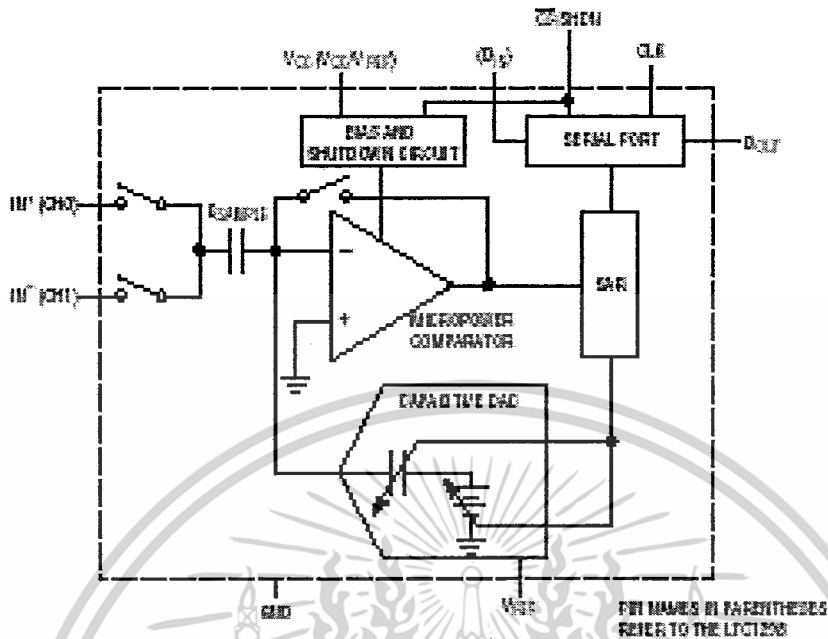
**CLK (Pin 7):** Shift Clock. This clock synchronizes the serial data transfer and determines conversion speed.

**V<sub>CC</sub>/V<sub>REF</sub> (Pin 8):** Power Supply and Reference Voltage. This pin provides power and defines the span of the A/D converter. It must be kept free of noise and ripple by bypassing directly to the analog ground plane.



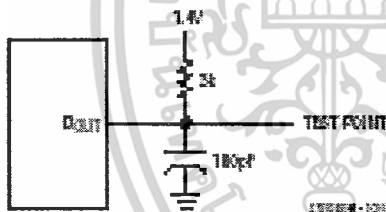
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# BLOCK DIAGRAM



# TEST CIRCUITS

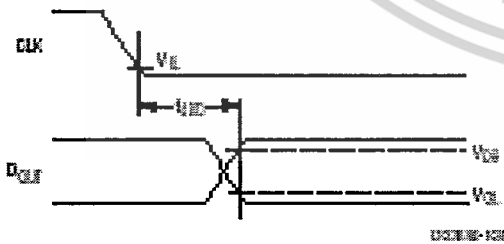
Load Circuit for  $t_{100}$ ,  $t_r$  and  $t_f$



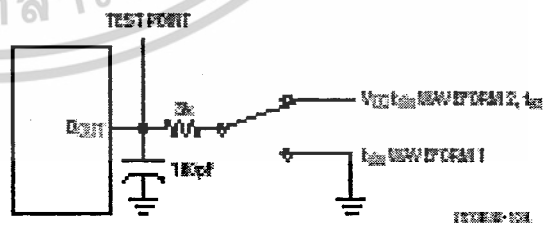
Voltage Waveforms for D<sub>OUT</sub> Rise and Fall Times,  $t_r$ ,  $t_f$



Voltage Waveforms for D<sub>OUT</sub> Delay Times,  $t_{100}$

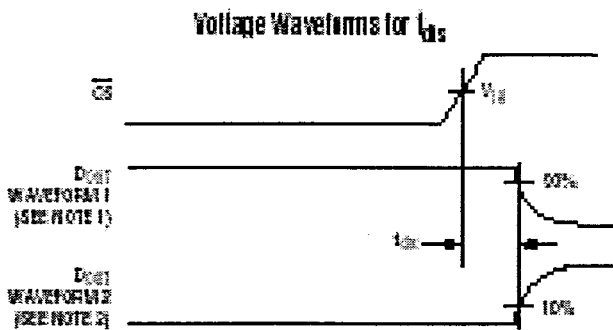


Load Circuit for  $t_{100}$  and  $t_{00}$



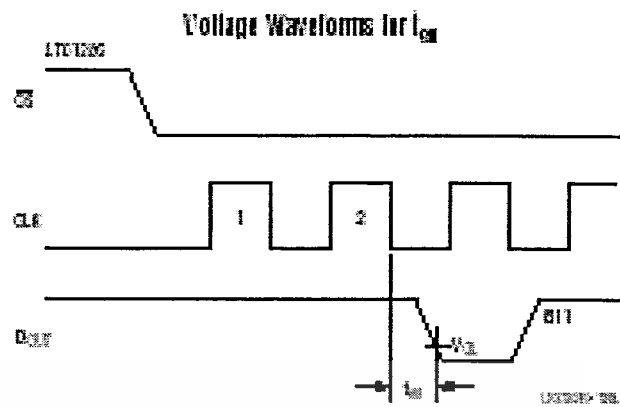
8 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TEST CIRCUITS

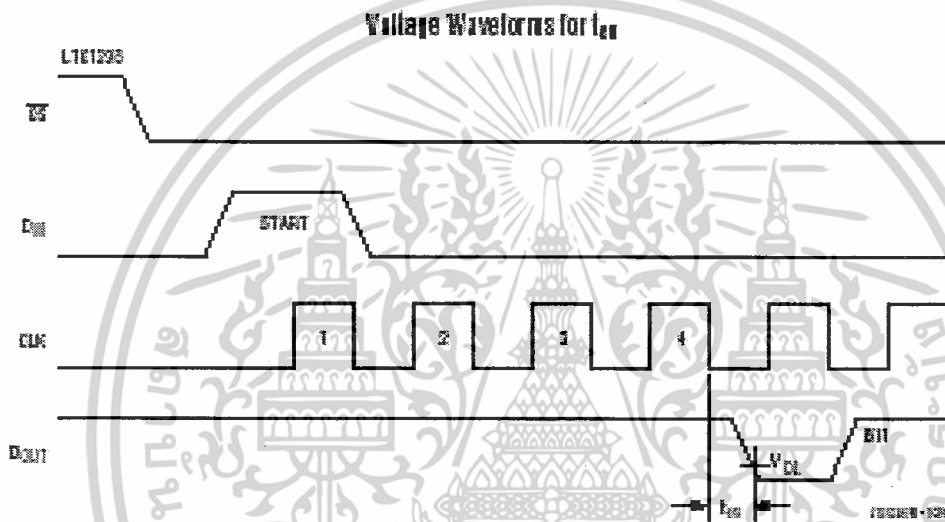


NOTE 1: WAVEFORM 1 IS FOR AN OUTPUT WITH INTERNAL CONDITIONS SUCH THAT THE OUTPUT IS HIGH UNLESS DISABLED BY THE OUTPUT CONTROL.  
NOTE 2: WAVEFORM 2 IS FOR AN OUTPUT WITH INTERNAL CONDITIONS SUCH THAT THE OUTPUT IS LOW UNLESS DISABLED BY THE OUTPUT CONTROL.

LTC1286-1298



LTC1286-1298



LTC1286-1298

## APPLICATION INFORMATION

## OVERVIEW

The LTC1286 and LTC1298 are micropower, 12-bit, successive approximation sampling A/D converters. The LTC1286 typically draws 250 $\mu$ A of supply current when sampling at 12.5kHz while the LTC1298 nominally consumes 350 $\mu$ A of supply current when sampling at 11.1 kHz. The extra 100 $\mu$ A of supply current on the LTC1298 comes from the reference input which is intentionally tied to the supply. Supply current drops linearly as the sample rate is reduced (see Supply Current vs Sample Rate). The ADCs automatically power down when not performing conversions, drawing only leakage current. They are packaged in 8-pin SO and DIP packages. The LTC1286 operates on a single supply from 4.5V to 9V,

while the LTC1298 operates from a 4.5V to 5.5V supply.

Both the LTC1286 and the LTC1298 contain a 12-bit, switched-capacitor ADC, a sample-and-hold, and a serial port (see Block Diagram). Although they share the same basic design, the LTC1286 and LTC1298 differ in some respects. The LTC1286 has a differential input and has an external reference input pin. It can measure signals floating on a DC common-mode voltage and can operate with reduced spans to 1V. Reducing the spans allows it to achieve 244 $\mu$ V resolution. The LTC1298 has a two-channel input multiplexer and can convert either channel with respect to ground or the difference between the two. The reference input is tied to the supply pin.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9

## APPLICATION INFORMATION

### SERIAL INTERFACE

The 2-channel LTC1298 communicates with microprocessors and other external circuitry via a synchronous, half duplex, 4-wire serial interface. The single channel LTC1286 uses a 3-wire interface (see Operating Sequence in Figures 1 and 2).

#### Data Transfer

The CLK synchronizes the data transfer with each bit being transmitted on the falling CLK edge and captured on the rising CLK edges in both transmitting and receiving systems.

The LTC1286 does not require a configuration input word and has no  $D_{IN}$  pin. A falling  $\overline{CS}$  initiates data transfer as shown in the LTC1286 operating sequence. After  $\overline{CS}$  falls the second CLK pulse enables  $D_{OUT}$ . After one null bit the

A/D conversion result is output on the  $D_{OUT}$  line. Bringing  $\overline{CS}$  high resets the LTC1286 for the next data exchange.

The LTC1298 first receives input data and then transmits back the A/D conversion result (half duplex). Because of the half duplex operation,  $D_{IN}$  and  $D_{OUT}$  may be tied together allowing transmission over just 3 wires:  $\overline{CS}$ , CLK and DATA ( $D_{IN}/D_{OUT}$ ).

Data transfer is initiated by a falling chipselect ( $\overline{CS}$ ) signal. After  $\overline{CS}$  falls the LTC1298 looks for a start bit. After the start bit is received, the 3-bit input word is shifted into the  $D_{IN}$  input which configures the LTC1298 and starts the conversion. After one null bit, the result of the conversion is output on the  $D_{OUT}$  line. At the end of the data exchange  $\overline{CS}$  should be brought high. This resets the LTC1298 in preparation for the next data exchange.

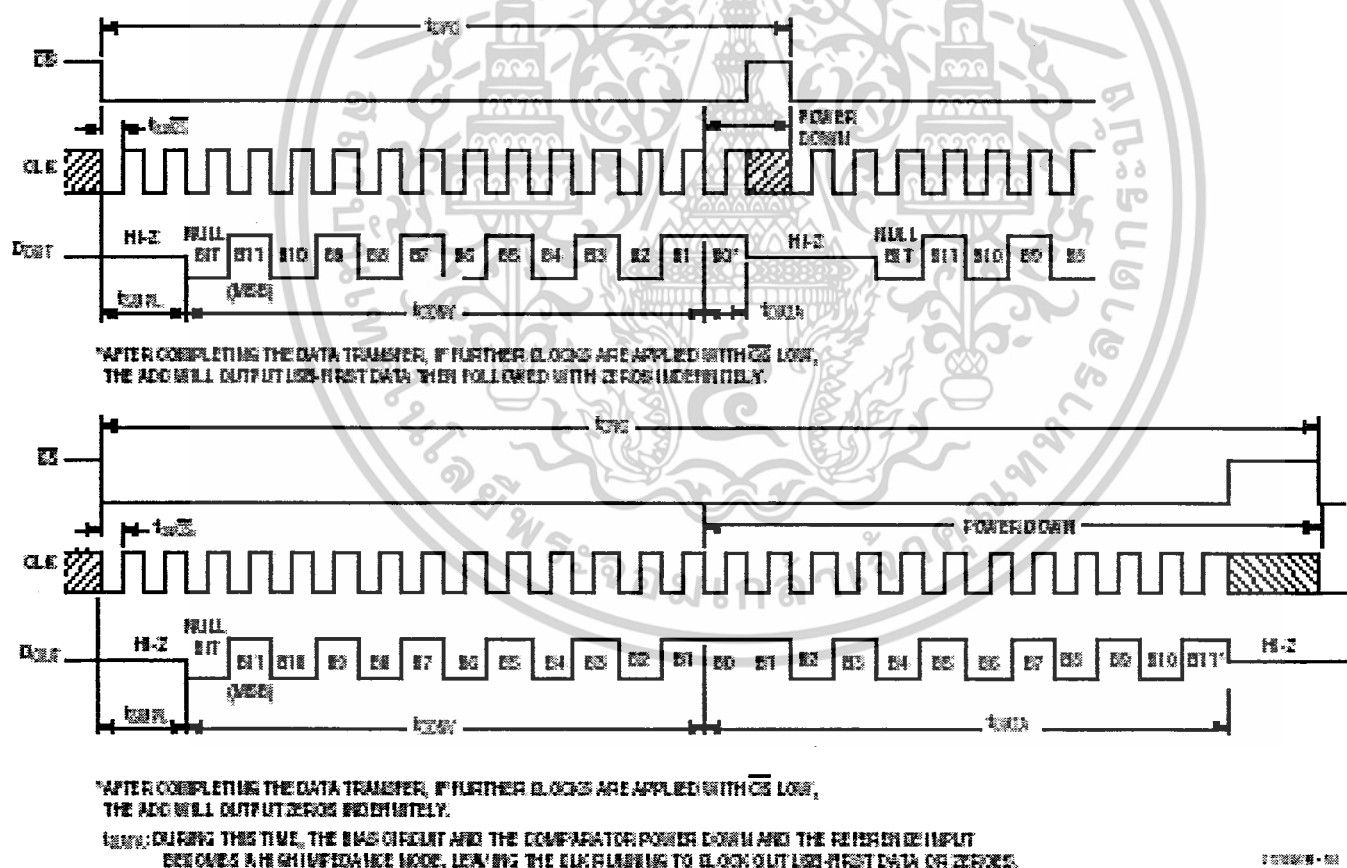
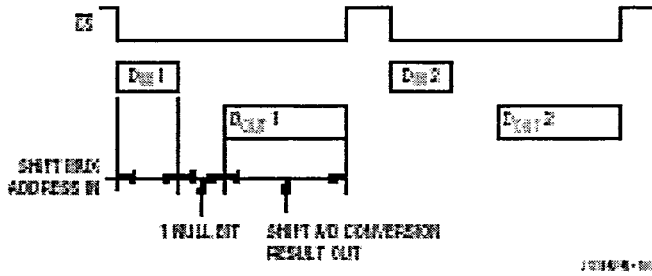
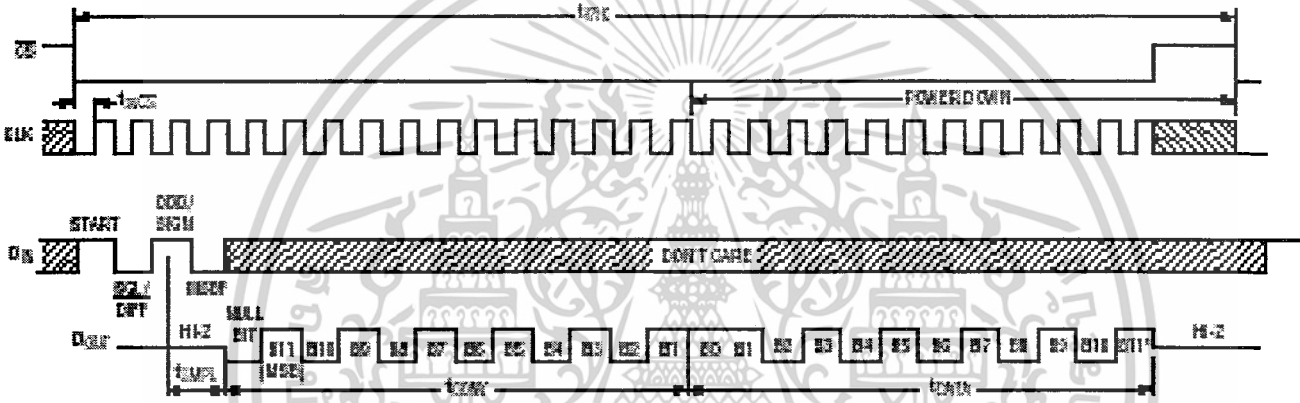


Figure 1. LTC1286 Operating Sequence

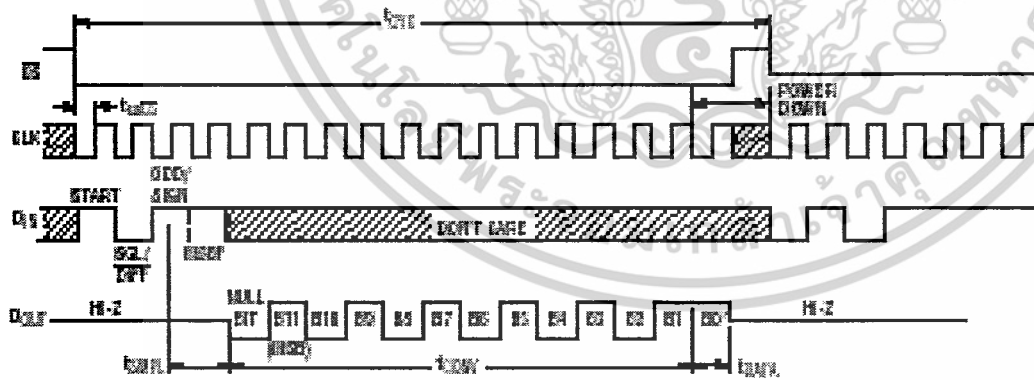
# APPLICATION INFORMATION



## MSB-First Data (MSBF = 1)



## MSB-First Data (MSBF = 1)



\*AFTER COMPLETING THE DATA TRANSFER, IF FURTHER CLOCKS ARE APPLIED WITH CS LOW, THE ADC WILL OUTPUT ZEROS INDEFINITELY.

\*NOTE: DURING THIS TIME, THE HMC CIRCUIT AND THE CONVERTER TO POWER DOWN AND THE REFERENCE INPUT BECOMES A HIGH IMPEDANCE NODE, LEAVING THE CLK RUNNING TO CLOCK OUT LSB-FIRST DATA OR ZEROS.

1286/98-010

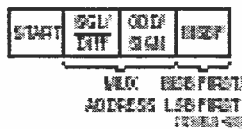
Figure 2. LTC1298 Operating Sequence Example: Differential Inputs (CH+, CH-)



# APPLICATION INFORMATION

## Input Data Word

The LTC1286 requires no  $D_{IN}$  word. It is permanently configured to have a single differential input. The conversion result appears on the  $D_{OUT}$  line. The data format is MSB first followed by the LSB sequence. This provides easy interface to MSB or LSB first serial ports. For MSB first data the  $\overline{CS}$  signal can be taken high after  $B0$  (see Figure 1). The LTC1298 clocks data into the  $D_{IN}$  input on the rising edge of the clock. The input data words are defined as follows:



## Start Bit

The first "logical one" clocked into the  $D_{IN}$  input after  $\overline{CS}$  goes low is the start bit. The start bit initiates the data transfer. The LTC1298 will ignore all leading zeros which precede this logical one. After the start bit is received, the remaining bits of the input word will be clocked in. Further inputs on the  $D_{IN}$  pin are then ignored until the next  $\overline{CS}$  cycle.

## Multiplexer (MUX) Address

The bits of the input word following the START bit assign the MUX configuration for the requested conversion. For a given channel selection, the converter will measure the voltage between the two channels indicated by the + and - signs in the selected row of the following tables. In single-ended mode, all input channels are measured with respect to GND.

LTC1298 Channel Selection

	MUX ADDRESS		CHANNEL #	
	8GL/DTF	00DF/00AN	+	-
SINGLE-ENDED MUX MODE	1	0	+	-
DIFFERENTIAL MUX MODE	1	1	+	-
	0	1	-	+

## MSB First/LSB First (MSBF)

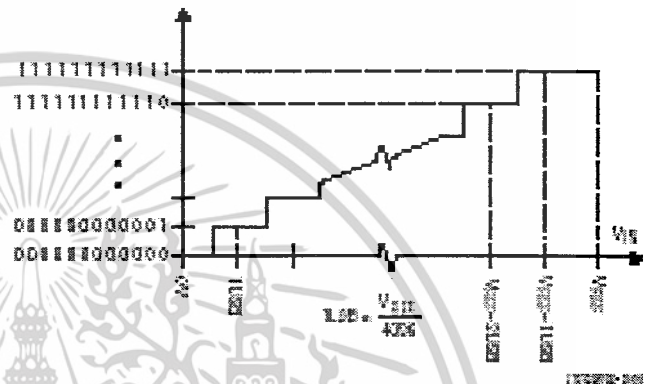
The output data of the LTC1298 is programmed for MSB first or LSB first sequence using the MSBF bit. When the MSBF bit is a logical one, data will appear on the  $D_{OUT}$  line in MSB first format. Logical zeros will be filled in indefinitely following the last data bit. When the

MSBF bit is a logical zero, LSB first data will follow the normal MSB first data on the  $D_{OUT}$  line. (see Operating Sequence)

## Transfer Curve

The LTC1286/LTC1298 are permanently configured for unipolar only. The input span and code assignment for this conversion type are shown in the following figures.

Transfer Curve



Output Code

OUTPUT CODE	INPUT VOLTAGE	INPUT VOLTAGE (REF = 5.0V)
1111111111111111	$V_{REF} - 1LSB$	4.9975V
1111111111111110	$V_{REF} - 2LSB$	4.9950V
•	•	•
•	•	•
0000000000000001	1LSB	0.00125V
0000000000000000	0V	0V

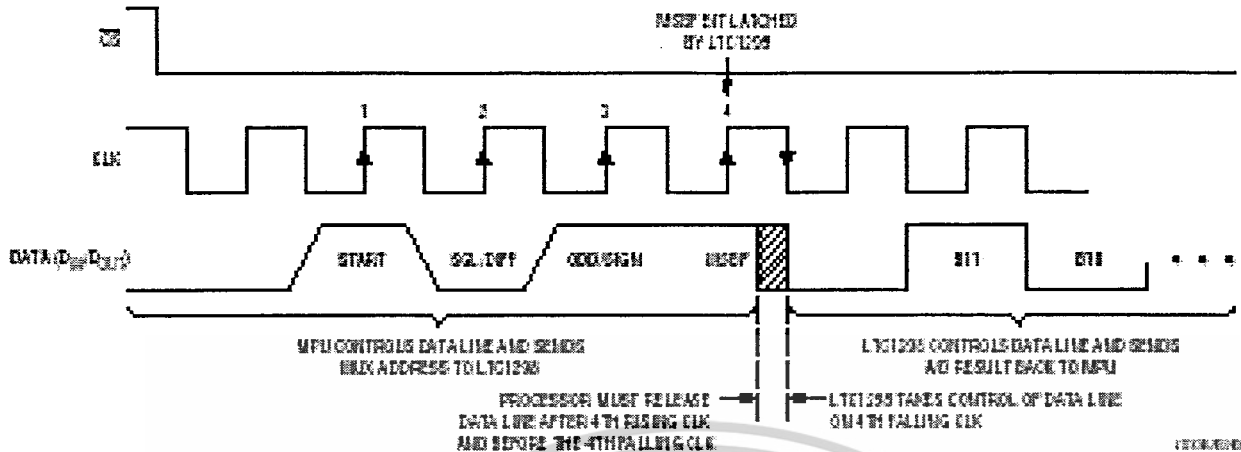
## Operation with $D_{IN}$ and $D_{OUT}$ Tied Together

The LTC1298 can be operated with  $D_{IN}$  and  $D_{OUT}$  tied together. This eliminates one of the lines required to communicate to the microprocessor (MPU). Data is transmitted in both directions on a single wire. The processor pin connected to this data line should be configurable as either an input or an output. The LTC1298 will take control of the data line and drive it low on the 4th falling CLK edge after the start bit is received (see Figure 3). Therefore the processor port line must be switched to an input before this happens to avoid a conflict.

In the Typical Applications section, there is an example of interlacing the LTC1298 with  $D_{IN}$  and  $D_{OUT}$  tied together to the Intel 8051 MPU.



## APPLICATION INFORMATION

Figure 3. LTC1298 Operation with  $D_{IN}$  and  $D_{OUT}$  Tied Together

## ACHIEVING MICRO POWER PERFORMANCE

With typical operating currents of 25 $\mu$ A and automatic shutdown between conversions, the LTC1286/LTC1298 achieves extremely low power consumption over a wide range of sample rates (see Figure 4). The auto-shutdown allows the supply curve to drop with reduced sample rate. Several things must be taken into account to achieve such a low power consumption.

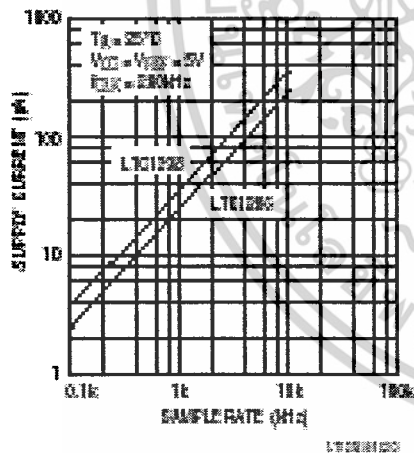


Figure 4. Automatic Power Shutdown Between Conversions Allows Power Consumption to Drop with Sample Rate.

## Shutdown

The LTC1286/LTC1298 are equipped with automatic shutdown features. They draw power when the  $\overline{CS}$  pin is low and shut down completely when that pin is high. The bias circuit and comparator powers down and the reference

input becomes high impedance at the end of each conversion leaving the CLK running to clock out the LSB first data or zeroes (see Figures 1 and 2). If the  $\overline{CS}$  is not running rail-to-rail, the input logic buffer will draw current. This current may be large compared to the typical supply current. To obtain the lowest supply current, bring the  $\overline{CS}$  pin to ground when it is low and to supply voltage when it is high.

When the  $\overline{CS}$  pin is high (= supply voltage), the converter is in shutdown mode and draws only leakage current. The status of the  $D_{IN}$  and CLK input have no effect on supply current during this time. There is no need to stop  $D_{IN}$  and CLK with  $\overline{CS}$  = high; they can continue to run without drawing current.

Minimize  $\overline{CS}$  Low Time

In systems that have significant time between conversions, lowest power drain will occur with the minimum  $\overline{CS}$  low time. Bringing  $\overline{CS}$  low, transferring data as quickly as possible, and then bringing it back high will result in the lowest current drain. This minimizes the amount of time the device draws power. After a conversion the ADC automatically shuts down even if  $\overline{CS}$  is held low (see Figures 1 and 2). If the clock is left running to clock out LSB-data or zero, the logic will draw a small current. Figure 5 shows that the typical supply current with  $\overline{CS}$  = ground varies from 1 $\mu$ A at 1kHz to 35 $\mu$ A at 200kHz. When  $\overline{CS}$  =  $V_{CC}$ , the logic is gated off and no supply current is drawn regardless of the clock frequency.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## APPLICATION INFORMATION

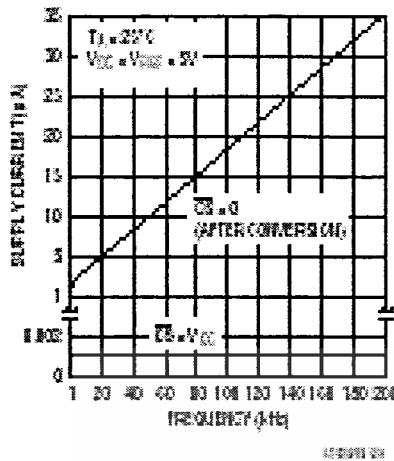


Figure 5. Shutdown current with  $\overline{CS}$  high is 1nA typically, regardless of the clock. Shutdown current with  $\overline{CS}$  = ground varies from 1  $\mu$ A at 1kHz to 35  $\mu$ A at 200kHz.

### Output Loading

Capacitive loading on the digital output can increase power consumption. A 100pF capacitor on the  $D_{OUT}$  pin can add more than 50  $\mu$ A to the supply current at a 200kHz clock frequency. An extra 50  $\mu$ A or so of current goes into charging and discharging the load capacitor. The same goes for digital lines driven at a high frequency by any logic. The  $C \times V \times f$  currents must be evaluated and the troublesome ones minimized.

### OPERATING ON OTHER THAN 5V SUPPLIES (LTC1286)

The LTC1286 operates from 4.5V to 9V supplies and the LTC1298 operates from a 5V supply. To operate the LTC1286 on other than 5V supplies a few things must be kept in mind.

### Input Logic Levels

The input logic levels of  $\overline{CS}$ , CLK and  $D_{IN}$  are made to meet TTL on a 5V supply. When the supply voltage varies, the input logic levels also change. For the LTC1286 to sample and convert correctly, the digital inputs have to be in the proper logical low and high levels relative to the operating supply voltage (see typical curve of Digital Input Logic Threshold vs Supply Voltage). If achieving micropower consumption is desirable, the digital inputs must go rail-to-rail between supply voltage and ground (see ACHIEVING MICROPOWER PERFORMANCE section).

### Clock Frequency

The maximum recommended clock frequency is 200kHz for the LTC1286/LTC1298 running off a 5V supply. With the supply voltage changing, the maximum clock frequency for the devices also changes (see the typical curve of Maximum Clock Rate vs Supply Voltage). If the maximum clock frequency is used, care must be taken to ensure that the device converts correctly.

### Mixed Supplies

It is possible to have a microprocessor running off a 5V supply and communicate with the LTC1286 operating on a 9V supply. The requirement to achieve this is that the outputs of  $\overline{CS}$  and CLK from the MPU have to be able to trip the equivalent inputs of the LTC1286 and the output of  $D_{OUT}$  from the LTC1286 must be able to toggle the equivalent input of the MPU (see typical curve of Digital Input Logic Threshold vs Supply Voltage). With the LTC1286 operating on a 9V supply, the output of  $D_{OUT}$  may go between 0V and 9V. The 9V output may damage the MPU running off a 5V supply. The way to get around this possibility is to have a resistor divider on  $D_{OUT}$  (Figure 6) and connect the center point to the MPU input. It should be noted that to get full shutdown, the  $\overline{CS}$  input of the LTC1286 must be driven to the  $V_{CC}$  voltage to keep the  $\overline{CS}$  input buffer from drawing current. An alternative is to leave  $\overline{CS}$  low after a conversion, clock data until  $D_{OUT}$  outputs zeros, and then stop the clock low.

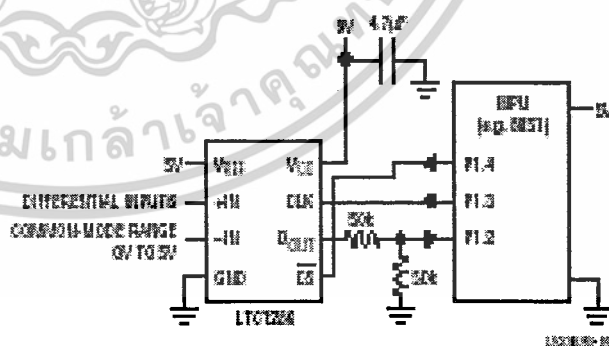


Figure 6. Interfacing a 9V Powered LTC1286 to a 5V System

## APPLICATION INFORMATION

### BOARD LAYOUT CONSIDERATIONS

#### Grounding and Bypassing

The LTC1286/LTC1298 are easy to use if some care is taken. They should be used with an analog ground plane and single point grounding techniques. The GND pin should be tied directly to the ground plane.

The V<sub>CC</sub> pin should be bypassed to the ground plane with a 10 $\mu$ F tantalum capacitor with leads as short as possible. If the power supply is clean, the LTC1286/LTC1298 can also operate with smaller 1 $\mu$ F or less surface mount or ceramic bypass capacitors. All analog inputs should be referenced directly to the single point ground. Digital inputs and outputs should be shielded from and/or routed away from the reference and analog circuitry.

### SAMPLE-AND-HOLD

Both the LTC1286 and the LTC1298 provide a built-in sample-and-hold (S&H) function to acquire signals. The S&H of the LTC1286 acquires input signals from "+" input relative to "-" input during the t<sub>SAMPL</sub> time (see Figure 1). However, the S&H of the LTC1298 can sample input signals in the single-ended mode or in the differential inputs during the t<sub>SAMPL</sub> time (see Figure 7).

#### Single-Ended Inputs

The sample-and-hold of the LTC1298 allows conversion of rapidly varying signals. The input voltage is sampled during the t<sub>SAMPL</sub> time as shown in Figure 7. The sampling interval begins as the bit preceding the MSBF bit is shifted in and continues until the falling CLK edge after the MSBF bit is received. On this falling edge, the S&H goes into hold mode and the conversion begins.

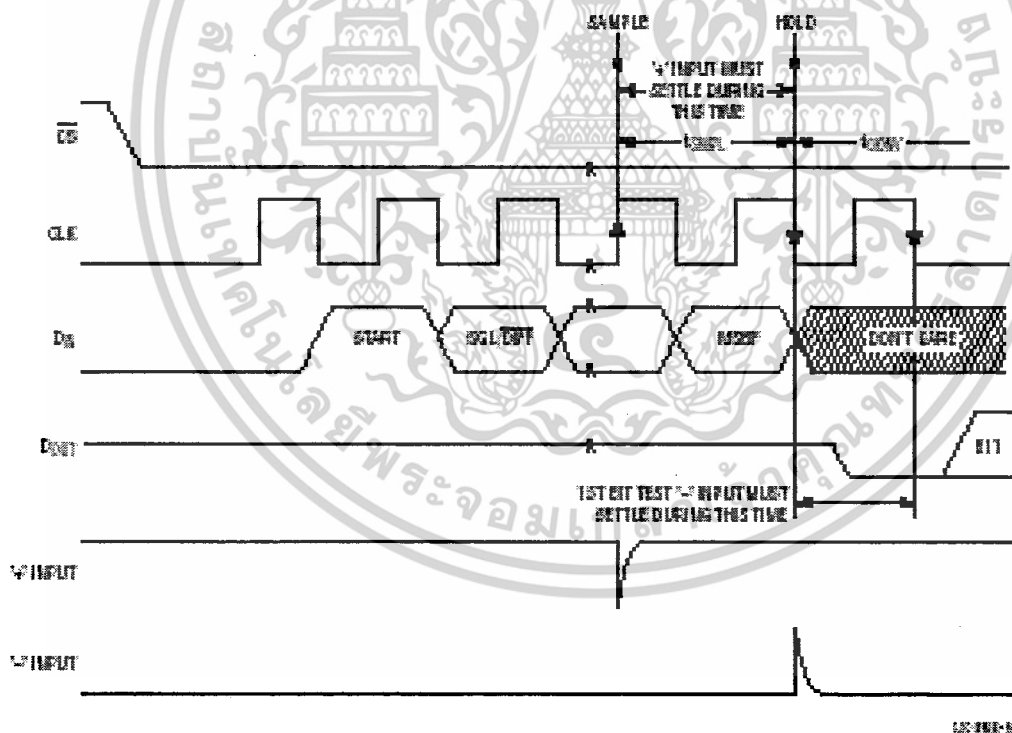


Figure 7. LTC1298 "+" and "-" Input Settling Windows

## APPLICATION INFORMATION

### Differential Inputs

With differential inputs, the ADC no longer converts just a single voltage but rather the difference between two voltages. In this case, the voltage on the selected "+" input is still sampled and held and therefore may be rapidly time varying just as in single-ended mode. However, the voltage on the selected "-" input must remain constant and be free of noise and ripple throughout the conversion time. Otherwise, the differencing operation may not be performed accurately. The conversion time is 12 CLK cycles. Therefore, a change in the "-" input voltage during this interval can cause conversion errors. For a sinusoidal voltage on the "-" input this error would be:

$$V_{\text{ERROR (MAX)}} = V_{\text{PEAK}} \times 2 \times \pi \times f(-) \times 12 / f_{\text{CLK}}$$

Where  $f(-)$  is the frequency of the "-" input voltage,  $V_{\text{PEAK}}$  is its peak amplitude and  $f_{\text{CLK}}$  is the frequency of the CLK. In most cases  $V_{\text{ERROR}}$  will not be significant. For a 60Hz signal on the "-" input to generate a 1/4LSB error (305µV) with the converter running at CLK = 200kHz, its peak value would have to be 13.48mV.

### ANALOG INPUTS

Because of the capacitive redistribution A/D conversion techniques used, the analog inputs of the LTC1286/LTC1298 have capacitive switching input current spikes. These current spikes settle quickly and do not cause a problem. However, if large source resistances are used or if slow settling op amps drive the inputs, care must be taken to insure that the transients caused by the current spikes settle completely before the conversion begins.

#### "+" Input Settling

The input capacitor of the LTC1286 is switched onto "+" input during the  $t_{\text{SAMPLE}}$  time (see Figure 1) and samples the input signal within that time. However, the input capacitor of the LTC1298 is switched onto "+" input during the sample phase ( $t_{\text{SAMPLE}}$ , see Figure 7). The sample phase is 1 1/2 CLK cycles before conversion starts. The voltage on the "+" input must settle completely within  $t_{\text{SAMPLE}}$  for the LTC1286 and the LTC1298 respectively. Minimizing  $R_{\text{SOURCE}+}$  and C1 will improve the input settling time. If a large "+" input source resistance must be used, the

sample time can be increased by using a slower CLK frequency.

#### "-" Input Settling

At the end of the  $t_{\text{SAMPLE}}$ , the input capacitor switches to the "-" input and conversion starts (see Figures 1 and 7). During the conversion, the "+" input voltage is effectively "held" by the sample-and-hold and will not affect the conversion result. However, it is critical that the "-" input voltage settles completely during the first CLK cycle of the conversion time and be free of noise. Minimizing  $R_{\text{SOURCE}-}$  and C2 will improve settling time. If a large "-" input source resistance must be used, the time allowed for settling can be extended by using a slower CLK frequency.

#### Input Op Amps

When driving the analog inputs with an op amp it is important that the op amp settle within the allowed time (see Figure 7). Again, the "+" and "-" input sampling times can be extended as described above to accommodate slower op amps. Most op amps, including the LT1006 and LT1413 single supply op amps, can be made to settle well even with the minimum settling windows of 6µs ("+" input) which occur at the maximum clock rate of 200kHz.

#### Source Resistance

The analog inputs of the LTC1286/LTC1298 look like a 20pF capacitor ( $C_{\text{IN}}$ ) in series with a 500Ω resistor ( $R_{\text{ON}}$ ) as shown in Figure 8.  $C_{\text{IN}}$  gets switched between the selected "+" and "-" inputs once during each conversion cycle. Large external source resistors and capacitances

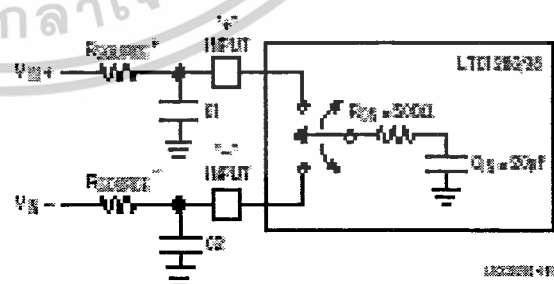


Figure 8. Analog Input Equivalent Circuit

## APPLICATION INFORMATION

will slow the settling of the inputs. It is important that the overall RC time constants be short enough to allow the analog inputs to completely settle within the allowed time.

### RC Input Filtering

It is possible to filter the inputs with an RC network as shown in Figure 9. For large values of  $C_F$  (e.g., 1 $\mu$ F), the capacitive input switching currents are averaged into a net DC current. Therefore, a filter should be chosen with a small resistor and large capacitor to prevent DC drops across the resistor. The magnitude of the DC current is approximately  $I_{DC} = 20pF \times V_{IN}/t_{CYCLE}$  and is roughly proportional to  $V_{IN}$ . When running at the minimum cycle time of 64 $\mu$ s, the input current equals 1.56 $\mu$ A at  $V_{IN} = 5V$ . In this case, a filter resistor of 75 $\Omega$  will cause 0.1LSB of full-scale error. If a larger filter resistor must be used, errors can be eliminated by increasing the cycle time.

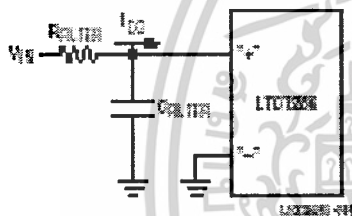


Figure 9. RC Input Filtering

### Input Leakage Current

Input leakage currents can also create errors if the source resistance gets too large. For instance, the maximum input leakage specification of 1 $\mu$ A (at 125 $^{\circ}$ C) flowing through a source resistance of 240 $\Omega$  will cause a voltage drop of 240 $\mu$ V or 0.2LSB. This error will be much reduced at lower temperatures because leakage drops rapidly (see typical curve of Input Channel Leakage Current vs Temperature).

### REFERENCE INPUTS

The reference input of the LTC1286 is effectively a 50k $\Omega$  resistor from the time  $\overline{CS}$  goes low to the end of the conversion. The reference input becomes a high impedance node at any other time (see Figure 10). Since the voltage on the reference input defines the voltage span of the A/D

converter, the reference input should be driven by a reference with low  $R_{OUT}$  (ex. LT1004, LT1019 and LT1021) or a voltage source with low  $R_{OUT}$ .

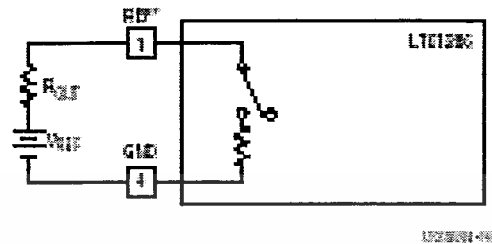


Figure 10. Reference Input Equivalent Circuit

### Reduced Reference Operation

The minimum reference voltage of the LTC1286 is limited to 4.5V because the  $V_{CC}$  supply and reference are internally tied together. However, the LTC1286 can operate with reference voltages below 1V.

The effective resolution of the LTC1286 can be increased by reducing the input span of the converter. The LTC1286 exhibits good linearity and gain over a wide range of reference voltages (see typical curves of Change in Linearity vs Reference Voltage and Change in Gain vs Reference Voltage). However, care must be taken when operating at low values of  $V_{REF}$  because of the reduced LSB step size and the resulting higher accuracy requirement placed on the converter. The following factors must be considered when operating at low  $V_{REF}$  values:

1. Offset
2. Noise
3. Conversion speed (CLK frequency)

#### Offset with Reduced $V_{REF}$

The offset of the LTC1286 has a larger effect on the output code. When the ADC is operated with reduced reference voltage. The offset (which is typically a fixed voltage) becomes a larger fraction of an LSB as the size of the LSB is reduced. The typical curve of Change in Offset vs Reference Voltage shows how offset in LSBs is related to reference voltage for a typical value of  $V_{OS}$ . For example, a  $V_{OS}$  of 122 $\mu$ V which is 0.1LSB with a 5V reference becomes 0.5LSB with a 1V reference and 2.5LSBs with a



เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## APPLICATION INFORMATION

0.2V reference. If this offset is unacceptable, it can be corrected digitally by the receiving system or by offsetting the “-” input of the LTC1286.

### Noise with Reduced $V_{REF}$

The total input referred noise of the LTC1286 can be reduced to approximately 400 $\mu$ V peak-to-peak using a ground plane, good bypassing, good layout techniques and minimizing noise on the reference inputs. This noise is insignificant with a 5V reference but will become a larger fraction of an LSB as the size of the LSB is reduced.

For operation with a 5V reference, the 400 $\mu$ V noise is only 0.33LSB peak-to-peak. In this case, the LTC1286 noise will contribute virtually no uncertainty to the output code. However, for reduced references the noise may become a significant fraction of an LSB and cause undesirable jitter in the output code. For example, with a 2.5V reference this same 400 $\mu$ V noise is 0.66LSB peak-to-peak. This will reduce the range of input voltages over which a stable output code can be achieved by 1LSB. If the reference is further reduced to 1V, the 400 $\mu$ V noise becomes equal to 1.65LSB and a stable code may be difficult to achieve. In this case averaging multiple readings may be necessary.

This noise data was taken in a very clean setup. Any setup induced noise (noise or ripple on  $V_{DC}$ ,  $V_{REF}$  or  $V_{IN}$ ) will add to the internal noise. The lower the reference voltage to be used the more critical it becomes to have a clean, noise free setup.

### Conversion Speed with Reduced $V_{REF}$

With reduced reference voltages, the LSB step size is reduced and the LTC1286 internal comparator overdrive is reduced. Therefore, it may be necessary to reduce the maximum CLK frequency when low values of  $V_{REF}$  are used.

## DYNAMIC PERFORMANCE

The LTC1286/LTC1298 have exceptional sampling capability. Fast Fourier Transform (FFT) test techniques are used to characterize the ADC's frequency response, dis-

ortion and noise at the rated throughput. By applying a low distortion sine wave and analyzing the digital output using an FFT algorithm, the ADC's spectral content can be examined for frequencies outside the fundamental. Figure 11 shows a typical LTC1286 plot.

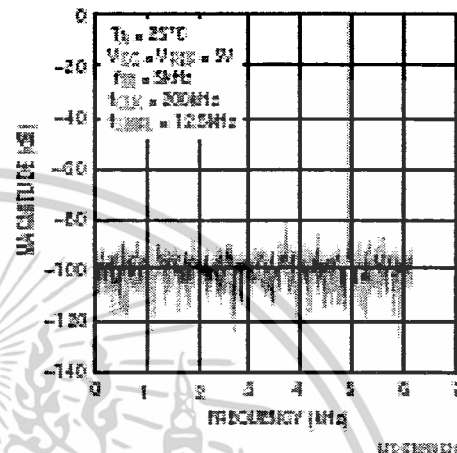


Figure 11. LTC1286 Non-Averaged, 4196 Point FFT Plot

### Signal-to-Noise Ratio

The Signal-to-Noise plus Distortion Ratio ( $S/(N+D)$ ) is the ratio between the RMS amplitude of the fundamental input frequency to the RMS amplitude of all other frequency components at the ADC's output. The output is band limited to frequencies above DC and below one half the sampling frequency. Figure 12 shows a typical spectral content with a 12.5kHz sampling rate.

### Effective Number of Bits

The Effective Number of Bits (ENOBs) is a measurement of the resolution of an ADC and is directly related to  $S/(N+D)$  by the equation:

$$ENOB = [S/(N+D) - 1.76]/6.02$$

where  $S/(N+D)$  is expressed in dB. At the maximum sampling rate of 12.5kHz with a 5V supply, the LTC1286 maintains above 11 ENOBs at 10kHz input frequency. Above 10kHz the ENOBs gradually decline, as shown in Figure 12, due to increasing second harmonic distortion. The noise floor remains low.

## APPLICATION INFORMATION

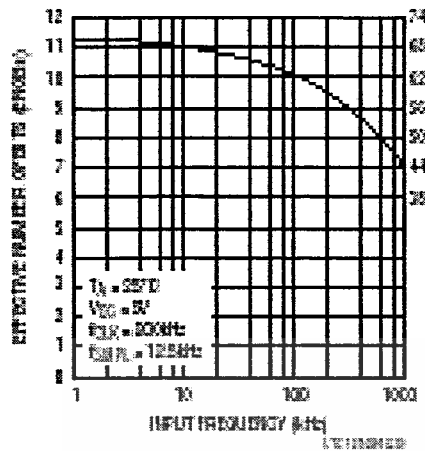


Figure 12. Effective Bits and S/(N + D) vs Input Frequency

## Total Harmonic Distortion

Total Harmonic Distortion (THD) is the ratio of the RMS sum of all harmonics of the input signal to the fundamental itself. The out-of-band harmonics alias into the frequency band between DC and half of the sampling frequency. THD is defined as:

$$THD = 20 \log \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_N^2}}{V_1}$$

where  $V_1$  is the RMS amplitude of the fundamental frequency and  $V_2$  through  $V_N$  are the amplitudes of the second through the  $N^{\text{th}}$  harmonics. The typical THD specification in the Dynamic Accuracy table includes the 2nd through 5th harmonics. With a 7kHz input signal, the LTC1286/LTC1298 have typical THD of 80dB with  $V_{CC} = 5V$ .

## Intermodulation Distortion

If the ADC input signal consists of more than one spectral component, the ADC transfer function nonlinearity can produce Intermodulation distortion (IMD) in addition to THD. IMD is the change in one sinusoidal input caused by the presence of another sinusoidal input at a different frequency.

If two pure sine waves of frequencies  $f_a$  and  $f_b$  are applied to the ADC input, nonlinearities in the ADC transfer function can create distortion products at sum and difference frequencies of  $mf_a \pm nf_b$ , where  $m$  and  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ . For example, the 2nd order IMD terms include  $(f_a + f_b)$  and  $(f_a - f_b)$  while 3rd order IMD terms include  $(2f_a + f_b)$ ,  $(2f_a - f_b)$ ,  $(f_a + 2f_b)$ , and  $(f_a - 2f_b)$ . If the two input sine waves are equal in magnitudes, the value (in dB) of the 2nd order IMD products can be expressed by the following formula:

$$IMD(f_a \pm f_b) = 20 \log \left[ \frac{\text{amplitude}(f_a \pm f_b)}{\text{amplitude at } f_a} \right]$$

For input frequencies of 5kHz and 6kHz, the IMD of the LTC1286/LTC1298 is 73dB with a 5V supply.

## Peak Harmonic or Spurious Noise

The peak harmonic or spurious noise is the largest spectral component excluding the input signal and DC. This value is expressed in dBs relative to the RMS value of a full-scale input signal.

## Full-Power and Full-Linear Bandwidth

The full-power bandwidth is that input frequency at which the amplitude of the reconstructed fundamental is reduced by 3dB for a full-scale input.

The full-linear bandwidth is the input frequency at which the effective bits rating of the ADC falls to 11 bits. Beyond this frequency, distortion of the sampled input signal increases. The LTC1286/LTC1298 have been designed to optimize input bandwidth, allowing the ADCs to undersample input signals with frequencies above the converters' Nyquist Frequency.

## TYPICAL APPLICATIONS

### MICROPROCESSOR INTERFACES

The LTC1286/LTC1298 can interface directly without external hardware to most popular microprocessor (MPU) synchronous serial formats (see Table 1). If an MPU without a dedicated serial port is used, then 3 or 4 of the MPU's parallel port lines can be programmed to form the serial link to the LTC1286/LTC1298. Included here is one serial interface example and one example showing a parallel port programmed to form the serial interface.

#### Motorola SPI (MC68HC11)

The MC68HC11 has been chosen as an example of an MPU with a dedicated serial port. This MPU transfers data MSB-first and in 8-bit increments. The `DIW` word sent to the data register starts with the SPI process. With three 8-bit transfers, the A/D result is read into the MPU. The second 8-bit transfer clocks B11 through B8 of the A/D conversion result into the processor. The third 8-bit transfer clocks the remaining bits, B7 through B0, into the MPU. The data is right justified into two memory locations. ANDing the second byte with `0FHEX` clears the four most significant bits. This operation was not included in the code. It can be inserted in the data gathering loop or outside the loop when the data is processed.

#### MC68HC11 Code

In this example the `DIW` word configures the input MUX for a single-ended input to be applied to CHO. The conversion result is output MSB-first.

Table 1. Microprocessor with Hardware Serial Interfaces Compatible with the LTC1286/LTC1298

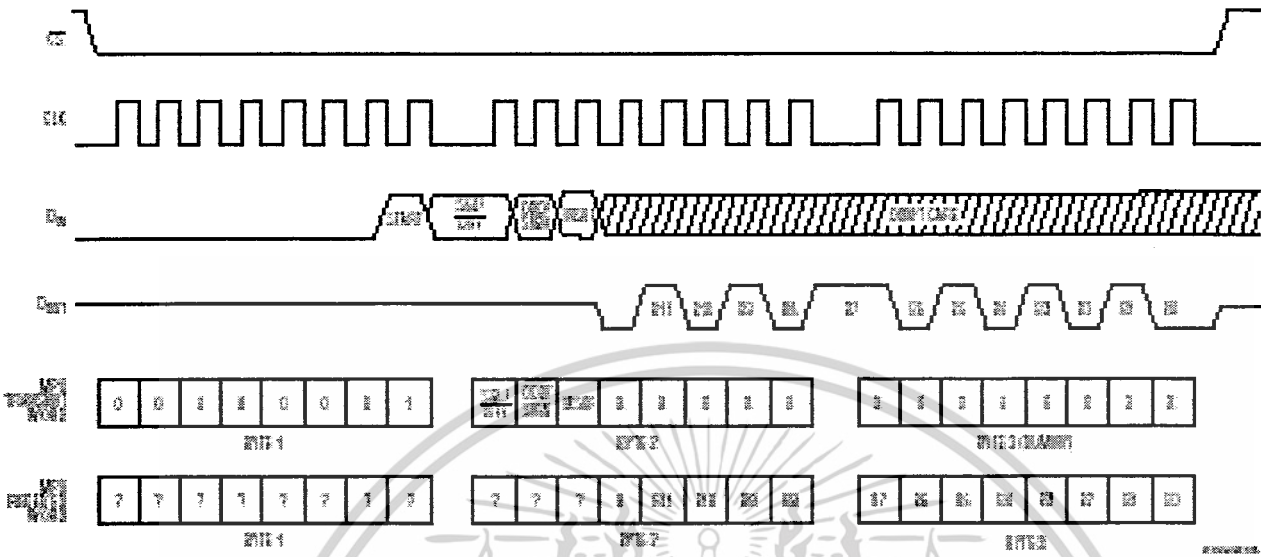
PART NUMBER	TYPE OF INTERFACE
<b>Motorola</b>	
MC6806G2SS	SPI
MC68HC11	SPI
MC68HC05	SPI
<b>RCA</b>	
COPE68HC05	SPI
<b>Hitachi</b>	
HDG305	SCI Synchronous
HDG3705	SCI Synchronous
HDG301	SCI Synchronous
HDG3001	SCI Synchronous
HDG303	SCI Synchronous
HDG4190	ESIO
<b>National Semiconductor</b>	
DS94C0 Family	MICROWIRE <sup>1</sup>
DS94C00 Family	MICROWIRE/PLUS <sup>2</sup>
MC9305DU	MICROWIRE/PLUS <sup>2</sup>
HPC15000 Family	MICROWIRE/PLUS <sup>2</sup>
<b>Texas Instruments</b>	
TMS7DC2	Serial Port
TMS7D42	Serial Port
TMS7DC02	Serial Port
TMS7DC42	Serial Port
TMS32011*	Serial Port
TMS32020	Serial Port
<b>Intel</b>	
8051	Bit Manipulation on Parallel Port

\* Requires external hardware

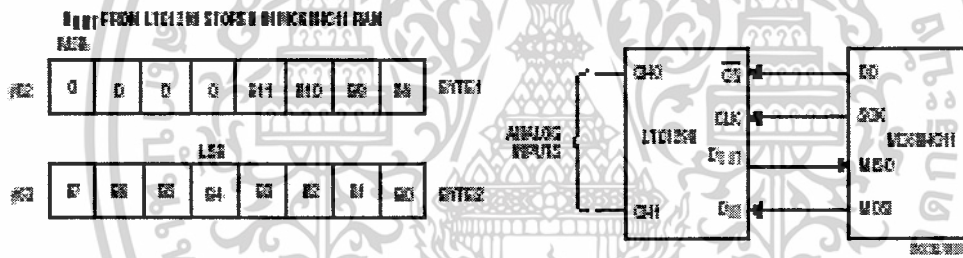
<sup>1</sup> MICROWIRE and MICROWIRE/PLUS are trademarks of National Semiconductor Corp.

# TYPICAL APPLICATIONS

Timing Diagram for Interface to the MC68HC11



Hardware and Software Interface to the MC68HC11



LABEL	MNEMONIC	OPERAND	COMMENTS	LABEL	MNEMONIC	OPERAND	COMMENTS
	LDAA	#\$00	CONFIGURATION DATA FOR SPI1	WAIT1	BPL	WAIT1	CHECK IF TRANSFER IS DONE
	STAA	\$102B	LOAD DATA INTO SPI1 (\$102B)	LDAA	\$s1	\$s1	LOAD DOUT INTO ACC A FROM \$s1
	LDAA	#\$1E	CONFIG. DATA FOR PORT D DDR	STAA	\$102A	\$102A	LOAD DOUT INTO SPI, START SCK
	STAA	\$1019	LOAD DATA INTO PORT D DDR	WAIT2	LDAA	\$1029	CHECK SPI STATUS REG
	LDAA	#\$01	LOAD DIN WORD INTO ACC A	BPL	WAIT2	WAIT2	CHECK IF TRANSFER IS DONE
	STAA	\$s0	LOAD DIN DATA INTO \$s0	LDAA	\$102A	\$102A	LOAD LTC1291 MSB <sub>6</sub> INTO ACC A
	LDAA	#\$AD	LOAD DIN WORD INTO ACC A	STAA	\$s2	\$s2	STORE MSB <sub>6</sub> IN \$s2
	STAA	\$s1	LOAD DIN DATA INTO \$s1	LDAA	\$s2	\$s2	LOAD DUMMY INTO ACC A FROM \$s2
	LDAA	#\$00	LOAD DUMMY DIN WORD INTO ACC A	STAA	\$102A	\$102A	LOAD DUMMY DIN INTO SPI, START SCK
	STAA	\$s2	LOAD DUMMY DIN DATA INTO \$s2	WAIT3	LDAA	\$1029	CHECK SPI STATUS REG
	LDX	#\$1000	LOAD INDEX REGISTER X WITH \$1000	BPL	WAIT3	WAIT3	CHECK IF TRANSFER IS DONE
LOOP	BCLR	\$08,X,#\$01	DD GOES LOW (CS GOES LOW)	BSET	\$08,X,#\$01	\$08,X,#\$01	DO GOES HIGH (CS GOES HIGH)
	LDAA	\$s0	LOAD DIN INTO ACC A FROM \$s0	LDAA	\$102A	\$102A	LOAD LTC1291 LSB <sub>6</sub> IN ACC
	STAA	\$102A	LOAD DIN INTO SPI, START SCK	STAA	\$s3	\$s3	STORE LSB <sub>6</sub> IN \$s3
	LDAA	\$1029	CHECK SPI STATUS REG	JMP	LOOP	LOOP	START NEXT CONVERSION



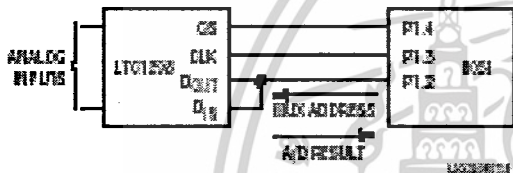
เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TYPICAL APPLICATIONS

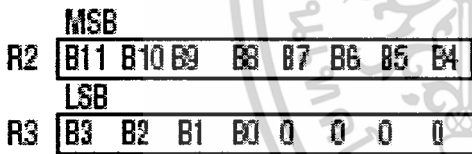
### Interfacing to the Parallel Port of the INTEL 8051 Family

The Intel 8051 has been chosen to demonstrate the interface between the LTC1298 and parallel port micro-processors. Normally the CS, CLK and D<sub>IN</sub> signals would be generated on 3 port lines and the D<sub>OUT</sub> signal read on a 4th port line. This works very well. However, we will demonstrate here an interface with the D<sub>IN</sub> and D<sub>OUT</sub> of the LTC1298 tied together as described in the SERIAL INTERFACE section. This saves one wire.

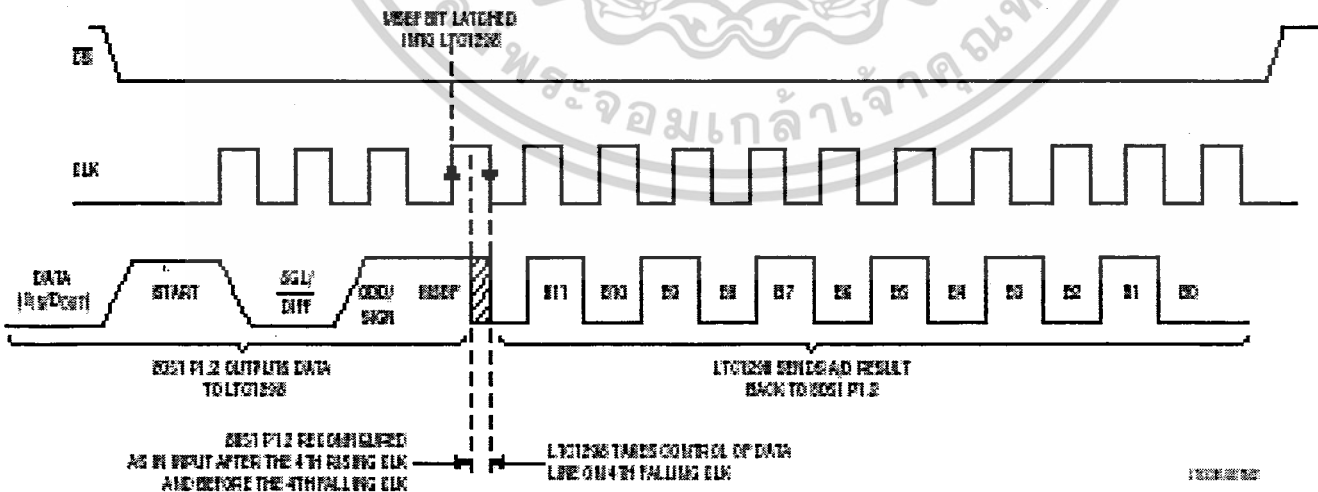
The 8051 first sends the start bit and MUX address to the LTC1298 over the data line connected to P1.2. Then P1.2 is reconfigured as an input (by writing to it a one) and the 8051 reads back the 12-bit A/D result over the same data line.



### D<sub>OUT</sub> FROM 1298 STORED IN 8051 RAM



LABEL	MNEMONIC	OPERAND	COMMENTS
LOOP 1	MOV	A, #FFH	D <sub>IN</sub> word for LTC1298
	SETB	P1.4	Makes sure CS is high
	CLR	P1.4	CS goes low
	MOV	R4, #04	Load counter
	RLC	A	Rotate D <sub>IN</sub> bit into Carry
	CLR	P1.3	SCLK goes low
	MOV	P1.2, C	Output D <sub>IN</sub> bit to LTC1298
	SETB	P1.3	SCLK goes high
LOOP 2	DJNZ	R4, LOOP 1	Next bit
	MOV	P1, #04	Bit 2 becomes an input.
	CLR	P1.3	SCLK goes low
	MOV	R4, #09	Load counter
	MOV	C, P1.2	Read data bit into Carry
	RLC	A	Rotate data bit into Acc.
	SETB	P1.3	SCLK goes high
	CLR	P1.3	SCLK goes low
LOOP 3	DJNZ	R4, LOOP 2	Next bit
	MOV	R2, A	Store MSBs in R2
	CLR	A	Clear Acc.
	MOV	R4, #04	Load counter
	MOV	C, P1.2	Read data bit into Carry
	RLC	A	Rotate data bit into Acc.
	SETB	P1.3	SCLK goes high
	CLR	P1.3	SCLK goes low
LOOP 4	DJNZ	R4, LOOP 3	Next bit
	MOV	R4, #04	Load counter
	RRC	A	Rotate right into Acc.
	DJNZ	R4, LOOP 4	Next Rotate
	MOV	R3, A	Store LSBs in R3
	SETB	P1.4	CS goes high



# TYPICAL APPLICATIONS

## A "Quick Look" Circuit for the LTC1286

Users can get a quick look at the function and timing of the LTC1286 by using the following simple circuit (Figure 13).  $V_{REF}$  is tied to  $V_{CC}$ .  $V_{IN}$  is applied to the +IN input and the -IN input is tied to the ground.  $\overline{CS}$  is driven at 1/16 the clock rate by the 74C161 and  $D_{OUT}$  outputs the data. The output data from the  $D_{OUT}$  pin can be viewed on an oscilloscope that is setup to trigger on the falling edge of  $\overline{CS}$  (Figure 14). Note the LSB data is partially clocked out before  $\overline{CS}$  goes high.

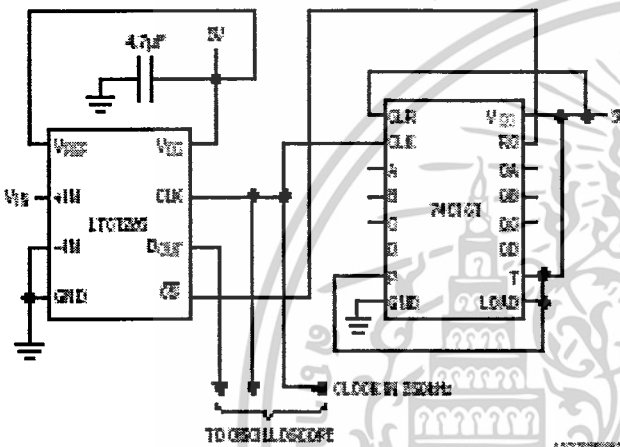


Figure 13. "Quick Look" Circuit for the LTC1286

## Micropower Battery Voltage Monitor

A common problem in battery systems is battery voltage monitoring. This circuit monitors the 10 cell stack of NiCad or NiMH batteries found in laptop computers. It draws only 67 $\mu$ A from the 5V supply at  $f_{SAMPLE} = 0.1$ kHz and 25 $\mu$ A to 55 $\mu$ A from the battery. The 12-bits of resolution of the LTC1286 are positioned over the desired range of 8V to 16V. This is easily accomplished by using the ADC's differential inputs. Tying the -input to the reference gives an ADC input span of  $V_{REF}$  to  $2V_{REF}$  (2.5V to 5V). The resistor divider then scales the input voltage for 8V to 16V.

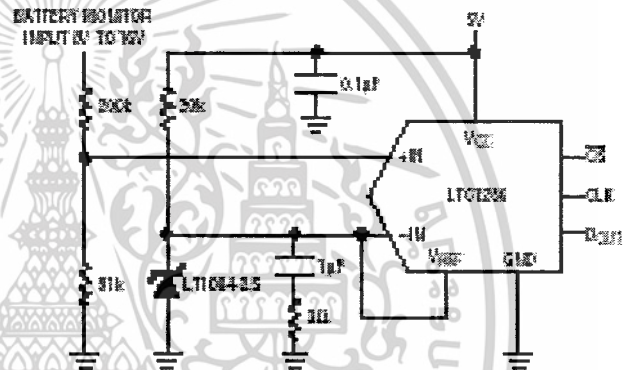


Figure 15. Micropower Battery Voltage Monitor

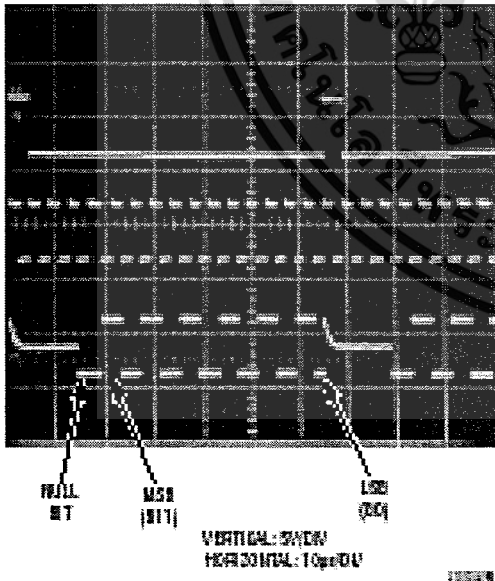


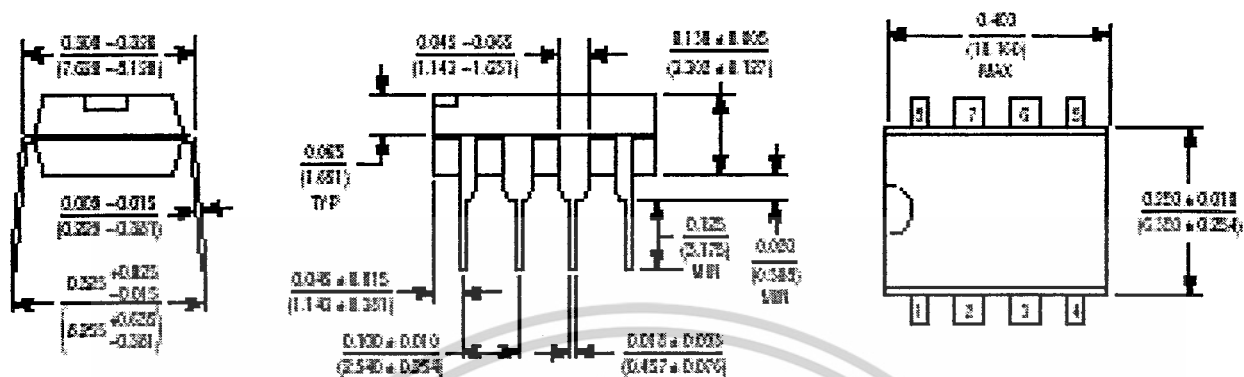
Figure 14. Scope Trace the LTC1286 "Quick Look" Circuit Showing A/D Output 101011111010 (AAHex)



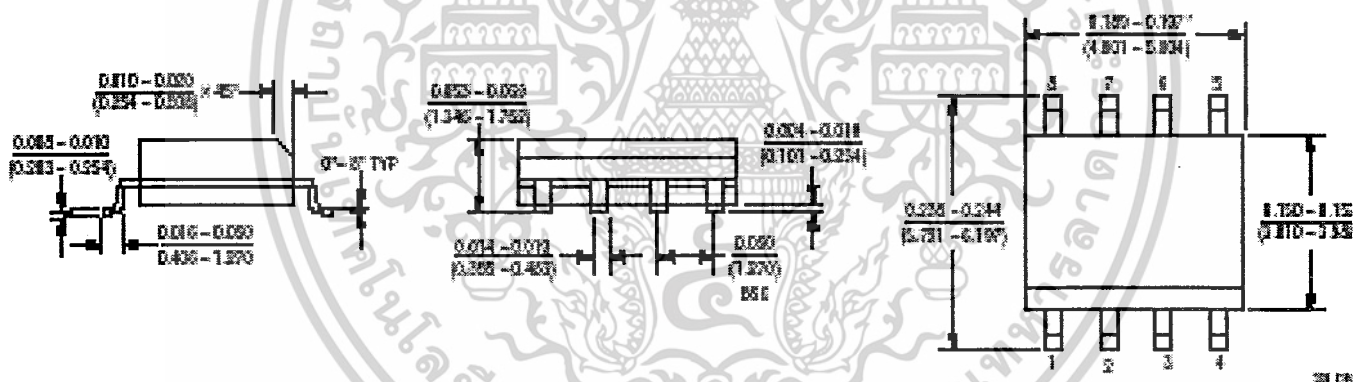
Information furnished by Linear Technology Corporation is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed for its use. Linear Technology Corporation makes no representation that the information contained herein will be useful in any specific application without patent rights.

**PACKAGE DESCRIPTION** Dimensions in inches (millimeters) unless otherwise noted.

**N8 Package**  
8-Lead Plastic DIP



**S8 Package**  
8-Lead Plastic SOIC



\*THESE DIMENSIONS DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSIONS.  
MOLD FLASH OR PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED 0.005 INCH (0.127mm).



## Source Code โปรแกรมการวัดความถี่ของวัตถุ

```
Private Declare Function Inp Lib "inout32.dll" Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
Private Declare Sub Out Lib "inout32.dll" Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)

Public pwrite As Integer
Public pread As Integer

Private Sub Command1_Click()
    result = num1$ - num2$
    Label3.Caption = "ความถี่ของวัตถุ = " & result & " มิลลิเมตร"
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Timer1.Interval = 1
    Timer1.Enabled = True
    pwrite = &H378
    pread = &H379
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()

    ***** Channel 0 *****

    For n = 1 To 2
        For i = 1 To 250
            Out pwrite, &HB
            Out pwrite, &H3
            Out pwrite, &H1
            Out pwrite, &H3
            Out pwrite, &H1
            Out pwrite, &H3
            Out pwrite, &H0
            Out pwrite, &H2
            Out pwrite, &H0
            Out pwrite, &H2

            ch0buff = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Out pwrite, &H1

For readcount = 1 To 12

Out pwrite, &H3

Out pwrite, &H1

Next readcount

For readcount = 1 To 12

ad0buff = (Inp(pread) And &H80) / (2 ^ 7)

ch0buff = ch0buff Or (ad0buff \* (2 ^ (readcount - 1)))

Out pwrite, &H3

Out pwrite, &H1

Next readcount

adc0 = adc0 + ch0buff

Next i

adc0 = adc0 / 250

Out pwrite, &HB

analog0 = (adc0 - 4096) \* -1

result0 = (analog0 / 4096) \* 5

num1\$ = Format(result0, "0.00")

Label1.Caption = "แรงดันค่าที่ 1 = " & num1\$ & " โวลต์"

Next n

adc0 = adc0 / 250

Out pwrite, &HB

analog0 = (adc0 - 4096) \* -1

result0 = (analog0 / 4096) \* 5

num2\$ = Format(result0, "0.00")

Label2.Caption = "แรงดันค่าที่ 2 = " & num2\$ & " โวลต์"

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้