

ระบบอุลตราโซนิกเซนเซอร์
ULTRASONIC SENSOR SYSTEM



โดย
นายนิรันดร์ มลลวิภูษิต
นายพิเชฐ สระอินทร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ระบบอุลตราโซนิกเซนเซอร์

โดย

นายนิรันดร์ มาลาวิภูษิต เลขประจำตัว 35102053

นายพิเชฐ สระอินทร์ เลขประจำตัว 35102058

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ชวลิต เบญจางคประเสริฐ

ภาควิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2536

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์

ประธานกรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบอุลตราโซนิกเซนเซอร์

ULTRASONIC SENSOR SYSTEM

โดย นายนิรันดร์ มาลาวิภูษิต

นายพิเชฐ สระอินทร์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ชวลิต เบญจางคประเสริฐ

บทคัดย่อ

ปฏิญานี้พจน์นี้ประกอบด้วย 2 ภาค ซึ่งออกแบบสร้างขึ้นในภาคการศึกษา 1/2536 และ 2/2536 ภาคแรก เป็นการออกแบบและสร้างอุลตราโซนิกเซนเซอร์ เครื่องเป่าลมร้อนอัตโนมัติ แทนการใช้อินฟราเรดที่ใช้กันในปัจจุบัน จุดประสงค์ของงานนี้เพื่อประยุกต์ใช้งานด้านอำนวยความสะดวก และทำการศึกษาทฤษฎีของตัวทรานสดิวเซอร์ทั้งตัวรับและส่ง ภาคสองเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องเปิด-ปิดน้ำอัตโนมัติ โดยใช้คลื่นอุลตราโซนิกเซนเซอร์ไปควบคุมโซลินอยด์วาล์ว หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบและนำไปติดตั้งเพื่อใช้งานต่อไป

ABSTRACT

The project report consists of 2 parts which are designed for the semester 1/2536 and 2/2536. The first part is to design and to make Automatic dry blower by using Ultrasonic to be sensor instead of Infrared wave that is being used in nowadays. Its objective of this part is to apply to serve the convenience and to study the theory of receiver and transmitter. The second part is to design and to make Automatic on-off valve by Ultrasonic wave to be a sensor to control Solinoid valve. The we test by using and make installation for using it later.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณ อาจารย์ชวลิต เบญจางคประเสริฐ ซึ่งท่านเป็นที่ปรึกษาผู้ให้คำแนะนำแนวความคิด ช่วยแก้ไขข้อผิดพลาดและอุปสรรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ในระหว่างการดำเนินการจัดทำปริญญานิพนธ์ จนสามารถตามเป้าหมายที่วางไว้ ขอขอบคุณเพื่อนและน้อง ๆ ที่เป็นกำลังใจในการทำโครงการ สำหรับความสำเร็จของปริญญานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอยกให้กับ บุษพการี ยายป้า พ่อและแม่ ครูอาจารย์และผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ที่กล่าวมา

ผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย ภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
- คุณสมบัติทั่วไปของคลื่นอัลตราโซนิกเบื้องต้น	2
- อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์เบื้องต้น	4
- หลักการและแนวทางออกแบบเบื้องต้น	14
บทที่ 2 คุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นทั่วไป	16
- คลื่น	16
- คลื่น Ultrasonic	28
- Ultrasonic Transducer	33
บทที่ 3 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์	40
- คลื่นอัลตราโซนิก	40
- ทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก	41
- การประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ	47
บทที่ 4 การส่งคลื่นอัลตราโซนิก	51
- การออกแบบภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก	51
- การทดลองที่ 1	62
- การทดลองที่ 2	64
บทที่ 5 หลักการทำงานและออกแบบ	69
- หลักการทำงานเครื่องเปิด-ปิดน้ำอัตโนมัติ	69
- หลักการทำงานเครื่องเป่าลมร้อนมืออัตโนมัติ	72
- ภาคขยายคลื่นอัลตราโซนิก	74
- ภาค Full-Wave Rectifier	75
- ภาค Filter	79
- ภาค Comparator	80
- วงจรหน่วงเวลา	82
- ภาคขับ	86
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ	100
บรรณานุกรม	102
ภาคผนวก	

ผ 1 - ผ 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

จุดประสงค์ของโครงการนี้ เพื่อจะศึกษาการทำงานของ Electronic Sensor ระบบ Ultrasonic และนำไปประยุกต์ใช้งาน ในการสร้างเครื่องควบคุมการขับเคลื่อนน้ำอัตโนมัติและเครื่องเป่าลมร้อนน้ำอัตโนมัติ ที่กล่าวมาทั้งหมดโดยใช้ Ultrasonic Sensor โดยใช้ตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิก และตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก

ที่สร้างคลื่นเสียงที่มีความถี่ 40 kHz หมายความว่าตัวรับ-ส่งอัลตราโซนิกต้องมีความถี่เดียวกัน คือที่ความถี่ 40 kHz ซึ่งมีขายโดยทั่วไป

คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Wave) คือคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่หูมนุษย์จะได้ยิน ดังนั้นปกติแล้วคำว่าอัลตราโซนิกจึงมักจะหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz ขึ้นไป สาเหตุที่การนำเอาคลื่นย่านอัลตราโซนิกมาใช้ก็เพราะว่า เป็นคลื่นที่ทิศทาง ทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง เรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง

การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่าน อัลตราโซนิก (Ultrasonic) ทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น เครื่องควบคุมการขับเคลื่อนน้ำอัตโนมัติ เครื่องเป่าลมร้อนน้ำอัตโนมัติ เครื่องวัดระยะทาง เครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic Remote Control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic Cleaner) เครื่องวัดความลึก , เครื่องหาตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกาย เป็นต้น

ในบทนำนี้ จะกล่าวถึงคุณสมบัติเบื้องต้น ของคลื่นอัลตราโซนิก อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducers) และการเซ็นเซอร์ทั่วไป ทำแบบเทอร์โมคัปเปิล RTD เช่น เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไอซี โฟโตไดโอด Hall Sensor Rotary Encoder และ Ultrasonic Sensor และหลักของแนวทางออกแบบเครื่อง เป่าลมร้อนน้ำอัตโนมัติ และเครื่องเป่าลมร้อนน้ำอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทั่วไปของคลื่นอุลตราโซนิคเบื้องต้น

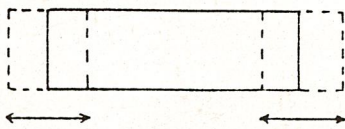
คลื่นเสียงเป็นคลื่นตามยาวที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยที่อนุภาคของตัวกลางนั้นจะเคลื่อนที่ไปในทางที่คลื่นเสียงผ่าน เราสามารถจะแบ่งช่วงของความถี่ของคลื่นเสียงออกได้เป็น 3 ช่วงใหญ่ ๆ ดังนี้

$f = 0 \text{ Hz}$	$f = 20 \text{ Hz}$	$f > 20 \text{ kHz}$
อินฟราโซนิค เรนจ์ (Infrasonic Range)	ออดิเบิล เรนจ์ (Audible Range)	อุลตราโซนิค เรนจ์ (Ultrasonic Range)
ย่านความถี่ของคลื่นเสียงต่ำกว่าที่หูของพวกเราจะได้ยิน	ย่านความถี่ของคลื่นเสียงที่หูของพวกเราสามารถได้ยิน	สูงกว่าที่หูพวกเราจะได้ยิน

ชนิดของคลื่นอุลตราโซนิค

1. คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave, L)

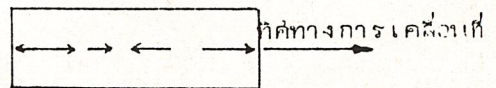
เมื่อคลื่นชนิดนี้ผ่านตัวกลาง อนุภาคของตัวกลางจะสั่นอยู่ในแนวขนานกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นตามยาวนี้ใช้กันมากที่สุด เพราะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ทั้งในของแข็ง ของเหลว และก๊าซ และทำให้เกิดการส่งออก (Generate) และการรับ (Detect) ได้ง่าย มีความเร็วสูงมากในตัวกลางเกือบทั้งหมด ตามรูปที่ 1.1 และ 1.2



รูปที่ 1.1 การสั่นทั้งหมดเนื่องจาก

อินเทอนอล เวฟ

การสั่นของอนุภาค



รูปที่ 1.2 คลื่นตามยาวที่เคลื่อนที่

ผ่านตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

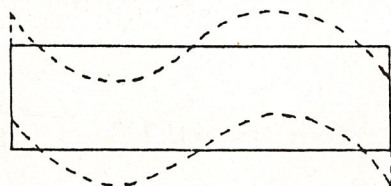
ความยาวของคลื่นสั้นมากเมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของทรานซิวเวอร์ที่ส่งคลื่นออกมา ทำให้ใช้พลังงานเพียงเล็กน้อย ในการบีบคลื่นเป็นลำออกไป ในการที่จะส่งคลื่นตามยาวในตัวกลางจะต้องทำให้เกิดการสั่นของผิวหน้าด้านหนึ่งของตัวกลางในทิศทางที่ตั้งฉาก และด้วยความถี่ อุลตราโซนิค พลังของคลื่นจะอยู่ในบีม (Beam) ความถี่ของบีมจะเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ผิวที่ส่งนั้น

2. คลื่นตามขวาง (Shear Wave , S) เป็นคลื่นที่เกิดจากอนุภาคที่เคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทาง การเคลื่อนที่ของคลื่น



รูปที่ 1.3 แสดงทิศทาง การเคลื่อนที่ของอนุภาคและทิศทาง การเคลื่อนที่ของคลื่นตามขวาง

โดยปกติคลื่นจะอยู่ในรูปของลำ ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดของลำน้อยมาก เมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของตัวกลางที่เคลื่อนที่ไป ความเร็วของคลื่นตามขวางประมาณครึ่งหนึ่งของความเร็วของคลื่นตามยาว คลื่นตามขวางไม่สามารถเคลื่อนที่ในของเหลวและก๊าซ แต่จะเคลื่อนที่ได้ในสารที่ไม่มีความยืดหยุ่น ปกติคลื่นตามขวางจะเกิดจากแรงเฉือน (Shear Force) ที่กระทำต่อผิวหน้าของสารตามรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่แบบเฉือน (Shear Motion) ทั้งหมดในชิ้นส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุที่แบล็กบ็อกซ์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบทนำ จะกล่าวเพียงพื้นฐานของอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์เบื้องต้น ส่วนรายละเอียด จะกล่าวถึงในบทที่ 2 ต่อไป

ทรานสดิวเซอร์ที่ให้งานเนคคลื่นอุลตราโซนิคมี 2 ชนิด ใหญ่ ๆ คือ

1. เมคคานิคเคิลทรานสดิวเซอร์
(Mechanical Transducers)
2. อิเล็กโตรเมคคานิคเคิลทรานสดิวเซอร์
(Electromechanical Transducers)

ในการทำ Project นี้ ผู้จัดได้เลือกเอาทรานสดิวเซอร์แบบอิเล็กโตรเมคคานิคเคิล เป็นอุปกรณ์รับ-ส่งคลื่นอุลตราโซนิค ดังนั้นจะได้กล่าวแต่เฉพาะอิเล็กโตรเมคคานิคเคิลทรานสดิวเซอร์ ดังนี้

อิเล็กโตรเมคคานิคเคิลทรานสดิวเซอร์ จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานเสียงที่ใช้กันอยู่มี 4 ชนิดคือ

1. แบบมูฟวี่ง คอลย์ (Moving Coil)
2. แบบอิเล็กโตรสแตทริก (Electrostatic)
3. แบบเปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric)
4. แบบเฟอร์โรอิเล็กทริก (Ferroelectric)

1. แบบมูฟวี่ง คอลย์ นั้นคล้าย ๆ กับมูฟวี่ง คอลย์ ของลำโพงมีประโยชน์มาก ในการเป็นตัวสั่น (Vibrator) ของทดสอบความเร่งของอุปกรณ์ แบบมูฟวี่งคอลย์ ชนิดริบบอน (Ribbon) ทำด้วยอะลูมิเนียมบาง ๆ วางไว้ระหว่างขั้วทั้งสองของแม่เหล็ก มันทำตัวเสมือนเป็นขดลวดของมูฟวี่ง คอลย์ ใช้ทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิค ในการศึกษาคุณสมบัติในการดูดคลื่นอุลตราโซนิค ของก๊าซ

2. แบบอิเล็กโตรสแตทริก ใช้หลักการที่ว่า ในระหว่างแผ่นขนานของ Parallel plate capacitor เมื่อเราให้ความต่างศักย์ระหว่างแผ่น ทั้งสองจะทำให้เกิดแรงขึ้น หลักใหญ่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เกิดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของมันจะใช้ทำเป็นลำโพงเสียงที่มีคุณภาพสูง แต่ก็ใช้ทำให้เกิดการสั่นแบบอัลตราโซนิกในของแข็งแบบที่ 1 และ 2 นั้นไม่ค่อยใช้กันเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิก ส่วนแบบที่ 3 และ 4 ใช้กันมาก และเป็นที่แพร่หลาย ดังนั้นจะกล่าวละเอียดเฉพาะแบบที่ 3 และ 4 เท่านั้น

3 , 4 แบบเปียโซอิเล็กทริก และแบบเพอโรอิเล็กทริก ในผลึกที่ประกอบด้วยโพลาโมเลกุล (Polar Molecule) ซึ่งขาดจุดศูนย์กลางของความสมมาตร (Center of symmetry) ถ้าตัดเอาเพลท (Plate) อื่นเนืงมาจากผลึกนี้ แล้วทำให้เกิดการบิดงอ (Deform) ด้วยเครื่องมือกล จะทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างผิวหน้าทั้งสองของเพลท ปรากฏการณ์นี้เราเรียกว่า ไคเร็ก เปียโซอิเล็กทริก เอฟเฟ็ค (Direct Piezoelectric Effect) ศักย์ระหว่างผิวหน้าทั้งสองของเพลท เพลทนั้นจะเกิดบิดเบี้ยวไปได้เอง เรียกปรากฏการณ์ว่า อินเวอร์ส เปียโซอิเล็กทริก เอฟเฟ็ค (Inverse Piezoelectric Effect) ตัวอย่าง เช่น ผลึกควอทซ์ ดังรูปที่ 1.5 แสดงหนึ่งหน่วยเซลล์ซึ่งอยู่ระหว่างเพลท (Plane) ที่ขนานกัน

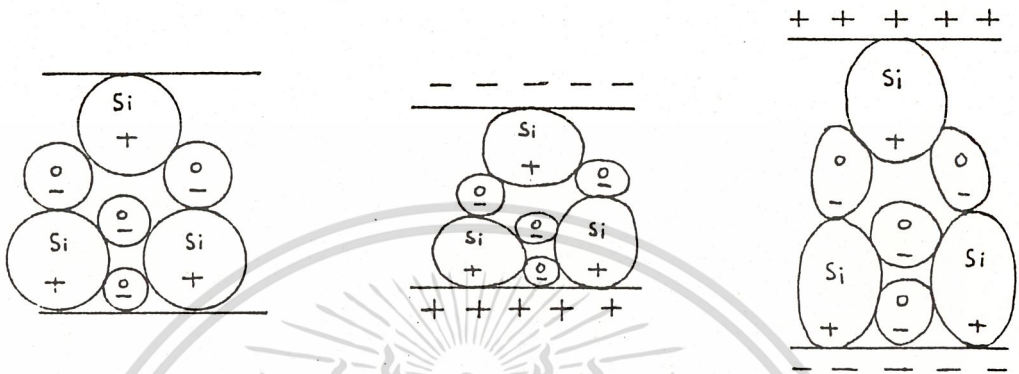
รูปที่ 1.5(ก) จะอยู่ในสภาวะปกติ จุดศูนย์กลางของประจุบวกของซิลิคอนกับประจุลบของออกซิเจนอยู่ที่เดียวกัน และจำนวนประจุไฟฟ้าทั้งสองเท่ากันจะไม่เกิด ไคโพล โมเมนต์ขึ้น ดังนั้นผลเนื่องจากการกระจายของประจุตกคร่อม ระนาบ ทั้งสองที่ขนานกันจึงเป็นศูนย์

รูปที่ 1.6(ข) ถ้าเราทำให้มันเปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิม โดยการจัดให้หดหรือดึงให้ยืดตามรูปที่ 1.5(ค) จุดศูนย์กลางของประจุทั้งสองจะไม่อยู่ที่เดียวกัน ทำให้เกิดการกระจายของประจุขึ้น ระหว่าง ระนาบทั้งสอง

การทำให้มันเปลี่ยนรูปร่างด้วยการอัดหรือหดตามรูปนั้น จะเป็นการแยกจุดศูนย์กลาง ผลจะทำให้เกิดประจุปรากฏบนระนาบทั้งสอง ในรูปแบบนี้เรียกว่า ไคเร็กเปียโซอิเล็กทริก เอฟเฟ็ค

สำหรับแบบอินเวอร์สเปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค จะเกิดโดยให้สนามไฟฟ้าแก่ระหว่างเพลททั้งสอง ทำให้จุดศูนย์กลางของทั้งสองประจุเคลื่อนออกจากกันในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เซลล์บิดเบี้ยวไป ถ้ามีแผ่นควอทซ์ ซึ่งตัดมาจากผลึกควอทซ์ ในทิศทางที่จะทำให้เกิดคลื่นสะเทือนขนานกับสนามไฟฟ้าที่ใช้ เมื่อเราให้สนามไฟฟ้าสลับ เพลทนั้นจะขยายและหดตัว ด้วยความถี่เดียวกับสนามไฟฟ้า ซึ่งจะเหมือนกับลูกสูบ ดังนั้นมันจะเป็นตัวกำเนิดคลื่นเสียงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



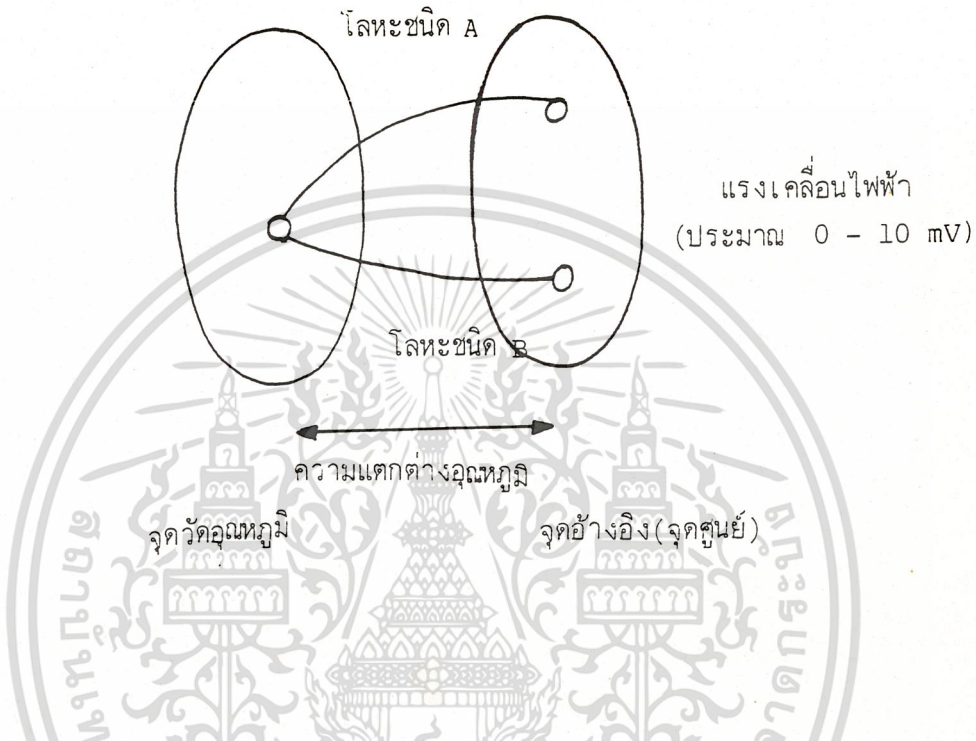
รูปที่ 1.5(ก) เซลที่ยังไม่ถูกแรงเค้น รูปที่ 1.5(ข) เซลถูกอัด รูปที่ 1.5(ค) เซลถูกยืด

ปัจจุบันมีสารไม่กี่ชนิดที่จะให้ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก สารไดอิเล็กทริกทุกชนิด เป็นสารอเล็กโทรสแตติก แต่ปกติแล้วผล (Effect) นี้จะน้อยมาก แต่สารที่ให้ผลอย่างมาก ได้แก่สารไททานเนท (titanates) , ซีคอนเนท (Zieconates) และไนกรณี เช่นนี้เราเรียกว่ามันเป็นสารเฟอร์โรอิเล็กทริก ปกติสารเหล่านี้จะอยู่ในรูปของส่วนผสมเซอร์รามิก ซึ่งประกอบไปด้วยโดเมน (Domain) ที่มีขั้วอิสระรวมตัวกันมาก ๆ ถ้าเรานำสารแบบนี้มาสักหนึ่งชนิด เอาไปเผาให้สูงกว่าอุณหภูมิเคอริก (Curic Temperature) ของมันแล้วทำให้เย็นภายใต้สนามไฟฟ้าสูง ๆ ทิศทางของขั้วของ โดเมนต่าง ๆ จะวางตัวไปแนวเดียวกับสนามและจะยังคงอยู่ต่อไปเช่นนั้น แม้ว่าจะเอาสนามไฟฟ้าออกไปมันแสดงว่ามันแสดงคุณสมบัติ เช่น เฟอร์มาเนท อิเล็กทริก บางทีมันจะเป็นสารเพียโซอิเล็กทริก ถ้าหากว่ามันประพฤติตัวไปตามสมการของ

สารเพียโซอิเล็กทริก ตามธรรมชาติแล้ว เราจะใช้สมการเหล่านี้เพื่ออธิบายคุณสมบัติของสารเพียโซอิเล็กทริกแท้ ๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการเซนเซอร์ทั่วไป

1. เทอร์โมคัปเปิล



หลักการ :

เมื่อนำเส้นโลหะ 2 ชนิด มาเชื่อมปลายด้านหนึ่งเข้าด้วยกัน จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิขึ้นที่ปลายที่เหลือ ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างอุณหภูมิของปลายทั้ง 2 ด้าน

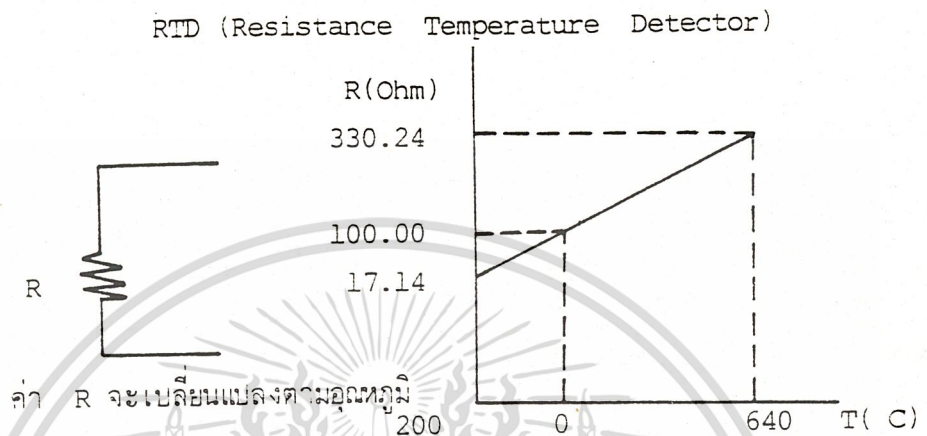
คุณสมบัติ :

มีราคาถูก , ขนาดเล็ก และใช้วัดอุณหภูมิได้ช่วงกว้าง ในการอ่านค่าแบบสัมบูรณ์ (Absolute) จะต้องรักษาอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงให้คงที่

การใช้งาน :

ใช้งานในอุตสาหกรรมทั่วไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. RTD

**หลักการ :**

ความต้านทานทางไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทาน-อุณหภูมิจะเป็นค่าเฉพาะตัวของโลหะนั้น ๆ โดยที่แพลตินัมจะมีเสถียรภาพสูงเป็นพิเศษ จึงมักนำมาสร้างเป็นเซ็นเซอร์แบบนี้

คุณสมบัติ :

สามารถวัดค่าอุณหภูมิแบบสัมบูรณ์ (Absolute) ได้อย่างแม่นยำ มีช่วงวัดกว้าง และใช้ในการเปรียบเทียบเซ็นเซอร์ชนิดอื่นได้

การใช้งาน :

สร้างเป็นเทอร์โมมิเตอร์ สำหรับการวัดอุณหภูมิทั่วไปนั้นอาจใช้เซ็นเซอร์ขนาดเล็ก ราคาถูกตั้งตัวอย่างในรูป

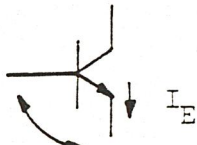
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

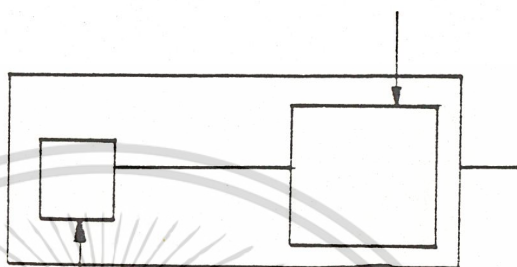


3. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไอซี

วงจรถดเซย์

(ปรับให้เป็นลิเนียร์/ขยายสัญญาณ)


 V_{BE}
 ความสัมพันธ์ของ
 V_{BE} กับ I_E จะ
 เกี่ยวข้องกับสมประสิทธิ์
 ของอุณหภูมิ



สารวัดอุณหภูมิ
 ตัวอย่าง IC ที่เอาต์พุตเป็นแรงดัน LM 35 D (10 mV) / (C)
 ตัวอย่าง IC ที่เอาต์พุตเป็นกระแส AD 590 (1 A / K)

หลักการ :

คุณสมบัติทางแรงดันและกระแสที่รอยต่อของสารกึ่งตัวนำ จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ แต่คุณสมบัตินี้ไม่เป็นลิเนียร์ จึงต้องมีวงจรถดเซย์บรรจุอยู่ในตัว IC ด้วย

คุณสมบัติ :

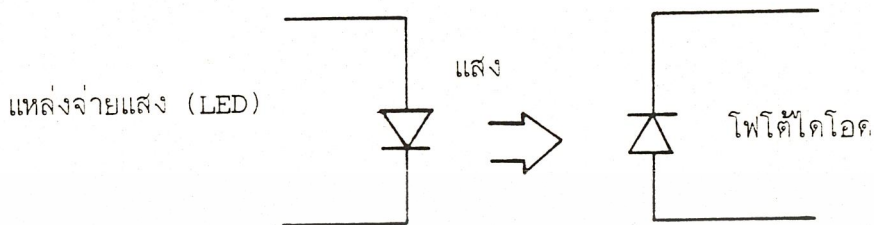
เอาต์พุตเป็นแบบลิเนียร์สามารถใช้งานได้ง่าย แต่เนื่องจากเป็นแบบ IC จึงมีช่วงใช้งานทางอุณหภูมิไม่กว้าง

การใช้งาน :

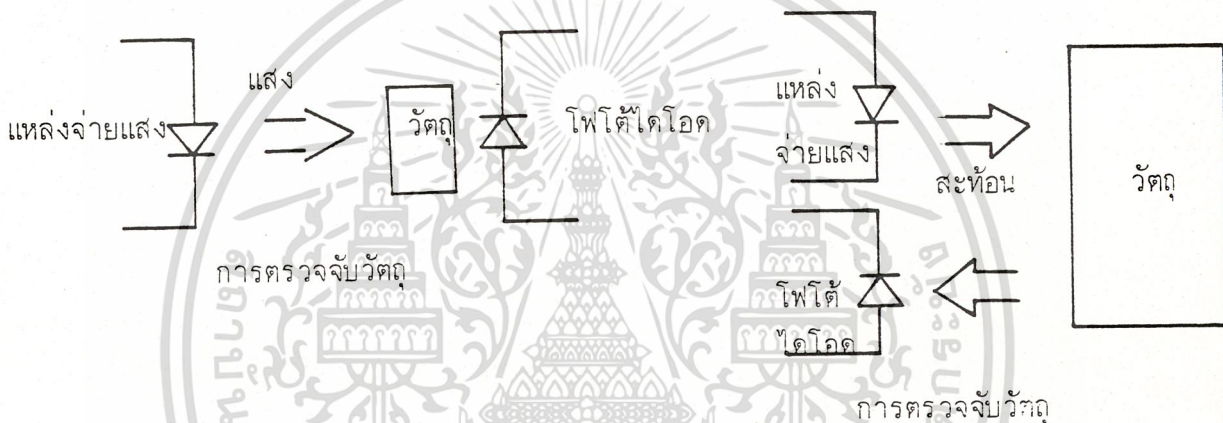
ใช้วัดอุณหภูมิทั่วไป หรือประกอบเป็นวงจรถดเซย์อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โฟโตไดโอด



ตัวส่งผ่านสัญญาณแสง เช่น อากาศ ไฟเบอร์ออปติก



หลักการ :

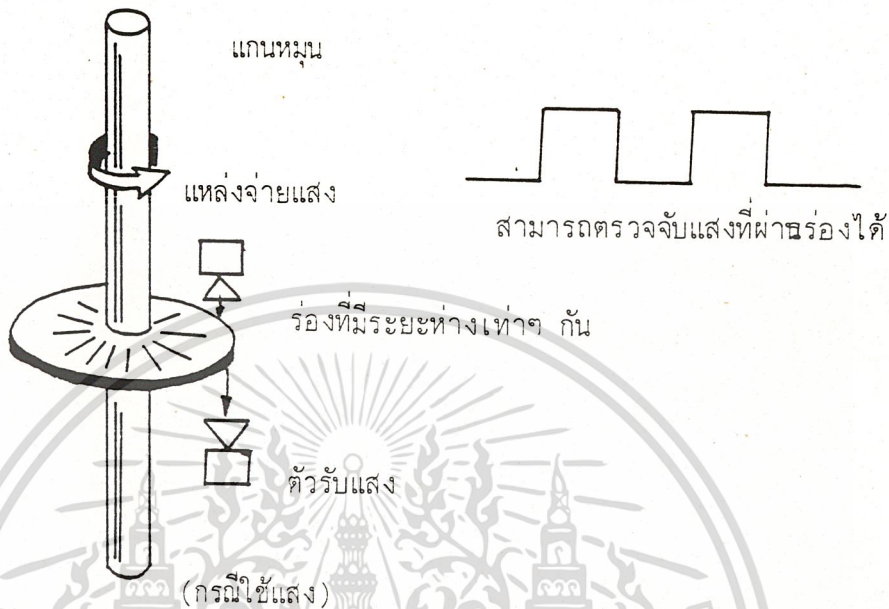
เมื่อมีแสงมากระทบโฟโตไดโอดจะมีกระแสไหล ซึ่งสามารถนำไปวัดปริมาณของแสง หรือตรวจจับแสงได้

การใช้งาน :

นอกจากจะวัดปริมาณของแสงแล้ว ยังนำไปใช้ตรวจจับวัตถุ หรือวัดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งได้อีก , ตัวส่งผ่านสัญญาณแสง (อากาศ/ไฟเบอร์ออปติก) ก็นิยมนำมาใช้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ROTARY ENCODER



หลักการ :

ใช้แสงที่ผ่านร่องของจานที่ติดอยู่กับแกนหมุน ในการวัดรอบ หรือความเร็วรอบของ

แกน

คุณสมบัติ :

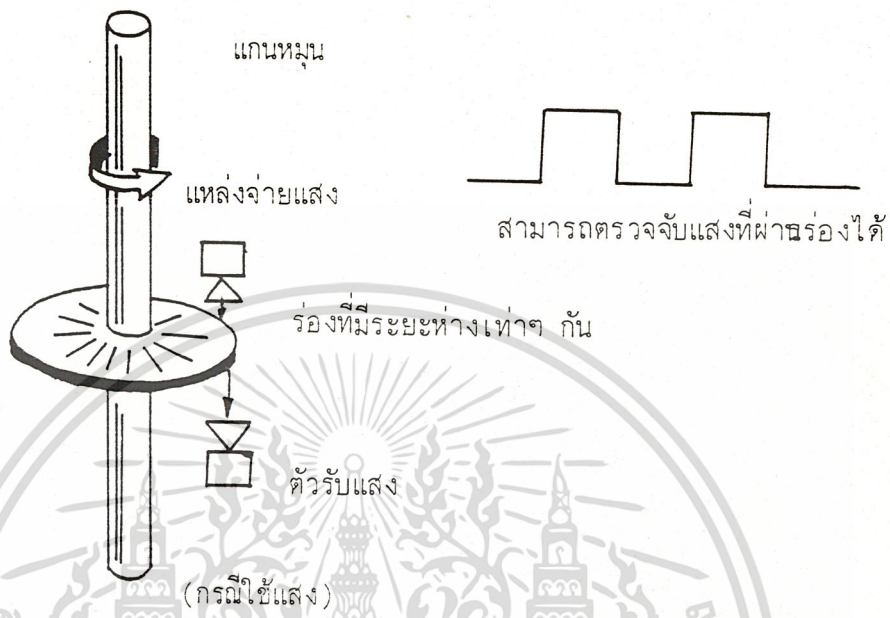
หากเพิ่มจำนวนร่องให้มากขึ้นจะสามารถตรวจวัดมุมในการหมุนได้ละเอียดขึ้น

การใช้งาน :

วัดความเร็วรอบและตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ROTARY ENCODER



หลักการ :
ใช้แสงที่ผ่านร่องของจานที่ติดอยู่กับแกนหมุน ในการวัดรอบ หรือความเร็วรอบของ

แกน

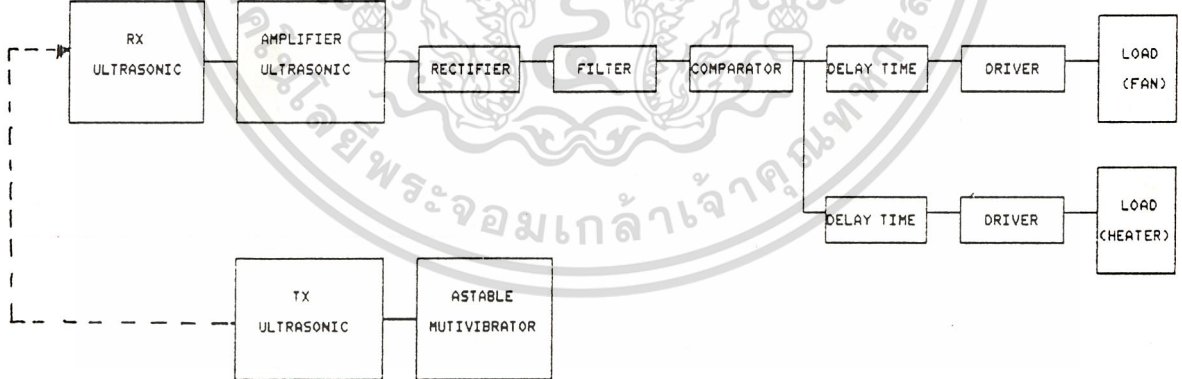
คุณสมบัติ :
หากเพิ่มจำนวนร่องให้มากขึ้นจะสามารถตรวจวัดมุมในการหมุนได้ละเอียดขึ้น

การใช้งาน :
วัดความเร็วรอบและตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

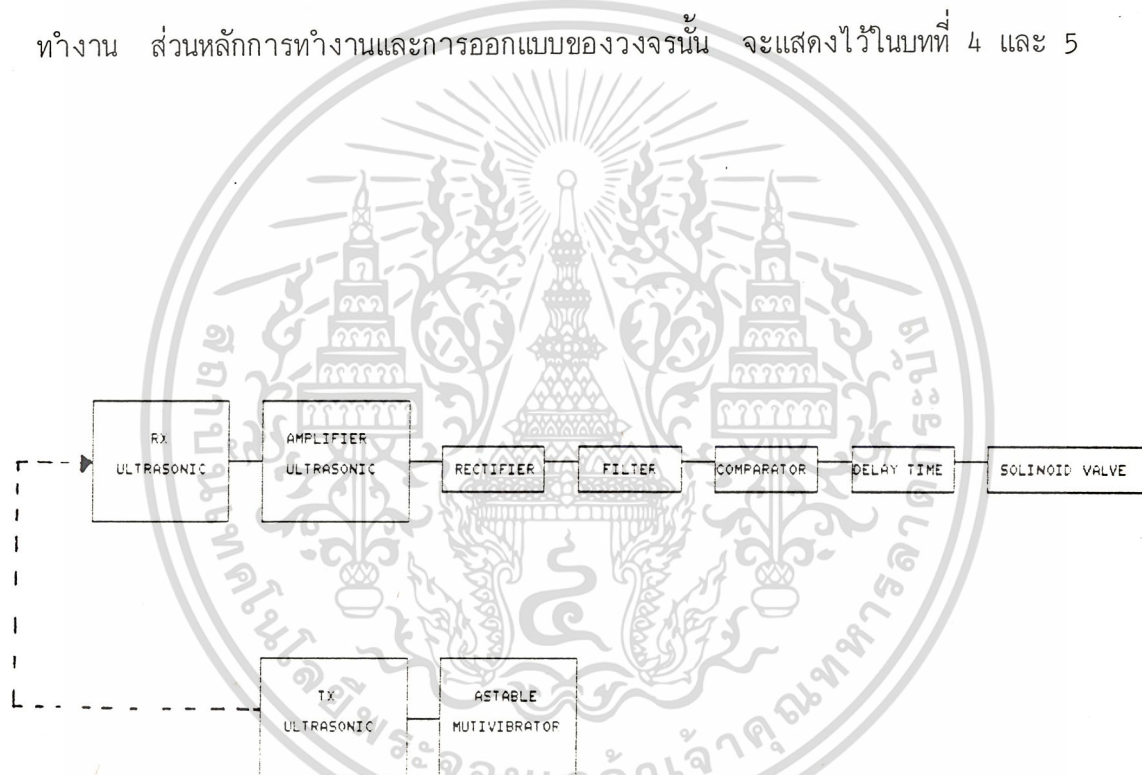
บริการและแนวทางออกแบบเบื้องต้น

1. การออกแบบเครื่องเป่าลมร้อนมืออัตโนมัติ ขั้นตอนการทำงานของเครื่องนั้น มีเงื่อนไขว่า ถ้ามีมือไปตัดตัวเซนเซอร์ ในทันทีใช้คลื่นอัลตราโซนิก ต้องส่งผลให้เครื่องเป่าลมร้อนมืออัตโนมัติทำงาน แต่ถ้าไม่มีมือไปตัดตัวเซนเซอร์ ไม่ทำให้เครื่องเป่าลมร้อนมือทำงาน โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งเป็นคลื่นเสียง ถ้าเสียงดังมาก ก็ให้เครื่องทำงาน ถ้าเสียงของเครื่องไม่ทำงาน ทำได้โดยการมีภาคเปรียบเทียบ (Comparator) เปรียบเทียบเสียงที่ได้รับได้จากตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก ในกรณีถ้าไม่มีมือไปตัดตัวเซนเซอร์ หมายความว่าคลื่นอัลตราโซนิกที่ส่งไปแล้วสะท้อนกลับมาได้น้อย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับภาค Comparator ส่งผลให้เครื่องยังไม่ทำงาน ถ้ามีมือเข้ามาตัดตัวเซนเซอร์คือตัดคลื่นเสียง ก็จะทำให้ตัวรับ รับคลื่นเสียงที่ดังมากมาเปรียบเทียบกับค่าที่ตัวรับส่งผลให้เครื่องทำงาน ซึ่งหลักการทำงานและการออกแบบจะกล่าวถึงในบทที่ 4 และ 5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สุภาพที่ 1.6 แสดง Block Diagram ของเครื่องเป่าลมร้อนมืออัตโนมัติด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องขับเคลื่อนน้ำอัตโนมัติ แนวความคิดคือใช้ตัวอุลตราโซนิกเป็นตัวเซนเซอร์การทำงานของโซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) ในการใช้งาน ต้องเอาลำตัวไปบังคลื่นอุลตราโซนิก ซึ่งจะแตกต่างจากเครื่องเป่าลมร้อนมือ ซึ่งใช้มือไปบังคลื่นอุลตราโซนิก แต่หลักการที่เหมือนกันก็คือ ใช้คลื่นเสียงอุลตราโซนิกเช่นกัน ถ้ามีคนมาใช้โถปัสสาวะจะทำให้ตัวส่งคลื่นส่งคลื่น แล้วสะท้อนกลับที่ตัวรับคลื่นอุลตราโซนิก จากนั้นจะมีความดังมากเมื่อไปเปรียบเทียบกับ Comparator แล้วส่งผลให้โซลินอยด์วาล์วทำงานนั้น จะขึ้นอยู่กับเราว่าต้องการให้ทำงานนานแค่ไหน ซึ่งขึ้นอยู่กับภาค Relay Time ในทางตรงกันข้าม ถ้าไม่มีตัวมากบังในขณะที่ไม่ใช้งาน ผลก็คือคลื่นเสียงที่รับได้จากตัวรับ มีค่าน้อย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ Comparator ทำให้ไม่ทำงาน ส่วนหลักการทำงานและการออกแบบของวงจรนั้น จะแสดงไว้ในบทที่ 4 และ 5



รูปที่ 1.17 แสดงรูป Block Diagram ของเครื่องขับเคลื่อนน้ำอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

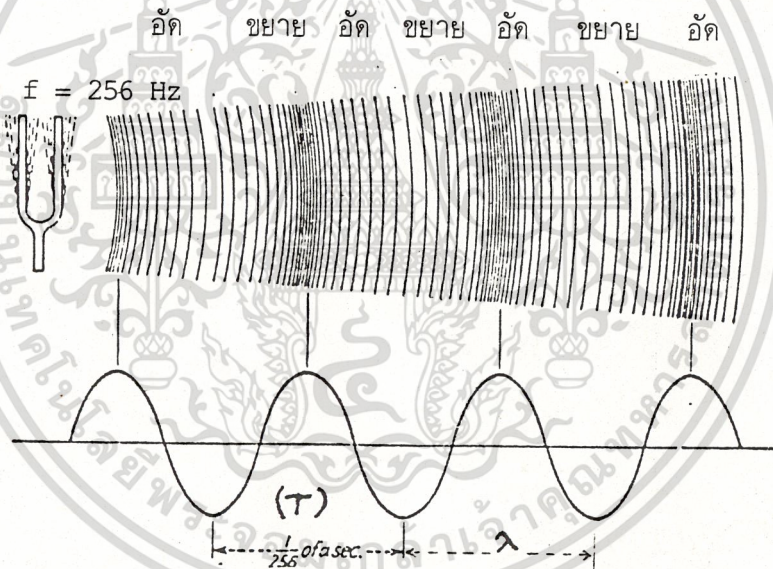
บทที่ 2

คุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นทั่วไป

คลื่น (Wave)

คลื่นเกิดจากการแกว่งหรือสั่น (Oscillated) ของวัตถุ ซึ่งจะเกิดเป็นพลังงาน และถ่ายเทออกจากแหล่งกำเนิดไปยังบริเวณโดยรอบ โดยคลื่นทั่วไปสามารถจำแนกตามความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการสั่นของอนุภาคตัวกลาง กับทิศทางการเคลื่อนที่ได้ 2 ชนิด คือ

1. คลื่นตามขวาง (Longitudinal Wave) คือ คลื่นที่อนุภาคของตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นเสียง เป็นต้น ซึ่งแสดงลักษณะของคลื่นตามยาวได้ดังรูปที่ 2.1

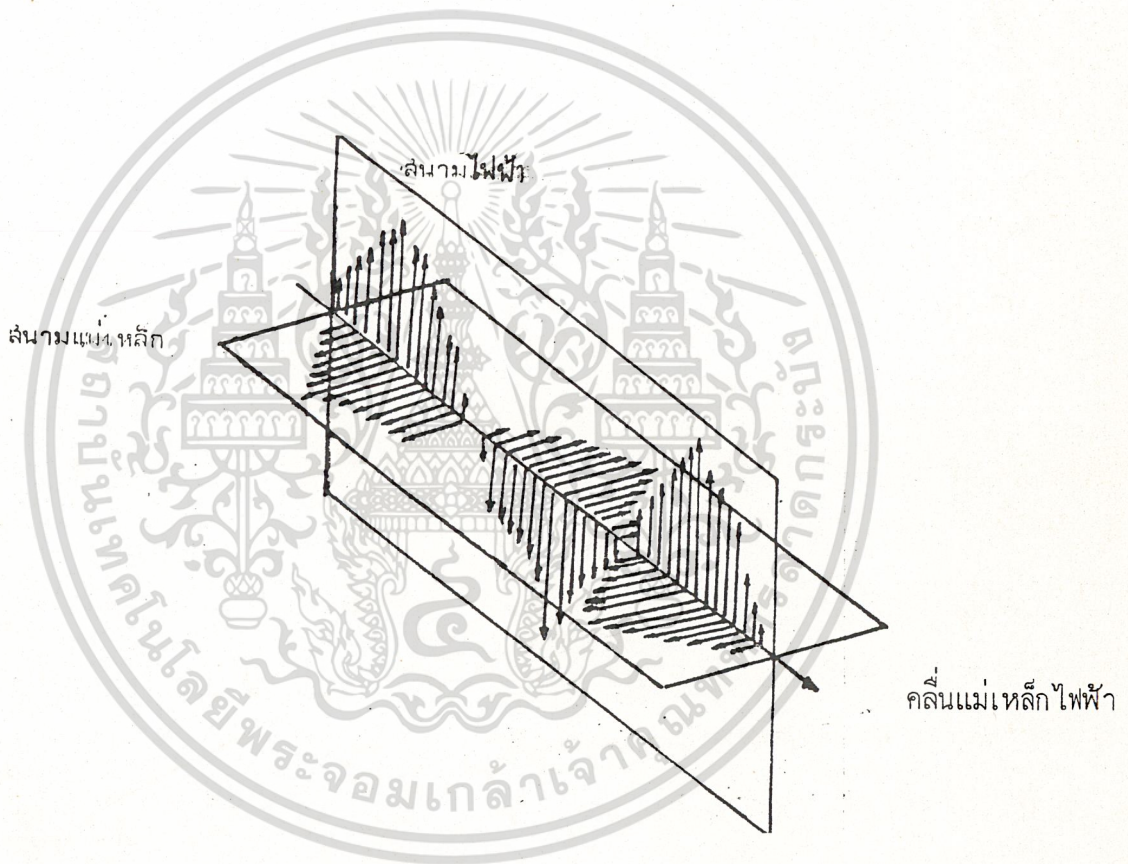


รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว

จากรูป จะเห็นว่ามีส่วนที่เป็นคลื่นอัด (Compression) คลื่นช่วงที่อนุภาคของตัวกลางมีความชันสูง และคลื่นขยาย (Rarefaction) คือ คลื่นช่วงที่อนุภาคของตัวกลางมีความดันต่ำ เมื่อนำค่าของความดัน (P) ที่เปลี่ยนไปตามระยะทางมาเขียนกราฟ จะได้เป็นรูป Sine Wave โดยยอดคลื่นจะตรงกับส่วนอัด ท้องคลื่นจะตรงกับส่วนขยาย ระยะทางระหว่างส่วนอัดถึงส่วนอัด หรือส่วนขยายถึงส่วนขยาย คือ 1 ความยาวคลื่น และมีคาบเวลาเป็น T ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1/f$ โดยจุดที่เป็นเส้นแกนนั้นมีความดัน 1 บรรยากาศ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คลื่นตามขวาง (Transverse Wave) เป็นคลื่นที่อนุภาคตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า , คลื่นน้ำ เป็นต้น โดยรูปที่ 2.2 เป็นการแสดงถึงลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากสนามแม่เหล็ก (Magnetic field) และสนามไฟฟ้า (Electric field) มีการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นนั่นเอง



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง เช่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นเสียง (Sound Wave)

คลื่นเสียงนั้นจัดอยู่ในรูปของคลื่นตามยาว ซึ่งสามารถเดินทางผ่านวัตถุตัวกลางในลักษณะอัดและขยายทำให้เกิดเป็นเสียงขึ้นมา โดยแหล่งกำเนิดของคลื่นเสียงแบ่งได้ตามวัตถุกำเนิดเสียงได้ 3 ประเภท คือ

1. เกิดจากการสั่นของสายหรือแท่ง ไม้แก๊ว เครื่องสายต่าง ๆ , ล้อมเสียง ฯลฯ
2. เกิดจากการสั่นของแผ่นผิว ไม้แก๊ว ไตอะแฟรมของลำโพง ผนังกลอง ฯลฯ
3. เกิดจากการสั่นของลําอากาศ ไม้แก๊ว เครื่องเป่าต่าง ๆ

เนื่องจากคลื่นเสียงนั้นต้องอาศัยตัวกลางในการเดินทางจึงทำให้คลื่นเสียงไม่สามารถผ่านสุญญากาศได้

ลักษณะของคลื่นเสียง

" ความถี่ " ความถี่ของคลื่นเสียงในตัวกลางใด ๆ คือ ความถี่ของการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนั้น ความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยินมีค่าในช่วง 20 Hz - 20 kHz เรียกว่า " Audible Frequency " ความถี่ต่ำกว่าที่มนุษย์ได้ยินเรียกว่า " Infrared Frequency " และความถี่ที่สูงกว่าที่มนุษย์ได้ยินเรียกว่า " Ultrasonic Frequency "

" อัตราเร็วของเสียง " อัตราเร็วของคลื่นเสียงนั้นย่อมแปรผันตามคุณสมบัติของตัวกลางที่เสียงเดินทางผ่าน ซึ่งตัวแปรที่จำกัดอัตราเร็วของเสียงคือ ความหนาแน่น (Density) , อุณหภูมิ (Temperature) และความยืดหยุ่น (Elasticity) กรณียของอัตราเร็วของเสียงผ่านตัวกลางที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้ดังตารางที่ 1

ซึ่งจากตารางจะเห็นได้ว่า ในตัวกลางแต่ละชนิดมีค่าอัตราเร็วของเสียงที่แตกต่างกันไป ถ้าความหนาแน่นของตัวกลางมีค่าต่ำ การถ่ายเทพลังงานจลน์ระหว่างโมเลกุลก็เป็นไปได้ยาก ความเร็วเสียงก็จะต่ำ และทำให้ความเข้มของเสียงลดลง ซึ่งอาจเปรียบเทียบตัวกลางที่เป็นหลักกับอากาศที่อุณหภูมิเดียวกันจะเห็นได้ว่า ตัวกลางหลักจะมีอัตราเร็วของเสียงที่สูงกว่าอากาศอยู่ประมาณ 15 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1

ตัวกลาง	ความเร็วของเสียง (m/s)	
	ที่ 0 C	ที่ 25 C
อากาศ	331.5	345.0
ไนโตรเจน	1270.0	1339.0
น้ำ	1450.0	1498.0
แก้ว	5500.0	4554.0
เหล็ก	5100.0	5200.0

ในกรณีนี้เราจะมาศึกษาเฉพาะความเร็วของเสียงที่เปลี่ยนไปในตัวกลาง ที่เป็นก๊าซ หรืออากาศเท่านั้น ส่วนในกรณีตัวกลางที่เป็นของแข็ง (Solid) และของเหลว (Fluid) นั้น จะไม่ขอกล่าวในที่นี้

จากสูตรความเร็วของเสียงในตัวกลางที่เป็นก๊าซ (GAS)

$$v = \sqrt{\gamma P / \rho}$$

โดยที่ v คือ ความเร็วของคลื่นเสียง (m/s)

ρ คือ ค่าโมดูลัส (modulus) ของก๊าซ สำหรับอากาศ คือ 1.4

P คือ ความดันของก๊าซ (Pa) ; ความดันของอากาศที่ระดับน้ำทะเลคือ 1.0132×10^6

ถ้าโมลของก๊าซมีมวลเป็น M และปริมาตรเป็น V

$$\text{ความหนาแน่น } \rho = M/V$$

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \sqrt{\gamma PV/M}$$

มาจาก $PV = RT$ โดยที่ R คือค่าคงที่ของก๊าซ และ T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ของก๊าซ ดังนั้น

$$v = \sqrt{\gamma RT/M}$$

สำหรับค่า γ , M และ R นั้น เป็นค่าคงที่ของก๊าซ โดยจะเปลี่ยนแปลงความเร็วของเสียงในก๊าซ ซึ่งขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิ ค่าของ R/M ที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน เราจึงสามารถหาความเร็วของเสียงที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในตัวกลางที่เป็นก๊าซ ดังสมการ

$$v_1/v_2 = \sqrt{T_1/T_2}$$

โดยที่ v_1 คือ ความเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ T_1 (m/s)
 T_1 คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่ 1 (K)
 v_2 คือ ความเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ T_2 (m/s)
 T_2 คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่ 2 (K)

ซึ่งเราอาจหาความเร็วเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ 25 C หรือ 298 K ได้โดยที่ความเร็วของเสียงในอากาศที่ 0 C หรือ 273 K คือ 331.5 m/s จะได้

$$\begin{aligned} v_{298} &= v_{273} \sqrt{(298/273)} \\ v_{298} &= 331.5 \sqrt{1.091575} \\ &= 346.35 \text{ m/s} \end{aligned}$$

กรณีที่อุณหภูมิคิดแบบ C จะได้สมการคือ

$$v = v_0 \sqrt{(1 + t/273)}$$

โดยที่ v คือ ความเร็วเสียงที่อุณหภูมิที่ใด ๆ (m/s)

v_0 คือ ความเร็วเสียงที่ 0 C (331.5 m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 t คือ อุณหภูมิในหน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นเสียง

คุณสมบัติโดยทั่วไปของคลื่นเสียง จะแสดงได้ 4 แบบ คือ

1. การแทรกสอดของเสียง (Interference) เกิดจากการรวมกันของคลื่น 2 คลื่นขึ้นไป ขณะเมื่อพบกันในตัวกลาง (medium) เดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดผลได้หลายลักษณะ เช่น การบีบอัด (Beats) ของคลื่นเสียง เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรวมคลื่นที่มีความถี่ต่างกัน หรือต่างเฟสกันเคลื่อนที่ไปในตัวกลางเดียวกันแล้วรวมเป็นคลื่นใหม่ ซึ่งทำให้แอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และสมการของคลื่นมีดังนี้

$$Y_1 = A_1 \sin (w+\Delta w)t$$

$$Y_2 = A_2 \sin (w-\Delta w)t$$

$$Y = Y_1 + Y_2$$

$$= A_1 \sin (w+\Delta w)t + A_2 \sin (w-\Delta w)t$$

$$\left[(\sin A + \sin B) = \sin A \cos B + \cos A \sin B \right]$$

$$= A_1 \sin wt \cos \Delta wt + A_1 \cos wt \sin \Delta wt +$$

$$A_2 \sin wt \cos \Delta wt - A_2 \cos wt \sin \Delta wt$$

$$= (A_1 + A_2) \sin wt \cos \Delta wt + (A_1 - A_2) \cos wt \sin \Delta wt$$

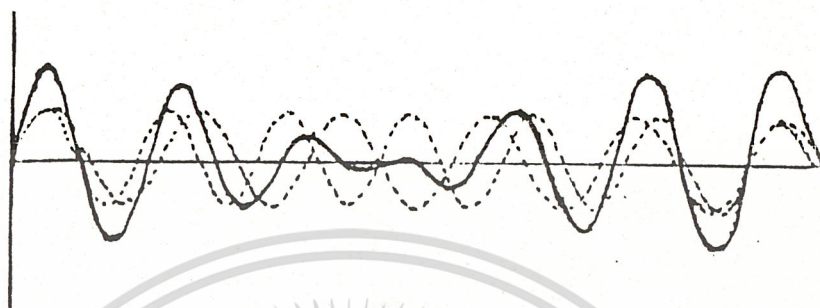
$$A \sin \theta = (A_1 - A_2) \sin \Delta wt$$

$$A \cos \theta = (A_1 + A_2) \cos \Delta wt$$

$$Y = A \sin wt \cos \theta + A \sin wt \sin \theta$$

$$= A \sin (wt + \theta)$$

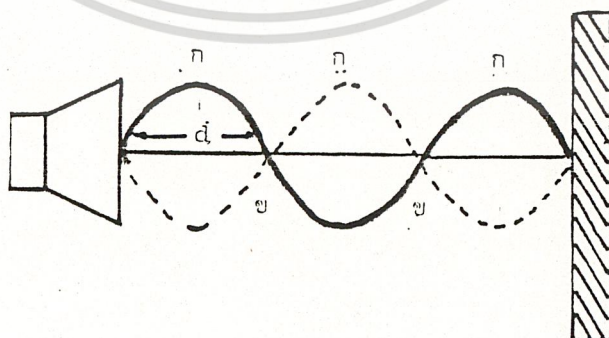
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3

จากรูป เป็นการแสดงการบัพต์ของคลื่นเสียง 2 คลื่น ซึ่งได้คลื่นที่มีแอมพลิจูดเปลี่ยนไป ซึ่งประโยชน์ของการบัพต์ของคลื่นนั้น จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบความถี่ของคลื่นให้แสดงผลออกมาในลักษณะของแอมพลิจูดที่ต่างกันไป

การเกิดคลื่นนิ่ง (Standing Waves) เกิดจากการแทรกสอดของคลื่นชุดที่มีแอมพลิจูดเท่ากันและความถี่เท่ากัน แต่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงกันข้ามหรือมีเฟสตรงข้ามกัน ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นนิ่งดังรูปที่ 2.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของการเกิดคลื่นนิ่ง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียงจะมีความเข้มสูงสุดที่ตำแหน่ง ก. และเบาที่สุดที่ตำแหน่ง ข. ซึ่งระยะระหว่าง
ขั้วทั้ง 2 เท่ากับ $d = \lambda/2$ หรือ $l = n(\lambda/2)$; $n = 1, 2, 3$

2. การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction) คลื่นเสียงจะเลี้ยวเบนอ้อมสิ่ง
กีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมหรือช่องแคบ ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้พบในชีวิตประจำวันอยู่ตลอดเวลา
เช่น ในกรณีที่เราได้ยินเสียงแตรรถที่เล่นอยู่คนละถนนของมุมตึก หรือการได้ยินเสียงที่ลอดผ่าน
ช่องเล็ก ๆ จากอีกห้องหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.5

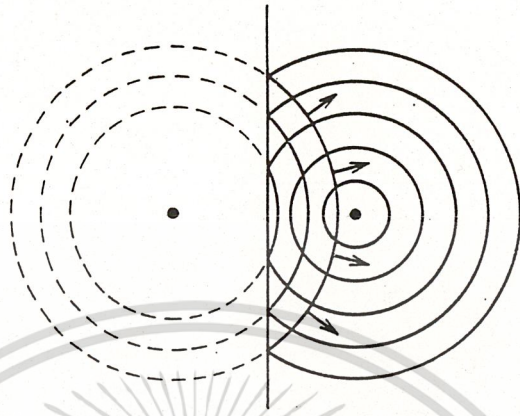


รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบ ๆ

จนเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดตัวใหม่

3. การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection) คลื่นเสียงสามารถสะท้อนได้เมื่อตก
กระทบตัวกลาง โดยที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน และจะทำให้เกิดเสียงก้อง (echo) ซึ่ง
เสียงก้องที่สะท้อนกลับมาในเวลาที่มากกว่า 50 ms จะทำให้เราได้ยินเสียงนั้นเป็นครั้งที่สอง

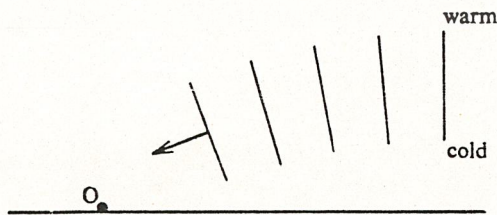
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงเมือคลื่นวงกลมกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง
คลื่นที่สะท้อนกลับมามีคลื่นเป็นวงกลมเช่นกัน

4. การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction)

คลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน จะเกิดการหักเหของคลื่น ซึ่งทำให้ความเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป โดยที่ความถี่ยังคงที่อยู่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.7 แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มของเสียง

คืออัตราที่พลังงานเสียงตกกระทบพื้นที่ 1 ตารางหน่วย ในแนวตั้งฉากกับเส้นรังสีของคลื่นเสียง

$$I = P/A \quad (W/m^2)$$

โดยที่ P คือ กำลังของเสียง (W) หรือ (J/S)

A คือ พื้นที่ตั้งฉากกับคลื่นเสียง (m^2)

I คือ ความเข้มของเสียง (W/m^2)

เนื่องจากหน้าคลื่นเป็นรูปทรงกลม ดังนั้นค่าพื้นที่ $A = 4\pi r^2$

$$I = P/4\pi r^2$$

เมื่อให้ P และ 4π เป็นค่าคงที่

$$I \propto 1/r^2$$

ระดับความเข้มของเสียง

เราสามารถวัดระดับความเข้มของเสียงได้ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel) โดยวัดเทียบกับความเข้มเสียงที่เบาที่สุดที่หูของมนุษย์จะได้ยิน (I_0)

$$dB = 10 \log I/I_0$$

โดย dB คือ ระดับความเข้มของเสียงเป็น เดซิเบล

I คือ ความเข้มของเสียงใด ๆ

I_0 คือ ความเข้มเสียงที่เบาที่สุดที่มนุษย์ได้ยิน ($= 10^{-12} \text{ w/m}^2$)

ระดับเสียง (Pitch)

ระดับเสียงขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นเสียง ถ้าความถี่ต่ำเสียงจะต่ำหรือหุ่ม แต่ถ้าความถี่สูงเสียงก็จะแหลม เช่น ระดับเสียงของเครื่องดนตรี ฯลฯ

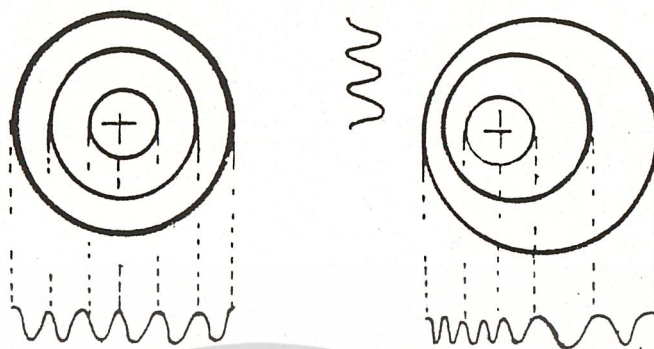
ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler effect)

คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนความถี่ของเสียงหรือระดับเสียง เนื่องจากการเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์ระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้ฟัง จึงทำให้ระดับเสียงเปลี่ยนแปลงคือ

1. ถ้าเคลื่อนที่เข้าหากัน ทำให้ความถี่สูงขึ้นยังผลให้ระดับเสียงสูงขึ้นหรือแหลมขึ้น

2. ถ้าเคลื่อนที่แยกจากกัน ทำให้ความถี่ต่ำลงยังผลให้ระดับเสียงต่ำลงหรือเสียงหุ่ม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ ซึ่งทำให้ความถี่คลื่นเปลี่ยนแปลงไป

การเปลี่ยนแปลงระดับเสียง หรือความถี่ ซึ่งในกรณีแหล่งกำเนิดเสียงหรือผู้ฟังเคลื่อนที่ ทำให้ความถี่ที่ปรากฏเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ 5 กรณีคือ

1. กรณีแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาและผู้สังเกตอยู่กับที่ โดยแหล่งกำเนิด S ผลิตความถี่ f เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V_S ไปยังผู้สังเกต

f' และ λ' คือความถี่และความยาวคลื่นที่ปรากฏแก่ผู้สังเกต ซึ่งความยาวคลื่นขณะเคลื่อนที่เข้าหา คือ

$$\lambda' = (v - v_s) / f, \quad \lambda_0 = v / f$$

แต่ความเร็วของคลื่นเสียง = v

$$\begin{aligned} \text{ความถี่ที่ปรากฏ } f' &= v / \lambda' \\ &= vf / (v - v_s) \end{aligned}$$

2. กรณีแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ออกและผู้สังเกตอยู่กับที่ กำหนด f' และ λ' เป็นความถี่ และความยาวคลื่นที่ปรากฏแก่ผู้สังเกตเมื่อแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ออก

ความยาวคลื่นขณะเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต $\lambda' = (v + v_s) / f$

ความถี่ที่ปรากฏ $f' = v / \lambda'$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

- f' คือ ความถี่ปรากฏ
- v คือ ความเร็วของคลื่นเสียง
- v_s คือ ความเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง
- v_o คือ ความเร็วของผู้สังเกต
- f คือ ความถี่ของแหล่งกำเนิด
- λ' คือ ความยาวคลื่นที่ปรากฏ
- v' คือ ความเร็วคลื่นที่ปรากฏ

3. เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงอยู่กับที่ และผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียงด้วย

ความเร็ว

v_o

ความเร็วเสียงปรากฏ

$$v + v_o$$

ความถี่ที่ผู้สังเกตจะได้ยิน

$$f' = f(v + v_o) / v$$

4. เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงอยู่กับที่ และผู้สังเกตเคลื่อนที่ออก ความเร็วคลื่นที่ปรากฏ

$v - v_o$

ความถี่ที่ผู้สังเกตจะได้ยิน

$$f' = f(v - v_o) / v$$

5. เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกตต่างเคลื่อนที่

5.1 ถ้าเคลื่อนที่ไปในทางเดียวกัน

$$v' = v - v_o$$

$$\lambda' = (v - v_o) / f$$

$$f' = v' / \lambda' = (v - v_o)f / (v - v_s)$$

5.2 ถ้าเคลื่อนที่เข้าหากัน

$$v' = v + v_o$$

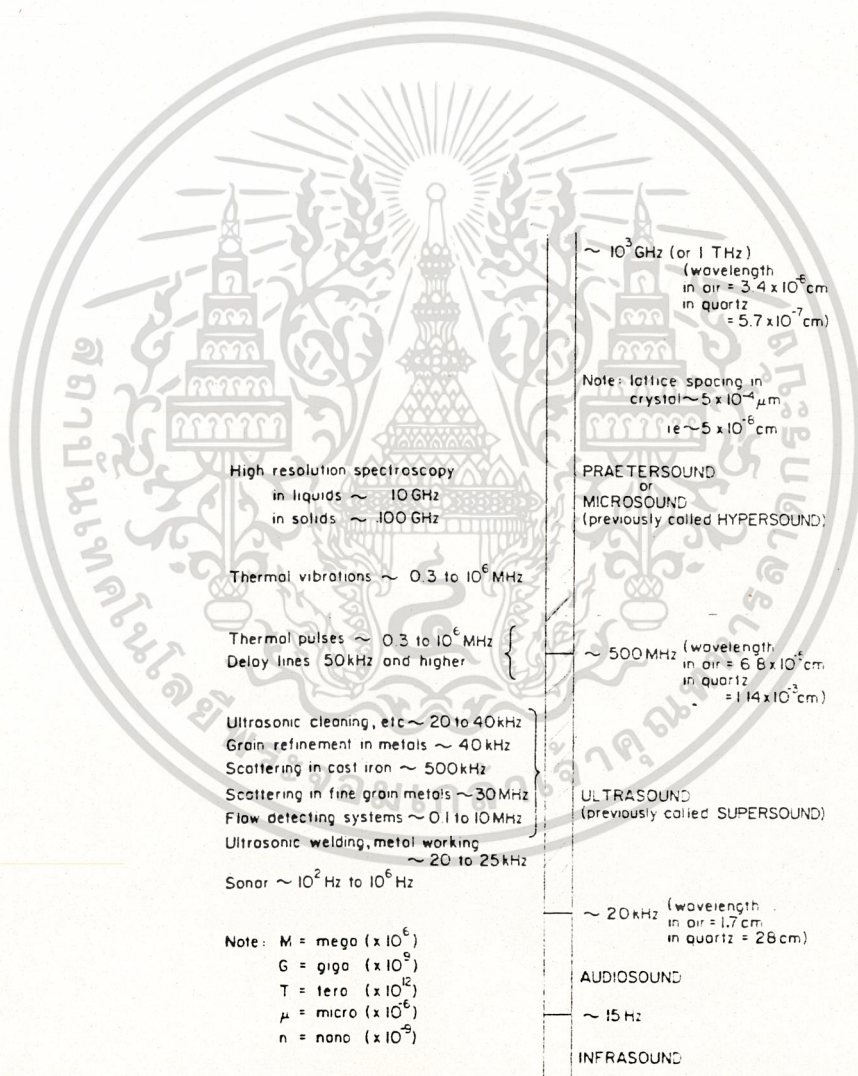
$$\lambda' = (v - v_s) / f$$

$$f' = v' / \lambda' = (v + v_o)f / (v - v_s)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่น Ultrasonic

คลื่น Ultrasonic คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะสามารถได้ยิน ซึ่งมีความถี่ตั้งแต่ 20 kHz จนถึง 10^4 GHz โดยคลื่นที่มีความถี่มากกว่า 10 GHz และมีค่าแอมพลิจูดสูง ๆ จะเรียกว่า "ไฮเปอร์ซาวนด์" (Hypersound) โดยคุณสมบัติของคลื่นอุลตราโซนิก มีลักษณะเช่นเดียวกับคลื่นเสียงที่กล่าวมาแล้ว โดยในรูปที่ 2.9 แสดงถึงช่วงความถี่ต่าง ๆ ของคลื่นอุลตราโซนิกที่ถูกนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.9 การจำแนกความถี่ต่าง ๆ ในช่วงคลื่นอุลตราโซนิก
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่ตรงที่มีการนำไปใช้

คลื่นอัลตราโซนิกส่วนใหญ่จะกำเนิดขึ้นจากการเกิดออสซิลเลชัน (Oscillation) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นคลื่นไซน์ (Sinusoidal) ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิกซึ่งมีความถี่ค่าหนึ่ง ๆ ซึ่งความยาวคลื่น ของคลื่นอัลตราโซนิกในแต่ละความถี่จะแตกต่างกันไป ด้วย โดยความยาวคลื่นจะสัมพันธ์กับค่าความเร็ว (c) และค่าความถี่ (f) ของคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งการเปรียบเทียบความยาวคลื่นที่ความถี่และความเร็วของคลื่นที่มีค่าต่างกันซึ่งแสดงในรูปที่ 2.10

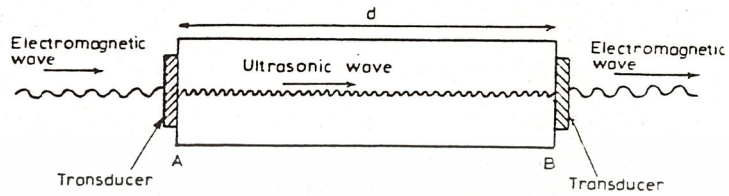
Some examples of ultrasonic wavelengths.

Frequency	Wavelength (λ)		
	(for $c = 1000 \text{ m s}^{-1}$)	(for $c = 3000 \text{ m s}^{-1}$)	(for electromagnetic radiation)
20 kHz = 2×10^4 Hz	5 cm	15 cm	1.5×10^4 m
100 kHz = 10^5 Hz	1 cm	3 cm	3×10^3 m
1 MHz = 10^6 Hz	1 mm	3 mm	300 m
50 MHz = 5×10^7 Hz	$20 \mu\text{m}$	$60 \mu\text{m}$	6 m
1 GHz = 10^9 Hz	$1 \mu\text{m}$	$3 \mu\text{m}$	30 cm

รูปที่ 2.10

จากรูป แสดงค่าที่ $c = 1000 \text{ m/s}$ และ 3000 m/s ซึ่งอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว และเปรียบเทียบกับค่าการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่เดียวกัน จะเห็นว่า มีค่าแตกต่างกันมาก โดยความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกจะมีค่าต่ำกว่าความเร็วในการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาก (ในสูญญากาศ มีค่าความเร็วประมาณ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$) จากหลักการนี้เป็นประโยชน์มากในตัวอย่างของระบบโทรทัศน์และระบบดิจิทัล คอมพิวเตอร์ ที่ใช้สำหรับหน่วง (delay) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ไม่เป็นคลื่นอัลตราโซนิก โดยใช้ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หลักการคือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใน 1 ms สามารถเดินทางได้ระยะทาง $3 \times 10^8 \times 10^{-3} = 300 \text{ km}$ ซึ่งมีค่ามาก เราจึงสามารถหน่วงสัญญาณได้โดยเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นอัลตราโซนิก โดยใช้อุปกรณ์ "delay line" ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งประกอบด้วยตัวส่งและตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก โดยคลื่นจะเคลื่อนที่ใน delay line ในระยะทาง d ซึ่งในระยะ d นี้ อาจจะเป็นตัวกลางที่เป็นก๊าซ, ของแข็ง หรือของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เหลวก็ได้ ซึ่งจะมีความเร็วที่แตกต่างกันไป
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดง "delay line" ที่ใช้ท่วงสัญญาณที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลง
ไปมา ระหว่าง Electromagnetic Wave กับ Ultrasonic

Velocities and acoustic impedances for some materials.

<i>Gases and liquids</i>		
	Speed m s^{-1}	Acoustic impedance $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Air	331.46	431
Carbon dioxide	259	512
Helium	971.9	173
Hydrogen	1286	116
Neon	434	391
Nitrogen	337	421
<hr/>		
Distilled water	1482.3	1.48×10^6
Acetic acid	1173	1.23×10^6
Acetone	1190	9.37×10^5
Carbon tetrachloride	940	1.94×10^6
Ethanol	1162	9.17×10^5
Glycerol	1860	2.34×10^6
Mercury	1454	1.97×10^7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ผู้อื่นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.12 ค่าความเร็วของคลื่น Ultrasonic ในตัวกลางที่เป็นก๊าซและของเหลวบางชนิด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบใช้

ในการใช้งานคลื่นอัลตราโซนิกนั้น เนื่องจากเป็นคลื่นที่ทิศทาง ทำให้เราสามารถส่งคลื่นไปยังจุดเป้าหมายที่ต้องการได้อย่างเจาะจง ยิ่งถ้าคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นจะยิ่งสั้นลง โดยถ้าความยาวคลื่นมากกว่าช่องเปิดของ Transducer เช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศจะมีค่าความยาวคลื่นประมาณ 1 เมตรเศษ ซึ่งยาวกว่าช่องเปิดของตัว Transducer ทำให้คลื่นเสียงที่ออกจากตัวกำเนิดเสียงนี้เกิดการหักเห และเลี้ยวเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียง ทำให้เกิดการกระจายของคลื่นเสียง (Scatter) ไม่มีทิศทางที่แน่นอน แต่ถ้าใช้คลื่นที่มีความถี่สูงขึ้นมาในย่านอัลตราโซนิก เช่นความถี่ 40 kHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียง 8 mm เท่านั้น ซึ่งจะเล็กกว่าช่องเปิดของตัวกำเนิดเสียงมาก คลื่นเสียงที่ได้จะไม่เกิดเลี้ยวเบนที่ขอบ จึงพุ่งเป็นลำแคบ ๆ (beam) ซึ่งมีทิศทางที่แน่นอน

คลื่นอัลตราโซนิกนั้นเมื่อต้องเดินทางในอากาศแล้วนั้น ความถี่ที่ใช้งานมักจะถูกจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 kHz เพราะถ้าความถี่สูงชันกว่านี้ อากาศจะเกิดการดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มมากขึ้น ทำให้ระดับความแรงของคลื่นอัลตราโซนิกที่ระยะห่างออกไปจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานในด้านการแพทย์นั้นจะใช้รัศมีทำการสั้น ๆ จึงใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz - 10 MHz ส่วนที่ความถี่ที่เป็น GHz (10^9 Hz) จะมีใช้งานในตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางนั้นไม่ใช่อากาศแต่เป็นตัวกลางชนิดอื่น เช่น น้ำ เป็นต้น

ค่าอิมพีแดนซ์ของเสียง (Accoustic Impedance)

ค่าอิมพีแดนซ์ของเสียง คือ ผลคูณของความหนาแน่นของวัตถุตัวกลาง (medium) กับค่าความเร็วของเสียงซึ่งเดินทางอยู่ภายในตัวกลางนั้น

$$Z_a = \rho c , \quad Z_a = \sqrt{Y\rho}$$

- โดยที่ Z_a คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของเสียง (kg / m^2s)
- ρ คือ ค่าความหนาแน่นของตัวกลาง (kg / m^3)
- c คือ ความเร็วของเสียงภายในตัวกลาง (m/s)
- Y คือ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Young's modulus) ของวัตถุตัวกลาง (n/m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตัวทรานสดิวเซอร์นั้น ค่าอิมพีแดนซ์ของเสียงเป็นสิ่งสำคัญ เพราะสามารถบอกได้ว่าวัตถุที่นำมาทำเป็นตัวกำเนิดคลื่นเสียงนั้นจะ match กับตัวกลางวัตถุที่คลื่นเสียงเดินทางด้วยหรือไม่ ซึ่งถ้าเกิด match จะทำให้เกิดการส่งผ่านพลังงานสูงสุดจากทรานสดิวเซอร์ไปสู่ตัวกลางวัตถุ

แต่ถ้าเกิดการ mismatch ขึ้นระหว่างวัสดุที่ใช้ทำตัวทรานสดิวเซอร์กับวัตถุตัวกลางที่คลื่นเดินทางนั้น สามารถแก้ไขคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ของเสียงของวัตถุอื่น เพื่อมาใช้เป็นตัว matching

$$Z_x = \sqrt{Z_t Z_m}$$

โดยที่ Z_x คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของวัสดุที่ใช้เป็นตัว Matching
 Z_t คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของวัตถุที่ทำทรานสดิวเซอร์
 Z_m คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของวัตถุตัวกลางที่เสียงเดินทาง

ACOUSTIC DATA FOR SEVERAL COMMON MATERIALS

Material	Sound velocity (m/s)	Mass density (kg/m)	Acoustic impedance, Z (kg/m-s)
Air	332	1.281	425.3
Aluminum	5102	2643	13.48×10^6
Brass	3499	8553	29.93×10^6
Copper	3557	8906	31.68×10^6
Hydrogen	1269	0.090	114.2
Iron	5000	7100	35.50×10^6
Clay, ceramic	3000-5000	1500-2500	4.5×10^6 - 12.5×10^6
Water	1461	998	1.46×10^6
Wood	3048-4572	480-800	1.5×10^6 - 3.7×10^6

ตารางที่ 2 แสดงค่าความเร็ว , ความหนาแน่นและค่าอิมพีแดนซ์ของเสียงของตัวกลางชนิดต่าง ๆ

เนื่องจากปัจจุบันที่ใช้งานคลื่นอัลตราโซนิคในตัวกลาง ดังตารางข้างต้นนี้ ตัวทรานสดิวเซอร์ ซึ่งทำจากเซรามิคสามารถที่จะใช้งานได้ครอบคลุมกับตัวกลางต่าง ๆ ได้อย่างดี จึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สามารถใช้งานตัวทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ได้โดยไม่ต้องสร้างวงจรแม่เหล็กซึ่งเพิ่มเติมไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ultrasonic Transducer

คือ อุปกรณ์ซึ่งสามารถแปลงพลังงานกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดเป็นคลื่นอุลตราโซนิกกระจากไปในวัตถุตัวกลาง หรือจากพลังงานของคลื่นอุลตราโซนิกแปลงไปเป็นพลังงานกลซึ่งสามารถทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้จากตัวทรานสดิวเซอร์นั้น ในปัจจุบันอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์มีอยู่หลายแบบขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้สร้างตัวทรานสดิวเซอร์ ได้แก่

- เปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยมีความถี่รีโซแนนซ์คงที่อยู่ค่าใดค่าหนึ่ง
- แมกนีโตสทริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดอยู่
- อิเล็กโตรสทริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งในโครงงานนี้จะกล่าวเฉพาะแบบ Piezoelectric เท่านั้น ซึ่งมีใช้งานอย่างมากในปัจจุบัน

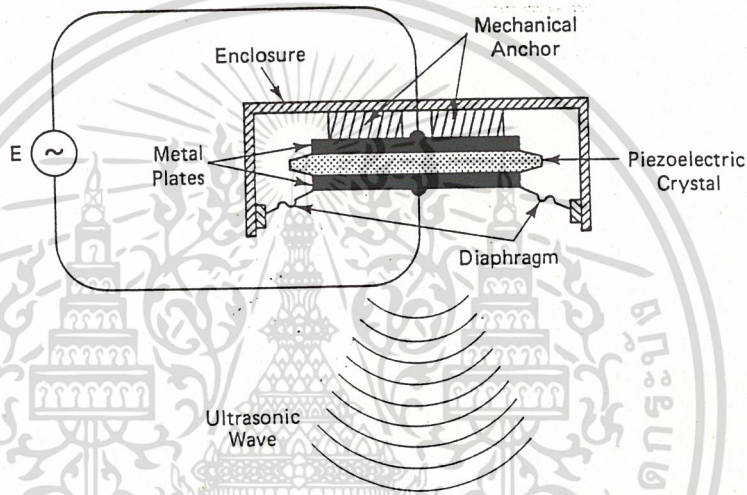
Piezoelectric Transducer

โครงสร้างของตัวอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก ต่อไปจะเรียกสั้น ๆ ว่า " ทรานสดิวเซอร์ " นั้น โดยภายนอกตัวถึงมักจะสร้างเป็นรูปทรงระบอบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและมีความสูงประมาณ 10-25 มม. ด้านหน้าจะทำเป็นช่องเปิดและมีตะแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอุลตราโซนิกเข้ามาหรือออกจากช่องเปิดนี้ได้โดยสะดวก และตะแกรงนี้ยังป้องกันสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ อีกเช่น แมลง ฯลฯ ถ้าตัวถึงทำมาจากโลหะก็ควรต่อตัวถึงลงกราวนด์เพื่อชิลด์บางยี่ห้อที่ข้างหนึ่งจะต่อกับตัวถึงเพื่อลงกราวนด์ไว้เรียบร้อยแล้ว

โครงสร้างภายในจะประกอบด้วย "ชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริก" (Piezoelectric element) ซึ่งสามารถทำได้จากสารหลายชนิด เช่น ผลึกแควอร์ทซ์ (quartz) , แมเรียมติตาทเนท (barium titanate) , เกลือร็อคเชล (rochelle salt) ฯลฯ แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริกที่ทำมาจากแมเรียมติตาทเนท ซึ่งได้จากการผสมสารติตาทเนียมกับแมเรียมคาบอเนท ที่อุณหภูมิประมาณ 1300-1400 C และผลิตออกมาในรูปแบบของชิ้นสาร " เซรามิค " ซึ่งจะ เป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

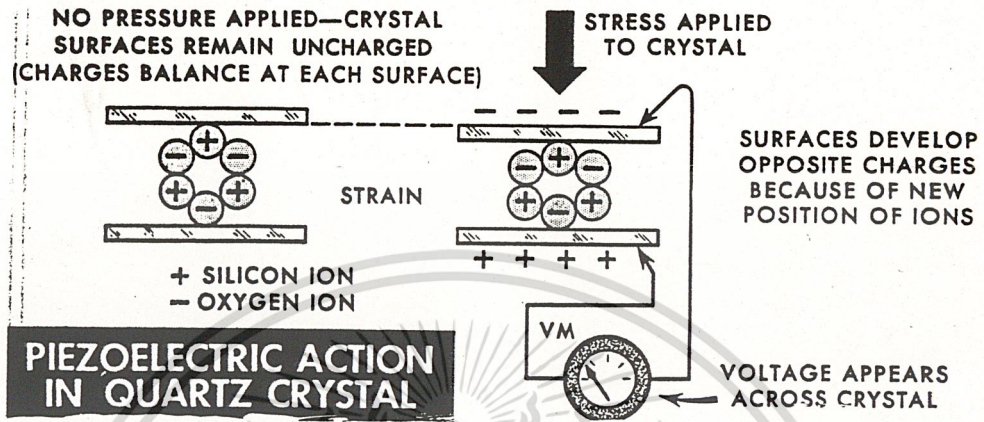
จากชั้นเซรามิกนี้จะถูกประกบด้วยแผ่นเพลท 2 แผ่น ซึ่งส่วนใหญ่ทำมาจากแผ่นเงิน เพื่อต่อเป็นขาของอิเล็กทรอนิกส์ต่อไปนั่นเอง ด้านข้างหนึ่งของแผ่นเพลทจะถูกยึดเพื่อให้ไม่เกิดการสั่น ส่วนอีกด้านจะยึดกับแผ่นไดอะแฟรมซึ่งสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้โดยแผ่นไดอะแฟรมนี้จะถูกสร้างให้มีลักษณะคล้ายเลนซ์ เพื่อรวมคลื่นให้มีความเร็วสูงขึ้น ซึ่งจะกล่าวถึงลักษณะโครงสร้างต่อไป



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในตัว ำ ไปของทรานสดิวเซอร์

Piezoelectric Effect

ปรากฏการณ์แบบเพียโซอิเล็กทริก สามารถอธิบายได้คือ เมื่อสภาวะปกติยังไม่มี ความดัน หรือคลื่นมาตกกระทบกับชิ้นสารเซรามิก ประจุไฟฟ้าซึ่งอยู่ภายในชิ้นสารจะเกิดการ สมดุลย์ ทำให้แผ่นเพลทเงินที่ประกบอยู่มีศักย์ไฟฟ้าที่เท่ากัน ซึ่งผลรวมของประจุไฟฟ้าบนแผ่นเพลท มีค่าเท่ากับศูนย์ แต่เมื่อมีความดันหรือคลื่นเสียงมาตกกระทบชิ้นสารเซรามิก จะทำให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชิ้นสาร คือ มีการโก่งงอไปตามลักษณะคลื่นที่ตกกระทบ ซึ่งใน กรณีนี้จะทำให้เกิดการจัดเรียงประจุไฟฟ้า คือ เกิดมีประจุตรงข้ามขึ้นบนแผ่นเพลทที่ประกบชิ้นสาร เซรามิกอยู่ ซึ่งผลของประจุไฟฟ้าตรงข้ามนี้ทำให้เกิดเป็นแรงดันตกคร่อมแผ่นเพลททั้งสองขนาดของ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แรงดันตกคร่อมนี้ จะขึ้นอยู่กับขนาดของความดันหรือคลื่นที่มาตกกระทบชิ้นสารเซรามิกที่โก่งงอไปมา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่สงวนไว้



รูปที่ 2.14 แสดงปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก โดยอธิบายในลักษณะที่ขึ้นสารทำจากแร่ควอตซ์

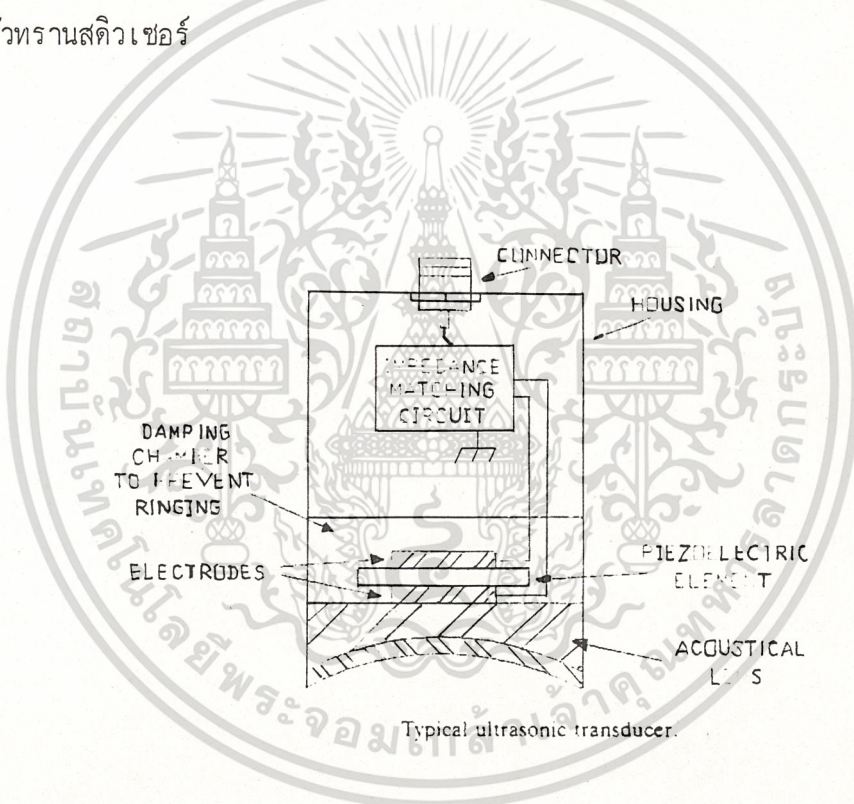
ทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างพลังงานกลกับพลังงานไฟฟ้า ในกรณีการเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลคือตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิค ซึ่งการทำงานคือเมื่อเราป้อนแรงดันไฟฟ้า AC ซึ่งอาจมีความถี่ในช่วง 20-100 kHz แรงดันที่ป้อนนั้นจะทำให้ชิ้นสาร เซรามิกเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยที่ด้านหนึ่งของชิ้นสาร เซรามิกจะถูกยึดกับแผ่นไดอะแฟรม เมื่อชิ้นสาร เซรามิกเกิดการบิดตัวไปมาจะทำให้แผ่นไดอะแฟรมนี้อัดกับอากาศโดยรอบ เกิดเป็นคลื่นความถี่เดียวกับสัญญาณที่ป้อนเข้ามา ซึ่งคลื่นที่ผลิตได้จะมีกำลังเอาต์พุตสูงสุดเมื่อความถี่ที่ป้อนเข้ามามาตรงกับความถี่รีโซแนนซ์ ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิกชิ้นนั้น จะทำให้ความถี่อื่น ๆ นอกเหนือจากนี้จะมีค่าลดลงกว่าความถี่รีโซแนนซ์มาก

ในทางกลับกันการเปลี่ยนจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้านี้ คือ ตัวรับคลื่นอัลตราโซนิค เราสามารถที่จะมองได้ว่าเป็นแหล่งจ่ายหนึ่ง ๆ เพราะมันไม่ต้องการแหล่งจ่ายอื่น ๆ มาป้อนก็สามารถสร้างแรงดันออกมาได้เพียงแต่มีขนาดแรงดันไม่สูงมากนัก โดยการทำงานของตัวรับคลื่นนี้ เมื่อคลื่นซึ่งมีความดันมาตกกระทบบนแผ่นไดอะแฟรมซึ่งค่าความถี่ของคลื่นทำให้ชิ้นสารเซรามิก

ถูกบีบไปมา ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกบนชิ้นสารทำให้สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

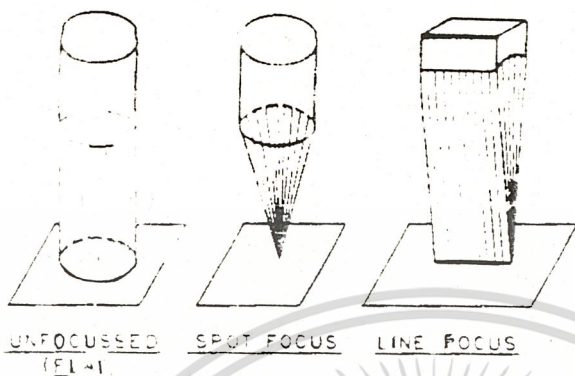
Sonic Focuser

การใช้งานอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์นั้น ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานในด้านอุตสาหกรรม ซึ่งในลักษณะงานที่ต่างกันก็อาจจะต้องใช้ตัวทรานสดิวเซอร์ที่มีลักษณะต่างกันไป เช่น ในลักษณะของการตรวจจंबวัตถุ ซึ่งการบ่อนสัญญาณให้กับตัวทรานสดิวเซอร์นั้นจะเป็นแบบ "พัลส์เดี่ยว" (single pluse) เพื่อป้องกันการผิดพลาดที่เกิดจากตัวทรานสดิวเซอร์ซึ่งอาจจะเกิดการสั้นไหวของชิ้นสารเซรามิกภายใน ซึ่งทำให้เกิดเป็นพัลส์ต่อเนื่องออกมาอีกได้ ในงานลักษณะนี้จึงต้องใช้ทรานสดิวเซอร์ที่มีตัวลดการสั้น ซึ่งเรียกว่า " damping chamber " เพื่อที่จะดูดซับพลังงานที่นอกเหนือจากที่เราต้องการในแต่ละพัลส์ของสัญญาณ ที่ทำให้เกิดความผิดพลาดภายในตัวทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 2.15 แสดงถึงรูปแบบของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ที่ใช้งานในปัจจุบัน

นอกจากนี้ยังมีสิ่งที่น่าสนใจอีกจุดหนึ่งของตัวทรานสดิวเซอร์ คือ เลนส์รวมเสียง (acoustical lens หรือ sonic focuser) ซึ่งโดยลักษณะของเลนส์รวมเสียงจะทำหน้าที่รวมพลังงานของคลื่นเสียงที่ได้จากชิ้นสารเซรามิก ให้สามารถส่งคลื่นเสียงไปยังจุดเป้าหมาย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ได้ซึ่งลักษณะของการรวมคลื่นเสียงแสดงได้ดังรูปที่ 2.16 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Focusing patterns of acoustical lenses. (From Kenneth H. Beck, *Methods for Ultrasonic Inspection of Tubes On-Mill and Off*, from paper presented at Tube Asia Conf., Singapore, 1982, p. 7. Reprinted by permission of TAC Technical Instrument Corp., Trenton, NJ.)

รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่รวมไว้ให้ความเข้มสูงขึ้นตามลักษณะของเลนซ์

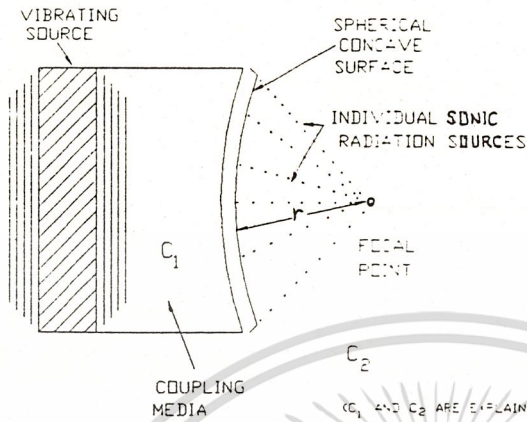
ในกรณีนี้จะอธิบายเลนซ์รวมเสียงที่เป็นแบบวงกลม (Spherical) ซึ่งมีใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยในความเป็นจริงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ๆ จะมีลักษณะคล้ายกับคลื่นแสง ทำให้เราสามารถอธิบายคลื่นเสียงในลักษณะของคลื่นแสงที่เกี่ยวกับการรวมความเข้มของคลื่นได้ โดยจะได้จุดรวมความเข้มของคลื่นเป็นแบบจุด (spot focus)

การรวมคลื่นที่เกิดจากเลนซ์ที่มีลักษณะเป็นทรงกลมนี้ คล้ายกับการรวมคลื่นแสงของกระจกเว้านั่นเอง โดยที่คลื่นเสียงนี้จะกระจายออกจากชิ้นสารเซรามิคและมารวมตัวกันที่จุด ๆ หนึ่ง (focus point) ซึ่งจะมีพลังงานของคลื่นที่สูงมาก โดยจุด ๆ นี้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$FL = r / [1 - (C_1/C_2)]$$

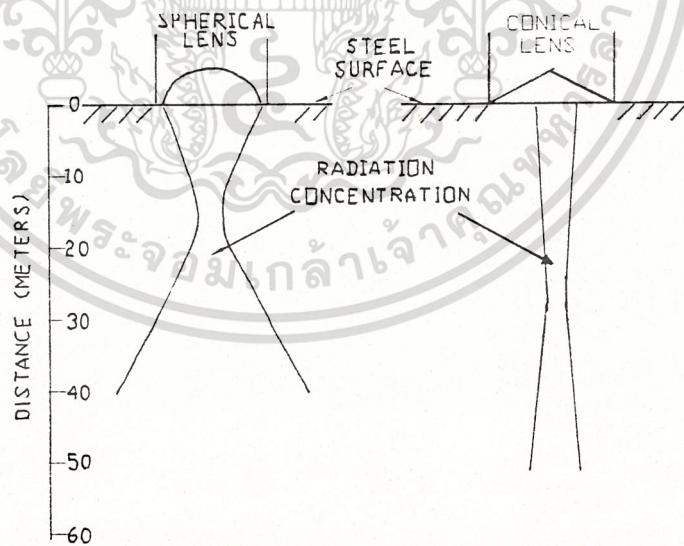
- โดยที่
- FL คือ ความยาวของจุดรวมคลื่น วัดจากจุดศูนย์กลางของการแพร่กระจายคลื่น ถึงจุดที่ต้องการรวมคลื่น
 - r คือ รัศมีของทรงกลม ซึ่งถูกนำมาสร้างเป็นส่วนหนึ่งของเลนซ์เว้า
 - C₁ คือ ความเร็วของเสียงภายในเลนซ์ของตัวทรานสดิวเซอร์
 - C₂ คือ ความเร็วของเสียงในตัวกลางเป้าหมาย เช่น อากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 หมายเหตุ C₂ มักจะมีความมากกว่า C₁ ในสมการเสมอ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีที่ต้องการตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



How sonic focusing works on a spherical concave surface.

รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะของการรวมคลื่นเสียงของตัวทราเนอวส์



Radiation concentration patterns for a spherical and conical lens.

รูปที่ 2.18 แสดงกราฟของระยะทางของจุดรวมคลื่น ซึ่งเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับโครงการงานเพื่อการรณรงค์เท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าเบี่ยงเบนหรือมีข้อผิดพลาดในการดำเนินการ
ระหว่างเลนส์แบบทรงกลมกับแบบทรงกรวย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.18 เป็นการทดลองเปรียบเทียบจตุรรวมคลื่นเสียงของเลนซ์แบบทรงกลม กับเลนซ์แบบทรงกรวย โดยให้ความถี่ที่ใช้งานเท่ากับ 3 MHz ในตัวกลางที่เป็นเหล็ก ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีลักษณะต่างกัน ซึ่งเลนซ์แบบทรงกรวยทางด้านขวามีระยะทางของจตุรรวมคลื่นที่ไกลกว่าแบบทรงกลม และลักษณะคลื่นจะไม่ค่อยกระจายออกมากเหมือนกับแบบทรงกลม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์

3.1 คลื่นอุลตราโซนิค

อุลตราโซนิค (Ultrasonic) หมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงแค่ประมาณ 15 KHz เท่านั้น แต่พวกที่อายุน้อย ๆ อาจจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่านี้ได้ ดังนั้นปกติแล้วคำว่าอุลตราโซนิคจึงมักจะหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz ขึ้นไป จะสูงขึ้นไปจนถึงเท่าใดไม่ได้ระบุจำกัดเอาไว้

สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอุลตราโซนิคมาใช้ก็เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง เรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ให้เสียงนั้นออกมา) ของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นั้น เช่นคลื่นความถี่ 300 KHz ในอากาศ จะมีความยาวถึงประมาณ 1 เมตรเศษ ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะหักเบนที่ขอบด้านนอกจากตัวกำเนิดเสียงทำให้เกิดการกระจายทิศทางคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอุลตราโซนิค อย่างเช่น 40 KHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียงประมาณ 8 มม. เท่านั้น ซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นั้นมาก คลื่นเสียงจะไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบ จึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบ ๆ หรือที่เราเรียกว่า มีทิศทางนั่นเอง

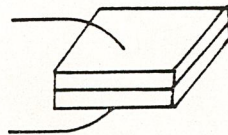
การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอุลตราโซนิคทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยส่งเกตุระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล ใช้ในเครื่องหาตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกาย ใช้ทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่นถ้าคลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 KHz เพราะที่ความถี่สูงขึ้นไป อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ซึ่ง

ต้องการรัศมีทำการสั้น ๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz (10^9 Hz) ก็มีใช้กันในหลายอย่าง การใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่

อุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานในรูปอื่น ให้มาเป็นพลังงานทางกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกกระจายไปในอากาศได้ หรือแปลงพลังงานทางกลให้มาเป็นพลังงานในรูปอื่นได้นั้น มีชื่อเรียกเป็นภาษาเทคนิคว่า " อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ " (Ultrasonic Transducer) ในปัจจุบันอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ มีหลายแบบขึ้นกับหลักการใช้ แบบที่นิยมใช้กันมากได้แก่แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล โดยมีความถี่รีโซแนนซ์ซึ่งที่อยู่ค่าหนึ่งแบบแมกนีโตรสทริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่ และแบบอิเล็กโตรสทริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานทางกล

3.2 ทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก

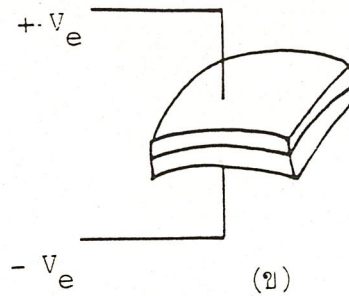
ภายในตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก (ในบางแห่งของบทความนี้อาจจะเรียกสั้น ๆ เพื่อความกระชับว่า "ทรานสดิวเซอร์" แบบที่มีใช้กันในปัจจุบันซึ่งได้รับการพัฒนามาในระดับหนึ่งแล้ว จะประกอบด้วยชิ้นสารเซรามิกส์เหลี่ยมซึ่งมีผิวโลหะเงินฉาบอยู่ทั้ง 2 หน้า เพื่อใช้ต่อสายไฟออกมาเป็นขา 2 ขา ซึ่งสารเซรามิกนี้ประกอบขึ้นจากสารเซรามิก 2 ชั้น ประกบกันอยู่โดยวางให้ โพลทางไฟฟ้าภายในอะตอมของมันมีทิศทางตรงข้ามกัน ดังแสดงเป็นลูกศรในรูปที่ 3.1 , 3.2



(ก)

รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างภายในตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงว่าเมื่อป้อนแรงดันให้กับมัน จะทำให้ชั้นสารเซรามิกโก่งงอไปมา ทำให้คลื่นเสียงอัลตราโซนิคกระจายไปในอากาศได้

ชั้นสารเซรามิกถูกยึดติดภายในตัวดังอย่างนี้ เพื่อไม่ให้เกิดการลื่นขณะที่มีมันทำงานอยู่ ใต้รับผลกระทบกระเทือนจากภายนอก ตัวดังมักจะเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและมีความสูงประมาณ 1 ถึง 2.5 ซม. ด้านหน้าทำเป็นช่องเปิด มีตระแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอัลตราโซนิค เข้ามาหรือออกจากช่องเปิดได้โดยสะดวก ถ้าตัวดังทำมาจากโลหะก็ควรต่อตัวดังลงกราวด์เพื่อทำหน้าที่ชิลด์ สำหรับบางยี่ห้อเขาจะต่อขาหนึ่งติดกับตัวดังจะเห็นมีขาหนึ่งติดกับตัวดัง

เมื่อมีสัญญาณแรงดันมาตกคร่อมขั้วทั้งสองของชั้นสารเซรามิก ดังรูปที่ 3.2 จะทำให้ชั้นสารโก่งงอมากหรือน้อยหรือในทิศทางใดตามขนาด และทิศทาง การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณนั้น ๆ ทำให้เกิดการกักอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่เดียวกันกับสัญญาณนั้นออกไป แต่กำลังเอาต์พุตจะสูงสุดที่ค่าประมาณนี้ ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชั้นสารเซรามิกนั้น ๆ ส่วนที่ความถี่อื่น ๆ กำลังเอาต์พุตจะลดลงกว่านี้มาก

ในทำนองกลับกัน เมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของชั้นสารเซรามิกเข้า จะทำให้ชั้นสารโก่งงอไปมาและเกิดสัญญาณแรงดัน ซึ่งมีขนาดเล็กขึ้นมากคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมันเองได้

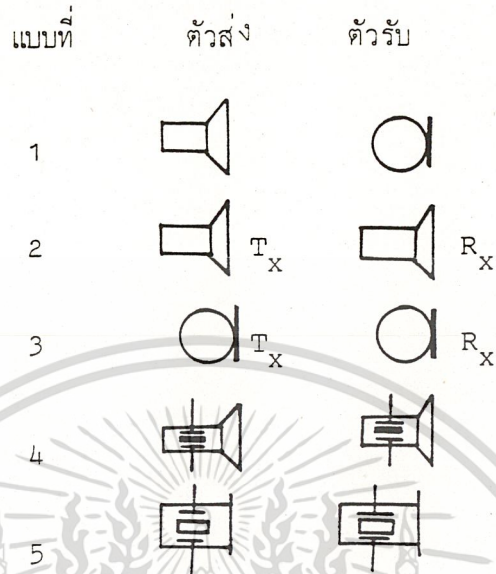
คุณสมบัติโดยทั่วไปของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก ก็คือมีค่าความต้านทานไฟตรงสูงมากอาจสูงถึง 100 Megaohms เรียกว่าถ้าเอามัลติมิเตอร์ธรรมดา มาตั้งสเกลวัดค่าความต้านทานสูง ๆ เข็มจะไม่กระดิกเลย แต่ในขณะที่มันทำความต้านทานทางด้านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไฟฟ้าสถิตจะลดลง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ตัวส่งและตัวรับ

ทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก ที่ใช้สารเซรามิก (หรือผู้ผลิตบางรายเรียกว่า อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเซรามิก) จะมีอยู่ 2 อย่าง คือ ตัวส่งหรือ Transmitter และตัวรับ (เสียง) หรือ Receiver

3.3.1 ตัวส่ง ก็คืออุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ ที่ถูกออกแบบเจาะจงมาให้แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ให้แก่มัน ให้ออกมาเป็นคลื่นเสียงย่านอุลตราโซนิค หน้าที่ของตัวส่งจึงคล้าย ๆ กับเป็นลำโพง ส่วนตัวรับก็คือนอกอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ที่ถูกออกแบบเจาะจงมาให้แปลงคลื่นเสียงย่านอุลตราโซนิคที่มาตกกระทบตัวมันให้ออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า หน้าที่ของตัวรับจึงคล้าย ๆ กับเป็นไมโครโฟน ด้วยเหตุนี้ เวลาเขียนสัญลักษณ์ของอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ จึงนิยมเขียนตามหน้าที่ของมัน คือถ้าเป็นตัวส่งก็เขียนสัญลักษณ์เป็นลำโพง ถ้าเป็นตัวรับก็เขียนสัญลักษณ์ของทั้งตัวรับและตัวส่งเป็นไมโครโฟนหรือเป็นลำโพงอย่างใดอย่างหนึ่งไปเลย ดังแบบที่ 2 และ 3 แต่เขียนด้วยอักษรย่อว่า t_x (ย่อมาจากคำว่า Transmitter) และ R_x (ย่อมาจาก Receiver) กำกับอยู่ด้วย หรืออาจจะใช้คำพูดกำกับให้ชัดเจนลงไปเลย ที่เขาใช้สัญลักษณ์เหมือนกันก็เพราะว่ารูปลักษณะของตัวรับและตัวส่ง ที่ออกแบบมาให้ใช้งานคู่กันจะมีลักษณะเหมือนกัน แต่มีเบอร์บอกมาที่ด้านข้างให้รู้ว่าตัวใดเป็นตัวส่งและตัวรับ และมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันมาก จนสามารถนำมาใช้งานแทนกันได้โดยตรงในหลาย ๆ การใช้งาน บางเล่มก็เขียนรายละเอียดภายในตัวไมโครโฟนหรือภายในตัวลำโพงให้มีสัญลักษณ์ของผลึกแร่ (crystal) กำกับอยู่ด้วยดังแบบที่ 4 และ 5 อย่างไรก็ตามในความเห็นของผู้เขียนแล้ว แบบที่ 4 และ 5 ไม่ควรรีใช้อีกต่อไป เพราะว่าในปัจจุบันอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกไม่ได้จำกัดว่าสารที่ใช้จะต้องเป็นผลึกแร่ดังสมัยก่อน อย่างที่นิยมใช้กันอยู่ในขณะนี้ เป็นเซรามิกสำหรับในสารเซรามิก เราใช้วิธีการเขียนสัญลักษณ์ตามแบบที่ 3 โดยมีอักษรย่อหรือคำพูดกำกับอยู่ เพื่อไม่ให้ไปสับสนกับไมโครโฟนธรรมดา ดังรูป 3.3

อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเซรามิกที่มีจำหน่ายกัน จะมีค่าความถี่รีโซแนนซ์ให้เลือกตั้งแต่ 23 KHz ขึ้นไปจนถึง 40 KHz แต่ที่พบเห็นกันบ่อยก็มี 23 KHz 25 KHz และ 40 KHz โดยความถี่ 40 KHz เป็นรุ่นที่นิยมใช้กันมากที่สุด เพราะมีทิศทางดีกว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงสัญลักษณ์ของอุปกรณ์วิทยุคมนาคมสทว.เซอร์แบบต่าง ๆ

3.4 ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งและตัวรับ

เนื่องจากสเป็ค ตลอดจนรายละเอียดต่าง ๆ ของอุปกรณ์วิทยุคมนาคมสทว.เซอร์หาได้ยาก ดังนั้นจึงได้สรุปสิ่งที่ท่านผู้อ่านควรจะต้องรู้ในขั้นต้น เพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานดังนี้

3.4.1 ไม่ควรให้ตัวทรานสดีว.เซอร์ได้รับการกระแทกหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เสียหาย

3.4.2 ทรานสดีว.เซอร์ที่มียกกันโดยทั่วไป จะทนแรงดันคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกินกว่า 20 V ดังนั้น ขนาดสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวทรานสดีว.เซอร์ ก็ควรจะอยู่ในขีดจำกัดอันนี้

3.4.3 ความถี่รีโซแนนซ์ (ความถี่ที่ตัวมัน ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด) ของทรานสดีว.เซอร์ 40 KHz สำหรับตัวส่ง และมีแถบความถี่ประมาณ 50 KHz สำหรับตัวรับ จะเห็นได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าของตัวส่งอยู่เล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

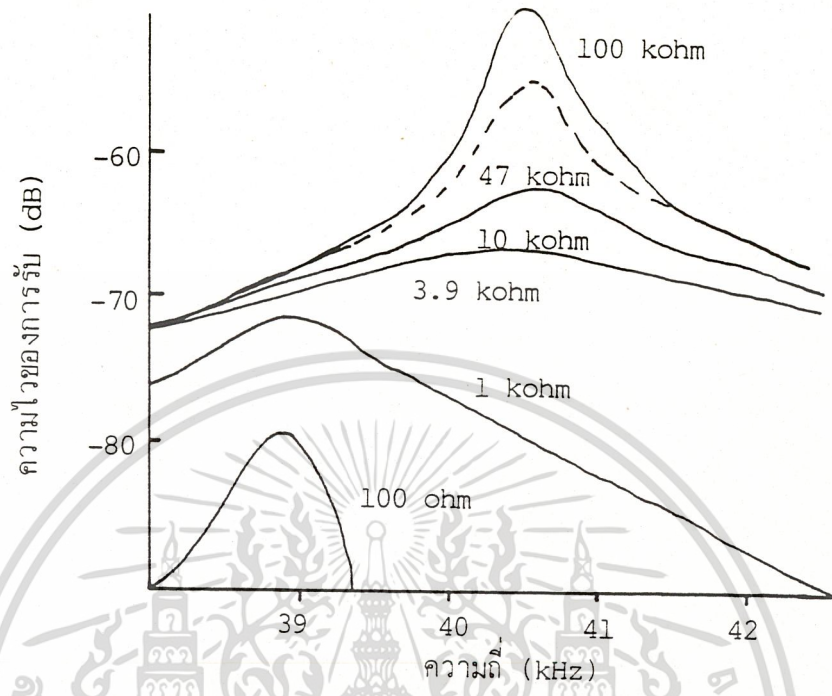
3.4.4 อุณหภูมิใช้งานของตัวทรานสดีว.เซอร์ควรอยู่ภายในช่วง 20 ช ถึง 35 ช ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ ที่ตำแหน่งแบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 dB ในทำนองเดียวกัน ถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 30 องศา ความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมา ก็จะลดลงไปประมาณ 10 dB ด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการใช้งานที่เป็นการควบคุมระยะไกลในที่โล่งแจ้ง จึงควรพยายามให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงเข้าหากันให้มากที่สุด อย่างไรก็ตามในกรณีที่อยู่ในห้องอาจเบี่ยงเบนจากกันได้มากหน่อย เพราะคลื่นเสียงอัลตราโซนิกสามารถสะท้อนกับกำแพง พื้น และวัตถุที่อยู่ภายในห้อง ทำให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทาง

3.4.6 ในกรณีที่ใช้งานตัวรับจะต้องมีตัวต้านทานต่อขานกับตัวรับ เพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด ตามปกติแล้วตัวต้านทานตัวนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วงจาก 10 Kohms , 100 Kohms จากการทดลองพบว่าถ้าเปลี่ยนโหลดจาก 100 Kohms มาเป็น 10 Kohms ความไวจะลดลงประมาณ 10 dB แต่แถบความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ค่าความต้านทานต่ำลงไปอีก ความถี่รีโซแนนซ์จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหลดที่มีค่าความต้านทานสูงกว่าเล็กน้อย

3.4.7 ตามปกติแล้วเราสามารถนำเอาตัวส่งและรับมาใช้งานแทนกันได้ ในการใช้งานส่วนใหญ่ และตัวส่งหรือตัวรับของยี่ห้อใด รุ่นใด ก็สามารถใช้แทนกันได้ ในงานส่วนใหญ่ขอเพียงแต่ให้มีความถี่เรโซแนนซ์เดียวกันเท่านั้นเอง อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจต้องเปลี่ยนแปลงค่าตัวต้านทานสมมุทธ์ทางด้านไฟส์ลับ เพื่อให้ลักษณะผลตอบสนองทางความถี่สอดคล้องกันของเดิม ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงผลการทดลองตัวรับค่านึง โดยลองเปลี่ยนโหลดเป็นค่าต่าง ๆ กัน แล้วป้อนคลื่นเสียงความถี่ต่าง ๆ เข้ามา

เมื่อได้ทราบคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ควรรู้ในทางปฏิบัติแล้ว ก็มาถึงวงจรใช้งานจริง ๆ กันเสียที แต่เพื่อความสะดวก จะแยกออกเป็น 3 หัวข้อใหญ่ ๆ คือ วงจรภาคส่ง ซึ่งจะอธิบายว่า จะป้อนสัญญาณแรงดันให้แก่ทรานซิสเตอร์ตัวส่งอย่างไรจึงจะทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิคออกไปในอากาศ วงจรภาครับ ซึ่งจะอธิบายวิธีการนำเอาสัญญาณแรงดันที่ได้จากทรานซิสเตอร์ตัวส่งมาขยายและใช้งานได้อย่างไร สำหรับหัวข้อสุดท้ายคือการใช้งาน จะอธิบายวิธีการเอาวงจรพื้นฐานทั้งหลายที่ได้อธิบายตั้งแต่ตอนต้นมารวมกันเพื่อเอาไปใช้งานจริง ๆ ตลอดจนวงจรพิเศษอื่น ๆ ที่ใช้อุลตราโซนิคทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ

ซึ่งในหัวข้อต่อไปนี้จะยกตัวอย่างการใช้งานอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์บางอย่างที่ง่าย ๆ มาให้ดู

3.5.1 เครื่องควบคุมระยะไกล (Remote Control) การใช้งานอุลตราโซนิคที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายที่สุด ข้อสำคัญก็คือ อย่าลืมนะว่า ทรานสดิวเซอร์ตัวรับและตัวส่งจะต้องมีความถี่โซแนนซ์เดียวกัน อย่างเช่น ถ้าใช้ตัวส่งเป็นความถี่ 40 KHZ ด้วยตัวรับก็จะต้องเป็นความถี่ 40 KHZ ด้วย

เมื่อเลี้ยงตัวส่งในเครื่องส่งให้ตรงกับตัวรับในเครื่องรับ แล้วกดสวิทช์ให้เครื่องส่งส่งคลื่นอุลตราโซนิคออกไป เครื่องรับซึ่งอยู่ห่างไกลออกไปก็จะรับสัญญาณอุลตราโซนิคและสั่งงานรีเลย์ให้หน้าสัมผัสไปควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าอีกทีหนึ่งแต่เพื่อให้ขนาดสัญญาณที่ออกจากตัวรับมีค่าสูงสุดจะต้องปรับแต่งความถี่ของวงจรในภาคส่งให้เหมาะสม โดยเอาเครื่องรับและเครื่องส่งมาวางชิดกัน และหันหน้าชนกัน หาโวลท์มิเตอร์ (หรือถ้าใช้ออสซิลโลสโคปก็ยิ่งดี) มาวัดขนาดสัญญาณที่ออกจากภาคขยายในเครื่องรับ แล้วปรับแต่งความถี่ของเครื่องส่งจนขนาดสัญญาณที่วัดได้มีค่าสูงสุดสร้างเสร็จใช้งานแล้วก็ไม่ต้องกลัวผิดกฎหมายเรื่องความถี่ เพราะวงจรพวกนี้ส่งคลื่นเสียงออกไป ไม่ได้ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไป

โดยทั่วไปแล้วรัศมีการควบคุม จะอยู่ในช่วงประมาณตั้งแต่ 5 เมตร ขึ้นไป จนถึง 20 เมตร ในที่โล่งแจ้ง ขึ้นอยู่กับอัตราขยายของภาคขยายที่ใช้ในเครื่องรับ โดยจะต้องเลี้ยงตัวรับและตัวส่งให้ตรงกันโดยประมาณ แต่ถ้านำมาใช้ในห้องเล็ก ๆ แม้ว่าจะเลี้ยงตัวส่งเบนไปจากตัวรับมาก ๆ ก็อาจทำให้ตัวรับทำงานได้ ทั้งนี้เพราะคลื่นเสียงอุลตราโซนิคที่ส่งออกไปสามารถสะท้อนกับผนังหรือวัตถุแข็งแรงภายในห้องแล้วไปถึงตัวรับได้

เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เราควบคุมส่วนใหญ่มักจะเป็นพวกวิทยุ โทรทัศน์ แต่บางคนในต่างประเทศ เขาเอาตัวส่งไปติดไว้ที่กันชนด้านหน้าของรถยนต์ แล้วเอาตัวรับไปติดไว้ที่ประตูบ้าน พอขับรถกลับมาถึงบ้าน ชีก็เลยลงไปเปิดประตูเองก็กดสวิทช์ให้เครื่องส่งทำงาน เพื่อสั่งให้มอเตอร์ทำงานเปิดประตูบ้านเองเป็นระยะเวลาหนึ่งให้นานพอที่จะขับรถเข้าไปได้ทัน แล้วจึงค่อยปิดประตูเองโดยอัตโนมัติ มีข้อควรรู้อยู่อย่างหนึ่ง คือการติดตั้งมือ การตบมือ การกระทบระหว่างโลหะกับวัตถุแข็ง เสียงขยี้กระต่าย ก็สามารถสร้างคลื่นอุลตราโซนิค ซึ่งมีแถบความถี่กว้าง ๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมาได้ ถ้าเสียงนั้นดังพอหรือเกิดขึ้นใกล้กับตัวรับ ก็อาจทำให้เครื่องรับทำงานได้เหมือนกัน ดังนั้นในการใช้งานจึงต้องปรับแต่งความไวของเครื่องรับไม่ให้ไวจนเกินไปนัก และควรเลือกตำแหน่งใช้งานให้ไม่ถูกรบกวนจากเสียงเหล่านี้ อย่างไรก็ตามบางคนกลับเอาข้อเสียนี้มาใช้งานเลย คือไม่สร้างเครื่องส่ง แต่ใช้เสียงตบมือหรือตีนิ้วมาส่งงานเครื่องรับเลยเพียงแต่ว่าจะทนเจ็บมือหรือเมื่อยนิ้วมือได้ไม่นานเท่านั้นเอง เพราะต้องเสียงดังพอสมควร ไม่อย่างนั้นก็ต้องอยู่ไม่ห่างจากเครื่องรับมากนัก

3.5.2 เครื่องฝึกลำโพง เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า สุนัขนั้นไวต่อเสียงความถี่สูงในย่านประมาณ 20 KHz จนถึง 25 KHz เราจึงอาจสร้างเครื่องส่งตามวงจรใด เพื่อสร้างความถี่ในย่านนั้นออกมาเพื่อใช้สำหรับการฝึกลำโพง เช่น ฝึกลำโพงขึงวงกลับมาหาเจ้าของ เมื่อได้ยินเสียงอุลตราโซนิกความถี่สูง

3.5.3 เครื่องวัดการรั่ว เนื่องจากคลื่นอุลตราโซนิกไม่สามารถผ่านทะลุวัตถุแข็งออกมาได้ วันแต่จะมีช่องเปิด เราจึงสามารถนำเอาอุลตราโซนิกมาใช้ตรวจหาการรั่วของภาชนะปิดทึบ หรือวัตถุพวกท่อโลหะได้ ตัวอย่างง่าย ๆ เช่น ถ้าจะหาว่ารถยนต์มีตรงไหนรั่วให้หน้าเข้ามาได้บ้าง ก็อาจเอาเครื่องส่งไปตั้งวางไว้ในรถยนต์ ปิดกระจกให้หมด คลื่นอุลตราโซนิกจะสะท้อนไปมาภายในตัวรถจนเต็มไปหมด ถ้ามีรูรั่ว หรือรอยรั่วตรงไหน คลื่นอุลตราโซนิกก็จะรั่วออกไปภายนอกตรงบริเวณนั้น เราก็เพียงแค่เอาเครื่องรับซึ่งมีภาคเอาต์พุตเป็นมิเตอร์ มาวนไล่ไปตามรอบ ๆ ตัวรถด้านนอก ถ้าเข็มมิเตอร์ซึ่งผู้ผลิตปกติในบริเวณใดก็แสดงว่ามีรูรั่ว หรือยางที่ซีลบริเวณนั้นไม่ดี เป็นต้น

3.5.4 เครื่องฟังเสียงอุลตราโซนิก ในโลกของเรามีเสียงอุลตราโซนิกเกิดขึ้นอยู่โดยทั่วไป เพียงแต่เราไม่ได้ยินอย่างเช่นเสียงจากแมลงตัวเล็ก (มีความถี่ต่ำกว่าประมาณ 90 KHz ลงไป) เสียงจากค้างคาว (ประมาณ 25 KHz ขึ้นไปจนถึง 160 KHz) เสียงลูกหนูอายุไม่กี่วันคุยกับแม่ เสียงไอน้ำรั่วจากท่อ เสียงที่เราเป่าลมออกมาจากรั้วฟัน เสียงถูมือ เป็นต้น การฟังและศึกษาปรากฏการณ์เหล่านี้ เป็นงานอดิเรกที่เพลิดเพลินอีกอย่างหนึ่งในต่างประเทศ เครื่องฟังเสียงอุลตราโซนิกที่มีขายกัน มักจะใช้ไมโครโฟนพิเศษที่รับความถี่สูง ๆ ได้แก่ ไมโครโฟนพวกนี้มีราคาแพงมาก อย่างไรก็ตามเราสามารถนำเอาอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ราคาถูก ๆ มาใช้ฟังเสียงอุลตราโซนิกได้ เพียงแต่ให้ออมรับกันก่อนว่าแถบความถี่ที่รับฟังได้จะแคบไปบ้าง

วิธีการทำให้ได้ยินเสียงอุลตราโซนิก เรียกว่าเฮเทอโรไดนา (Heterodyne) อย่างที่ใช้กันในเครื่องรับวิทยุ คือมีวงจรออสซิลเลเตอร์ภายในเครื่องรับ ออสซิลเลเตอร์ทำหน้าที่สร้างความถี่สูงที่มีค่าใกล้เคียง (สูงกว่าหรือต่ำกว่าเล็กน้อย) กับความถี่รีโซแนนซ์ของตัวรับที่ใช้แล้วมาบีท (Beat) กับสัญญาณอุลตราโซนิกที่เครื่องรับ รับเข้ามา ทำให้เกิดสัญญาณใหม่ที่มีความถี่เท่ากับผลต่างระหว่างสัญญาณทั้งสองซึ่งช่วงความถี่นี้อยู่ในช่วงที่มนุษย์ได้ยิน เราก็จะได้ยินเสียงออกมาทางลำโพงของภาคขยายเสียงภายในเครื่องรับ พูดกันง่าย ๆ ว่า จุดมุ่งหมายของการใช้เทคนิคก็คือ พยายามลดความถี่ของสัญญาณอุลตราโซนิกลงมาเป็นความถี่ที่มนุษย์ฟังได้ ถ้าความถี่ของสัญญาณจากออสซิลเลเตอร์น้อยกว่าความถี่ที่เข้ามามาก ๆ ก็จะได้ยินเสียงความถี่สูงขึ้น

3.5.5 เครื่องเตือนภัย (จากขโมย) อย่างง่าย การใช้งานอุลตราโซนิกที่นิยมกันมากอีกอย่างหนึ่ง คือ นำมาใช้สังเกตว่ามีผู้บุกรุกเข้ามาหรือเปล่าวิธีที่ง่ายที่สุด คือ สร้างเครื่องรับและเครื่องส่งขึ้นมาเอาทั้งสองเครื่องนี้วางอยู่คนละฟากของทางเดินที่คิดว่าผู้บุกรุกจะต้องผ่านเข้ามา เช่น ใกล้ประตูหรือบริเวณทางเดินขึ้นบันได เป็นต้น ให้ตัวรับและตัวส่งอยู่ตรงกันและหันหน้าเข้าหากัน เมื่อมีผู้บุกรุกเดินเข้ามาตัดลำคลื่นอุลตราโซนิกภาคเอาท์พุทในเครื่องรับจะไปส่งงานให้รีเลย์ไปควบคุมให้หลอดไฟในห้องสว่างขึ้นมาก็ได้ วิธีนี้ดีกว่าเครื่องเตือนภัยที่ใช้ลำแสงไฟ เพราะไม่มีแสงให้เห็น และเสียงที่ส่งออกมาก็ไม่มีใครได้ยิน ข้อสำคัญคือ ควรเลือกวงจรภาคขยายในเครื่องรับที่มีความไวไม่มากนัก เพื่อจำกัดรัศมีที่ทำการให้อยู่ในระยะและทิศทางที่ต้องการเท่านั้น

3.5.6 เครื่องเตือนภัย (จากขโมย) แบบดอปเปลอร์เอฟเฟ็ค แม้ว่าวงจรเตือนภัยอย่างง่าย ซึ่งจะง่ายจริง ๆ สมชื่อ แต่ก็ยังมีขีดจำกัดด้านการใช้งาน เพราะต้องเอาให้ถูกว่าขโมยจะเข้ามาทางไหน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเครื่องเตือนภัยที่ใช้หลักการดอปเปลอร์เอฟเฟ็ค (Doppler Effect) ขึ้นมา แบบใหม่นี้จะสร้างเครื่องรับและเครื่องส่งไว้ในเครื่องเดียวกัน ใช้ไฟเลี้ยงจากเร็คทูลิเตอร์ชุดเดียวกัน แล้วให้ตัวรับและตัวส่งหันหน้าออกไปทางเดียวกัน คลื่นเสียงอุลตราโซนิกที่ออกจากตัวส่งจะสะท้อนไปสะท้อนมาจนเต็มห้องที่ต้องการจะป้องกัน เครื่องรับจะรับคลื่นอุลตราโซนิกที่สะท้อนกลับเข้ามานี้ แต่ตัวเครื่องรับจะออกแบบมาเป็นพิเศษ คือถ้าได้รับคลื่นความถี่สูงย่านอุลตราโซนิกเข้ามา ภาคเอาท์พุทจะไม่ทำงาน แต่ถ้ามีวัตถุเคลื่อนไหวในห้องนั้น เช่น เอกสารบิน เอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับกวาดใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนภาคให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า มผู้บุกรุกเดินเข้ามา ความถี่ที่กระจายทั่วไปในห้องจะมีบางสิ่งที่เคลื่อน (อาจสูงขึ้นหรือต่ำลงก็ได้) ไม่ว่าจะเดินไป ฟังสน อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่แจ้งที่มีการนำไปใช้

ไปจากความถี่เดิม ทำให้สัญญาณที่ตัวรับ รับเข้ามามีสัญญาณที่เพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกับที่เกิดขึ้นในเครื่องฟังเสียงอุลตราโซนิก จึงเกิดมีความถี่ผ่านวงจรขยาย เข้าไปสั่งงานให้รีเลย์หรือ วงจรภาคเอาต์พุตที่ออกแบบมาทำงานได้ ส่วนความถี่อื่น ๆ ที่อยู่ในย่านอุลตราโซนิกจะถูกกรองทิ้งไปหมด แต่ถ้าวัตถุนั้นเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ ๆ สัญญาณที่ออกมาอาจจะมีค่าที่ต่ำมาก (เช่นต่ำกว่า 20 Hz) วงจรภาคเอาต์พุตอาจไม่ทำงาน

ข้อสำคัญที่สุดในการใช้งานวงจรเตือนภัยแบบนี้ คือ ไม่ควรตั้งให้ไวจนเกินไปนัก มิฉะนั้นลมพัดหรือกระดาศาหล่นแผ่นดิน ก็อาจปลุกให้ต้องตื่นจากการนอนหลับฝันดี ถ้าจะให้ดีแล้ว ควรใช้ในห้องที่ปิดทึบหมด และเป็นห้องที่แน่ใจว่าจะไม่มีสิ่งใดเคลื่อนไหวในยามที่เครื่องทำงาน เช่นกระดิ่งโทรศัพท์ และแรงดันของไฟเลี้ยงควรจะมีวงจรเร็คทูลิเตอร์ควบคุมแรงดันให้คงที่ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

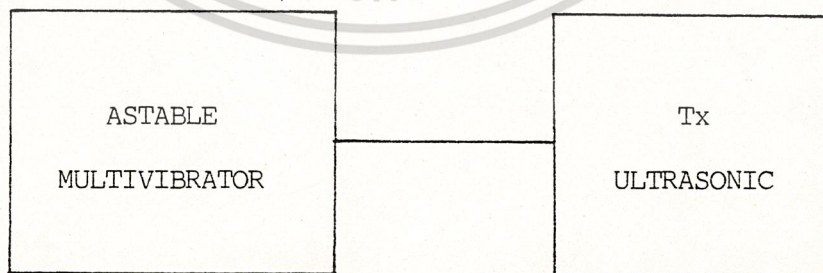
บทที่ 4

ภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิค

จากบทที่ผ่านมา เราทราบว่าตัวอัลตราโซนิคจะทำงานได้ ก็ต่อเมื่อมีวงจรที่สามารถกำเนิดคลื่นความถี่เท่ากับความถี่ของตัวทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ในการทดลอง เราใช้ตัวทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ความถี่ 40 KHz ซึ่งมีขายโดยทั่วไป วัตถุประสงค์ของบทนี้ เพื่อทำการออกแบบ (Design) และ วิเคราะห์ (Analysis) การส่งคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) ตลอดจนทำการวัดและทดสอบตัวรับ-ส่งคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) เพื่อใช้ในการออกแบบโครงการต่อไป

การออกแบบภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic)

จากที่กล่าวมาข้างต้น เราต้องมีตัวกำเนิดคลื่นสี่เหลี่ยม ความถี่ 40 KHz ป้อนเข้าที่ตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) ทรานสดิวเซอร์ วงจรที่สามารถกำเนิดสี่เหลี่ยมความถี่ 40 KHz ได้ง่ายก็คือ IC 555 Timer ต่อแบบ Astable Multivibrator และป้อนเข้า Ultrasonic Transducer ภาคส่ง เราสามารถที่จะแสดง Block Diagram ของภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดง Block Diagram ของภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic)

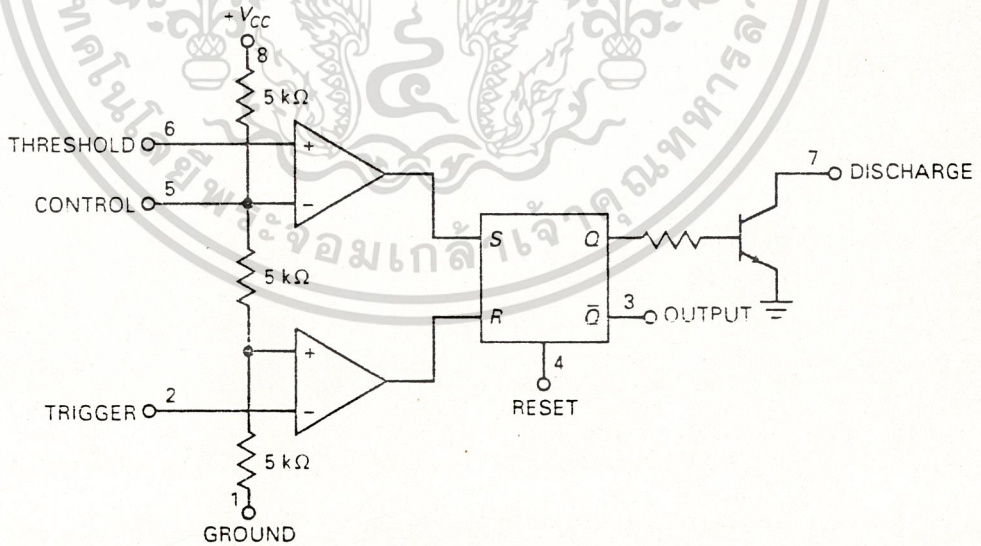
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IC 555 TIMER

จากการทดลอง เราใช้ IC 555 TIMER ซึ่ง IC 555 TIMER สามารถต่อได้ 2 แบบ ขึ้นอยู่กับการใช้งาน

1. แบบโมโนสเตเบิล (Monostable Multivibrator)
2. แบบอะสเทเบิล (Astable Multivibrator)

แบบโมโนสเตเบิล (Monostable Multivibrator) หรือวงจรหน่วงเวลา เราจะกล่าวในภายหลังในภาคของการหน่วงเวลา(Delay Time) ในบทที่ 5 ส่วนแบบอะสเทเบิล (Astable Multivibrator) เราใช้ในภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ซึ่งสามารถผลิตคลื่นความถี่ 40 KHz ออกมาได้เอง ไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณมาทริก เหมือนแบบโมโนสเตเบิล (Monostable Multivibrator)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.2 แสดงวงจรภายใน IC 555 Timer
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างภายใน IC 555 Timer

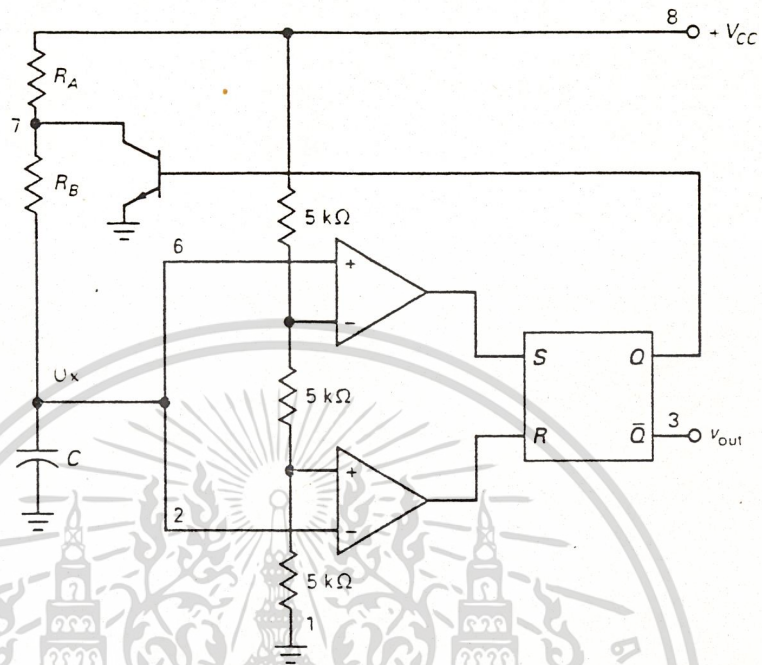
พิจารณาในรูปที่ 4.2 ถ้าเราสังเกตดูจะเห็นได้ว่า IC 555 Timer นี้ จะผสม อุปกรณ์ 2 ประเภทเข้าไว้ด้วยกัน นั่นคืออุปกรณ์ประเภทอนาล็อก และอุปกรณ์ดิจิทัล ซึ่งก็คือ ออปแอมป์ (op-amp) ทรานซิสเตอร์ ความต้านทานและ RS Flip Flop ตามลำดับ จาก ตารางค่า Truth Table ของ RS Flip Flop เพื่อใช้ในการวิเคราะห์วงจรต่อไป

จากวงจรภายใน จะประกอบด้วย ความต้านทาน 3 ตัว เป็นตัวแบ่งแรงดัน เพื่อ เป็นแรงดันอ้างอิงให้กับออปแอมป์ และทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) โดย ที่ขา ทริกเกอร์ จะมีแรงดันอ้างอิง $+V_{CC}/3$ และที่ขา Threshold จะมีค่าเท่ากับ $+2V_{CC}/3$ ($+V_{CC}$ อยู่ในช่วง 5 ถึง 15 โวลต์) ซึ่งเราจะแก้ไขไม่ได้เพราะอยู่ในตัวไอซี และมี ออปแอมป์เป็นตัวเปรียบเทียบตามเงื่อนไขที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งจะส่งเป็นสัญญาณดิจิทัล คือเทียบ เป็น "0" กับ "1" เพื่อเข้า RS Flip Flop ต่อไป ซึ่ง RS Flip Flop ตัวนี้จะกำหนด สภาวะทาง output โดยส่งออกทาง Q ออกไปยัง output ที่ขา 3 และ ขา 7 จะ เป็นขาที่มีชื่อว่า discharge เพื่อกำหนดการเปลี่ยนแปลงด้วยอุปกรณ์ภายนอก เช่นตัวคาปาซิเตอร์ เป็นต้น โดยจะส่งสัญญาณลจิกผ่านจาก Q และมาผ่านทรานซิสเตอร์ Q_1 ซึ่งจะทำหน้าที่เป็น สวิตช์ในการเลือกว่าจะ Charge or Discharge ส่วนขา 5 (Voltage Control) และ ขา 4 รีเซท (Reset) มักจะไม่ค่อยได้ใช้ ปกติขา 4 จะต่อเข้ากับ $+V_{CC}$ และขา 5 จะต่อกับคาปาซิเตอร์ค่าต่ำ ๆ ลงกราวด์ไป (ในโหมดโมโนสเตเบิล) และปล่อยลอยไว้ในโหมด อะสเตเบิล

การออกแบบวงจร IC 555 Timer (Astable Multivibrator)

สำหรับวงจร Astable ไม่ต้องมี input ซึ่งจะแตกต่างจากวงจรโมโนสเตเบิล (Monostable) และยังให้ output ออกจากเป็นพัลส์อย่างต่อเนื่อง เราอาจจะเรียกววงจร นี้ว่าเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ก็ได้ ส่วนโครงสร้างการต่อ IC 555 Timer แบบ Astable Multivibrator แสดงดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงการต่อ IC 555 Timer แบบ Astable Multivibrator

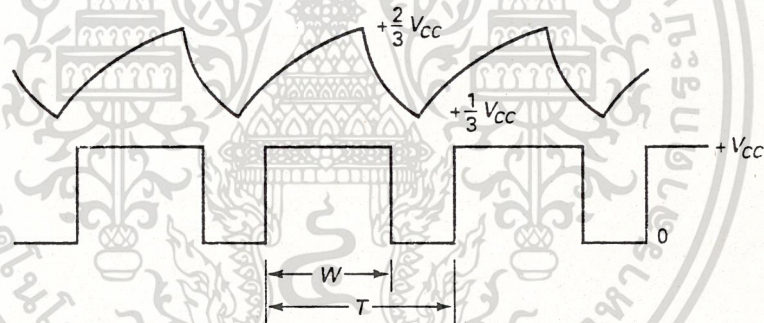
S	R	Q	\bar{Q}
0	0	Q	\bar{Q}
0	1	0	1
1	0	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ตาราง Truth Table ของ RS Flip-Flop
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีตแบบลงเนื้อหา และต้องยกย่องเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analysis)

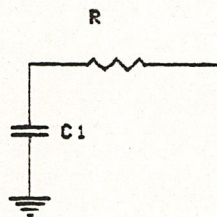
กรณีที่ 1 $V_x > 2V_{CC}/3$ เข้าขาบวกของ op-amp 1 เปรียบเทียบกับขาลบ ($2V_{CC}/3$) ทำให้ output ออก 1 ส่วน op-amp 2 ขาลบ (V_x) เปรียบเทียบกับขาบวก ($V_{CC}/3$) ทำให้ output ออก 0 ส่งผลให้ Q ออก 0 และ Q ออก 1 ทำให้ RS Flip-Flop รีเซต

กรณีที่ 2 $V_x < V_{CC}/3$ เข้าขาบวกของ op-amp 1 เปรียบเทียบกับขาลบ ($2V_{CC}/3$) ทำให้ output ออก 0 ส่วน op-amp 2 ขาลบ (V_x) เปรียบเทียบกับขาบวก ($V_{CC}/3$) ทำให้ output ออก 1 ส่งผลให้ Q ออก 1 และ Q ออก 0 ทำให้ RS Flip-Flop เซต



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟแรงดันของ output และ Capacitor

จากกรณีที่ 1 เมื่อ Q เป็น 1 ทำให้ทรานซิสเตอร์ on Capacitor เริ่ม discharge ตั้งแต่ $2V_{CC}/3$ ลดลงจนถึง $V_{CC}/3$ เมื่อ ทรานซิสเตอร์ on จะได้รูปวงจร ดังรูปที่ 4.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.5 แสดงวงจร RC
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ Circuit Analysis

$$V_C = V_f + V_n$$

$$V_f = 0$$

$$V_C(t) = Ae^{-t/RC}$$

เมื่อ $t = 0$

$$2V_{CC}/3 = A$$

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

หา $(T-W)$, $R = R_B$, $t = (T-W)$ และ $V_C(t) = V_{CC}/3$

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

แทนค่า $V_{CC}/3 = (2/3)V_{CC}e^{-(T-W)/RC}$

$$1/2 = e^{-(T-W)/RC}$$

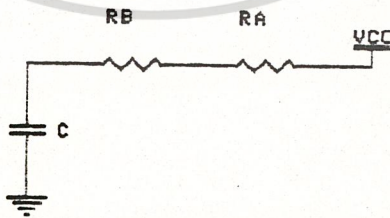
$$2 = e^{(T-W)/RC}$$

$$\ln 2 = (T-W) / R_B C$$

คาบเวลา $(T-W) = R_B C \ln 2$

จากกรณีที่ 2 $V_x > V_{CC}/3$ ทำให้ทรานซิสเตอร์ off C จะเริ่ม Charge

จาก $V_{CC}/3$ ถึง $2V_{CC}/3$ ทำให้ได้วงจรดังรูปที่ 4.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.6 แสดงวงจร RC
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ Circuit Analysis หาคาบเวลา W

$$V_C = V_f + V_n$$

$$V_f = V_{CC}$$

$$V_C(t) = V_{CC} + Ae^{-t/RC}$$

ณ. $t = 0$, $V_C(t) = V_{CC}/3$

$$V_{CC}/3 = V_{CC} + A$$

$$A = V_{CC}/3 - V_{CC}$$

$$= -(2/3)V_{CC}$$

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

ณ. เวลา W , $R = (R_a + R_b)$ และ $V_C(t) = (2/3)V_{CC}$

แทนค่า $(2/3)V_{CC} = V_{CC} - (2/3)V_{CC}e^{-(W/(R_a+R_b)C)}$

$$(2/3)V_{CC}e^{-(W/(R_a+R_b)C)} = V_{CC} - (2/3)V_{CC}$$

$$(2/3)V_{CC}e^{-(W/(R_a+R_b)C)} = V_{CC}/3$$

$$1/2 = e^{-(W/(R_a+R_b)C)}$$

$$2 = e^{(W/(R_a+R_b)C)}$$

$$\ln 2 = W/(R_a + R_b)C$$

$$W = (R_a + R_b)C \ln 2$$

เราต้องการหา T

$$T = (T-W) + W$$

$$= R_b C \ln 2 + (R_a + R_b)C \ln 2$$

ดังนั้น

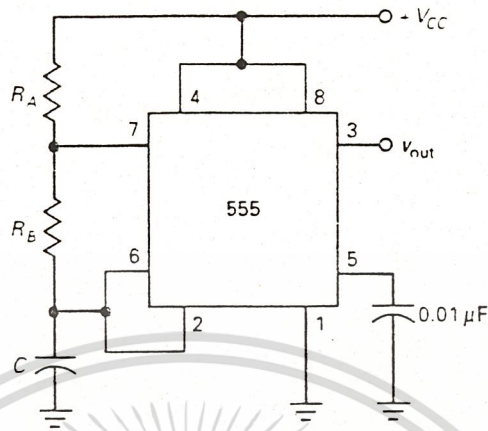
$$T = (R_a + 2R_b)C \ln 2$$

คลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic Wave) ส่งด้วยความถี่ 40 KHz $T = 1/f$

$$1/f = (R_a + R_b)C \ln 2$$

กำหนด $C = 0.0047$ F , $R_a = 820$ ohms คำนวณหาค่า $R_b = 3.4$ k

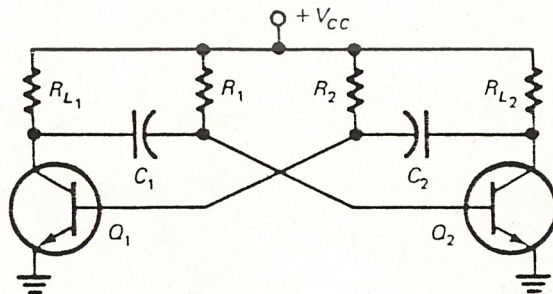
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
นำไปแทนค่า จะได้วงจรดังรูปที่ 4.7
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงวงจร IC 555 Timer และ Astable Multivibrator

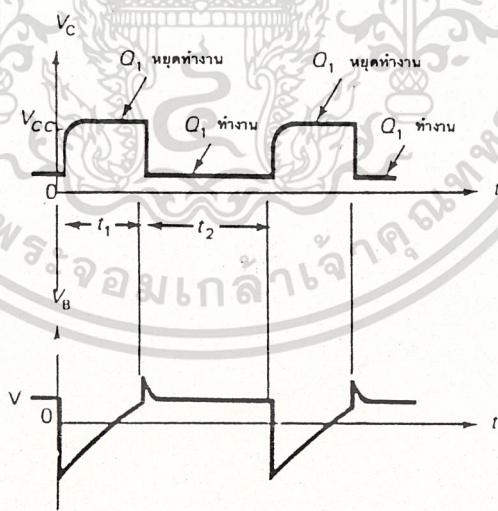
ในทางปฏิบัติจริง ๆ พอเราต่อวงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) เสร็จ
 ตอนแรก เราจะยังไม่ได้อัดคลื่นที่ 40 KHz เราสามารถทราบความถี่ที่ส่งออกมาได้ โดยใช้
 Oscilloscope แล้วทำการปรับความถี่ของคลื่นออกมานี้ให้ได้ 40 KHz โดยการปรับ R_B
 แบบ R เกือกม้า จากนั้น นำตัวทรานซิสเตอร์ มาใส่ที่ขา 3 ของ IC 555

นอกจากวงจรตั้งที่กล่าวมาแล้ว เราใช้ IC 555 Timer แล้ว เรายังมีตัวอย่าง
 วงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ต่อแบบ Astable
 Multivibrator ดังแสดงดังรูปที่ 4.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรอะอสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ที่สงวน ยกเว้นที่ มิมีเหตุตดแบลงเนื้อหาและตองอย่างองตงเจ้าของเอกสารทุกตงทมีการนำเบใช้

รูปคลื่นที่แสดงในรูปที่ 4.9 เป็นทรานซิสเตอร์ Q_1 ในรูปที่ 4.8 และรูปของ Q_2 จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่จะตรงกันข้าม สมมุติว่า Q_2 ทำงาน ดังนั้นทำให้คอลเล็กเตอร์ เป็นบวกน้อย ซึ่งก็หมายความว่าขาคอลเล็กเตอร์ของ Q_2 กำลังไปในทิศทางบวก สัญญาณนี้ ถูกคัปปลิ่งโดย C_2 ไปยังเบสของ Q_1 ซึ่งทำให้ Q_1 หยุดทำงาน ตัวเก็บประจุ C_2 จะยังคงทำให้ Q_1 หยุดการทำงานจนกว่า R_2 ยอมให้ตัวเก็บประจุ C_2 ชาร์จทางบวก ใ้ได้อย่างเต็มที่ เพื่อยอมให้ Q_1 กลับมาทำงาน วงจรทำงานแบบ RC ไทม์คอนสแตนต์และ ทรานซิสเตอร์ Q_1 ยังคงหยุดการทำงาน โดยไทม์คอนสแตนต์ของ R_2 และ C_2 ขณะที่ Q_1 กำลังทำงาน คอลเล็กเตอร์จะเป็นบวกน้อย สัญญาณที่ไปทางลบนี้ถูก คัปปลิ่งโดย C_1 ไปยังเบส Q_2 และ Q_2 หยุดการทำงาน Q_2 จะหยุดการทำงานหนึ่ง คาบเวลา ซึ่งหาได้โดย RC ไทม์คอนสแตนต์ของ R_1 และ C_2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.9 รูปคลื่นของมัลติไวเบรเตอร์ (Multivibrator)
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีหน้าที่คอยแจ้งเตือนและให้ข้อมูลของเอกสารฉบับนี้ที่มีการนำไปใช้

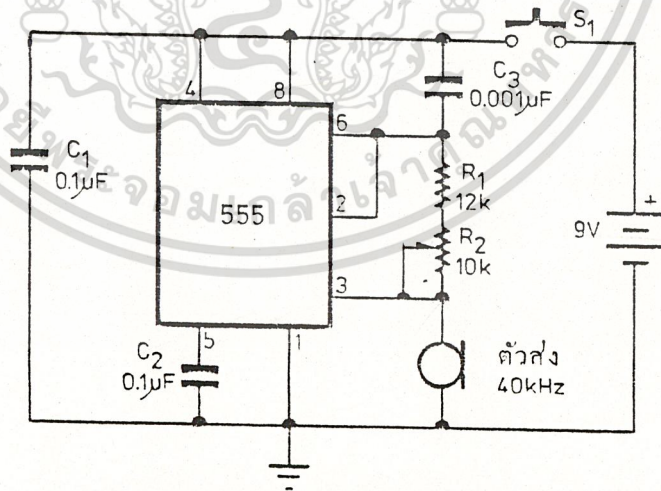
จากรูปที่ 4.9 คลื่นสี่เหลี่ยมหนึ่งลูกคลื่น จะถูกสร้างระหว่างคาบเวลาและคาบเวลา มีสองส่วนดังนี้

$$T = t_1 + t_2$$

สมการนี้ นำค่าไทม์คอนสแตนต์เท่ากับ 0.69 ไปถึงแรงดันที่เบส (ในขณะที่ทำงาน) สิ่งนี้ ทำให้เราประมาณเวลาที่ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวจะคงอยู่ในช่วงหยุดการทำงาน

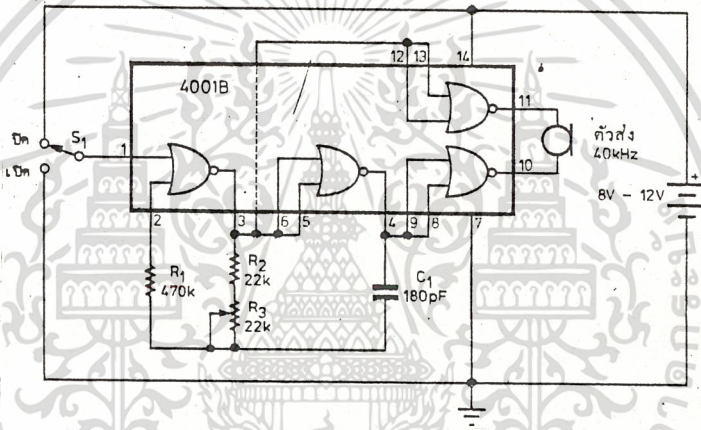
$$T = 0.69 RC$$

ถ้านำมาเป็นภาคส่ง คลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) ต้องนำตัวทรานส์ดีวเซอร์ มาต่อระหว่างขา คอลเล็กเตอร์ของ Q₁ และ Q₂ ก็สามารถเป็นภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิคได้ ในขณะนี้เราจะได้กล่าวถึงวงจรส่งคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) แบบต่าง ๆ ด้วย ดังแสดง ในรูปที่ 4.10 แสดงการใช้ IC 555 Timer ต่ออีกแบบหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.10 แสดงวงจรภาคส่ง 40 KHz ที่ใช้ IC 555 Timer อีกแบบหนึ่ง

ในรูปที่ 4.10 แสดงการใช้งาน IC 555 Timer เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบไม่มีที่หยุด (Astable Multivibrator) อีกแบบหนึ่ง โดยให้ output ขา 3 มาอยู่ในส่วนที่เกี่ยวกับการสร้างรูปคลื่นโดยตรงเลย วงจรภาคส่งที่ง่ายอีกวงจรหนึ่งคือ การใช้ไอซีดิจิทัลรวม CMOS เบอร์ 4001B ซึ่งภายในประกอบด้วยนอร์เกต (NOR GATE) 4 ตัว ซึ่งแสดงด้วยรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงวงจรภาคส่ง 40 KHz ที่ใช้ IC Digital เบอร์ 4001B

ในวงจรข้างบนนี้เอาเกต 2 ตัว มาทำเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ สร้างคลื่นรูปสี่เหลี่ยมขึ้นมา เกตอีก 2 ตัวที่เหลือ ต่อเป็นภาคบัฟเฟอร์ เพื่อกันโหลดไม่ให้มีผลต่อวงจรออสซิลเลเตอร์บัฟเฟอร์แต่ละตัวจะนำเอาสัญญาณสี่เหลี่ยม 2 สัญญาณ ซึ่งมีเฟสต่างกันมาป้อนให้แต่ละขาของตัวส่ง ในลักษณะของ Push-pull ในทำนองเดียวกับวงจรในรูปที่ 4.8 เพื่อเพิ่มขนาดสัญญาณคร่อมตัวส่งให้สูงขึ้นเป็นประมาณ 2 เท่า เมื่อเทียบกับการต่อตัวส่งเข้ากับ output ของบัฟเฟอร์เพียงตัวเดียว

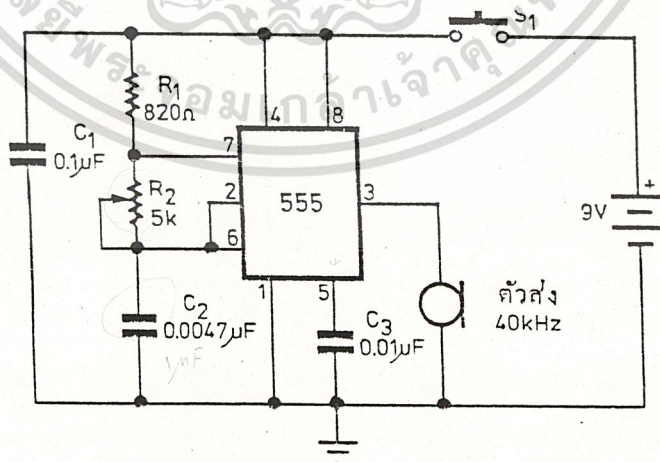
ความถี่ของการออสซิลเลตที่สามารถปรับให้เหมาะสมได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ทางเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยการปรับแต่งค่า R₃ ตามวิธีการดังที่ เคยกล่าวมาแล้ว วงจรนี้จะทำงานให้คลื่นเสียงไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่พิมพ์ขึ้น

อุลตราโซนิกออกมาต่อ เมื่อโยกสวิตช์ S_1 มาที่ตำแหน่ง "เปิด" เพื่อให้ขา 1 มีลอจิกเป็น 0 โดยการต่อลงกราวด์ อย่างไรก็ตามในภาวะ "ปิด" จะมีกระแสไหลผ่านตัวไอซี อยู่บ้าง แต่ก็น้อยมากเหลือเกินจนปล่อยทิ้งไว้ได้อย่างนั้นได้ แต่ถ้าท่านต้องการให้หยุดทำงานจริง ๆ ก็อาจคัดแปลงวงจรเล็กน้อย โดยการตัดสวิตช์ S_1 ออก ต่ออินพุทขา 1 เข้ากับอินพุทขา 2 แล้วเพิ่มสวิตช์กดติดปลายขั้ว เข้าระหว่างขา 14 กับไฟเลี้ยงวงจร เมื่อต้องการให้วงจรทำงานก็เพียงแต่กดสวิตช์ ในทำนองเดียวกับสวิตช์ในรูปที่ 4.10

จากที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นการทำงาน และการออกแบบของภาคส่งคลื่นอุลตราโซนิก (Ultrasonic) ส่วนในโครงการนี้เราใช้ IC 555 Timer แบบ Astable Multivibrator เป็นหลัก ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

การทดลองที่ 1

ภาคส่งคลื่นอุลตราโซนิก (Ultrasonic) ดังแสดงดังรูปที่ 4.12 วัด Wave Form แรงดันก่อนนำตัวทรานสดิวเซอร์มาใส่ที่ขา 3 ของ Output IC 555 Timer ดังแสดงดังรูปที่ 4.13 เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 40 KHz ตามทฤษฎี หลังจากนำตัวส่งคลื่นอุลตราโซนิก (Ultrasonic) ทรานสดิวเซอร์ วัด output wave form ได้ดังรูปที่ 4.14

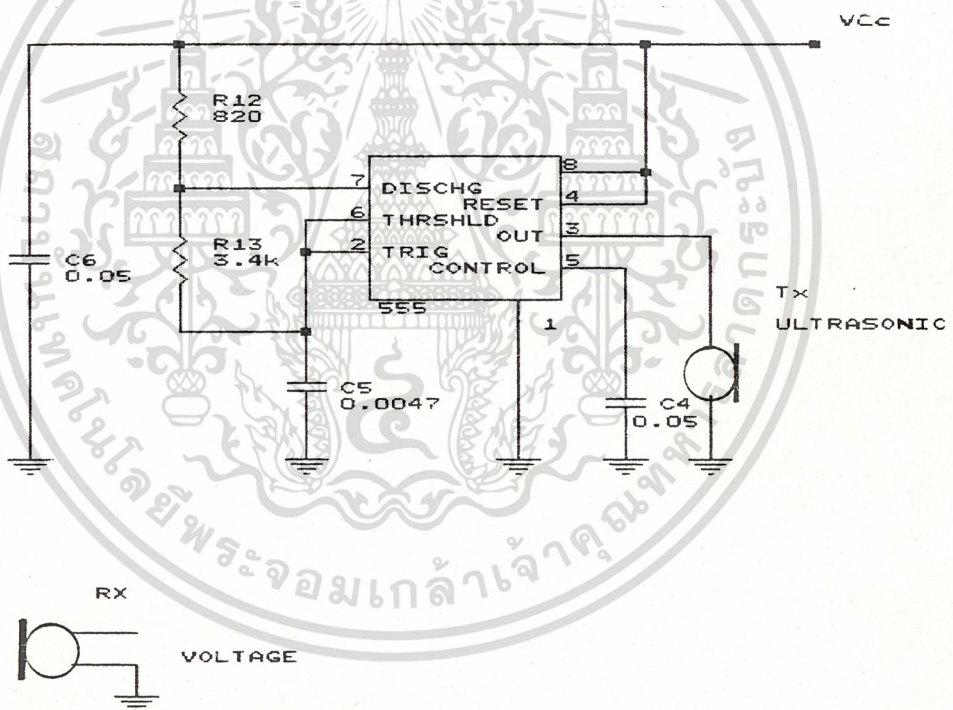


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.12 แสดงภาคส่งคลื่นอุลตราโซนิก IC 555 Timer
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อและต้องอย่างองงงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2

ทำการทดลองส่งคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) จากการทดลองที่ 1 แล้วนำ Oscilloscope วัดที่ตัวทรานสดิวเซอร์ตัวรับได้ wave form เป็นรูป sine wave ขนาดแรงดันจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับระยะทาง

จากการทดลองที่ 2 เราทำการทดลองวางตัวรับ-ส่งคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) ขนานกัน เราทำการเปลี่ยนระยะทาง วัดแรงดันที่ระยะทางต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงการทดลองตัวรับส่งคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic)

จากการทดลองเราทำการเปลี่ยนระยะทาง ค่าต่าง ๆ ทำให้เราได้แรงดันที่ต่างกัน

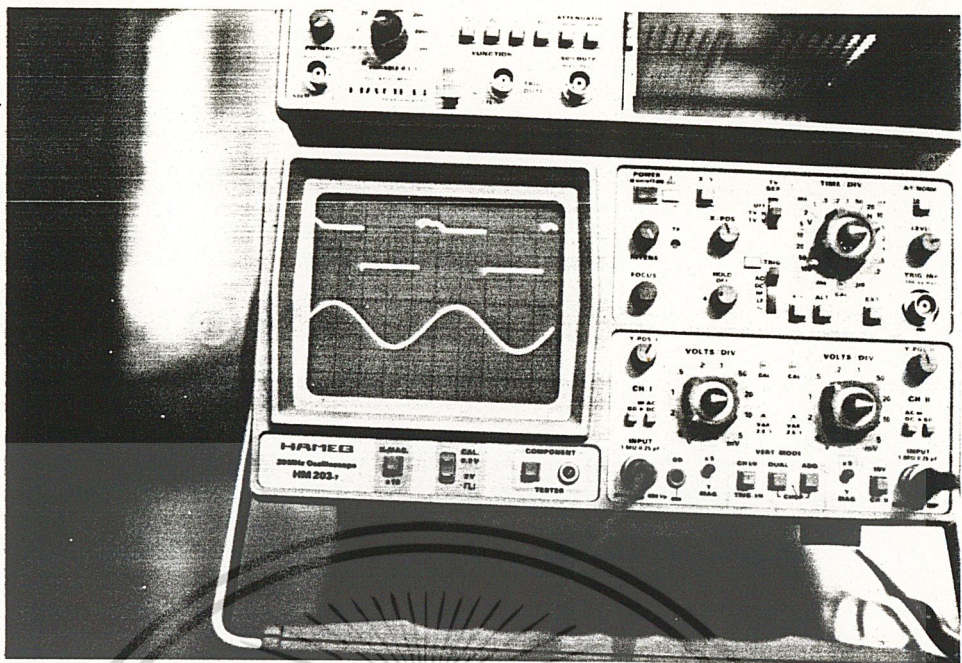
ดังแสดงตารางแสดงค่าระยะทางกับแรงดันที่ตัวรับที่ได้จากการทดลอง และนำไปพล็อตกราฟ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับแรงดันที่ตัวรับดังรูป ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าระยะทางกับแรงดันที่ตัวรับ

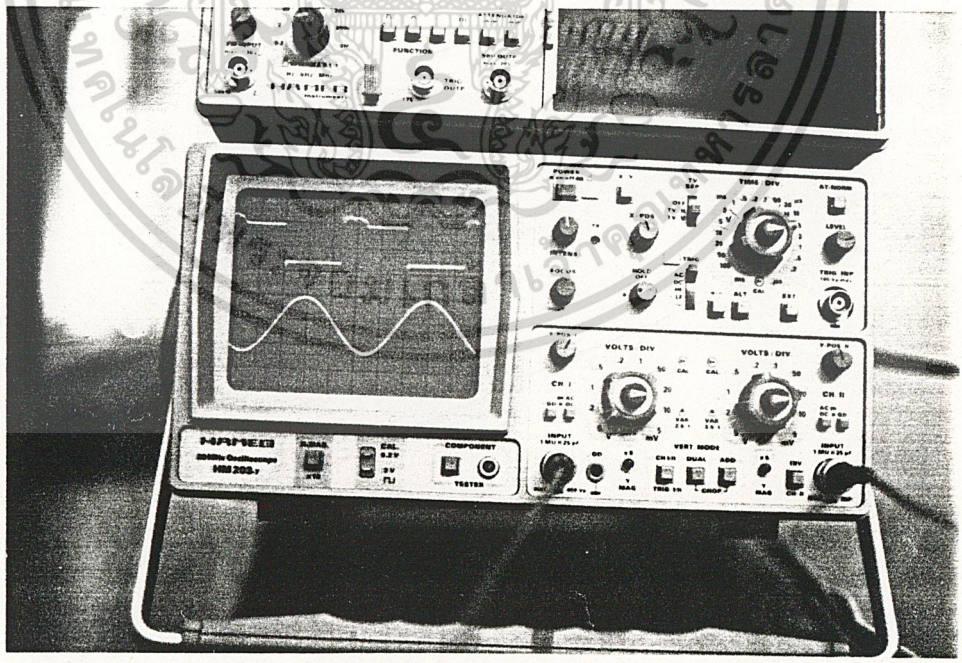
ระยะทาง (cm)	แรงดันที่ตัวรับ (v)
2	2
3	1.2
4	1
5	0.75
6	0.7
7	0.5
8	0.4
9	0.4
10	0.35
15	0.3
20	0.3
25	0.25
30	0.15

จากตาราง แสดงให้เห็นว่าเมื่อวางตัวรับส่งคลื่นอัลตราโซนิกขนานกัน ที่ระยะทาง 2 cm วัดแรงดันที่ตัวรับได้ 2 V ถ้าระยะทางห่างกัน 6 cm วัดแรงดันที่ตัวรับได้ 0.7 V ที่ระยะทาง 30 cm วัดแรงดันที่ตัวรับได้ 0.15 V ดังนั้นจะพบว่าถ้าระยะห่างออกไป แรงดันที่รับได้จากตัวรับคลื่นอัลตราโซนิกก็จะน้อยลง

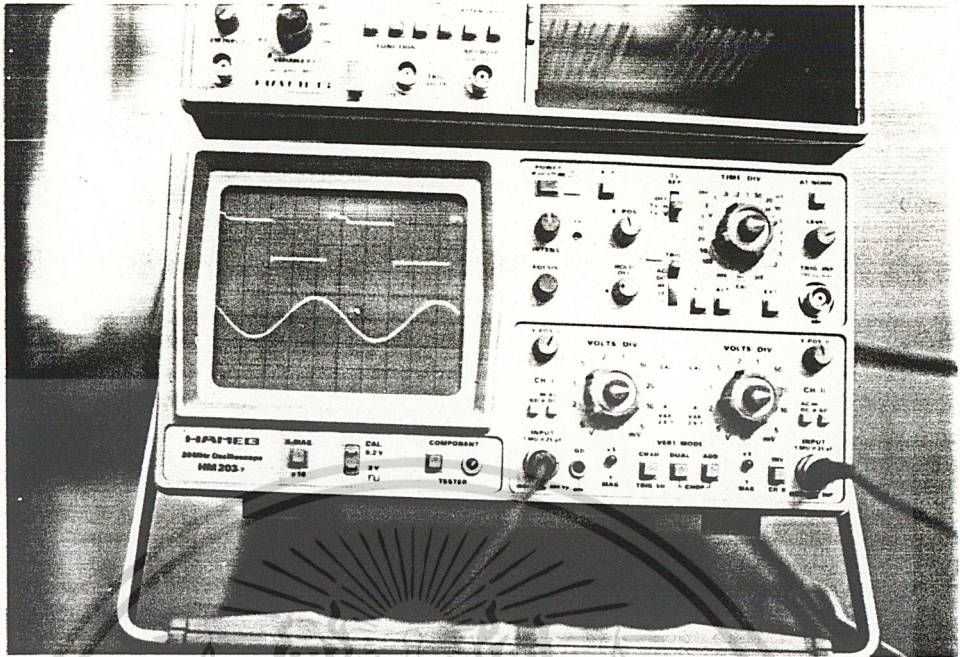
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



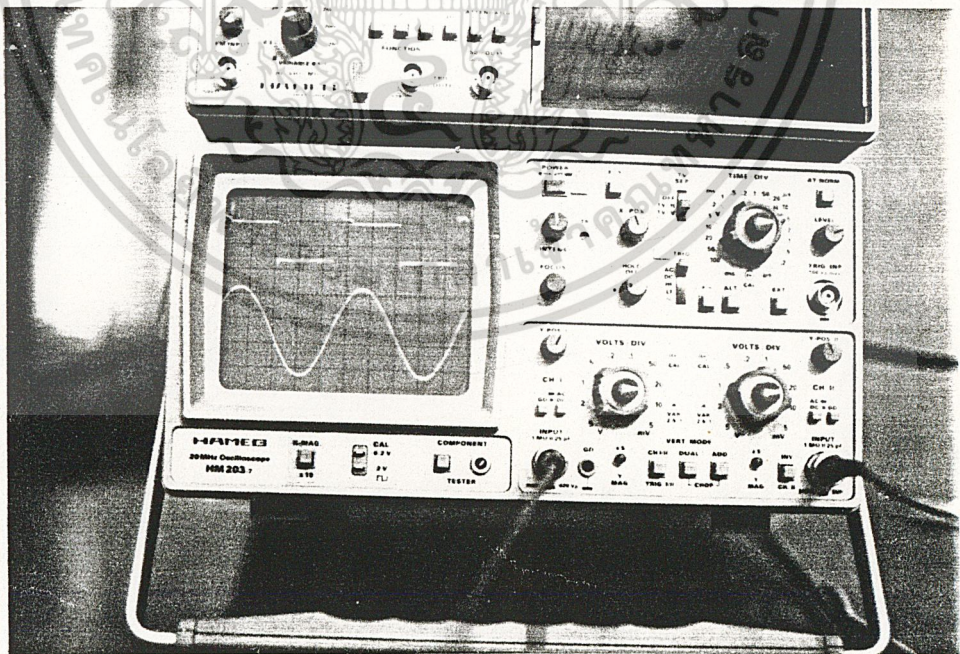
รูปที่ 4.16 แสดง wave form ที่วัดได้จากตัวรับระยะ 4 cm วัดแรงดันได้ 1 V



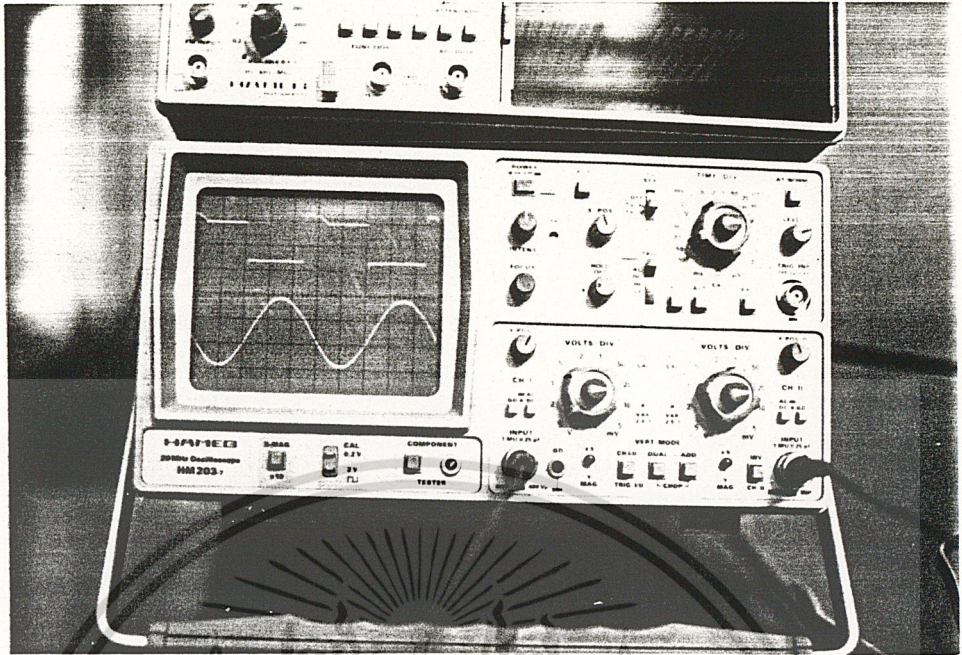
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.17 แสดง wave form ที่วัดได้จากตัวรับระยะ 6 cm วัดแรงดันได้ 0.7 V
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกทางทามมเหตตแปลงเนื้อหาและตองอย่างองงเงาของเอกสารทุกครงทมิกรนาเบเซ



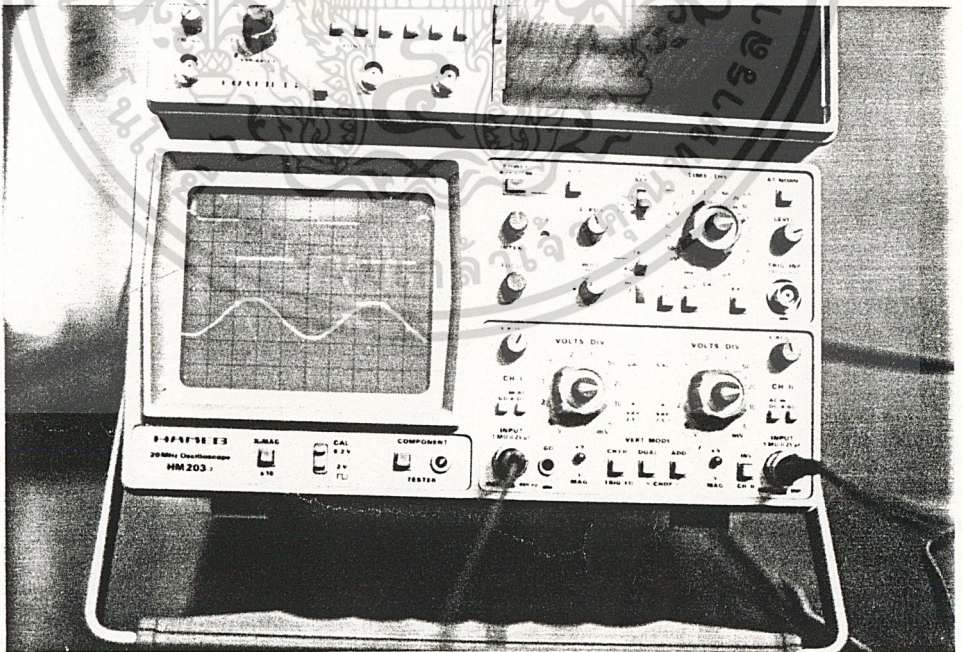
รูปที่ 4.18 แสดง wave form ที่วัดได้จากตัวรับที่ระยะ 8 cm วัดแรงดันได้ 0.4 V



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.19 แสดง wave form ที่วัดได้จากตัวรับที่ระยะ 10 cm วัดแรงดันได้ 0.35 V
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานที่ไม่ถูกต้อง



รูปที่ 4.20 แสดง wave form ทวัดได้จากตัวรับที่ระยะ 15 cm วัดแรงดันได้ 0.3 V



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.21 แสดง wave form ทวัดได้จากตัวรับเมื่อระยะทางออกไปมาก
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่หมอบีเห็นแต่แบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

หลักการงานและออกแบบ

จากบทที่ผ่านมา เราได้ทำการศึกษาภาคส่งคลื่นอุลตราโซนิค (Ultrasonic) จะทำการทดลองต่าง ๆ ส่วนในบทนี้ เราจะทำการศึกษาออกแบบเครื่องเปิด-ปิด น้ำอัตโนมัติ เครื่องเป่าลมร้อนมืออัตโนมัติ และจะกล่าวถึงหลักการงานต่าง ๆ ของโครงงาน ส่วนการออกแบบ เราจะกล่าวหลังจากอธิบาย หลักการงานแล้วดังได้จะกล่าว ส่วนแรกก่อนคือ เครื่องขับเคลื่อนน้ำอัตโนมัติ

เครื่อง เปิด-ปิดน้ำอัตโนมัติคือ ส่วนการออกแบบการประยุกต์ใช้งาน อุลตราโซนิค (Ultrasonic) จุดประสงค์ของการนำไปใช้งานในห้องน้ำ เพื่ออำนวยความสะดวกในการเปิดปิดน้ำอัตโนมัติ หลังจากการใช้งาน โดยใช้ตัวรับ-ส่งคลื่นอุลตราโซนิค (Ultrasonic) ในการเซนเซอร์ไปสั่งให้ โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve) ปิด-เปิดน้ำเองอัตโนมัติ ซึ่งน้ำจะไหลเองโดยขึ้นอยู่กับเวลาที่เรที่ตั้งในภาคหน่วงเวลา (Delay Time) ส่วนบล็อกไดอะแกรมของเครื่อง เปิด-ปิด น้ำอัตโนมัติจะแสดงดังรูปที่ 5.1

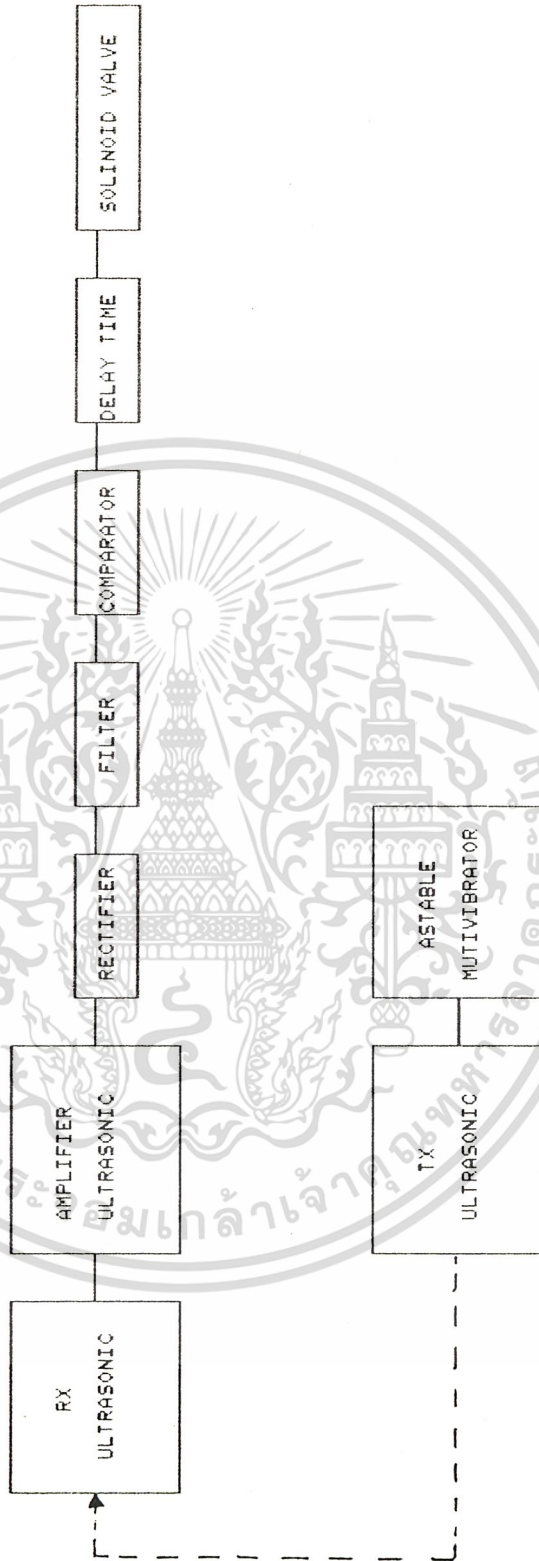
หลักการงานของเครื่อง เปิด-ปิดน้ำอัตโนมัติ

ก่อนจะกล่าวถึงหลักการงานของเครื่องเปิด-ปิด น้ำอัตโนมัติ จะกล่าวถึงการออกแบบแนวความคิดก่อน จากการทดลองในบทที่ 4 เราวางตัวรับ-ส่งคลื่นอุลตราโซนิควางขนานกัน ได้แรงดันที่ระยะต่าง ๆ ในบทที่ 4 ที่ระยะทาง 10 cm เราวัดแรงดันได้ 0.38 โวลต์ เราจะได้แรงดันขนาด 0.35 โวลต์ ได้ก็ต่อเมื่อเราเอาตัวไปกัน ทำให้คลื่นอุลตราโซนิคสะท้อนไปกลับ ทำให้แรงดันที่ต้องการ ถ้าหากไม่มีตัวไปกัน จะทำให้แรงดันที่รับจากตัวทรานสดิวเซอร์มีขนาดน้อยมาก จากจุดนี้เอง เราสามารถออกแบบเครื่องเปิด-ปิด น้ำอัตโนมัติได้ โดยมี comparator มาเปรียบเทียบแรงดันที่เข้ามาจากตัวรับทรานสดิวเซอร์ ถ้ามีคณมาใช้โถปัสสาวะ ซึ่งก็หมายความว่าเกิดแรงดันที่เข้ามาจากตัวรับทรานสดิวเซอร์ โดยอาศัยลำตัวคนมาขึ้น มาเปรียบเทียบกับ Comparator ทำให้เกิดการทํางาน ในส่วนของภาค Driver ซึ่งไปขับ Solenoid Valve ให้ทํางาน ในทางกลับกันถ้าไม่มีคณมาใช้โถปัสสาวะ ทำให้เกิดแรงดันที่ตัวรับคลื่นอุลตราโซนิค เมื่อมาเปรียบเทียบ (Comparator) ทำให้ภาค Driver ไม่ทํางาน จากที่กล่าวมาทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นแนวทางการออกแบบเบื้องต้น ซึ่งจะกล่าวในภายหลัง จากรูปที่ 5.1 แสดงบล็อกไดอะแกรม ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเครื่องเปิด-ปิดน้ำอัตโนมัติ อธิบายได้ดังนี้ เริ่มจากเมื่อมีคนมาใช้โถปัสสาวะ ทำให้เหมือนมีคนมากันคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ส่งผ่านภาคขยายคลื่นอัลตราโซนิก (Amplifier Ultrasonic) ขยายแรงดันที่ตัวรับให้มากขึ้น สัญญาณเป็นลักษณะ Sine wave จากนั้นเอาสู่ภาค Rectifier แปลงจากสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงในลักษณะ full wave ซึ่งจะทำให้เป็นไฟตรงเรียบ โดยผ่านภาค Filter เข้าไปในวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) ตัวที่ 1 ออก output ของ Comparator ออก 0 โวลต์ ซึ่งเดิมออก 9 โวลต์ ซึ่งลักษณะการทริก pluse ลบ ให้ภาคหน่วยเวลา โดยใช้ IC 555 Timer แบบ Monostable ซึ่ง $T = RC \ln 3$ ทำให้ output ของภาคหน่วยเวลา (Delay Time) ออก 9 โวลต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับเวลาที่เรากำหนดโดยใช้สูตร $T = RC \ln 3$ ทำให้ไปขับภาค Driver ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ขับ ทำให้ Solinoid valve ทำงาน น้ำจะไหลเองและจะหยุดเมื่อถึงเวลาที่กำหนด หลังจากที่เราใช้โถปัสสาวะแล้วเราเดินออก เปรียบเสมือนไม่มีลำตัวมากันคลื่นอัลตราโซนิก ทำให้คลื่นที่ส่งออกไป สะท้อนกลับมานาน ส่งผลให้แรงดันที่ตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก น้อยกว่าเมื่อมาเปรียบเทียบกับ Comparator ตัวที่ 2 ทำให้ output ของ Comparator 2 ออก 0 โวลต์ ซึ่งในกรณีที่มีคนเดินเข้ามาที่โถปัสสาวะ แรงดันที่ output ของ Comparator 2 ออก 9 โวลต์ ซึ่งในภาคหน่วยเวลา (Delay Time) ที่ต่อจาก Comparator 2 นั้นเราใช้ RC เป็นตัวหน่วยเวลา เมื่อ output ของ Comparator 2 ออก 0 โวลต์ C จะ Discharge ไปขับภาค Driver ทำให้ Solinoid Valve ทำงาน น้ำก็จะไหลและหลังจากการใช้งานแล้ว น้ำก็จะหยุดไหล ซึ่งในช่วงเวลาขณะที่น้ำไหลนั้น เราสามารถตั้งได้จากค่าของ R และ C จากที่กล่าวมาทั้งหมดก็คือหลักการของเครื่องเปิด-ปิดน้ำอัตโนมัติ ในส่วนที่สองจะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานอัลตราโซนิกเซนเซอร์ (Ultrasonic Sensor) ใช้งานด้านเครื่องเป่าลมร้อนมืออัตโนมัติ โดยหลักการแล้วคลื่นกับเครื่องเปิด-ปิดน้ำอัตโนมัติ แตกต่างกันตรงที่เครื่องเป่าลมร้อนมืออัตโนมัติต้องมีภาคขับ 2 ส่วน ไปขับ Load ที่เป็น Heater กับ Load ที่เป็นพัดลมตามลำดับ ซึ่งมีเงื่อนไขในการออกแบบเครื่องเป่าลมร้อนมืออัตโนมัติว่า ในการใช้งานถ้ามีมือเข้าไป ต้องทำให้ภาคขับไปขับ Load Heater และ Load Fan แต่เมื่อหลังจากการใช้งานต้องไม่ให้ Heater ทำงานแต่จะต้องทำให้พัดลมหมุนต่อไปอีก 10 วินาที เพื่อไล่ลมร้อนออก ทั้งหมดนี้คือเงื่อนไขของส่วนการออกแบบเครื่องเป่าลมอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



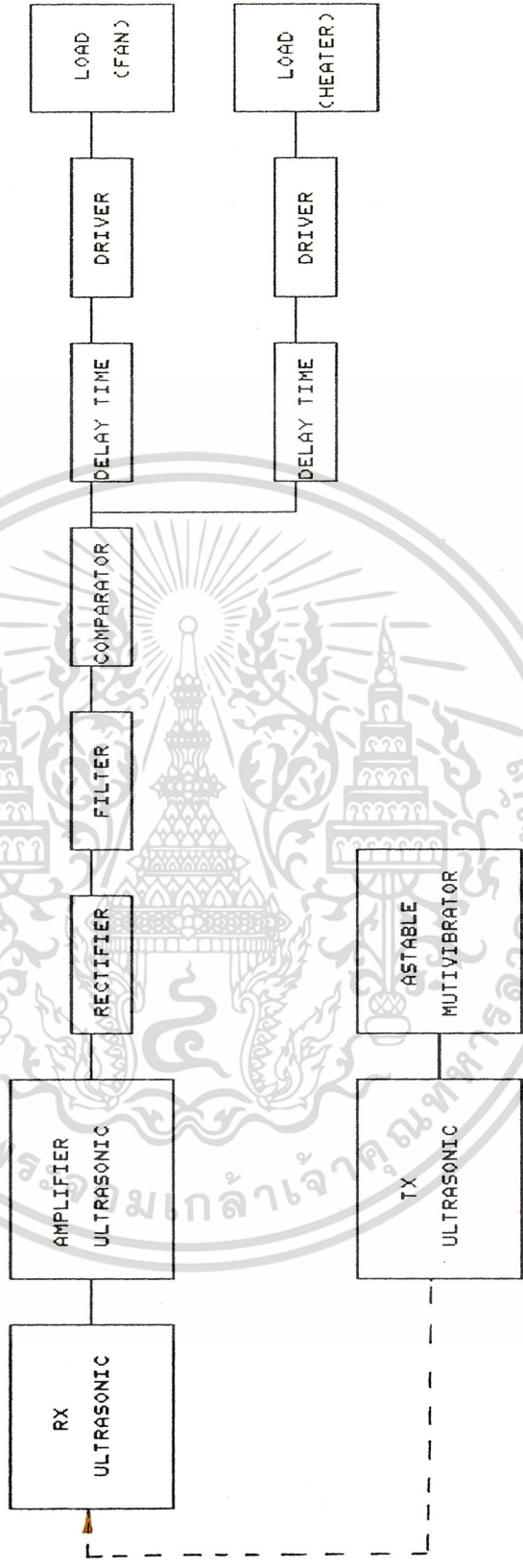
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 5.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องเปิด-ปิดน้ำอัตโนมัติ ยখনด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางานของเครื่องเป่าลมร้อนมืออัตโนมัติ

เริ่มต้นจากภาคส่งคลื่นอุลตราโซนิค (Ultrasonic) กำเนิดคลื่นความถี่ 40 kHz ส่งผ่านตัวส่งทรานสดิวเซอร์ (Tx Ultrasonic) ส่งคลื่นไป และอาศัยการสะท้อนกลับ เมื่อมีมือเข้ามาบัง ทำให้คลื่นสะท้อนกลับได้แรงดันมากกว่า เมื่อไม่มีมือเข้ามา แต่ถ้าไม่มีมือเข้ามาจะทำให้คลื่นสะท้อนไปแล้วสะท้อนกลับในระยะที่มากกว่า จึงทำให้แรงดันที่ตัวทรานสดิวเซอร์ภาครับน้อยมาก ๆ ผลคือไม่ทํางาน เริ่มแรกเมื่อมีมือเข้ามา (Rx Ultrasonic) ผ่านเข้าภาคขยายคลื่นอุลตราโซนิค (Amplifier Ultrasonic) ทำให้คลื่นอุลตราโซนิคมีขนาดใหญ่ (มีลักษณะเหมือน Sine Wave) ผ่านภาค Rectifier แปลงเป็น full wave เข้าสู่ภาค Filter ทำให้กลายเป็นไฟตรงเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวงจร Comparator ทำให้ output ออก 9 โวลต์ ไปขับภาค Driver ขับ Load (Heater) และขับ Load (Fan) ทำให้พัดลมหมุนพร้อมกับ Heater อีกส่วนหนึ่งมาเข้าภาคหน่วงเวลา (Delay Time) แบบ RC ซึ่งทำให้ C Charge ประจุจนกว่าจะเอามือออก แรงดันที่ตัวทรานสดิวเซอร์ภาครับมีแรงดันออกน้อย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลคือน้อยกว่า ทำให้ Comparator ออก 0 โวลต์ ส่งผลไม่ทำให้ Heater ทํางาน แต่พัดลมจะทํางาน เนื่องจาก C ในประจุ discharge ออกไปขับภาค Load Fan ทำให้พัดลมหมุนต่อก่อน 10 วินาที จึงหยุดทํางาน

จากหลักการทั้งหมดนี้ คือหลักการเครื่องเป่าลมร้อนมืออัตโนมัติ ซึ่งแสดงบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) แสดงดังรูปที่ 5.1 ส่วนหลักการออกแบบจะกล่าวถึงในภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

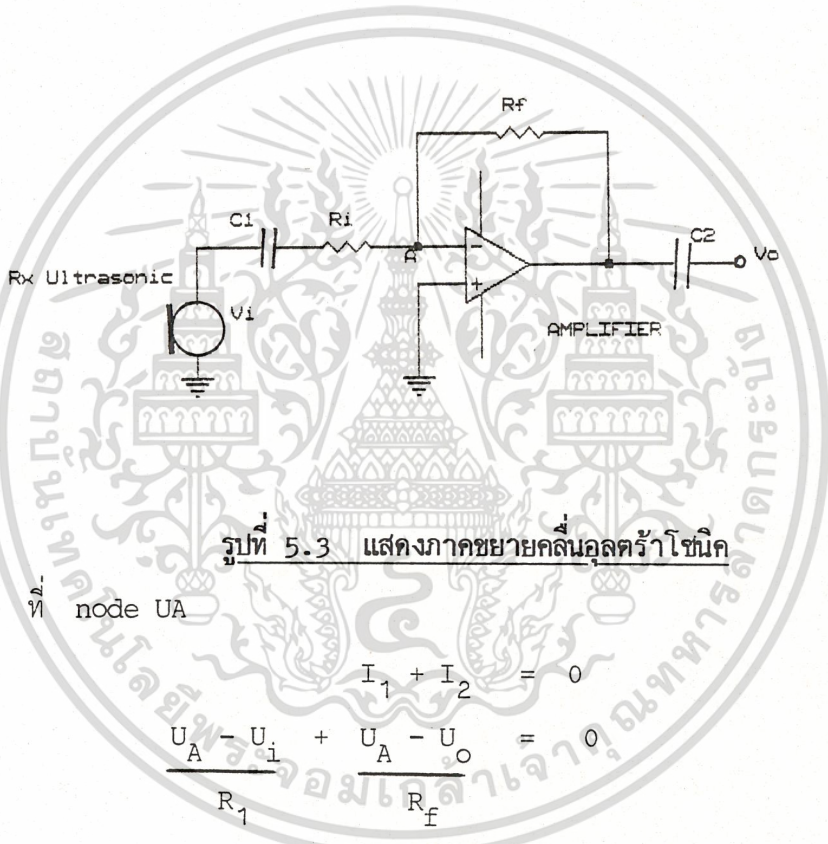


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง **รูปที่ 5.2 แสดงบล็อกโคอะแกรมของเครื่องเป่าลมร้อนมอดุ์อัตโนมัติ** ชนิดด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการออกแบบ

ภาคขยายคลื่นอุลตราโซนิค (Ultrasonic Amplifier)

ภาคขยายคลื่นอุลตราโซนิคเราใช้วงจร Inverting Amplifier เป็นตัวขยายคลื่น จากตัวรับคลื่นอุลตราโซนิค (Rx Ultrasonic) ความถี่ 40 KHz เนื่องจากสัญญาณที่เข้ามาที่ตัวรับ มีขนาดต่ำมาก ซึ่งสัญญาณที่เข้ามานั้นเป็นลักษณะ sine wave



รูปที่ 5.3 แสดงภาคขยายคลื่นอุลตราโซนิค

node UA

$$I_1 + I_2 = 0$$

$$\frac{U_A - U_i}{R_1} + \frac{U_A - U_o}{R_f} = 0$$

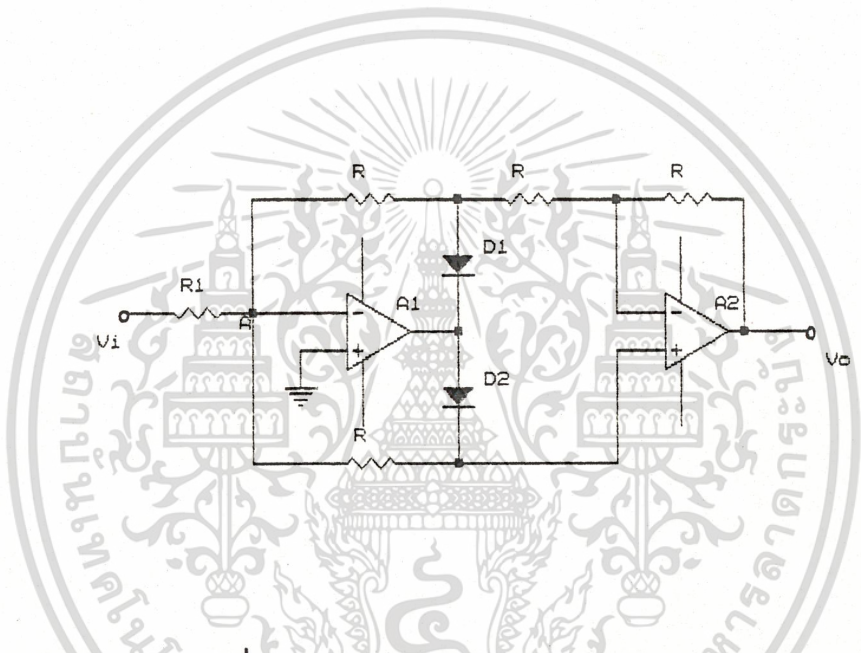
$$U_A = 0 \quad \frac{-U_i}{R_1} - \frac{U_o}{R_f} = 0$$

$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{-R_f}{R_1}$$

จากการออกแบบเราใช้ $R_f = 39 \text{ k}$, $R_1 = 1\text{k}$ และขนาด C คำนวนได้จากสูตร $C_1 = 1/\pi f R_1$ เมื่อ gain ของวงจร คือ 39 เท่า และขยาย C_2 คำนวนจาก $C_2 = 1/2\pi f R_f$ เมื่อ $f = 40 \text{ kHz}$ ไม่ว่าจะรับใดๆ ทั้ง 2 นี้ อีกทั้งห้ามให้ตัดแปดลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

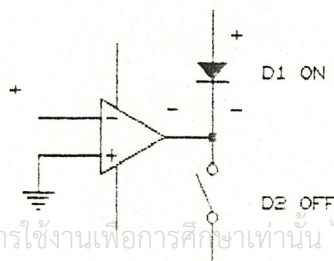
ภาค full-wave Rectifier

สัญญาณที่ได้จากการขยายจากภาค Amplifier ซึ่งเป็นสัญญาณ sine wave เข้ามาสู่ภาค full-wave Rectifier ทำให้เป็นไฟตรง แบบ full-wave แสดงดังรูป 5.4 เป็นวงจร full-wave Rectifier ซึ่งสามารถแปลงเป็น full-wave แล้วยังสามารถขยาย gain ได้อีก



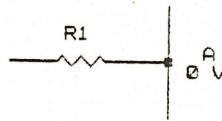
รูปที่ 5.4 แสดงวงจร full-wave Rectifier

จากวงจร full-wave Rectifier โดยใช้ circuit analysis พิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่าง input กับ output พิจารณากรณี U_i เป็น positive (+) ทำให้ D_1 ทำงาน ON และ D_2 เป็น OFF แสดงดังรูป

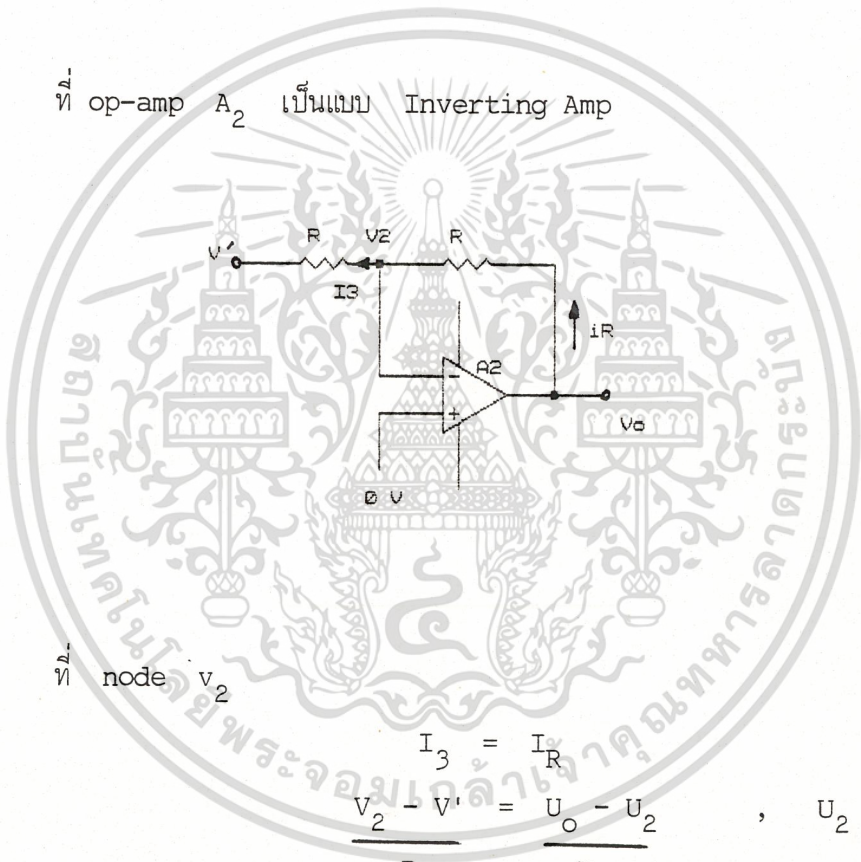


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

op amp A_2 เป็นแบบ Inverting Amp จากรูป v_1 เป็นเหมือน ground เพราะเกิดการบ่อนกลี ทำให้ node A เท่ากับ 0 v



ที่ op-amp A_2 เป็นแบบ Inverting Amp



ที่ node v_2

$$\frac{I_3}{R} = \frac{I_R}{R} \quad , \quad U_2 = 0$$

$$\frac{V_2 - V'}{R} = \frac{U_o - U_2}{R}$$

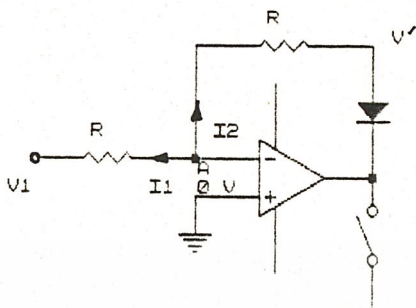
$$\frac{-V'}{R} = \frac{U_o}{R}$$

$$\frac{-R}{R} = \frac{U_o}{V}$$

$$\frac{U_o}{V} = -1 \dots\dots\dots (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A₁ เป็น Inverting Amp



$$I_1 + I_2 = 0$$

$$\frac{U_A - U_1}{R} + \frac{U_A - V}{R} = 0, \quad U_A = 0$$

$$\frac{-U_1}{R_1} - \frac{V'}{R} = 0$$

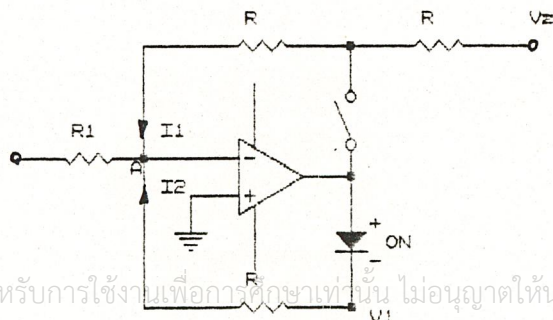
$$\frac{V'}{R} = -\frac{U_1}{R_1} \dots \dots \dots (2)$$

นำสมการ (1) x สมการ (2)

$$\frac{U_o}{V'} \times \frac{V'}{U_1} = \frac{-R(-1)}{R_1}$$

$$\frac{U_o}{U_1} = \frac{R}{R_1} \dots \dots \dots (3)$$

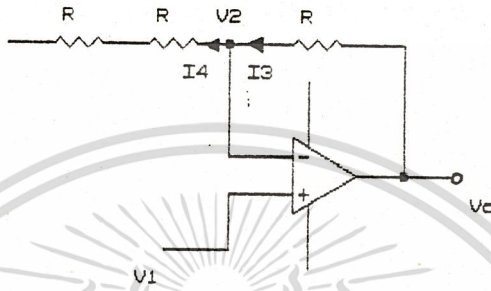
ถ้า U₁ เป็น negative (-) จะทำให้ไดโอด D₁ OFF , D₂ OFF ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{node A} = I_i + I_1 + I_2 = 0$$

$$\frac{U_i}{R_1} + \frac{U_1}{2R} + \frac{U_2}{R} = 0$$



เมื่อเกิดการบ้อนกลับ

ทำให้ $V_1 = V_2 = V$

$$\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_1}{2R} + \frac{V_2}{R} = 0$$

$$\frac{V_i}{R_1} = -\frac{3V}{2R} \dots\dots\dots (4)$$

ณ. node U_2

$$\frac{U_o - V'}{R} = \frac{V}{2R} \dots\dots\dots (5)$$

จากสมการที่ (4)

$$-\frac{3V}{2R} = \frac{V_i}{R_1}$$

แทนสมการที่ (5)

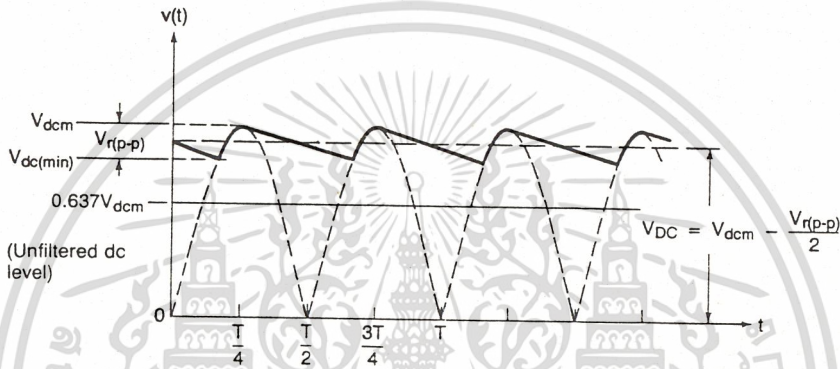
$$\frac{U_o}{R} = -\frac{U_i}{R_1}$$

$$U_o = -\frac{R}{R_1} U_i$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอยู่ใต้อำนาจของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาค Filter

จากวงจร Rectifier เมื่อสามารถแปลงไฟสัญญาณ Sine Wave ถูกแปลงวงจร เป็นสัญญาณตรงแล้วก็ตาม สัญญาณที่ได้จะเป็นลักษณะ pluse DC ต่อมาเราจะทำให้เรียบ โดยใช้ C Filter เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับลักษณะของรูป filter wave ดังแสดงรูป 5.5



รูปที่ 5.5 แสดง filter waveform

จากรูปที่ 5.5 สามารถหา $U_{dc(min)}$ ได้จาก

$$U_{dc(min)} = U_{dcm} - U_{r(p-p)}$$

เมื่อ $U_{dc(min)}$ = minimum instantaneous dc voltage

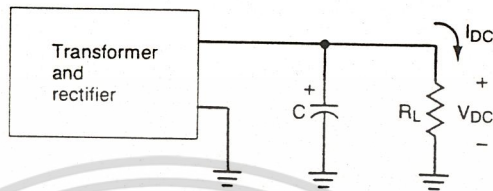
U_{dcm} = peak rectified voltage

$U_{r(p-p)}$ = peak to peak ripple voltage

จากรูป U_{dc} มีค่าเท่ากับ $U_{dc} = U_{dcm} - U_{r(p-p)}/2$

เมื่อ U_{dc} คือ แรงดันไฟตรงเฉลี่ยที่ตกคร่อม C Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงวงจร C filter

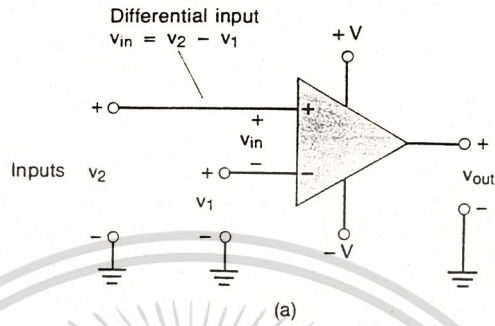
ตามรูป 5.6 แสดงวงจร C filter เมื่อ R_L คือความต้านทาน load และ I_{DC} คือกระแสที่ไหลผ่าน R_L เราสามารถหาค่า C โดยใช้สูตร

$$C = I_{DC} T / \delta$$

เมื่อ T มีค่าเท่ากับ $T/2$ หรือมีค่าเท่ากับ $1/2f$, ความถี่ของคลื่นอนุพัตร้า โชนิกมีค่าเท่ากับ 40 KHz ($f=40$ KHz) โดย I_{DC} มีค่าเท่ากับ V_{DC}/R_L ซึ่งค่า C ที่ใช้ในวงจรมีค่าเท่ากับ 2200 F เนื่องจาก C มีขนาดใหญ่มาก ดังนั้น Voltage ที่ออกมาจึงเรียบ

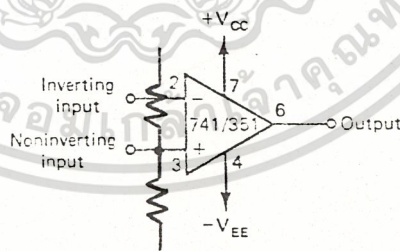
ภาควงจรเปรียบเทียบ (Comparator)

ภาค Comparator มีหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณที่ได้รับมาจากตัวทรานสดิวเซอร์ทางภาครับ (Rx Ultrasonic) เข้ามาทำการเปรียบเทียบ ถ้ากรณีเครื่องเป่าลมอัตโนมัติ ไม่มีมือเข้ามา ผลคือสัญญาณที่นำมาเปรียบเทียบกับ Comparator มีค่าน้อยมาก เพราะฉะนั้น Output ของ Comparator จึงออกมา 9 V แต่ถ้าสัญญาณที่นำมาเปรียบเทียบมีค่ามากกว่า Voltage ที่ตั้งไว้ ผลทำให้ Output ของ Comparator ออกมาเป็น 0 V นั้นเป็นการทรักข่าลย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา ส่งต่อไปให้ภาคหน่วยงานทำการหน่วยงานต่อไป รูปที่ 5.7 แสดงรูปวงจร Comparator



รูปที่ 5.7 Comparator

จากรูปที่ 5.7 ถ้า $U_2 > U_1$ จะทำให้ U_{out} เท่ากับ $+V$
 แต่ถ้า $U_2 < U_1$ จะทำให้ U_{out} เท่ากับ $-V$
 จากภาค Comparator วงจรจริงแสดงดังรูปที่ 5.8



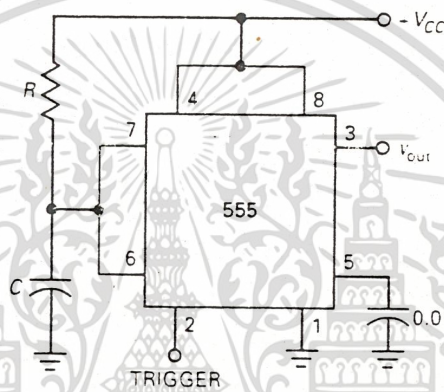
รูปที่ 5.8 แสดงวงจรภาค Comparator

จากวงจร input รับสัญญาณจากตัวรับคลื่นอุลตราโซนิค ผ่านมาเป็นไฟตรงมา
 เปรียบเทียบกับ Comparator ซึ่งในที่นี้ เราตั้ง Voltage ไว้ 0.53 V ซึ่งคำนวณจาก

สูตร $U_x = R_1 V_{CC} / (R_1 + R_2)$ ในวงจร R_1 เราใช้ค่า 8 K R_2 ใช้ค่า 0.5 K V_{CC} ค่า
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้รับใช้ประโยชน์ด้านก
 เท่ากับ 9 V ดังนั้น U_x จะมีค่าเท่ากับ 0.53 V เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรม่วงเวลา (Delay Time)

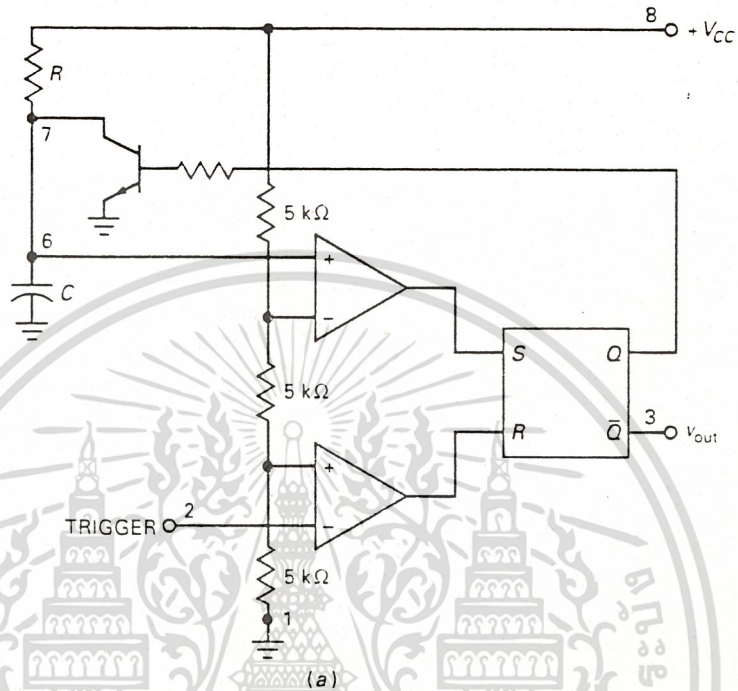
สำหรับภาคหน่วงเวลา เราใช้ IC 555 โดยจะต่อแบบ monostable ซึ่งเราต่อจากภาค Comparator ให้นำ่วงเวลา เพื่อไปขับต่อไปยังภาค Driver ลักษณะของ IC 555 Timer ต่อแบบ monostable ดังแสดงไว้ในรูป 5.9



รูปที่ 5.9 แสดงการต่อ IC 555 แบบ monostable

จากนั้นเรามาดูการทำงานของวงจรม่วงเวลา monostable ในรูปที่ 5.9 ลักษณะของวงจรม่วงเวลา คือ ต้องมีอินพุตเข้าที่ขา Trigger เป็น pulse ลบ ดังรูป เพื่อเปรียบเทียบกับออปแอมป์ที่ขานี้ วงจรแสดงภายใน IC 555 ต่อแบบ monostable แสดงดังรูปที่ 5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 แสดงภายใน IC 555 Timer ที่ต่อแบบ monostable

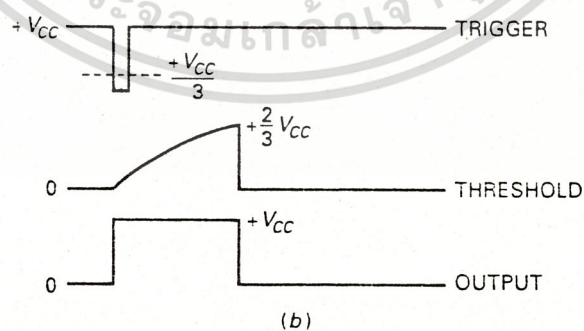
S	R	Q	\bar{Q}
0	0	Q	\bar{Q}
0	1	0	1
1	0	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ตาราง Truth Table ของ RS Flip-Flop

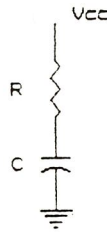
จากที่ผ่านมามาขั้นตอนนี้ที่เราไม่สามารถใช้ pulse บวกได้ ก็เพราะเมื่อดูจากภายใน วงจรรูปที่ 5.10 และตาราง Truth Table ของ RS Flip Flop แล้วจะเห็นว่า ถ้า ดูเป็นอินพุตแล้ว ขา 2 จะเป็นขา inverting ถ้า input เป็น 0 จะออก 1 ทำให้ $S = 1$ และ $Q = 0$ ทำให้ C เก็บประจุ แต่ในทางกลับกัน เรา trig ด้วย pulse บวก หรือลจิก 1 จะเห็นว่า $S = 0$, $Q = 1$ C จะ discharge ทำให้ วงจรไม่สามารถให้ output ที่มีคาบเวลามากกว่า input ได้ เพราะมันอยู่ในสภาวะ discharge ซึ่งจะเร็วมาก ดังนั้นสิ่งที่ได้คือ output จะเหมือน input ซึ่งไม่มีประโยชน์อะไรที่จะทำอย่างนั้น

ขั้นตอนในการวิเคราะห์

- 1) กรณีแรกเมื่อ $+U_{CC}$ มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้น $S = 0$, $Q = 1$ ดังนั้น output เป็น 0 ทำให้ Transistor turn on เปรียบเสมือน Flip Flop reset
- 2) กรณี $+U_{CC} = 0$ ทำให้ $S = 1$, $Q = 0$ และ output ออก 1 คือเท่ากับ $+U_{CC}$ นั่นเอง ดังรูป 5.11 เสมือน Flip Flop set ทำให้ Transistor turn off พร้อมกันนั้น C ก็ charge จาก 0 ไปถึง $2U_{CC}/3$ ซึ่งเวลาตรงนี้เองจึง ทำให้ output เกิดการ Delay ไปจาก input



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 5.11 แสดง wave form ของ IC 555 monostable
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุตบแต่งสิ่งผิดและต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 แสดงวงจร RC

ใช้ Circuit Analysis

$$U_C = U_f + U_n$$

$$U_f = U_{CC}$$

$$U_C(t) = U_{CC} + Ae^{-t/RC}$$

ณ. เวลา $t = 0$

$$0 = U_{CC} + A$$

$$A = -U_{CC}$$

$$U_C(t) = U_{CC} - U_{CC}e^{-t/RC}$$

จากเวลา $t = T$

$$, \text{ณ. } U_C(t) = (2/3)U_{CC}$$

$$(2/3)U_{CC} = U_{CC} - U_{CC}e^{-T/RC}$$

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

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

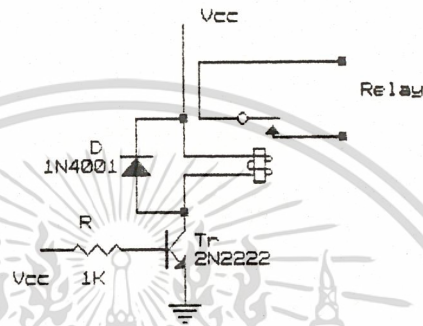
$$e^{t/RC} = 3$$

$$T = RC \ln 3$$

เราสามารถห้วงเวลา (Delay Time) ได้ โดยใช้สูตร $T = RC \ln 3$ ซึ่งในที่นี้เราใช้ $C = 470 \text{ F}$ เวลา Delay Time ของเครื่องเปิด-ปิด น้ำอัดโนมิตีประมาณ 12 วินาที หากค่าความต้านทานที่ใช้เท่ากับ 23 K ส่วนภาคห้วงเวลาของเครื่องเป่าลมร้อนมีอัดโนมิตี สำหรับพัดลม เราห้วงเวลา 30 วินาที ใช้ความต้านทานเท่ากับ 58 K สำหรับเอกสาร heater ออก เราห้วงเวลาหรือ 25 วินาที ใช้ความต้านทานเท่ากับ 48 K นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคขับ (Driver)

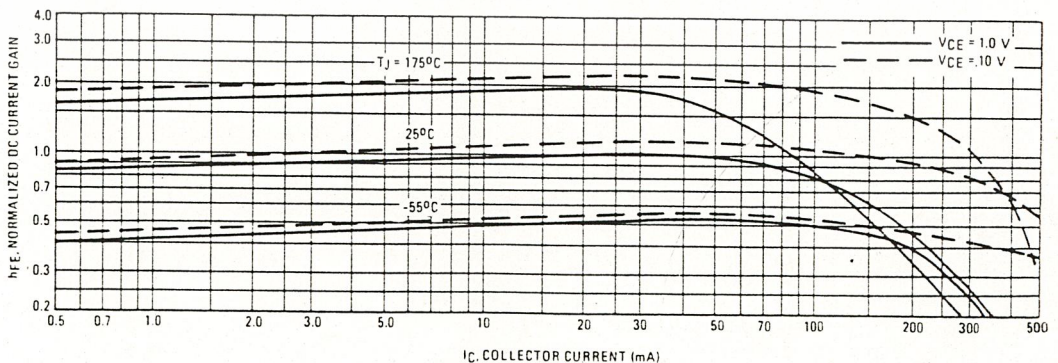
ในส่วนนี้เป็นการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยการต่อรีเลย์ อุปกรณ์ไฟฟ้าในส่วนของเครื่องขับเคลื่อนน้ำคือ Solinoid valve และของเครื่องเป่าลมร้อนคือ heater และ motor fan จากการทดลองรีเลย์ หาค่าความต้านทานขณะคอนแทคเปิด วัดความต้านทาน ได้ 233.76 โอห์ม V_{CC} 9 V กระแส 38.5 mA ซึ่งสามารถใช้ TR 2N2222 ได้



รูปที่ 5.13 แสดงภาคขับ Relay

จากรูป 5.13 แสดงวงจรขับ Relay ทำให้ $U_{CC} = 9$ V ใช้ Transistor เบอร์ 2N2222 ค่า R เท่ากับ 1 K U_{CC} จาก output Comparator เท่ากับ 9 V ทำการทดลองวัดกระแส I_C ได้เท่ากับ 38.4 mA Voltage ตกคร่อม $U_{CE} = 0.5$ V ที่เหลือตกคร่อม Relay 8.5 V จากค่า $I_C = 38.4$ mA นำไปเปิด Data Sheet จะได้กราฟตามรูปที่ 5.14

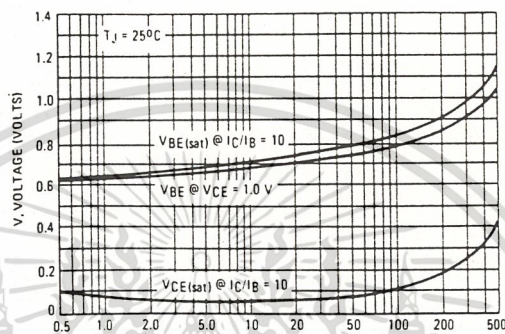
FIGURE 1 - NORMALIZED DC CURRENT GAIN



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.14 แสดง Normalized DC Current Gain ของ 2N2222
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตนำไปใช้

จากรูปที่ $I_C = 38.4 \text{ mA}$ หาค่า h_{fe} ได้เท่ากับ 1.1 จากนั้นนำไปหาค่า U_{BE} ได้จากกราฟรูปที่ 5.15 ที่ $I_C = 38.4 \text{ mA}$ หาค่า $U_{BE} = 0.74$

FIGURE 3 - "ON" VOLTAGES



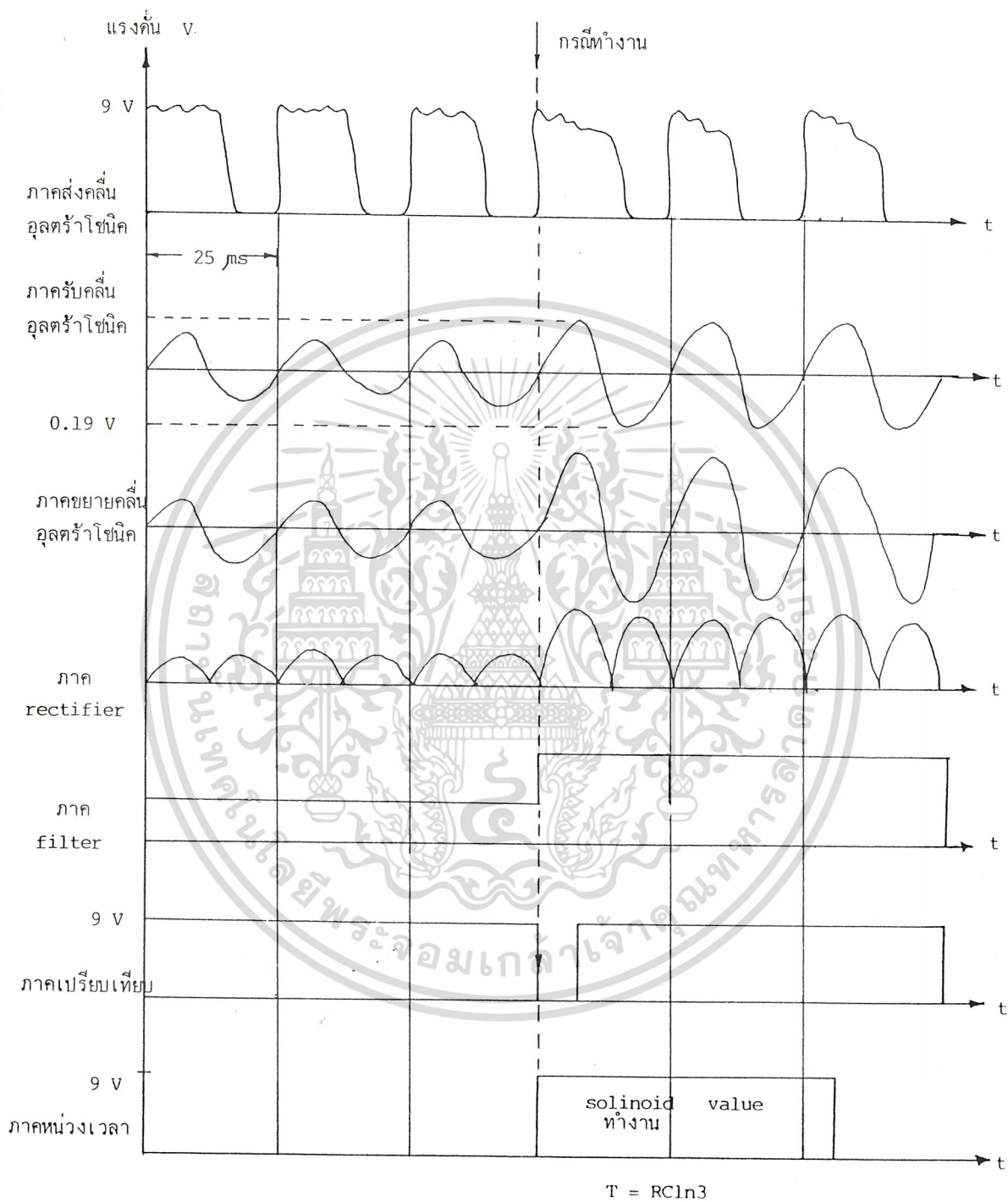
รูปที่ 5.15 แสดงถึงสภาวะ ON Voltage

ซึ่งสามารถคำนวณค่า I_B ได้จากสูตร

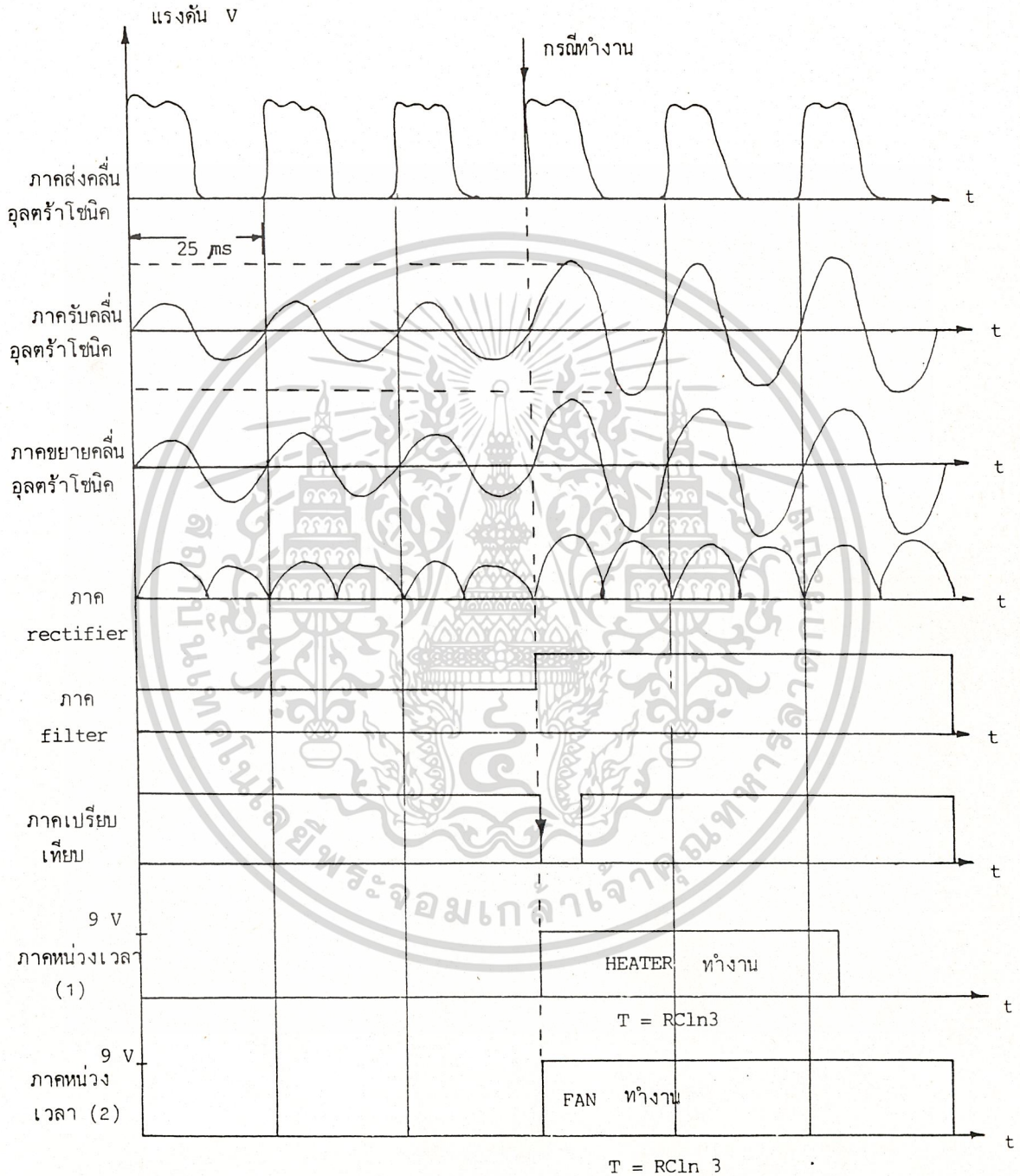
$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R} = \frac{9 - 0.74}{1 \text{ k}} = 8.26 \text{ mA}$$

R 1K มีไว้จำกัดกระแสเข้า Transistor D 1N4001 มีไว้ป้องกัน Transistor ตอน turn off transistor Relay ที่ใช้เป็นขนาด 9 V , 5 A

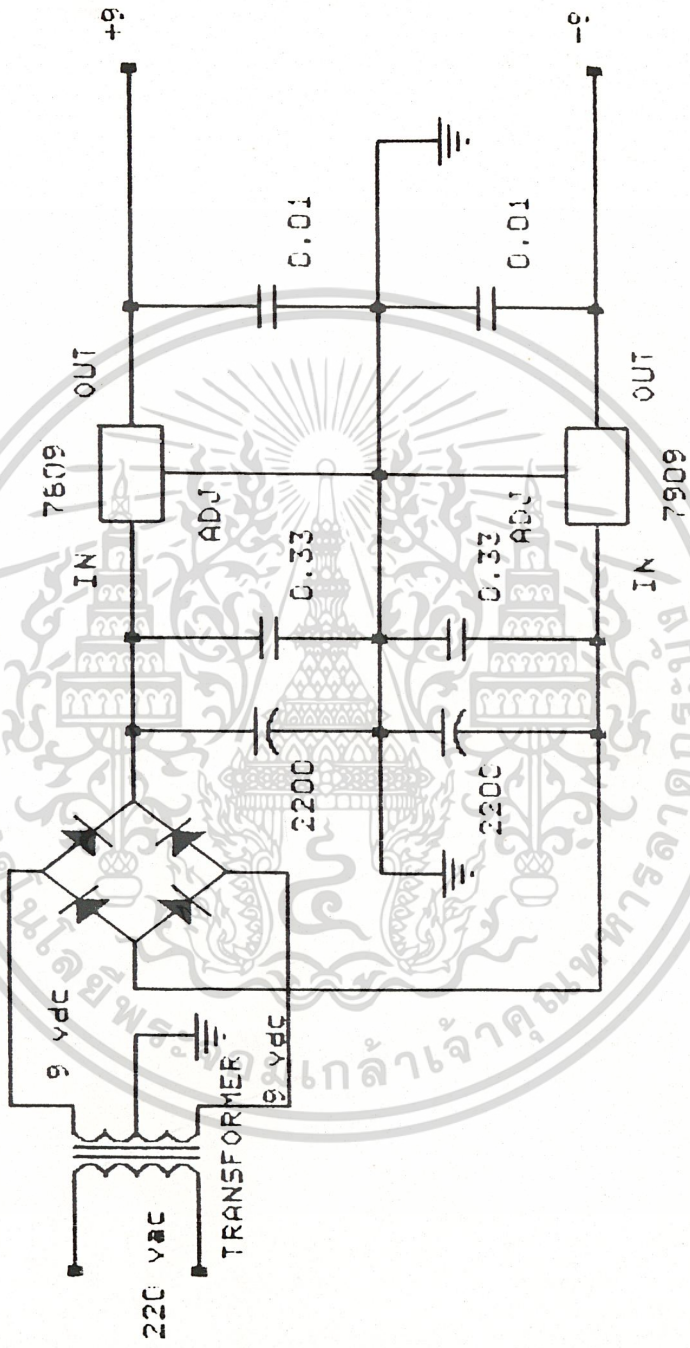
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



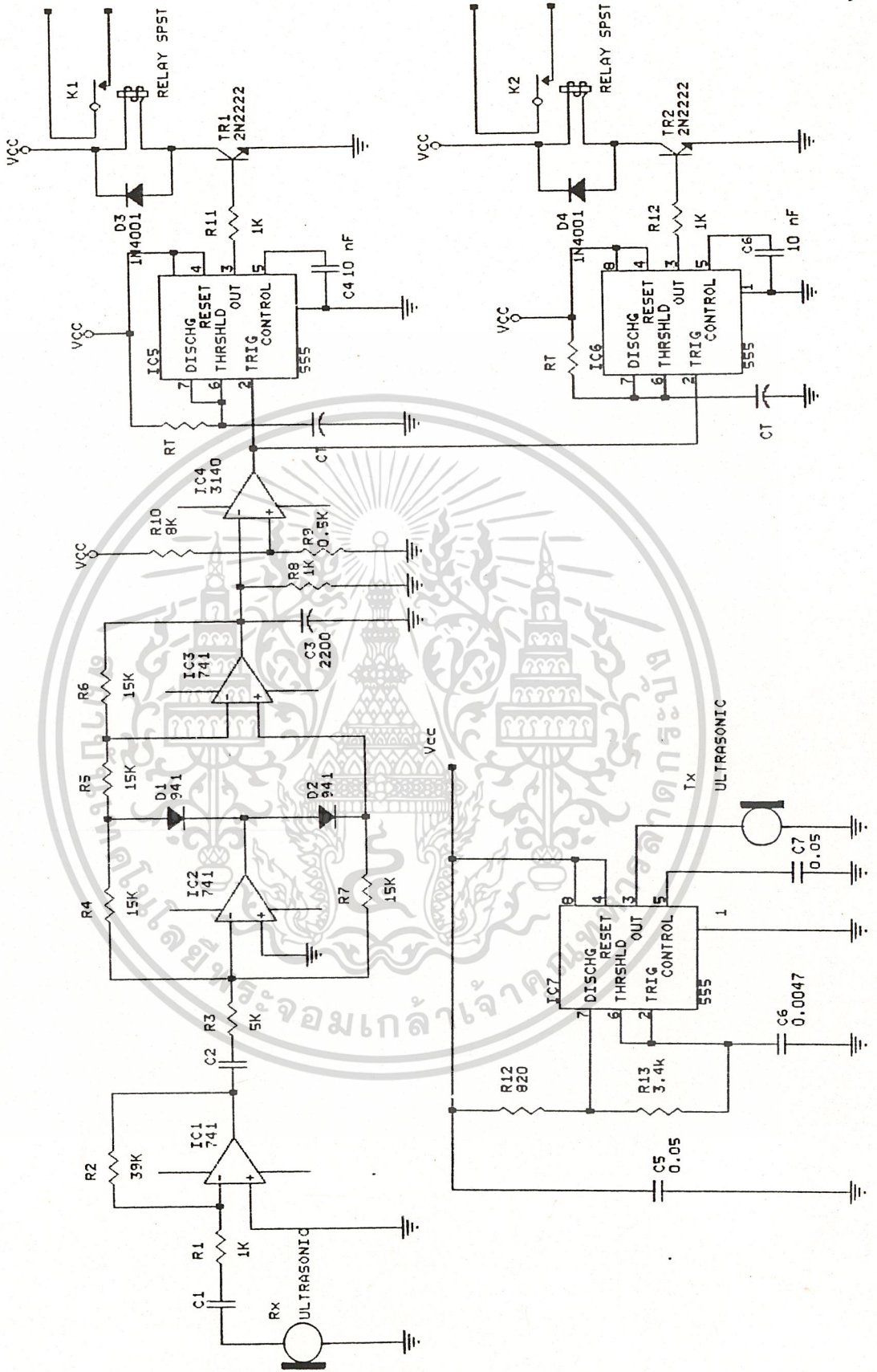
เอกสารนี้เป็นรูปที่ 5.16 แสดงสัญญาณ output ของภาคต่าง ๆ ของเครื่องเปิด-ปิดน้ำอัตโนมัติ ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.17 แสดงสัญญาณ output ของภาคต่าง ๆ ของเครื่องเป่าลมร้อนมัลติอิมพัลส์
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มิได้มีเหตุที่แสดงโดยชัดแจ้ง และต้องอ้างอิงถึงเอกสารที่อ้างถึงในรูปนี้

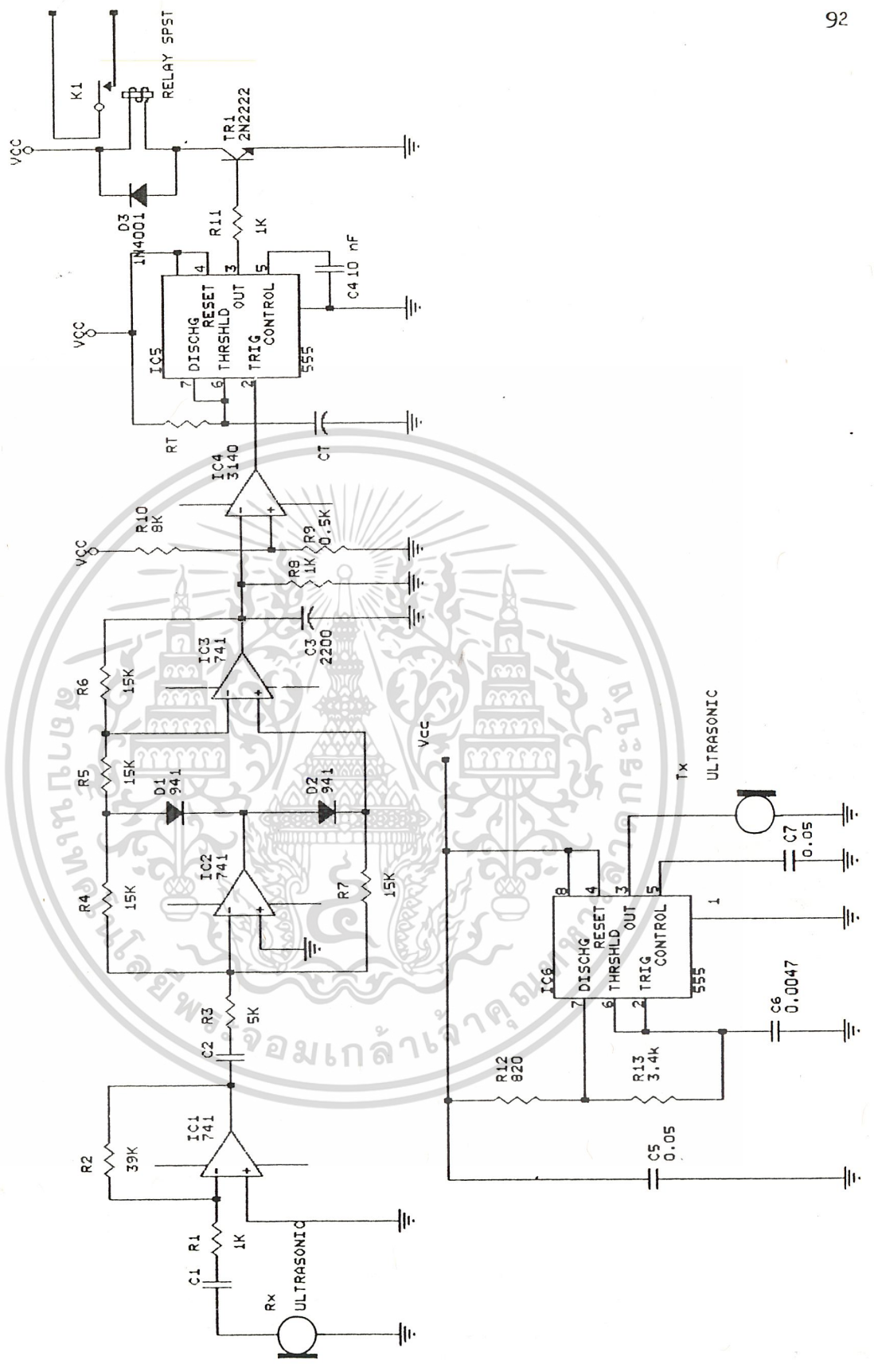


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.18 รูปแสดงวงจรของแหล่งจ่ายไฟ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

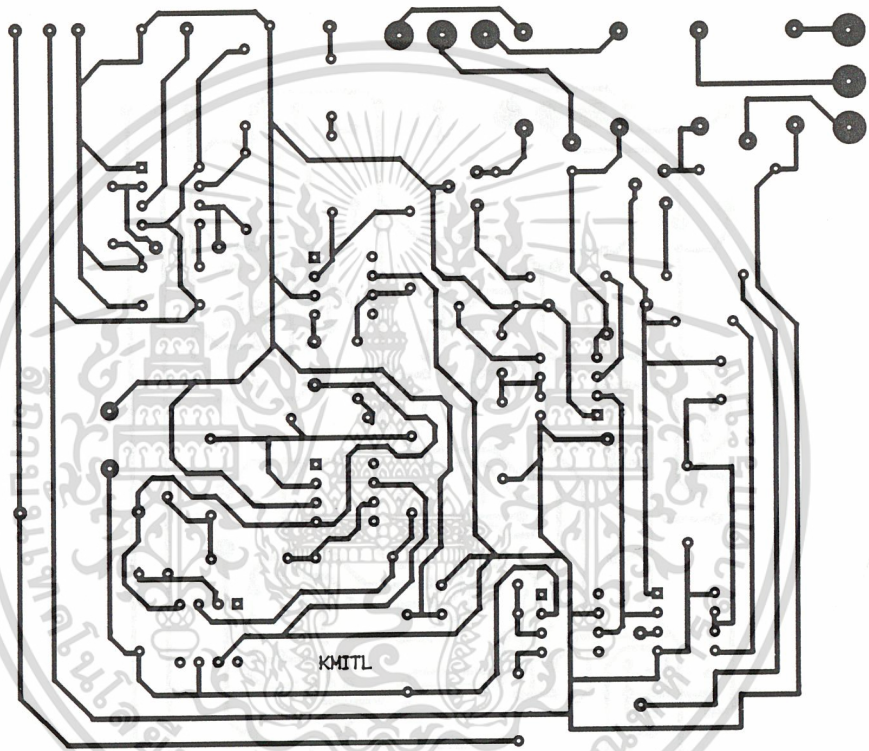


รูปที่ 5.19 รูปแสดงวงจรของเครื่องเป่าลมร้อนอัตโนมัติ

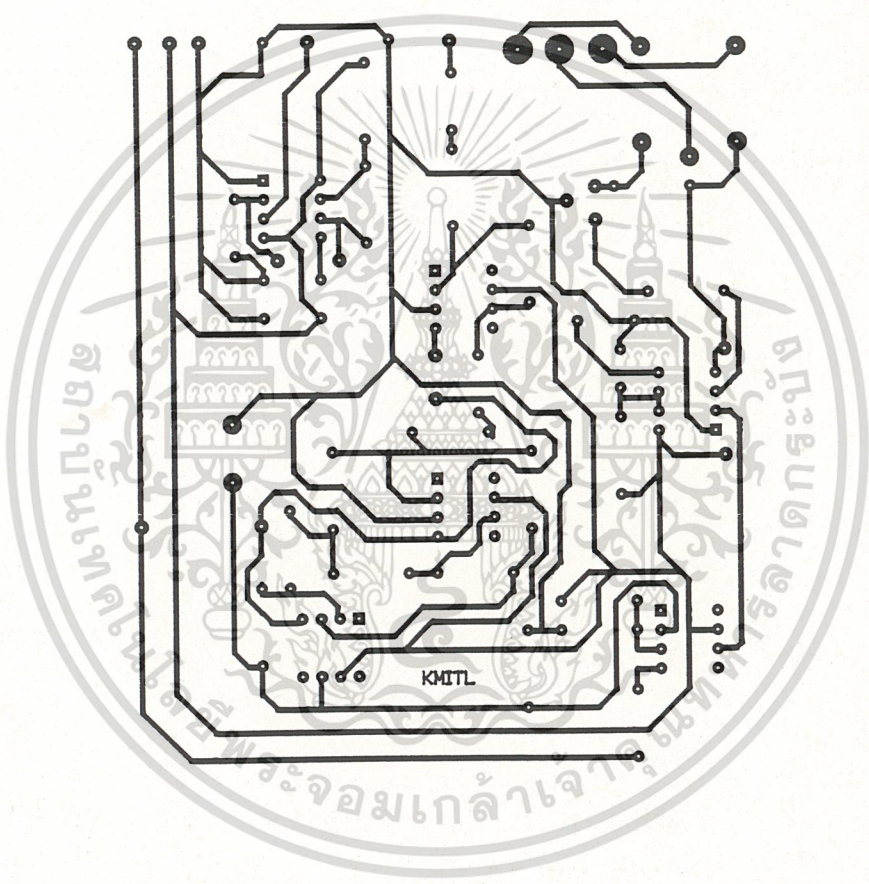
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานที่เฉพาะเจาะจงเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
รูปที่ 5.20 รูปแสดงวงจรของเครื่องเปิด-ปิดน้ำอัตโนมัติ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

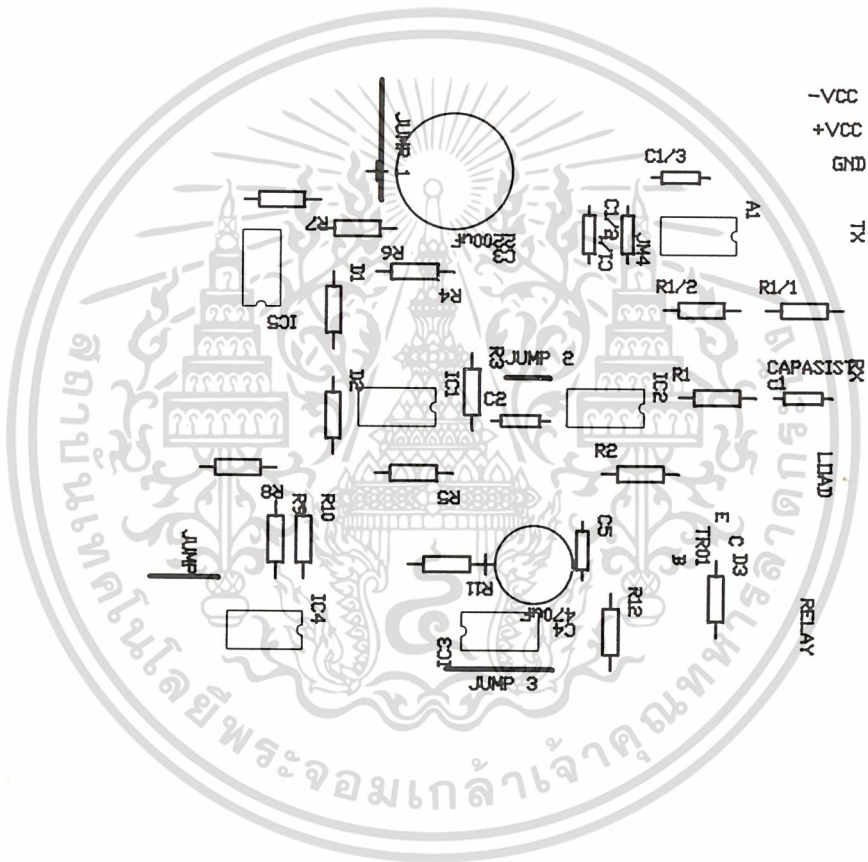


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน รูปที่ 5-21 รูปแสดงลายวงจรของเครื่องเปิด-ปิดหน้าอัตโนมัติ โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

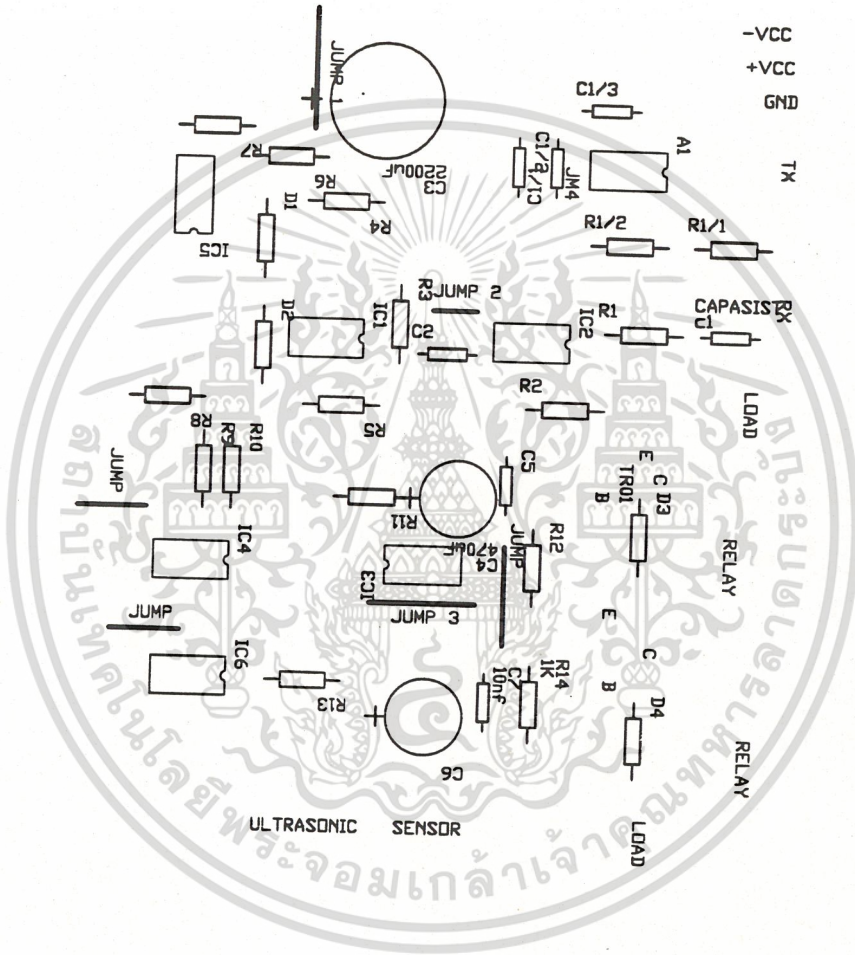


รูปที่ 5.22 รูปแสดงลายวงจรของเครื่องเป่าลมร้อนเมื่ออัตโนมัติ

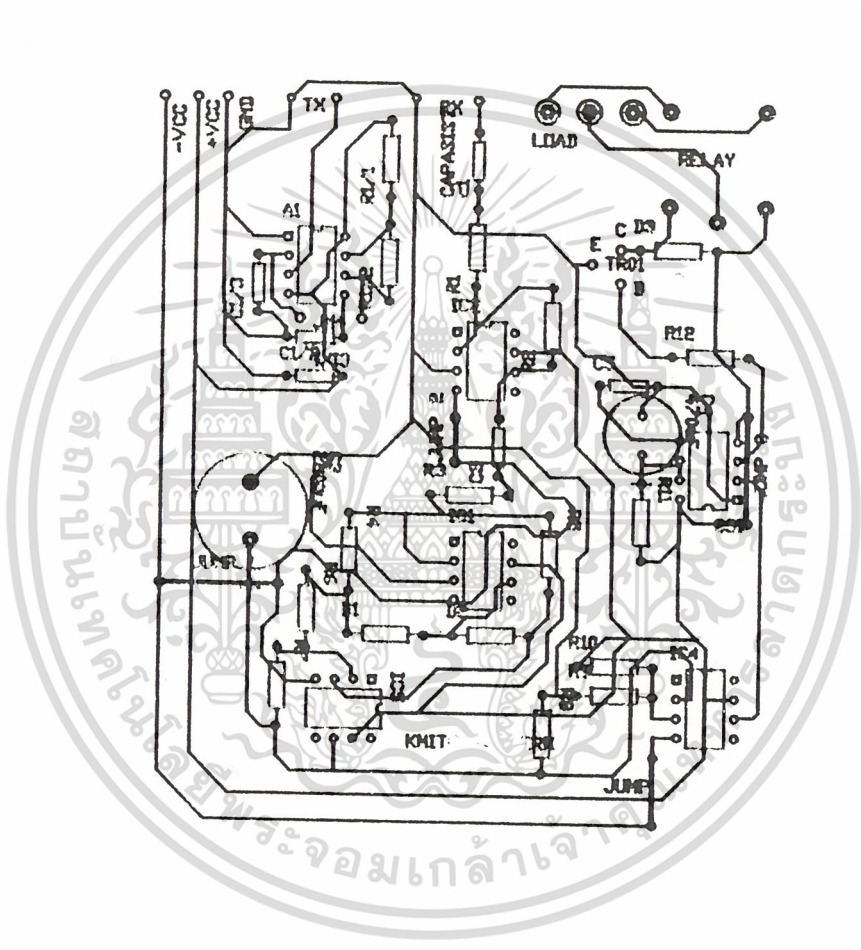
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น เมื่ออยู่ในที่เห็นใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



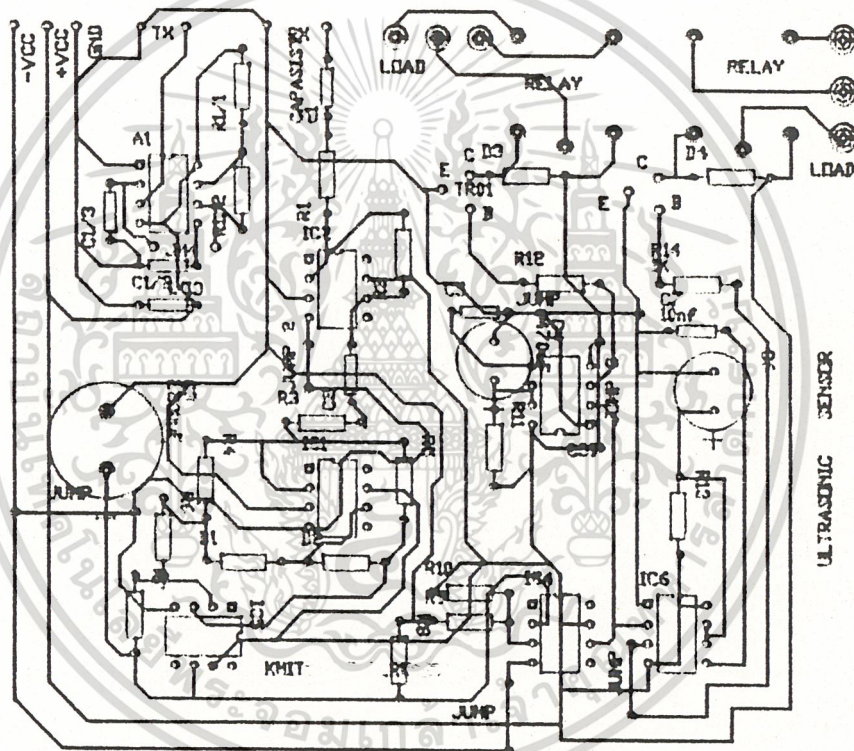
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 5.23 รูปแสดงการวางอุปกรณ์ของเครื่องเปิด-ปิดน้ำอัตโนมัติ ในการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



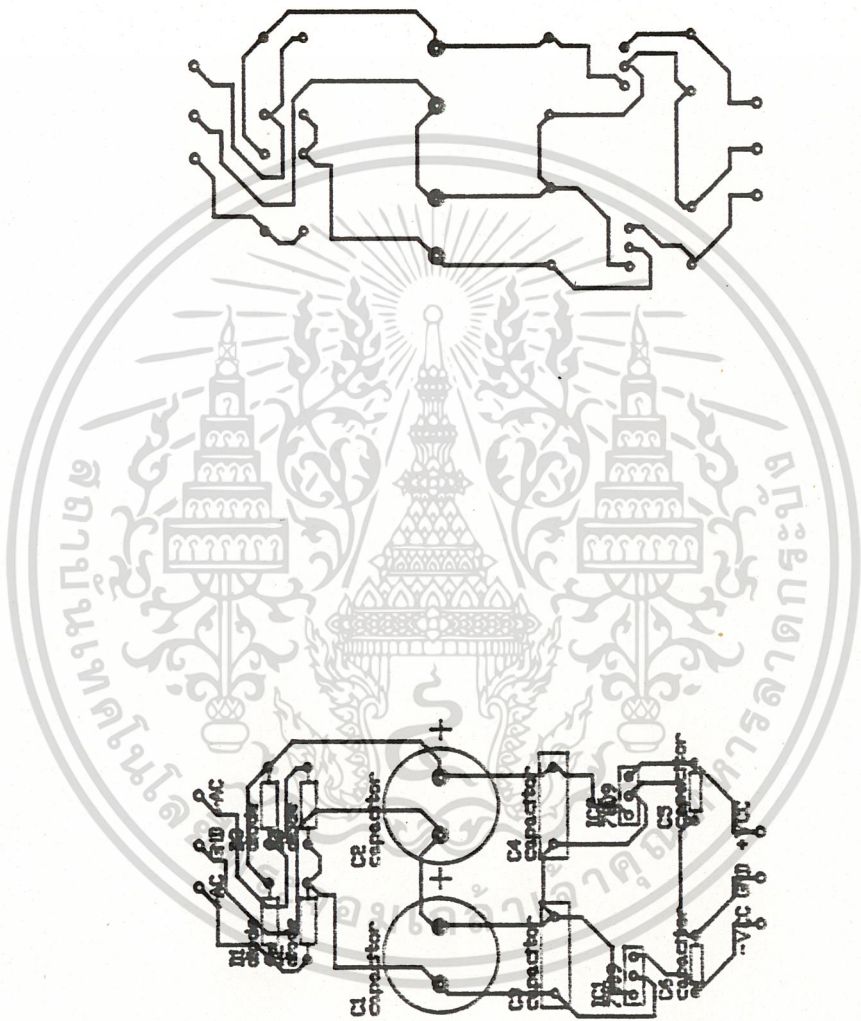
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.24 รูปแสดงการวางอุปกรณ์ของเครื่องเป่าลมพร้อมมอดโมติ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุที่ตบแต่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงเงินของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 5.25 รูปแสดงการลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรของเครื่องเปิด-ปิดน้ำอัตโนมัติ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสาร รูปที่ 5.26 สำคัญ รูปแสดงการลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรของเครื่องเป่าลมร้อนมัลติโหมด การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ รูปที่ 5.27 รูปแสดงลายวงจรของแหล่งจ่ายไฟ ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

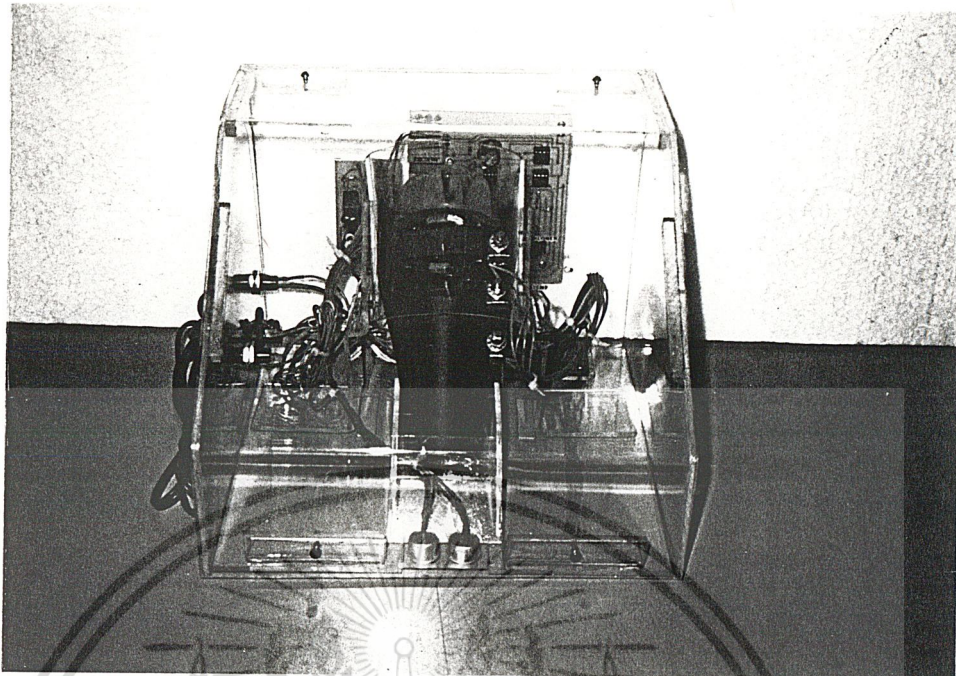
บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

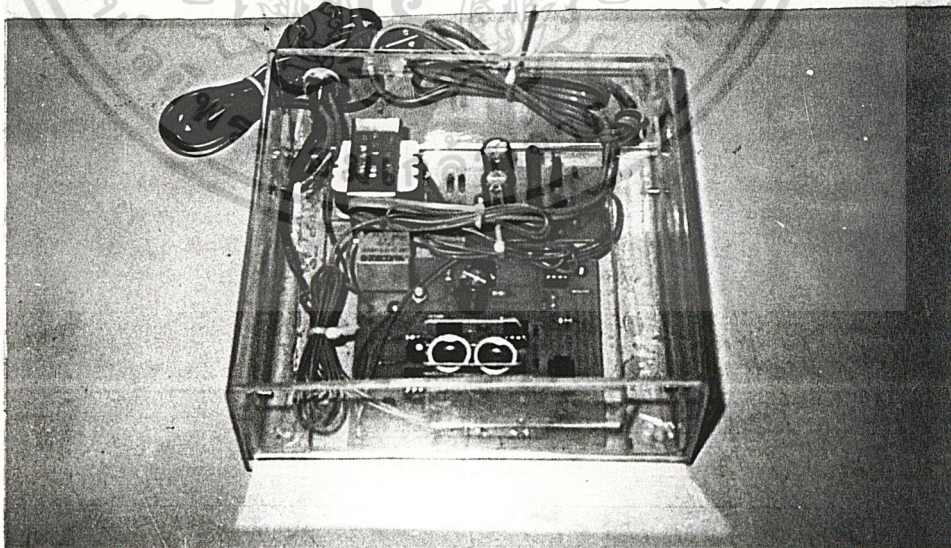
ปัจจุบันเครื่องเป่าลมร้อนมือ และเครื่องเปิด-ปิด น้ำอัดโนมิตีมีขายโดยทั่วไป แต่การเซนเซอร์นั้นอาศัยอินฟราเรดเป็นตัวเซนเซอร์ ซึ่งโดยปกติแล้วราคาของเครื่องเป่าลมร้อนมือจากการสอบถามบริษัทตัวแทนจำหน่าย ประมาณ 5,500 บาท และต้องนำเข้ามาจากอังกฤษหรือไต้หวัน ในบ้านเรานั้นยังไม่มีจำหน่าย แนวความคิดนี้ส่งผลโครงการเครื่องเป่าลมร้อนมืออัดโนมิตีและเครื่องขับเคลื่อนน้ำอัดโนมิตี โดยใช้คลื่น Ultrasonic เป็นตัวเซนเซอร์ ซึ่งราคาของเครื่องเป่าลมร้อนมืออัดโนมิตีนั้น จะมีราคาประมาณไม่เกิน 1,200 บาท

จากการทำโครงการเครื่องเป่าลมร้อนมือ และเครื่องเปิด-ปิด น้ำอัดโนมิตีมีข้อเสนอแนะว่า ทักษะ Comparator ที่ค่า R9 ควรเป็นค่า R ปรับค่าได้ สาเหตุก็คือสามารถที่จะตั้งระยะการเซนเซอร์ได้ตามต้องการ ซึ่งจากโครงการ ถ้าเราใช้ค่า R คงที่ไว้ ระยะการเซนเซอร์ไว้ประมาณ 15 cm ถึงแม้โครงการนี้จะดูไม่ยาก แต่ก็ไม่ง่ายนักในการคิดหลักการออกแบบวงจรที่ใช้คลื่นเสียงเป็นตัวเซนเซอร์ ที่ผ่านมามีเราต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศในราคาแพงกว่าถึง 5 เท่า ถึงแม้ราคาของเครื่องจากต่างประเทศ จะดูแล้วไม่แพงเท่าไร แต่ถ้าประเทศเราสามารถผลิตได้ ก็ยิ่งดี รูปแสดงเครื่องต้นแบบของเครื่องเป่าลมร้อนมืออัดโนมิตี และรูปแสดงเครื่องเปิด-ปิด น้ำอัดโนมิตีนั้น ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 6.1 และ 6.2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 แสดงเครื่องต้นแบบของเครื่องเป่าลมร้อนมัลติโนมิตี



รูปที่ 6.2 แสดงเครื่องต้นแบบของเครื่องเปิด-ปิดน้ำอัตโนมัติที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง รูปที่ 6.2 แสดงเครื่องต้นแบบของเครื่องเปิด-ปิดน้ำอัตโนมัติที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. "LIGHT AND SOUND ENGINEER"; R.C. Stanley 1968.
2. "BASIC ULTRASONICS"; Cyrus Glickstein 1960.
3. "ULTRASONICS"; A.P. Cracknell 1980.
4. "INDUSTRIAL SOLID-STATE ELECTRONICS" Device and System ,
Secondary edition.
5. "เทคนิคการใช้งาน อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์" จากวารสารเซมิคอนดักเตอร์
อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 44 เดือนเมษายน 2524.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B,
TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS
D2393, SEPTEMBER 1978 - REVISED JANUARY 1989

19 DEVICES COVER COMMERCIAL, INDUSTRIAL, AND MILITARY TEMPERATURE RANGES

- Low Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- Low Total Harmonic Distortion . . . 0.003% Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes VCC +
- Low Noise . . . $V_n = 18 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ Typ
- High Input Impedance . . . JFET-Input Stage
- Internal Frequency Compensation (Except TL070, TL070A)
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate . . . 13 V/ μs Typ

description

The JFET-input operational amplifiers in the TL07__ series are designed as low-noise versions of the TL08__ series amplifiers with low input bias and offset currents and fast slew rate. The low harmonic distortion and low noise make the TL07__ series ideally suited as amplifiers for high-fidelity and audio preamplifier applications. Each amplifier features JFET-inputs (for high input impedance) coupled with bipolar output stages all integrated on a single monolithic chip.

The M suffix devices are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C. The I suffix devices are characterized for operation from -40°C to 85°C, and the C suffix devices are characterized for operation from 0°C to 70°C.

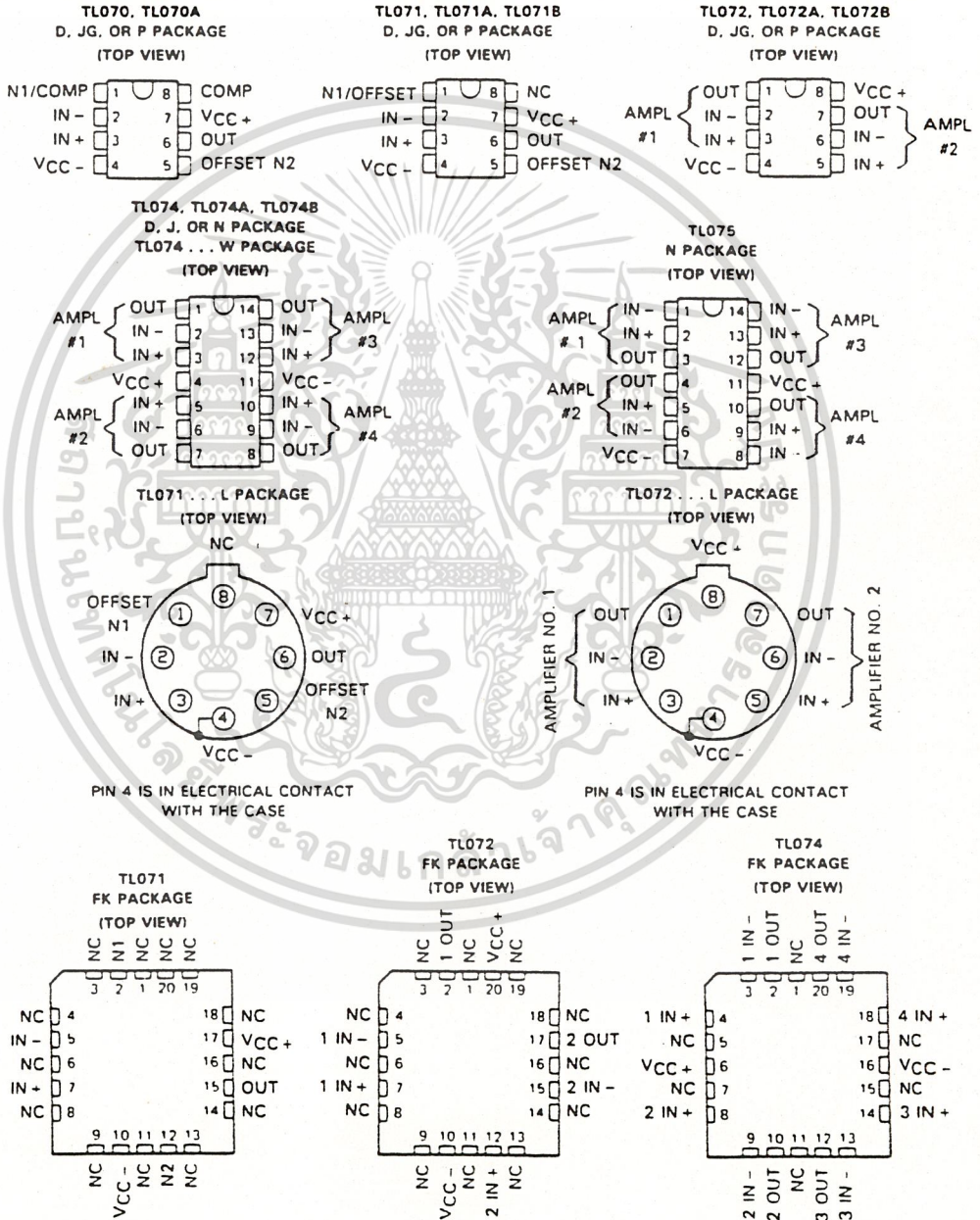
AVAILABLE OPTIONS

T _A	V _{IO} MAX AT 25°C	PACKAGE							
		SMALL OUTLINE (D)	CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (J)	CERAMIC DIP (JG)	METAL CAN (L)	PLASTIC DIP (N)	PLASTIC DIP (P)	FLAT PACK (W)
0°C to 70°C	10 mV	TL070CD			TL070CJG			TL070CP	
	6 mV	TL070ACD			TL070ACJG			TL070ACP	
	10 mV	TL071CD			TL071CJG			TL071CP	
	6 mV	TL071ACD			TL071ACJG			TL071ACP	
	3 mV	TL071BCD			TL071BCJG			TL071BCP	
	10 mV	TL072CD			TL072CJG			TL072CP	
	6 mV	TL072ACD			TL072ACJG			TL072ACP	
	3 mV	TL072BCD			TL072BCJG			TL072BCP	
	10 mV	TL074CD		TL074CJ			TL074CN		
	6 mV	TL074ACD		TL074ACJ			TL074ACN		
3 mV	TL074BCD		TL074BCJ			TL074BCN			
10 mV						TL075CN			
-40°C to 85°C	6 mV	TL070ID			TL070IJG			TL070IP	
	6 mV	TL071ID			TL071IJG			TL071IP	
	6 mV	TL072ID			TL072IJG			TL072IP	
	6 mV	TL074ID		TL074IJ			TL074IN		
-55°C to 125°C	6 mV		TL071MFK		TL071MJG	TL071ML			
	6 mV		TL072MFK		TL072MJG	TL072ML			
	9 mV		TL074MFK	TL074MJ					TL074MW

The D package is available taped and reeled. Add the suffix R to the device type (e.g., TL071CDRI).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

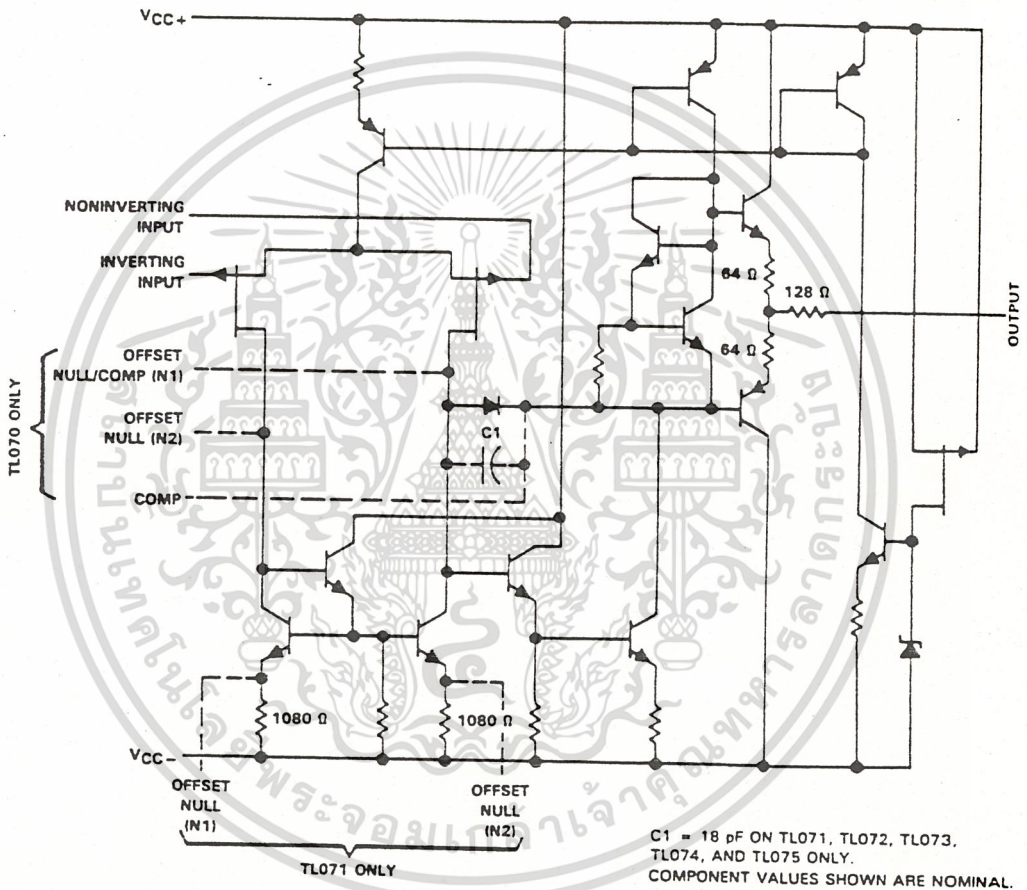
**TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B,
TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075**
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS



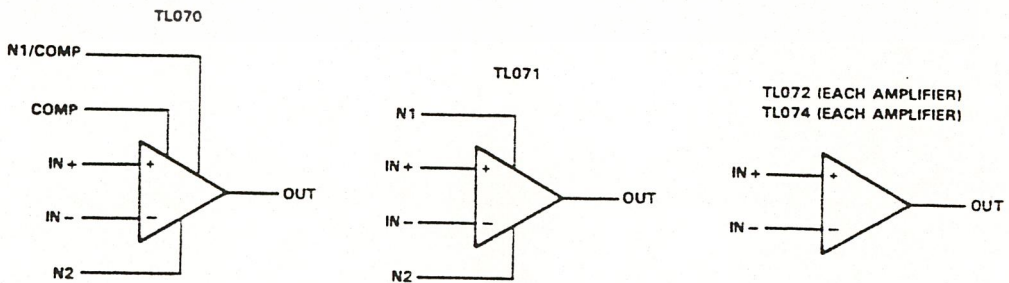
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B,
TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

schematic (each amplifier)



symbols



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B,
TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	TL07_M	TL07_L	TL07_C TL07_AC TL07_BC	UNIT
Supply voltage, V_{CC+} (see Note 1)	18	18	18	V
Supply voltage, V_{CC-} (see Note 1)	-18	-18	-18	V
Differential input voltage (see Note 2)	± 30	± 30	± 30	V
Input voltage (see Notes 1 and 3)	± 15	± 15	± 15	V
Duration of output short circuit (see Note 4)	unlimited	unlimited	unlimited	
Continuous total dissipation	See Dissipation Rating Table			
Operating free-air temperature range	-55 to 125	-40 to 85	0 to 70	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature range	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	$^{\circ}\text{C}$
Case temperature for 60 seconds	FK package	260		$^{\circ}\text{C}$
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	J, JG, or W package	300	300	$^{\circ}\text{C}$
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	D, N, or P package		260	$^{\circ}\text{C}$
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	L package	300		$^{\circ}\text{C}$

- NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
 2. Differential voltages are at the noninverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
 3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 V, whichever is less.
 4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \leq 25^{\circ}\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR	DERATE ABOVE T_A	$T_A = 70^{\circ}\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 85^{\circ}\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 125^{\circ}\text{C}$ POWER RATING
D (8-pin)	680 mW	5.8 mW/ $^{\circ}\text{C}$	33 $^{\circ}\text{C}$	464 mW	377 mW	N/A
D (14-pin)	680 mW	7.6 mW/ $^{\circ}\text{C}$	60 $^{\circ}\text{C}$	608 mW	494 mW	N/A
FK	680 mW	11.0 mW/ $^{\circ}\text{C}$	88 $^{\circ}\text{C}$	680 mW	680 mW	275 mW
J (TL07_M)	680 mW	11.0 mW/ $^{\circ}\text{C}$	88 $^{\circ}\text{C}$	680 mW	680 mW	275 mW
J (all others)	680 mW	8.2 mW/ $^{\circ}\text{C}$	67 $^{\circ}\text{C}$	656 mW	533 mW	N/A
JG (TL07_M)	680 mW	8.4 mW/ $^{\circ}\text{C}$	69 $^{\circ}\text{C}$	672 mW	546 mW	210 mW
JG (all others)	680 mW	6.6 mW/ $^{\circ}\text{C}$	47 $^{\circ}\text{C}$	528 mW	429 mW	N/A
L	680 mW	6.6 mW/ $^{\circ}\text{C}$	25 $^{\circ}\text{C}$	528 mW	429 mW	165 mW
N	680 mW	9.2 mW/ $^{\circ}\text{C}$	76 $^{\circ}\text{C}$	680 mW	598 mW	N/A
P	680 mW	8.0 mW/ $^{\circ}\text{C}$	65 $^{\circ}\text{C}$	640 mW	520 mW	N/A
W	680 mW	8.0 mW/ $^{\circ}\text{C}$	65 $^{\circ}\text{C}$	640 mW	520 mW	200 mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL071M, TL072M, TL074M
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

electrical characteristics, $V_{CC} \pm = \pm 15 \text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹		TL071M TL072M			TL074M			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_O = 0,$ $R_S = 50 \Omega,$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = -55^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$		3	6		3	9	mV
					9		15		
α_{VIO} Temperature coefficient of input offset voltage	$V_O = 0,$ $T_A = -55^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$	$R_S = 50 \Omega,$		18			18		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{IO} Input offset current ²	$V_O = 0$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = -55^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$		5	100		5	100	pA
					20		20		nA
I_{IB} Input bias current	$V_O = 0$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = -55^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$		65	200		65	200	pA
					50		50		nA
V_{ICR} Common-mode input voltage range	$T_A = 25^\circ\text{C}$		± 11	-12 to +15		± 11	-12 to +15		V
V_{OM} Maximum peak output voltage swing	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$ $R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = -55^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$	$\pm 12 \pm 13.5$			$\pm 12 \pm 13.5$			V
			± 12			± 12			
			± 10			± 10			
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_O = \pm 10 \text{ V},$ $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = -55^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$	35	200		35	200		V/mV
B_1 Unity-gain bandwidth	$T_A = 25^\circ\text{C}$			3			3		MHz
r_i Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$			10^{12}			10^{12}		Ω
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICR \text{ min}}, V_O = 0,$ $R_S = 50 \Omega,$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	80	86		80	86		dB
k_{SVR} Supply voltage rejection ratio ($\Delta V_{CC} \pm / \Delta V_{IO}$)	$V_{CC} = \pm 15 \text{ V to } \pm 9 \text{ V}, V_O = 0,$ $R_S = 50 \Omega,$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	80	86		80	86		dB
I_{CC} Supply current (each amplifier)	No load, $T_A = 25^\circ\text{C}$	$V_O = 0,$		1.4	2.5		1.4	2.5	mA
V_{O1}/V_{O2} Crosstalk attenuation	$A_{VD} = 100,$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		120			120		dB

¹All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage unless otherwise specified.
²Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive as shown in Figure 6. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B,
TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

electrical characteristics, $V_{CC} \pm = \pm 15$ V (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL070A TL071 TL072 TL074			TL070C TL071C TL072C TL074C			TL070AC TL071AC TL072AC TL074AC			TL070BC TL071BC TL072BC TL074BC			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IO}	Input offset voltage $V_O = 0$, $R_S = 50 \Omega$													mV
αV_{IO}	Temperature coefficient of input offset voltage $V_O = 0$, $R_S = 50 \Omega$, $T_A = \text{full range}$		18			18			18		18		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
I_{IO}	Input offset current †												pA	
I_{IB}	Input bias current †												nA	
V_{ICR}	Common-mode input voltage range $T_A = 25^\circ\text{C}$												nA	
V_{OM}	Maximum peak output voltage swing $R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$												V	
A_{VD}	Large-signal differential voltage amplification $V_O = \pm 10$ V $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$												V/mV	
B_1	Unity gain bandwidth $T_A = 25^\circ\text{C}$												MHz	
η	Input resistance $T_A = 25^\circ\text{C}$												Ω	
CMRR	Common-mode rejection ratio $V_{IC} = V_{ICR \text{ min}}$, $V_O = 0$, $R_S = 80 \Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$												dB	
k_{SVR}	Supply voltage rejection ratio $V_{CC} = \pm 15$ V to ± 9 V, $V_O = 0$, $R_S = 50 \Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$												dB	
I_{CC}	Supply current (each amplifier) No load, $V_O = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$												mA	
V_{GS1}/V_{GS2}	Crosstalk attenuation $A_{VD} = 100$, $T_A = 25^\circ\text{C}$												dB	

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage unless otherwise specified. Full range for T_A is -40°C to 85°C for TL071 and 0°C to 70°C for TL070, TL072, TL074, and TL075.
‡ Input bias currents of a JFET input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive as shown in Figure 6. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B,
TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

operating characteristics, $V_{CC} \pm = \pm 15 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL07_M			ALL OTHERS			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
SR Slew rate at unity gain	$V_i = 10 \text{ V}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $C_L = 100 \text{ pF}$, See Figure 1	8	13		8	13		$\text{V}/\mu\text{s}$
t_r Rise time	$V_i = 20 \text{ mV}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $C_L = 100 \text{ pF}$, See Figure 1		0.1			0.1		μs
overshoot factor			20			20		%
V_n Equivalent input noise voltage	$R_S = 100 \Omega$, $f = 1 \text{ kHz}$		18			18		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
	$f = 10 \text{ Hz to } 10 \text{ kHz}$		4			4		μV
I_n Equivalent input noise current	$R_S = 100 \Omega$, $f = 1 \text{ kHz}$		0.01			0.01		$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
THD Total harmonic distortion	$V_{O(\text{rms})} = 10 \text{ V}$, $R_S \leq 1 \text{ k}\Omega$, $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$, $f = 1 \text{ kHz}$		0.003			0.003		%

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

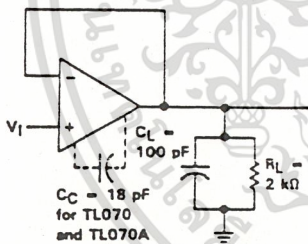


FIGURE 1. UNITY-GAIN AMPLIFIER

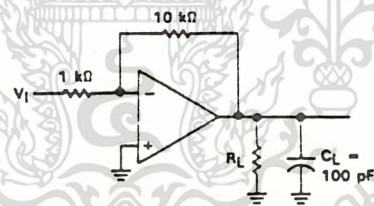


FIGURE 2. GAIN-OF-10
INVERTING AMPLIFIER

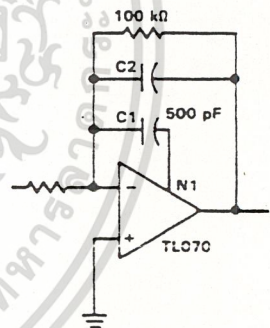


FIGURE 3. FEED-FORWARD
COMPENSATION

INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUITS

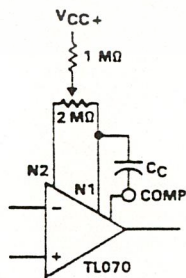


FIGURE 4

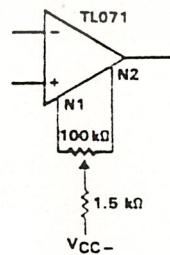


FIGURE 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B,
TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL CHARACTERISTICS[†]

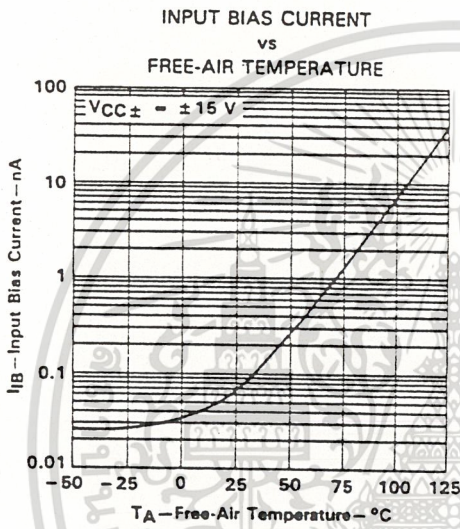


FIGURE 6

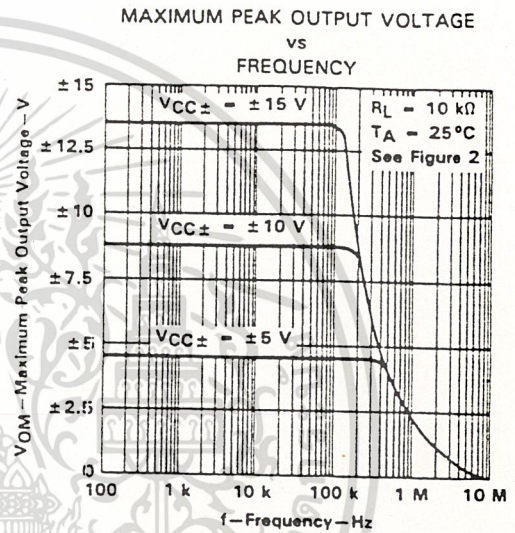


FIGURE 7

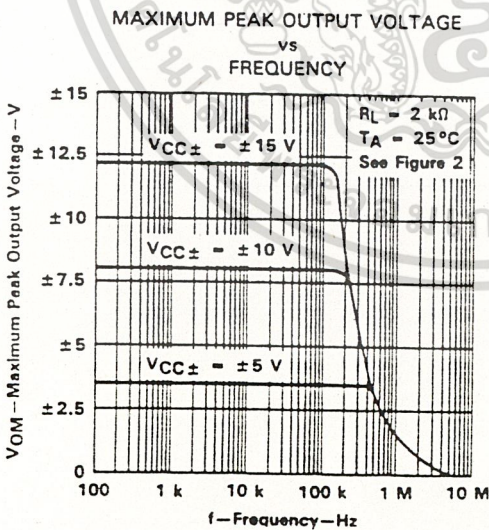


FIGURE 8

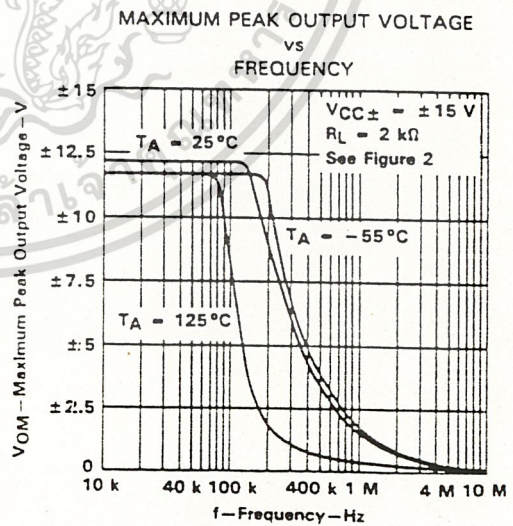


FIGURE 9

[†]Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. An 18-pF compensation capacitor is used with TL070 and TL070A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B
 TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075
 LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL CHARACTERISTICS†

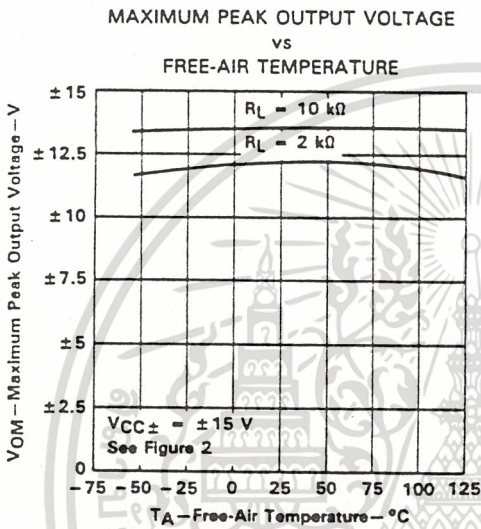


FIGURE 10

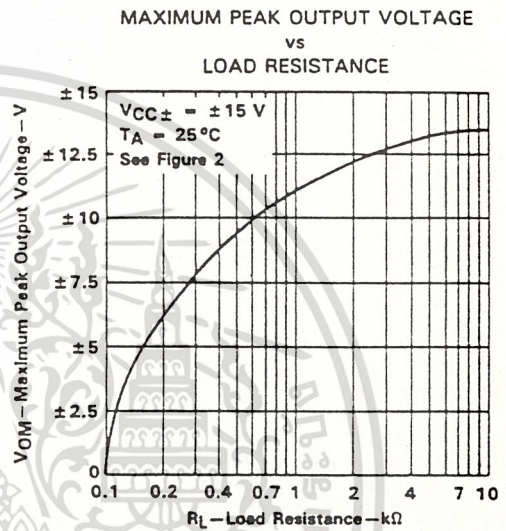


FIGURE 11

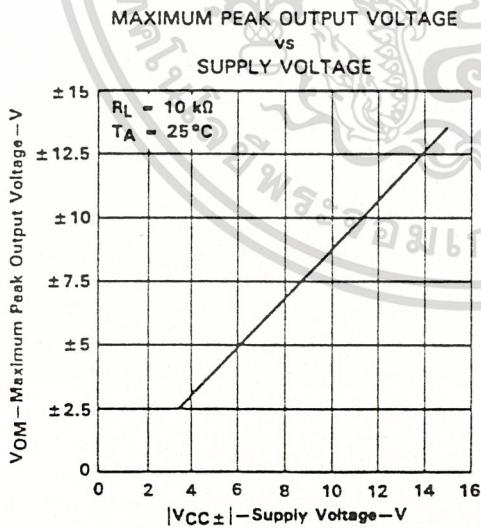


FIGURE 12

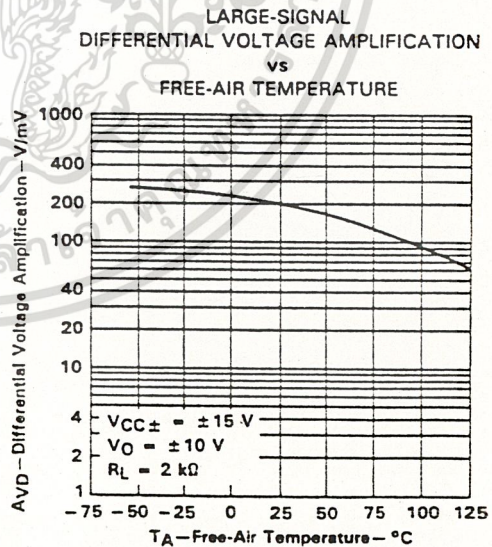


FIGURE 13

† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. An 18-pF compensation capacitor is used with TL070 and TL070A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B,
TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL CHARACTERISTICS†

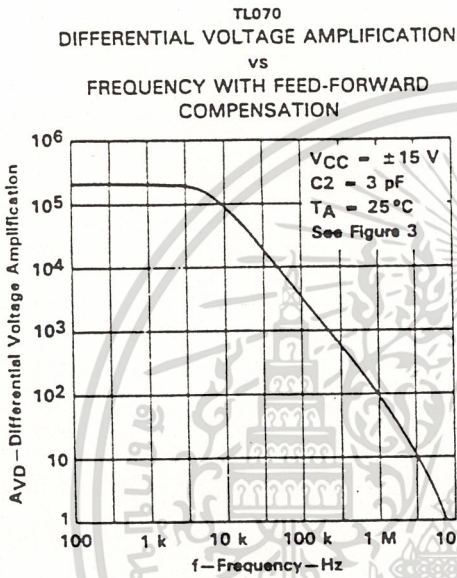


FIGURE 14

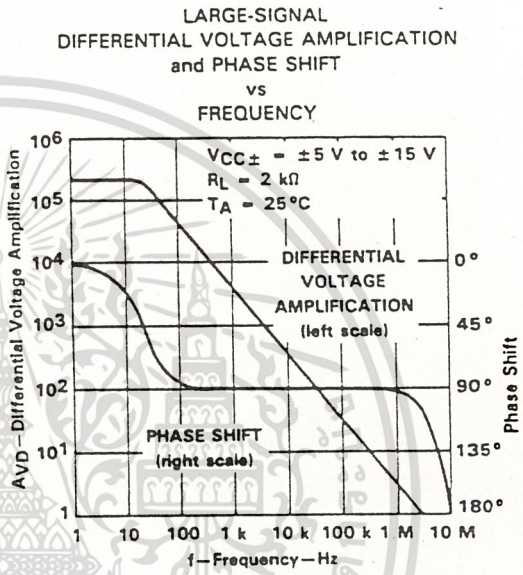


FIGURE 15

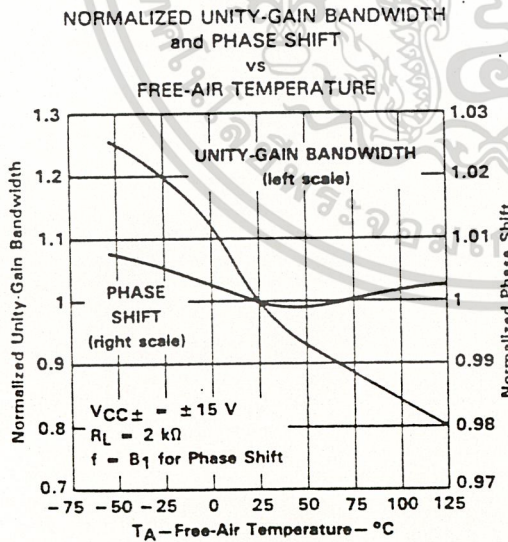


FIGURE 16

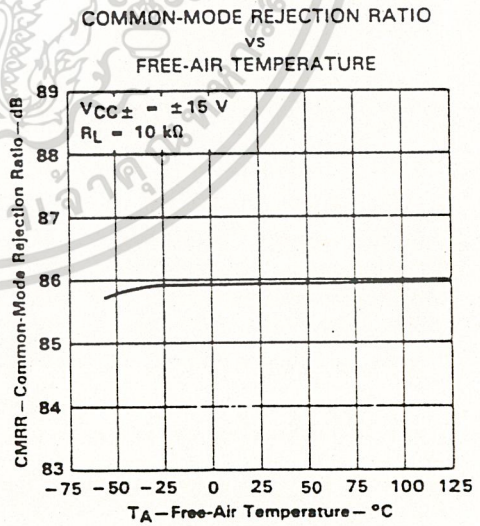


FIGURE 17

†Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. An 18-pF compensation capacitor is used with TL070 and TL070A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B
 TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075
 LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL CHARACTERISTICS†

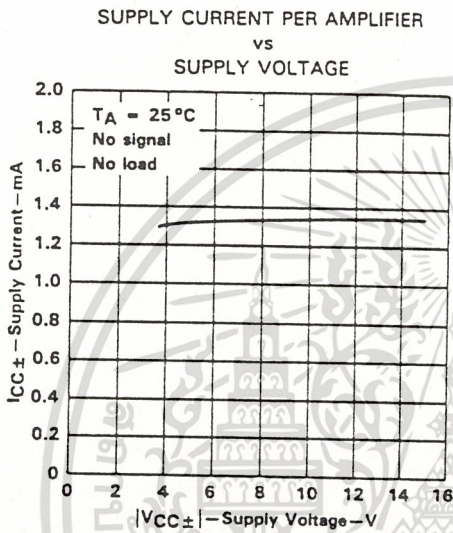


FIGURE 18

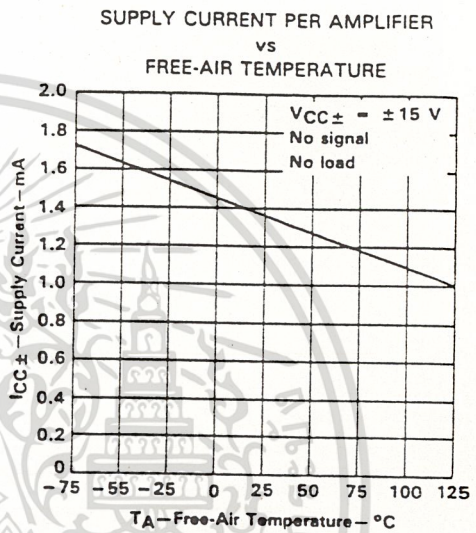


FIGURE 19

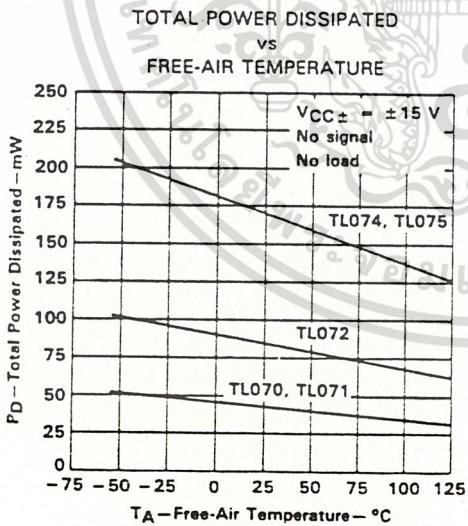


FIGURE 20

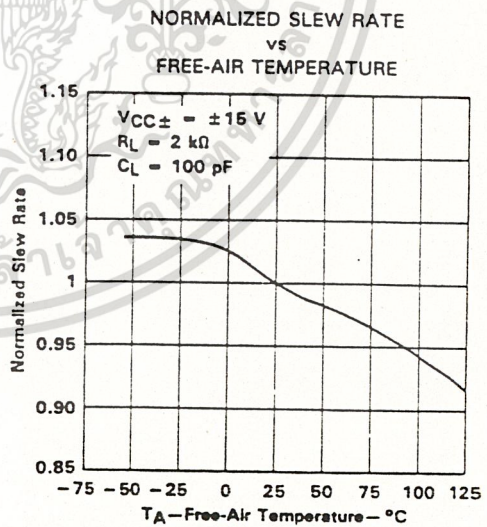


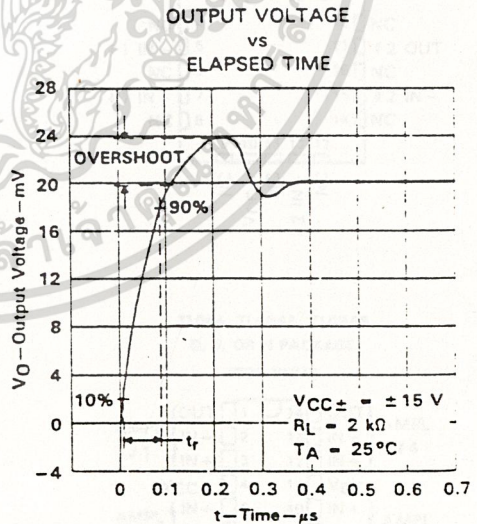
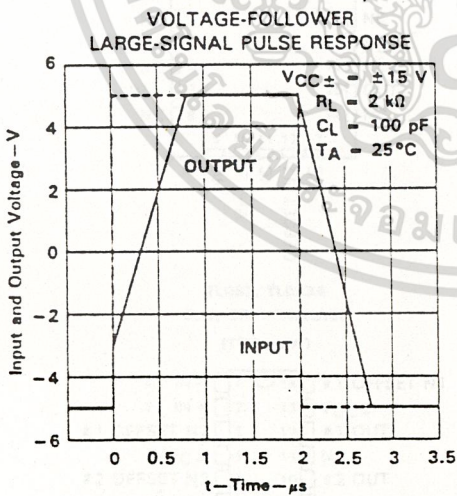
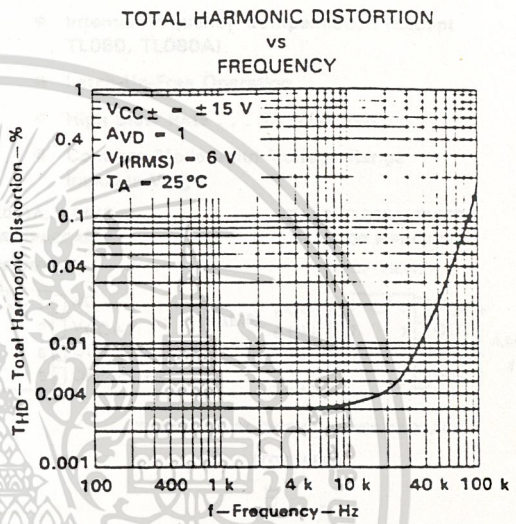
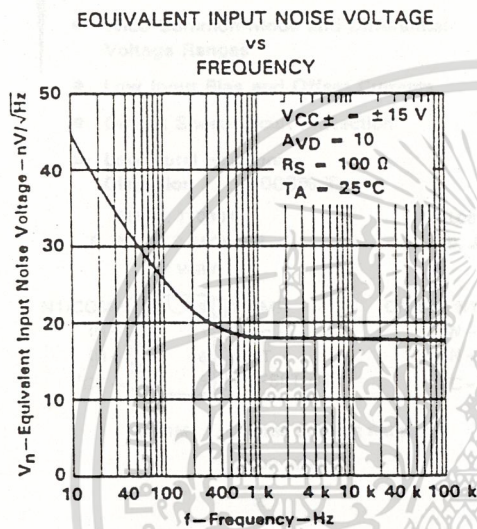
FIGURE 21

†Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. An 18-pF compensation capacitor is used with TL070 and TL070A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B,
 TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075
 LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL CHARACTERISTICS

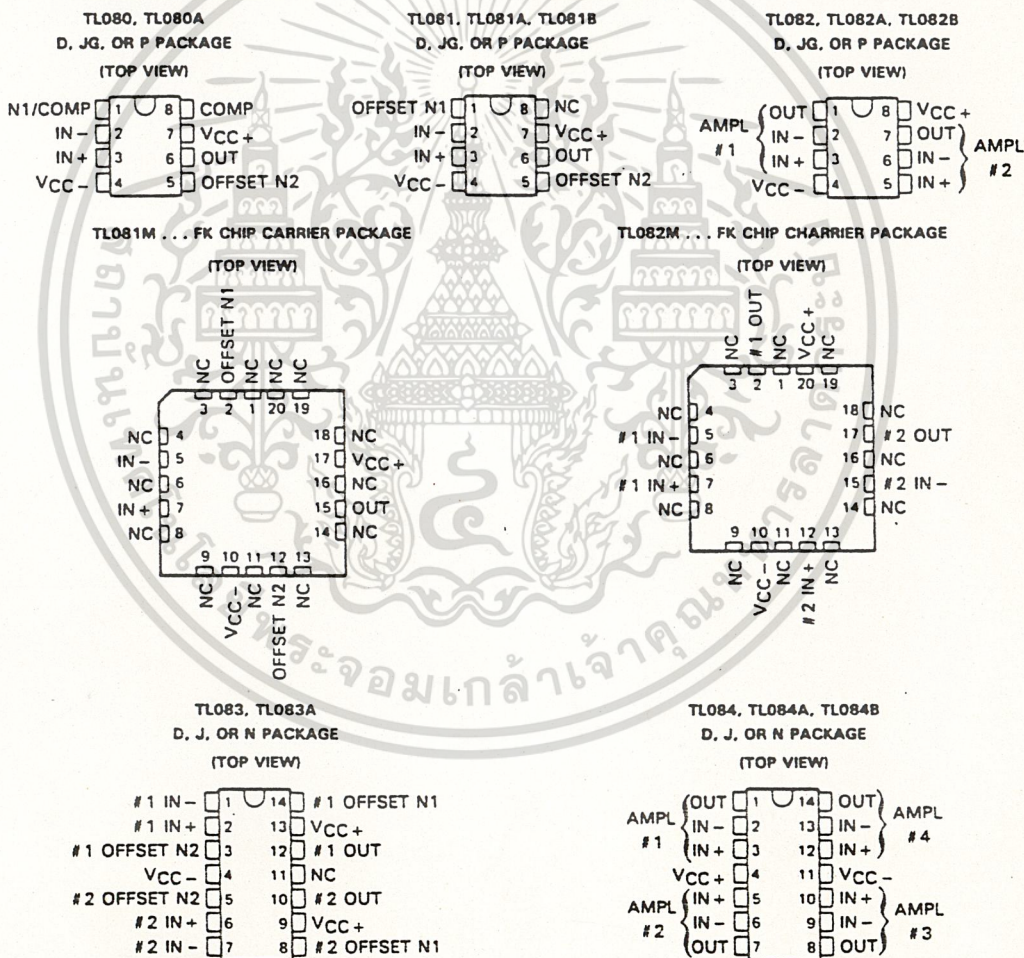


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A
TL081B, TL082B, TL084B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**
D2297, FEBRUARY 1977—REVISED NOVEMBER 1988

24 DEVICES COVER MILITARY, INDUSTRIAL AND COMMERCIAL TEMPERATURE RANGES

- Low-Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- Low Total Harmonic Distortion . . . 0.003% Typ
- High Input Impedance . . . JFET-Input Stage
- Internal Frequency Compensation (Except TL080, TL080A)
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate . . . 13 V/ μ s Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes VCC+

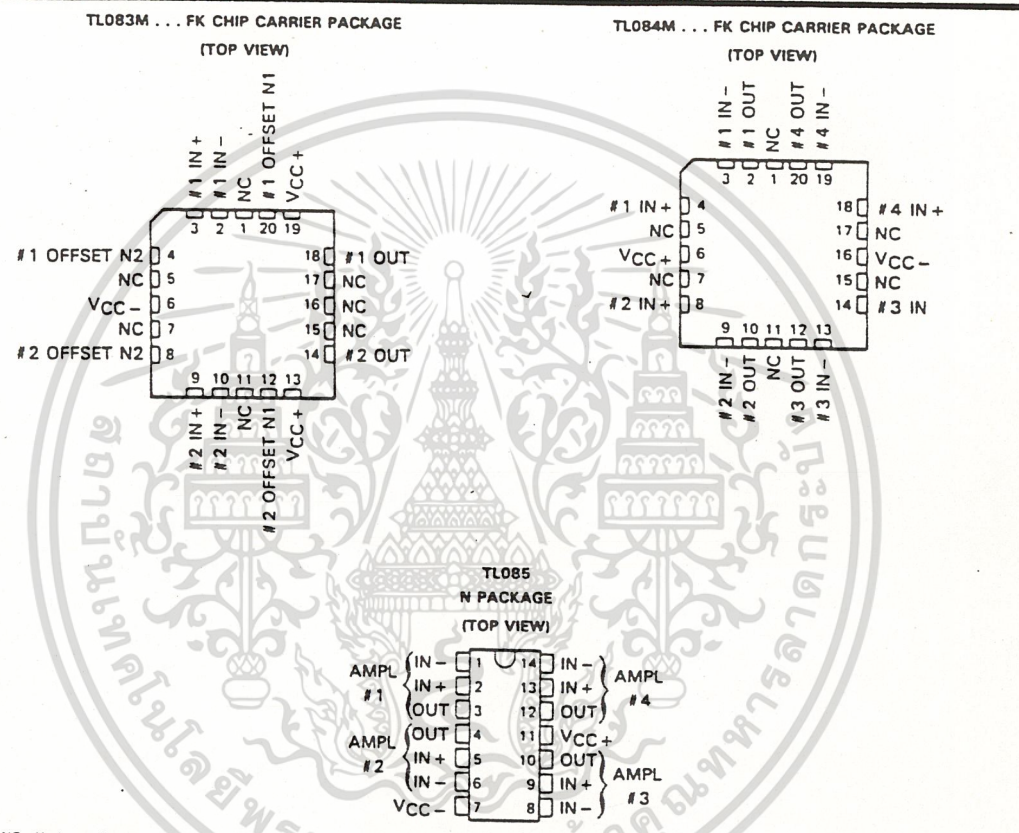


Pins 9 and 13 are internally interconnected

NC—No internal connection

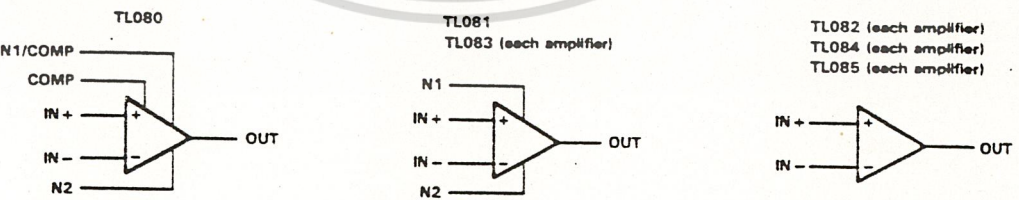
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A
TL081B, TL082B, TL084B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**



NC—No internal connection

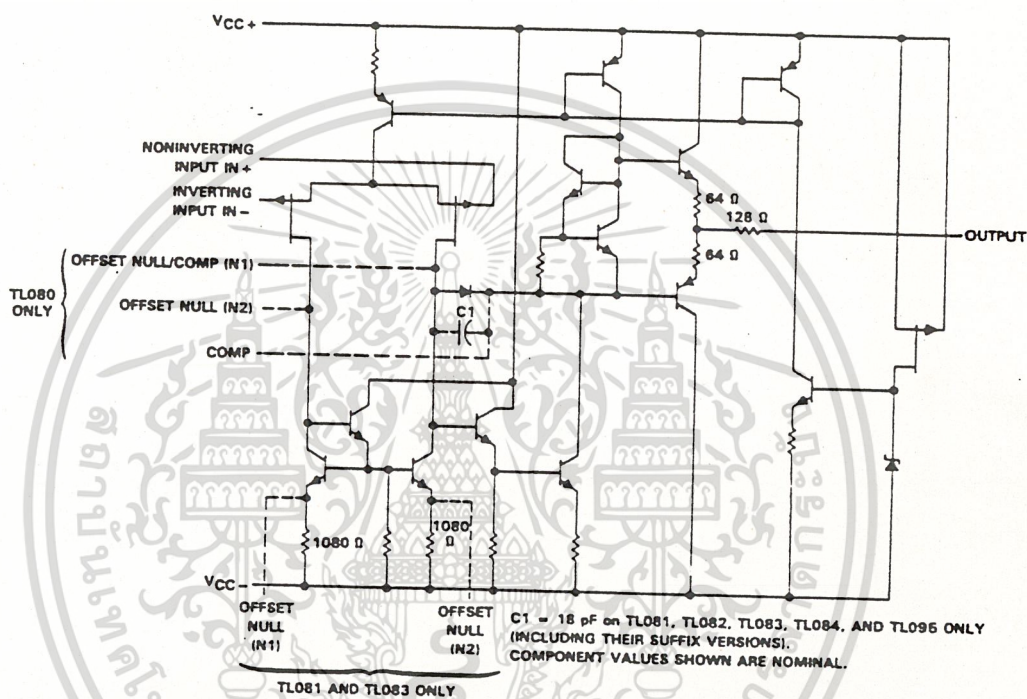
symbols



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A
TL081B, TL082B, TL084B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**

schematic (each amplifier)



absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	TL08_M	TL08_I	TL08_C TL08_AC TL08_BC	UNIT
Supply voltage, VCC+ (see Note 1)	18	18	18	V
Supply voltage, VCC- (see Note 1)	-18	-18	-18	V
Differential input voltage (see Note 2)	±30	±30	±30	V
Input voltage (see Notes 1 and 3)	±15	±15	±15	V
Duration of output short circuit (see Note 4)	unlimited	unlimited	unlimited	
Continuous total dissipation	See Dissipation Rating Table			
Operating free-air temperature range	-65 to 125	-40 to 85	0 to 70	°C
Storage temperature range	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	°C
Case temperature for 60 seconds	FK package	260		°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	J or JG package	300	300	°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	D, N, or P package		260	°C

- NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between VCC+ and VCC-.
2. Differential voltages are at the noninverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 V, whichever is less.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL080 THRU TL085, TL090A THRU TL084A
TL081B, TL082B, TL084B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

description

The TL08_ JFET-input operational amplifier family is designed to offer a wider selection than any previously developed operational amplifier family. Each of these JFET-input operational amplifiers incorporates well-matched, high-voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit. The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient. Offset adjustment and external compensation options are available within the TL08_ family.

Device types with an "M" suffix are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C, those with an "I" suffix are characterized for operation from -40°C to 85°C, and those with a "C" suffix are characterized for operation from 0°C to 70°C.

AVAILABLE OPTIONS

T _A	V _{IO} MAX AT 25°C	PACKAGE					
		SMALL OUTLINE (D)	CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (J)	CERAMIC DIP (JG)	PLASTIC DIP (N)	PLASTIC DIP (P)
0°C TO 70°C	15 mV	TL080CD			TL080CJG		TL080CP
	6 mV	TL080ACD			TL080ACJG		TL080ACP
	15 mV	TL081CD			TL081CJG		TL081CP
	6 mV	TL081ACD			TL081ACJG		TL081ACP
	3 mV	TL081BCD			TL081BCJG		TL081BCP
	15 mV	TL082CD			TL082CJG		TL082CP
	6 mV	TL082ACD			TL082ACJG		TL082ACP
	3 mV	TL082BCD			TL082BCJG		TL082BCP
	15 mV	TL083CD		TL083CJ		TL083CN	
	6 mV	TL083ACD		TL083ACJ		TL083ACN	
	15 mV	TL084CD		TL084CJ		TL084CN	
	6 mV	TL084ACD		TL084ACJ		TL084ACN	
	3 mV	TL084BCD		TL084BCJ		TL084BCN	
	15 mV					TL085CN	
	-40°C TO 85°C	6 mV	TL080ID			TL080IJG	
6 mV		TL081ID			TL081IJG		TL081IP
6 mV		TL082ID			TL082IJG		TL082IP
6 mV		TL083ID		TL083IJ		TL083IN	
6 mV		TL084ID		TL084IJ		TL084IN	
-55°C TO 125°C	6 mV		TL081MFK		TL080MJG		
	6 mV		TL082MFK		TL081MJG		
	6 mV		TL083MFK	TL083MJ	TL082MJG		
	9 mV		TL084MFK	TL084MJ			

The D package is available taped and reeled. Add "R" suffix to device type (e.g., TL080CDR).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLO80 THRU TLO85, TLO80A THRU TLO84A
TLO81B, TLO82B, TLO84B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	T _A ≤ 25°C POWER RATING	DERATING FACTOR	DERATE ABOVE T _A	T _A = 70°C POWER RATING	T _A = 85°C POWER RATING	T _A = 125°C POWER RATING
D (8 Pin)	680 mW	5.8 mW/°C	32°C	464 mW	377 mW	N/A
D (14 Pin)	680 mW	7.6 mW/°C	60°C	608 mW	494 mW	N/A
FK ¹	680 mW	11.0 mW/°C	88°C	680 mW	680 mW	275 mW
J (TLO8_M)	680 mW	11.0 mW/°C	88°C	680 mW	680 mW	275 mW
J (all others)	680 mW	8.2 mW/°C	67°C	656 mW	533 mW	N/A
JG (TLO8_M)	680 mW	8.4 mW/°C	69°C	672 mW	546 mW	210 mW
JG (all others)	680 mW	6.6 mW/°C	47°C	528 mW	429 mW	N/A
N	680 mW	9.2 mW/°C	76°C	680 mW	598 mW	N/A
P	680 mW	8.0 mW/°C	65°C	640 mW	520 mW	N/A

electrical characteristics, V_{CC} ± = ±15 V (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹		TLO80M, TLO81M TLO82M, TLO83M			TLO84M			UNIT	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
V _{IO}	Input offset voltage	V _O = 0, R _S = 50 Ω	T _A = 25°C	3	6	9	T _A = -55°C to 125°C	9	15	mV
αV _{IO}	Temperature coefficient of input offset voltage	V _O = 0, R _S = 50 Ω	T _A = -55°C to 125°C	18		18				μV/°C
I _{IO}	Input offset current ²	V _O = 0	T _A = 25°C	5	100	5	100	20	20	nA
I _{IB}	Input bias current ²	V _O = 0	T _A = 25°C	30	200	30	200	50	50	nA
V _{ICR}	Common-mode input voltage range	T _A = 25°C		±11	to 15	±12	to 15	±11	to 15	V
V _{OM}	Maximum peak output voltage swing	T _A = 25°C, R _L = 10 kΩ		±12	±13.5	±12	±13.5	±12	±13.5	V
		T _A = -55°C to 125°C, R _L ≥ 10 kΩ		±12		±12		±12		
		T _A = -55°C to 125°C, R _L ≥ 2 kΩ		±10	±12	±10	±12			
A _{VD}	Large-signal differential voltage amplification	V _O = ±10 V, T _A = 25°C	R _L ≥ 2 kΩ	25	200	25	200			V/mV
		V _O = ±10 V, T _A = -55°C to 125°C	R _L ≥ 2 kΩ	15		15				
B ₁	Unity-gain bandwidth	T _A = 25°C		3		3				MHz
r _i	Input resistance	T _A = 25°C		10 ¹²		10 ¹²				Ω
CMRR	Common-mode rejection ratio	V _{IC} = V _{ICR} min., R _S = 50 Ω	V _O = 0, T _A = 25°C	80	86	80	86			dB
k _{SVR}	Supply voltage rejection ratio (ΔV _{CC} ± / ΔV _{IO})	V _{CC} = ±15 V to ±9 V, R _S = 50 Ω	V _O = 0, T _A = 25°C	80	86	80	86			dB
I _{CC}	Supply current (per amplifier)	No load, T _A = 25°C	V _O = 0	1.4	2.8	1.4	2.8			mA
V _{O1} /V _{O2}	Crosstalk attenuation	A _{VD} = 100, T _A = 25°C		120		120				dB

¹ All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified.
² Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive as shown in Figure 18. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperatures as close to the ambient temperature as is possible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A
TL081B, TL082B, TL084B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

electrical characteristics, $V_{CC} \pm = \pm 15\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†		TL080†			TL080C			TL080AC			TL081BC			UNIT
	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	
V_{IO}	$V_O = 0$ $R_S = 50\ \Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = \text{full range}$	3	6	3	15	3	6	3	6	2	3			
σ_{VID}	$V_O = 0$ $T_A = \text{full range}$	$R_S = 50\ \Omega$	18		18				18		18				mV
I_{IO}	$V_O = 0$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = \text{full range}$	5	100	5	200	5	100	5	100	5	100			pA
I_{IB}	$V_O = 0$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = \text{full range}$	30	200	30	400	30	200	30	200	30	200			pA
V_{ICR}	Common-mode input voltage range	$T_A = 25^\circ\text{C}$	-12	10	-12	10	-12	10	-12	10	-12	10			nA
V_{OHM}	Maximum peak output voltage swing	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_L = 10\ \text{k}\Omega$ $R_L = \geq 10\ \text{k}\Omega$ $T_A = \text{full range}$	± 11 ± 12	10 15	± 11 ± 12	10 15	± 11 ± 12	10 15	± 11 ± 12	10 15	± 11 ± 12	10 15	± 11 ± 12	10 15	V
A_{VD}	Large-signal differential voltage amplification	$V_O = \pm 10\ \text{V}$, $R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$	50	200	25	200	50	200	25	200	50	200			V/mV
B_j	Unity-gain bandwidth	$T_A = 25^\circ\text{C}$	25		15		25		15		25				MHz
r_i	Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10 ¹²		10 ¹²		10 ¹²		10 ¹²		10 ¹²				Ω
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICR}$ min, $V_O = 0$, $R_S = 50\ \Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	80	86	70	86	80	86	70	86	80	86			dB
k_{SVR}	Supply voltage rejection ratio	$V_{CC} = \pm 15\ \text{V}$ to $\pm 9\ \text{V}$, $V_O = 0$, $R_S = 50\ \Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	80	86	70	86	80	86	70	86	80	86			dB
I_{CC}	Supply current (per amplifier)	No load, $V_O = 0$	1.4	2.8	1.4	2.8	1.4	2.8	1.4	2.8	1.4	2.8			mA
V_{OI}/V_{O2}	Crosstalk attenuation	$AVD = 100$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	120		120		120		120		120				dB

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified. Full range for T_A is -40°C to 85°C for TL081 and 0°C to 70°C for TL080, TL080C, TL080AC, and TL080BC.

‡ Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive as shown in Figure 18. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperatures as close to the ambient temperature as is possible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A
TL081B, TL082B, TL084B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

operating characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SR Slew rate at unity gain	$V_I = 10 \text{ V}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $C_L = 100 \text{ pF}$, See Figure 1	8	13		V/ μs
t_r Rise time	$V_I = 20 \text{ mV}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $C_L = 100 \text{ pF}$, See Figure 1		0.05		μs
Overhoot factor			20%		
V_n Equivalent input noise voltage	$R_S = 100 \Omega$, $f = 1 \text{ kHz}$ $f = 10 \text{ Hz to } 10 \text{ kHz}$		18		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
I_n Equivalent input noise current	$R_S = 100 \Omega$, $f = 1 \text{ kHz}$		0.01		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
THD Total harmonic distortion	$V_{O(\text{rms})} = 10 \text{ V}$, $R_S \leq 1 \text{ k}\Omega$, $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$, $f = 1 \text{ kHz}$		0.003%		

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

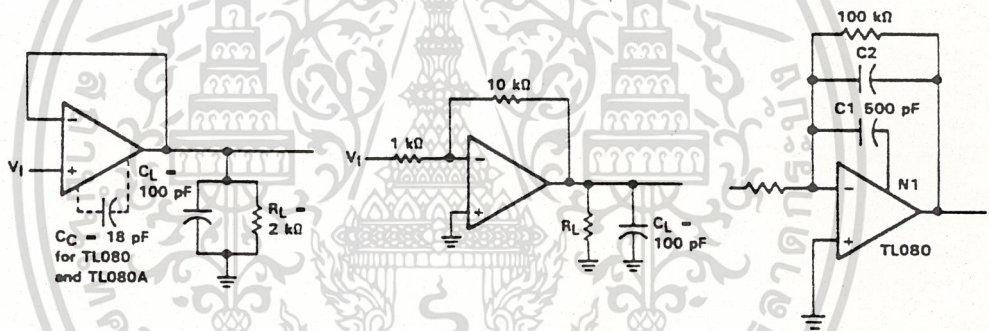


FIGURE 1. UNITY-GAIN AMPLIFIER

FIGURE 2. GAIN-OF-10
INVERTING AMPLIFIER

FIGURE 3. FEED-FORWARD
COMPENSATION

INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUITS

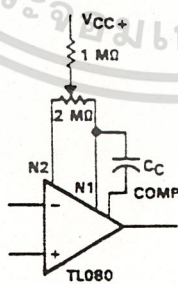


FIGURE 4

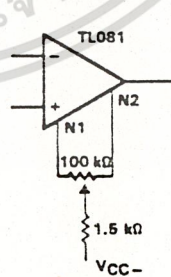


FIGURE 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A
TL081B, TL082B, TL084B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**

TYPICAL CHARACTERISTICS†

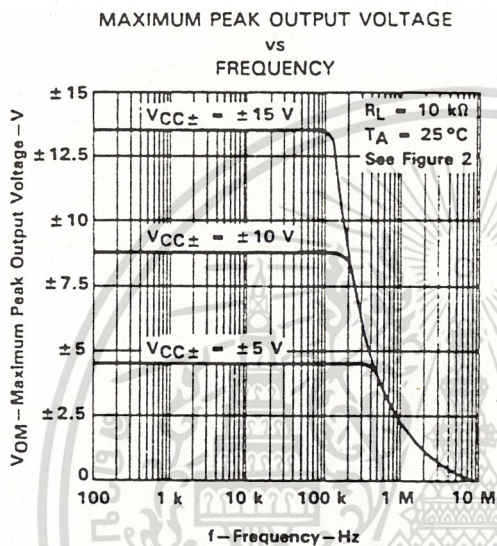


FIGURE 6

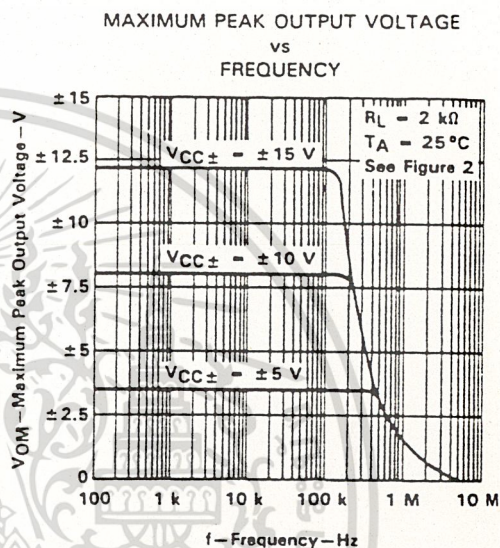


FIGURE 7

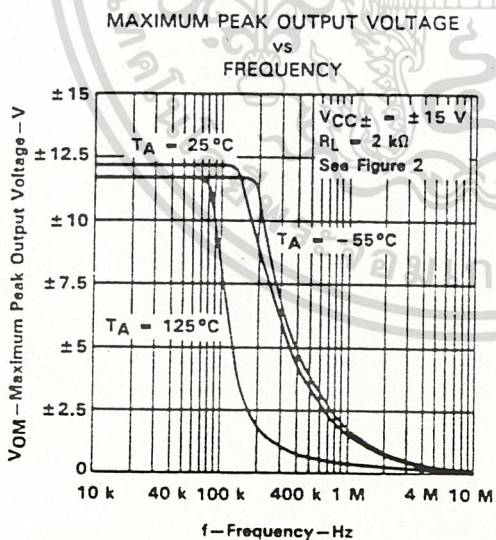


FIGURE 8

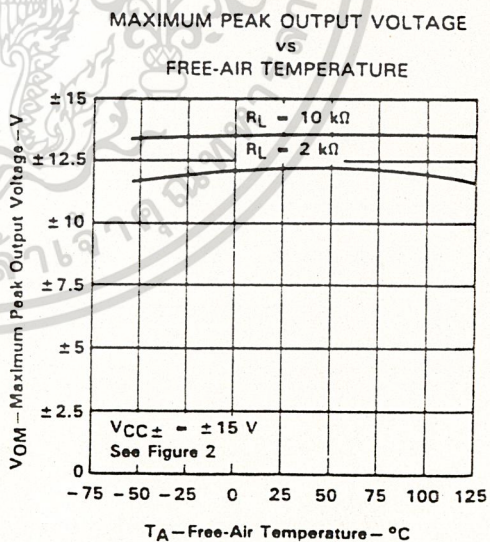


FIGURE 9

† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. A 12-pF compensation capacitor is used with TL080 and TL080A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A
TL081B, TL082B, TL084B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL CHARACTERISTICS†

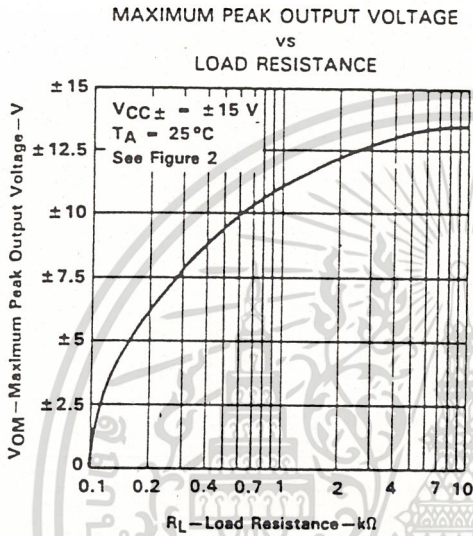


FIGURE 10

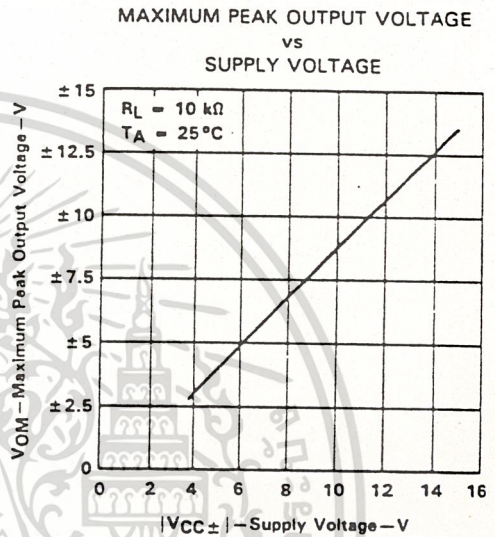


FIGURE 11

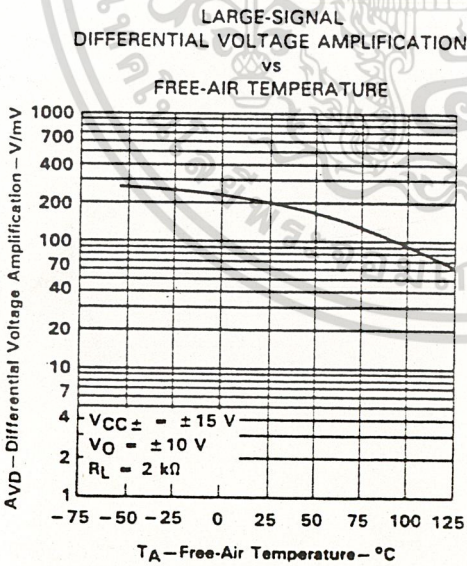


FIGURE 12

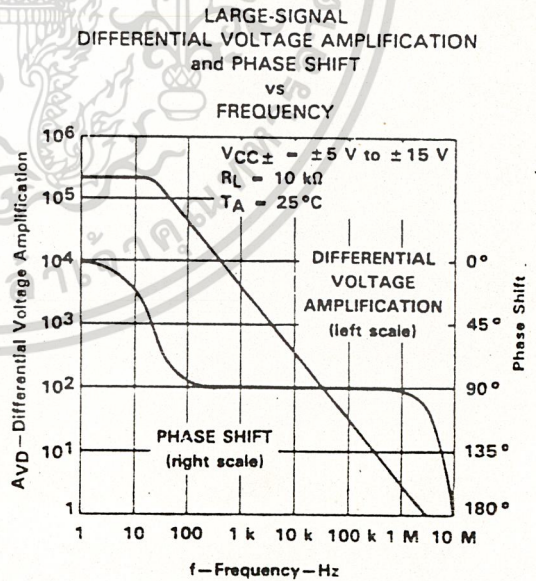


FIGURE 13

† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. A 12-pF compensation capacitor is used with TL080 and TL080A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A
TL081B, TL082B, TL084B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**

TYPICAL CHARACTERISTICS†

TL080, TL080A
DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION
vs
FREQUENCY WITH FEED-FORWARD COMPENSATION

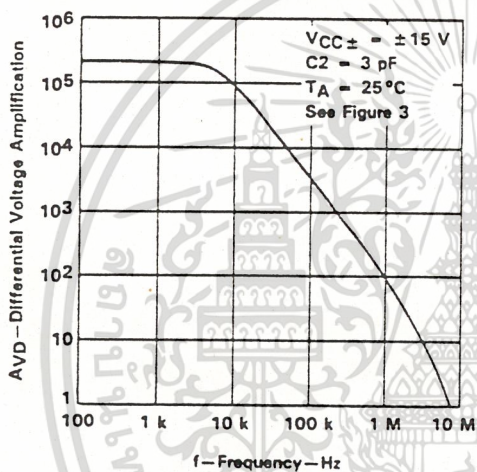


FIGURE 14

TOTAL POWER DISSIPATED
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

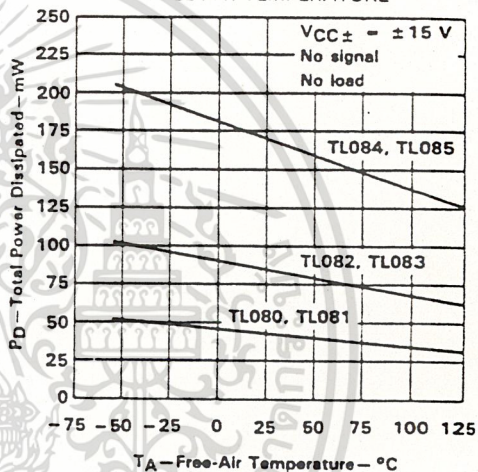


FIGURE 15

SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

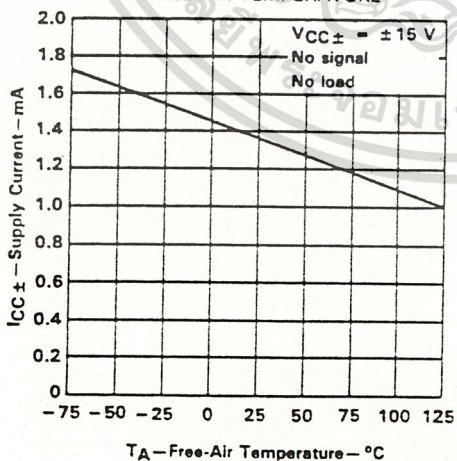


FIGURE 16

SUPPLY CURRENT
vs
SUPPLY VOLTAGE

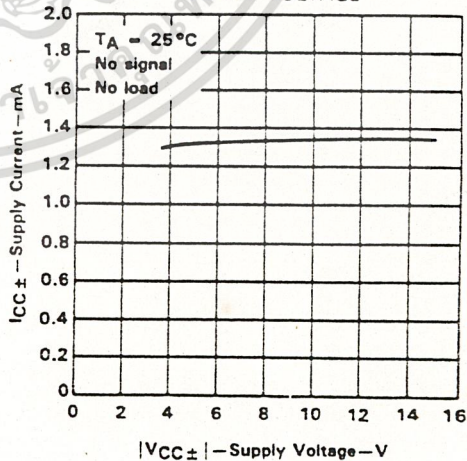


FIGURE 17

† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. A 12-pF compensation capacitor is used with TL080 and TL080A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A
TL081B, TL082B, TL084B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL CHARACTERISTICS†

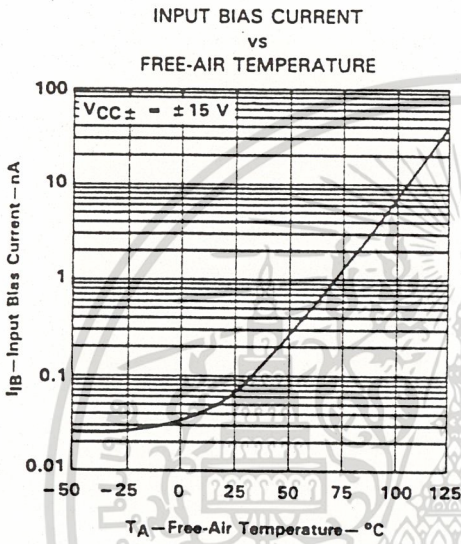


FIGURE 18

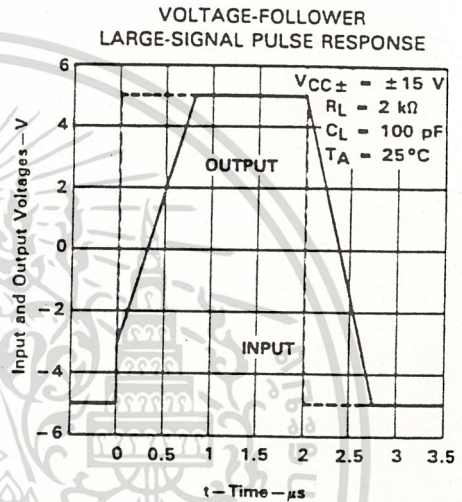


FIGURE 19

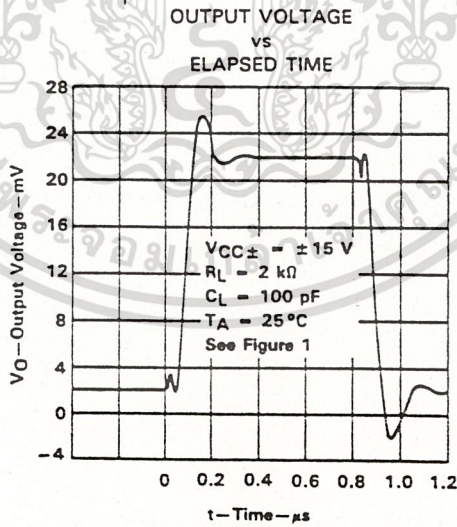


FIGURE 20

† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. A 12-pF compensation capacitor is used with TL080 and TL080A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL080 THRU TL085, TL080A THRU TL084A
TL081B, TL082B, TL084B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**

TYPICAL CHARACTERISTICS†

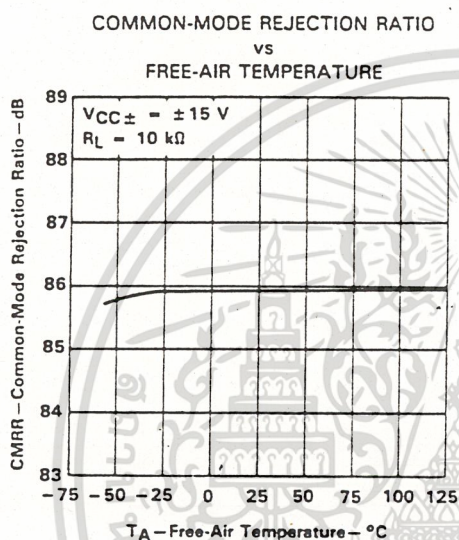


FIGURE 21

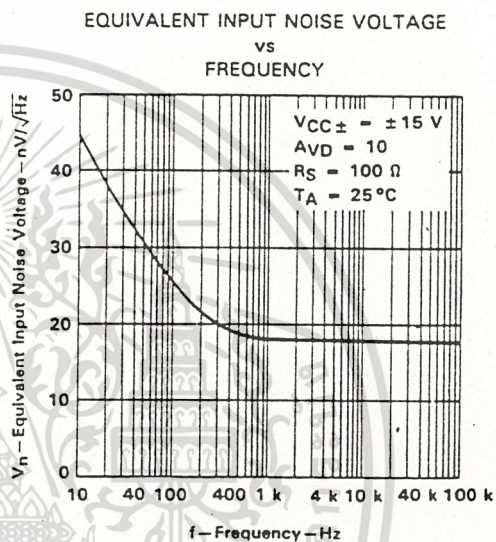


FIGURE 22

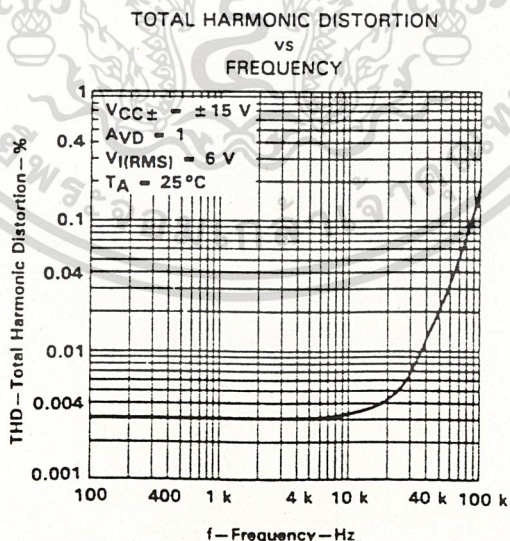


FIGURE 23

† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. A 12-pF compensation capacitor is used with TL080 and TL080A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LINEAR
INTEGRATED CIRCUITS

TYPES SN52555, SN72555
PRECISION TIMERS

BULLETIN NO. DLS 7312053, SEPTEMBER 1973

- Timing from Microseconds to Hours
- Astable or Monostable Operation
- Adjustable Duty Cycle
- Up to 200-mA Sink or Source Output Current
- TTL Compatible Output
- Designed to be Interchangeable with Signetics SE555/NE555

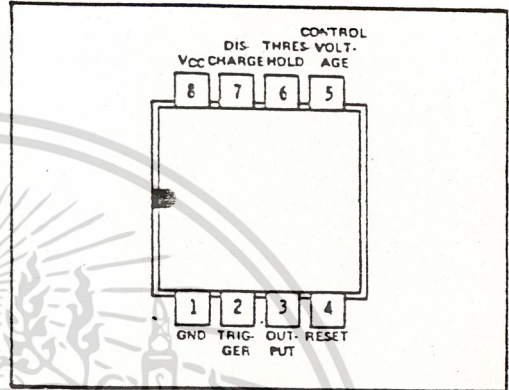
description

- The SN52555 and SN72555 are monolithic timing circuits capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time-delay or monostable mode of operation, the timed interval is controlled by a single external resistor and capacitor network. In the astable mode of operation, the frequency and duty cycle may be independently controlled with two external resistors and a single external capacitor.

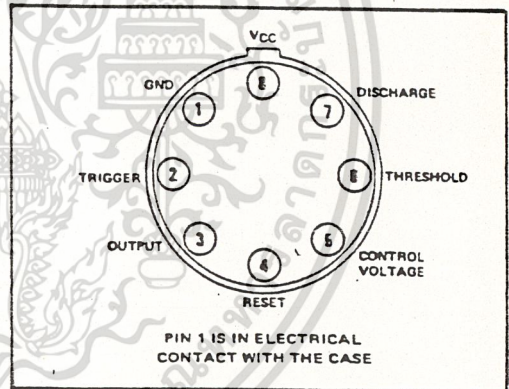
The threshold and trigger levels are normally two-thirds and one-third, respectively, of V_{CC} . These levels can be altered by use of the control voltage terminal. When the trigger input falls below the trigger level, the flip-flop is set and the output goes high. When the threshold input rises above the threshold level, the flip-flop is reset and the output goes low. The reset input can override all other inputs and can be used to initiate a new timing cycle. When the reset input goes low, the flip-flop is reset and the output goes low. When the output is low, a low-impedance path is provided between the discharge terminal and ground.

The output circuit is capable of sinking or sourcing current up to 200 milliamperes. Operation is specified for supplies of 5 to 15 volts. With a 5-volt supply, output levels are compatible with TTL inputs.

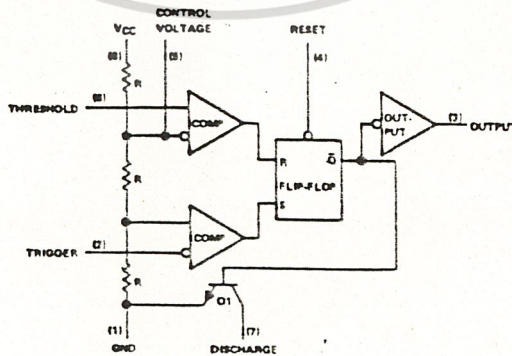
JP OR P DUAL-IN-LINE PACKAGE
(TOP VIEW)



L PLUG-IN PACKAGE
(TOP VIEW)

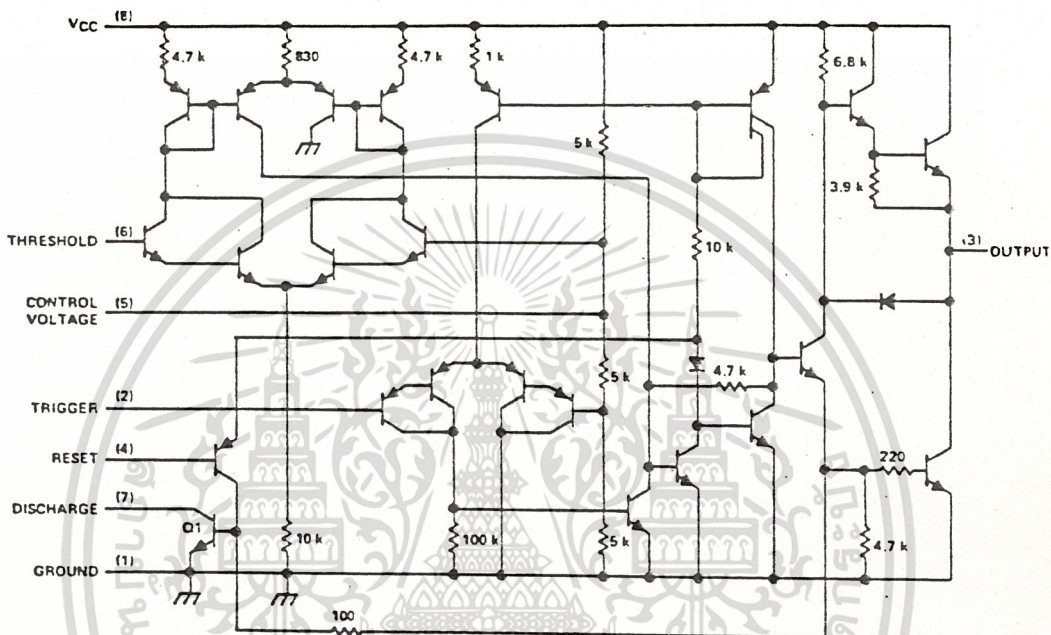


functional block diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

schematic



Resistor values shown are nominal and in ohms.

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

Supply voltage, V _{CC} (see Note 1)	18 V
Input voltage (control voltage, reset, threshold, trigger)	V _{CC}
Output current	±225 mA
Continuous total dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (see Note 2)	600 mW
Operating free-air temperature range: SN52555	-55°C to 125°C
SN72555	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Lead temperature 1/16 inch from case for 60 seconds: JP or L package	300°C
Lead temperature 1/16 inch from case for 10 seconds: P package	260°C

- NOTES: 1. All voltage values are with respect to network ground terminal.
 2. For operation above 25°C free-air temperature, refer to Dissipation Derating Curve, Figure 1.

recommended operating conditions

	SN52555			SN72555			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5		18	4.5		16	V
Input voltage, V _I (control voltage, reset, threshold, trigger)			V _{CC}			V _{CC}	V
Output Current, I _O			±200			±200	mA
Operating free-air temperature, T _A	-55		125	0		70	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics at 25°C free-air temperature, V_{CC} = 5 V to 15 V (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SN52555			SN72555			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Threshold voltage level as a percentage of supply voltage		66.7			66.7			%
Threshold current (see Note 3)		0.1 0.25			0.1 0.25			μA
Trigger voltage level	V _{CC} = 15 V	4.8	5	5.2	5			V
	V _{CC} = 5 V	1.45	1.67	1.9	1.67			
Trigger current		0.5			0.5			μA
Reset voltage level		0.4 0.7 1			0.4 0.7 1			V
Reset current		0.1			0.1			mA
Control voltage (open-circuit)	V _{CC} = 15 V	9.6	10	10.4	9	10	11	V
	V _{CC} = 5 V	2.9	3.3	3.8	2.6	3.3	4	
Low-level output voltage	V _{CC} = 15 V	I _{OL} = 10 mA	0.1 0.15		0.1 0.25		V	
		I _{OL} = 50 mA	0.4 0.5		0.4 0.75			
		I _{OL} = 100 mA	2 2.2		2 2.5			
		I _{OL} = 200 mA	2.5		2.5			
	V _{CC} = 5 V	I _{OL} = 5 mA	0.1 0.25		0.16 0.35			
		I _{OL} = 8 mA						
High-level output voltage	V _{CC} = 15 V	I _{OH} = -100 mA	13	13.3	12.75	13.3	.V	
		I _{OH} = -200 mA	12.5		12.5			
	V _{CC} = 5 V	I _{OH} = -100 mA	3	3.3	2.75	3.3		
Supply current	Output low, V _{CC} = 15 V	10 12		10 15		mA		
	No load, V _{CC} = 5 V	3 5		3 6				
	Output high, V _{CC} = 15 V	9 11		9 14				
	No load, V _{CC} = 5 V	2 4		2 5				

NOTE 3: This parameter influences the maximum value of the timing resistor R_A and R_B. For example when V_{CC} = 5 V the maximum value is R = R_A + R_B = 20 MΩ.

operating characteristics, V_{CC} = 5 V and 15 V

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹	SN52555			SN72555			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Initial accuracy of timing interval	R _A = 1 kΩ to 100 kΩ, T _A = 25°C	0.5 2			1			%
Temperature coefficient of timing interval	R _B = 0 to 100 kΩ, T _A = MIN to MAX	30			50			ppm/°C
Supply voltage sensitivity of timing interval	C = 0.1 μF, T _A = 25°C	0.005 0.02		0.01			%/V	
Output pulse rise time	C _L = 15 pF, T _A = 25°C	100			100			ns
Output pulse fall time		100			100			ns

¹For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

THERMAL INFORMATION

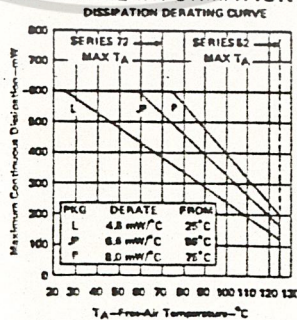


FIGURE 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS†

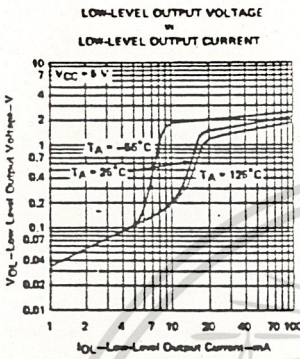


FIGURE 2

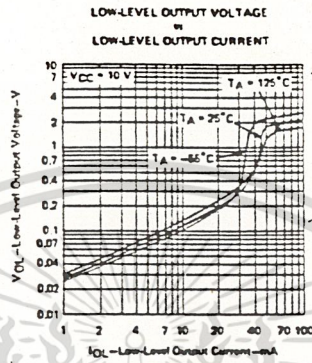


FIGURE 3

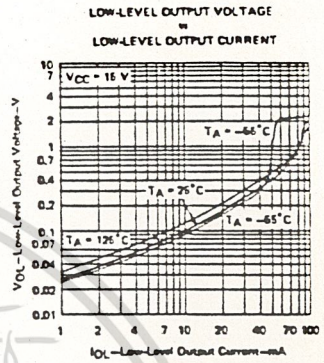


FIGURE 4

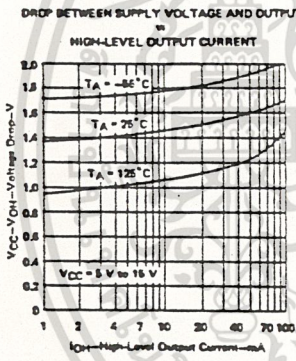


FIGURE 5

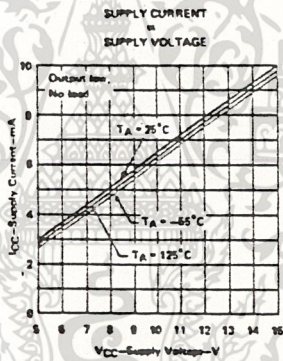


FIGURE 6

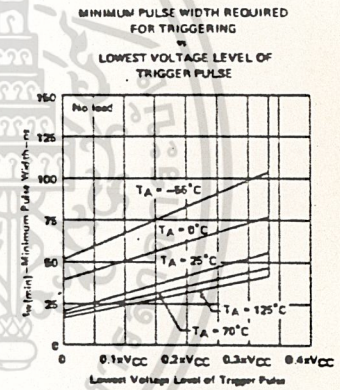


FIGURE 7

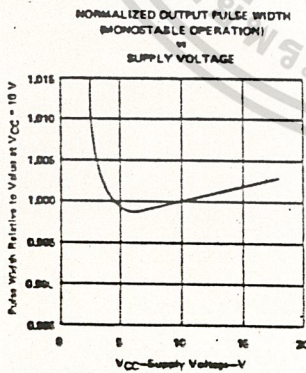


FIGURE 8

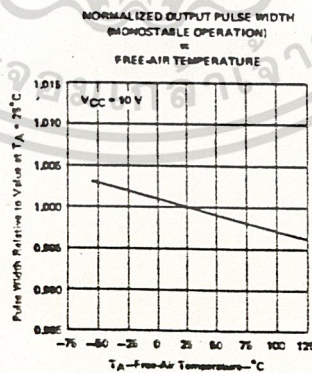


FIGURE 9

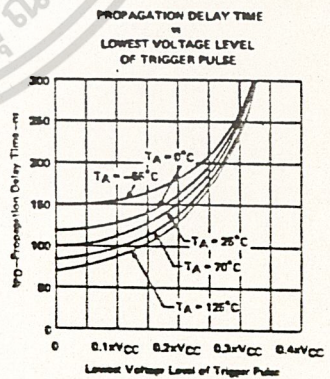


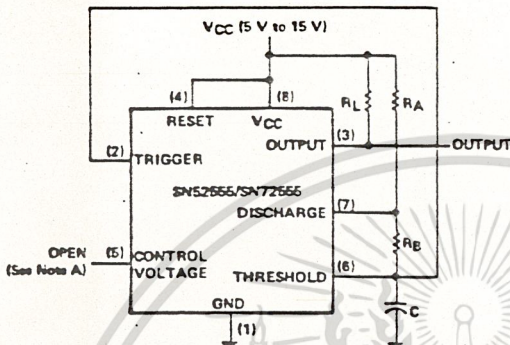
FIGURE 10

† Data for temperatures below 0°C and above 70°C are applicable for SN52555 circuits only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

astable operation

TYPICAL APPLICATION DATA



NOTE A: Decoupling the control voltage input (pin 5) to ground with a capacitor may improve operation. This should be evaluated for individual applications.

FIGURE 14—CIRCUIT FOR ASTABLE OPERATION

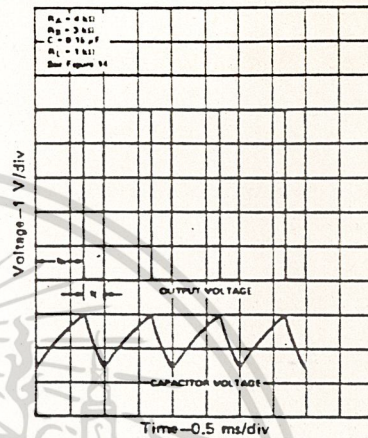


FIGURE 15—TYPICAL ASTABLE WAVEFORMS

Addition of a second resistor, R_B , to the circuit of Figure 11; as shown in Figure 14, and connection of the trigger input to the threshold input will cause the SN52555/SN72555 to self-trigger and run as a multivibrator. The capacitor C will charge through R_A and R_B then discharge through R_B only. The duty cycle may be controlled, therefore, by the values of R_A and R_B .

This astable connection results in capacitor C charging and discharging between the threshold-voltage level ($\approx 0.67 \cdot V_{CC}$) and the trigger-voltage level ($\approx 0.33 \cdot V_{CC}$). As in the monostable circuit, charge and discharge times (and therefore the frequency and duty cycle) are independent of the supply voltage.

Figure 15 shows typical waveforms generated during astable operation. The output high-level duration, t_h , is calculated as:

$$t_h = 0.693 (R_A + R_B)C,$$

output low-level duration, t_l , as:

$$t_l = 0.693 (R_B)C.$$

The total period is $T = t_h + t_l$ and frequency is

$$f = \frac{1}{T}, \text{ or } f = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C}$$

The frequency of oscillation may be determined by referring to the chart shown in Figure 16, which relates free-running frequency, f , to the external resistors R_A and R_B and the external capacitor C . Duty cycle, D , is determined by the values selected for R_A and R_B and may be calculated as:

$$D = \frac{R_B}{R_A + R_B}$$

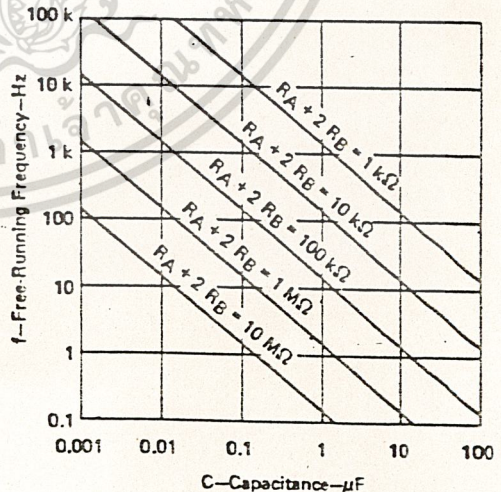


FIGURE 16—FREE-RUNNING FREQUENCY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้