

เลเซอร์ฮาร์ป

LASER HARP



นายพันตำรวจโท

โทวิทกตไกร

นายประวิทย์

พิพจน์ดี

นายสุวโรจน์

ชญาพรวิง

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เลเซอร์ฮาร์พ  
LASER HARP



นายต้นตี่วัฒน์ โกวิทกุลไกร  
นายปรวิวัฒน์ ทิพย์มูณี  
นายศุภโชค สุขสว่าง

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารฉบับนี้ที่มีการนำไปใช้  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

# LASER HARP



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN APPLIED PHYSICS**

**FACULTY OF SCIENCE**

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

**ACADEMIC YEAR 2013**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ เลขอร์ฮาฟ  
 LASER HARP  
 ชื่อนักศึกษา นายต้นดิวัฒน์ โกวิทกุลไกร  
 นายปรวิวัฒน์ ทิพย์มูณี  
 นายศุภโชค สุขสว่าง  
 ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต  
 สาขาวิชา ฟิสิกส์  
 อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุรชาติ กมลดิลก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา  
 ฟิสิกส์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ		ลายมือชื่อ
ดร.เกียรติยศ ศรีนิเวจันท์	ศรีนิเวจันท์	
ดร.ประธาน มุรณศิริ	มุรณศิริ	
อาจารย์ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง	แต่งตั้ง	
อาจารย์สุรชาติ กมลดิลก	กมลดิลก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	เลเซอร์ ฮาฟ
ชื่อนักศึกษา	นายตันติวัฒน์ โกวิทกุลไกร
	นายปรวิวัฒน์ ทิพย์มณี
	นายศุภโชค สุขสว่าง
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุรชาติ กมลคิลก

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์เลเซอร์ฮาฟซึ่งสร้างความถี่ต่างๆ ออกมาเป็นเสียงตัวโน้ตทั้งหมด 8 เสียง โดยใช้ LDR เป็นเซนเซอร์รับแสงจากอุปกรณ์เลเซอร์ ใช้ IC เบอร์ NE555 ทำงานในโหมดอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โดยมีแหล่งจ่ายไฟเป็นอะแดปเตอร์ 12 โวลต์ 1000 มิลลิ-แอมป์ 2 ตัวและใช้ลำโพงคอมพิวเตอร์ในการขยายเสียงออกมามีค่าความถี่ที่ได้ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานปรับค่าได้ โดยใช้ฮอสซิโลสโคปและแอปพลิเคชัน อิเล็กทริกส์ จูนนิ่ง ในการตั้งค่าความถี่ของเสียงแต่ละตัวโน้ตในการคำนวณหาค่าความถี่ของแต่ละตัวโน้ตจากทฤษฎีโดยในแต่ละตัวโน้ตจะมีค่าความต้านทานที่ไม่เท่ากัน เพื่อให้ความถี่ของเสียงออกมาได้ค่าความถี่ตามต้องการ และอาจจะมีค่าคลาดเคลื่อนได้เล็กน้อยเนื่องจากมีความร้อนของวงจรเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ความถี่ของเสียงที่ได้ไม่ตรงกับทฤษฎี แต่ถือว่าใกล้เคียงและยอมรับได้ในส่วนหนึ่ง ในการวัดค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope ถือว่ามีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีมากที่สุดถ้าเปรียบเทียบกับการใช้เครื่อง Electronic Tuning โดยเครื่อง Oscilloscope จะวัดสัญญาณ Output จากวงจรโดยตรง จึงทำให้เกิด Noise น้อยมาก ทำให้ค่าที่วัดจากเครื่อง Oscilloscope ใกล้เคียงกับเสียงจากทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ: เลเซอร์ ฮาฟ (Laser Harp), LDR , เซ็นเซอร์

<b>Project Title</b>	LASER HARP
<b>Student</b>	Mr. Tantiwat Kovitkulkrai Mr. Porawat Thipmune Mr. Suppachok Suksawang
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Major Program</b>	Physics
<b>Academic Year</b>	2014
<b>Project Advisor</b>	Mr. Surachart Kamoldilok

### Abstract

This special project to study and design laser Harp , which create various frequencies into audio note 8 audio using LDR is sensor light from a laser using IC NE555 mode AstableMultivibratorwith a power supply adapter into the router 12 volt 1000 mAh - 2 Amp and speaker in the amplifier output. Frequency depending on the variable resistor . The oscillator scope and applications of dielectric tuning to set the frequency of each note .To calculate the frequency of each note of the theory. Each note has a resistance value that is not equal. So that the frequency of the sound is the frequency as required. And may be inaccurate due to the heat of circuits involved. The frequency of the sound does not match the theory. Nearby acceptable but considered a part. To measure the frequency of the Oscilloscope is closer to the theory , most if compared to the use of Electronic Tuning Machine Oscilloscope to measure signals Output circuit directly , thus causing Noise rarely make the measurement of the Oscilloscope nearby. the sound of the theory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Keywords:** Laser Harp (Laser Harp) , LDR , Sensor

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์สุรชาติ กมลฉิลก ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองตลอดจนอุปการะทุนสนับสนุนและการให้คำปรึกษาทางวิชาการที่ติดต่อมา รวมไปถึงการปลุกฝังสิ่งที่ดีงามให้กับลูกศิษย์ทุกคน

ขอขอบพระคุณอาจารย์สาหร่าย เล็กชะอุ่ม ที่ให้คำปรึกษาขั้นตอนและแนวทางในการทำโครงการพิเศษ ทั้งส่วนของรูปเล่มและการนำเสนอ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้ แนะนำแนวทางในการนำเสนอรายงาน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลืออุปการะทุนในการศึกษาเล่าเรียน และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

นายต้นดิวัฒน์ โกวิทกุลไกร

นายปรวิวัฒน์ ทิพย์มุณี

นายสุภโชค สุขสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	IX
คำย่อและสัญลักษณ์	XII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.2.1 เพื่อศึกษาการนำแสงเลเซอร์มารวมกับ Sensor ซึ่ง ให้ความถี่แตกต่างกันไปโดยแสดงเป็นเสียงตัวโน้ตทั้ง 8 ตัว	2
1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานของ LDR Sensor	2
1.2.3 เพื่อศึกษาเครื่องดนตรีโดยใช้เลเซอร์(Laser)	2
1.2.4 เพื่อศึกษาการทำงานของ IC Timer 555	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.3.1 ศึกษาและทดลองการทำงานของLDR Sensor	2
1.3.2 ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นและการทำงานของวงจรถ่ายใช้ในการ กำหนดความถี่	2
1.3.3 ศึกษาทฤษฎีระดับเสียงของเครื่องดนตรีชนิดสาย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีในการดำเนินงาน	2
1.4.1 แผนการดำเนินงาน	2
1.4.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการแต่ละขั้นตอน	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5.1 ได้ความรู้พื้นฐานวิธีการทดลองการทำเครื่องดนตรี	3
1.5.2 เพิ่มทักษะความรู้ทางด้านเทคโนโลยีทางแสงโดยเฉพาะ แสงเลเซอร์	3
1.5.3 เพื่อพัฒนาเครื่องดนตรีแบบใหม่ให้ทันสมัยมากยิ่งขึ้น	3
1.5.4 เพื่อนำความรู้ที่ได้เรียนมาไปประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์	3
1.5.5 ได้ทักษะความรู้ในการสร้างและออกแบบวงจรที่ใช้ในการทำ เครื่องดนตรี	3

### บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไอซีเบอร์ 555 (Timer IC)	4
2.1.1 รูปแบบขาไอซีเบอร์ NE555	4
2.1.2 วงจรภายในไอซีเบอร์ NE555	5
2.1.3 ส่วนประกอบต่างๆของวงจรภายในไอซีเบอร์ 555	5
2.1.4 วงจร Astable Multivibrator	6
2.2 LDR : Light Dependent Resistor	9
2.2.1 สมบัติทางแสง	9
2.2.2 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า	11
2.3 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider Circuit)	12
2.3.1 วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider)	12
2.3.2 วงจรแบ่งแรงดันที่มีโหลด (Load Voltage Divider)	13
2.4 ระดับเสียง	15
2.5 วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor Switching Circuit)	16
2.6 วงจรเรกกูเลเตอร์โดยใช้ไอซี 3 ขาแบบแรงดันเอาต์พุตคงที่	16
2.6.1 วงจรเรกกูเลเตอร์พื้นฐานโดยใช้ไอซีตระกูล MC78xx และ MC79xx	17
2.7 แสงเลเซอร์	18

เอกสารนี้เป็นเอกสาร  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง

การก้า

17

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	20
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	20
3.1.1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	20
3.1.2 ตัวต้านทานปรับค่าได้ 100 k $\Omega$	21
3.1.3 ชุดอุปกรณ์เลเซอร์	21
3.1.4 IC เบอร์ NE 555	22
3.1.5 LDR	22
3.1.6 ลำโพง	23
3.1.7 DC adapter	23
3.1.8 สวิตช์	23
3.1.9 มัลติมิเตอร์ (Multimeter)	24
3.1.10 แผ่นไม้อัด	24
3.1.11 รางถ่าน	25
3.1.12 Terminal block	25
3.1.13 อุปกรณ์เครื่องมือช่าง	26
3.1.14 เครื่องออสซิลโลสโคป	26
3.2 การทดสอบและวิเคราะห์วงจรเลเซอร์ฮาฟ	27
3.3 การสร้างและการออกแบบโครงสร้าง	29

<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b>	36
---------------------------------------	----

4.1 การคำนวณหาค่าความถี่ของแต่ละตัวโน้ตจากทฤษฎี	36
---	----

4.2 ค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope ที่ทำการทดลอง	37
---	----

4.3 ค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning	41
--	----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	45
5.1 สรุปผลการทดลองจากการวัดและวิเคราะห์	45
5.1.1 การทดลองคำนวณหาค่าความถี่จากทฤษฎีของวงจระอสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator)	45
5.1.2 การทดลองวัดค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope	45
5.1.3 การทดลองวัดค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning	46
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	46
5.2.1 การคำนวณหาค่าความถี่ของแต่ละตัวโน้ตจากทฤษฎี	46
5.2.2 ค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope ที่ทำการทดลอง	47
5.2.3 ค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning	47
5.3 ข้อเสนอแนะ	47
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	48
<b>ภาคผนวก</b>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางระยะเวลาการดำเนินการแต่ละขั้นตอน	3
2.1 ตาราง Flip Flop	5
2.2 แสดงการแบ่งเสียงดนตรีทางวิทยาศาสตร์	15
4.1 ตารางการคำนวณหาค่าความถี่ของแต่ละตัวโน้ตจากทฤษฎี	37
4.2 ตารางค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope ที่ทำการทดลอง	37
4.3 ตารางค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แบบขาไอซีเบอร์ 555	4
2.2 แสดงวงจรภายในไอซีเบอร์ 555	5
2.3 แสดงวงจร Astable Multivibrator	6
2.4 โครงสร้างของ LDR	9
2.5 ตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่าง ๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน	10
2.6 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR	11
2.7 วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด	12
2.8 วงจรแบ่งแรงดันที่มีโหลด	13
2.9 ช่วงความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง และช่วงความถี่เสียงที่มนุษย์-สัตว์ได้ยิน	15
2.10 วงจรสวิทช์โดยใช้ทรานซิสเตอร์	16
2.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟโดยใช้ MC78xx	17
2.12 วงจรแหล่งจ่ายไฟโดยใช้ MC79xx	18
2.13 ความเข้มของแสงสีต่างๆ	19
3.1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	20
3.2 ตัวต้านทานปรับค่าได้ 100 k $\Omega$	21
3.3 เลเซอร์	21
3.4 IC เบอร์ NE 555	22
3.5 LDR	22
3.6 ลำโพง	23
3.7 อะแดปเตอร์ 2 เครื่อง	23
3.8 สวิตช์	23
3.9 มัลติมิเตอร์ (Multimeter)	24
3.10 แผ่นไม้อัด	24

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 รางถ่าน	25
3.12 Terminal block	25
3.13 อุปกรณ์เครื่องมือช่าง	26
3.14 เครื่องออสซิลโลสโคป	26
3.15 วงจรเลเซอร์ฮาฟ	27
3.16 ทำการตีเส้นและวัดขนาดไม้อัด	29
3.17 ตัดไม้อัดที่วัดขนาดไว้ตั้งชั้นตอนข้างต้นด้วยเครื่องเลื่อยจิ๊กซอว์	29
3.19 นำไม้อัดขนาดต่างๆที่ตัดไว้มาประกอบกันและใช้สว่านไฟฟ้ายิงนอตยึดติดกัน	30
3.19 โครงสร้างชั้นงาน	30
3.20 ฟันสเปร์ยแลคเกอร์เคลือบเงาไม้	31
3.21 เจาะรูไม้อัดที่ตัดไว้ขนาด 20x100 cm.จำนวน 2 แผ่น	31
3.22 เจาะไม้อัดที่ตัดไว้ขนาด 5x100 cm.	32
3.23 รางถ่าน เลเซอร์และสวิตซ์ ที่บัดกรีแล้วใส่ในช่องที่ทำการเจาะไว้	32
3.24 ทดลองยิงเลเซอร์ลงมาให้ผ่านช่องที่ได้เจาะรูไว้	33
3.25 วงจรเลเซอร์ฮาฟแต่ละตัวมาวางยังตำแหน่งที่มาร์คไว้	33
3.26 ตัวด้านทานปรับค่าได้ที่ต่อเชื่อมกับวงจรเลเซอร์ฮาฟ	34
3.27 การครอบตัวด้านทานปรับค่าได้ด้วยตัวครอบบอลูม	34
3.28 DC jack และ mono jack เพื่อไว้เสียบกับ DC Adapter และลำโพง	34
3.29 ตำแหน่งการวาง Terminal block	35
4.1 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เสียงโค	39
4.2 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เสียงเร	39
4.3 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เสียงมี	39
4.4 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เสียงฟา	39

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เสียงซอล	39
4.6 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เสียงลา	39
4.7 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เสียงที	40
4.8 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เสียงโด	40
4.9 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงโด	42
4.10 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงเร	42
4.11 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงมี	42
4.12 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงฟา	43
4.13 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงซอล	43
4.14 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงลา	43
4.15 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงที	44
4.16 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียง โด	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
LDR	Light Dependent Resistor
I	กระแสไฟฟ้า (A)
V	แรงดันไฟฟ้า (V)
F	ค่าความถี่ของเสียง (Hz)
$R_A$	ค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ ( $\Omega$ )
$R_B$	ตัวต้านทานจากรวงจร ( $\Omega$ )
C	ตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจร (F)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันนี้มีเครื่องดนตรีหลากหลายชนิดทั้งเครื่องสาย เครื่องเป่า เครื่องตี รวมถึงเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น โดยเครื่องดนตรีเหล่านี้ต่างก็มีเสียงที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่แตกต่างกันไป ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆที่เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ทำเป็นเครื่องดนตรีมากมายหลายรูปแบบและตัวเครื่องก็มีลักษณะที่โดดเด่น แปลกตา สวยงามและมีเสียงดนตรีที่ต่างออกไปจากในอดีตที่มีแค่ 8 ตัว โน้ตเป็นหลักและล่าสุดได้มีการนำเลเซอร์มาใช้ทำเครื่องดนตรีด้วยเช่นกัน ซึ่งโครงการพิเศษนี้จึงทำการศึกษาและวิจัยการนำเลเซอร์มาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องดนตรีโดยเป็นเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสาย คือ เครื่องฮาร์พ (Harp) ซึ่งในแต่ละสายของฮาร์พนั้นจะใช้เลเซอร์แทนสายต่างๆและให้มีเสียงที่แตกต่างกันไปตามตัวโน้ตดนตรี โดยจะกำหนดค่าความถี่ที่เหมาะสมกับเครื่องดนตรีประเภทสายตามตัวโน้ตที่มีทั้งหมด 8 ตัว ได้แก่ โด เร มี ฟา ซอล ลา ที โด'

เลเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ให้กำเนิดลำแสงที่มีลักษณะเฉพาะซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่รวมกันระหว่างกลศาสตร์ควอนตัมกับ อุณหพลศาสตร์ ซึ่งพลังงานแสงเลเซอร์นั้นมีคุณสมบัติได้หลากหลายขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการออกแบบเลเซอร์ส่วนมากจะเป็นลำแสงที่มีขนาดเล็ก มีการเบี่ยงเบนน้อย (*low-divergence beam*) และแสงเลเซอร์มีหลายความยาวคลื่นตั้งแต่ในย่าน UV ไปจนถึง Infrared ซึ่งโครงการพิเศษนี้จะใช้เลเซอร์ในย่านที่ตามองเห็นซึ่งเลเซอร์นี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นการรวมพลังงานแสงที่ส่งออกมาจากความยาวคลื่นที่เท่ากันเข้าด้วยกัน

เลเซอร์ฮาร์พ (Laser-Harp) เป็นเครื่องดนตรีชนิดหนึ่งที่ใช้เลเซอร์ยิงลำแสงออกมาเป็น 8 ลำ โดยแต่ละลำแสงที่ออกมานั้นจะถูกกำหนดตำแหน่งไว้ตายตัวให้ไปกระทบลงบน LDR ของเครื่องกำเนิดเสียงแต่ละเครื่อง LDR ที่กล่าวนี้เป็นตัว Sensor จับสัญญาณทางแสงโดยแสงเลเซอร์ที่มากระทบกับตัว LDR Sensor นี้แล้วส่งมาที่เครื่องกำเนิดเสียงที่สามารถสร้างความถี่ทำให้เกิดเสียงซึ่งเครื่องกำเนิดเสียงนั้นจะกำหนดความถี่ของแต่ละตัวโน้ตไม่เหมือนกัน ในส่วนของการกำหนดค่าความถี่นั้นผู้วิจัยจะใช้ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ในการปรับให้มีความถี่ต่างๆซึ่งขึ้นอยู่กับวงจรที่ใช้ในการสร้างความถี่และจะทำให้แรงดันและกระแสเปลี่ยนแปลงไปตามไปด้วยและนำความถี่ที่ได้มานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาร่วมกัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปเทียบค่าความถี่ให้ใกล้เคียงกับเครื่องดนตรีประเภทสาย เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการตามตัวโน้ตดนตรี และนอกจากนี้ผู้ทำวิจัยยังต้องศึกษาวงจรต่างๆที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการวิจัยเกี่ยวกับการทำเลเซอร์ฮาร์ป (Laser-Harp)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการนำแสงเลเซอร์มารวมกับ Sensor ซึ่งให้ความถี่แตกต่างกันไปโดยแสดงเป็นเสียงตัวโน้ตทั้ง 8 ตัว
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานของ LDR Sensor
- 1.2.3 เพื่อศึกษาเครื่องดนตรีโดยใช้เลเซอร์(Laser)
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการทำงานของ IC Timer 555

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาและทดลองการทำงานของ LDR Sensor
- 1.3.2 ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นและการทำงานของวงจรที่ใช้ในการกำหนดความถี่
- 1.3.3 ศึกษาทฤษฎีระดับเสียงของเครื่องดนตรีชนิดสาย

## 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีในการดำเนินงาน

- 1.4.1 แผนการดำเนินงาน สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้
 

ขั้นตอนที่ 1	เสนองานวิจัย
ขั้นตอนที่ 2	ศึกษาทฤษฎี และหาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องการงานวิจัย
ขั้นตอนที่ 3	ตั้งสมมติฐาน และเตรียมการทดลอง
ขั้นตอนที่ 4	ทดลองและประเมินผลการทดลอง
ขั้นตอนที่ 5	ปรับปรุงการทดลองในส่วนที่ผิดพลาด
ขั้นตอนที่ 6	สรุปการทำวิจัย และแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการแต่ละขั้นตอน

เดือน ลำดับ	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
ขั้นตอนที่ 1												
ขั้นตอนที่ 2												
ขั้นตอนที่ 3												
ขั้นตอนที่ 4												
ขั้นตอนที่ 5												
ขั้นตอนที่ 6												

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ความรู้พื้นฐานวิธีการทดลองการทำเครื่องดนตรี
- 1.5.2 เพิ่มทักษะความรู้ทางด้านเทคโนโลยีทางแสงโดยเฉพาะแสงเลเซอร์
- 1.5.3 เพื่อพัฒนาเครื่องดนตรีแบบใหม่ให้ทันสมัยมากยิ่งขึ้น
- 1.5.4 เพื่อนำความรู้ที่ได้เรียนมาไปประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์
- 1.5.5 ได้ทักษะความรู้ในการสร้างและออกแบบวงจรที่ใช้ในการทำเครื่องดนตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

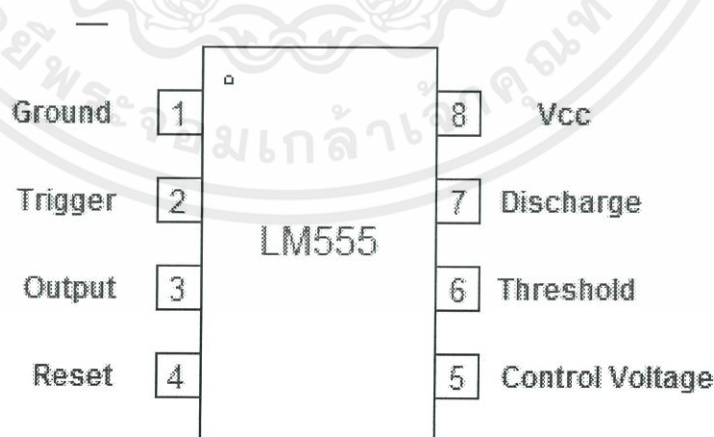
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของเลเซอร์(LASER)และหลักการทำงานของอุปกรณ์ โครงสร้างของอุปกรณ์ วงจรของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คือไอซีเบอร์ 555 (Timer IC) , LDR (Light Dependent Resistor) , วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า(Voltage Divider Circuit) , วงจรทรานซิสเตอร์ สวิตช์ (Transistor Switching Circuit)และวงจรรักษาระดับแรงดัน(Voltage Regulator)โดยที่ได้กล่าวมานั้นจะใช้เป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่จะใช้ในการทดลองในงานวิจัยของโครงการพิเศษเรื่อง LASER HARP

#### 2.1 ไอซีเบอร์ 555 (Timer IC)

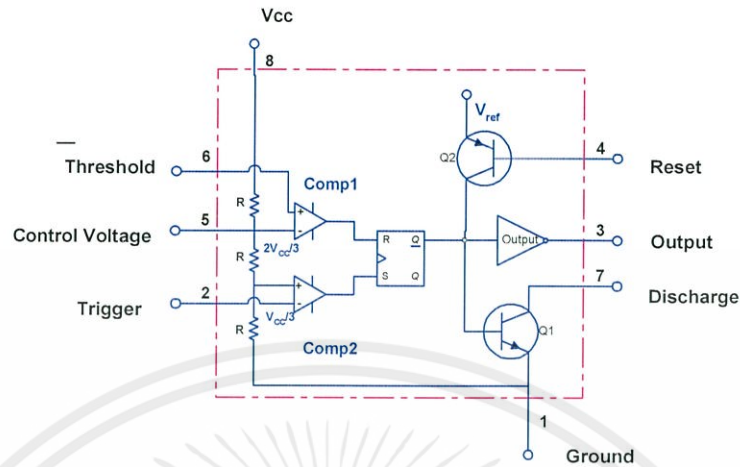
ไอซีเบอร์ 555 เป็นไอซีที่นิยมใช้กันมากในการนำมาสร้างสัญญาณ Square Wave สัญญาณ Pluse สัญญาณRampและวงจรตั้งเวลาต่างๆ โดยไอซี556 (Dual Timer)เป็น ไอซีที่ประกอบด้วยไอซี555 อยู่ภายใน 2 ตัว

##### 2.1.1 รูปแบบขาไอซีเบอร์ 555



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
รูปที่ 2.1 แบบขาไอซีเบอร์ 555

## 2.1.2 วงจรภายในไอซีเบอร์ 555



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรภายในไอซีเบอร์ 555

## 2.1.3 ส่วนประกอบต่างๆของวงจรภายในไอซีเบอร์ 555

1. Comparator 2 ตัว ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ขาบวกและลบ

- ถ้า  $V^+$  มีศักดามากกว่า  $V^-$  เอาท์พุทจะเท่ากับ  $V_{cc}$  หรือลอจิก “0”
- ถ้า  $V^+$  มีศักดาน้อยกว่า  $V^-$  เอาท์พุทจะเท่ากับ  $0V$  หรือลอจิก “1”

2. Resistor 3 ตัว ขนาดความต้านทานประมาณ  $5k\Omega$  เท่ากันทั้ง 3 ตัว ถ้าเช่นนั้นจะทำให้โวลต์เตทที่ตกคร่อม R เท่ากับ  $V_{cc}/3$

3. Flip Flop เป็นอุปกรณ์ดิจิทัลที่มีคุณสมบัติดังตาราง

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติ Flip Flop

R	S	$Q$	$\bar{Q}$
0	0	No change	
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	Not allow	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

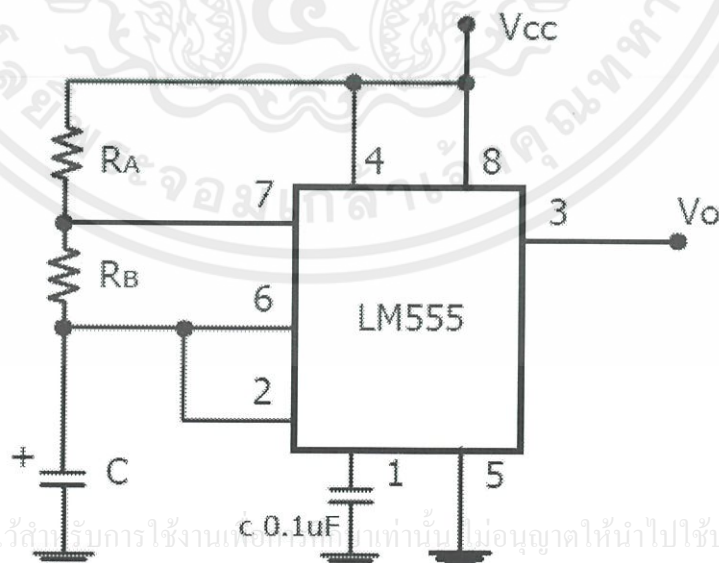
#### 4. Transistor มี 2 ตัว คือ

- $Q_1$  (NPN) ทำหน้าที่ Discharge Capacitor เมื่อ เอาท์พุท  $\bar{Q}$  เป็น โลจิก “1” ทำให้มีกระแสเบสเกิดขึ้น กระแสคอลเลคเตอร์ไหลจนอิ่มตัว (Saturation)  $V_{CE} = 0$  V หรือ Short Circuit
- $Q_2$  (PNP) ทำหน้าที่ Reset ให้เอาท์พุทเป็น 0 V คือถ้า ขา 4 (Reset) ต่อดลงกราวด์ ทำให้ทรานซิสเตอร์  $Q_2$  ON  $V_{CE} = 0$  V เอาท์พุทที่ขา  $\bar{Q}$  เป็น “1” เอาท์พุทของ Output Amp เป็น โลจิก “0”

5. Output Amp เป็นวงจรขยายกระแส เพื่อออกเอาท์พุทของไอซีแบบ Invert คือถ้าอินพุทเป็น “0” เอาท์พุทจะเป็น “1” ถ้าอินพุทเป็น “1” เอาท์พุทจะเป็น “0”

#### 2.1.4 วงจรอะสเตเบิล (Astable Multivibrator)

คือวงจรสร้างสัญญาณ Square wave มีความถี่ที่สามารถกำหนดได้ตามความต้องการด้วยค่าคาปาซิเตอร์ C และค่าความต้านทาน  $R_A$  และ  $R_B$  โดยในวงจรนี้นอกจากจะสามารถกำหนดความถี่ของสัญญาณ Square wave ด้วยค่า C และค่า  $R_T = R_A + R_B$  แล้วยังสามารถที่จะกำหนดช่วงเวลา “ON” และ “OFF” ของสัญญาณด้วยค่าที่แตกต่างกันของ  $R_A$  และ  $R_B$  ได้อีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 แสดงวงจร Astable Multivibrator

### หลักการทํางาน

ใช้หลักการเก็บประจุและคายประจุของคาปาซิเตอร์ โดยจะทำการเก็บประจุผ่าน  $R_A, R_B$  และจะคายประจุผ่าน  $R_B$  และ  $T_r$  ภายใต้งาน GND

- ขณะที่คาปาซิเตอร์เก็บประจุจนถึงระดับแรงดัน  $2/3 V_{cc}$  ขณะนั้นแรงดันของ  $V_0 = V_{cc}$

- ขณะที่คาปาซิเตอร์คายประจุออกเกิดแรงดันตกคร่อมมีช่วงจาก  $2/3 V_{cc}$  ถึง  $V_{cc}/3$  ขณะนั้นแรงดันของ  $V_0 = 0$  (ศูนย์โวลท์)

### แบ่งขั้นตอนการทํางานเป็น 5 ช่วง

ช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่ทำการเปิดวงจรคาปาซิเตอร์จะทำการเก็บประจุจาก  $V_{cc}$  ผ่าน  $R_A, R_B$  Output ของ Comparator ตัวบนและล่างจะเป็น "1" ทำให้ Output ของ Nand gate จะเป็น "0" ส่งผลให้ F/F ขา R = "0" และ S = "1" เป็นการ set F/F Output  $Q = "1"$ ,  $\bar{Q} = "0"$  คาปาซิเตอร์จะทำการเก็บประจุไปเรื่อยๆจนมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ  $V_{cc}/3$

ช่วงที่ 2 ช่วงที่คาปาซิเตอร์ทำการเก็บประจุเกิน  $V_{cc}/3$  จะทำให้ Comparator(2) ตัวล่างเป็น "0" F/F ขา R = "0", S = "0" ได้ Output  $V_0$  เหมือนเดิม

ช่วงที่ 3 เมื่อคาปาซิเตอร์ถูกเก็บประจุจนกระทั่งมีค่ามากกว่า  $2V_{cc}/3$  output ของ comparator(1) ตัวบนจะเปลี่ยนเป็น "0" Output ของ NAND gate จะเป็น logic "1" ดังนั้น F/F R = "1", S = "0" เป็นการทำให้ F/F  $Q = "0"$  และ  $\bar{Q} = "1"$  Transistor จะ "ON"

ช่วงที่ 4 คาปาซิเตอร์จะทำการคายประจุผ่าน  $R_B$  และ  $T_r$  ลง GND ทำให้ Output ของ Comparator(1) ตัวบนเป็น "1" Comparator(2) ตัวล่างเป็น "0" ทำให้ F/F ขา R = "0", S = "0" Output ของ F/F จะคงเดิม  $Q = "0"$ ,  $\bar{Q} = "1"$

ช่วงที่ 5 เมื่อคาปาซิเตอร์ทำการคายประจุจนแรงดันคร่อม  $C = V_{cc}/3$  ทำให้ Comparator(1) ตัวบนเป็น "1" Comparator(2) ตัวล่างเป็น "1" ทำให้ F/F ขา R = "0", S = "1" เป็นการทำให้ F/F ได้  $Q = "1"$ ,  $\bar{Q} = "0"$  Tr จะ "OFF" คาปาซิเตอร์จะทำการเก็บประจุใหม่อีกครั้งในขั้นตอนที่ 2 และเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

### การวิเคราะห์เวลาในการ charge และ Discharge Capacitor

เวลาในการ charge-C จาก 0 ถึง  $V_{cc}/3$  ใช้เวลา  $t_1$

$$v_c(t) = V_{cc}(1 - e^{-t/RC})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสาร  $V_{cc}/3 = V_{cc}(1 - e^{-t_1/RC})$  ซึ่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น  $-t_1/RC = \ln 2/3 = -0.405$  และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_1 = 0.405 RC$$

เวลาในการ charge C จาก 0 ถึง  $2/3V_{cc}$  ใช้เวลาใน  $t_2$

$$2/3V_{cc} = V_{cc}(1 - e^{-t_2/RC})$$

$$-t_2/RC = \ln 1/3 = -1.098$$

$$T_1 = t_2 - t_1 = (1.098 - 0.405)RC$$

$$T_1 = 0.693RC$$

แต่  $R = R_A + R_B$

$$T_1 = 0.69(R_A + R_B)C$$

เวลาในการ discharge C จาก  $2/3V_{cc}$  ถึง  $V_{cc}/3$

สูตร

$$V_c(t) = V e^{-t/RC}$$

$$V_{cc}/3 = 2/3V_{cc}e^{-t/RC}$$

$$T = -RC \ln 1/3 = 0.69RC$$

$$T_2 = 0.69(R_B)C$$

$$T = T_1 + T_2$$

$$T = 0.69(R_A + 2R_B)C$$

เอกสารนี้เป็นที่ความถี่ square wave ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = 1/0.69(R_A + 2R_B)C$$

## 2.2 LDR : Light Dependent Resistor

แอลดีอาร์ (LDR : Light Dependent Resistor) คือ ความต้านทานชนิดที่ไวต่อแสง กล่าวคือ ตัวความต้านทานนี้สามารถเปลี่ยนสภาพทางความนำไฟฟ้าได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบบางครั้ง เรียกว่าโฟโตริซิสเตอร์(Photo Resistor)หรือ โฟโตคอนดักเตอร์(Photo Conductor) เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ(Semiconductor) ประเภทแคดเมียมซัลไฟด์ (Cds : Cadmium Sulfide) หรือ แคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe : Cadmium Selenide) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำเอามาจาก บบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อจากสารที่ฉาบไว้ออกมา

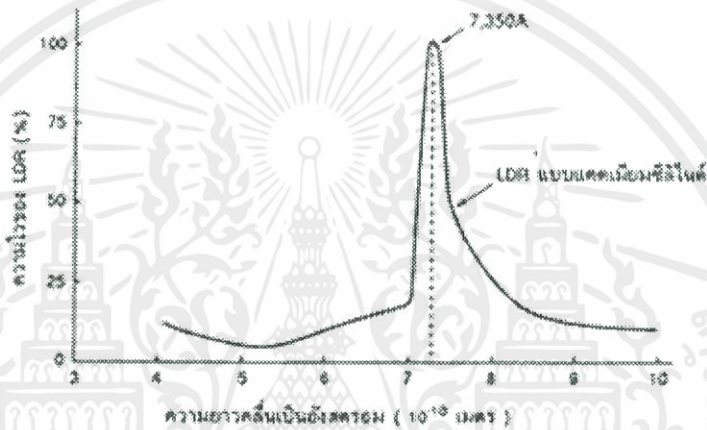
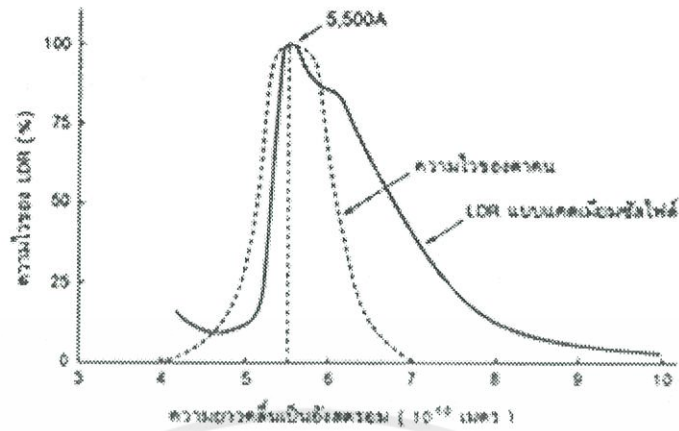


รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ LDR

รูปร่างของ LDR ในรูปที่ 3 ส่วนที่ขีดเป็นแนวเล็กลงคือ คำทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และ แนวสีดำ นั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง สีทองนั้น เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัส กับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอกหรือ เรียกว่าอเล็กโทรดที่เหลืองก็จะเป็นฐานเซรามิกและอุปกรณ์สำหรับห่อหุ้มมันซึ่งมีได้หลายแบบ

### 2.2.1 สมบัติทางแสง

การทำงานของ LDR เพราะว่าเป็นสารกึ่งตัวนำเวลามีแสงตกกระทบบลงไปที่จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ทำให้เกิด โฮลกับอิเล็กตรอนการที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากก็เท่ากับความต้านทานลดลงนั่นเองยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบบมากเท่าไรความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น

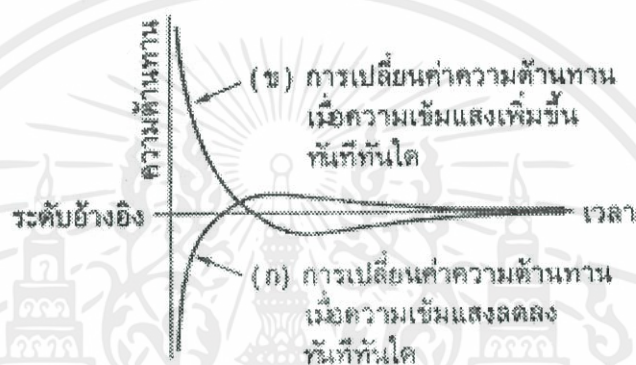


รูปที่ 2.5 ตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่าง ๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ

ในส่วนที่ว่าแสงตกกระทบนั่น มิใช่ว่าจะเป็นแสงอะไรก็ได้ เฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม ( 1 อังสตรอม เท่ากับ 10 - 10 เมตร ) ถึงประมาณ 10,000 อังสตรอม เท่านั้นที่จะใช้ได้ (สายตาคนจะเห็นได้ ในช่วงประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 7,000 อังสตรอม ) ซึ่งคิดแล้วก็ยังเป็นช่วงคลื่นเพียงแคบ ๆ เมื่อเทียบกับการทำงาน ของอุปกรณ์ไวแสงประเภทอื่น ๆ แต่ถึงอย่างไรแสงในช่วงคลื่นนี้ ก็มีอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และ แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วย หรือ ถ้าจะคิดถึงความยาวคลื่น ที่ LDR จะตอบสนองไวที่สุดแล้ว ก็มีอยู่หลายความยาวคลื่น โดยทั่วไป LDR ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่า อังสตรอม. ซึ่งเราจะเห็นเป็นสีเขียวไปจนถึงสีเหลืองสำหรับ บางตัวแล้ว ความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมัน ใกล้เกี่ยวกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก(ตาคนไวต่อความยาวคลื่นประมาณ 5,550 อังสตรอม )จึงมักจะใช้ทำเป็นเครื่องวัดแสงในกล้องถ่ายรูปถ้า LDR ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์ก็จะไวต่อความยาวคลื่นในช่วง 7,000 กว่าอังสตรอมซึ่งไปอยู่ในช่วงอินฟราเรดแล้ว

## 2.2.2 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีแสง กับขณะที่มีแสง อาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่น แต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วง ประมาณ 0.5 MW ขึ้นไป ในที่มีดสนิทอาจขึ้นไปได้มากกว่า 2 MW และ ในขณะที่มีแสงจะเป็นประมาณ 10 – 20kW ลง ไป อาจจะมีเหลือเพียงไม่กี่โอห์ม หรือ ไม่ถึงโอห์มก็ได้ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 V และ กำลังสูญเสีย อย่างต่ำประมาณ 50 mW



รูปที่ 2.6 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR

นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 5 ถ้า LDR ได้รับแสงที่มีความเข้มสูงดังเส้น ( ก ) ความต้านทานจะมีค่า ต่ำ และ ในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทาน ที่มันควรจะเป็นในระดับอ้างอิง. แต่แทนที่มันจะไปหยุดอยู่ระดับอ้างอิง มันกลับ เพิ่มเลยขึ้นไปอีกแล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับ อ้างอิง เหมือนกับว่า เบรกมันไม่ค่อยดี และ ในทำนองเดียวกันถ้า เก็บมัน ไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับ อ้างอิงทันที ดังในรูป ( ข ) ความต้านทานก็จะลด เลยต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียมซีนิไนด์ จะใช้เวลา ในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่าแบบแคดเมียมซัลไฟด์แต่ก็จะวิ่งเลยไปไกลกว่าด้วยและอีกอย่างหนึ่งความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งช้ามากซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือ บาง ทีก็เป็นวินาที เลย จึงทำให้ LDR ใช้ได้ กับงานความถี่ต่ำๆเท่านั้น

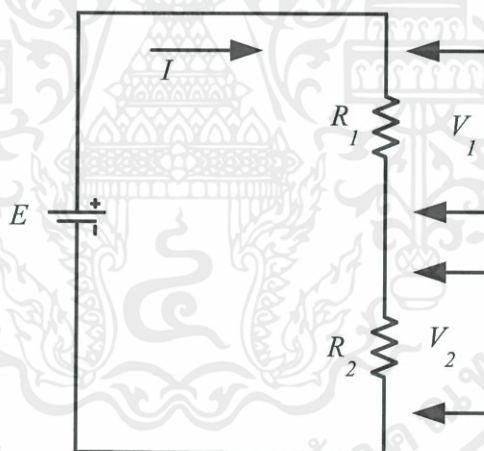
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
หนึ่งชั่วโมงซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือ บาง ทีก็เป็นวินาที เลย จึงทำให้ LDR ใช้ได้ กับงาน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

## 2.3 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider Circuit)

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider Circuit) หมายถึงวงจรที่ประกอบด้วยความต้านทาน 2 ตัวขึ้นไปต่ออนุกรม (Series) อยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Power Supply) ซึ่งค่าความต้านทานในวงจรจะทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าในวงจรโดยทั่วๆ ไปแล้ววงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าพัฒนามาจากกฎของโอห์มเพียงแต่การคิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวใช้วิธีของวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าจะรวดเร็วและสะดวกกว่ากฎของโอห์มวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าออกเป็น 2 แบบได้แก่

### 2.3.1 วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider)

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้าเป็นวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ยังไม่ได้ต่อภาระไฟฟ้าเราสามารถที่จะออกแบบการแบ่งแรงดันไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้งานในการคำนวณจึงไม่ต้องนำค่าภาระไฟฟ้ามาคำนวณด้วย



รูปที่ 2.7 วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด

จากรูป  $R_1$  และ  $R_2$  ทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าออกเป็น 2 ช่วงคือ  $V_1$  และ  $V_2$  การคำนวณหาค่า  $V_1$  และ  $V_2$  ถ้าใช้สูตรการคำนวณแบบวงจรอนุกรมจำเป็นต้องคำนวณหาค่าความต้านทานรวม ( $R_T$ ) และกระแสไฟฟ้า ( $I_T$ ) ของวงจรเสียก่อน ซึ่งทำให้เสียเวลา เราสามารถประยุกต์สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวต้านทานมาใช้ในการคำนวณหาค่า  $V_1$  และ  $V_2$  ได้โดยไม่ต้องใช้ค่าของกระแสไฟฟ้าของวงจรได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_1 = IR_1 \quad \text{เมื่อ} \quad I = \frac{E}{R_T}$$

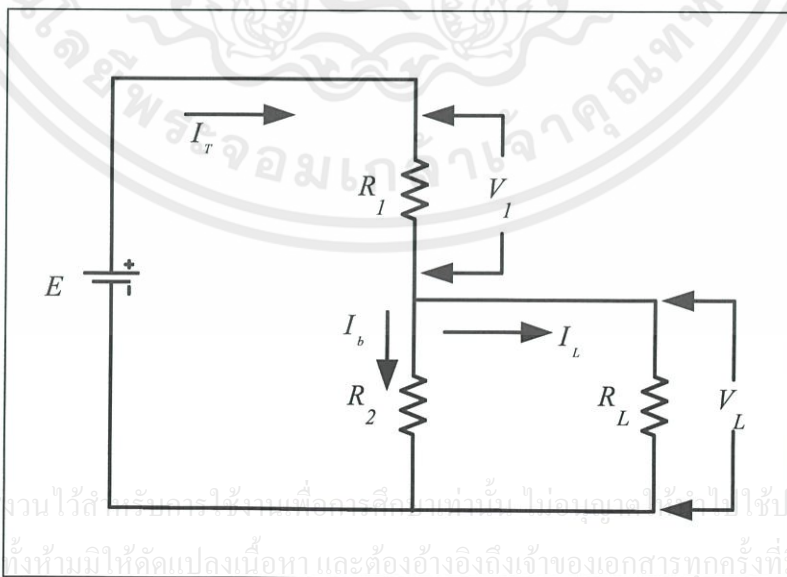
แทนค่า  $I = \frac{E}{R_T}$  ในสมการจะได้,  $V_1 = \frac{E}{R_T} R_1$  แต่  $R_T = R_1 + R_2$

แทนค่า  $R_T = R_1 + R_2$  ในสมการจะได้  $V_1 = E \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

ทำนองเดียวกัน  $V_2 = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

### 2.3.2 วงจรแบ่งแรงดันที่มีโหลด (Load Voltage Divider)

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีภาระไฟฟ้าจะคล้ายกับวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้าเพียงแต่มีการต่อภาระไฟฟ้าเข้าไปในส่วนที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าไว้ ดังนั้นการคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าในวงจรจึงต้องคำนึงถึงค่าความต้านทานของภาระไฟฟ้าที่นำไปต่อด้วย โดยการให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทานที่ต่อขนานกับภาระไฟฟ้านั้นมีค่าประมาณ 10% – 20 % ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านภาระไฟฟ้าทั้งหมด



รูปที่ 2.8 วงจรแบ่งแรงดันที่มีโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ใช้การนำไปใช้

จากวงจรยบรวม  $R_1$  และ  $R_2$  ได้ดังสูตร

$$R_T = \frac{R_2 \times R_L}{R_2 + R_L}$$

คำนวณหาค่า  $R_T$  ได้จากสูตร

$$R_T = R_1 + R_{T_1}$$

จากสูตรการคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าในวงจร

$$I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{E}{R_1 + R_{T_1}} \quad \text{และ}$$

$$V_L = I_T R_{T_1}$$

แทนค่า  $I_T$  ในสูตร  $V_L = I_T R_{T_1}$  จะได้

$$V_L = \frac{E}{R_1 + R_{T_1}} \times R_{T_1} \quad \text{หรือ}$$

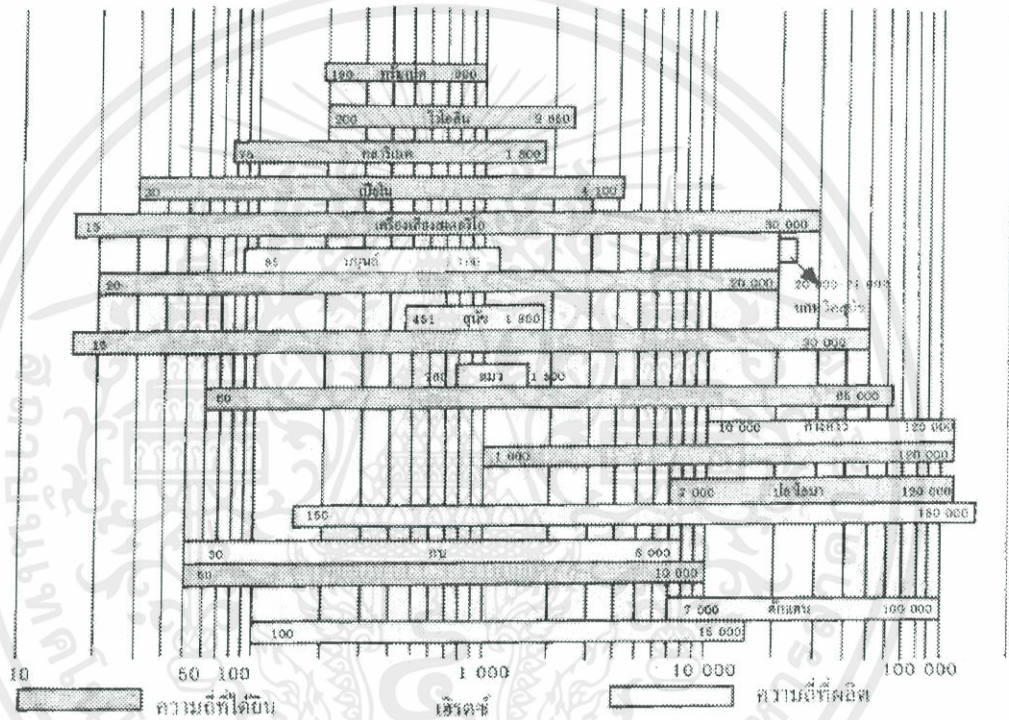
$$V_L = E \times \frac{R_{T_1}}{R_T}$$

เมื่อ  $R_T = R_1 + R_{T_1}$

ดังนั้นจึงสามารถใช้สูตร  $V_L = E \times \frac{R_{T_1}}{R_T}$  คำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าได้  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยมูลนิธิส่งเสริมศิลปวัฒนธรรมแห่งกรุงเทพมหานคร  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4 ระดับเสียง

การได้ยินเสียงของมนุษย์นอกจากขึ้นอยู่กับความเข้มเสียงแล้วยังขึ้นกับความถี่ของคลื่นเสียงอีกด้วยความถี่เสียงต่ำสุดที่มนุษย์สามารถได้ยินคือ 20 เฮิรตซ์ และความถี่สูงสุดที่สามารถได้ยินคือ 20,000 เฮิรตซ์ เสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ เราเรียกว่าคลื่นใต้เสียงหรือ อินฟราซาวด์ ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงขนาดใหญ่ เช่นการสั่นสะเทือนของสิ่งก่อสร้าง ส่วนเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์ เราเรียกว่า คลื่นเหนือเสียงหรืออัลตราซาวด์นอกจากนี้แหล่งกำเนิดเสียงต่างๆก็ให้เสียงที่มีความถี่ต่างกันออกไปดังแสดงต่อไปนี้



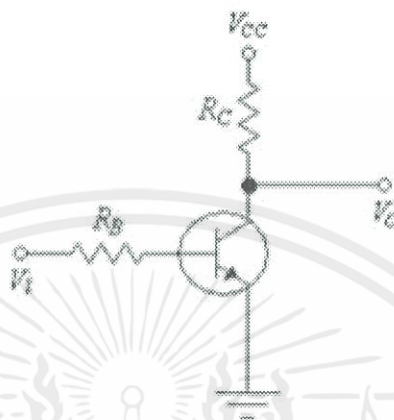
รูปที่ 2.9 ช่วงความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง และช่วงความถี่เสียงที่มนุษย์-สัตว์ได้ยิน

เสียงที่มีความถี่ความถี่น้อยจนทั่วไปเรียกว่าเสียงทุ้มส่วนเสียงที่มีความถี่สูงจนทั่วไปเรียกว่าเสียงแหลมการแบ่งระดับจะใช้ความถี่ในการแบ่ง การแบ่งเสียงดนตรีทางวิทยาศาสตร์แสดงดังนี้ ตารางที่ 2.2 แสดงการแบ่งเสียงทางวิทยาศาสตร์

ระดับเสียงดนตรี	C (โด)	D (เร)	E (มิ)	F (ฟา)	G (ซอล)	A (ลา)	B (ที)	C (โด)
ความถี่(Hz)	256	288	320	341	384	427	480	512

## 2.5 วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor Switching Circuit)

โดยปกติจะไม่มีกระแสแรงดัน เนื่องจากทรานซิสเตอร์จะถูกให้ทำงานแค่สองโหมดเท่านั้นคือ โหมดอิ่มตัว (Saturation Mode) และ โหมดคัตออฟ (Cutoff Mode)



รูปที่ 2.10 วงจรสวิตช์โดยใช้ทรานซิสเตอร์

จากรูปเป็นวงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์แบบพื้นฐาน ซึ่งการพิจารณาวงจรจะพิจารณาในภาวะที่ ทรานซิสเตอร์อิ่มตัว (“ON” หรือ นำกระแสกับทรานซิสเตอร์คัตออฟ, “OFF” หรือ ไม่นำกระแส) ซึ่งในวงจรดังกล่าวเอาต์พุตที่ได้ ( $V_o$ ) จะกลับเฟสกับอินพุต ( $V_i$ ) นั่นคือ ถ้าอินพุตเป็น High ( $V_i$ ) เอาต์พุตจะมีค่าเป็น Low (0 Volt) และ ถ้าอินพุตเป็น Low เอาต์พุตจะมีค่าเป็น High (มีค่าใกล้เคียง  $V_{cc}$ ) เรียกวจรแบบนี้ว่า วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

## 2.6 วงจรเรกกูเลเตอร์โดยใช้ไอซี 3 ขาแบบแรงดันเอาต์พุตคงที่

ไอซี 3 ขาแบบแรงดันเอาต์พุตคงที่ที่นิยมใช้กันมากคือตระกูล MC78xx และตระกูล MC79xx โดยตระกูล 78xx จะใช้แรงดันแบบบวกที่คงที่ส่วนตระกูล 79xx จะให้แรงดันแบบลบคงที่ โดยที่ xx จะบอกขนาดแรงดันตัวอย่างเช่น MC7805 คือไอซีตระกูล MC78xx ที่ให้แรงดันแบบบวกคงที่ขนาด 5 V และ MC7912 คือ ไอซีตระกูล MC79xx ที่ให้แรงดันแบบลบคงที่ขนาด 12 V เป็นต้น

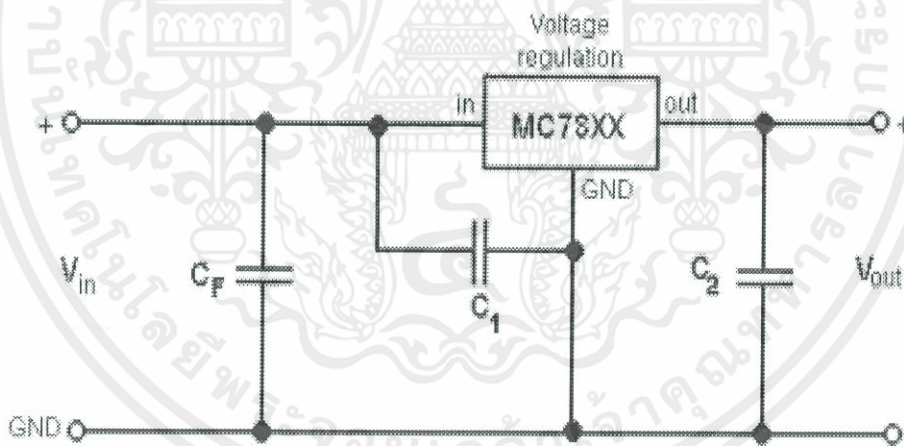
IC ตระกูล MC78xx และ MC79xx จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันมากจะแตกต่างกันเพียงการให้แรงดันคงที่บวกหรือลบเท่านั้นจะนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวเกี่ยวกับการออกแบบไอซี MC78xx ไม่ว่าจะกรณีใดทางส่วน อื่นๆห้ามมให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกกรณีการนำไปใช้เสียเป็นส่วนใหญ่มักรู้ว่าการออกแบบไอซีตระกูล MC79xx ก็นำหลักการจากการออกแบบ MC78xx ไปใช้ได้เลย

ไอซีของบริษัทเนชั่นเนลตระกูล LM140 – xx / LM340 – xx จะมีลักษณะคล้ายกับตระกูล MC78xx คือให้แรงดันแบบบวกที่คงที่เหมือนกันส่วนตระกูล LM120 – xx / LM320 – xx จะมีลักษณะคล้ายกับตระกูล MC79xx คือให้แรงดันแบบลบที่คงที่เหมือนกันโดยที่ xx คือขนาดแรงดันเช่นเดียวกัน

### 2.6.1 วงจรเรกกูเลเตอร์พื้นฐานโดยใช้ไอซีตระกูล MC78xx และ MC79xx

ในรูปที่ 9 แสดงวงจรมাত্রฐานของแหล่งจ่ายไฟแบบแรงดันเอาต์พุตคงที่โดยใช้ MC78xx เป็นวงจรเรกกูเลเตอร์จะเห็นได้ว่าขา In ของ MC78xx จะต่อกับไฟบวกส่วนขา GND จะต่อกับไฟลบ  $C_1$  ใส่ไว้เพื่อลดความเหนี่ยวนำภายในไอซีซึ่งมักใช้ค่า  $\mu F$  แบบแทนทาลัมหรือ  $0.1 \mu F$  แบบเซรามิกส่วน  $C_2$  มีไว้เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนซึ่งมักใช้ค่า  $\mu F$  แบบแทนทาลัมหรือ  $0.1 \mu F$  แบบเซรามิก

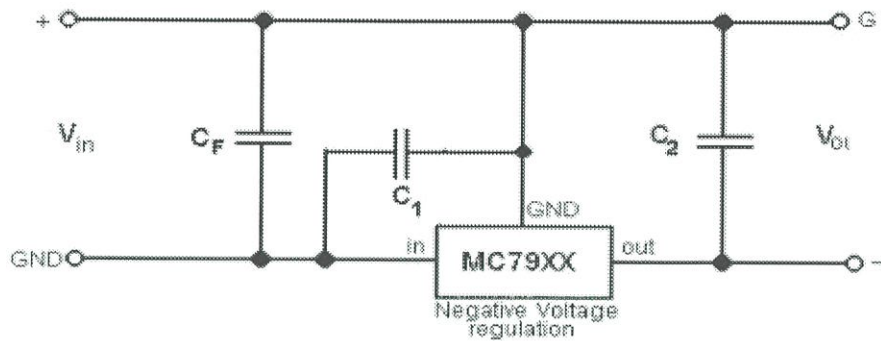
การป้องกันแรงดันที่ขา In และขา Out ของ MC78xx จะต้องมีค่าต่างกันพอสมควร โดยดูจากค่า  $V_{in} - V_{out}$  ใน Data Sheet เช่น MC7805 ค่า  $V_{in} - V_{out} = 2 V$  ฉะนั้นแรงดันที่ขา In ต้องป้อนมากกว่า  $7 V$  ขึ้นไปแต่ต้องน้อยกว่าค่า  $V_{in(max)}$  ซึ่งจาก Data Sheet มีค่าเท่ากับ  $35 V$



รูปที่ 2.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟโดยใช้ MC78xx

ในรูปที่ 9 แสดงวงจรมাত্রฐานของวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบแรงดันเอาต์พุตคงที่โดยใช้

MC79xx เป็นวงจรเรกกูเลเตอร์ที่ขา In ของ MC79xx จะต่อกับไฟลบและขา Out จะให้แรงดันลบค่า  $C_1$  และ  $C_2$  จะใช้เท่ากับวงจรในรูปที่ 9 ส่วนหลักการต่างๆก็เหมือนกับ MC78xx



รูปที่ 2.12 วงจรแหล่งจ่ายไฟโดยใช้ MC79xx

ในรูปที่ 10 แสดงวงจรมารฐานของวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบแรงดันเอาต์พุตคงที่แบบบวก-ลบ และกราวนด์ (ขา Common) โดยใช้ไอซีตระกูล MC78xx และ 79xx ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับว่านำวงจรในรูปที่ 9 และรูปที่ 10 มารวมกัน

## 2.7 แสงเลเซอร์

เลเซอร์หรือ Laser เป็นตัวอักษรที่ย่อมาจากข้อความว่า Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation หมายถึงการขยายแสงด้วยการกระตุ้นให้แผ่รังสีซึ่งเป็นการอธิบายถึงกระบวนการผลิตแสงเลเซอร์ที่เกิดจากสองกระบวนการหลักๆคือการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น (Stimulated Emission) และการขยายสัญญาณแสง (Light Amplification)

นักวิทยาศาสตร์ได้เสนอแบบจำลองอะตอมว่าประกอบด้วยนิวเคลียสอยู่ตรงกลางซึ่งมีประจุบวกและมีอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบโคจรรอบอยู่โดยรอบซึ่งอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสจะอยู่ในวงโคจรที่ต่างกันมีพลังงานที่แตกต่างกันตามค่าพลังงานของอะตอมและเมื่อใดที่มีการให้พลังงานแก่อะตอมที่เหมาะสมอิเล็กตรอนที่อยู่สถานะพื้น (ground state) หรือ  $E_0$  จะถูกกระตุ้นให้กระโดดจากวงโคจรที่มีพลังงานต่ำสู่วงโคจรที่มีพลังงานสูงกว่าหรือไปสู่สถานะเร้า (excited state) หรือ  $E_1$

อิเล็กตรอนในสถานะถูกกระตุ้นจะคงสภาพอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าได้เพียงช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้นหรือไม่เสถียรเนื่องจากมีพลังงานสูงเกินไปอิเล็กตรอนจึงต้องมีการลดระดับพลังงานเพื่อกลับมาสู่ระดับพลังงานเดิมหรือกลับมาอยู่ในสถานะปกติ ( $E_0$ ) ด้วยการปลดปล่อยพลังงาน ( $E_1 - E_0$ ) ออกมาซึ่งพลังงานเหล่านั้นมักอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอนลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเป็นการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous Emission)

แต่การเปล่งแสงโดยการถูกกระตุ้น (Stimulated Emission) ในการผลิตแสงเลเซอร์จะแตกต่างกันคือในช่วงระหว่างที่อิเล็กตรอนอยู่ในสถานะเร้าหรือกระตุ้นมันจะไม่ปล่อยให้อิเล็กตรอนกลับมาอยู่ในสถานะปกติด้วยตัวเองแต่จะมีการให้พลังงานเช่นการฉายแสงหรือยิงโฟ

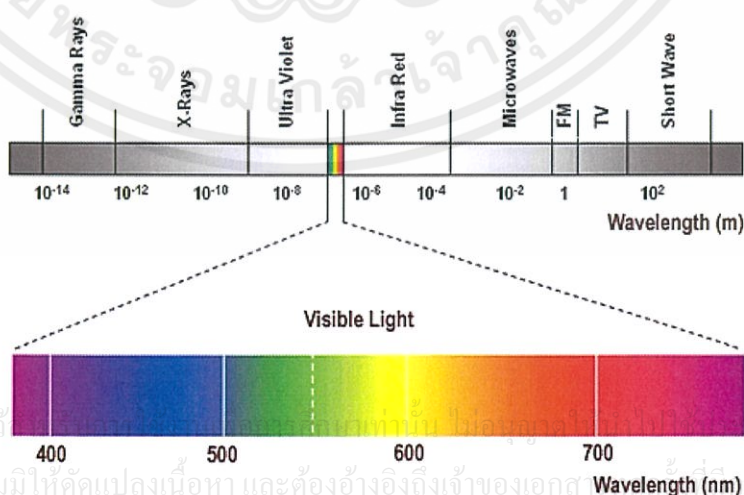
ตอนที่อิเล็กตรอนคายพลังงานเท่ากับความแตกต่างของการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงาน ( $E_1 - E_0$ ) เข้าไปเพื่อให้อิเล็กตรอนคายพลังงานเร็วกว่าปกติและพลังงานที่ปล่อยออกมามีค่าเท่ากับ  $E_1 - E_0$

ด้วยเหตุนี้พลังงานโฟตอนที่ถูกใส่เข้าไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนคายพลังงานกับพลังงานที่อิเล็กตรอนคายออกมาจึงมีค่าพลังงานเท่ากัน (พลังงานโฟตอนที่ฉายเข้าไปไม่ถูกดูดกลืนเมื่อกระทบกับอิเล็กตรอน) มีความถี่เดียวกันเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันและเมื่อมีการขยายสัญญาณแสง (Light Amplification) เพื่อให้เกิดการคายแสงมากขึ้นก็จะทำให้พลังงานที่ได้มีความเข้มสูงมากขึ้นซึ่งทั้งหมดนี้คือคุณสมบัติสำคัญของแสงเลเซอร์

### คุณสมบัติหลักๆของแสงเลเซอร์ที่แตกต่างจากแสงสว่างทั่วไป

คือแสงเลเซอร์มีการปล่อยพลังงานที่มีค่าเท่ากันมีความถี่เดียวกันจึงเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันอีกทั้งแสงจากเลเซอร์ยังมีลักษณะเป็นลำแสงการกระจายของลำแสงน้อยแสงเลเซอร์จึงเคลื่อนที่ได้ไกลมากที่สำคัญแสงเลเซอร์เป็นพลังงานที่มีความเข้มสูงมากสามารถเจาะทะลุแผ่นโลหะได้ขณะที่แสงสว่างทั่วไปเช่นแสงสว่างจากหลอดไฟมีความถี่ที่ไม่เท่ากันเคลื่อนที่ไม่พร้อมเพรียงกันลำแสงจึงมีการกระจายตัวกว้างส่องสว่างได้ไม่ไกลมากนัก

สำหรับในส่วนของสีนั้นหากเป็นแสงสว่างทั่วไปเป็นที่ทราบกันว่าแสงในบรรยากาศที่เราเห็นเป็นแสงสีขาวแท้จริงแล้วประกอบด้วยแสง 7 สีมารวมกันคือม่วงครามน้ำเงินเขียวเหลืองแสดแดงซึ่งแต่ละสีก็มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน โดยสีม่วงมีความยาวคลื่นสั้นที่สุดขณะที่สีแดงมีความยาวคลื่นมากที่สุดหรือแม้แต่หลอดไฟสีต่างๆทั่วไปเช่นหลอดไฟสีฟ้าก็ไม่ได้มีแต่เพียงสีฟ้าเท่านั้นแต่อาจจะมีสีน้ำเงินสีครามผสมอยู่ด้วยขณะที่แสงเลเซอร์ประกอบด้วยคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นเท่ากันหมดจึงเป็นลำแสงที่มีสีเดียวอย่างแท้จริงส่วนแสงเลเซอร์จะเป็นสีใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดแสงที่นำมาใช้ในการผลิตแสงเลเซอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร  
โยชน์ด้านการค้า  
ารนำไปใช้

รูปที่ 2.13 ความเข้มของแสงสีต่างๆ

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในวิธีการดำเนินงานวิจัยนี้ จะทำการทดลองต่อวงจรและวิเคราะห์วงจรเลเซอร์ฮาฟและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆเพื่อสามารถนำไปกำหนดค่าความถี่ตามตัวโน้ตดนตรีได้อีกทั้งทำการออกแบบโครงสร้างชิ้นงาน เพื่อเก็บอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆใส่ไว้ภายใน อาทิเช่น วงจรเลเซอร์ฮาฟ เลเซอร์ รวงถ่าน แจ็ค โม โน ดิซี แจ็ค เป็นต้น

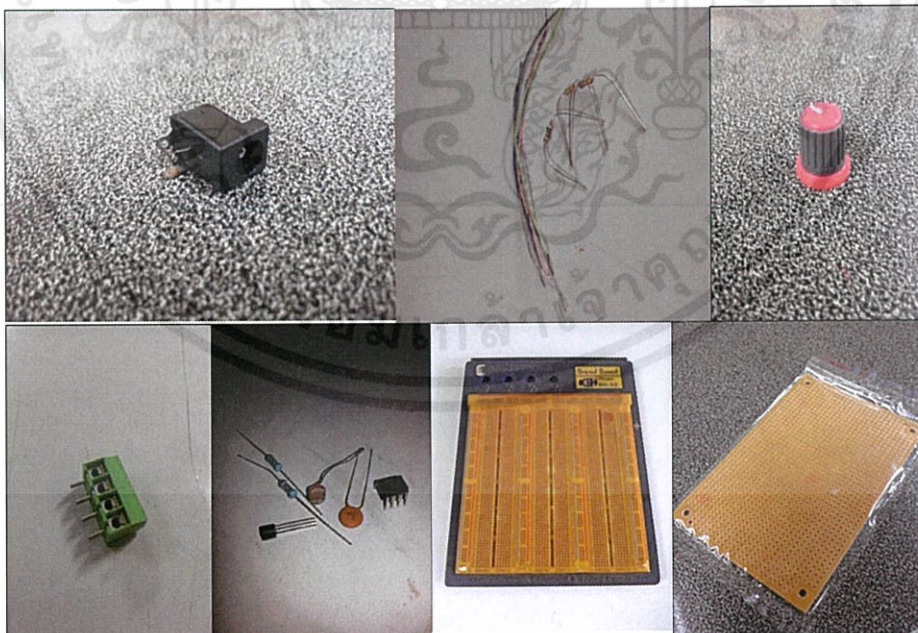
#### 3.1 อุปกรณ์การทดลอง

#### 3.2 การทดสอบและวิเคราะห์วงจรเลเซอร์ฮาฟ

#### 3.3 การสร้างและการออกแบบโครงสร้าง

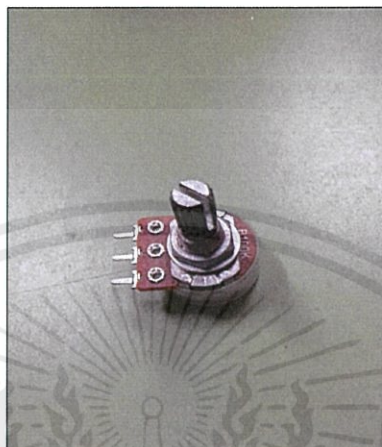
### 3.1 อุปกรณ์การทดลอง

#### 3.1.1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 ตัวต้านทานปรับค่าได้ 100 k $\Omega$



รูปที่ 3.2 ตัวต้านทานปรับค่าได้ 100 k $\Omega$

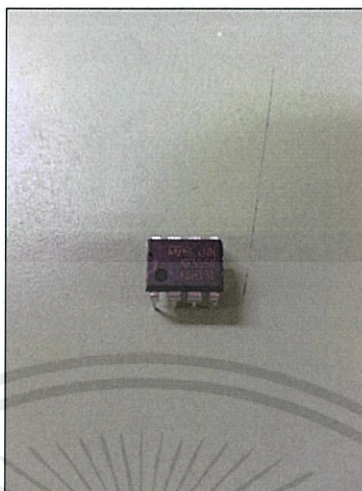
### 3.1.3 ชุดอุปกรณ์เลเซอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา... ผู้เป็นเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

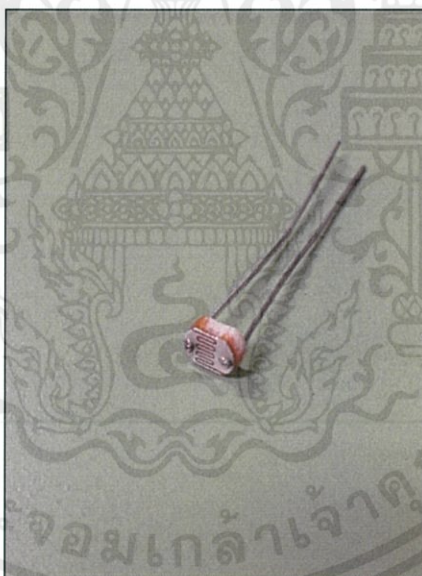
รูปที่ 3.3 เลเซอร์

### 3.1.4 IC เบอร์ NE 555



รูปที่ 3.4 IC เบอร์ NE 555

### 3.1.5 LDR



รูปที่ 3.5 LDR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.6 ลำโพง



รูปที่ 3.6 ลำโพง

### 3.1.7 DC adapter 2 เครื่อง



รูปที่ 3.7 DC adapter 2 เครื่อง

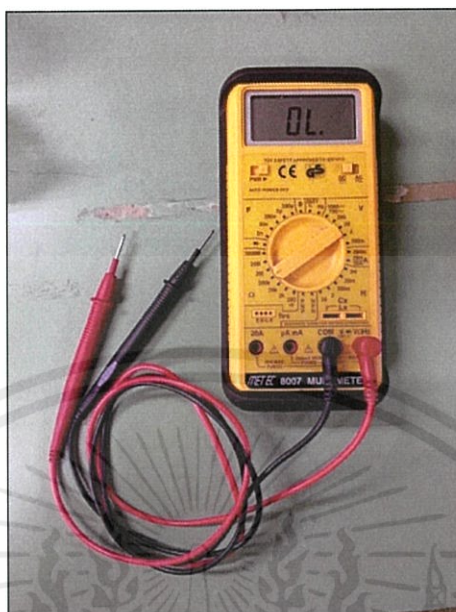
### 3.1.8 สวิตช์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้... อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 สวิตช์

### 3.1.9 มัลติมิเตอร์ (Multimeter)



รูปที่ 3.9 มัลติมิเตอร์ (Multimeter)

### 3.1.10 แผ่นไม้อัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหารูปที่ 3.10 แผ่นไม้อัดของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.11 รางถ่าน



รูปที่ 3.11 รางถ่าน

### 3.1.12 Terminal block



รูปที่ 3.12 Terminal block

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.13 อุปกรณ์เครื่องมือช่าง



รูปที่ 3.13 อุปกรณ์เครื่องมือช่าง

### 3.1.14 เครื่องออสซิลโลสโคป

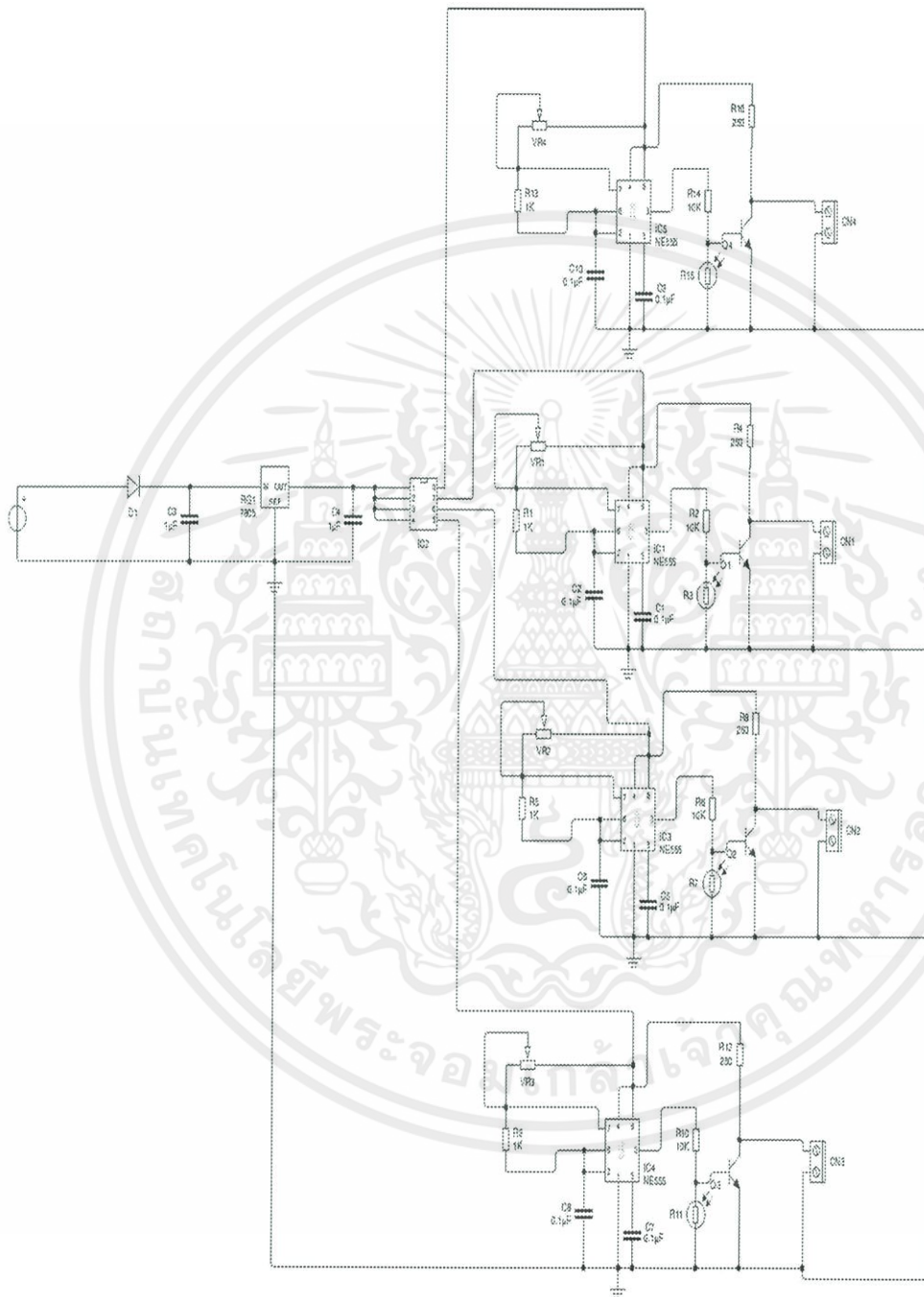


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาและอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 เครื่องออสซิลโลสโคป

## 3.2 การทดสอบและวิเคราะห์วงจรเลเซอร์ฮาฟ

### 3.2.1 ทำการทดลองโดยการต่อวงจรเลเซอร์ฮาฟดังภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.15 วงจรเลเซอร์ฮาฟ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2.2 จากนั้นทำการต่อวงจรเลเซอร์ฮาฟเหมือนวงจรข้างบนอีก 1 ชุด
- 3.2.3 นำ output ของวงจรเลเซอร์ฮาฟทั้งหมด 2 ชุดตัวมาต่อรวมเข้าด้วยกัน
- 3.2.3 นำชุดอุปกรณ์เลเซอร์มาทำการบัดกรีใส่ switch และบัดกรีรางถ่าน ใส่ถ่านขนาด AA 3 ก้อน แรงดันไฟฟ้า 1.5V บัดกรีทั้งหมด 8 ตัว
- 3.2.4 ทำการทดลองวงจรเลเซอร์ฮาฟ จ่ายไฟ 12V ให้กับวงจรเลเซอร์ฮาฟทั้งหมด 2 ชุดด้วย DC adapter โดย 1 ชุดจะใช้ DC adapter ต่อ 1 ตัว
- 3.2.5 นำเลเซอร์ที่ทำการบัดกรีและใส่ถ่านเรียบร้อยแล้วมายิงใส่วงจรเลเซอร์ฮาฟโดยยิงให้โดน LDR Sensor
- 3.2.6 จากนั้นนำ output ของวงจรเลเซอร์ฮาฟทั้ง 2 ชุด ที่ต่อรวมกันนั้นมาต่อกับ mono jack และนำ แจ็คของลำโพงมาเสียบเข้ากับ mono jack ให้เรียบร้อย
- 3.2.7 ทำการทดลองโดยเอามือบังแสงระหว่างแสงเลเซอร์กับ LDR Sensor ก็จะมีเสียงดังออกมาจาก ลำโพงเป็นอันใช้ได้คือวงจรเลเซอร์ฮาฟทำงาน
- 3.2.8 เมื่อมีเสียงออกมาแล้วทำการบัดกรีติดอุปกรณ์และเชื่อมสายไฟลงบนแผ่นปริ้นให้เรียบร้อย
- 3.2.9 กำหนดความถี่ที่ออกมาจากลำโพงได้โดยการคำนวณของ IC เบอร์ NE555 จาก สูตร  $F = 1 / 0.693(R_A + 2R_B)C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การสร้างและการออกแบบโครงสร้าง

#### 1. ทำการตีเส้นและวัดขนาดไม้อัด ให้ได้ขนาดดังนี้

20x100 cm. จำนวน 4 แผ่น

5x100 cm. จำนวน 4 แผ่น

20x40 cm. จำนวน 2 แผ่น

5x16 cm. จำนวน 8 แผ่น



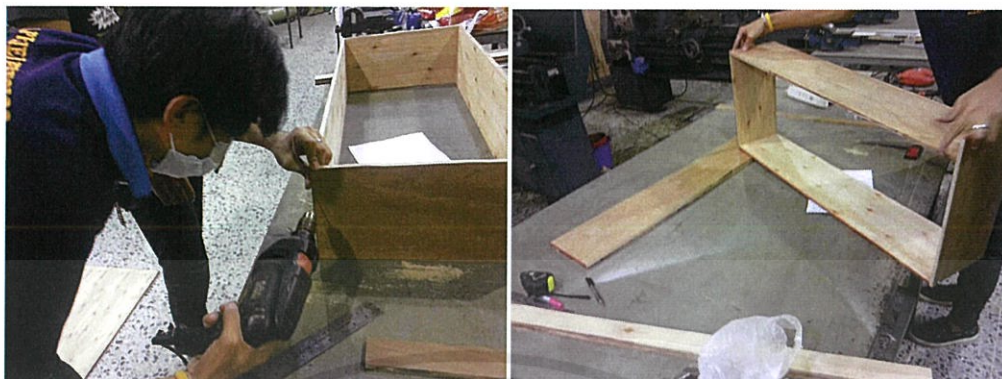
รูปที่ 3.16 ทำการตีเส้นและวัดขนาดไม้อัด

#### 2. ตัดไม้อัดที่วัดขนาดไว้ตั้งขึ้นตอนข้างต้นด้วยเครื่องเลื่อยจิ๊กซอว์



รูปที่ 3.17 ตัดไม้อัดที่วัดขนาดไว้ตั้งขึ้นตอนข้างต้นด้วยเครื่องเลื่อยจิ๊กซอว์

3. นำไม้ัดขนาดต่างๆที่ตัดไว้มาประกอบกันและใช้สว่านไฟฟ้ายิงน็อตยึดติดกัน



รูปที่ 3.19 นำไม้ัดขนาดต่างๆที่ตัดไว้มาประกอบกันและใช้สว่านไฟฟ้ายิงน็อตยึดติดกัน

4. จะได้รูปแบบ โครงสร้างชิ้นงานดังภาพ



รูปที่ 3.19 โครงสร้างชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำโครงสร้างที่เสร็จแล้วมาพ่นสเปรย์แลคเกอร์เคลือบเงาไม้ และตากแดดทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.20 พ่นสเปรย์แลคเกอร์เคลือบเงาไม้

6. ใช้สว่านไฟฟ้าและดอกสว่านขนาด 8 mm. เจาะรูไม้อัดที่ตัดไว้ขนาด 20x100 cm. จำนวน 2 แผ่นทำเป็นช่องผ่านเลเซอร์ เจาะทั้งหมด 8 ช่อง แล้วเว้นระยะห่างระหว่างรูห่างกัน 12 cm.



รูปที่ 3.21 เจาะรูไม้อัดที่ตัดไว้ขนาด 20x100 cm. จำนวน 2 แผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

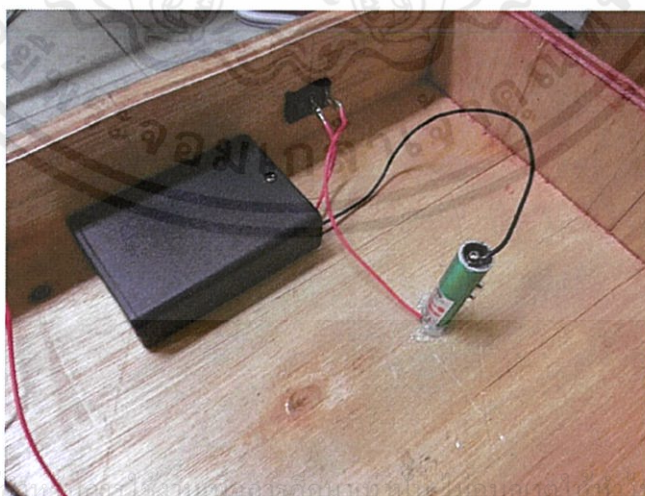
7. เจาะไม้อัดที่ตัดไว้ขนาด 5x100 cm. ในส่วนบนเพื่อทำเป็นช่องใส่สวิตช์เจาะทั้งหมด 8 ช่อง แล้วเว้นระยะห่างกัน 12 cm.



รูปที่ 3.22 เจาะไม้อัดที่ตัดไว้ขนาด 5x100 cm.

8. เจาะไม้อัดที่ตัดไว้ขนาด 5x100 cm ในส่วนล่างทำเป็นช่องสำหรับให้ตัวต้านทานปรับค่าได้โผล่ออกมาเจาะทั้งหมด 8 ช่อง แล้วเว้นระยะห่างกัน 12 cm

9. นำรางถ่าน เลเซอร์และสวิตช์ ที่บัดกรีแล้วด้วยกันทั้งหมด 8 ชุด โดยสวิตช์ใส่ในรูที่ทำการเจาะในตอนแรกโดยมาวางอุปกรณ์ให้ได้ดังภาพ



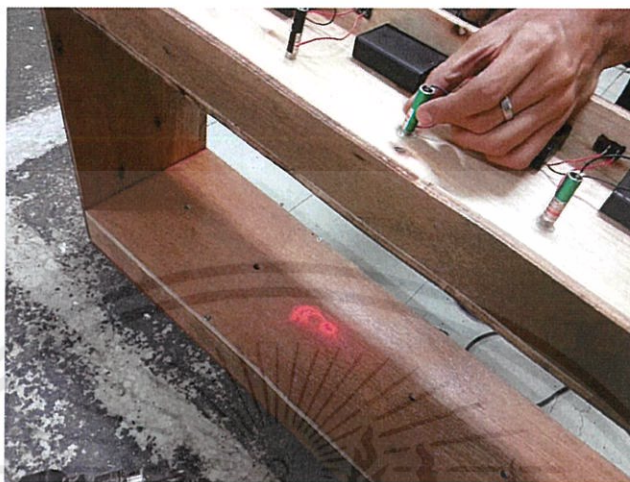
รูปที่ 3.23 รางถ่าน เลเซอร์และสวิตช์ ที่บัดกรีแล้วใส่ในช่องที่ทำการเจาะไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เฉพาะในโครงการวิจัยเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อธิปไตยเป็นของปวงชนชาวไทย การปฏิรูปและพัฒนาระบบราชการเป็นวาระแห่งชาติ

ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

10. ทดลองยิงเลเซอร์ลงมาให้ผ่านช่องที่ได้เจาะรูไว้ แล้วใช้คินสอจุดมาร์คในส่วนที่แสงตก



รูปที่ 3.24 ทดลองยิงเลเซอร์ลงมาให้ผ่านช่องที่ได้เจาะรูไว้

11. ตัดกาวยางยึดรางถ่าน และเลเซอร์ให้แน่นจนไม่สามารถขยับได้ จากนั้นใช้สายเคเบิลไทร์ ล็อคปุ่ม ON เลเซอร์ไว้เพื่อทำให้เลเซอร์เกิดลำแสงโดยควบคุมการเปิด-ปิดเลเซอร์จากสวิตช์ที่ บัดกรีไว้แล้ว

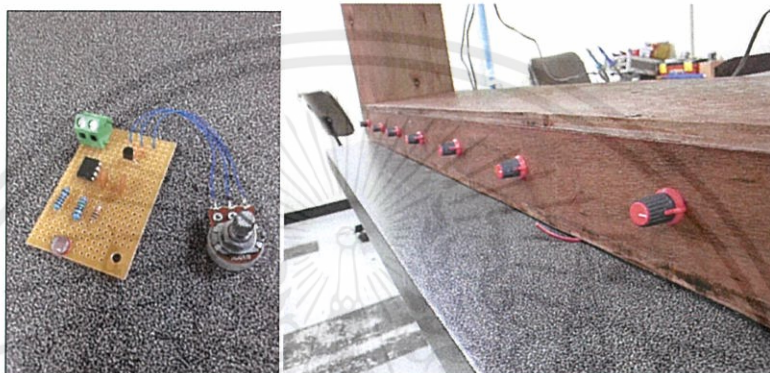
12. นำวงจรเลเซอร์ฮาฟที่ต่อไว้ลงแผ่นปริ้นท์ไปวางแต่ละตัวมาวางยังตำแหน่งที่มาร์คไว้ เพื่อให้แสง เลเซอร์ตกกระทบตรงกับตัว LDR แล้วตัดกาวยางยึดแผ่นปริ้นท์ไปวางไว้เพื่อไม่ให้สามารถขยับได้



รูปที่ 3.25 วงจรเลเซอร์ฮาฟแต่ละตัวมาวางยังตำแหน่งที่มาร์คไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. นำแผ่น ไม้ขนาด 5x16 cm.มาวางคั่นระหว่างแต่ละวงจรถ่ายและยึดให้แน่นเพื่อป้องกันไม่ให้แสงเลเซอร์ที่ยังมารบกวนอีกวงจรหนึ่ง
14. นำตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อเชื่อมกับวงจรถ่ายแล้ว สอดออกมายังช่องที่เจาะรูเตรียมไว้ แล้วครอบตัวต้านทานปรับค่าได้ด้วยตัวครอบบอลุ่ม ให้ได้ดังรูป



รูปที่ 3.26 ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อเชื่อมกับวงจรถ่าย

รูปที่ 3.27 การครอบตัวต้านทานปรับค่าได้ด้วยตัวครอบบอลุ่ม

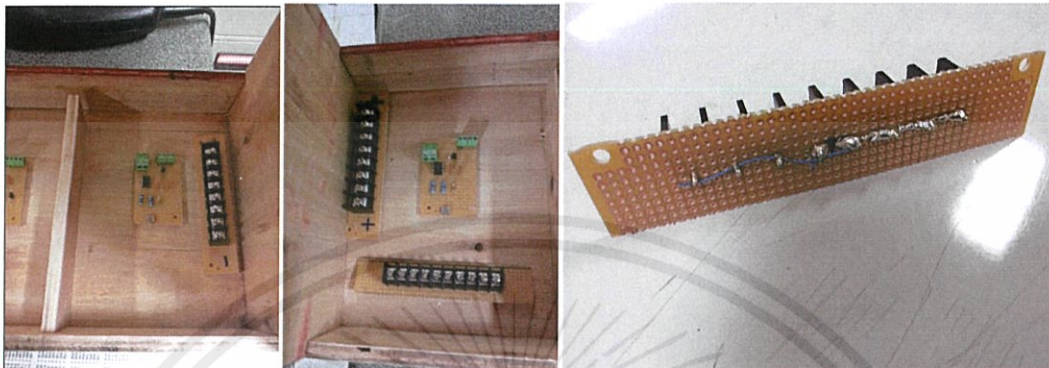
15. เจาะด้านข้าง ไม้อัดขนาด 20x40 cm. ให้ได้ขนาดตัวเท่า DC jack และ mono jack เพื่อไว้เสียบกับ DC adapter และลำโพงให้ได้ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.28 DC jack และ mono jack เพื่อไว้เสียบกับ DC adapter และลำโพง

16. นำ DC jack ที่ติดด้านข้างแล้วมาต่อกับวงจร Voltage Regulator จากนั้นใช้ Terminal blockแยกไฟไฟระหว่างสวิตช์ไฟไฟบวกกับกราวด์เพื่อใช้มาเลี้ยงวงจรเลเซอร์ฮาฟ และวางยังตำแหน่งดังภาพ



รูปที่ 3.29 ตำแหน่งการวาง Terminal block

17. ทำการเดินสายไฟวงจรเลเซอร์ฮาฟที่ได้ทำการทดลองให้เรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยจะมีการทดสอบและวิเคราะห์การทำงานของเครื่อง Laser Harp ในการทำงานของเครื่อง Laser Harp จะมีค่าความถี่ของเสียงที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละตัวโน้ต โดยจะแบ่งออกเป็น 3 คือ การคำนวณหาค่าความถี่ของแต่ละตัวโน้ตจากทฤษฎี, ค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope ที่ทำการทดลอง และค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 การคำนวณหาค่าความถี่ของแต่ละตัวโน้ตจากทฤษฎี

ในการคำนวณหาค่าความถี่จากทฤษฎี จะคำนวณได้จากสูตร  $F = 1/0.69(R_A + 2R_B)C$  โดยจะมีตัวแปรดังต่อไปนี้

$F$  คือ ค่าความถี่ของเสียง ( $Hz$ )

$R_A$  คือ ค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ ( $\Omega$ )

$R_B$  คือ ตัวต้านทานจากวงจร ( $\Omega$ )

$C$  คือ ตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจร ( $F$ )

**ตัวอย่าง** หาค่าความถี่จากทฤษฎีของเสียงโด (1046 Hz)

**วิธีทำ**

จากสูตร  $F = 1/0.69(R_A + 2R_B)C$

$$F = 1/0.69[(11.43 \times 10^3) + 2(1 \times 10^3)] \times (1 \times 10^{-6})$$

$$F = 1079.1328 \text{ Hz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางการคำนวณหาค่าความถี่ของแต่ละตัวโน้ตจากทฤษฎี

ระดับเสียง เครื่องสาย(Hz)	ค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ใช้ในการคำนวณ		ค่าความถี่จากการ คำนวณทางทฤษฎี (Hz)
	ตัวต้านทาน(k $\Omega$ )	ตัวเก็บประจุ( $\mu$ F)	
โด (1046)	11.43	0.1	1079.1328
เร(1174)	10.61	0.1	1149.3064
มี(1318)	9.27	0.1	1285.9586
ฟา(1397)	7.73	0.1	1489.4916
ซอล(1568)	7.28	0.1	1561.7191
ลา(1760)	5.70	0.1	1882.1758
ที(1975)	5.04	0.1	2058.6298
โด' (2093)	4.80	0.1	2131.2873

#### 4.2 ค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope ที่ทำการทดลอง

ในการวัดค่าความถี่จาก Oscilloscope จะวัดจากค่า Output ของวงจร จะได้ค่าความถี่จาก Oscilloscope ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ตารางค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope ที่ทำการทดลอง

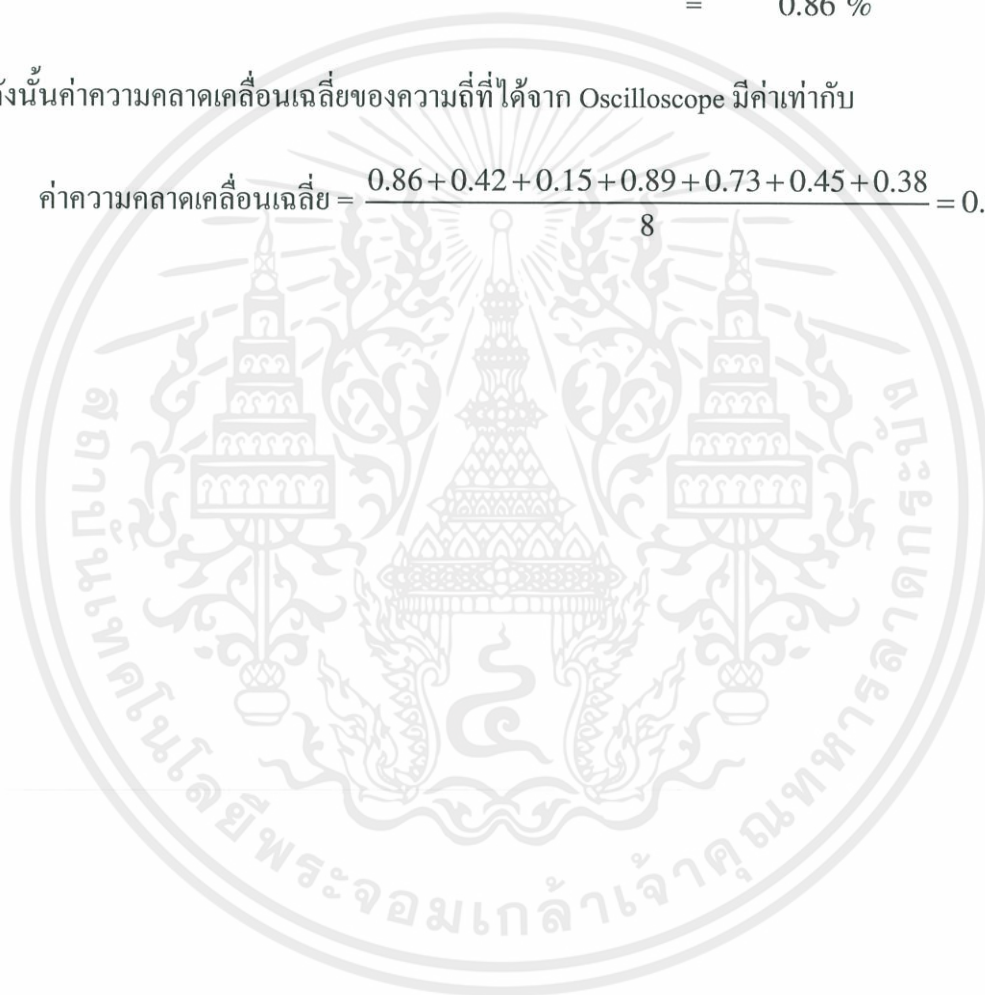
ระดับเสียง เครื่องสาย (Hz)	ค่าความถี่จาก Oscilloscope (Hz)
โด(1046)	1055
เร(1174)	1179
มี(1318)	1316
ฟา(1397)	1404
ซอล(1568)	1582
ลา(1760)	1773
ที(1975)	1984
โด'(2093)	2101

### ตัวอย่าง การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของเสียง โด

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (percent relative error)} &= \frac{(\text{ค่าที่ทดสอบได้} - \text{ค่าที่แท้จริง}) \times 100}{\text{ค่าที่แท้จริง}} \\ &= \frac{1046 - 1055}{1046} \times 100\% \\ &= 0.86\% \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความถี่ที่ได้จาก Oscilloscope มีค่าเท่ากับ

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย} = \frac{0.86 + 0.42 + 0.15 + 0.89 + 0.73 + 0.45 + 0.38}{8} = 0.54\%$$



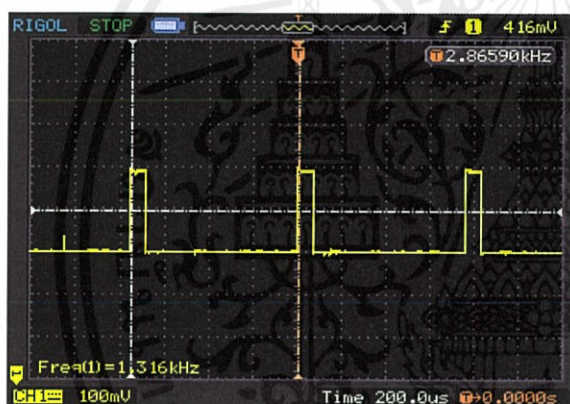
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



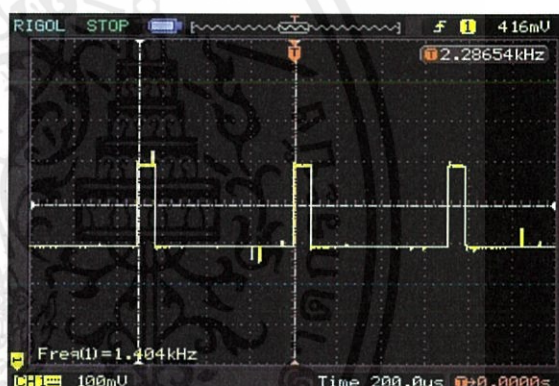
รูปที่ 4.1 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เสียงโค



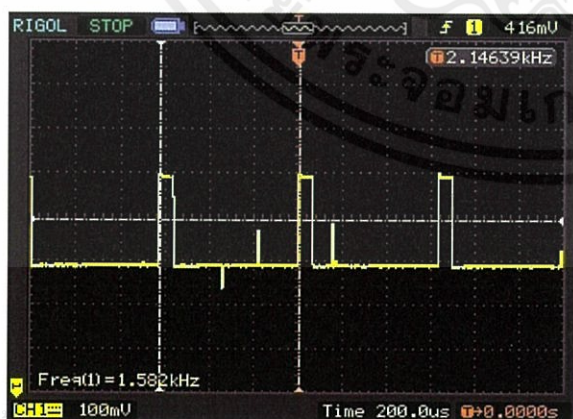
รูปที่ 4.2 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เสียงเว



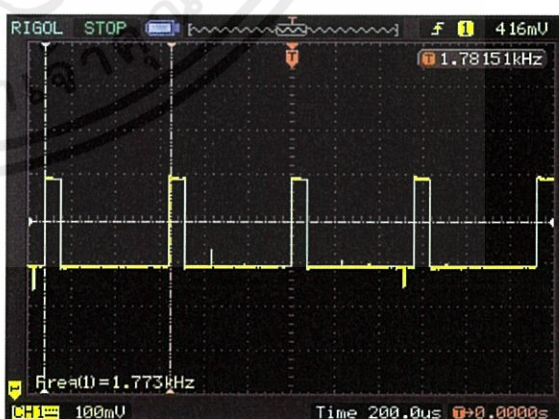
รูปที่ 4.3 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เสียงมี



รูปที่ 4.4 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เสียงฟา



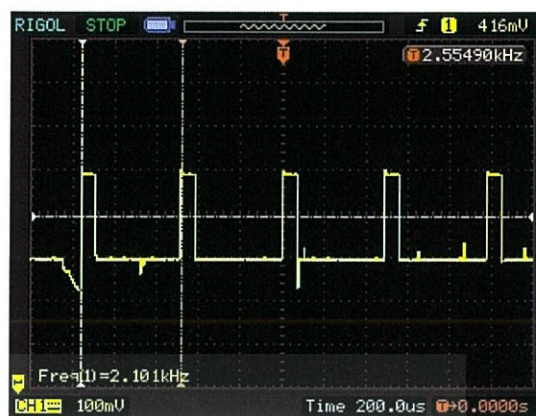
รูปที่ 4.5 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เสียงซอล



รูปที่ 4.6 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เสียงลา



รูปที่ 4.7 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เตียงที



รูปที่ 4.8 ค่าความถี่จาก Oscilloscope เตียงโด'



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning

ในการวัดความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning โดยใช้เครื่องมือถือในการจับสัญญาณความถี่ของเครื่อง Laser Harp มีค่าดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 ตารางค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning

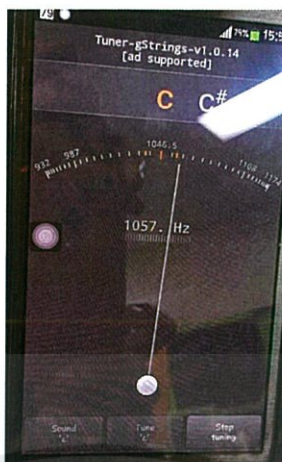
ระดับเสียง เครื่องสาย(Hz)	ค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning (Hz)
โด (1046)	1057
เร(1174)	1186
มี(1318)	1328
ฟา(1397)	1411
ซอล(1568)	1583
ลา(1760)	1775
ที(1975)	1980
โด' (2093)	2110

ตัวอย่าง การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของเสียงโด

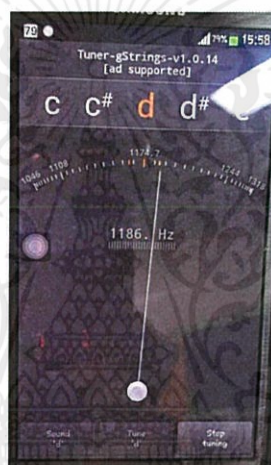
$$\begin{aligned}
 \text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (percent relative error)} &= \frac{(\text{ค่าที่ทดลองได้} - \text{ค่าที่แท้จริง}) \times 100}{\text{ค่าที่แท้จริง}} \\
 &= \frac{1046 - 1057}{1046} \times 100\% \\
 &= 1.05 \%
 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความถี่ที่ได้จาก Electronic Tuning มีค่าเท่ากับ

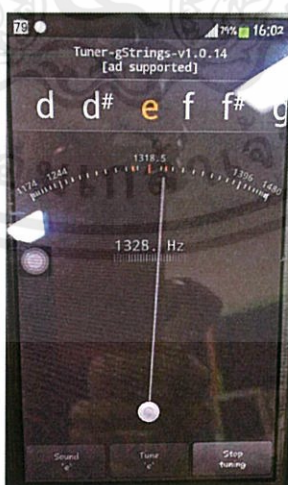
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย =  $\frac{1.05 + 1.02 + 0.75 + 1 + 0.95 + 0.85 + 0.25 + 0.81}{8} = 0.835\%$   
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



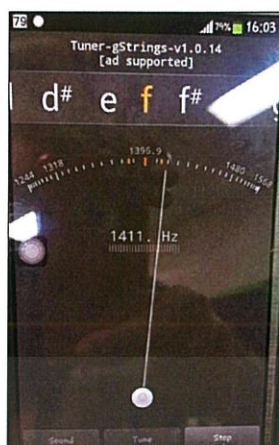
รูปที่ 4.9 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงโด



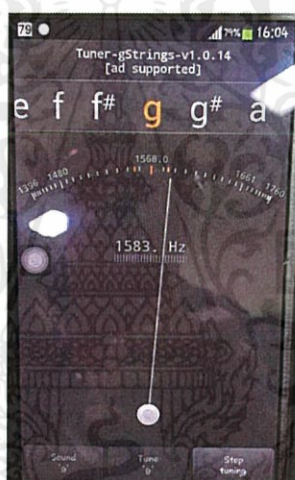
รูปที่ 4.10 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงเร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.11 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงมี



รูปที่ 4.12 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงฟา

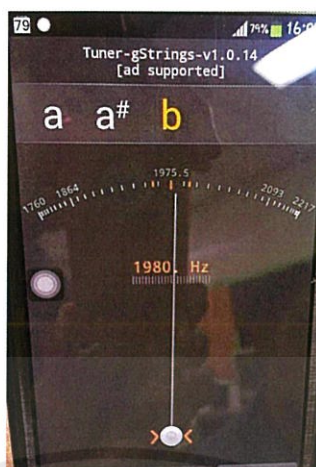


รูปที่ 4.13 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงซอด

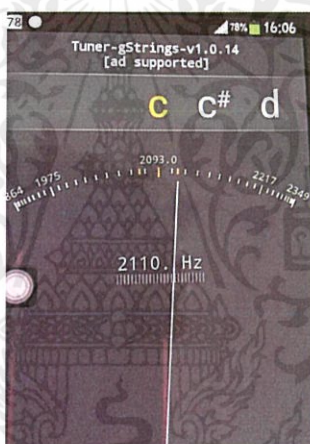


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่หรือแจกจ่ายเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และข้อมูลข้างต้นถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงลา



รูปที่ 4.15 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงที



รูปที่ 4.16 รูปค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning เสียงโด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลองจากการวัดและวิเคราะห์

การทดลองเครื่องดนตรีชนิดสาย Laser Harp สามารถสรุปผลการทดลองได้เป็น 3 ตอน คือ การทดลองคำนวณหาค่าความถี่จากทฤษฎีของวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์ (Astable Multivibrator) การทดลองวัดค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope และการทดลองวัดค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning สรุปผลของการทดลองได้ดังนี้

#### 5.1.1 การทดลองคำนวณหาค่าความถี่จากทฤษฎีของวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์ (Astable Multivibrator)

ในการคำนวณหาค่าความถี่ของแต่ละตัวโน้ตจากทฤษฎี สามารถหาได้จากการคำนวณด้วยสูตร  $F = 1/0.69(R_A + 2R_B)C$  โดยในการคำนวณจะใช้ค่า  $R_B, C$  เป็นค่าคงที่ที่อยู่ภายในส่วนของวงจรอะสเตเบิล (Astable Multivibrator) ในส่วนของ  $R_A$  จะใช้เป็นค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยในแต่ละตัวโน้ตจะมีค่าความต้านทานที่ไม่เท่ากัน เพื่อให้ให้ความถี่ของเสียงออกมาได้ค่าความถี่ตามที่ต้องการ ในการคำนวณอาจจะมีค่าคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากมีความร้อนของวงจรเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ความถี่ของเสียงที่ได้ไม่ตรงกับทฤษฎีตารางของตัวโน้ตแต่ถือว่าใกล้เคียงและยอมรับได้ในส่วนหนึ่ง

#### 5.1.2 การทดลองวัดค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope

การทดลองโดยวัดค่าความถี่ของวงจรเลเซอร์ฮาร์ปจากเครื่อง Oscilloscope จะวัดจาก Output ของวงจรเลเซอร์ฮาร์ปแต่ละวงจรค่าที่อ่านได้มีค่าคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ซึ่งคำนวณได้ประมาณ 0.54% เมื่อเทียบกับทฤษฎีของแต่ละตัวโน้ต ถือว่าใกล้เคียงกับตัวโน้ตที่กำหนดไว้และสามารถยอมรับได้ อาทิเช่น เสียงโด (1046 Hz) ค่าที่วัดได้จากเครื่อง Oscilloscope สามารถวัดได้ 1055 Hz หรือ เสียงฟา (1397 Hz) ค่าที่วัดได้จากเครื่อง Oscilloscope สามารถวัดได้ 1404 Hz เป็นต้นถือว่าค่าความถี่ที่ออกมาจากวงจรเลเซอร์ ฮาร์ป มีค่าผิดพลาดเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและสามารถเชื่อถือได้เนื่องจากใช้เครื่อง Oscilloscope ที่ทันสมัยและอ่านค่าได้แม่นยำ

### 5.1.3 การทดลองวัดค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning

การทดลองโดยวัดค่าความถี่ของวงจรถ่ายเสียงโดยใช้โทรศัพท์มือถือ Application ของ Electronic Tuning เพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดค่าความถี่ของตัวโน้ตในแต่ละเสียงตามที่ต้องการ โดยค่าที่วัดได้จากเครื่อง Electronic Tuning เมื่อเทียบกับเครื่อง Oscilloscope ถือว่าเครื่อง Electronic Tuning มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่า โดยคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนได้ค่าประมาณ 0.835% เนื่องจากเครื่อง Electronic Tuning วัดจากเสียงที่ออกมาจากลำโพง อาจจะมีเสียงภายนอกมารบกวน จึงทำให้ค่าความถี่ที่วัดได้อาจจะผิดเพี้ยนไปจากทฤษฎี อาทิเช่น เสียงโด (1046 Hz) ค่าที่วัดได้จากเครื่อง Electronic Tuning สามารถวัดได้ 1057 Hz หรือ เสียงฟา (1397 Hz) ค่าที่วัดได้จากเครื่อง Electronic Tuning สามารถวัดได้ 1411 Hz เป็นต้น

## 5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองเครื่องดนตรี Laser Harp ในส่วนของการออกแบบตัวเครื่องถือว่าเหมาะสมกับการใช้งานและสามารถเคลื่อนย้ายได้ ส่วนของเสียงที่ออกมานั้นอาจจะสั้นเพียงเล็กน้อยเกิดจากความร้อนของวงจรทำให้เสียงออกมาสั้นและวงจรถ่ายเสียงมีวงจรใช้ไฟร่วมกันทำให้ไฟเลี้ยงไม่พอและทำให้เสียงออกมาเบาจึงใช้ Adapter 2 ตัว ทำให้เสียงที่ออกมาใกล้เคียงกับเสียงที่ต้องการ ส่วนค่าความถี่ของเสียงจะแยกออกเป็น 3 ส่วนคือ การคำนวณหาค่าความถี่ของแต่ละตัวโน้ตจากทฤษฎี, ค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope ที่ทำการทดลอง และค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning ผลการวัดความถี่ออกมาถือว่า 3 การทดลองนี้วัดออกมาได้ใกล้เคียงกันอาจจะมีคลาดเคลื่อนกันเล็กน้อยเป็นเพราะการวัด output ที่แตกต่างกัน

### 5.2.1 การคำนวณหาค่าความถี่ของแต่ละตัวโน้ตจากทฤษฎี

เนื่องจากวงจรถ่ายเสียงนั้นใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นตัวทำการผลิตความถี่ออกมาจากวงจรถ่ายเสียงสเตอริโอเนื่องจากอาจจะหมุนไปโดนตัวต้านทานหรืออาจจะกระแทกทำให้เมื่อนำตัวต้านทานถอดออกมาวัดทำให้มีค่าความต้านทานที่คลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.2 ค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope ที่ทำการทดลอง

ในการวัดค่าความถี่จากเครื่อง Oscilloscope ถือว่ามีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีมากที่สุดถ้าเปรียบเทียบกับการใช้เครื่อง Electronic Tuning โดยเครื่อง Oscilloscope จะวัดสัญญาณ Output จากวงจรเลเซอร์ฮาฟโดยตรงจะมีสัญญาณรบกวนภายนอกน้อยมากทำให้ค่าที่วัดจากเครื่อง Oscilloscope ใกล้เคียงกับเสียงจากทฤษฎีและสามารถนำมาสอบเทียบได้

### 5.2.3 ค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning

วัดค่าความถี่จากเครื่อง Electronic Tuning โดยค่าที่วัดได้จะวัดจากลำโพง จึงอาจทำให้มีเสียงภายนอกมารบกวนในการวัดค่าความถี่ของเสียงตัวโน้ตต่างๆ ค่าที่ได้จึงมีความผิดพลาดไปจากทฤษฎีเล็กน้อย

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มวงจรเลเซอร์ ฮาฟ เพื่อความหลากหลายของตัวโน้ต
2. โครงสร้างของตัวเครื่องควรมีความแข็งแรงและได้มาตรฐานมากกว่านี้
3. ควรนำคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้แทนวงจรเลเซอร์ ฮาฟเพื่อประหยัดพื้นที่และง่ายต่อการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] LDR : Light Dependent Resistor ตัวต้านทานไวแสง [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก [http://www.mwit.ac.th/~ponchai/CAI\\_electronics/image/LDR.HTM](http://www.mwit.ac.th/~ponchai/CAI_electronics/image/LDR.HTM)
- [2] วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ (Transistor Switching Circuit) [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://fivedots.coe.psu.ac.th/~kpatimakorn/240-206/chap4/chap4-9.htm>
- [3] ธวัชชัย จารุจิตร , ไวกจน์ ศรีธัญ. วงจรไฟฟ้า 1. กรุงเทพฯ ฯ : วังอักษร, 2549.
- [4] มงคล พรหมเทศ, ณรงค์ชัย กล่อมสุนทร. ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ ฯ : เอ็มพันธ์, 2546.
- [5] ทฤษฎีเบื้องต้น IC เบอร์ 555 [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.chontech.ac.th/~electric/pdf/IC555.pdf>
- [6] วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulator Circuit) [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก [http://elec.pnt.rmutl.ac.th/attachments/014\\_el\\_lesson3.pdf](http://elec.pnt.rmutl.ac.th/attachments/014_el_lesson3.pdf)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# Data Sheet

## Light dependent resistors

**NORP12 RS stock number 651-507**  
**NSL19-M51 RS stock number 596-141**

Two cadmium sulphide (cdS) photoconductive cells with spectral responses similar to that of the human eye. The cell resistance falls with increasing light intensity. Applications include smoke detection, automatic lighting control, batch counting and burglar alarm systems.

### Guide to source illuminations

Light source	Illumination (Lux)
Moonlight	0.1
60W bulb at 1m	50
1W MES bulb at 0.1m	100
Fluorescent lighting	500
Bright sunlight	30,000

### Electrical characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$ . 2854°K tungsten light source

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Cell resistance	1000 lux	-	400	-	$\Omega$
	10 lux	-	9	-	k $\Omega$
Dark resistance	-	1.0	-	-	M $\Omega$
Dark capacitance	-	-	3.5	-	pF
Rise time 1	1000 lux	-	2.8	-	ms
	10 lux	-	18	-	ms
Fall time 2	1000 lux	-	48	-	ms
	10 lux	-	120	-	ms

1. Dark to 110%  $R_L$ .
  2. To  $10 \times R_L$ .
- $R_L$  = photocell resistance under given illumination.

### Features

- Wide spectral response
- Low cost
- Wide ambient temperature range.

### Circuit symbol



### Light memory characteristics

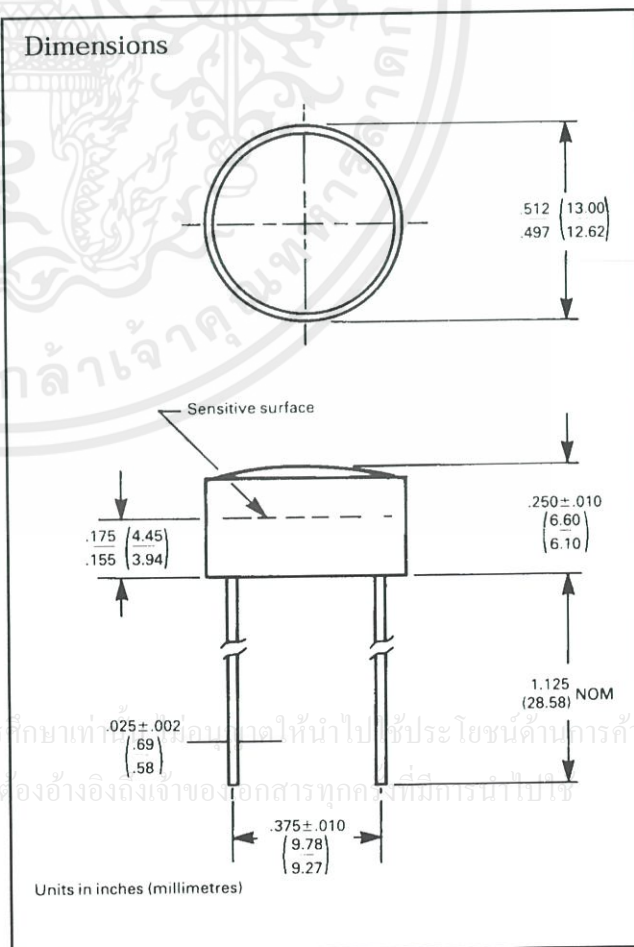
Light dependent resistors have a particular property in that they remember the lighting conditions in which they have been stored. This memory effect can be minimised by storing the LDRs in light prior to use. Light storage reduces equilibrium time to reach steady resistance values.

### NORP12 (RS stock no. 651-507)

#### Absolute maximum ratings

Voltage, ac or dc peak	320V
Current	75mA
Power dissipation at 30°C	250mW
Operating temperature range	-60°C to +75°C

### Dimensions



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

Figure 1 Power dissipation derating

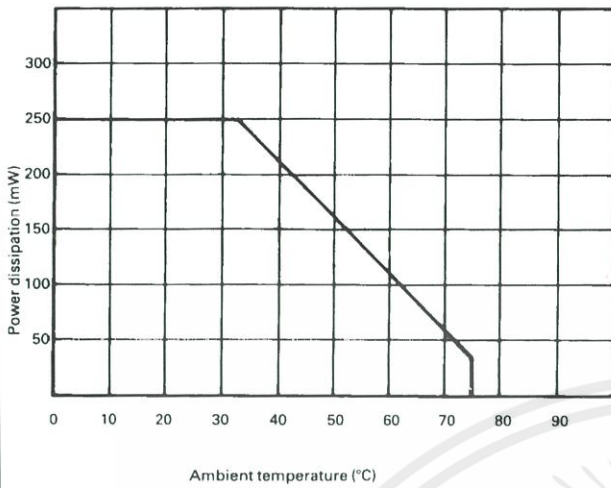
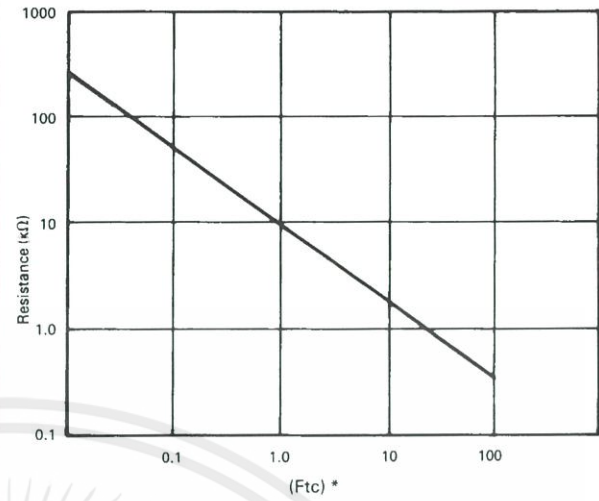
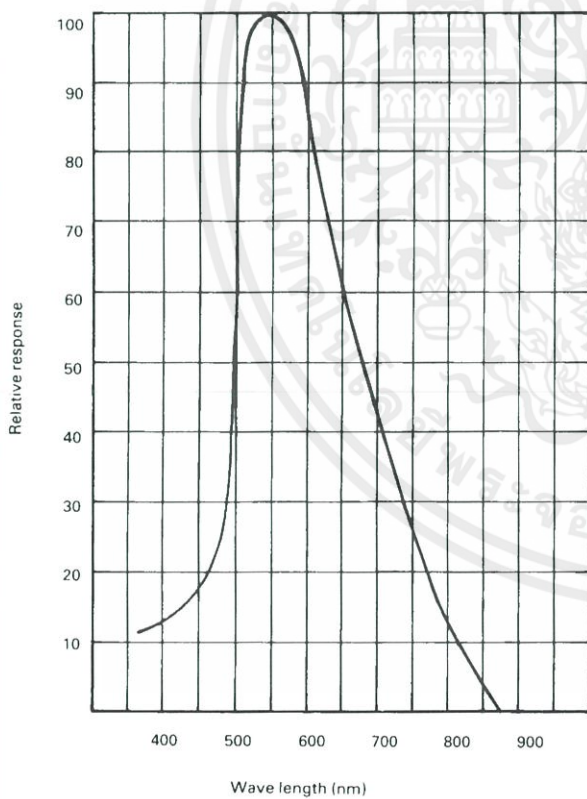


Figure 3 Resistance as a function of illumination



\*1Ftc=10.764 lumens

Figure 2 Spectral response



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Absolute maximum ratings**

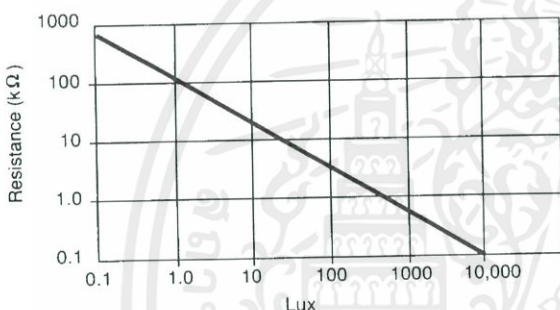
Voltage, ac or dc peak \_\_\_\_\_ 100V  
 Current \_\_\_\_\_ 5mA  
 Power dissipation at 25°C \_\_\_\_\_ 50mW\*  
 Operating temperature range \_\_\_\_\_ -25°C +75°C

\*Derate linearly from 50mW at 25°C to 0W at 75°C.

**Electrical characteristics**

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Cell resistance	10 lux	20	-	100	kΩ
	100 lux	-	5	-	kΩ
Dark resistance	10 lux after 10 sec	20	-	-	MΩ
Spectral response	-	-	550	-	nm
Rise time	10ftc	-	45	-	ms
Fall time	10ftc	-	55	-	ms

Figure 4 Resistance as a function illumination



**Dimensions**

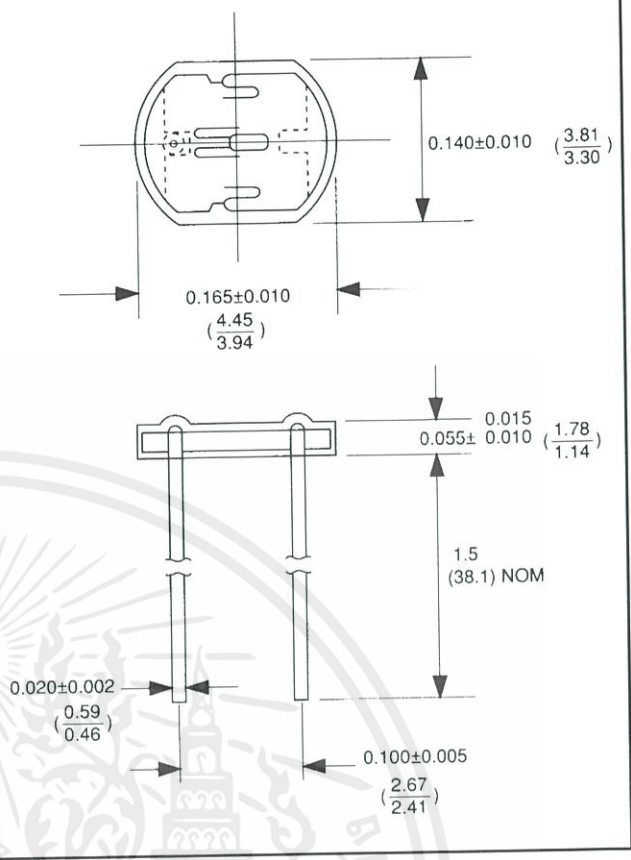
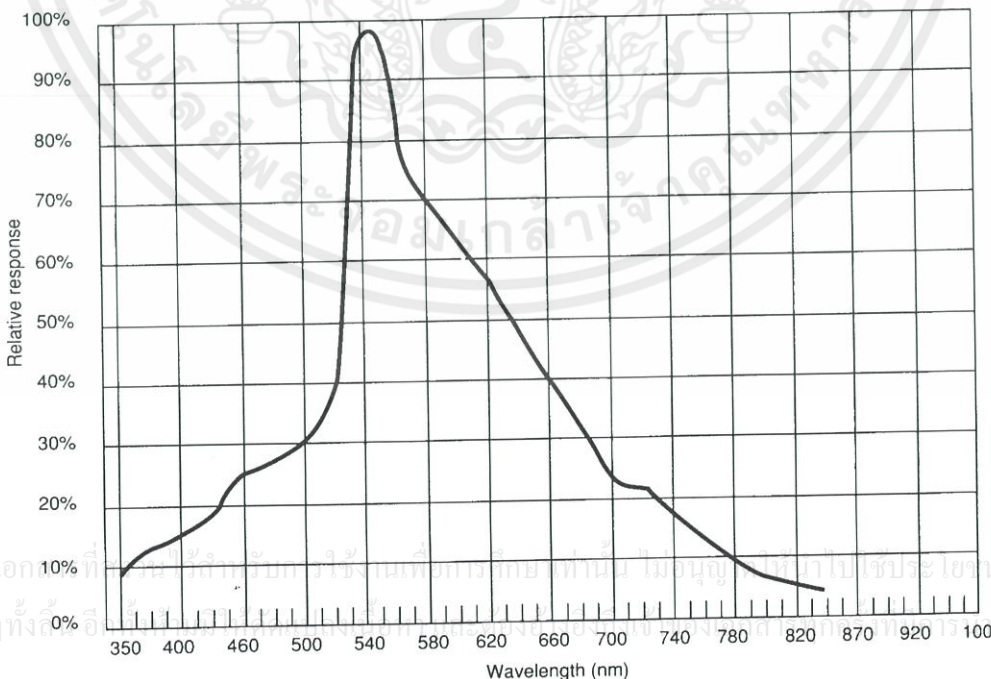
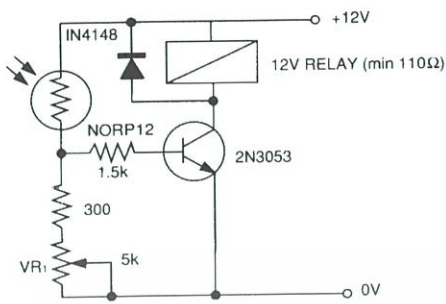


Figure 5 Spectral response



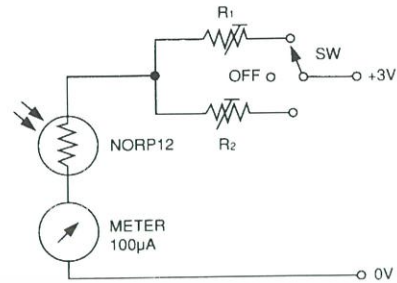
Typical application circuits

Figure 6 Sensitive light operated relay



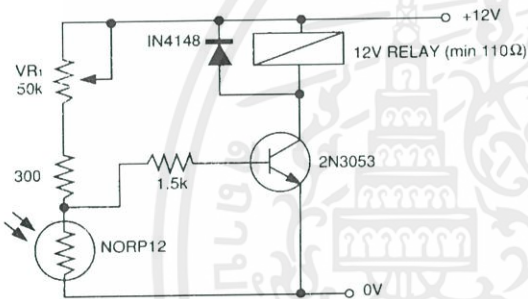
Relay energised when light level increases above the level set by VR<sub>1</sub>

Figure 9 Logarithmic law photographic light meter



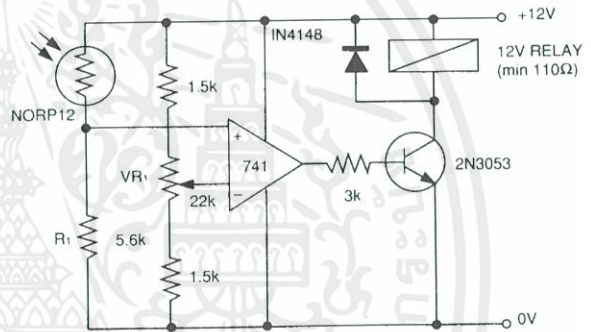
Typical value R<sup>1</sup> = 100kΩ  
R<sup>2</sup> = 200kΩ preset to give two overlapping ranges.  
(Calibration should be made against an accurate meter.)

Figure 7 Light interruption detector



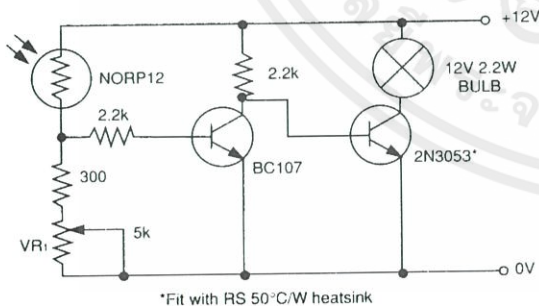
As Figure 6 relay energised when light level drops below the level set by VR<sub>1</sub>

Figure 10 Extremely sensitive light operated relay



(Relay energised when light exceeds preset level.)  
Incorporates a balancing bridge and op-amp. R<sub>1</sub> and NORP12 may be interchanged for the reverse function.

Figure 8 Automatic light circuit



Adjust turn-on point with VR<sub>1</sub>

\*Fit with RS 50°C/W heatsink

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

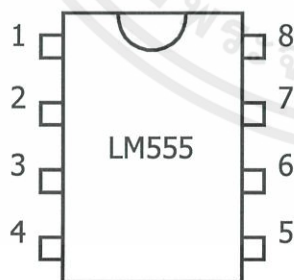
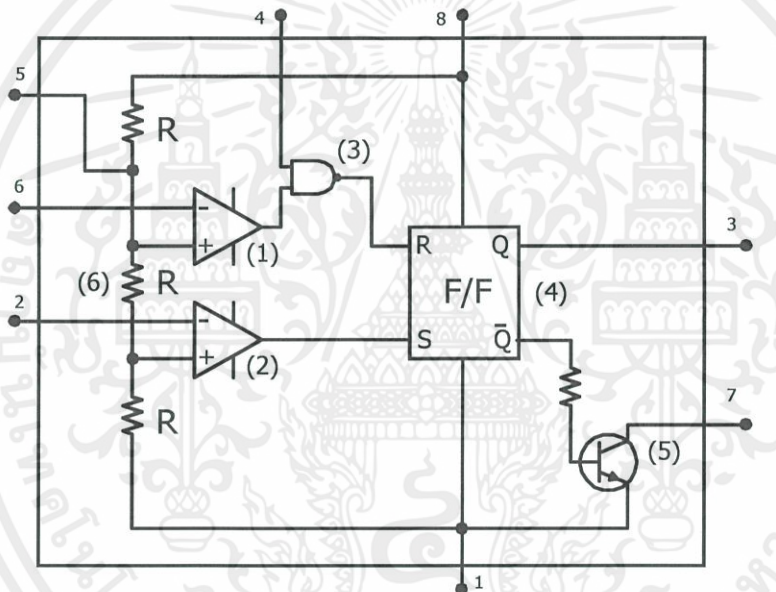
The information provided in RS technical literature is believed to be accurate and reliable; however, RS Components assumes no responsibility for inaccuracies or omissions, or for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. No responsibility is assumed by RS Components for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. Specifications shown in RS Components technical literature are subject to change without notice.

## ทฤษฎีเบื้องต้น

IC เบอร์ 555 เป็นไอซี ที่นิยมใช้กันมากในการนำไปสร้างสัญญาณรูปคลื่นแบบต่างๆ เช่น สัญญาณ Square Wave , สัญญาณพัลส์ สัญญาณ ramp และวงจรตั้งเวลา ไอซีเบอร์ 555 เป็นอุปกรณ์วงจรรวมที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ อยู่ภายใน และมีส่วนที่ต้องต่อภายนอกเพื่อควบคุมการทำงาน และใช้งานเป็นลักษณะต่างๆ ซึ่งง่ายต่อการออกแบบ และง่ายในการสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ต่างๆ อีกทั้งสามารถเข้าใจการทำงานได้ง่าย

นอกจากไอซีเบอร์ 555 แล้วยังมีไอซีเบอร์ 556 ที่เป็นแบบ Dual Timer ประกอบด้วย ไอซีเบอร์ 555 จำนวน 2 ตัว อยู่ภายในตัวเดียวกัน เพื่อใช้เป็นวงจรถัดเวลา และสะดวกในการออกแบบวงจรที่ต้องใช้ไอซีเบอร์ 555 หลายๆตัว

### ส่วนประกอบของไอซีเบอร์ 555



1. GND
2. Trigger
3. Output
4. Reset
5. Control Voltage
6. Threshold
7. Discharge
8. Vcc

### หน้าที่ส่วนต่างๆ ของไอซีเบอร์ 555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกไปเผยแพร่ และตั้งวางอวดอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1), (2) คือวงจร Comparator เป็นตัวที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณ input ทั้ง 2 ขา ถ้าศักดาไฟฟ้าที่ขั้วบวกมากกว่าศักดาที่ขั้วลบ Output จะมีค่า Logic "1" เท่ากับ  $V_{CC}$  ถ้าศักดาที่ขั้วบวกน้อยกว่าขั้วลบ Output จะมีค่า Logic "0" เท่ากับศูนย์โวลต์ (0. Volt.)

(3) คือวงจร Nand gate มีคุณสมบัติว่า ถ้า input ทั้งสองขา เป็น Logic "1" Output จะมีค่าเป็น Logic "0" แต่ถ้า input ขาใดขาหนึ่งเป็น Logic "0" ก็จะทำให้ Output จะมีค่าเป็น Logic "1" ดังนี้

Input 1	Input 2	Output
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(4) เป็นวงจร Flip-Flop แบบ RS - F/F มีคุณสมบัติดังนี้

R	S	Q	$\bar{Q}$
0	0	Q เดิม	$\bar{Q}$ เดิม
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	ไม่ใช่	ไม่ใช่

Q และ  $\bar{Q}$  จะตรงข้ามกันเสมอ คือ ถ้า  $Q = "1"$ ,  $\bar{Q} = "0"$   
 $Q = "0"$ ,  $\bar{Q} = "1"$

(5) เป็นวงจร Transistor ที่ทำหน้าที่ Switching ถ้า  $\bar{Q}$  เป็น logic "1" Transistor จะทำงาน "ON" นั่นคือ จะ Short วงจร ระหว่างขา 7 และ 1 ถ้า  $\bar{Q}$  เป็น logic "0" จะ Open ขา 7 และ 1 ของไอซีเบอร์ 555

(6) เป็นตัวต้านทาน 3 ตัว ที่มีขนาดความต้านทานเท่ากันทั้ง 3 ตัว มีหน้าที่แบ่งแรงดัน  $V_{CC}$  ออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆกัน ต่อกะอ้อม R แต่ละตัว มีค่าเท่ากับ  $V_{CC}/3$  ค่า R นี้จะมีขนาดความต้านทานเป็น K โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หลักการทํางานเบื้องต้น ของไอซีเบอร์ 555

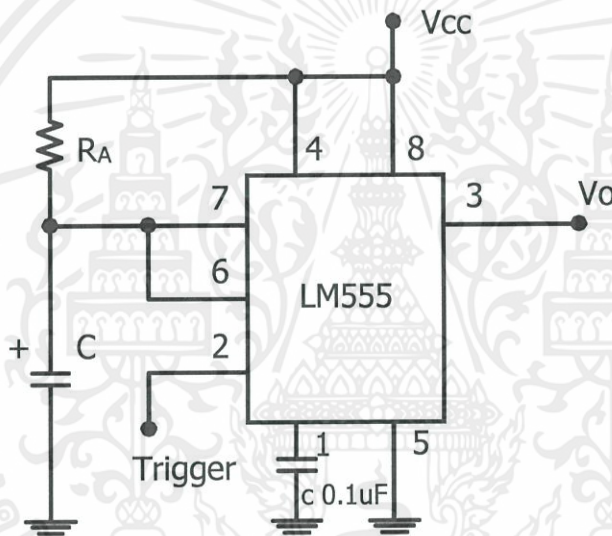
โดยอาศัยการทํางานเป็น 2 แบบ คือ

- เป็นตัวผลิตสัญญาณค่าความถี่ต่างๆ และ
- เป็นวงจรนับสัญญาณ

จึงแบ่งการทํางานเป็นวงจรที่สำคัญได้ 2 ชนิดคือ

### 1. วงจรโมโนสเตเบิล Monostable Multivibrator

คือวงจรที่สร้างสัญญาณพัลส์ขึ้นมา 1 ลูก หลังจากมีการทริก(กระตุ้น)ให้วงจรเกิดสัญญาณ มีความกว้างที่สามารถกำหนดได้ด้วยค่า RC



รูปแสดงวงจร Monostable Multivibrator

### หลักการทํางาน

ขณะที่ไม่มีสัญญาณ Trig ที่ขา 2  $V_{in} = V_{cc}$  แรงดันคร่อมคาปาซิเตอร์จะเป็นศูนย์ เพราะว่า  $V_{cc}$  จะมีกระแสไหลผ่าน  $R_A$  ผ่าน Tr ลงกราวด์ได้  $V_o = 0$

เมื่อมีสัญญาณ trig ที่ขา 2 คือ  $V_{in} = 0$  Tr ภายในจะ "Off"  $V_{cc}$  จะทำการเก็บประจุ (Charge C) จนกระทั่งเกิดแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ ประมาณ  $2V_{cc}/3$  คาปาซิเตอร์จะคายประจุผ่าน Tr ขณะที่คาปาซิเตอร์คายประจุ output จะเป็น logic "1" ได้  $V_o = V_{cc}$

เอกสารแบ่งช่วงการทํางานเป็น 4 ช่วง ับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงที่ 1 ขณะที่  $V_{in} = V_{cc}$  Comparator (2) ตัวล่างจะทำให้ output เป็น "0" (ขาลบมีคําคามากกว่าขาบวก) Comparator (1) ตัวบนจะทำให้ output เป็น "1" เพราะว่าขา 6 ต่อกับขา 7 ผ่าน Tr ลง GND ทำให้ Tr "ON" ได้ output ของ NAND gate เป็น "0" เพราะ input ทั้งคู่เป็น "1" ดังนั้น  $R = 0$  ,  $S = 0$  จะทำให้ Q และ  $\bar{Q}$  ไม่

เมื่อ  $Q = "0"$ ,  $\bar{Q} = "1"$  ถ้า  $\bar{Q} = "1"$  Tr จะ "ON" คาปาซิเตอร์จะไม่มีการเก็บประจุ เนื่องจากกระแสจาก  $V_{CC}$  จะไหลผ่าน R และ Tr ลง GND

ช่วงที่ 2 ขณะที่ trig ด้วย  $V_{in} = 0 V$  output ของ Comparator(2) ตัวล่างจะเปลี่ยนจาก "0" เป็น "1" ส่วน Output ตัว Comparator(1) ตัวบน ยังคงเหมือนเดิม ดังนั้นที่วงจร F/F ขา R = "0" , S = "1" จะเป็นการ Set F/F ได้  $Q = "1"$  และ  $\bar{Q} = "0"$  เมื่อ  $\bar{Q} = "0"$  ทำให้ Tr เกิดการ "Off" ส่งผลให้คาปาซิเตอร์จะทำการเก็บประจุ

ช่วงที่ 3 เมื่อสัญญาณ trig กลับเป็น  $V_{CC}$  อีกครั้ง Output ของ comparator (2) ตัวล่างจะเปลี่ยนจาก "1" เป็น "0" ทำให้ output ของ comparator ที่ส่งไปให้วงจร F/F ไม่เปลี่ยนแปลง

ช่วงที่ 4 เมื่อคาปาซิเตอร์ทำการเก็บประจุจนกระทั่ง  $V_C$  มีค่าเท่ากับ  $2/3V_{CC}$  หรือมากกว่านั้น ส่งผลให้ Output ของ comparator(1) ตัวบน เปลี่ยนจาก "1" เป็น "0" ทำให้ Output ของ NAND gate = "1" ที่วงจร F/F ขา R = "1" และ S = "0" ดังนั้น  $Q = "0"$ ,  $\bar{Q} = "1"$  ทำให้ Tr "ON" อีกครั้ง คาปาซิเตอร์ จะทำการคายประจุออกผ่าน Tr ลง GND กลับสู่สภาพเดิม

วงจร Monostable Multivibrator นี้สามารถสร้างสัญญาณพัลส์ขึ้นมาจำนวน 1 ลูก หลังจากมีการ trig ที่ขา 2 โดยความกว้างพัลส์ขึ้นอยู่กับค่า  $R_A$  และ C

สมการในการ charge ประจุของ Capacitor จาก 0 ถึง  $2/3V_{CC}$  คือ

$$V_C(t) = V_{CC}(1 - e^{-t/RC})$$

$$2/3V_{CC} = V_{CC}(1 - e^{-t/RC})$$

$$e^{-t/RC} = 1/3$$

$$-t/RC = \ln 1/3$$

$$t = -1.1 RC$$

$$t = 1.1 R_A C$$

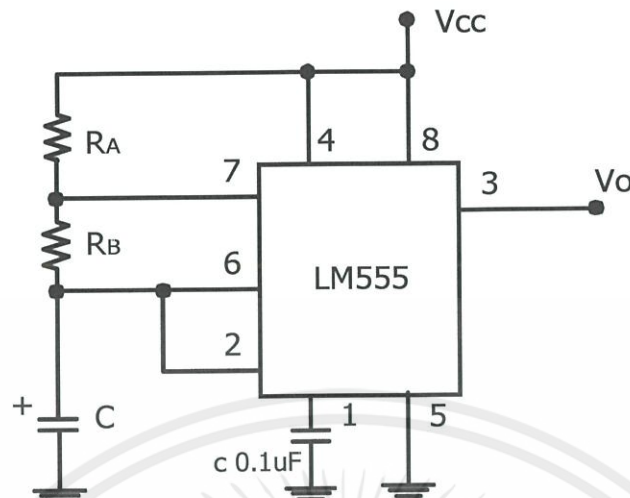
$$T = 1.1 R_A C$$

## 2. วงจรอะอสเตเบิล Astable Multivibrator

คือวงจรสร้างสัญญาณ Square wave มีความถี่ที่สามารถกำหนดได้ตามความต้องการ ด้วยค่าคาปาซิเตอร์ C และค่าความต้านทาน  $R_A$  และ  $R_B$

โดยในวงจรนั้นนอกจากจะสามารถกำหนดความถี่ของสัญญาณ Square wave ด้วยค่า C และค่า  $R_T = R_A + R_B$  แล้วยังสามารถที่จะกำหนดช่วงเวลา "ON" และ "OFF" ของสัญญาณด้วยค่าที่แตกต่างกันของ  $R_A$  และ  $R_B$  ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงวงจร Astable Multivibrator

### หลักการทํางาน

ใช้หลักการเก็บประจุ และคายประจุของคาปาซิเตอร์โดยจะทำการเก็บประจุผ่าน  $R_A$ ,  $R_B$  และจะคายประจุผ่าน  $R_B$  และ Tr ภายใต้ง GND

- ขณะที่คาปาซิเตอร์เก็บประจุ จนถึงระดับแรงดัน  $2/3V_{CC}$  ขณะนั้นแรงดัน ของ  $V_0 = V_{CC}$
- ขณะที่คาปาซิเตอร์คายประจุออก เกิดแรงดันตกคร่อมมีช่วงจาก  $2/3V_{CC}$  ถึง  $V_{CC}/3$  ขณะนั้นแรงดันของ  $V_0 = 0$  (ศูนย์โวลต์)

### แบ่งขั้นตอนการทํางานเป็น 5 ช่วง

ช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่ทำการเปิดวงจร คาปาซิเตอร์จะทำการเก็บประจุจาก  $V_{CC}$  ผ่าน  $R_A$ ,  $R_B$  Output ของ comparator ตัวบนและล่างจะเป็น "1" ทำให้ Output ของ Nand gate จะเป็น "0" ส่งผลให้ F/F ขา R = "0" และ S = "1" เป็นการ set F/F Output  $Q = "1"$ ,  $\bar{Q} = "0"$  คาปาซิเตอร์จะทำการเก็บประจุไปเรื่อยๆจนมีแรงดันตกคร่อม เท่ากับ  $V_{CC}/3$

ช่วงที่ 2 ช่วงที่คาปาซิเตอร์ทำการเก็บประจุเกิน  $V_{CC}/3$  จะทำให้ comparator(2) ตัวล่างเป็น "0" F/F ขา R = "0", S = "0" ได้ Output  $V_0$  เหมือนเดิม

ช่วงที่ 3 เมื่อคาปาซิเตอร์ถูกเก็บประจุจนกระทั่งมีค่ามากกว่า  $2V_{CC}/3$  output ของ comparator(1)ตัวบน จะเปลี่ยนเป็น "0" Output ของ NAND gate จะเป็น logic "1" ดังนั้น F/F R = "1", S = "0" เป็นการทำให้ F/F  $Q = "0"$  และ  $\bar{Q} = "1"$  Transistor จะ "ON"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่า

ช่วงที่ 4 คาปาซิเตอร์จะทำการคายประจุผ่าน  $R_B$  และ Tr ลง GND ทำให้ Output ของ comparator(1)ตัวบน เป็น

"1" comparator(2) ตัวล่างเป็น "0" ทำให้ F/F ขา R = "0", S = "0" Output ของ F/F จะคงเดิม  $Q = "0"$ ,  $\bar{Q} = "1"$

ช่วงที่ 5 เมื่อคาปาซิเตอร์ทำการคายประจุ จนแรงดันคร่อม  $C = V_{cc}/3$  ทำให้ comparator(1) ตั้วบน เป็น "1" comparator(2) ตั้วล่าง เป็น "1" ทำให้ F/F ขา R = "0", S = "1" เป็นการทำให้ F/F ได้ Q = "1",  $\bar{Q} = "0"$  Tr จะ "Off" คาปาซิเตอร์จะทำการเก็บประจุใหม่อีกครั้ง ในขั้นตอนที่ 2 และเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

การวิเคราะห์เวลาในการ charge และ discharge Capacitor

เวลาในการ charge-C จาก 0 ถึง  $V_{cc}/3$  ใช้เวลา  $t_1$

$$v_c(t) = V_{cc}(1 - e^{-t/RC}) \text{ -----1}$$

$$V_{cc}/3 = V_{cc}(1 - e^{-t_1/RC})$$

$$-t_1/RC = \ln 2/3 = -0.405$$

$$t_1 = 0.405 RC \text{ -----2}$$

เวลาในการ charge C จาก 0 ถึง  $2/3V_{cc}$  ใช้เวลา  $t_2$

$$2/3V_{cc} = V_{cc}(1 - e^{-t_2/RC})$$

$$-t_2/RC = \ln 1/3 = -1.098$$

$$t_2 = 1.098 RC \text{ -----3}$$

$$T_1 = t_2 - t_1 = (1.098 - 0.405)RC$$

$$T_1 = 0.693 RC$$

แต่  $R = R_A + R_B$

$$T_1 = 0.69(R_A + R_B)C$$

เวลาในการ discharge C จาก  $2/3V_{cc}$  ถึง  $V_{cc}/3$

สูตร  $v_c(t) = V_{cc}e^{-t/RC}$

$$V_{cc}/3 = 2/3V_{cc} e^{-t/RC}$$

$$T = -RC \ln 1/3 = 0.69 RC$$

$$T_2 = 0.69(R_B)C$$

$$T = T_1 + T_2$$

$$T = 0.69(R_A + 2R_B)C$$

ที่ความถี่ของ square wave

$$F = 1 / 0.69(R_A + 2R_B)C$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คุณสมบัติของ ไอซีเบอร์ 555

### Absolute Maximum Rating

Supply Voltage +18 V.

Power Dissipation 600 mW.

### Operation Temperature Ranges

LM555C 0 C to +70 C

LM555 -55 C to +125 C

Storage Temperature Ranges -65 C to +150 C

Lead Temperature (Soldering 10 sec.) 300 C

### Electrical Characteristics ( $T_A = 25\text{ C}$ , $V_{CC} = +5\text{ V. to } +15\text{ V.}$ )

Parameter	Condition	LIMIT #LM555C			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
Supply Voltage		4.5		18	V.
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{V. RL} = \infty$		3	5	mA
	$V_{CC} = 15\text{V. RL} = \infty$		10	12	mA.
Taining Error, Astable					
-Initial Accuracy			2.25		%
-Drift With Temperature			150		Ppm/C
-Accuracy over Temperature			3.0		%
-Drift With Supply			0.30		%/V
Threshold Voltage			0.667		% $V_{CC}$
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{ V.}$		5		V.
	$V_{CC} = 5\text{ V.}$		1.67		V.
Trigger Current			0.5	0.9	$\mu\text{A.}$
Reset Voltage		0.4	0.5	1.0	V.
Reset Current			0.1	0.4	mA.
Threshold Current			0.1	0.25	$\mu\text{A.}$
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{V.}$	9	10	11	V
	$V_{CC} = 5\text{V.}$	2.6	3.33	4	V
Parameter	Condition	LIMIT #LM555C			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
Output Voltage Drop(Low)	$V_{CC} = 15\text{V.}$				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้บุคคลภายนอกได้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏและขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏทุกประการทั้งการนำไปใช้

	Isink = 10 mA.		0.1	0.25	V
	Isink = 50 mA.		0.4	0.75	V
	Isink = 100 mA.		2.0	2.5	V
	Isink = 200 mA.		2.5		V
	Vcc = 15V.				
	Isink = 5 mA.		0.25	0.35	V
Output Voltage Drop(High)	Isource = 200 mA Vcc=15v		12.5		V
	Isource = 100 mA Vcc=15v	12.25	13.3		V
	Vcc = 5V	2.75	3.3		
Rise Time of Output			100		nS
Fall Time of Output			100		nS
Supply Current (when Output High)	At Vcc =5V		1.0 less		mA
Maximum Resister Ra + Rb	For Vcc =15V		20		MΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบวงจร

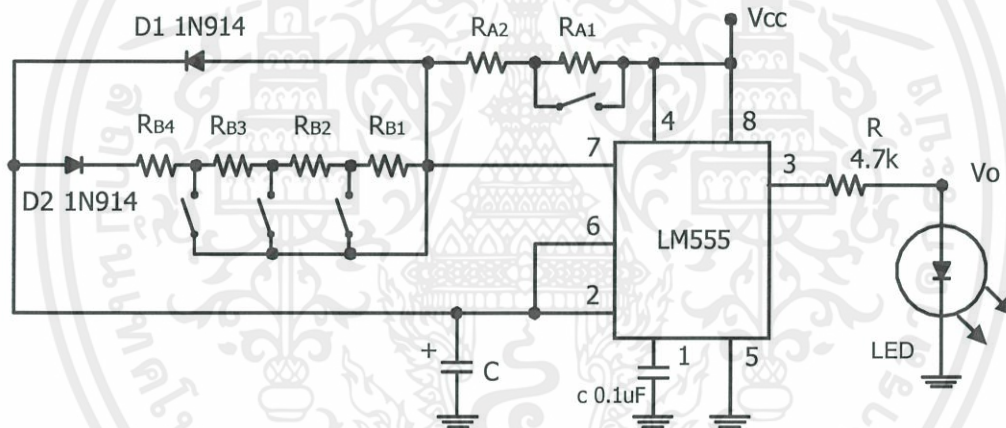
ต้องการออกแบบวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ ทำงานแบบวงจรถะสเทเบิล โดยให้มีสวิทช์เลือกช่วง "On" เป็นระยะเวลา 0.5 sec. หรือ 1.0 sec. และเลือกช่วง "Off" เป็นระยะเวลา 0.5 sec. , 1.0 sec. ,2.0 sec. และ 4.0 sec. เราจึงได้ออกแบบ วงจรตามรูปข้างล่าง โดยใช้ Switch เป็นตัวเลือกเพื่อกำหนดให้ on และ off ตามต้องการได้

### การคำนวณ

เพื่อความสะดวกในการหาอุปกรณ์ เราจะกำหนดค่าคาปาซิเตอร์ก่อน เนื่องจากมีค่าตามมาตรฐานให้เลือกใช้ จำนวนน้อยกว่าค่าความต้านทาน โดยเรากำหนดค่าคาปาซิเตอร์ เท่ากับ  $47 \mu\text{F}$  ( $C = 47 \mu\text{F}$ )

ให้เวลา  $T(\text{on}) = 0.5 \text{ Sec. or } 1.0 \text{ Sec.}$

ให้เวลา  $T(\text{off}) = 0.5 \text{ Sec. or } 1.0 \text{ Sec. or } 2.0 \text{ Sec. or } 4.0 \text{ Sec.}$



$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad T &= RC \ln 2 \\ R &= T / (C \cdot \ln 2) \end{aligned}$$

$$\text{ที่เวลา } T_{\text{ON}} = 0.5\text{S}$$

$$R_{A1} = 0.5 / (47 \cdot 10^{-6}) \ln 2$$

$$R_{A1} = 15.348 \text{ K}\Omega$$

$$\text{ที่เวลา } T_{\text{ON}} = 1 \text{ S}$$

$$R_1 = 1 / (47 \cdot 10^{-6}) \ln 2$$

$$R_1 = 30.69 \text{ K}\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดๆก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{A2} = (30.69 - 15.348) \text{ K}\Omega$$

$$= 15.348 \text{ K}\Omega$$

ดังนั้น R ที่จะนำไปต่อกับวงจรช่วงเวลา "on" นั้น คือ  $R_{A1}$  และ  $R_{A2}$  แต่ R มาตรฐานที่มีจำหน่าย คือ 15  $K\Omega$  หรือ 15.5  $K\Omega$  ได้จากการนำ  $R = (10 + 3.3 + 2.2) K\Omega$

เปรียบเทียบเมื่อเลือกใช้  $R_{A1}$  และ  $R_{A2}$

$R_{A1} + R_{A2}$	T1(on)	T2(on)
15.0 $K\Omega$	488 mS.	977 mS.
15.5 $K\Omega$	564 mS.	1.0 S.

แต่การนำ R หลายๆตัวมาต่อรวมกันเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับที่คำนวณนั้น จะมีความยุ่งยากในการลงอุปกรณ์

การคำนวณหาค่า R ช่วงเวลา T "off" ได้ตามตารางดังนี้

T(off)	Ohm.
0.5 S.	$R_1 = 15.348 K\Omega$
1.0 S.	$R_2 = 30.690 K\Omega$
2.0 S.	$R_3 = 61.390 K\Omega$
4.0 S.	$R_4 = 122.78 K\Omega$

$$\text{เมื่อ } R_{B1} = R_4 - (R_{B2} + R_{B3} + R_{B4})$$

$$R_{B2} = R_3 - (R_{B3} + R_{B4})$$

$$R_{B3} = R_2 - R_{B4}$$

$$R_{B4} = R_1$$

จากค่า R มาตรฐาน เราเลือกใช้ค่าความต้านทาน

$$R_{B1} = 56 K\Omega$$

$$R_{B2} = 33 K\Omega$$

$$R_{B3} = 15 K\Omega$$

$$R_{B4} = 15 K\Omega$$

ซึ่งเป็นเวลา Off ที่ใกล้เคียงกับช่วงเวลาที่ต้องการมากที่สุด และสะดวกที่สุดในการลงอุปกรณ์

$$T_1(\text{off}) = (15 \cdot 10^3)(47 \cdot 10^{-6}) \ln 2 = 488 \text{ mS.}$$

$$T_2(\text{off}) = (30 \cdot 10^3)(47 \cdot 10^{-6}) \ln 2 = 977 \text{ mS.}$$

$$T_3(\text{off}) = (63 \cdot 10^3)(47 \cdot 10^{-6}) \ln 2 = 2.05 \text{ S.}$$

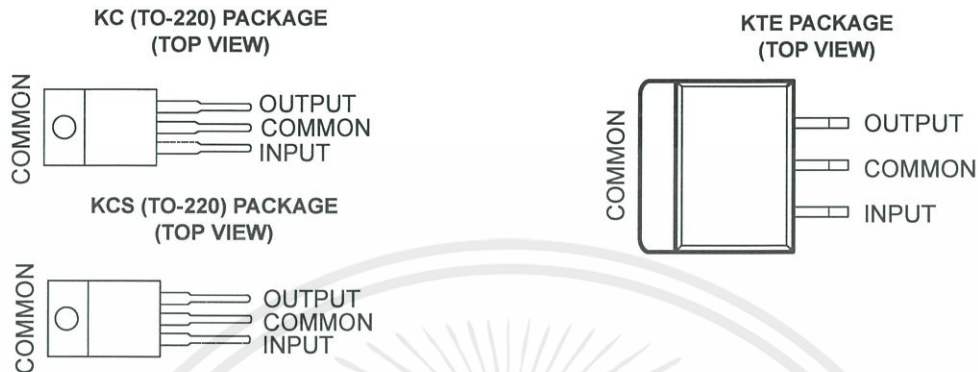
$$T_4(\text{off}) = (119 \cdot 10^3)(47 \cdot 10^{-6}) \ln 2 = 3.87 \text{ S.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกลงเนื้อหาและห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

- 3-Terminal Regulators**
- High Power-Dissipation Capability**
- Output Current up to 1.5 A**
- Internal Short-Circuit Current Limiting**
- Internal Thermal-Overload Protection**
- Output Transistor Safe-Area Compensation**



## description/ordering information

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5 A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators.

## ORDERING INFORMATION

T <sub>J</sub>	V <sub>O(NOM)</sub> (V)	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 125°C	5	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7805CKTER	μA7805C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7805CKC	μA7805C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7805CKCS	
	8	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7808CKTER	μA7808C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7808CKC	μA7808C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7808CKCS	
	10	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7810CKTER	μA7810C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7810CKC	μA7810C
	12	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7812CKTER	μA7812C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7812CKC	μA7812C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7812CKCS	
	15	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7815CKTER	μA7815C
TO-220 (KC)		Tube of 50	μA7815CKC	μA7815C	
TO-220, short shoulder (KCS)		Tube of 20	μA7815CKCS		
24	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7824CKTER	μA7824C	
	TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7824CKC	μA7824C	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

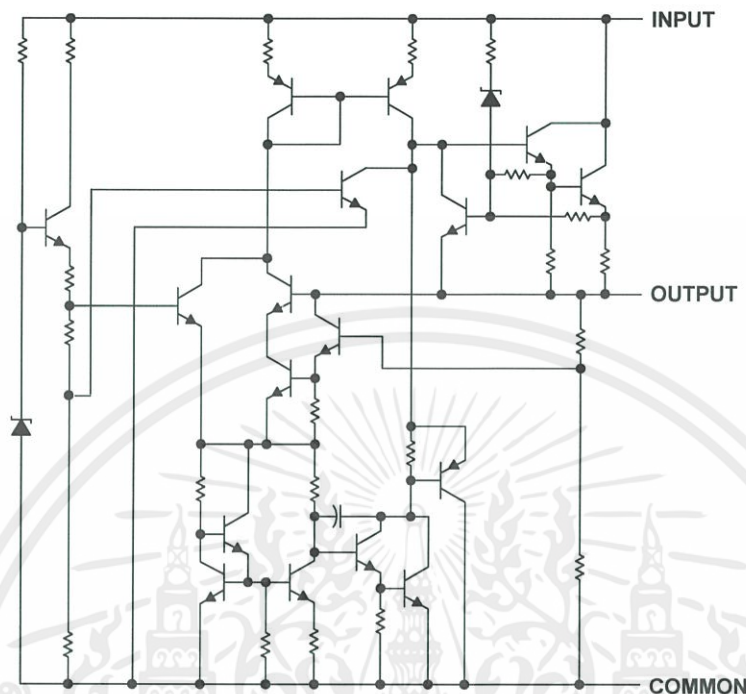


Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

# μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

LVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

## Schematic



## Absolute maximum ratings over virtual junction temperature range (unless otherwise noted)†

Input voltage, $V_I$ :	μA7824C .....	40 V
	All others .....	35 V
Operating virtual junction temperature, $T_J$ .....		150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds .....		260°C
Storage temperature range, $T_{stg}$ .....		-65°C to 150°C

Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

## Package thermal data (see Note 1)

PACKAGE	BOARD	$\theta_{JC}$	$\theta_{JA}$
POWER-FLEX (KTE)	High K, JESD 51-5	3°C/W	23°C/W
TO-220 (KC/KCS)	High K, JESD 51-5	3°C/W	19°C/W

NOTE 1: Maximum power dissipation is a function of  $T_J(\max)$ ,  $\theta_{JA}$ , and  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is  $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$ . Operating at the absolute maximum  $T_J$  of 150°C can affect reliability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

# μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

## recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT	
$V_I$	Input voltage	μA7805C	7	25	V
		μA7808C	10.5	25	
		μA7810C	12.5	28	
		μA7812C	14.5	30	
		μA7815C	17.5	30	
		μA7824C	27	38	
$I_O$	Output current		1.5	A	
$T_J$	Operating virtual junction temperature	μA7800C series	0	125	°C

## electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 10\text{ V}$ , $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_J$ †	μA7805C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ , $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	4.8	5	5.2	V
		0°C to 125°C	4.75		5.25	
Input voltage regulation	$V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$	25°C		3	100	mV
	$V_I = 8\text{ V to }12\text{ V}$			1	50	
Ripple rejection	$V_I = 8\text{ V to }18\text{ V}$ , $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	62	78		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		15	100	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			5	50	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C	0.017			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C	-1.1			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C	40			μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.2	8		mA
Bias current change	$V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$	0°C to 125°C		1.3		mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5		
Short-circuit output current		25°C	750			mA
Peak output current		25°C	2.2			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# LA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

LVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

Electrical characteristics at specified virtual junction temperature,  $V_I = 14\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_{J\uparrow}$	$\mu\text{A}7808\text{C}$			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ , $P_D \leq 15\text{ W}$	$25^\circ\text{C}$	7.7	8	8.3	V
		$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	7.6		8.4	
Input voltage regulation	$V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$	$25^\circ\text{C}$		6	160	mV
	$V_I = 11\text{ V to }17\text{ V}$			2	80	
Ripple rejection	$V_I = 11.5\text{ V to }21.5\text{ V}$ , $f = 120\text{ Hz}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	55	72		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	$25^\circ\text{C}$		12	160	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	80	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.016		$\Omega$
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		-0.8		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	$25^\circ\text{C}$		52		$\mu\text{V}$
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	$25^\circ\text{C}$		2		V
Bias current		$25^\circ\text{C}$		4.3	8	mA
Bias current change	$V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		$25^\circ\text{C}$		450		mA
Peak output current		$25^\circ\text{C}$		2.2		A

Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a  $0.33\text{-}\mu\text{F}$  capacitor across the input and a  $0.1\text{-}\mu\text{F}$  capacitor across the output.

Electrical characteristics at specified virtual junction temperature,  $V_I = 17\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_{J\uparrow}$	$\mu\text{A}7810\text{C}$			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ , $P_D \leq 15\text{ W}$	$25^\circ\text{C}$	9.6	10	10.4	V
		$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	9.5	10	10.5	
Input voltage regulation	$V_I = 12.5\text{ V to }28\text{ V}$	$25^\circ\text{C}$		7	200	mV
	$V_I = 14\text{ V to }20\text{ V}$			2	100	
Ripple rejection	$V_I = 13\text{ V to }23\text{ V}$ , $f = 120\text{ Hz}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	55	71		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	$25^\circ\text{C}$		12	200	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	100	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.018		$\Omega$
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		-1		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	$25^\circ\text{C}$		70		$\mu\text{V}$
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	$25^\circ\text{C}$		2		V
Bias current		$25^\circ\text{C}$		4.3	8	mA
Bias current change	$V_I = 12.5\text{ V to }28\text{ V}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		$25^\circ\text{C}$		400		mA
Peak output current		$25^\circ\text{C}$		2.2		A

Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a  $0.33\text{-}\mu\text{F}$  capacitor across the input and a  $0.1\text{-}\mu\text{F}$  capacitor across the output.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

# μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

**electrical characteristics at specified virtual junction temperature,  $V_I = 19\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$  (unless otherwise noted)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_{J\ddagger}$	μA7812C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ , $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	11.5	12	12.5	V
		0°C to 125°C	11.4		12.6	
Input voltage regulation	$V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$	25°C		10	240	mV
	$V_I = 16\text{ V to }22\text{ V}$			3	120	
Ripple rejection	$V_I = 15\text{ V to }25\text{ V}$ , $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	55	71		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	240	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	120	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C		0.018		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C		-1		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		75		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.3	8	mA
Bias current change	$V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C		350		mA
Peak output current		25°C		2.2		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

**electrical characteristics at specified virtual junction temperature,  $V_I = 23\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$  (unless otherwise noted)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_{J\ddagger}$	μA7815C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ , $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	14.4	15	15.6	V
		0°C to 125°C	14.25		15.75	
Input voltage regulation	$V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$	25°C		11	300	mV
	$V_I = 20\text{ V to }26\text{ V}$			3	150	
Ripple rejection	$V_I = 18.5\text{ V to }28.5\text{ V}$ , $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	54	70		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	300	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	150	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C		0.019		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C		-1		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		90		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.4	8	mA
Bias current change	$V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C		230		mA
Peak output current		25°C		2.1		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# LA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

LVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

Electrical characteristics at specified virtual junction temperature,  $V_I = 33\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_J$ †	$\mu\text{A7824C}$			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ , $P_D \leq 15\text{ W}$	$V_I = 27\text{ V to }38\text{ V}$ , 25°C	23	24	25	V
		0°C to 125°C	22.8		25.2	
Input voltage regulation	$V_I = 27\text{ V to }38\text{ V}$	25°C		18	480	mV
	$V_I = 30\text{ V to }36\text{ V}$			6	240	
Ripple rejection	$V_I = 28\text{ V to }38\text{ V}$ , $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	50	66		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	480	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	240	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C		0.028		$\Omega$
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C		-1.5		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		170		$\mu\text{V}$
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.6	8	mA
Bias current change	$V_I = 27\text{ V to }38\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C		150		mA
Peak output current		25°C		2.1		A

Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33- $\mu\text{F}$  capacitor across the input and a 0.1- $\mu\text{F}$  capacitor across the output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

APPLICATION INFORMATION

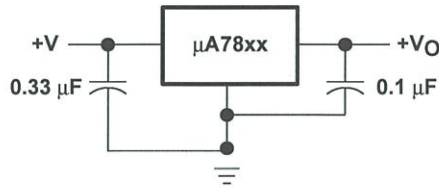


Figure 1. Fixed-Output Regulator

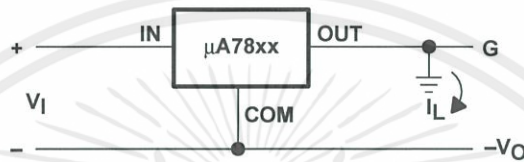
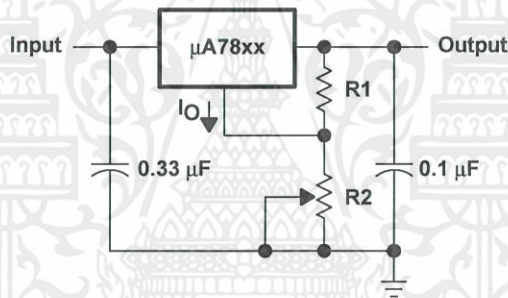


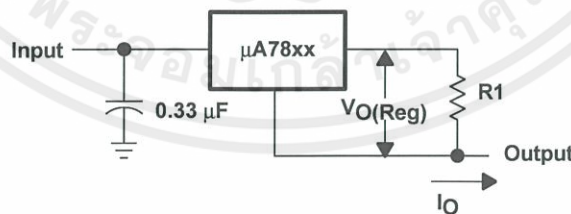
Figure 2. Positive Regulator in Negative Configuration ( $V_I$  Must Float)



NOTE A: The following formula is used when  $V_{xx}$  is the nominal output voltage (output to common) of the fixed regulator:

$$V_O = V_{xx} + \left( \frac{V_{xx}}{R1} + I_Q \right) R2$$

Figure 3. Adjustable-Output Regulator



$$I_O = (V_O/R1) + I_O \text{ Bias Current}$$

Figure 4. Current Regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

LVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

## APPLICATION INFORMATION

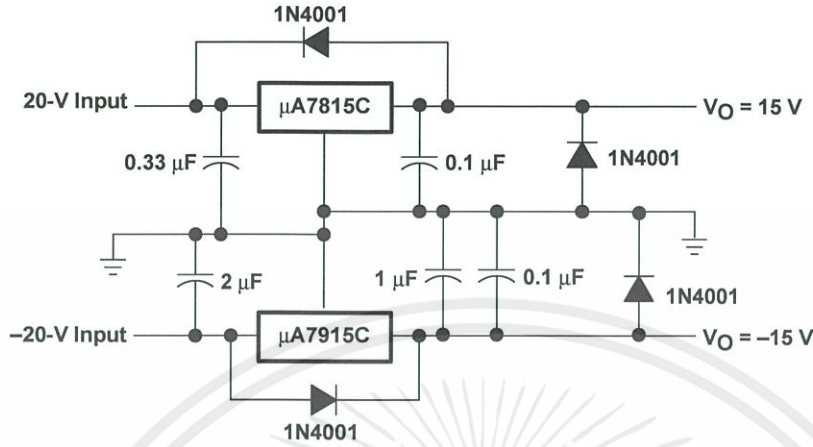


Figure 5. Regulated Dual Supply

### Operation with a load common to a voltage of opposite polarity

In many cases, a regulator powers a load that is not connected to ground but, instead, is connected to a voltage source of opposite polarity (e.g., operational amplifiers, level-shifting circuits, etc.). In these cases, a clamp diode should be connected to the regulator output as shown in Figure 6. This protects the regulator from output polarity reversals during startup and short-circuit operation.

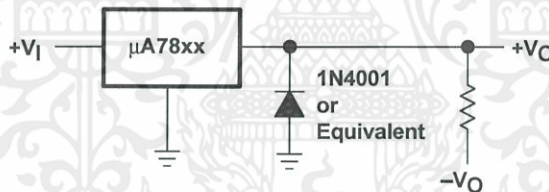


Figure 6. Output Polarity-Reversal-Protection Circuit

### Reverse-bias protection

Occasionally, the input voltage to the regulator can collapse faster than the output voltage. This can occur, for example, when the input supply is crowbarred during an output overvoltage condition. If the output voltage is greater than approximately 7 V, the emitter-base junction of the series-pass element (internal or external) could break down and be damaged. To prevent this, a diode shunt can be used as shown in Figure 7.

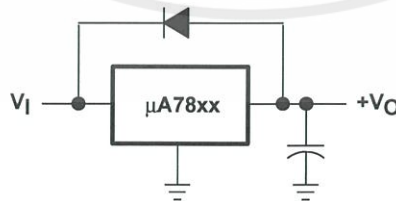
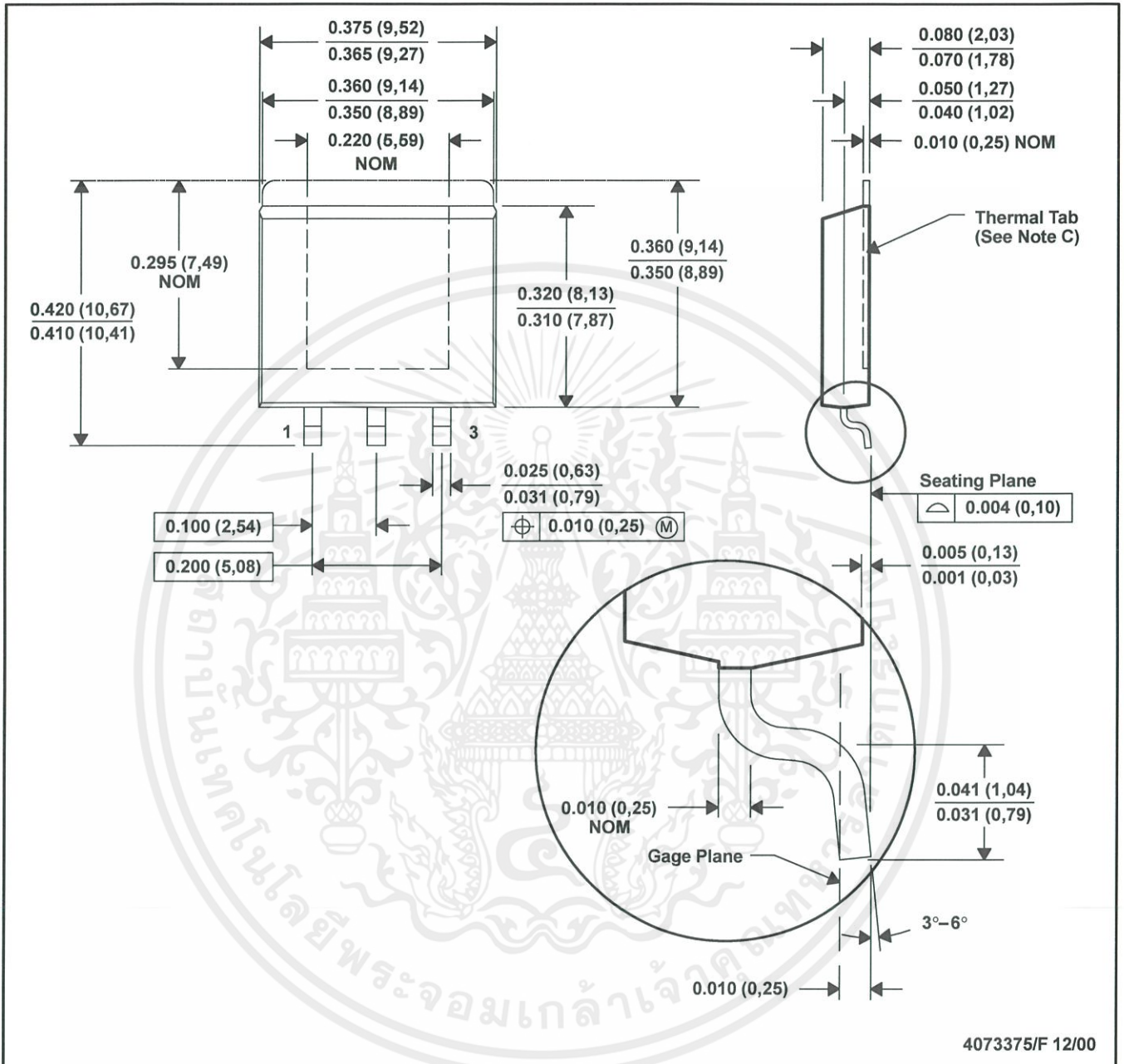


Figure 7. Reverse-Bias-Protection Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KTE (R-PSFM-G3)

PowerFLEX™ PLASTIC FLANGE-MOUNT



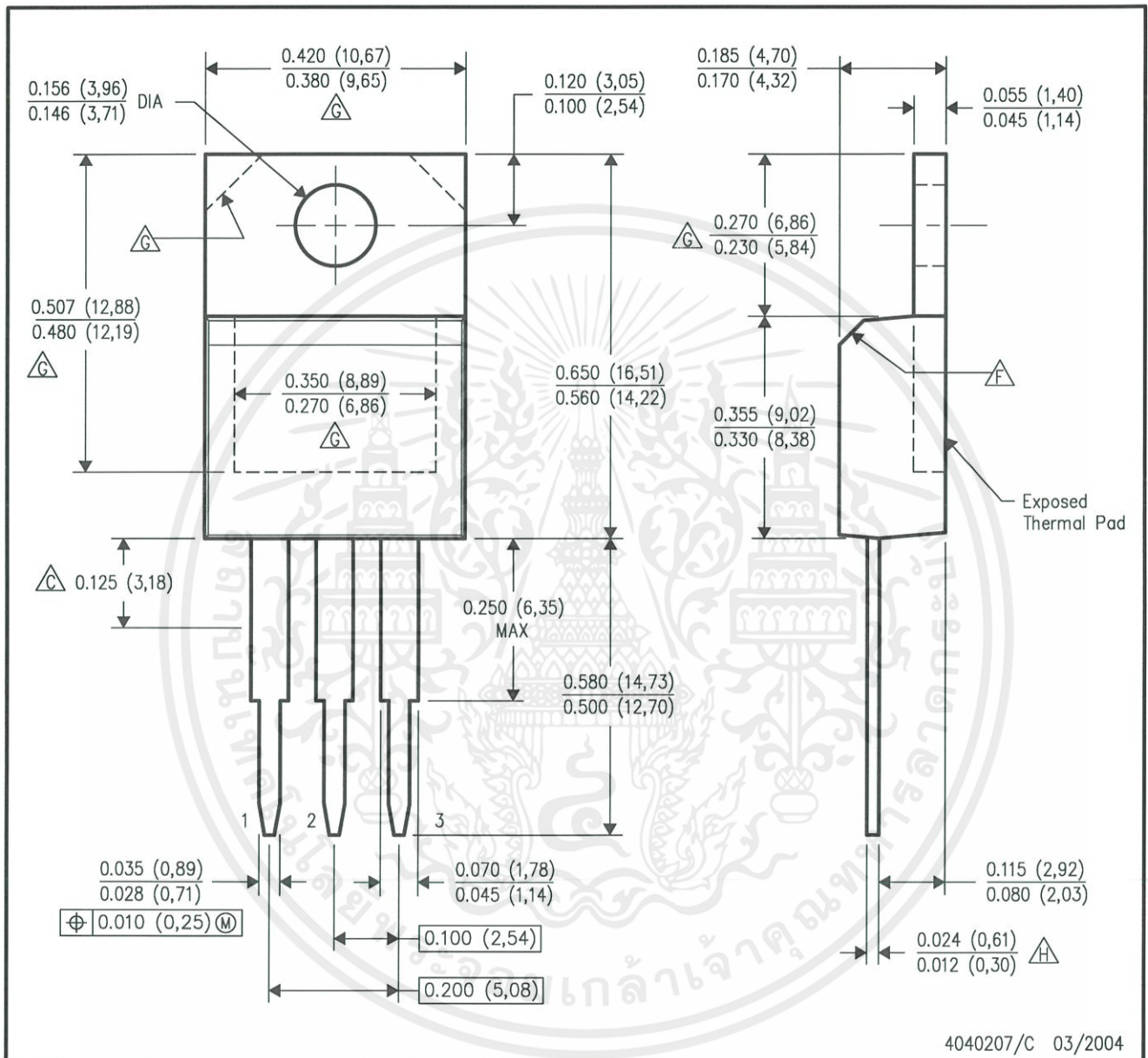
- NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).  
 B. This drawing is subject to change without notice.  
 C. The center lead is in electrical contact with the thermal tab.  
 D. Dimensions do not include mold protrusions, not to exceed 0.006 (0,15).  
 E. Falls within JEDEC MO-169

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ดิฉทั้งหมดมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 PowerFLEX is a trademark of Texas Instruments.



KC (R-PSFM-T3)

PLASTIC FLANGE-MOUNT PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Lead dimensions are not controlled within this area.
  - D. All lead dimensions apply before solder dip.
  - E. The center lead is in electrical contact with the mounting tab.
  - F. The chamfer is optional.
  - G. Thermal pad contour optional within these dimensions.
  - H. Falls within JEDEC TO-220 variation AB, except minimum lead thickness.

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของ Texas Instruments และสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

### Products

Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>

### Applications

Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Automotive	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
Broadband	<a href="http://www.ti.com/broadband">www.ti.com/broadband</a>
Digital Control	<a href="http://www.ti.com/digitalcontrol">www.ti.com/digitalcontrol</a>
Military	<a href="http://www.ti.com/military">www.ti.com/military</a>
Optical Networking	<a href="http://www.ti.com/opticalnetwork">www.ti.com/opticalnetwork</a>
Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
Telephony	<a href="http://www.ti.com/telephony">www.ti.com/telephony</a>
Video & Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>
Wireless	<a href="http://www.ti.com/wireless">www.ti.com/wireless</a>

Mailing Address: Texas Instruments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้