

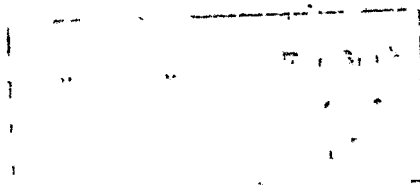


ปีการศึกษา 2537

เครื่องอลตราซาวด์ที่ใช้ในการรักษาทางกายภาพบำบัด



อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ



ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2537

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องอุลตราซาวด์ที่ใช้ในการรักษาทางกายภาพบำบัด

ผู้จัดทำ

- | | |
|-----------------|------------------|
| 1. นางสาวฉัฐนิช | บุรินทร์รัตนโชติ |
| 2. นาสกุลิต | ออกสุข |
| 3. นายสมหมาย | ศิริใจธรรม |



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลตราซาวด์ที่ใช้ในการรักษาทางกายภาพบำบัด

นางสาวณัฐนิช	บุรินทร์รัตนโชติ	35.103179
นายคณิศ	ออกสุข	35.103180
นายสมหมาย	ศิริใจธรรม	35.103210

อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

ปฏิญานพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการนำทฤษฎีของคลื่นอัลตราซาวด์ที่มีความถี่เหนือเสียงมาประยุกต์ใช้ในการแพทย์ ด้านกายภาพบำบัดคลื่นอัลตราซาวด์ที่ใช้จะมีความถี่ประมาณ 1 MHz ความถี่ขนาดนี้มากกว่าคลื่นเสียงที่มนุษย์เราสามารถได้ยิน แต่ต่ำกว่าคลื่นวิทยุ

ซึ่งในการออกแบบและสร้างเครื่องอัลตราซาวด์ที่เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยประกอบด้วย วงจรออสซิลเลเตอร์ทำหน้าที่ผลิตและปล่อยคลื่นไฟฟ้าที่มีความถี่ 1 MHz โดยปกติเครื่องอัลตราซาวด์ จะใช้ประโยชน์จากการสั่นสะเทือนทางเชิงกลมากกว่าการเพิ่มอุณหภูมิของเนื้อเยื่อ ฉะนั้นเมื่อต้องการแต่พลังงานการสั่นสะเทือนทางเชิงกลโดยไม่ให้มีการเพิ่มอุณหภูมิ จึงต้องใช้การมอดูเลชัน โดยการควบคุมให้ปล่อยคลื่นอัลตราซาวด์ออกเป็นช่วง ๆ เพื่อที่จะลดกำลังส่งออกเฉลี่ยไม่ให้เกิดการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งเครื่องอัลตราซาวด์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นจึงมีโหมดเลือกการทำงานอยู่ 2 โหมดด้วยกัน คือ continuous mode และ pulse mode จากนั้นจะส่งไปยังวงจรขยายสัญญาณ เพื่อขยายสัญญาณให้มีศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น เพื่อนำไปส่งผ่านให้ทรานสดิวเซอร์เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานสั่นสะเทือนทางเชิงกล การตั้งเวลาทำงานของเครื่องจะตั้งเวลาด้วย Digital Timer แสดงผลเวลาการทำงานที่ลดลงด้วย LED 7 Segment สามารถตั้งเวลาสูงสุดได้ 30 นาที และมี LED กระพริบแสดงผลของเวลาด้วย ทรานสดิวเซอร์ใช้ขนาด 5 cm² เพื่อตอบสนองความถี่ของคลื่นอัลตราซาวด์ขนาด 1 MHz ได้ดีที่สุด

เครื่องรักษาทางกายภาพบำบัดด้วยอัลตราซาวด์ที่สร้างขึ้นมานี้ สามารถใช้เป็นตัวอย่างและแนวทางในการพัฒนาให้มีขีดความสามารถมากขึ้น มีรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานยิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์ในประเทศไทยต่อไปในอนาคต

ULTRA-SOUND FOR THE PHYSICAL TREATMENT

NUTTANICH BURINRATTANACHOTE

DUSIT AOUGSUK

SOMMAY SIRIJITHUM

POLLASAT LERDPRASERT Advisor

1994

ABSTRACT

This thesis is about bringing supersonic ultrasound wave theory to apply in medical science - physical therapy. The ultrasound wave frequency is about 1 MHz which is more than that of normal sound wave but lower than radio wave. The design and construction of ultrasound instrument is electronic system composing oscillator circuit to generate and emit 1 MHz.- frequency - electric wave by transducer and apply to physical therapy.

This work on the instrument of ultrasound therapy can serve as an example and guidelines for further research and development of units with higher abilities and more ease of use for the benefit of the field of biomedical electronic instrument in Thailand.

สารบัญ

เนื้อเรื่อง	หน้า
บทนำ	ก
บทที่ 1 หลักการและความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอุตสาหกรรมข้าว	1
บทที่ 2 โครงสร้างและการทำงาน	18
บทที่ 3 หลักการออกแบบ สร้างวงจรและการทำงานของวงจร	20
บทที่ 4 รูปวงจรใช้งานและผลการทดลอง	41
บทที่ 5 สรุปและแนวทางในการแก้ไข	47
เอกสารอ้างอิง	49



บทนำ

เนื่องจากเครื่องอุตสาหกรรมที่ใช้รักษาทางกายภาพบำบัดเป็นเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์ที่ต้องสั่งจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพงและอะไหล่ หาดูแทนได้ยาก ดังนั้นผู้สร้างจึงได้เอาความรู้ทางเทคโนโลยีที่ได้ศึกษามาทำการออกแบบและสร้างเครื่องอุตสาหกรรมที่ใช้อุปกรณ์ที่หาได้ภายในประเทศ ซึ่งมีราคาที่ถูกลงกว่า เพื่อลดการนำเข้าของเครื่องมือแพทย์จากต่างประเทศให้ใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้เครื่อง ดังนั้นปัญหาและความต้องการทางการแพทย์ของการออกแบบและสร้างเครื่องอุตสาหกรรมที่ใช้รักษาทางกายภาพบำบัดจะเกี่ยวข้องกับด้านสมรรถภาพของเครื่องที่จะนำมารักษา เพราะว่าผลของการรักษาจะได้ผลดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการรักษาว่ามีสมรรถภาพดีแค่ไหน ถ้าเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการรักษามีสมรรถภาพดีตรงตามคุณสมบัติที่ต้องการแล้วก็จะทำให้ผลของการรักษาออกมาดีด้วย

ภายในปฏิญญาฉบับนี้ จะได้กล่าวถึงรายละเอียดของการออกแบบและสร้างเครื่องอุตสาหกรรมที่ใช้ในการรักษาทางกายภาพบำบัด ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ทฤษฎีการนำคลื่นอุตสาหกรรมมาใช้ทางการแพทย์ทำให้เกิดผลต่าง ๆ กับร่างกายมนุษย์ ศึกษาและนำคุณสมบัติทางชีวฟิสิกส์ของคลื่นอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์คุณลักษณะต่าง ๆ ทฤษฎีของอุตสาหกรรมสวิตเซอร์ และคุณสมบัติเฉพาะที่ใช้การออกแบบและสร้างเครื่องอุตสาหกรรมที่ใช้ในการรักษาทางกายภาพบำบัด

หลักการออกแบบ และสร้างวงจรของเครื่องอุตสาหกรรมที่ใช้ในการรักษาทางกายภาพบำบัดทั้งระบบ

ผลการทดลองและทดสอบของเครื่องอุตสาหกรรมที่ใช้ในการรักษาทางกายภาพบำบัดตลอดจนวิธีการใช้งานในการรักษาและข้อควรระวังเกี่ยวกับผู้ป่วยที่ห้ามใช้เครื่องชนิดนี้

สรุปการออกแบบสร้างและทดลองใช้งานของเครื่องอุตสาหกรรมที่ใช้ในการรักษาทางกายภาพบำบัด และแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นการผลิตเครื่องมือขึ้นใช้งานเองภายในประเทศ
2. เพื่อเป็นการลดการนำเข้าเครื่องมือจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง
3. เพื่อเป็นการนำเอาเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้งาน
4. เพื่อนำเครื่องที่ผลิตขึ้นไปใช้งานได้จริง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ
5. เพื่อเป็นเครื่องมือในการพัฒนาและผลิตให้มีระบบการทำงานที่ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตของโครงการ

เครื่องอัลตราซาวด์ (Ultrasound Therapy) จะประกอบด้วยวงจรต่าง ๆ วงจรผลิตสัญญาณความถี่ (Oscillator) ที่สามารถปรับความถี่ ได้ในช่วง 0.5-1 MHz แล้วผ่านวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณให้มีศักย์ไฟฟ้าสูงถึง 100-150 V สำหรับป้อนให้กับ Transducer เพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลโดยการสั่นสะเทือน เพื่อนำไปใช้ในการรักษาผู้ป่วย โดยจะมีส่วนของวงจรตั้งเวลาในการรักษา ซึ่งโดยปกติจะใช้เวลาในการรักษาประมาณ 15-20 นาที

คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องอัลตราซาวด์ที่ใช้รักษาทางกายภาพบำบัด

- ใช้ Power Supply 220 V 50 Hz
- ใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 55 Watt
- สัญญาณที่ออกมี 2 แบบ คือ Continuous และ Pulse mode
Continuous mode สามารถส่งกำลังสูงสุดได้ 12 Watts
Pulse mode : อัตราส่วนของ Pulse กับเวลาทั้งหมด = 1:5
 : อัตราความถี่ของ Pulse ที่นำมาทดสอบเท่ากับ 884 KHz คือ 40 Hz
- ขนาดของหัวทรานสดิวเซอร์ (Sound Head) ใช้ขนาด 5 cm²
- ความถี่ของสัญญาณอัลตราซาวด์ที่ตอบสนองดีที่สุดของทรานสดิวเซอร์ขนาด 5 cm² คือ ความถี่ประมาณ 475 KHz $\pm$ 2 %
- การตั้งเวลาการทำงานของเครื่องเพื่อที่จะทำการรักษาผู้ป่วยในแต่ละครั้งประมาณ 15-20 นาที

บทที่ 1

หลักการและความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอัลตราซาวด์

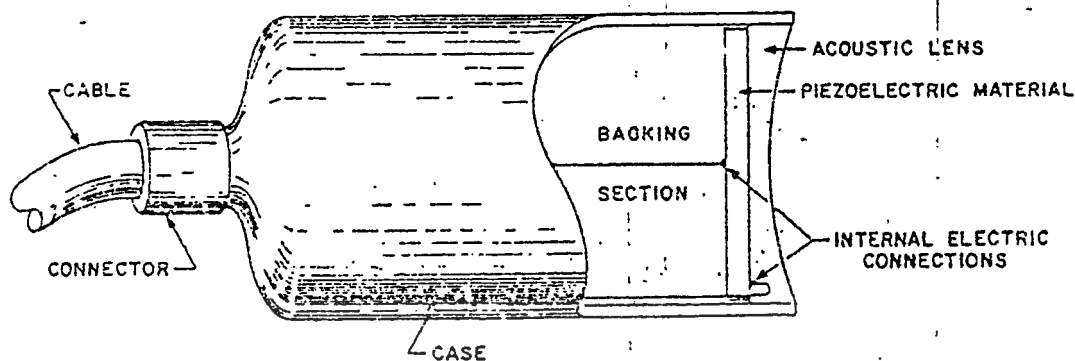
1. หลักทางฟิสิกส์ของอัลตราซาวด์ในทางชีววิทยา

อัลตราซาวด์เป็นการสั่นสะเทือนทางเชิงกลที่มีความถี่มากกว่าคลื่นเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินได้ คือ ความถี่มากกว่า 20,000 Hz ตามความจริงแล้วคลื่นการสั่นสะเทือนแบ่งได้เป็น 3 พวก คือ

1. คลื่นเสียง (Sound) คลื่นเสียงเป็นคลื่นการสั่นสะเทือนที่มนุษย์สามารถได้ยินได้ มีความถี่ 10-20,000 Hz
2. คลื่นใต้เสียง (Infrasound) มีความถี่น้อยกว่าคลื่นเสียงได้แก่คลื่นในแม่น้ำและมหาสมุทร
3. คลื่นเหนือเสียง (Ultrasound) เป็นคลื่นการสั่นสะเทือนที่มีความถี่มากกว่าคลื่นเสียง คือ มากกว่า 20,000 Hz ขึ้นไป

1.1 ต้นตอและการแพร่กระจายของคลื่นอัลตราซาวด์

คลื่นอัลตราซาวด์โดยทั่วไป สร้างมาจาก Piezoelectric Transducer หน่วยของทรานสดิวเซอร์ ประกอบด้วยผลึก Piezoelectric เช่น Quartz พร้อมด้วย Backing Section และ Acoustic Lens (รูปที่ 1.1) ซึ่งจะทำหน้าที่โฟกัสลำอัลตราซาวด์ อัลตราซาวด์เกิดจากวัสดุ Piezoelectric รูปร่างโมเลกุลของผลึก piezoelectric อย่างง่ายได้แสดงไว้ใน รูปที่ 1.2 โมเลกุลแสดงประจุซึ่งเรียงตัวกันเป็นโครงสร้างของผลึก (Crystalline Structure) ทำให้ประจุบวกเรียงตัวอยู่ในทิศทางเดียวกัน คลื่นอัลตราซาวด์จะเกิดขึ้นเมื่อป้อนศักย์ไฟฟ้าเข้าไปที่แผ่นอิเล็กโทรดที่ผิวหน้าของผลึก โมเลกุลจะยืดหรือหด ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้วของศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปผลึกจะมีการเปลี่ยนแปลงความหนา ซึ่งได้สัดส่วนกับความถี่ของศักย์ไฟฟ้า



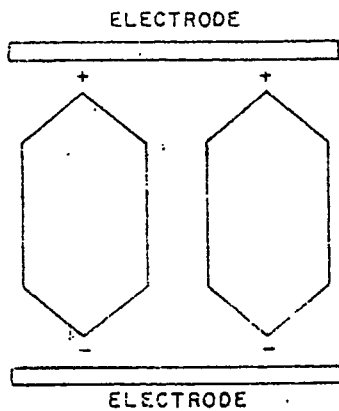
รูปที่ 1.1 ภาพตัดของทรานสดิวเซอร์ที่ใช้สร้างคลื่นอัลตราซาวด์

1.2' การแผ่กระจาย (Propagation) ของคลื่นอัลตราซาวด์

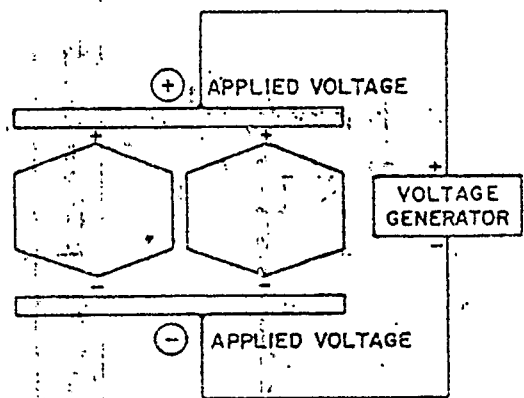
เมื่อจุ่ม Piezoelectric Transducer ลงในของเหลวแล้วปล่อยไฟฟ้าเข้าไป จะเกิดการสั่นสะเทือนเป็นคลื่นอัลตราซาวด์ที่มีการกด (Compression) และการปล่อย (Rarefaction) สลับกัน แผ่กระจายไปในของเหลวคือ เมื่อสัณยไฟฟ้าป้อนเข้าไปในทรานสดิวเซอร์ จะทำให้ Piezoelectric Transducer ขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้บริเวณผิวหน้าของทรานสดิวเซอร์ไปกดของเหลวที่อยู่ติดกันทำให้ความหนาแน่นและความดันของของเหลวเพิ่มขึ้น การชนกันของโมเลกุลบริเวณนี้จะมีผลไปกดของเหลวชั้นต่อไป ไปขณะที่บริเวณที่ถูกกดตอนแรก จะกลับไปอยู่ในสภาพเดิมแล้ว ดังนั้น

การกดจึงผ่านจากของเหลวชั้นที่ 1 ไปยังชั้นที่ 2 และผ่านไปเรื่อย ๆ และเมื่อทรานสดิวเซอร์หดตัว ก็จะทำให้ความดันและความหนาแน่น ของของเหลวลดลงการกดและการปล่อยจะเดินทางไปด้วยความเร็วจำนวนหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับ Density Compressibility ของสารนั้น วัสดุที่มี Compressibility ต่ำ เช่น โลหะการกดจะผ่านไปจากชั้นหนึ่งไปยังอีกชั้นหนึ่ง รวดเร็วมาก จึงมีความเร็วสูงขึ้นคือ 6,000 เมตร / วินาที แต่วัสดุที่มี Compressibility มากเช่น พวกของเหลวต่าง ๆ จะมีความเร็วต่ำลง เช่น ความเร็วของอัลตราซาวด์ในน้ำ มีค่าเพียง 1,540 เมตร/วินาที

รูปที่ 1.3 แสดงคลื่นอัลตราซาวด์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็น Sinusoidal ในความหนาแน่น และ ความดัน Sinusoidal Pulse แสดงความเป็นความยาวคลื่น



UNEXCITED CONFIGURATION



EXCITED CONFIGURATION (CONTRACTION)

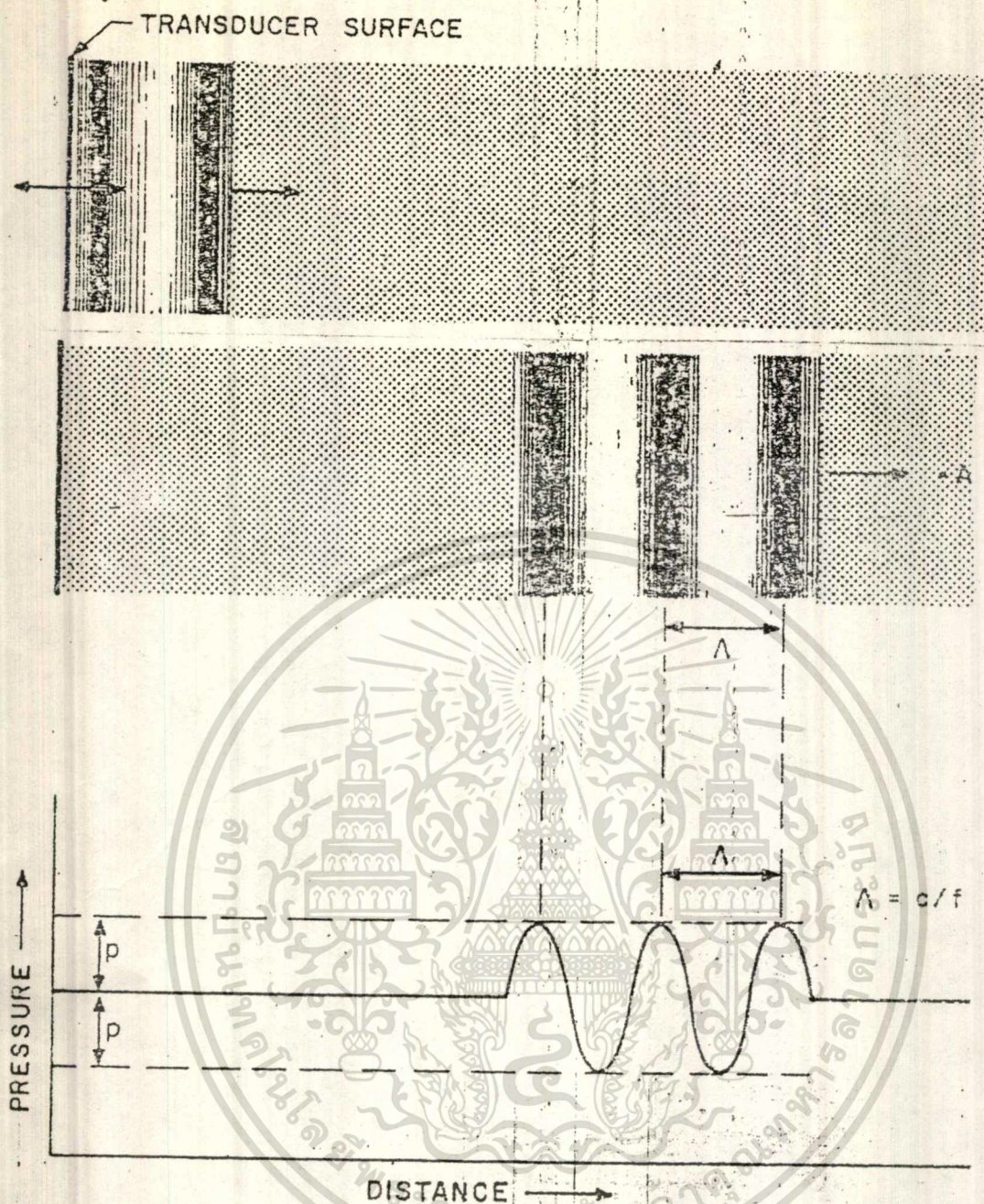
รูปที่ 1.2 ภาพแสดงรูปร่างของโมเลกุลในวัสดุ Piezoelectric แสดงการหดตัวของโมเลกุลเมื่อได้รับสัทธิไฟฟ้าป้อนเข้าไป

$$Z = PC$$

1.3 การสะท้อนของคลื่นอัลตราซาวด์

เมื่อคลื่นอัลตราซาวด์ไปกระทบพื้นหน้า ซึ่งมีคุณสมบัติทางเชิงกล แตกต่างกัน จึงสะท้อนกลับมาและเกิดปรากฏการณ์เช่นเดียวกัน แต่ในทิศทางตรงกันข้ามความแรงของคลื่นอัลตราซาวด์ที่สะท้อนกลับขึ้นอยู่กับ Acoustic Impedance ของเนื้อวัสดุ Z ซึ่งเป็นผลคูณของความหนาแน่น (P) และความเร็วของคลื่นอัลตราซาวด์ (C)

$$Z = PC$$



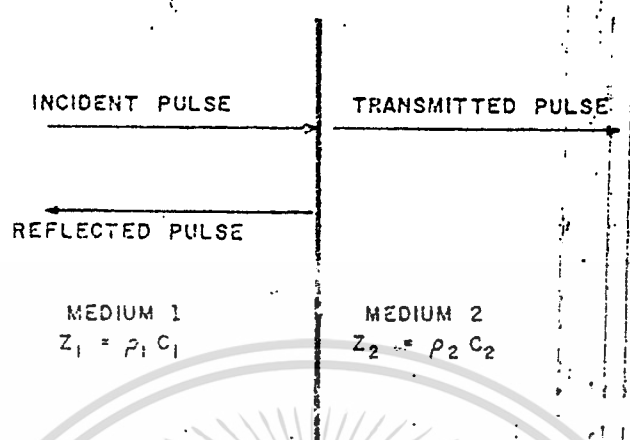
รูปที่ 1.3 แสดงการแผ่กระจายของ Sinusoidal Ultrasonic Pulse ในตัวกลางที่เป็นของเหลว รูปบนเป็นตอนเริ่มต้นออกจากพื้นหน้าของทรานสดิวเซอร์ รูปกลางเมื่อเดินทางไปได้ระยะหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงในความดันมี Peak Amplitude Pulse ส่วนระดับของความดันสถิตส์ได้แสดงอยู่ที่บริเวณที่ซึ่งไม่มี Pulse

อัตราส่วน (R) เป็นอัตราส่วนระหว่าง Reflected Pulse กับ Incidence Pulse (รูปที่ 1.4)

$$R = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1)$$

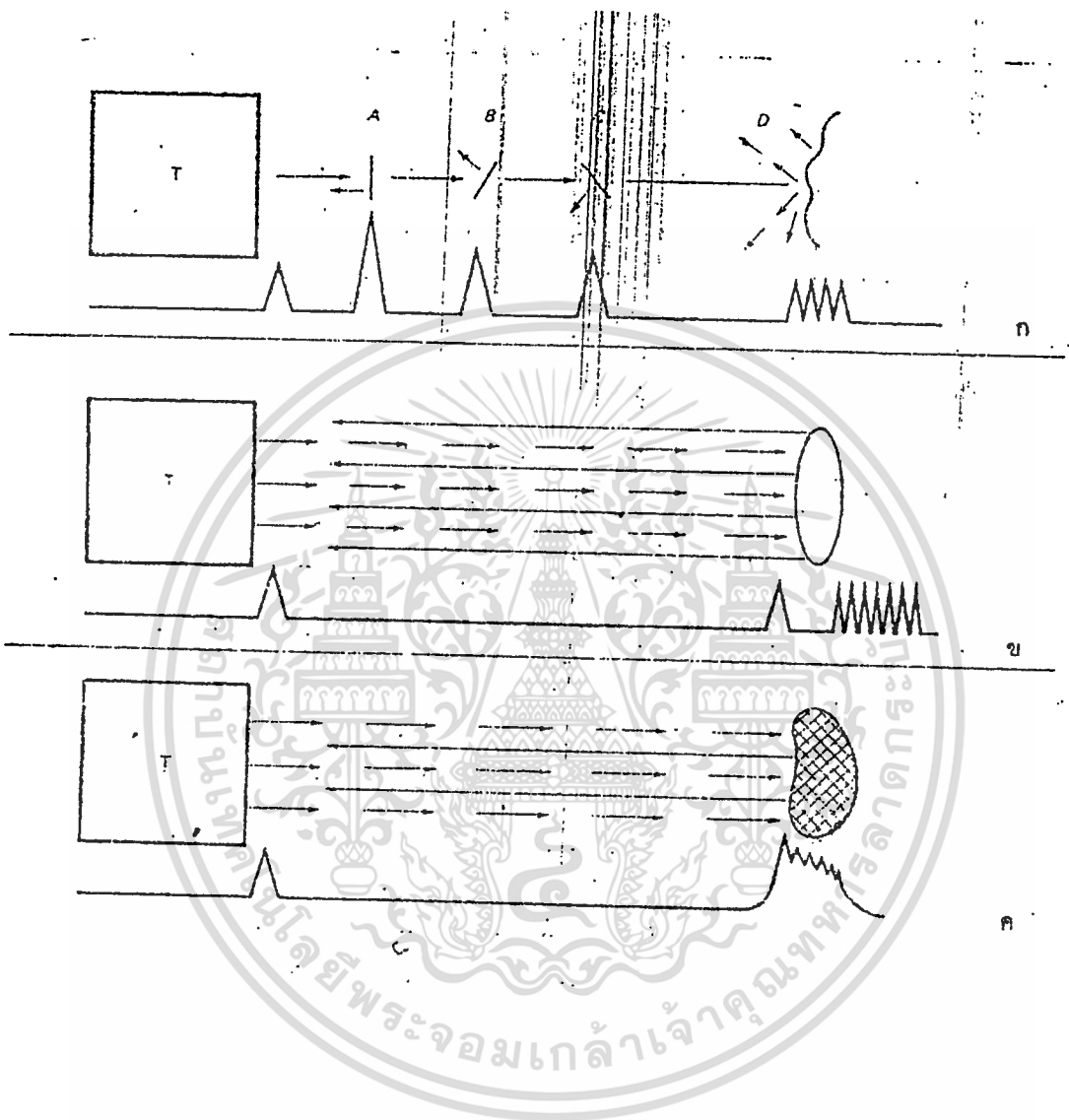
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R = Reflection Coefficient



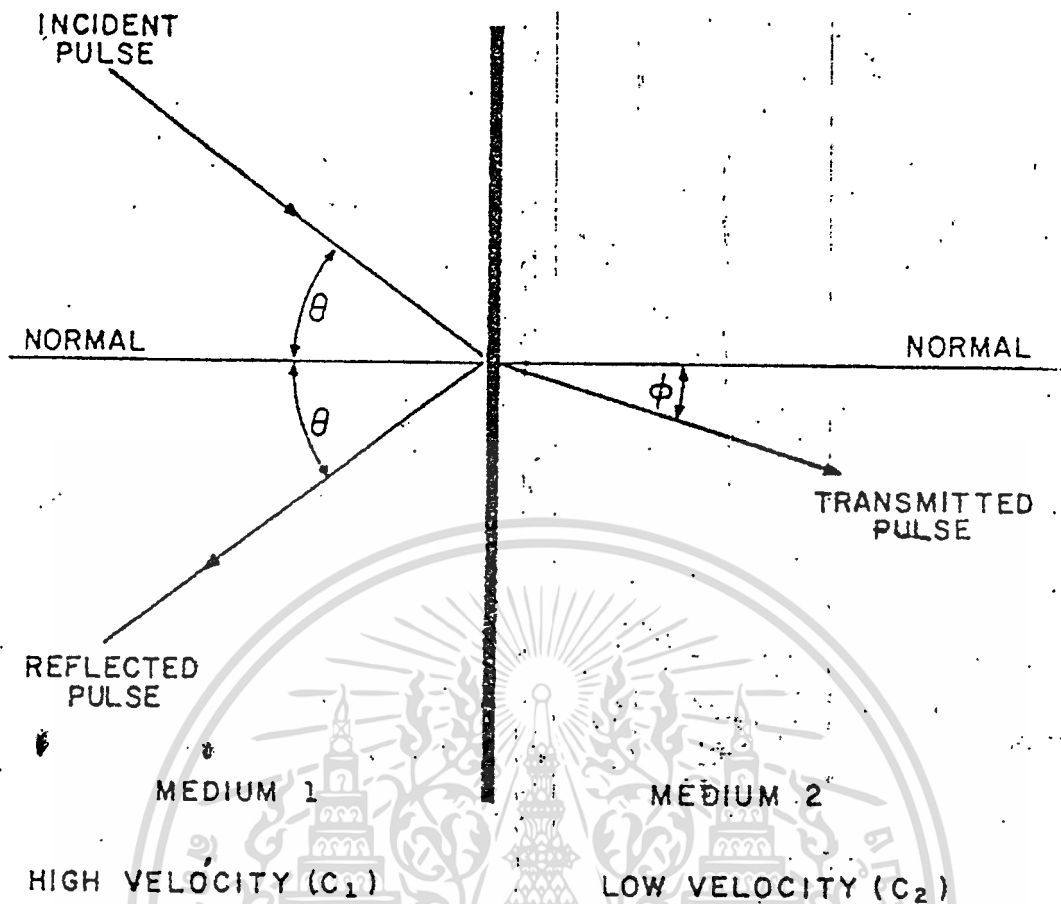
รูปที่ 1.4 ผังแสดงทางเดินของ Incident, Reflected และ Transmitted ultrasonic pulse ลักษณะของ acoustic impedance ของเนื้อวัสดุจะเป็นตัวกำหนดความสูงของ pulse เหล่านี้

การสะท้อนของคลื่นอัลตราซาวด์จะมีความแตกต่างกัน เมื่อไปกระทบพื้นหน้า ที่มีลักษณะแตกต่างกัน (รูปที่ 1.5) เมื่อกระทบพื้นหน้าที่ตั้งฉากกันจะได้คลื่นที่สะท้อนกลับมากที่สุด แต่ถ้าการสะท้อนมีลักษณะเอียงจะมีการสะท้อนกลับน้อยหรือถ้าพื้นหน้ามีลักษณะขรุขระจะได้การสะท้อนกลับน้อยด้วย



รูปที่ 1.5 ภาพแสดงการสะท้อนของคลื่นอลตราซาวด์จากพื้นหน้าที่แตกต่างกัน (ก) การสะท้อนเกิดขึ้นเมื่อกระทบพื้นหน้าที่ตั้งฉาก เมื่อกระทบพื้นหน้าเอียงการสะท้อนน้อย เมื่อกระทบพื้นหน้าที่อชันนาระ (ข และ ค) จะมีการสะท้อนน้อย เส้นที่อยู่ตอนล่างของแต่ละภาพเป็นความสูงของคลื่นไฟฟ้าที่ บันทึกได้จากการสะท้อนกลับ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.6 ภาพทางเดินของอัลตราซาวด์แสดง incident pulse ,reflected pulse และ transmitted pulse เมื่อผ่านตัวกลางที่มีความเร็วแตกต่างกัน

ความแรงและกำลังของอัลตราซาวด์

เมื่อทรานสดิวเซอร์ของอัลตราซาวด์ปล่อยคลื่นอัลตราซาวด์ออกไป จะทำให้อนุภาคของตัวกลางมีการสั่นสะเทือน อนุภาคนั้น ๆ จึงมีพลังงานที่เนื่องมาจากการสั่นสะเทือน อัตราการไหลของพลังงานจึงเรียกได้ว่า เป็นความแรง (intensity) ของลำอัลตราซาวด์อาจกล่าวให้ชัดเจนลงไปว่าความแรงของลำอัลตราซาวด์ที่จุด ๆ หนึ่งเป็นอัตราการไหลของพลังงาน ผ่านพื้นที่ 1 ซม.² ซึ่งวางอยู่ตั้งฉากกับลำอัลตราซาวด์ที่จุดนั้น เมื่อความแรงของอัลตราซาวด์เพิ่มมากขึ้นจะมีการเพิ่มใน pressure amplitude , particle - displacement amplitude และ particle - velocity amplitude

กำลังของอัลตราซาวด์เป็นอัตราการไหลของพลังงานที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลำอัลตราซาวด์

จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นแต่กรณีที่ได้ขออนุญาตและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งเท่านั้น

$$\text{Ultrasonic power} = \text{Ultrasonic intensity} \times \text{cross-sections}$$

(W)

(W/cm²)

1.4 การดูดซึมและการหักเหของคลื่นอัลตราซาวด์

1.4.1 การดูดซึม เมื่อคลื่นอัลตราซาวด์แผ่กระจายผ่านตัวกลางจะค่อย ๆ ถูกดูดซึมไปและได้เป็นความร้อนการดูดซึมเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความหนืด ซึ่งป้องกันความหนาแน่นของตัวกลางจากการเปลี่ยนแปลงของคลื่นอัลตราซาวด์ แต่ในตัวกลางที่เป็นเนื้อเยื่อทางชีววิทยา การดูดซึมเกิดจากปรากฏการณ์ของเซลล์และโมเลกุลที่ซับซ้อน ซึ่งยังไม่ค่อยเข้าใจกันดี ความร้อนที่เกิดขึ้นมีความสำคัญน้อยในทางอัลตราซาวด์ที่ใช้ในการวินิจฉัยโรค แต่มีความสำคัญในด้านการรักษาโรค ความสูงของคลื่นอัลตราซาวด์ที่ลดลงนั้นมีความสำคัญในด้านที่เกี่ยวข้องกับการวินิจฉัยโรค เพราะจะทำให้การสะท้อนของคลื่นลดลง เมื่อความลึกเพิ่มขึ้นหรือความถี่เพิ่มขึ้นการดูดซึมก็ยิ่งเกิดขึ้นมาก จึงเพิ่มความลำบากในการตรวจรับคลื่นอัลตราซาวด์เป็นอย่างมาก

การดูดซึมเกิดขึ้นเป็น Exponential กับ ระยะทาง X ความสูงของคลื่นจะลดลงโดยปัจจัย E โดยเป็นสัมประสิทธิ์การดูดซึมของตัวกลาง การสูญเสียไปจากการดูดซึมนี้ใช้แสดงเป็น dB ซึ่งมีค่า $20 \log e$ ค่าของความสูงของคลื่น เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับ ความถี่ จึงไปใช้รายงานการดูดซึมเป็น dB/cm-MHz การดูดซึม 2 dB-cm-MHz หมายถึงว่าที่ความถี่ 10 MHz จะสูญเสียไป 20 dB/cm ซึ่งเทียบไปกับการสูญเสียไป 90 % ที่ความลึก 1 ซม. ที่ความลึก 2 ซม. จะสูญเสียไป 40-dB ซึ่งมีค่า 99 %

วัสดุต่าง ๆ มีสัมประสิทธิ์การดูดซึมแตกต่างกันมาก เช่นวัสดุที่คลื่นอัลตราซาวด์เคลื่อนที่ได้เร็วมาก จะสามารถดูดซึมได้น้อย แต่วัสดุที่อัลตราซาวด์เคลื่อนที่ได้ช้า จะดูดซึมได้มาก อากาศเป็นตัวกลางที่ดูดซึมได้มาก จึงไม่ใช่เป็นตัวกลางที่จะให้คลื่นอัลตราซาวด์ในช่วงความถี่เป็นเมกะเฮิรตซ์ผ่านไป

เมื่อคลื่นอัลตราซาวด์ผ่านตัวกลางที่มีความเร็วในการแผ่กระจายแตกต่างกัน จะมีการหักเห (รูปที่ 1.6) เมื่อคลื่นอัลตราซาวด์กระทบกับพื้นหน้าด้วยมุม θ คลื่นที่สะท้อนออกมาก็จะทำมุม θ เช่นกัน แต่คลื่นที่ส่งผ่านต่อไปจะทำมุม ϕ ซึ่งคำนวณได้จาก Snell's law

$$\sin \phi = \frac{C_2}{C_1} \sin \theta$$

C_2 และ C_1 เป็นความเร็วของคลื่นอัลตราซาวด์ในตัวกลางอันแรกและอันที่สองตามลำดับ จะเห็นได้ว่า การหักเหขึ้นอยู่กับความแตกต่างในความเร็วของคลื่นอัลตราซาวด์ ในตัวกลางนั้น ๆ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับ acoustic impedance

ความเร็วของคลื่นอุลตราซาวด์



ความเร็วของคลื่นอุลตราซาวด์ในตัวกลางต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับ density และ compressibility ของตัวกลางนั้น ๆ ในเรื่องอุลตราซาวด์ที่ใช้ในการรักษาโรคนั้น เรื่องของความเร็วมักมีความสำคัญหลายประการด้วยกันคือ (1) ใช้วัดความลึกของอวัยวะโดยอาศัย echo-return time (2) ใช้ความเร็วของคลื่นอุลตราซาวด์เพื่อคำนวณ acoustic impedance (3) เมื่อความเร็วของคลื่นอุลตราซาวด์ในเนื้อเยื่อสองชนิดมีค่าแตกต่างกัน ก็สามารถทราบการหักเหได้ และ (4) ใช้ตรวจวัดการเคลื่อนไหวของร่างกายจากการวัดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นอุลตราซาวด์

ความเร็วของคลื่นอุลตราซาวด์ในเนื้อเยื่อของร่างกายโดยทั่ว ๆ ไป จะมีความเร็วมากกว่าคลื่นอุลตราซาวด์ในอากาศถึง 5 เท่า ตารางที่ 1 แสดงความเร็วของคลื่นอุลตราซาวด์ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ชนิด ความเร็วของคลื่นอุลตราซาวด์เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิคือที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเร็วของคลื่นอุลตราซาวด์ในน้ำจะมีค่า 1480 เมตร/วินาที และมีค่าเพิ่มเป็น 1540 เมตร/วินาที เมื่อน้ำมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หรือถ้าใช้น้ำเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3.5 % ที่ 27 องศาเซลเซียส ก็จะมีความเร็ว 1540 เมตร/วินาที ส่วนกระดูกซึ่งเป็นอวัยวะที่มีส่วนประกอบเป็นของแข็งที่สุดในร่างกาย ความเร็วของอุลตราซาวด์ในกระดูกจึงมีค่าสูงมากคือ 4080 เมตร/วินาที

การสะท้อนของอุลตราซาวด์ที่พื้นผิวของอวัยวะต่าง ๆ

amplitude ratio ของพื้นผิวต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 พร้อมกับพลังงานที่สะท้อนออกมาโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ สังเกตว่าพลังงานที่สะท้อนออกมาจากพื้นผิวของเนื้อเยื่ออ่อนมีค่าน้อย เช่นมีค่าเพียง 0.05 ของที่กระทบ ในทางตรงกันข้าม การสะท้อนระหว่างกระดูกกับเนื้อเยื่ออ่อนมีค่ามาก คือมีความสูงถึง 0.65 ของที่ตกกระทบ ดังนั้นคลื่นอุลตราซาวด์ที่ผ่านไปข้างหลังกระดูกจึงเหลือน้อย ยิ่งกว่านั้นการสะท้อนระหว่างพื้นผิวของเนื้อเยื่ออ่อนกับก๊าซจะมีค่ามาก คือ 0.9995 ซึ่งอาจถือได้ว่าสะท้อนกลับหมด เช่นการสะท้อนจากก๊าซในปอดหรือในลำไส้ มีบ่อยครั้งที่อาศัยน้ำเป็นตัวกลางที่ช่วยนำคลื่นอุลตราซาวด์ไปเข้าผิวหนัง โดยมีการสะท้อนที่พื้นผิวระหว่างน้ำกับผิวหนังเพียง 0.23 % เท่านั้น ซึ่งนับว่ามีค่าน้อย จึงทำให้คลื่นอุลตราซาวด์ผ่านเข้าไปในร่างกายได้ดี ที่พื้นผิวของทรานสดิวเซอร์กับเนื้อเยื่อของร่างกายมีการสะท้อนเกิดขึ้นมาก จึงได้มีการค้นหาวิธีเพื่อที่จะลดอุปสรรคเช่นนี้ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในเรื่องของทรานสดิวเซอร์

การหักเหของคลื่นอัลตราซาวด์

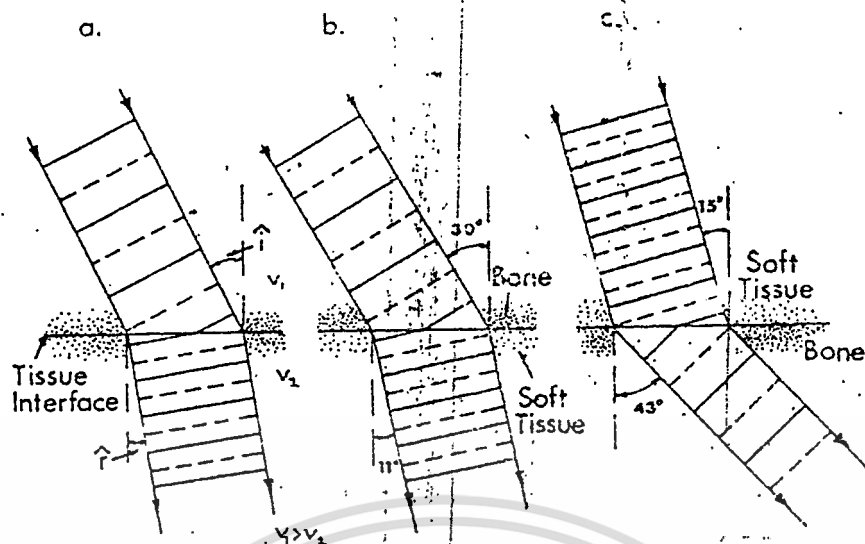
เป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นอัลตราซาวด์หักเหออกไปเมื่อไปพบพื่นหน้าของเนื้อเยื่อ 2 ชนิด ที่อัลตราซาวด์มีความเร็วแตกต่างกัน รูปที่ 1.7 แสดงการหักเหของคลื่นอัลตราซาวด์ที่พื่นหน้าของเนื้อเยื่อจากเนื้อเยื่อมีความเร็ว V1 ไปยังเนื้อเยื่อที่มีความเร็ว V2 (V1>V2) ถ้าคลื่นอัลตราซาวด์มีการหักงอเนื่องจากว่า สันของคลื่นในเนื้อเยื่ออันที่สองนั้นจะทำให้คลื่นอัลตราซาวด์เดินทางช้ากว่าในอันแรกโดยจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V1}{V2} = \text{acoustic refractive index}$$

ซึ่งก็คือ Snell ' s law ที่ทราบกันดีในเรื่องของแสง

Reflecting interface	Amplitude ratio (p2/p1)	Percentage energy reflected
Fat-Muscle	0.10	1.08
Fat-Kidney	0.08	0.64
Muscle-Blood	0.03	0.07
Bone-Fat	0.69	48.91
Bone-Muscle	0.64	41.23
Lens-Aqueous Humour	0.10	1.04
Lens-Vitreous humour	0.09	0.91
Soft tissue-Water	0.05	0.23
Soft tissue-Air	0.9995	99.9
Soft tissue-PZT5 crystal	0.89	80
Soft tissue-Castor oil	0.06	0.43

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนของความสูง (amplitude ratio) และพลังงานที่สะท้อนกลับออกมา (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) ที่พื่นหน้าของเนื้อเยื่อต่าง ๆ

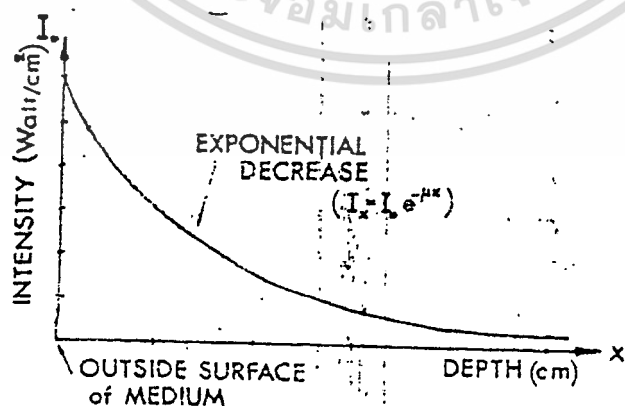


รูปที่ 1.7 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของลำคลื่นอัลตราซาวด์เนื่องจากการหักเห

การดูดซึมของคลื่นอัลตราซาวด์

เมื่อคลื่นอัลตราซาวด์ผ่านเข้าไปในตัวกลาง ทำให้อนุภาคของตัวกลางมีการสั่นสะเทือน การดูดซึมของอัลตราซาวด์เกิดจากที่พลังงานของการสั่นสะเทือนถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน ถึงแม้ว่าคลื่นอัลตราซาวด์จะถูกดูดซึมอย่างมาก แต่กลไกซึ่งสลับซับซ้อนนั้นยังทราบกันน้อย

โดยที่คลื่นอัลตราซาวด์ผ่านเนื้อเยื่อ ความแรงและความสูงของคลื่นจะลดลงเป็น exponential (รูปที่ 1.8)



รูปที่ 1.8 ภาพแสดงการลดแบบ exponential ของอัลตราซาวด์ภายในเนื้อเยื่อเนื่องจากการดูดซึม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซึมคลื่นอัลตราซาวด์ขึ้นกับความถี่

การดูดซึมคลื่นอัลตราซาวด์เพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ความถี่ของคลื่นอัลตราซาวด์ที่ใช้กัน ถูกจำกัดโดยการดูดซึม คืออยู่ในย่านความถี่ประมาณ 20 เมกะเฮิรตซ์ เนื่องจากการดูดซึมมีมาก นอกจากนั้นการดูดซึมยังขึ้นอยู่กับการสูญเสีย และสถานะของเนื้อเยื่อ เช่นการดูดซึมโดยตับ นั้นพบว่าลดลงภายหลังที่เนื้อตับได้ตายไปแล้ว

การลดจำนวนอัลตราซาวด์ในเนื้อเยื่อ (Attenuation of Ultrasound in Tissue)

เมื่อผ่านคลื่นอัลตราซาวด์เข้าไปในเนื้อเยื่อ ยังมีปัจจัยอื่นนอกจากการดูดซึม ทำให้ อัลตราซาวด์ลดลง ดังนั้นอาจใช้คำว่า attenuation เพื่อบอกสภาพของอัลตราซาวด์ที่ลดลง ทั้งหมด โดยไม่คำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ตามความจริงแล้วปัจจัยต่าง ๆ มีหลายอย่างเช่น reflection , scattering , absorption , refraction และ wavefront divergence การลดลงมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความถี่ แสดงว่าการดูดซึมเป็นปัจจัยที่สำคัญ ปรากฏการณ์อื่นอาจมีความสำคัญมากได้ ตัวอย่างเช่นการสะท้อนจากอวัยวะที่มีขนาดเล็กจะทำให้ได้ divergent wave front ได้มาก

คุณสมบัติทั่วไปของทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในทางอัลตราซาวด์ จะมีคุณสมบัติพิเศษคือมี piezoelectric effect และที่ใช้กันมากคือ Quartz , barium titanate , lead circonate titanate สารเหล่านี้เมื่อนำมาทำเป็นทรานสดิวเซอร์ ยังแสดงคุณสมบัติเป็นคาปาซิเตอร์ทางไฟฟ้าอีกด้วย ค่าคาปาซิแตนซ์เป็นไมโครฟารัดจะได้สัดส่วนกับค่า dielectric constant ของวัสดุคูณด้วยพื้นที่ และหารด้วยความหนา โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์มีความคล้ายคาปาซิเตอร์ที่ว่า อิเล็กโตรดที่อยู่ 2 ข้างถูกแยกโดยช่องที่มีสารเซรามิคอยู่ค่า dielectric constant ก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิค ตารางที่ 1.9 แสดงคุณสมบัติบางประการของสารเซรามิคได้รับความร้อน จะทำให้ dipole เคลื่อนไหวได้โดยเสรีและที่จุดนี้เมื่อได้รับศักย์ไฟฟ้าเข้าไป ก็จะมีการจัดเรียงตัวและมีคุณสมบัติ piezoelectric ถ้าภายหลังเซรามิคที่มีคุณสมบัตินี้ถูกเผาให้ร้อนถึงอุณหภูมิดังกล่าวอีก คุณสมบัติ piezoelectric จะหมดไป ดังนั้นความร้อนจะสามารถทำลายทรานสดิวเซอร์ได้ โดยเฉพาะถ้าอุณหภูมิสูงเกิน Curie temperature

ค่า dielectric constant (K) เป็นค่าที่แสดงว่าทรานสดิวเซอร์ต้องการพลังงานไฟฟ้าเท่าใด จึงจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้ ทั้ง barium titanate และ lead

ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

circonate titanate มีประสิทธิภาพมากกว่า quartz 5-6 เท่า เนื่องจาก dielectric constant ต่ำมากและมี coupling constant ต่ำมาก จึงไม่ค่อยได้นำ quartz มาใช้ในเครื่องอุลตราซาวด์ในปัจจุบัน

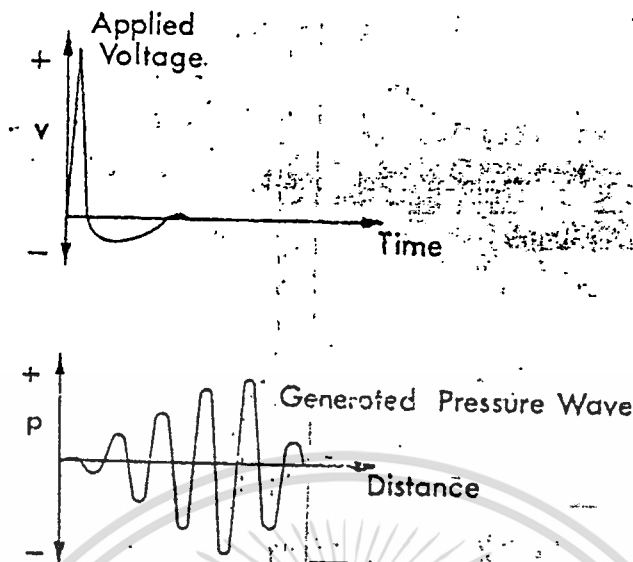
คุณสมบัติทางด้านความถี่ของทรานสดิวเซอร์

ความถี่ของทรานสดิวเซอร์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเชิงกลและลักษณะรูปร่าง ตัวอย่างเช่น เซรามิคแท่งเหลี่ยมแบนจะมี resonant frequency ได้ 3 อย่าง คือมีการยืดหดตามความหนา , ตามความยาวและความกว้าง แต่ถ้าเป็นแผ่นจานกลม จะสามารถยืดหดได้ตามความหนาและตามรัศมี อย่างไรก็ดี เมื่อป้อนศักย์ไฟฟ้าเข้าไปก็สมารถทำให้ทรานสดิวเซอร์ยืดหดในแนวไหนก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้วไฟฟ้าที่ใช้ บริษัทที่ทำทรานสดิวเซอร์จะกำหนด frequency constant สำหรับแต่ละแบบของการยืดหด ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในทางการแพทย์โดยมากใช้การยืดหดตามความหนา

$$\text{resonant frequency} = \frac{\text{constant}}{\text{Thickness (inch)}}$$

MATERIAL	CURIE TEMPERATURE		Q	DIELECTRIC CONSTANT (K)	COUPLING COEFFICIENT (KT)
Quartz	550	C	Very high	4.5	0.09
Barium titanate	100	C	400-700	1,700	0.38
Lead zirconate titanate	300	C	90-500	1,450	0.51

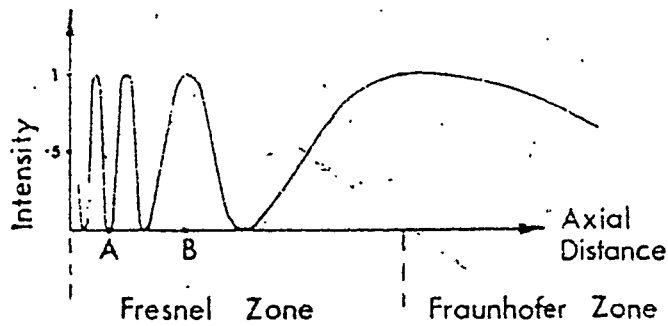
ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติบางอย่างของสารเซรามิค



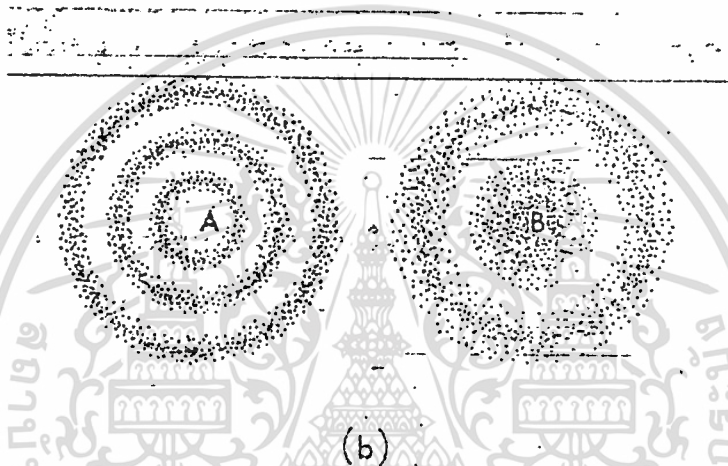
รูปที่ 1.9 ภาพแสดงรูปคลื่นไฟฟ้าที่ให้กระตุ้นทรานสดิวเซอร์ และลักษณะของการสั่นสะเทือน

การกระจายของความแรงของคลื่นอัลตราซาวด์จากทรานสดิวเซอร์

เมื่อพิจารณาการกระจายของความแรงของคลื่นอัลตราซาวด์จะเห็นได้ว่าความแรงที่กระจายนั้นมีการเปลี่ยนแปลงได้มาก ดังแสดงในรูปที่ 1.10 (อ) ความแรงเปลี่ยนแปลงอย่างมากใน Fresnel Zone แต่ใน Fraunhofer Zone ความแรงจะค่อย ๆ ลดลงช้า ๆ เมื่อระยะทางไกลออกไปจากทรานสดิวเซอร์ เมื่อพิจารณาตามแนวตั้งฉากกับแกนกลาง ในบริเวณ Fresnel Zone จะพบว่าการกระจายของความแรง จะมีลักษณะเป็นวงแหวนที่มีความแรงแรงมากสลับกับที่มีความแรงน้อย แต่ใน Fraunhofer Zone การกระจายของความเข้มจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า



(a)

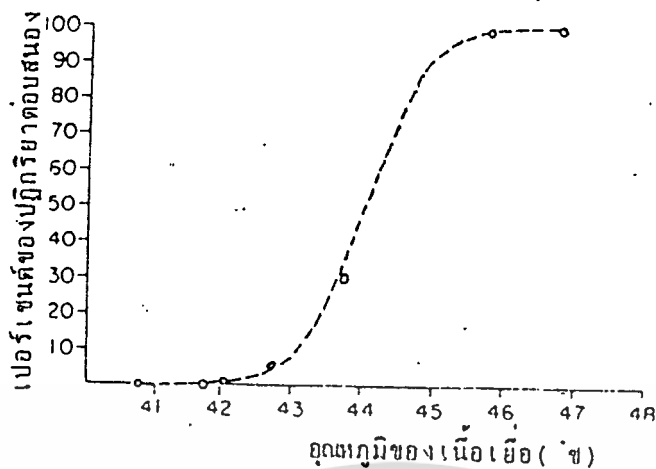


(b)

รูปที่ 1.10 ภาพแสดงการกระจายความแรงของคลื่นอุลตราซาวด์ (a) การกระจายของความแรงตามแกนกลาง, (b) ภาพการกระจายของความแรงตามแนวตั้งฉากกับแกนกลางที่จุด A และ B (บริเวณที่บ่งชี้ว่ามีค่าความเข้มสูง)

ค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ที่ผิวหนึ่งเพิ่มและเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีเลือดมาเลี้ยงมากขึ้น รวมทั้งเมื่อเนื้อเยื่อนั้นมีส่วนประกอบของน้ำมากขึ้น และเมื่อความถี่ในเนื้อเยื่อสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ความสามารถในการนำความร้อนจะสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการขยายตัวของหลอดเลือดตามรูปที่ 1.11 การให้การรักษาคด้วยความร้อนให้ได้ผล จึงควรให้ส่วนที่รักษามีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกายมาก คือมากกว่า 40 องศาเซลเซียส และไม่เกิน 45 องศาเซลเซียส เพราะถ้าสูงกว่าอุณหภูมินี้อาจเกิดอาการปวดและทำลายเนื้อเยื่อได้ อาการปวดเมื่อให้การรักษาคด้วยความร้อนจึงเป็นข้อบ่งชี้ที่ดีเพื่อแสดงว่า อุณหภูมิถึงจุดสูงสุดแล้ว ควรจะลดต่ำลงกว่านั้นหน่อย แต่ถ้าต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส ย่อมไม่ได้ผลในการรักษาคเช่นกัน เนื่องจากไม่ได้เพิ่มการไหลเวียนของเลือดบริเวณที่รักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิด Hyperemia กับอุณหภูมิของเนื้อเยื่อ

ผลในการลดความเจ็บปวด

การใช้ความร้อนช่วยลดความเจ็บปวดในภาวะการผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูก ความเจ็บปวดอาจลดลง โดยลดการเกร็งของกล้ามเนื้อที่เกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ในกลุ่มอาการที่ทำให้เกิดอาการตึง ความเจ็บปวดมักจะเกี่ยวข้องกับการขาดเลือดซึ่งทำให้เลือดเลี้ยงดีขึ้นโดยความร้อนจากการขยายตัวของเส้นเลือด

การเพิ่มการไหลเวียนของเลือดจะมีผลลดการเกร็งของกล้ามเนื้อหรือหดตัวอย่างต่อเนื่อง โดยการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น

ข้อห้ามในการใช้ความร้อน

เพื่อป้องกันอันตรายจากความร้อนที่มากเกินไป ไม่ควรให้ความร้อนในบริเวณที่ขาดเลือดมาเลี้ยงเพราะทำให้บริเวณนั้นเพิ่มการเผาผลาญโดยไม่มีการนำอาหารมาตามระบบไหลเวียนและการกระจายความร้อนออกไปไม่ดีพอทำให้ส่วนนั้นอาจตายได้ ห้ามใช้ความร้อนในภาวะเลือดออก เพราะการที่หลอดเลือดขยายตัวจากผลของความร้อน ทำให้เสียเลือดมากขึ้นไม่ควรให้ความร้อนในเนื้องอกที่เป็นมะเร็ง เพราะอาจทำให้มะเร็งโตเร็วขึ้น

คลื่นเหนือเสียงที่นำมาใช้ทางการแพทย์นั้นจะมีผลทางความร้อน ผลทางแรงกด ผลทางชีวภาพ และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับร่างกายมนุษย์

จุดประสงค์ส่วนมากในการใช้คลื่นเหนือเสียงมารักษา เพื่อทำให้ส่วนของร่างกายที่จะรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า การรักษามืออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิของเนื้อเยื่อที่เหมาะสมที่จะได้ผลดีคือ 40 องศาเซลเซียส ไม่ควรเกิน 45 องศาเซลเซียส หากเกิน 45 องศาเซลเซียส จะเกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในระหว่างการรักษามันไม่ควรเกิน 45 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้เกิดการ
ทำลายชั้น การเพิ่มอุณหภูมิทำให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือด ซึ่งเป็นผลให้เพิ่มการไหล
เวียนของเลือดผ่านเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของกล้ามเนื้อจะสูงสุดเมื่ออยู่ใกล้กระดูกและอุณหภูมิ
จะมากที่สุดภายในเนื้อกระดูกเอง

สิ่งสำคัญในการรักษาด้านเนื้อเยื่อคือ การรักษาข้อติดหรือข้อปวด จุดประสงค์ใน
การรักษาเพื่อลดปวดและเพิ่ม Flexibility ของ collagenous sheaths ซึ่งหุ้มรอบข้อ
ความร้อนทำให้เกิดการทำลายชั้นเมื่ออุณหภูมิที่เพิ่มสูงสุด และระยะเวลาที่ได้รับคลื่นจันมีอุณหภูมิ
สูงสุดจำนวนนั้นเป็นเวลานาน

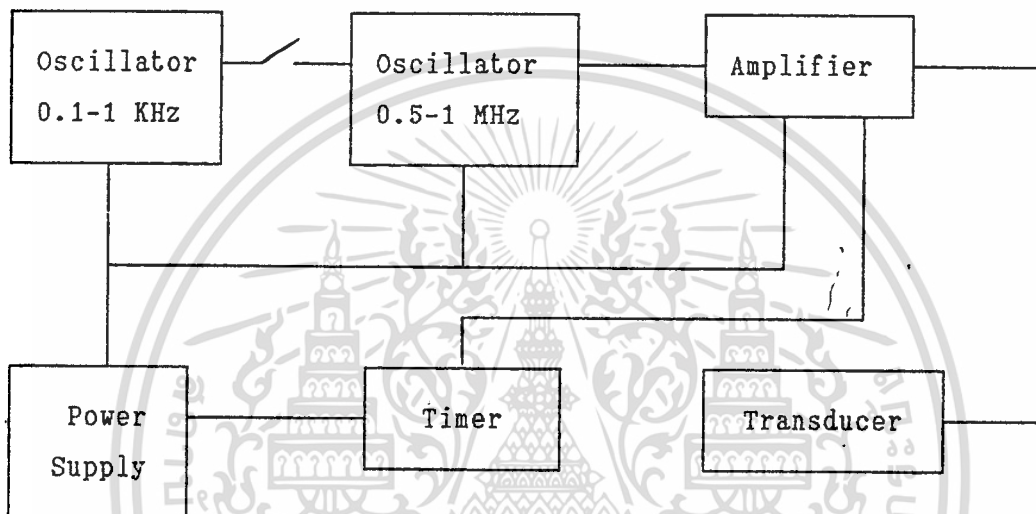


บทที่ 2

โครงสร้างและการทำงาน

โครงสร้างและการทำงานของเครื่องอัลตราซาวด์ที่ใช้ในการรักษาทางกายภาพบำบัด

โครงสร้างของเครื่องอัลตราซาวด์ที่ใช้ในการรักษาทางกายภาพบำบัดประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ซึ่งได้แสดงเป็นบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดง Block Diagram ของเครื่องอัลตราซาวด์ที่ใช้รักษาทางกายภาพบำบัด

การทำงานโดยทั่วไปของเครื่องอัลตราซาวด์ที่ใช้รักษาทางกายภาพบำบัด การทำงานโดยทั่วไปของเครื่องอัลตราซาวด์ที่ใช้รักษาทางกายภาพบำบัด ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. วงจรกำเนิดสัญญาณอัลตราซาวด์ (Oscillator Circuit)

ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่สมมาตร และสามารถปรับค่าความถี่เอาท์พุทได้ในช่วง 0.5-1 MHz เพื่อที่สามารถปรับความถี่อัลตราซาวด์ให้ตรงกับความถี่ที่หัวทรานสดิวเซอร์ตอบสนองได้ดีที่สุด

2. วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse-Generator Circuit)

เป็นวงจรผลิตสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 1 KHz ที่มีค่า duty cycle (Duty Cycle) เป็น 4:5 หรือ 80 % เพื่อใช้ในการมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นอัลตราซาวด์ 1 MHz หลังจากนั้น

แล้วคลื่นจะมีอัตรา 1:5 หรือ 20 % จากวงจรแรก เพื่อให้เครื่องอัลตราซาวด์สามารถที่จะเลือกหน้าที่การทำงานของเครื่องได้ 2 แบบ คือ แบบปล่อยสัญญาณอย่างต่อเนื่อง (Continuous Mode) และแบบปล่อยสัญญาณเป็นช่วง ๆ (Pulse Mode) ที่มี Mark Space = 1:4

3. วงจรขยายสัญญาณอัลตราซาวด์ (Amplifier Circuit)

ซึ่งประกอบด้วยวงจรขยายส่วนทำหน้าที่ขยายสัญญาณ 0.5-1 MHz จากวงจรผลิตความถี่ให้มีความถี่สูงขึ้น เพื่อป้อนให้กับวงจรขยายภาคสุดท้าย ซึ่งเป็นเพาเวอร์แอมพลิฟายเออร์ (Power Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณให้มีศักย์ไฟฟ้าสูง ๆ เพื่อนำไปส่งผ่านให้หัวทรานสดิวเซอร์ เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลของการสั่นสะเทือนซึ่งต้องการให้ได้พลังงาน 15 Watts/cm² ดังนั้นวงจรขยายต้องขยายสัญญาณอัลตราซาวด์ให้มีศักย์ไฟฟ้าสูงถึง 90 Volts จึงจะได้พลังงานตามต้องการ

4. วงจรตั้งเวลา (Timer Circuit)

เป็นวงจรที่ใช้ทำหน้าที่ในการตั้งเวลาการทำงานของเครื่อง ในขณะที่ใช้ทำการรักษาแต่ละครั้งโดยวิธีต่อแรงดันที่จ่ายให้กับวงจรภาคสุดท้ายและสามารถตั้งเวลาได้นานถึง 99 นาที ซึ่งตามปกติแล้วจะใช้เวลาสูงสุดในการรักษาไม่เกิน 15 นาที เท่านั้น

5. วงจรแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply Circuit)

มีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 Volt 50 Hz เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ค่าต่าง ๆ เพื่อส่งแรงดันไฟฟ้าไปเลี้ยงวงจรในแต่ละส่วน

6. ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)

เมื่อเครื่องอัลตราซาวด์สร้างคลื่นไฟฟ้าออกมาแล้ว จะต้องส่งผ่านทรานสดิวเซอร์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานกลของการสั่นสะเทือน ทรานสดิวเซอร์มีชื่อเรียกว่า Sound Head ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ Piezo - Electric Crystal อาจทำด้วย Quartz ซึ่งมีความคงตัวมาก แต่ต้องการศักย์ไฟฟ้าสูงไปเลี้ยงและต้องใช้สายต่อที่แข็ง เพราะ Quartz มีอิมพีแดนซ์สูงจึงต้องการศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า นอกจากนั้นอาจใช้ Lithium ได้โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์ประกอบด้วย หัวชั้นนอก Sound Head เป็นโลหะที่มีผิวเรียบ ด้านหลังของโลหะมีผลึกยึดติดด้วยซีเมนต์ ถัดออกไปข้างหลังเป็นกล่องเล็ก ๆ ภายในบรรจุอากาศซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนให้คลื่นอัลตราซาวด์ไปยังผู้ป่วยได้ดี แต่อากาศเป็นตัวกลางที่ให้คลื่นอัลตราซาวด์ผ่านได้เล็กน้อย ส่วนของแข็งและของเหลวให้คลื่นอัลตราซาวด์ผ่านได้มาก ฉะนั้นในการปล่อยคลื่นอัลตราซาวด์เข้าไปยังผู้ป่วย จะต้องอาศัยตัวกลางที่เป็นของเหลว โดยมากใช้น้ำมันแร่ (Mineral Oil) เรียกเทคนิคนี้ว่า Direct Oil Coupling อาจใช้น้ำเป็นตัวกลางก็ได้โดยจุ่มทั้ง Sound Head และอวัยวะที่ต้องการศึกษา เช่น มือหรือเท้าลงในภาชนะที่ใส่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

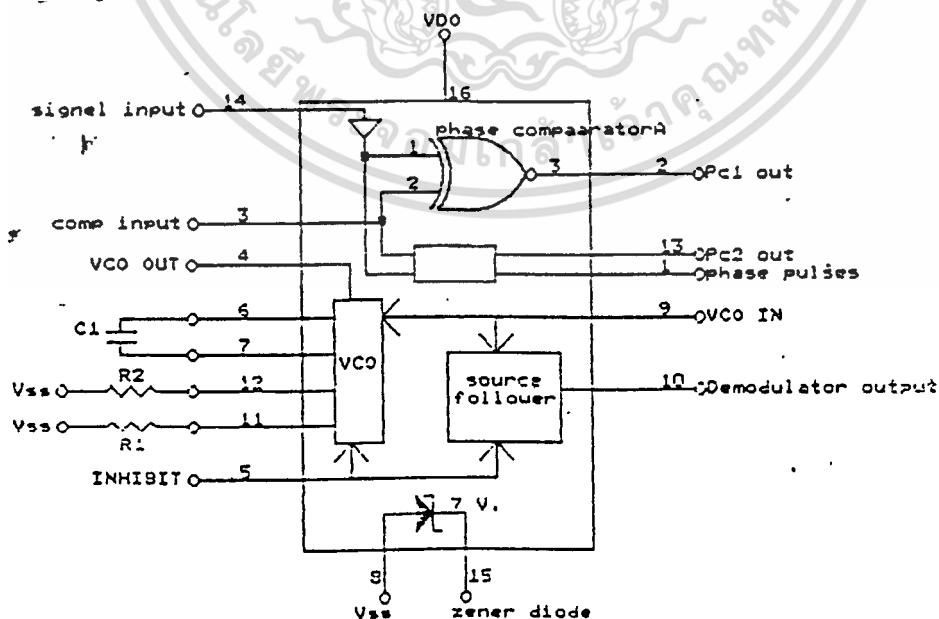
หลักการออกแบบ สร้างวงจรและการทำงานของวงจร

หลักการออกแบบและสร้างวงจร

1. วงจรกำเนิดสัญญาณลดร้าวซ้ำ

วงจรผลิตสัญญาณสี่เหลี่ยมที่สมมาตรแบบปรับความถี่ได้ในช่วง 0.5-1 MHz โดยให้หลักของวงจรผลิตความถี่ควบคุมด้วยแรงดัน หรือ VCO (Voltage Controller Oscillator) ซึ่งได้มาจากการประยุกต์เอาภาค VCO ของไอซีซีมอสเฟสล็อกคูล เบอร์ SCL4046B มาใช้งาน ดังนั้นจะขอกล่าวโครงสร้างภายในและการประยุกต์ใช้งานภาค VCO ของไอซีเบอร์นี้เสียก่อน ดังนี้

ส่วนประกอบภายในและตำแหน่งขาของไอซีเบอร์ SCL4046B แสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบด้วย วงจรเปรียบเทียบเฟส (Phase Comparator) 1 คู่ ซีเนอร์ไดโอด 1 ตัว และภาค กำเนิดความถี่ควบคุมด้วยแรงดัน หรือ VCO (Voltage Controller Oscillator) 1 ชุด ส่วนประกอบเหล่านี้จะแยกเป็นอิสระจากกัน ในส่วนของ VCO เป็นส่วนที่สามารถดัดแปลงการใช้งานได้มากมายที่สำคัญคือ มีราคาถูกเมื่อเทียบกับวงจรกำเนิดความถี่ควบคุมด้วยแรงดันแบบอื่น ๆ



ภาค VCO นี้จะให้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่สมมาตร ที่มีความถี่สูงสุดได้มากกว่า 1 MHz ในการใช้งานนั้นขาที่ 5 ซึ่งเป็นขา INHIBIT จะเป็นตัวควบคุมให้ VCO ทำงานคือ ถ้าขา 5 มีสภาวะลอจิกเป็น "1" ภาค VCO จะไม่ทำงาน แต่ถ้ามีสภาวะลอจิกเป็น "0" ภาค VCO จะทำงานตามปกติ แรงดันไฟฟ้าที่ไอซีนี้ยังทำงานอยู่ได้ อยู่ในช่วง 3-18 volt

1.1 การประยุกต์ใช้งานภาค VCO เนื่องจากภาค VCO เป็นส่วนสำคัญในการประยุกต์ใช้งาน จึงจำเป็นต้องศึกษาการทำงานของมันก่อน ซึ่งโดยปกติแล้วความถี่ในการทำงานของ VCO. ถูกควบคุมโดย

- ก. ตัวเก็บประจุ C_1 ที่ต่อระหว่างขา 6 และขา 7 (ค่าต่ำสุดของ C_1 คือ 50 pF)
- ข. ตัวต้านทาน R_1 ที่ต่อระหว่างขา 11 และกราวด์
- ค. แรงดันอินพุตที่ขา 9 ของ VCO

ความสัมพันธ์ของความถี่ของ VCO กับค่าของ R_1 และ C_1 เมื่อแรงดันอินพุตที่ขา 9 เป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟเลี้ยง ($V_{DD}/2$) เมื่อ R_1 และ C_1 มีค่าน้อยลงจะทำให้ได้ความถี่สูงขึ้น และถ้าแรงดันที่ขา 9 ยิ่งเพิ่มมากขึ้น เราสามารถคำนวณหาความถี่ที่ขา 9 ค่าความต้านทาน R_1 และค่าตัวเก็บประจุ C_1 เพื่อให้ได้ความถี่เอาต์พุตของ VCO ตามต้องการ จากสูตร

$$\text{สูตร คือ } f = \frac{1}{2 \pi R_1 C_1} * VCO \text{ IN}$$

เมื่อ f = ค่าความถี่เอาต์พุตของ VCO (Hz)

R_1 = ค่าความต้านทานที่ต่อระหว่างขา 11 กับกราวด์ (Ohm)

C_1 = ค่าความจุของตัวเก็บประจุที่ต่อระหว่างขา 6 และขา 7 (Farad)

VCO IN = ค่าแรงดันอินพุตที่ขา 9 ของ VCO (Volt)

$$\text{จากสมการ } F_{\min} = \frac{1}{2R_2 C_1} * VCO \text{ IN}$$

$$0.5 \text{ MHz} = \frac{1}{2 \cdot 12K \cdot C_1} * 11 \text{ V}$$

$$0.5 * 10^6 = \frac{11}{2 * 12 * 1000 * C_1}$$

$$C_1 = 291.784 \text{ pF}$$

และผลจากการคำนวณค่า C_1 ที่ได้ทำให้สามารถคำนวณหาค่าความต้านทาน ที่ต่อระหว่างขา 11 กับกราวด์ (R_1) ได้ดังนี้

$$\text{จากสมการ } F_{\max} = \frac{VCO \text{ IN}}{2(R_1 // R_2) \cdot C_1}$$

$$F_{\max} = \frac{11}{2[(R_1 R_2)/(R_1 + R_2)] C_1}$$

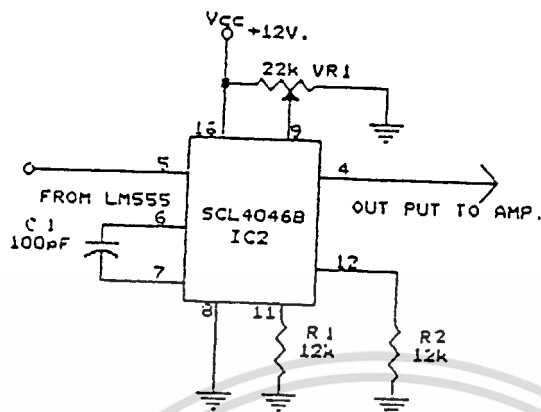
$$F_{\max} = \frac{11}{2[(R_1 \cdot 12K)/(R_1 + 12K)] \cdot 291.784}$$

$$1 * 10^6 = \frac{11}{2[(R_1 \cdot 12K)/(R_1 + 12K)] \cdot 291.784 * 10^{-12}}$$

$$6000 = \frac{R_1 \cdot 12K}{R_1 + 12K}$$

$$R_1 = 12 \text{ K Ohm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรผลิตสัญญาณที่ปรับค่าความถี่ในช่วง 0.5-1 MHz

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้งานภาค VCO ของไอซีเบอร์ SCL4046B เราสามารถที่จะสร้างวงจรผลิตสัญญาณที่ปรับค่าความถี่ ได้ในช่วง 0.5-1 MHz ได้โดยง่ายโดยการจัดวงจร ดังรูปที่ 3.2 และกำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

- ก. ค่าความต้านทานที่ต่อระหว่างขา 12 และกราวด์เป็น 12 K Ohm (R_2)
- ข. ค่าแรงดันอินพุตที่ขา 9 ของ VCO ปรับได้โดยตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ VR_1 22 K Ohm ปกติจะปรับให้แรงดันอินพุตที่ขา 9 นี้ให้อยู่ในช่วง 1 ถึง $(V_{CC}-1)$ โวลต์ คือ 1-11 โวลต์

จากการกำหนดค่าต่าง ๆ ตามที่กล่าวมานี้ ทำให้สามารถคำนวณหาค่าของตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ระหว่างขา 6 และ ขา 7 (C_1) ได้ดังนี้

กำหนดช่วงของความถี่ในช่วงความถี่ต่ำสุดเป็น 0.5 MHz และค่าความถี่สูงสุดเป็น 1 MHz

$$\text{จะได้ } F_{\min} = 0.5 \text{ MHz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่าความจุ 291.784 pF ในทางปฏิบัติค่าที่ตรงได้ยาก ดังนั้นจะใช้ค่าที่ใกล้เคียงให้มากที่สุด ประมาณ 280 pF หรืออาจจะมากหรือน้อยกว่าที่คำนวณได้ซึ่งค่า C_1 นี้มีผลต่อวงจรและในส่วนของการทำในวงจรนี้จะใช้ค่าประมาณ 100 pF แทนซึ่งจะได้ค่าความถี่ต่ำสุดประมาณ 0.512 MHz และค่าความถี่สูงสุดประมาณ 1.002 MHz

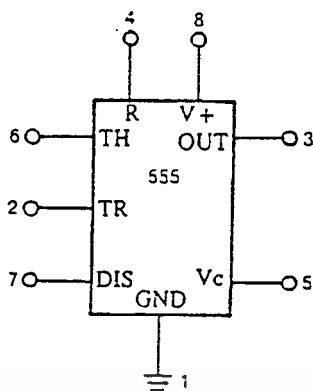
ฉะนั้นวงจรนี้ จะใช้ C_1 ที่ต่ออยู่ระหว่าง ขา 6 และขา 7 เป็น 100 pF ค่า R ที่ต่อระหว่างขา 11 กับกราวด์เป็น 12 K (Ohm) และค่า R ที่ต่อระหว่างขา 12 กับกราวด์เป็น 12 K(Ohm)

ขา 5 ของไอซีจะต่อกับสวิทช์ เพื่อที่จะใช้สัญญาณจากวงจรผลิตรูปสัญญาณพัลส์ความถี่ 1 KHz และมีค่า Duty Cycle เป็น $1:5$ โดยเมื่อตัดสวิทช์ จะไม่มีผลต่อวงจรผลิตรูปสัญญาณความถี่ $0.5-1 \text{ MHz}$ คือวงจรนี้จะให้สัญญาณเอาท์พุทที่ขา 4 มีค่าอยู่ในช่วง $0.5-1 \text{ MHz}$ แต่เมื่อต่อสวิทช์ จะทำให้สัญญาณพัลส์ความถี่ 1 KHz duty cycle $4:5$ ถูกป้อนเข้าขา 5 ของไอซี SCL4046B มีผลทำให้มันหยุดผลิตรูปสัญญาณขณะที่สัญญาณพัลส์มีลอจิก "1" และไอซีจะผลิตรูปสัญญาณในขณะที่สัญญาณพัลส์มีลอจิกเป็น "0"

ทำให้ได้สัญญาณที่ขา 4 ของไอซี SCL4046B กลับมีค่า Duty Cycle เป็น $1:5$ และค่า Mark : Space เป็น $1:4$

วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

วงจรนี้จะผลิตรูปสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 1 KHz ซึ่งมี duty cycle $1:5$ จากการศึกษาคณะสมบัติของไอซีไทม์เมอร์ # LM555 การทำงานของ IC# LM555 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.3 มีขาหรือขาต่อ ทั้งหมด 8 ขา มีทั้งชนิดเป็นแบบกลมหรือแบบเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า Dual-in-line Package (DIP)



R = รีเซต

V+ = แหล่งจ่ายแรงดัน

GND = กราวด์ (ร่วม)

TH = เทอร์ชโฮลด์

TR = ทริกเกอร์

DIS = คายประจุ

Vc = ความคุมแรงดัน

OUT = เอาต์พุต

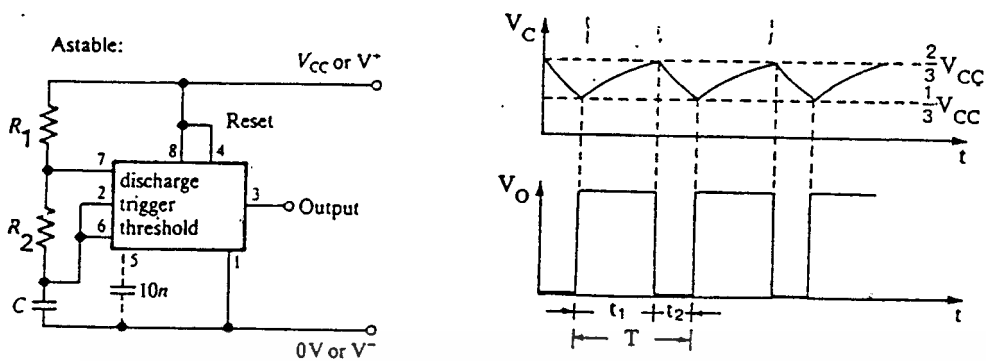
รูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียด IC # LM555

ไอซีตัวนี้จะทำงานได้ ก็ต่อเมื่อต้องป้อนกำลังงานจากภายนอกเข้าไป สำหรับตัว LM555 นี้ จะต้องต่อสักร์ไฟฟ้าจากดินต่อภายนอกเข้าไปที่ขา 1 และขา 8 ขา 1 ต่อกับกราวด์และขา 8 ต่อกับสักร์ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ Vcc ซึ่งสามารถใช้ค่าใดก็ได้ระหว่าง +5V ถึง +15V ส่วนขาสัญญาณ เอาท์พุตต้องต่อมาจากขา 3 สัญญาณเอาท์พุตจะมี 2 ค่าคือ 0 V หรือเป็นสักร์ไฟฟ้าบวก ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าของสักร์ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ Vcc

มีขาที่ใช้ควบคุม 4 ขา ขาที่สำคัญที่สุดคือ ขาที่ 2, 6 ซึ่งมีชื่อว่า Trigger และ Threshold ตามลำดับ ขาททั้งสองสามารถทำหน้าที่เป็นตัวตรวจไฟฟ้าสักร์ และขาททั้งสองสามารถทำให้สัญญาณ o/p สามารถเปลี่ยนจากค่าหนึ่งไปเป็นอีกค่าหนึ่งได้ ขาททั้งสองนี้ จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมงานทั้งหมดของ วงจรขาที่ 4 และ 5 มีชื่อเรียกว่า Reset และ Control voltage ซึ่งบางชนิดใช้สำหรับ ควบคุมเอาท์พุตของ LM555 แต่ในงานส่วนใหญ่แล้วจะไม่ได้ใช้ ดังนั้นโดยทั่วไปจึงนำขา 5 นี้มาต่อกับ กราวด์ โดยผ่านคาปาซิเตอร์ ค่า 0.01 F ส่วนขา 4 นั้นนำไปต่อกับแหล่งจ่ายไฟ

ขาที่ 7 มีชื่อว่า Discharge เป็นสวิตช์ภายในที่ต่อกับกราวด์ สวิตช์นี้จะครบวงจรเมื่อ o/p มีค่าต่ำ (0 V) และไม่ครบวงจร เมื่อ o/p มีค่าสูง (ประมาณ Vcc) และขา 7 นี้เองที่ใช้ เป็นทางเดินสำหรับคาปาซิเตอร์ปล่อยประจุ

ด้วยการต่อขาทั้ง 8 ขาสามารถทำให้ IC # LM555 นี้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้งาน เป็น วงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ (Astable Multivibrator Circuit) เพื่อผลิตสัญญาณรูปคลื่น สี่เหลี่ยมได้โดยการเพิ่มตัวเก็บประจุ 1 ตัว และตัวต้านทาน 2 ตัว เข้าไป โดยต่อวงจรดังรูปที่ 3.4 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โดยให้ไอซี LM555 และความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าอินพุต และเอาต์พุต

โดยความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ t_1 ถูกกำหนดด้วยความต้านทาน R_1 , R_2 และตัวเก็บประจุ C

$$t_1 = 0.7 (R_1 + R_2) * C$$

ขณะที่เวลาระหว่างเอาต์พุตพัลส์ t_2 ถูกกำหนดด้วยความต้านทาน R_2 และตัวเก็บประจุ C

$$t_2 = 0.7 * R_2 * C$$

ดังนั้นเวลาทั้งหมดของเอาต์พุต T คือ ผลรวมของ t_1 และ t_2

$$T = t_1 + t_2$$

$$= 0.7 (R_1 + 2R_2) * C$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความถี่ของสัญญาณเอ้าท์พุท ก็คือ ส่วนกลับของเวลาทั้งหมดของเอ้าท์พุทพัลส์

$$F = \frac{1}{T}$$

$$F = \frac{1}{0.7 (R_1 + R_2) C}$$

Duty Cycle ของสัญญาณเอ้าท์พุทก็คือ อัตราส่วนของเวลาขณะที่ไฟฟ้ามี่ค่าสูง t_1 ต่อช่วงคาบเวลาทั้งหมด T

$$\begin{aligned} \text{Duty Cycle} &= \frac{t_1}{T} 100\% \\ &= \frac{0.7(R_1 + R_2) C}{0.7(R_1 + 2R_2) C} 100\% \\ &= \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} 100\% \end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์สมการ Duty Cycle อย่างง่าย จะเห็นว่า Duty Cycle สูงสุด จะมีค่า 100 % เมื่อ R_1 มีค่ามากกว่า R_2 มาก ๆ และเมื่อค่า R_1 ลดลง เมื่อเทียบกับ R_2 จะทำให้ค่า Duty Cycle ที่น้อยที่สุด จึงมีค่า 50 % เมื่อ $R_1 = 0$ ดังนั้นจึงถูกจำกัดให้มีค่า Duty Cycle ระหว่าง 50 % และ 100 %

Duty Cycle สามารถทำให้ลดลงต่ำกว่า 50 % ได้ ถ้าสามารถทำให้คาปาซิเตอร์ เก็บประจุและปล่อยประจุ โดยผ่านความต้านทานแต่ละตัวที่แยกกัน ซึ่งมีไดโอดมาต่อคร่อม ความต้านทาน R_2 ในระหว่างที่เก็บประจุ ไดโอดจะถูกไบแอสตรง (Forward biased) และทำหน้าที่ลัดวงจรโดยตรงกับความต้านทาน R_2 ดังนั้นค่าคงตัวเวลาของการเก็บประจุจึงเป็นผลคูณของ R_1 กับ C และความกว้างของสัญญาณเอ้าท์พุท ที่มีค่าสูงจะมีค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_1 = 0.7 R_1 C$$

ในขณะที่มีการปล่อยประจุนั้น ไดโอดจะไม่ให้กระแสไฟฟ้าผ่านไป ค่าคงตัวของเวลาของการปล่อยประจุและความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่มีค่าต่ำ จึงยังคงเดิมดังนี้

$$t_2 = 0.7 R_2 C$$

และจะได้สมการของคาบเวลาทั้งหมด T และค่า Duty Cycle ดังนี้

$$T = t_1 + t_2$$

$$T = 0.71 R_1 C + 0.7 R_2 C$$

$$T = 0.7 (R_1 + R_2) C$$

$$\begin{aligned} \text{Duty Cycle} &= \frac{t_1}{T} 100 \% \\ &= \frac{0.7 R_1 C}{0.7 (R_1 + R_2) C} 100 \% \end{aligned}$$

$$= \frac{R_1}{R_1 + R_2} 100 \%$$

ค่าของ R_1 และ R_2 สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อให้ได้ค่า Duty Cycle ของสัญญาณเอาต์พุตที่มีค่าเต็มช่วงจาก 0 % จนถึง 100 % โดย R_1 เป็นตัวปรับตั้งความกว้างของพัลส์และ R_2 เป็นตัวปรับตั้งเวลาระหว่างพัลส์ ซึ่งทำให้สะดวกในการปรับแต่ง (Calibration) เป็นอย่างมาก ในทางปฏิบัติออกแบบให้ใช้ความต้านทานแบบปรับค่าได้ที่มีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้แล้ว พยายามปรับค่า เพื่อให้ได้ค่า Duty Cycle และความถี่ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ดังนั้นสามารถออกแบบวงจรผลิตสัญญาณพัลส์ได้หลายความถี่ 1 KHz ที่มีค่า Duty Cycle
ไม่จำกัดทุกสิ่งทุกอย่างที่ทำได้แต่ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของเอกสารนี้เท่านั้น

80 % จากการกำหนดความถี่ 1 KHz จะหาค่าช่วงเวลาทั้งหมดของสัญญาณได้จาก

$$T = \frac{1}{f}$$

$$= \frac{1}{1 \text{ KHz}}$$

$$= 1 \text{ mS}$$

และสามารถหาค่าเวลา t_1 ได้จาก

$$\text{Duty Cycle} = \frac{t_1}{T} 100 \%$$

$$80 \% = \frac{t_1}{1 \text{ mS}} 100 \%$$

$$t_1 = 0.8 \text{ mS}$$

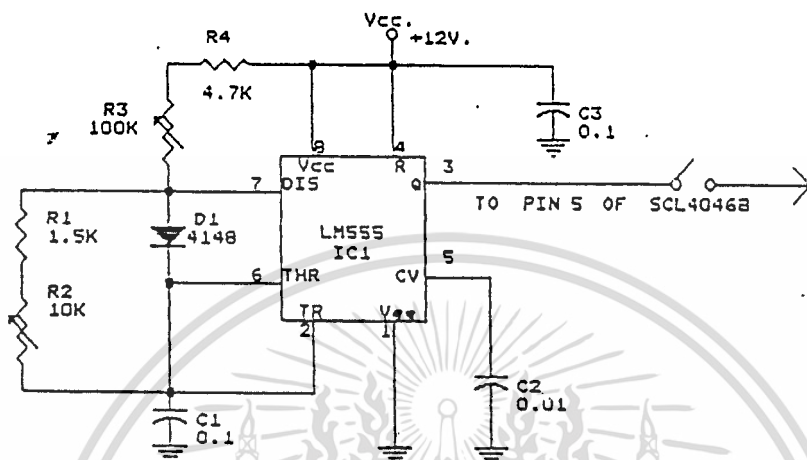
$$\text{และจาก } t_1 = 0.7 R_1 C$$

กำหนดให้ใช้ตัวเก็บประจุค่า 0.1 F สามารถหาค่า R_1 ได้ ดังนี้

$$0.8 \text{ mS} = 0.7 R_1 * 0.1 \text{ F}$$

$$\text{จะได้ } R_1 = 11.4 \text{ K Ohm}$$

ซึ่งในทางปฏิบัติจะเลือกใช้ค่าความต้านทานแบบปรับค่าได้ 100 K Ohm เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรผลิตสัญญาณพัลส์ที่เปลี่ยนความถี่ 1 KHz และมีค่า Duty Cycle เป็น 80 %

ค่าของ R_2 สามารถคำนวณได้ภายหลังจากที่เราได้ค่า t_2 แล้วคือเราจะหาจาก

$$T = t_1 + t_2$$

จะได้ว่า $1 \text{ ms} = 0.8 \text{ ms} + t_2$

$$t_2 = 0.2 \text{ ms}$$

หาค่า R_2 ได้จาก $t_2 = 0.7 R_2 C$

เมื่อกำหนด $C = 0.1 \text{ F}$ จะได้ $0.2 \text{ ms} = 0.7 R_2 * 0.1 \text{ F}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $R_2 = \frac{2.857 \text{ K Ohm}}{\text{ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้}}$

รูปที่ 3.6 แสดงวงจรขยายสัญญาณอินพุตซ้ำ

วงจรขยายสัญญาณอูตร้าชาวด์ ในชุดของวงจรขยายสัญญาณอูตร้าชาวด์จะประกอบไปด้วย
วงจรขยายย่อย ๆ 4 States มีทรานซิสเตอร์ 5 ตัว (ดังรูปที่ 3.6)

สแตจที่ 1 ใช้ทรานซิสเตอร์ เบอร์ 2N2222A ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์แบบซิลิกอนที่ใช้ขยาย
สัญญาณเสียงหรือสัญญาณความถี่วิทยุ ซึ่งต่ออยู่แบบคอมมอนอิมิตเตอร์ คัปปลิงแบบ R, C คัปปลิง
(RC - Coupling)

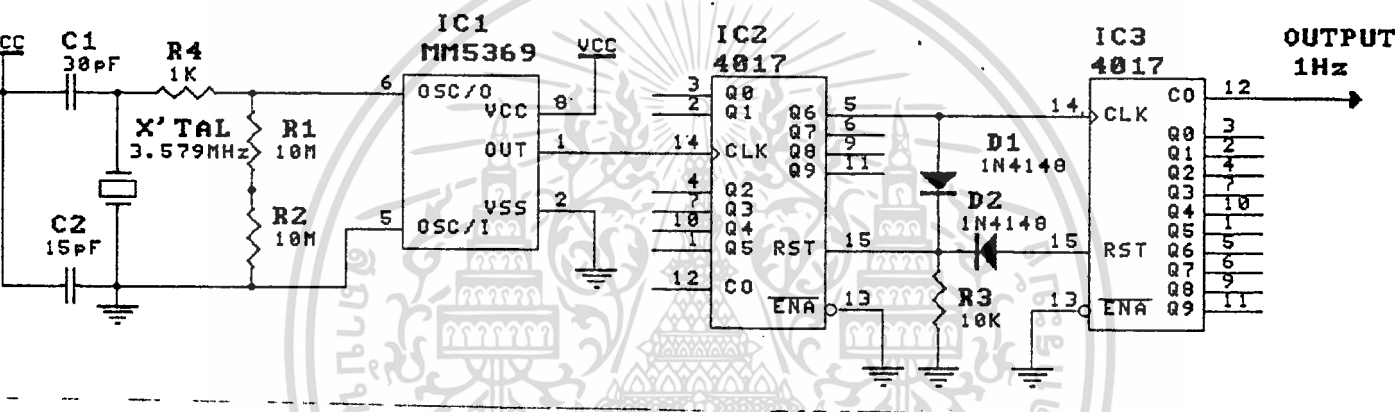
สแตจที่ 2 ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC549 เช่นเดียวกัน แต่ต่อแบบคอมมอนคอลเลคเตอร์
สัญญาณที่ได้จากขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์สแตจนี้ จะถูกส่งผ่านไปยังสแตจที่ 3

สแตจที่ 3 เป็นวงจรขับ (Drive Circuit) ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัว คือ
เบอร์ BC549 , BC559 โดยการนำทรานซิสเตอร์ 2 ตัว นี้มาต่อกันเป็นวงจรขยายแบบ
Complementary and Symmetry Circuit เพื่อทำหน้าที่ ขับ (Drive) ทรานซิสเตอร์ภาค
เพาเวอร์แอมพลิไฟเออร์ (Power Amplifier)

สแตจที่ 4 เป็นวงจรขยายภาคสุดท้าย Power Amplifier ซึ่งจะต้องขยายสัญญาณอูตร้า
ชาวด์ให้มีศักย์ไฟฟ้าสูงถึง 100-150 Volt เพื่อป้อนให้กับ Sound Head หรือ Transducer
โดยใช้ทรานซิสเตอร์ เบอร์ 2SD917 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ T-NPN ,Si ,Hi Speed โดยต่อวงจร
แบบคอมมอนอิมิตเตอร์

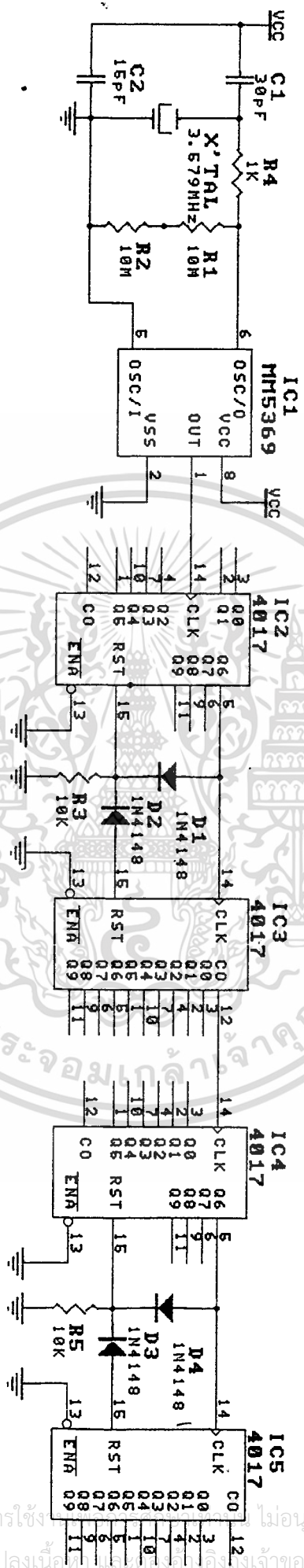
หลักการทํางานภาคตั้งเวลา

จากรูปวงจรสัญญาณนาฬิกาความถี่มาตรฐาน 60Hz จะได้จาก IC₁ เบอร์ MM5369 ซึ่งเป็นไอซีพิเศษทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณความถี่ 60Hz โดยทำงานร่วมกับ X'TAL ค่า 3.57 9545 MHz และ R₂₃, R₂₄, R₂₅ และ C₆, C₇



วงจรกำเนิดสัญญาณ CLOCK 1Hz

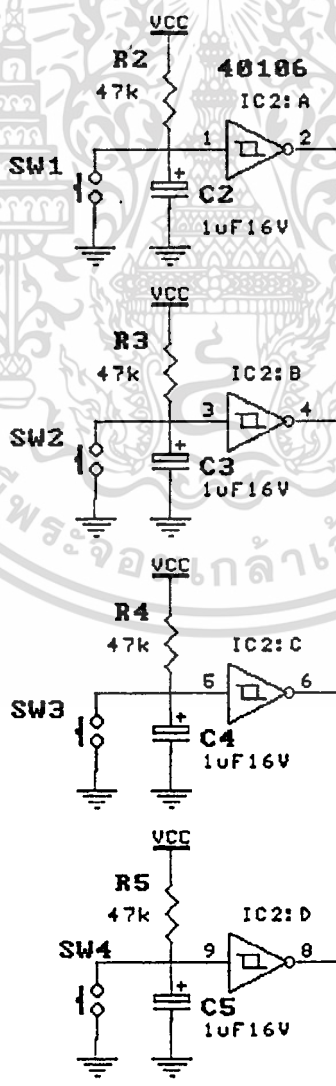
สัญญาณนาฬิกา 60Hz จะถูกหารด้วย 360 โดยให้ IC 4017 จำนวน 4 ตัวทำการหาร 6 สองครั้งแล้วหาร 10 สองครั้งโดย IC4017 เป็น IC Decode Counter/Divider หรือ IC นับโดยเราจะทำการต่อ OUTPUT จากขา Q₀ คือเมื่อมี CLOCK จำนวน 6 ลูก เข้ามา Q₀ ก็จะเกิด CLOCK จำนวน 1 ลูก ส่งให้ IC4017 ตัวที่สองและ OUTPUT ที่ได้จะป้อนกลับมาที่ D₀ [1N4148] เมื่อมาทำการ RESET IC_{1,4} 4017 เมื่อให้ทำการนับ CLOCK ใหม่ IC_{1,3} [4017 ตัวที่สอง] เมื่อได้รับ CLOCK จะ IC หาร 6 แล้ว จะทำการหาร 10 โดยต่อจากขา CO คือเมื่อ CLOCK เข้ามาที่ขา CLK 10 ลูก ก็จะเกิด CLOCK 1 ลูก นั่นก็คือ CLOCK 1Hz [1วินาที] แล้วส่งให้วงจรหาร 6 แล้วหาร 10 ตามลำดับอีกก็จะได้ $1/60\text{Hz}$ หรือ CLOCK 1 นาที เราจะเอา CLOCK ที่ได้ออกคือ 1Hz แล้ว $1/60\text{Hz}$ ไปใช้งานในวงจรนับและไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2497. CLOCK 60 H. ЦАЯ3097М77 360

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้  ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงผล ส่วนของวงจรที่ทำหน้าที่ตั้งเวลาเริ่มต้นของการนับถอยหลังสวิทช์ SW_1 และ SW_2 จะเป็นตัวกำหนดค่าเวลาในหลัก 10 นาฬิกาและหลัก 1 นาฬิกาตามลำดับแต่ละหลักจะอิสระต่อกัน แต่จะต้องไม่เกิน 30 นาฬิกา คือหลัก 10 นาฬิกาจะสามารถตั้งได้ 1 ถึง 3 และหลัก 1 นาฬิกาจะตั้งได้ 0 ถึง 9 แต่เมื่อหลัก 10 นาฬิกาเป็น 3 หลัก 1 นาฬิกาที่จะต้องเป็น "0" ส่วน SW_4 จะเป็น START/RESET คือเมื่อเรากดครั้งแรก วงจรจะนับลงจะเริ่มทำงาน แต่ถ้าเรากดอีกครั้ง วงจรจะทำการ RESET เมื่อเริ่มต้นใหม่ หรือ เริ่มต้นการตั้งเวลาใหม่ ส่วน SW_3 จะทำหน้าที่เป็น PAUSE หรือหยุดชั่วคราว เมื่อกดครั้งแรก ถ้าทำการหยุดการนับถอยหลังชั่วคราวและ OFF วงจรภาคกำเนิดความถี่ ULTRA SOUND จนกว่าจะทำการกดอีกครั้ง ก็ จะทำการต่อวงจรกำเนิดสัญญาณ ULTRA SOUND และให้ทำการนับเวลาถอยหลังต่อไป จนถึง "00" ก็จะหยุดทำงานและ OFF สัญญาณ ULTRA จนกว่าจะตั้งเวลาใหม่และทำการกด START ต่อไป



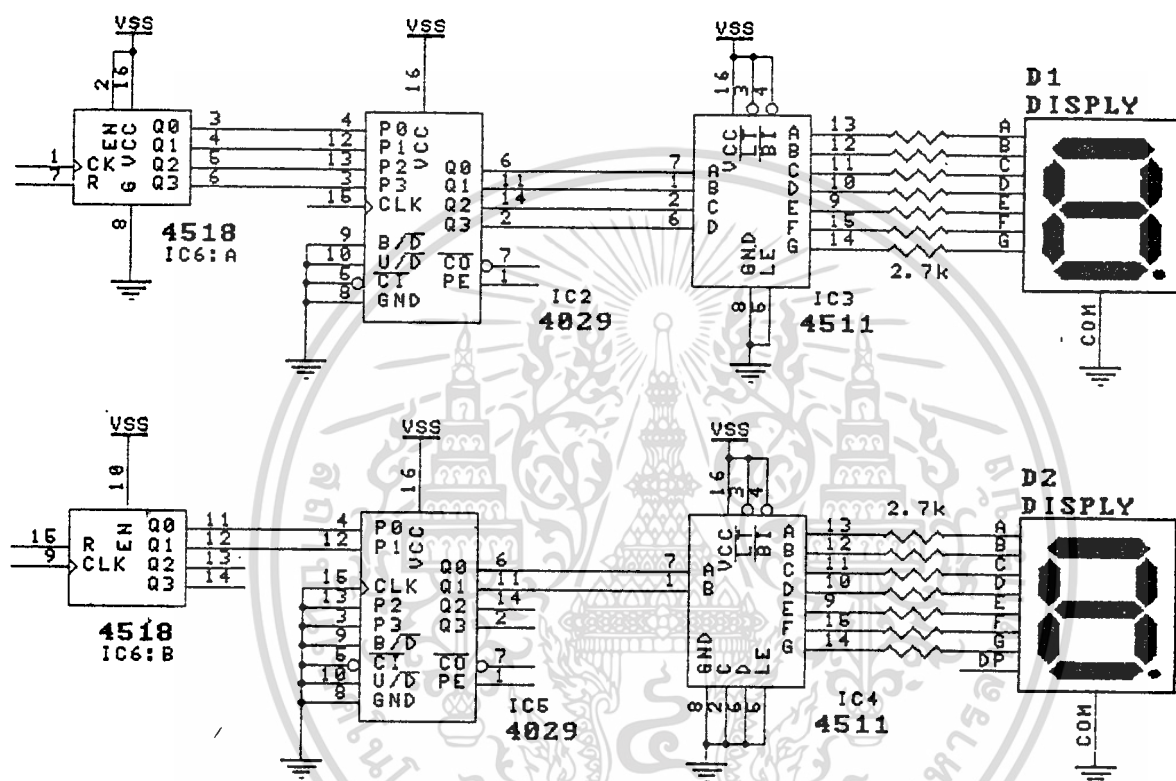
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
วงจรลดสัญญาณ NOISE ที่เกิดจาก SWITCH
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWITCH ต่าง ๆ จะทำการต่อกับขา INPUT ของนอตเกต (NOT GATE) ซึ่งเป็นแบบชmidt trigger เพื่อลดผลจาก bounce ที่เกิดจาก SWITCH ในภาวะปกติ (ไม่ได้กดสวิตช์) ที่ขาอินพุต (INPUT) ของนอตเกตแต่ละตัวจะเป็น "1" เนื่องจากต่อ R47K ทำหน้าที่พูลอัพอยู่เมื่อกดสวิตช์ตัวใดตัวหนึ่งจะทำให้ขาอินพุตของนอตเกตเป็น "0" และเมื่อปล่อยสวิตช์ก็จะกลับมาเป็น "1" อีกครั้งจึงทำให้ได้เอาต์พุตของนอตเกตมีสัญญาณพัลส์หรือสัญญาณ CLOCK 1 ลูก ป้อนให้กับ IC 4518 ถ้ากดหลายครั้งก็มีสัญญาณ CLOCK หลายลูก ส่วน C 1 μ F16 V ที่ต่อคร่อมสวิตช์นั้น จะทำหน้าที่เป็นตัว "ดีเบานส์" (DEBOUNCE) ลดสัญญาณรบกวนหรือพัลส์เล็ก ๆ อันเนื่องมาจากหน้าสัมผัสของสวิตช์ SWITCH ทุกตัวจะทำการต่อแบบเดียวกันเพื่อป้องกัน NOISE จาก SWITCH และจาก SWITCH SET TIME จะต่อกับ IC 4518 (DUAL BCD UP COUNTER) จะเป็นไอซีนับขึ้น 0-9 ให้ OUTPUT เป็นรหัส BCD 4 BIT เมื่อสัญญาณ CLOCK จาก NOT GATE มายังขา CK ของ IC 4518 ก็จะนับไปที่ละหนึ่งตามจำนวนครั้งของการกดสวิตช์ IC 4518 จะมีส่วนของ BCD UP COUNTER 2 วงจร อิสระจากกัน ขา CLOCK ENABLE จะต่อที่ "1" เพื่อให้ IC 4518 สามารถนับ CLOCK ได้ ถ้าต่อขา EN ลง "0" จะไม่สามารถนับ CLOCK ได้ ส่วนขา CLEAR ถ้าเมื่อได้ "1" OUTPUT จะเป็น "0" ทั้งหมด จะใช้สัญญาณ จาก SWITCH START/RESET เป็นตัวควบคุมรวมกับสัญญาณอื่นที่จำเป็น เราจะกล่าวภายหลัง OUTPUT Q₁, Q₂, Q₃ และ Q₄ จะต่อกับขา A_{1n}, B_{1n}, C_{1n}, และ D_{1n} ตามลำดับของ IC 4029 (PRESETTABLE UP/DOWN COUNTER) ซึ่งเป็น IC ที่สามารถนับขึ้นหรือลงก็ได้โดยถ้าขา 10 (U/D) คือขา UP/DOWN ถ้าได้รับลอจิก "1" จะทำการนับขึ้น ถ้าได้ลอจิก "0" จะนับลงแต่ในขณะนี้เราจะใช้ในการนับลงเราจึงจะต่อลงกราวด์ ("0") และสามารถนับฐาน 10 หรือ ฐานสิบหกก็ได้ โดยควบคุมที่ ขา 9 (B/D) ถ้าต่อที่ลอจิก "1" จะนับฐานสิบหกถ้าลอจิก "0" เข้ามาจะนับเป็นฐานสิบ เราจึงต่อลงกราวด์เมื่อใช้ในเลขฐานสิบ ส่วนขา 5 (CARRY IN) คือค่าตัวทดซึ่งในขณะนี้จะไม่ใช้จึงต่อลงกราวด์ ส่วนขา 7 (CARRY OUT) จะเป็นสัญญาณทดหลักหรือหารสิบ เพื่อจะได้ CLOCK ส่งไปให้ IC₂ 4029 ซึ่งเป็นส่วนนับหลัก 10 นาที ซึ่งมีหลักการทำงานเหมือนกันแตกต่างกันเพียงจะเป็นส่วนของหลัก 10 นาที เท่านั้น ส่วน ขา PE จะถูกควบคุมโดย SWITCH START/RESET ถ้าขา PE ได้รับลอจิก "1" จะทำการปรีโหลดหรือนำสัญญาณ OUTPUT ของ IC 4518 ที่ต่อเข้ากับ A_{1n} - D_{1n} ออกมาปรากฏที่ขา A_{0out} - D_{0out} ถ้าได้รับลอจิก "0" จะทำการนับลงโดยนับจากสัญญาณ CLOCK ที่ขามาที่ขา CK OUTPUT Q₀ - Q₄ หรือ A_{0out} - D_{0out} ของ IC 4029 จะต่อเข้ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น เสนอญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 วิศวกรอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และต้องจ่ายของของเอกสารทุกที่ทุกแห่งไปใช้

INPUT ของ IC 4511 (BCD TO 7 SEGMENT LATCH/DECODER/DRIVER) ซึ่งจะเป็น

ไอซีที่ทำหน้าที่ถอดรหัส BCD ให้เป็นตัวเลข 7 ส่วนและคงสถานะ (ATCH) ไว้ และจะให้ OUTPUT A-G ต่อผ่าน R 2.7K เพื่อจำกัดกระแสของแต่ละเซกเมนต์ของ DISPLAY



วงจรตั้งเวลาเริ่มต้นและวงจรนับลง

การทำงานของ SWITCH START/RESET สัญญาณ CLOCK ที่ได้จากการกด SW จะผ่านมายัง IC₀ NOT GATE ต่อมายัง IC4518 (BCD UP COUNTER) เนื่องจากในหลัก 10 นาที ค่าสูงสุดในการนับคือ "3" ดังนั้นเมื่อมีการนับถึงเลข "4" จะต้องมีสัญญาณไป RESET ตัวมันให้กลับเป็น "0" ใหม่ โดยใช้ OR GATE 3 UNIT โดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้ โดยจะถูกควบคุมโดยสัญญาณต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่มีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องยังอิงถึงใจของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) สัญญาณจาก SW POWER ON RESET คือเมื่อจ่าย POWER SUPPLY จะมี

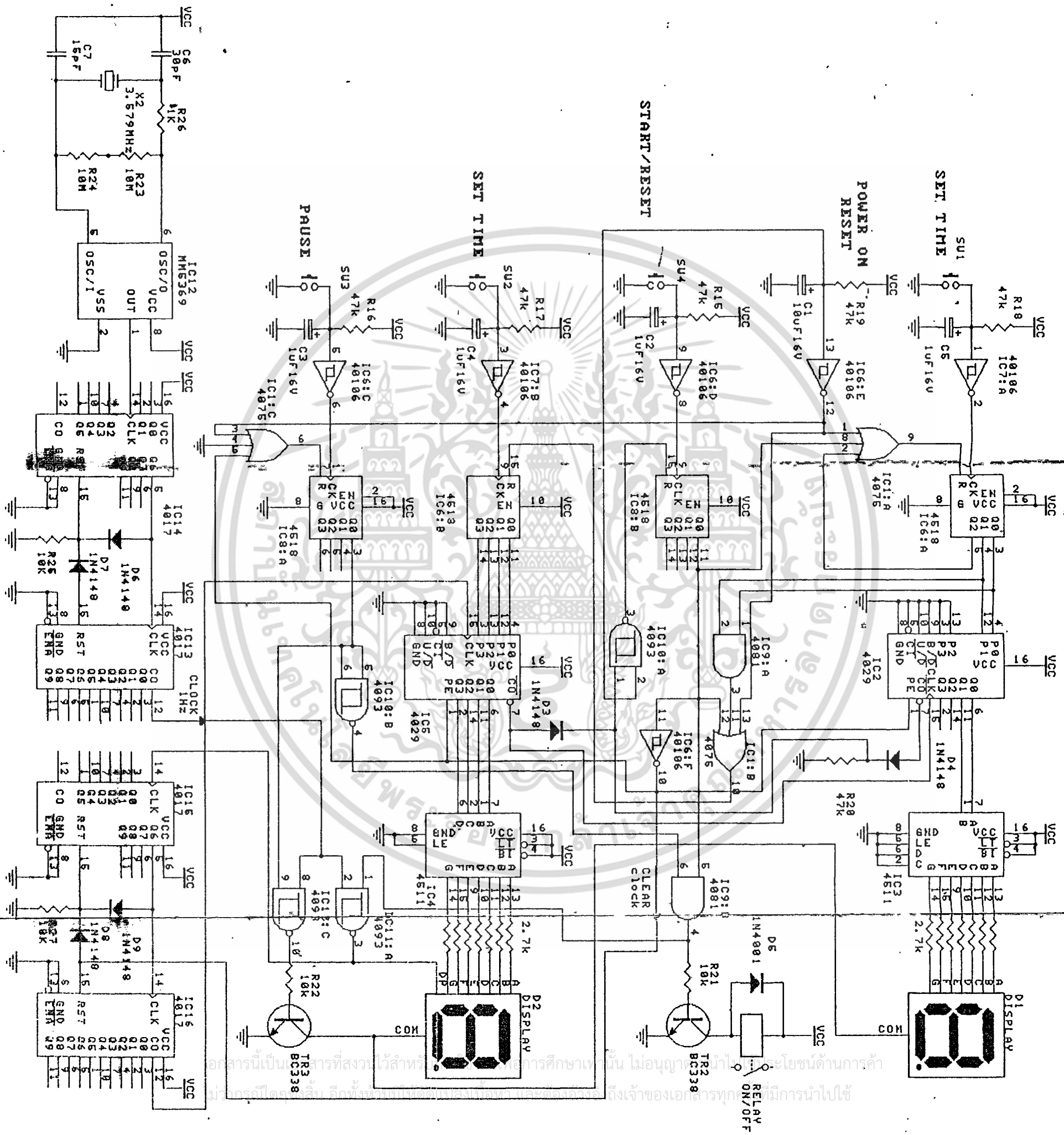
การ RESET ระบบในวงจรให้เริ่มต้นทำงานด้วยค่าเริ่มต้นที่ OUTPUT เป็น BCD ที่เริ่มต้น "0" การทำงานของวงจร POWER ON RESET คือเมื่อมีการ ON SWITCH POWER SUPPLY CAPACITOR จะทำการชาร์ต ประจุด้วยช่วงเวลาหนึ่งซึ่งจะถูกกำหนดโดยค่า R_{10} และ C_1 OUTPUT ที่ได้จะเป็นลอจิก "0" ช่วงหนึ่งแล้วจึงเป็นลอจิก "1" ตลอดไป จนกว่าจะมีการ OFF และ ON POWER SUPPLY ใหม่

2) สัญญาณจาก SWITCH START/RESET จาก IC นอตเกต คือเมื่อมีลอจิก "1" เมื่อกด SW และเป็นลอจิก "0" เป็นปกติ เมื่อมีลอจิก "0" (RESET) IC 4518 จะถูก RESET เป็นค่าเริ่มต้นที่ "0" และรับสัญญาณ CLOCK จาก SW SET TIME เมื่อถึงเวลาเริ่มต้นของการนับลง และเมื่อได้รับลอจิก "1" (START) จะส่งของมูลหรือเวลาที่ตั้งไว้ของการนับลงให้ IC₂ 4029 เพื่อทำการนับลง

3) สัญญาณจากขา Q_2 คือเมื่อ CLOCK จาก SET TIME เข้ามาจำนวน 4 ลูก ขา Q_2 จะมีลอจิกเป็น "1" (ปกติเป็น "0") เราจะนำเอาสัญญาณนี้ CLEAR ให้ IC 4518 ทำการนับ 0 ใหม่ จะสามารถตั้งสูงสุดได้เพียง 30 นาทีเท่านั้น เราจึงนำเอาสัญญาณทั้ง 3 มาต่อรวมกันกับ IC OR GATE 3 INPUT ถ้ามีสัญญาณใดเป็นลอจิก "1" IC 4518 ก็จะทำ CLEAR OUTPUT ของ IC 4518 หรือขา Q_0 และ Q_1 จะถูกต่อ IC₂ 4029 ที่ขา P_0 และ P_1 ส่วนขา P_2 และ P_3 ต่อลงกราวด์ (เพราะเลข BCD สูงสุดจะเท่ากับ 3 หรือ P_0 และ P_1 เป็น "1" เท่านั้น) IC 4029 (UP/DOWN COUNTER) การทำงานมีดังนี้ถ้าได้รับลอจิก "1" ที่ขา PE ic 4029 จะทำการ LOAD ข้อมูล $P_0 - P_3$ มาปรากฏที่ขา $Q_0 - Q_3$ แต่ถ้าได้รับลอจิก "0" จะทำการนับลงโดยได้รับ CLOCK จากขา CK 1 ลูก ก็จะนับลง 1 หน่วย และจะนับลง จนกว่าค่า BCD มีค่าเป็น 0 หรือ $Q_0 - Q_3$ มีลอจิกเป็น "0" หมด CLOCK ที่ขา CK จะต่อมาจาก IC 4029 ซึ่งจะนับลงในหลัก 1 นาที เมื่อนับลง 10 นาที ก็จะส่ง CLOCK 1 ลูก เข้าที่ขา CK ของ IC₂ ให้นับลงหลัก 10 นาที 1 หน่วยลง เมื่อนับลงจนถึง 0 แล้ว จะเกิด CLOCK 1 ลูกที่ขา CO ซึ่งปกติจะเป็นลอจิก "1" เมื่อนับถึง "0" แล้วจะได้ลอจิก "0" ที่ขา CO แล้วจึงกลับเป็นลอจิก "1" ใหม่ OUTPUT ของ IC 4029 จะต่อกับ IC 4511 (BCD 7 SEGMENT) เมื่อแสดงผลออกที่ DISPLAY ซึ่งเป็นคอมมอนคาโทด โดยจะถึงจำกัดกระแสโดย R 47K เพื่อไม่ให้ DISPLAY เสียหายเนื่องจากกระแสเกิน ซึ่งขา COMMON ของ DISPLAY จะต่อกับ TRANSISTOR BC 338 (TR3) เพื่อควบคุม DISPLAY ทั้งหมดว่าจะให้เกิดกระพริบเมื่อเราทำการกด SW PAUSE และจะทำงานเหมือนเดิมเมื่อกด SW PAUSE อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ผู้จัดทำนี้ให้ทั้งสั้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้มีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัย

ส่วนวงจรในหลักนาฬิกาที่มีหลักการทำงานเดียวกับหลัก 10 นาที แตกต่างกันไปเพียง จะนับ 0-9 เท่านั้น และ CLOCK จะนำเอามาจาก วงจรฐานเวลา 1/60 Hz เท่านั้น ในสภาวะปกติ SW START/RESET จะทำงานในสภาวะ RESET โดยจะส่ง CLOCK ที่เกิดจากการกด SWITCH ให้กับ IC 4518 (IC_๑) ซึ่งทำงานในลักษณะที่อ็อกเกิลหรือวงจรหาร 2 คือเมื่อมีการกด SWITCH ครั้งแรก OUTPUT Q_๐ ของ IC_๑ ก็จะเป็นลอจิก "1" และเมื่อกดอีกครั้ง ก็จะได้ลอจิก "0" สลับกันไป ซึ่งปกติจะอยู่ในสภาวะ RESET หรือลอจิก "0" ขณะไม่ใช้งานหรือค่าเริ่มต้นการตั้งเวลา ซึ่งจะต่ออยู่กับ ขา 11 ของ IC 40106 (NOT GATE) ได้ OUTPUT เป็นลอจิก "1" ต่อไปยังขา PE (ขา 11) ของ IC4029 ทั้งสองตัว ซึ่งจะทำให้การทำงานของไอซีทั้งสองอยู่ในสถานะปรีโหลด หรือโหลดข้อมูลในการนับลง

สมมติว่ามีการกด SW SET TIME ตัวละสองครั้ง ตัวเลขที่ปรากฏที่ DSP₁ และ DSP_๒ จะเป็นเลข 22 หรือ 22 นาที และเมื่อเรากดและปล่อย SW START/RESET 1 ครั้ง ก็จะมีสัญญาณ START ที่ขา QC ของ IC_๑ จะเป็น "1" ดังไว้ [SW PAUSE อยู่ในสภาวะปกติหรือไม่มีการกด] ก็จะมีแรงดันไปที่ขาเบสของ TR ก็จะทำให้เกิดกระแสไหลจากขา คอลเลคเตอร์ไปอิมิตเตอร์ใน TR หรือจะทำให้ RELAY ทำงานดูดหน้าสัมผัสต่อวงจรกำเนิดสัญญาณ ULTRA SOUND ให้ทำงาน และจะทำให้ขา PE ของ IC_๒ และ IC_{1๐} เป็น "0" IC_{1๐} ก็จะเริ่มต้นนับลงจาก 2-1-0-9-8... ไปเรื่อยๆ โดยเมื่อ CLOCK 1/๑๐ Hz เข้ามา 1 ลูกก็จะนำลง 1 หน่วยหรือ 1 นาที เมื่อผ่าน 0 ก็จะมี CLOCK 1 ลูกออกไปยังขา CO (ขา 7) ส่งไปยัง IC_๒ [นับลงหลัก 10 นาที] จะทำการนับลงจากค่าเริ่มต้นลง 1 หน่วย (10 นาทีเมื่อขา Co ของ IC_๒ มี CLOCK ออกมา 1 ลูก

เมื่อวงจรนับถอยหลังถึง 00 เมื่อไรที่ขา CO ของ IC_๒ และ IC_๒ ปกติเป็น 1 ก็จะเป็น "0" ทั้งคู่ ในวงจรไดโอด (DIODE) D_๔ และ D_๖ ต่อเป็นแบบ OR GATE เมื่อขาทั้ง 2 เป็น "0" พร้อมกับ OUTPUT ก็จะได้ 0 นำไป NAND กับสัญญาณ POWER ON RESET จึงทำให้ถ้า OUTPUT ได้เป็นลอจิก "0" IC_{๑๖} ก็จะทำการ RESET OUTPUT Q_๐ ของ IC_{๑๖} ก็จะกลายเป็น "0" TR จึงหยุดนำกระแสหรือ ทำการ OFF วงจรกำเนิดสัญญาณ ULTRASOUND พร้อมกันนั้นก็จะทำการ CLEAR IC_{๑๖} และ IC_{๑๖} ให้เริ่มต้นที่ค่า 00 เพื่อเริ่มต้นการตั้งเวลาการนับลง และ IC_๒ และ IC_๒ จะอยู่ในสภาวะ LOAD (ขา PE เป็น "1") สัญญาณ INPUT P_๐-P_๖ ก็ออกมาปรากฏที่ Q_๐-Q_๖ ส่งไป IC4517 (BCD 7 SEGMENT) ออกไปแสดงผลที่ DISPLAY

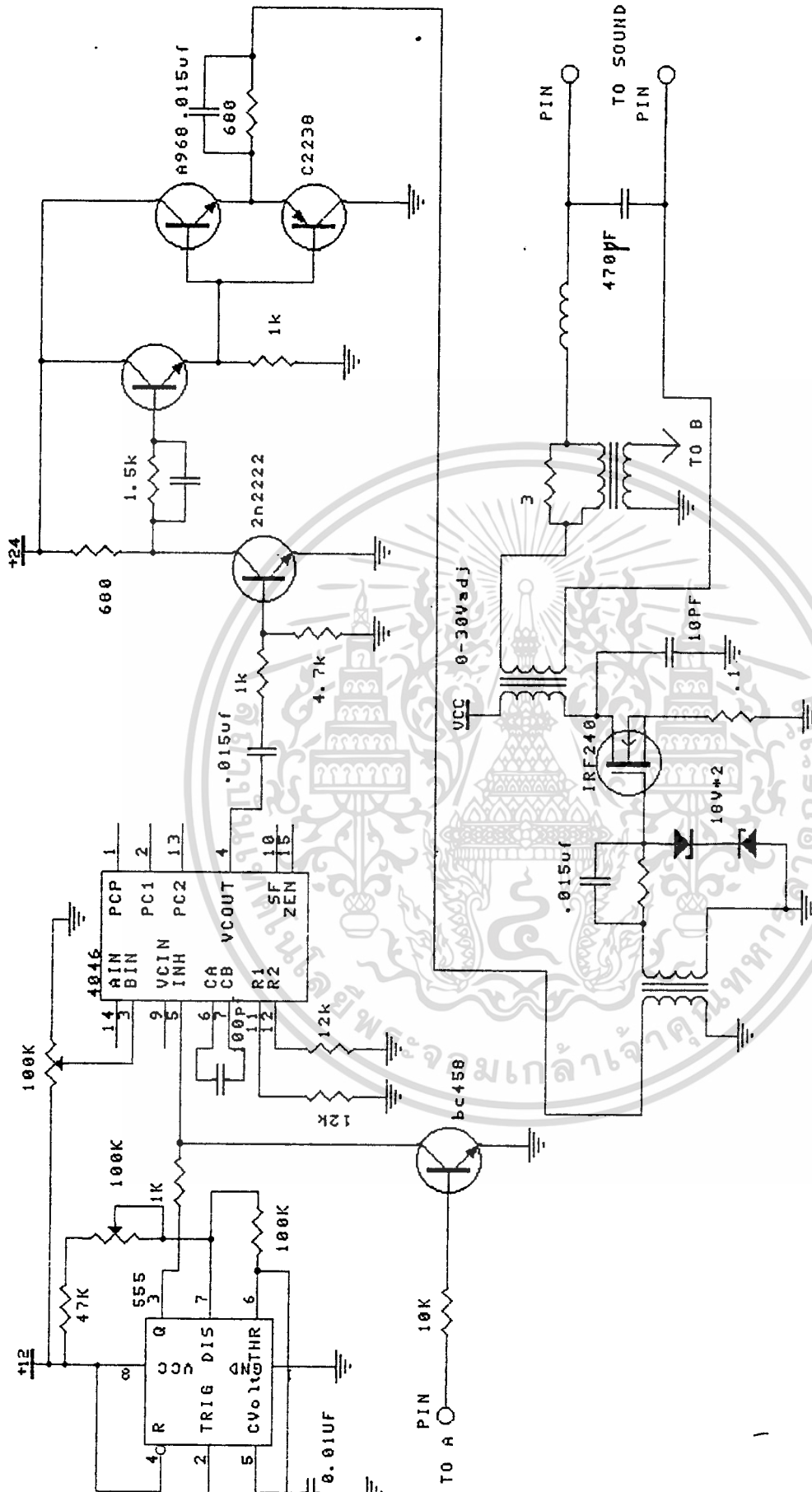
เอกสารนี้เป็นเอกสารของโรงเรียนฯ หรือการสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการทำงานของ SWITCH PAUSE จะทำงานคล้าย SWITCH START/RESET กับ SW PAUSE จะต่อกับ NOT GATE และเข้า $IC_{0.1}$ (4518) ซึ่งทำงานในลักษณะ ที่ออก เกิด หรือ วงจรหาร 2 ซึ่งปกติ OUTPUT ที่ขา Q_0 จะเป็นลอจิก "0" เมื่อทำการกด SW PAUSE 1 ครั้งก็จะได้ OUTPUT เป็นลอจิก "1" หรือในสภาวะ "PAUSE" หรือการหยุดใช้งานชั่วคราวจะทำให้การนับลงของ IC4029 หยุดนับลงและ TR_2 จะหยุดนำกระแส จนกว่าจะมีการกด SW อีก 1 ครั้ง OUTPUT เป็นลอจิก 0 ก็จะเริ่มทำงานนับลงต่อจากขณะเดิมและ TR_2 ก็จะนำกระแสเหมือนเดิม การทำงานของวงจรส่วน PAUSE เมื่อเราทำการกด SW PAUSE OUTPUT $IC_{0.1}$ จะเป็น "1" ผ่าน $IC_{10.2}$ ซึ่งเป็น NAND GATE ที่ถูกต้องเป็น NOT GATE จะได้ OUTPUT เป็น "0" ไป AND GATE กับสัญญาณ START / RESET เมื่อสัญญาณ PAUSE ที่เข้ามาเป็น "0" ผ่านเข้า AND GATE จะได้ OUTPUT ของ AND GATE เป็น 0 หรือ TR_2 หยุดนำกระแส สัญญาณ Q_0 ของ $IC_{0.1}$ ก็จะนำไป NAND กับสัญญาณ CLOCK $1H_z$ ที่ $IC_{10.0}$ เมื่อ Q_0 เป็น "1" จะทำให้ OUTPUT (ขา10) ของ $IC_{10.0}$ จะเปลี่ยนแปลงไปตาม CLOCK $1H_z$ หรือจะมี CLOCK เกิดที่ขาของ TR_3 TR_3 จะนำกระแสเป็นพัลส์ตามสัญญาณ CLOCK $1H_z$ หรือ DISPLAY จะทำงานในลักษณะกระพริบตลอดเวลาเพื่อเตือนให้รู้ว่าขณะนี้อยู่ในสภาวะ PAUSE และพร้อมกันนั้น CLOCK $1H_z$ จะถูกนำไป NAND กับ OUTPUT (ขา4) ของ $IC_{0.2}$ ซึ่งถ้าอยู่ในสภาวะ PAUSE จะเป็นลอจิก "0" เมื่อนำมา NAND กับ CLOCK $1H_z$ OUTPUT (ขา3) ของ $IC_{11.1}$ ก็จะเป็น "1" ตลอดเวลา ทำให้ DP หรือ จุด DOT ของ DISPLAY สว่างตลอดไม่กระพริบตามสัญญาณ CLOCK $1H_z$ โดยปกติ DP จะกระพริบตามสัญญาณ $1H_z$ เมื่ออยู่ในสภาวะนับลง (START) และจะหยุดกระพริบเมื่ออยู่ในสภาวะ RESET และ PAUSE และจะไม่มี CLOCK $1H_z$ ไปเข้าขา14 (ขาCLK) ของ IC_{15} จึงทำให้ไม่เกิดสัญญาณ $1/100 H_z$ ที่ขาCO(ขา12) ของ IC_{10} เมื่อไม่เกิดสัญญาณ CLOCK $1/100 H_z$ วงจรนับลงก็จะหยุดด้วยจะอยู่ในสภาวะนี้ตลอดจนกว่า จะกดจนกว่าจะกด SWITCH PAUSE อีกครั้งก็จะกลับมาทำงานในสภาวะนับลงต่อ(สภาวะSTART) TR_2 ก็จะนำกระแสต่อวงจรกำเนิดสัญญาณ ULTRA SOUND ให้ทำงานต่อไป พร้อมทั้ง DOT ของ DISPLAY หรือ DP ก็จะกระพริบบอกแสดงถึงว่ามี CLOCK $1H_z$ เข้ามาที่ภาคหาร 60 และ ผ่านไปยังไอซีนับลง และจะทำงานจนกว่าการนับลงจะถึง "00" ก็จะ OFF วงจรกำเนิดสัญญาณ ULTRA SOUND และพร้อมที่จะรับค่าเวลาเริ่มต้นในการนับลงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



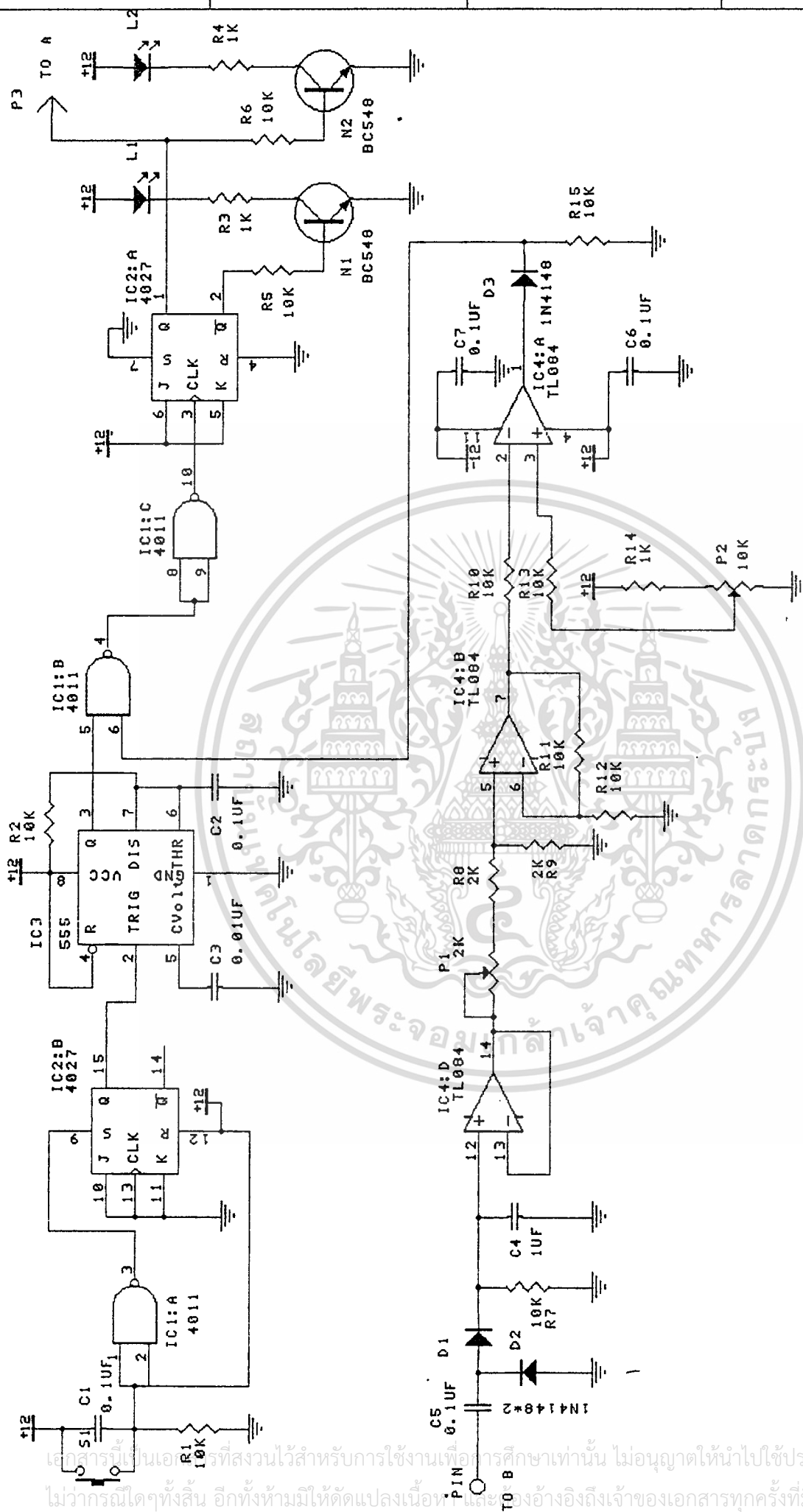
Title		Revision	
Size	Number		
A4			
Date:	18-APR 1980	Sheet of	
File:	MANI/1	Drawn By:	
		4	

3

2

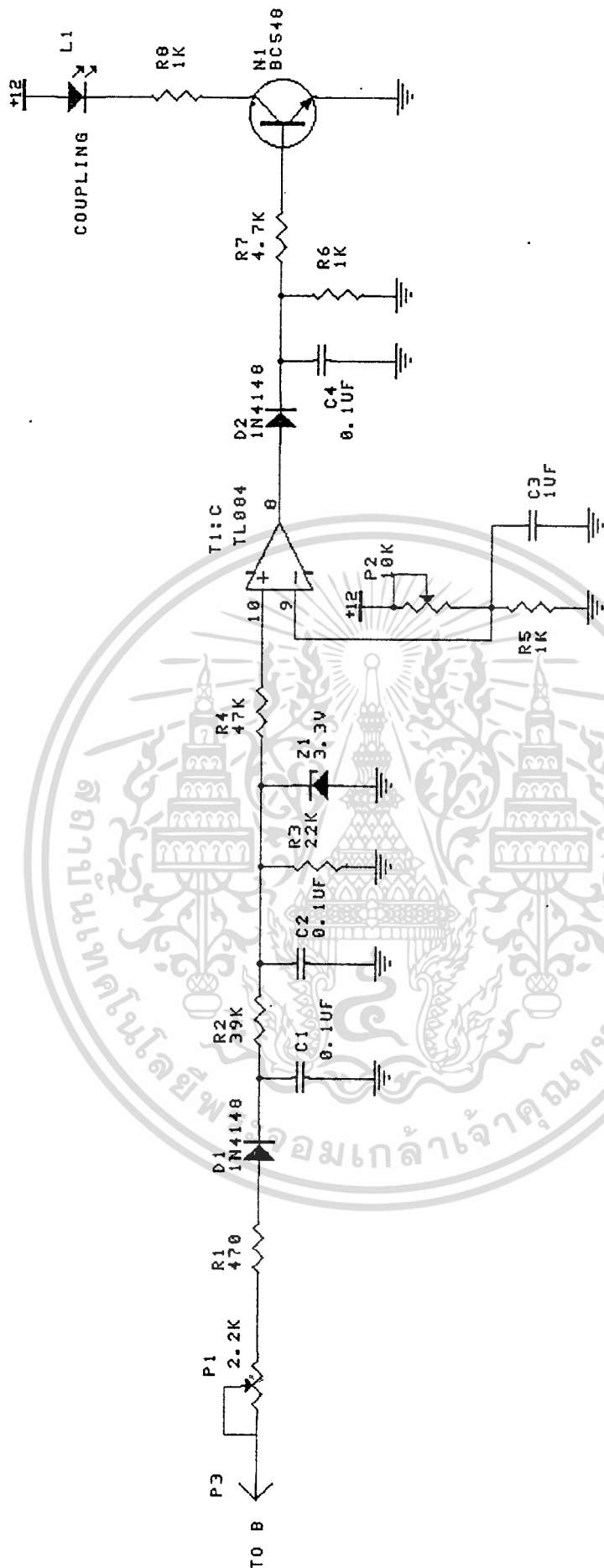
1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

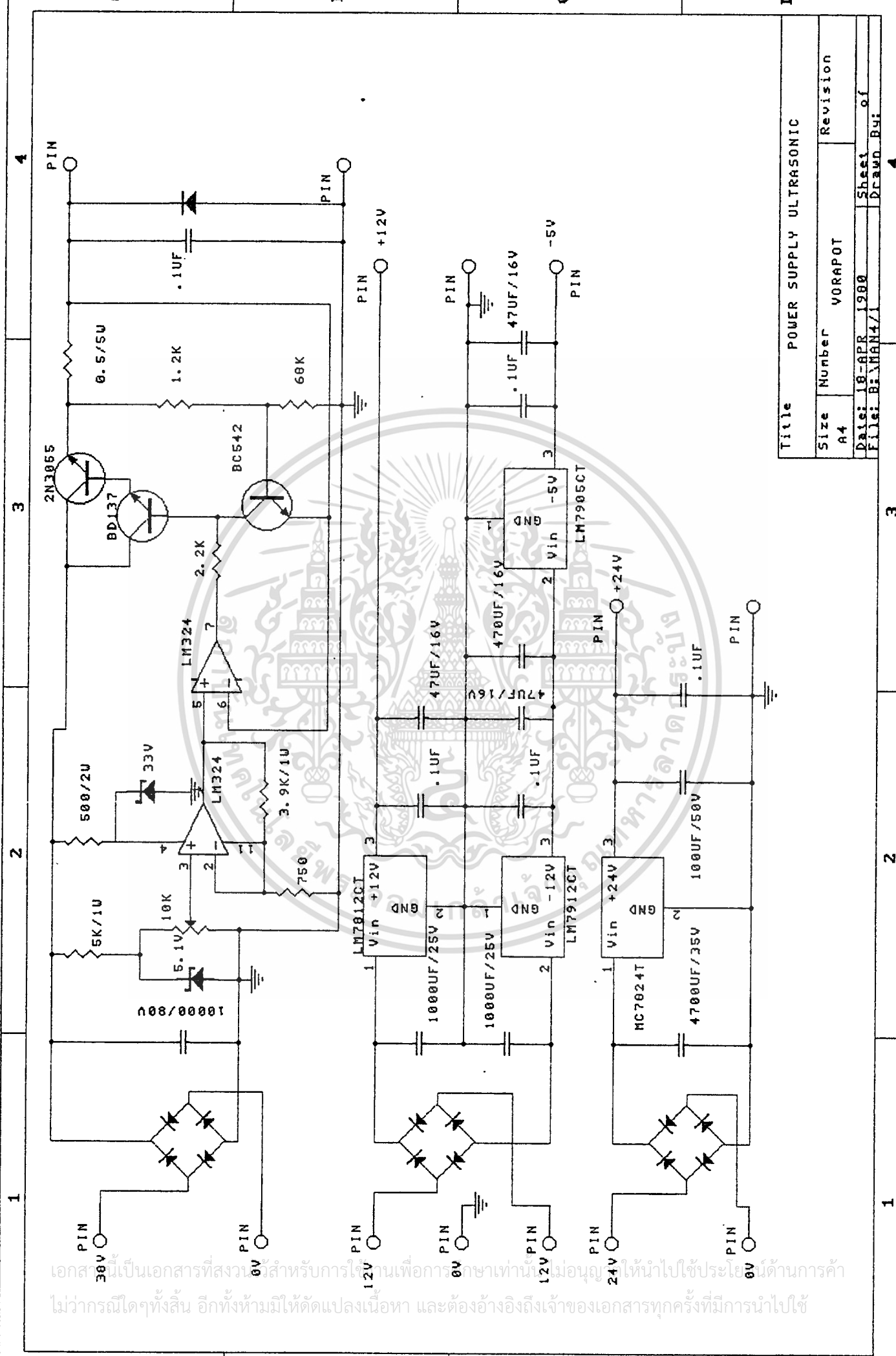


Title		Revision	
Size	Number		
A4			
Date: 18-APR 1988		Sheet of	
File: MAN2/1		Drawn By:	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนั้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title			
Size A4	Number	Revision	
Date: 18-APR 1980	Sheet		of
File: MAN2/1	Drawn By:		4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title POWER SUPPLY ULTRASONIC			
Size	Number	Revision	
A4	VORAPOT		
Date:	18-APR-1980	Sheet of	
File:	B:\MAN4\1	Drawn By:	

ผลการทดลอง

เมื่อทำการประกอบเป็นตัวเครื่องเรียบร้อยแล้ว จะต้องทำการทดสอบวัดค่ากำลังงานที่ส่งออกจากหัว Sound Head จริง ๆ แต่ในทางปฏิบัติจริงแล้วไม่สามารถทำได้เนื่องจากไม่มีเครื่องมือที่ทันสมัยเพียงพอในการทำการวัด แต่จะทำการวัดกำลังงานที่ส่งออกทางอ้อมแทน โดยจะทำการวัดกำลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ Sound Head โดยตรง

ดังนั้นกำลังงานของอุลตราซาวด์ที่ได้จริง ๆ จาก Sound Head จะต้องน้อยกว่ากำลังทางไฟฟ้าที่ป้อนให้เพราะว่าจะมีกำลังสูญเสีย (Power Loss) ส่วนหนึ่งกับ Sound Head

จากการทดลอง เมื่อทำการปรับความถี่ไปที่ 884 KHz จะทำให้รูปคลื่น Sine Wave มี Amplitude สูงสุด $115 V_{p-p}$ หลังจากนั้นจึงทำการต่อ R ปรับค่าได้ต่ออนุกรมกับ Sound Head แล้วทำการปรับ R จนกระทั่ง Amplitude ที่ตกคร่อม Sound Head มีค่าลดลงเป็น $115/2 V_{p-p}$ แล้วจึงนำ R ที่ปรับนั้นมาทำการวัดค่า ซึ่งมีค่า 93 ohms ซึ่งเป็นค่า Impedance ของ Sound Head ณ. ความถี่ 884 KHz ซึ่งสามารถนำมาหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ Sound Head ได้ดังนี้

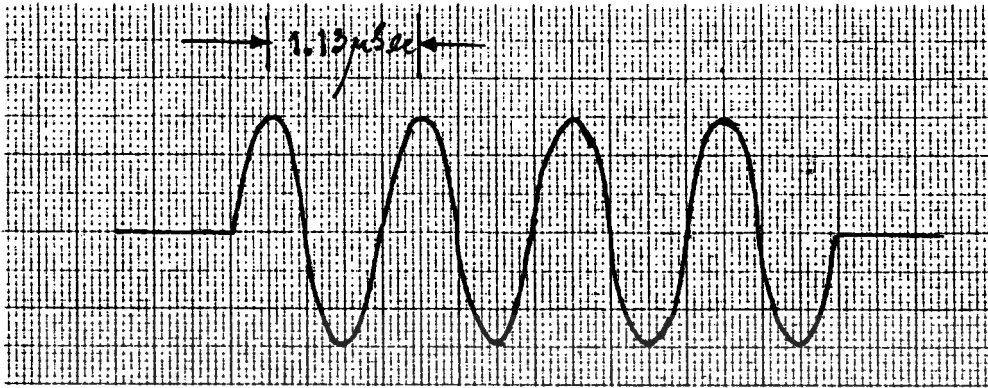
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับ Sound Head มีค่า 17.39 W ดังนั้นกำลังของอุลตราซาวด์ที่ออกจาก Sound Head จะมีค่าน้อยกว่า 17.39 W

ซึ่งจากการเปรียบเทียบระดับความสูงของน้ำที่พุ่ง (เมื่อปล่อยให้มีน้ำขึ้นที่ Sound Head) โดยเปรียบเทียบกับเครื่องนำเข้าจากต่างประเทศ จะพบว่า ระดับความสูงของน้ำที่พุ่งจะมีขนาดประมาณเกือบเท่า ๆ กัน ซึ่งเครื่องจากต่างประเทศนั้นมีกำลังส่งออกอุลตราซาวด์สูงสุด 8 W แต่เครื่องที่ทำการสร้างนั้นระดับน้ำจะพุ่งสูงกว่าเกือบประมาณ $1/4$ นิ้ว ทั้งนี้เพราะว่าพื้นที่หน้าตัดมีขนาดใหญ่กว่า คือ 5 cm^2 ดังนั้นกำลังส่งออกอุลตราซาวด์จริงของเครื่องที่สร้างควรจะมากกว่า 8 W โดยประมาณและเมื่อทำการทดลองโดยใช้กับตัวผู้สร้างเองระหว่างเครื่องจากต่างประเทศกับเครื่องที่สร้างขึ้น ผลที่ได้ก็ใกล้เคียงกัน (เมื่อเปรียบเทียบด้วยระดับน้ำที่พุ่งสูงเท่ากัน) โดยจะรู้สึกถึงการสั่นสะเทือนและความร้อนที่รู้สึกได้ในเนื้อเยื่อที่ถูกลงไปและจะเป็นความร้อนเฉพาะที่

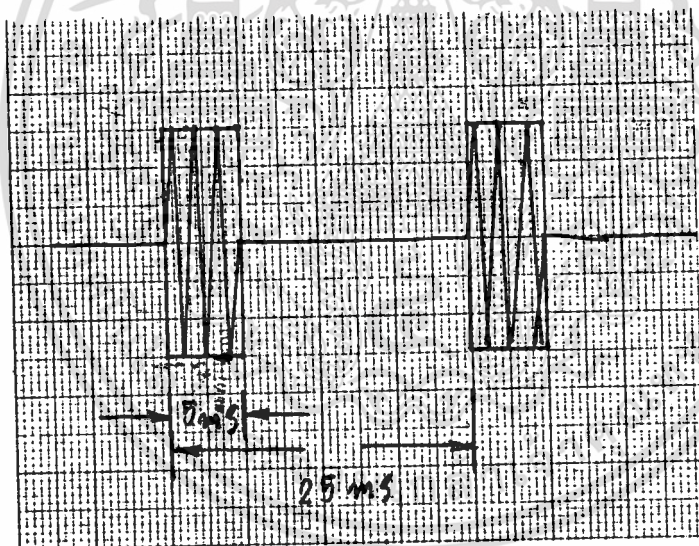
จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 884 KHz Sound Head จะมี Impedance เพียง 93 ohms ซึ่งเป็นผลเนื่องจาก Sound Head จะมีโครงสร้างลักษณะคล้าย ๆ กับ capacitor เมื่อกระแสสูงขึ้นมาก ๆ ค่า Impedance จะมีค่าต่ำลงนั่นเอง

ดังนั้นประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเครื่องที่สร้างขึ้นมีค่า

$$17.4 * 100 = 31.6 \%$$



Continuous Mode ความถี่ 884 KHz



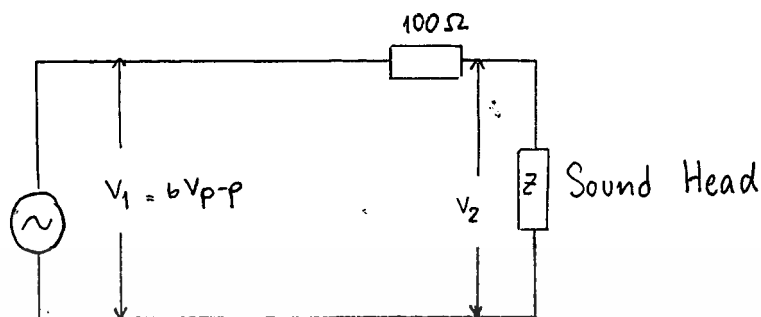
Pulse Mode ความถี่ 40 Hz แต่จะมีความถี่ 884 KHz ปนอยู่

รูปคลื่นแสดงสัญญาณทางด้าน out put ที่ป้อนให้กับ Sound Head

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการวัด Frequency Response ของ Sound Head

โดยต่อวงจรดังรูป



ป้อน Sine Wave ขนาด $6\ V_{p-p}$ (V_1) ตั้งแต่ 800 KHz ขึ้นไป แล้ววัดแรงดันตกคร่อม $R\ 100\ ohms$ และ Sound Head (V_2) แล้วทำการคำนวณหาค่ากระแสที่ไหลผ่าน $R\ 100\ ohms$ ซึ่งเท่ากับกระแสที่ไหลผ่าน Sound Head ด้วย นำค่ากระแสที่ได้มาคำนวณหาค่า Impedance ของ Sound Head ตามสมการ

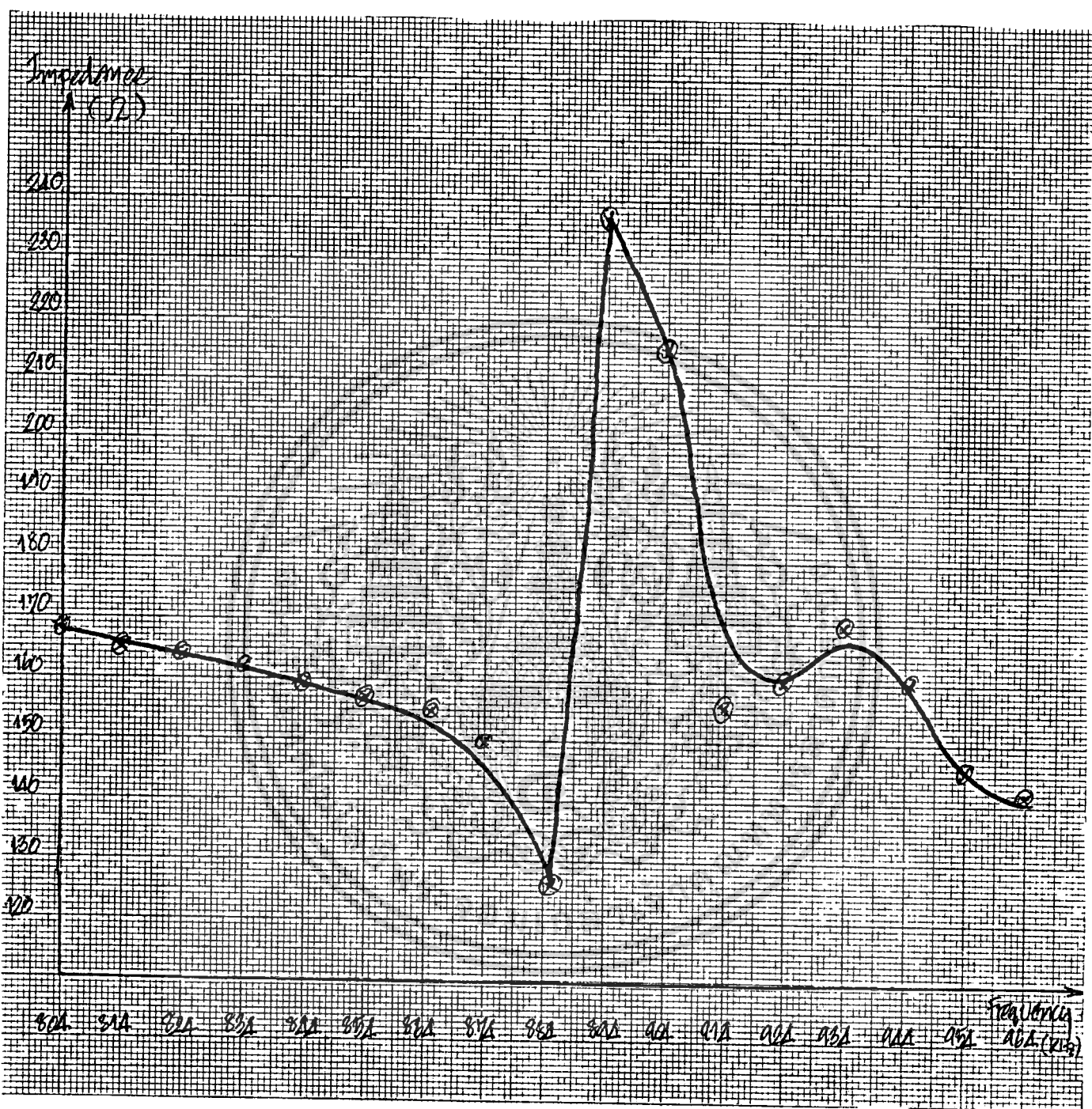
$$Z = V_2 / I \quad ohms$$

ทำการเปลี่ยนความถี่ไปแต่ละค่าและทำการทดลองเช่นเดียวกัน บันทึกค่าที่ได้ในตาราง

ตาราง Frequency Response ของ Sound Head

Frequency (KHz)	Impedance (ohms)
864	168
814	165
824	164
884	162
844.5	159
854.7	157
865	155
874	150
884.9	126
894	237.4
904	215.6
914	155.7
924	160.4
934	166.9
945	159.7
954	145.4
964	142.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดง Frequency Response ของ Sound Head

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและแนวทางในการแก้ไข

สรุป

ผลที่ได้จากการทดลองสร้างเครื่องลดร้าวชาวดนั เครื่องสามารถปล่อยพลังงานออกมาในรูปของพลังงานการสั่นสะเทือนทางเชิงกล ซึ่งให้ผลออกมาเป็นที่น่าพอใจพอสมควร ซึ่งในการทดสอบอย่างง่าย ๆ ก็ทำได้โดยการให้น้ำท่วม Sound Head ประมาณ $1/4$ " แล้วปรับ intensity ของเครื่องให้สูงสุด จะทำให้น้ำนั้นมีการสั่นสะเทือน โดยจะมีความสูงประมาณ $1/2$ " ซึ่งการทดสอบนั้น อาศัยหลักการจากการเปรียบเทียบกับเครื่องที่นำเข้ามาจากต่างประเทศที่ใช้โดยทั่วไปในการบำบัดผู้ป่วย

สำหรับผลที่ได้เมื่อนำมาใช้กับตัวบุคคลโดยตรงนั้น ในการใช้งานจริง ๆ จะต้องทำสื่อความร้อนที่ Sound Head ก่อนทุกครั้ง หลังจากนั้นจึงค่อยนำมานวดบริเวณที่ต้องการจะรู้สึกว่ามีเนื้อเยื่อบริเวณนั้นจะมีการสั่นสะเทือนและวาค่อย ๆ มีความร้อนเกิดขึ้น ในการใช้งานจริง ๆ จะต้องเคลื่อนไหวก Sound Head ตลอดเวลา เพื่อให้มีการกระจายพลังงานไปทั่ว ๆ บริเวณที่ต้องการ ซึ่งจะทำให้รู้สึกอุ่น ๆ

อุปสรรคในการทดลองและการแก้ไข

ปัญหาหลักในการทดลองก็คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นกับภาค Power Output ซึ่งจะเกิดขึ้นกับทั้งอุปกรณ์ตัวขับก็คือ Power MOSFET และ Power Output Transformer

- Power MOSFET นั้น จะทำงานในลักษณะของ Switching จึงทำให้เกิดการ Damp หรือ Over Shoot อย่างมาก ซึ่งจะส่งผลให้ MOSFET มีความร้อนสะสมมากขึ้นและในขณะเดียวกันก็จะมีกลิ่นที่ร้อนเกิดขึ้นด้วย ดังนั้นจึงทำการทดลองเปลี่ยนค่า C คร่อมระหว่างขา D กับ S ซึ่งก็สามารถลดผลดังกล่าวได้พอสมควร แต่ก็ไม่สามารถกำจัดให้หมดได้

- Power Output Transformer รูปร่างสัญญาณที่ได้จะผิดเพี้ยนไปจากทางด้าน Primary มากและเกิดความร้อนเล็กน้อยในแกนค้ำย จึงเปลี่ยนมาใช้แบบ Toroid แกน Ferrite ทำให้สามารถแก้ไขในรูปร่างของสัญญาณไปได้พอสมควร และเมื่อผ่าน Low Pass Filter แล้วก็ให้รูปคลื่นเป็น Sine Wave ค่อนข้างจะสมบูรณ์พอสมควร เพื่อที่จะทำให้ Power Output ที่ได้มีค่าสูงสุด โดยที่ก่อให้เกิดการสูญเสียในแกนน้อยที่สุด

นอกจากนี้ปัญหาหลักอีกอย่างก็คือ หลังจากการทดลองใช้เครื่องไฟฟ้าสักกระยะหนึ่ง Power Output จะลดลงไปพอสมควรซึ่งผลก็เกิดจาก Transformer นั้นเอง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยหลักข้อสำคัญที่สุดในการทดลองนี้ก็คือ ระบบ Isolation Ground ซึ่งเป็นระบบความปลอดภัยต่อผู้ปวย จะต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ ในการพัน Output Transformer

ข้อเสนอแนะในการที่จะทำการพัฒนาต่อไป

1. ในภาค Power Output นั้น ควรจะทำการ Convertor แบบ Fly back มาเป็นแบบ Convertor แบบ Push - Pull ซึ่งจะผลิตกันทำงานส่งพลังงานไปยัง Load (Sound Head) ในแต่ละครั้ง cycle ซึ่งจะทำให้ขนาดของแกนหม้อแปลงมีขนาดลดลงได้ครึ่งหนึ่งของแบบ Fly back
2. ในภาค Oscillator ควรจะเปลี่ยนจาก VCO ไปเป็น X-tal ที่กำเนิดความถี่สูง ๆ แล้วนำมาผ่านวงจรหารความถี่ เพื่อให้ได้ความถี่ตามต้องการมาใช้งาน ซึ่งจะทำได้ความถี่คงที่ตลอดเวลาการใช้งาน



เอกสารอ้างอิง

- ชูศักดิ์ เวชแพศย์ (2525), วิชาอุปกรณ์การแพทย์ หลักการและเครื่องอุตสาหกรรม
ในทางการแพทย์
- ชูศักดิ์ เวชแพศย์ , กันยา ปาละวิวัฒน์ , ประเสริฐ เสริมสุข (2528) วิชา
เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ทางกายภาพบำบัดและเวชศาสตร์ฟื้นฟู ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทย
ศาสตร์ศิริราชพยาบาล ม.มหิดล
- ชูศักดิ์ เวชแพศย์ (2527) อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานสำหรับวิชาอุปกรณ์ ภาควิชา
คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล ม.มหิดล
- บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (2529) เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 71
มิถุนายน - กรกฎาคม 2529 , กรุงเทพฯ ฯ
- บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (2530) เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 76 มีนาคม
2530 , กรุงเทพฯ ฯ



SCL4011UB



CMOS NAND GATE (Unbuffered)

FEATURES

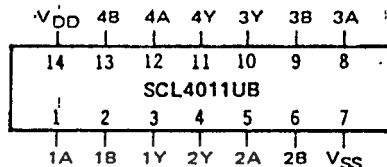
- ◆ Unbuffered Outputs for Quasi-Linear Applications
- ◆ Quad 2-Input NAND Configuration
- ◆ Diode Protection on all Inputs
- ◆ Output Drive Current Compatible with "B" Series
- ◆ Pin Compatible with Buffered SCL4011B
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

DESCRIPTION

The SCL4011UB consists of four positive-logic NAND gates. The outputs are unbuffered, making the device suitable for quasi-linear applications, such as gated oscillators, multivibrators, and pulse shaping circuits.

For digital applications, the buffered SCL4011B is recommended for its higher gain and input pattern insensitivity.

CONNECTION DIAGRAM (all packages)



Add suffix for package:

- C -14-pin Cerdip
- D -14-pin Ceramic
- E -14-pin Epoxy
- F -14-pin Flat
- H -Chip

TRUTH TABLE

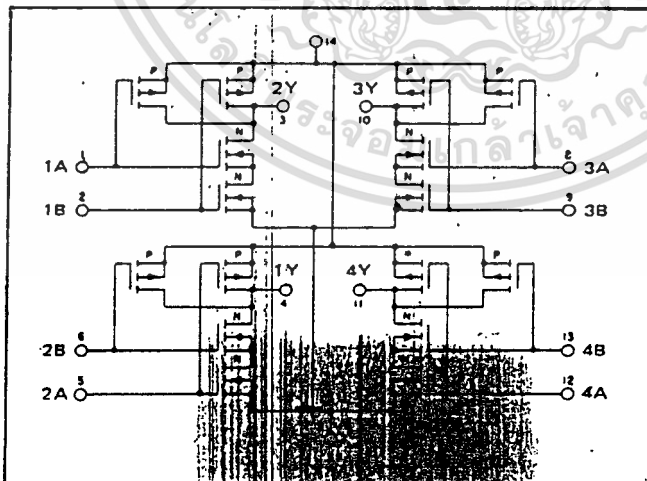
Inputs		Output
1	1	0
All other combinations		1

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

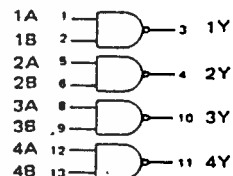
For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T_A	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

SCHEMATIC DIAGRAM



LOGIC DIAGRAM



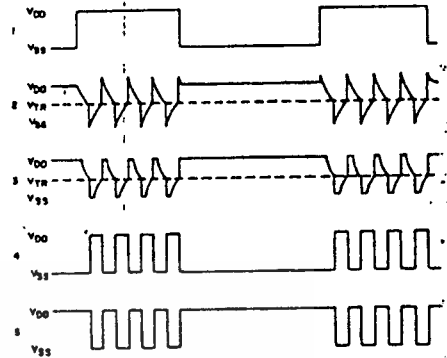
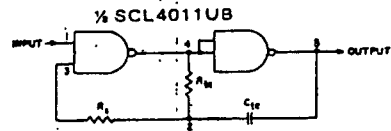
$$Y = \overline{AB}$$

V_{DD} = Pin 14
 V_{SS} = Pin 7

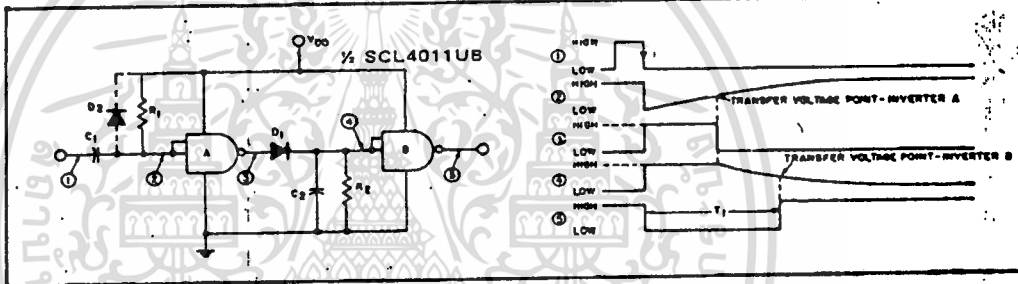
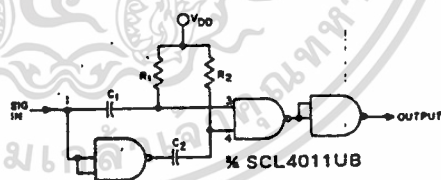
APPLICATIONS INFORMATION

ilts

dc



Gated Oscillator

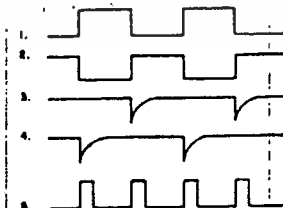
Compensated Monostable Multivibrator
(Independent of Transfer Voltage)

$$R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$C_1 = C_2 = 0.001 \mu\text{F}$$

POINT IN
CIRCUIT

WAVEFORM



Frequency Doubler

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS¹

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T _{LOW} ²		+25°C			T _{HIGH} ²		Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I _{DD}	5 V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	—	5	—	0.05	5	—	150	μA _{dc}
		10 All valid input combinations	—	10	—	0.1	10	—	300	
		15	—	20	—	0.2	20	—	600	
OUTPUT HIGH (SOURCE) CURRENT C, D, F, H device Decoded Outputs	I _{OH}	5 V _{OH} = 4.6V	-0.05	—	-0.04	-0.3	—	-0.028	—	mA _{dc}
		10 V _{OH} = 9.5V	-0.125	—	-0.1	-0.75	—	-0.07	—	
		15 V _{OH} = 13.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	-0.375	—	-0.3	-2.5	—	-0.21	—	
Carry Output		5 V _{OH} = 4.6V	-0.25	—	-0.2	-0.75	—	-0.14	—	mA _{dc}
		10 V _{OH} = 9.5V	-0.62	—	-0.5	-1.1	—	-0.35	—	
		15 V _{OH} = 13.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	-1.9	—	-1.5	-3.5	—	-1.1	—	
E device Decoded Outputs	I _{OH}	5 V _{OH} = 4.6V	-0.048	—	-0.04	-0.3	—	-0.032	—	mA _{dc}
		10 V _{OH} = 9.5V	-0.12	—	-0.1	-0.75	—	-0.08	—	
		15 V _{OH} = 13.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	-0.36	—	-0.3	-2.5	—	-0.24	—	
Carry Output		5 V _{OH} = 4.6V	-0.24	—	-0.2	-0.75	—	-0.16	—	mA _{dc}
		10 V _{OH} = 9.5V	-0.6	—	-0.5	-1.1	—	-0.4	—	
		15 V _{OH} = 13.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	-1.8	—	-1.5	-3.5	—	-1.2	—	
OUTPUT LOW (SINK) CURRENT C, D, F, H device Decoded Outputs	I _{OL}	5 V _{OL} = 0.4V	0.05	—	0.04	0.4	—	0.028	—	mA _{dc}
		10 V _{OL} = 0.5V	0.125	—	0.1	1.0	—	0.07	—	
		15 V _{OL} = 1.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	0.375	—	0.3	3.0	—	0.21	—	
Carry Output		5 V _{OL} = 0.4V	0.25	—	0.2	0.75	—	0.14	—	mA _{dc}
		10 V _{OL} = 0.5V	0.62	—	0.5	1.3	—	0.35	—	
		15 V _{OL} = 1.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	1.9	—	1.5	4.0	—	1.1	—	
E device Decoded Outputs	I _{OL}	5 V _{OL} = 0.4V	0.048	—	0.04	0.4	—	0.032	—	mA _{dc}
		10 V _{OL} = 0.5V	0.12	—	0.1	1.0	—	0.08	—	
		15 V _{OL} = 1.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	0.36	—	0.3	3.0	—	0.24	—	
Carry Output		5 V _{OL} = 0.4V	0.24	—	0.2	0.75	—	0.16	—	mA _{dc}
		10 V _{OL} = 0.5V	0.6	—	0.5	1.3	—	0.4	—	
		15 V _{OL} = 1.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	1.8	—	1.5	4.0	—	1.2	—	

NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.

= -40°C for E device.

T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.

= + 85°C for E device.





FEATURES

- ◆ Binary or Decade Up/Down Counting
- ◆ BCD Outputs in Decade Mode
- ◆ Asynchronous Preset Enable
- ◆ Internally Synchronous for High Speed
- ◆ Logic Edge-Clocked Design
- ◆ 6MHz Counting Rate @ 10Vdc
- ◆ Carry Output for Cascading Stages

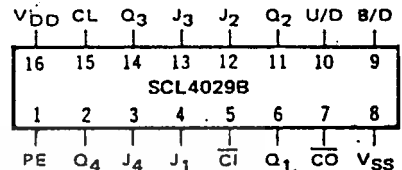
DESCRIPTION

The SCL4029B consists of a four-stage Binary or BCD Decade Up/Down Counter with provisions for look-ahead carry in both counting modes. The inputs consist of a single Clock, Carry-in (Clock Enable), Binary/Decade, Up/Down, Preset Enable, and four individual Jam signals. Four separate buffered Q signals and a Carry-out signal are provided as outputs.

A high Preset Enable signal allows information on the Jam inputs to preset the counter to any state asynchronously with the Clock. A low on each Jam line, when the Preset/Enable signal is high, resets the counter to its zero count. The counter is advanced one count at the positive transition of the Clock when the Carry-in and Preset Enable signals are low. Advancement is inhibited when the Carry-in or Preset Enable signals are high. The Carry-out signal is normally high, and goes low when the counter reaches its maximum count in the Up mode or the minimum count in the Down mode provided the Carry-in signal is low. The Carry-in signal in the low state can thus be considered a "Clock Enable". The Carry-in terminal must be connected to V_{SS} when not in use.

Binary counting is accomplished when the Binary/Decade input is high; the counter counts in the Decade mode when the Binary/Decade input is low. The counter counts up when the Up/Down input is high, and Down when the Up/Down input is low. Multiple packages can be connected in either a parallel-clocking or a ripple-clocking arrangement. Parallel-clocking provides synchronous control and hence faster response from all counting outputs. Ripple-clocking allows for longer clock input rise and fall times.

This counter finds primary use in up/down and difference counting and programmable frequency synthesizer applications. It is also useful in A/D and D/A conversion techniques and for magnitude and sign generation.

CONNECTION DIAGRAM
(all packages)

Add suffix for package:

- C 16-pin Cerdip
- D 16-pin Ceramic
- E 16-pin Epoxy
- F 16-pin Flat
- H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

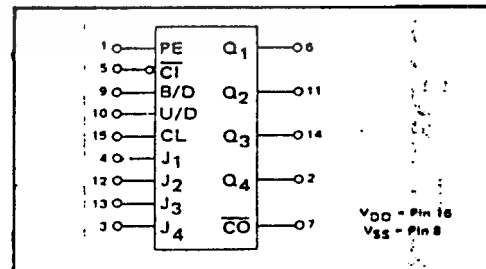
DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T_A	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

TRUTH TABLE

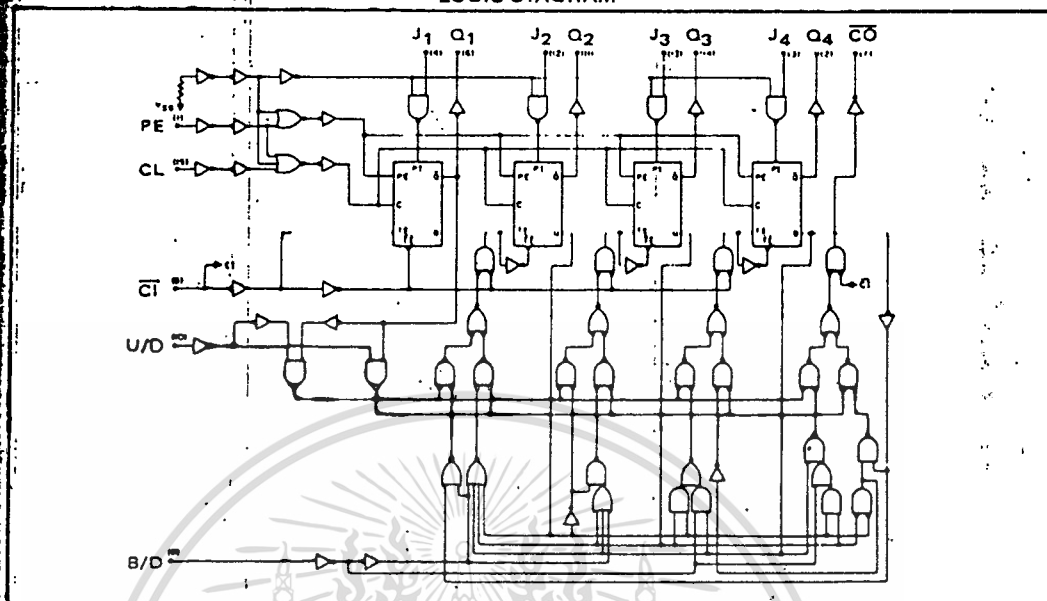
CI	U/D	PE	B/D	Action
1	X	0	X	No Count
0	0	0	0	Count Up (Decade)
0	1	0	1	Count Up (Binary)
0	0	0	0	Count Down (Decade)
0	0	0	1	Count Down (Binary)
X	X	1	X	Preset

X = Don't Care

BLOCK DIAGRAM

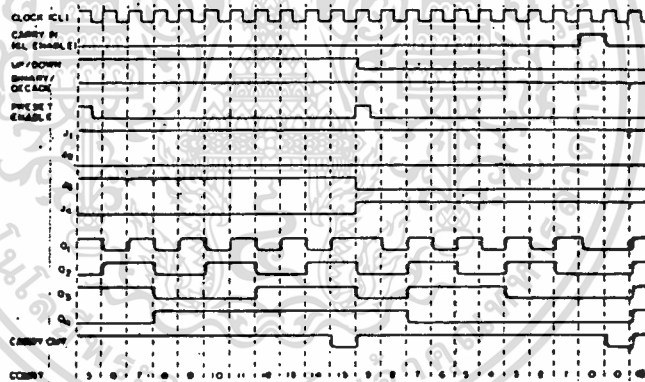


LOGIC DIAGRAM

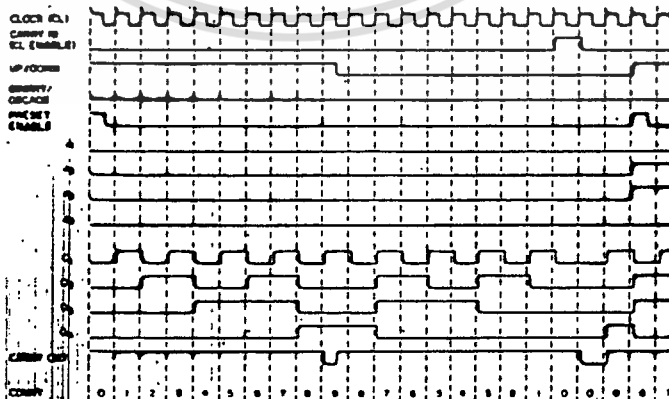


TIMING DIAGRAMS

Binary Mode



Decade Mode



FEATURES

- ◆ Very low power consumption – 70 μ W (typ) @ $f_o = 10$ kHz, 5Vdc:
- ◆ Operating frequency range (no offset) –
Up to 3MHz (typ) @ 10Vdc (SCL4046B)
Up to 4MHz (typ) @ 10Vdc (SCL4446B)
- ◆ Low frequency drift – 0.04%/°C (typ) @ 10Vdc
- ◆ Choice of two phase comparators:
 1. Exclusive-OR network
 2. Edge-controlled memory network with phase-pulse output for lock indication
- ◆ VCO Inhibit control for ON-OFF keying and ultra-low standby power consumption
- ◆ High VCO linearity 1% (typ)
- ◆ Source-follower output of VCO control input (Demodulator Output)
- ◆ Zener Diode to assist Supply Regulation
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

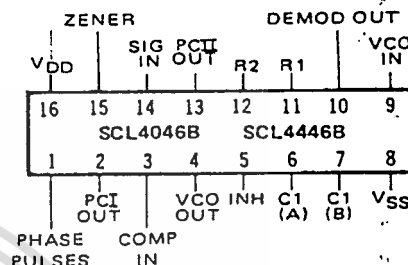
APPLICATIONS

- ◆ FM demodulator and modulator
- ◆ Frequency synthesis and multiplication
- ◆ Frequency discriminator
- ◆ Data synchronization
- ◆ Voltage-to-frequency conversion
- ◆ Tone decoding
- ◆ FSK-Modems
- ◆ Signal conditioning

DESCRIPTION

The SCL4046B and SCL4446B phase-locked loops contain two phase comparators, a voltage-controlled oscillator (VCO), source follower, and zener diode. The comparators have two common inputs. The Signal input can be used directly coupled to large voltage signals, or indirectly coupled (with a series capacitor) to small voltage signals. The self-bias circuit adjusts small voltage signals in the linear region of the amplifier. Phase comparator I (an exclusive-OR gate) provides a digital error signal PCI_{out} , and maintains 90° phase shift at the center frequency between Signal and Comparator inputs (both at 50% duty cycle). Phase comparator II (with leading edge sensing logic) provides digital error signals $PCII_{out}$ and Phase Pulses, and maintains a 0° phase shift between input signals (duty cycle is immaterial). The linear VCO produces an output signal VCO_{out} whose frequency is determined by the voltage of input VCO_{in} , and the capacitor and resistors connected to pins C1A, C1B, R1, and R2. The source follower output, Demod Out, with an external resistor is used where the VCO_{in} signal is needed but no loading can be tolerated. The inhibit input Inh, when high, disables the VCO and source follower to minimize standby power consumption. The zener diode can be used to assist in power supply regulation.

CONNECTION DIAGRAM
(all packages)



Add suffix for package:

- C 16-pin Cerdip
D 16-pin Ceramic
E 16-pin Epoxy
F 16-pin Flat
H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	V
Operating Temperature	T_A	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

BLOCK DIAGRAM

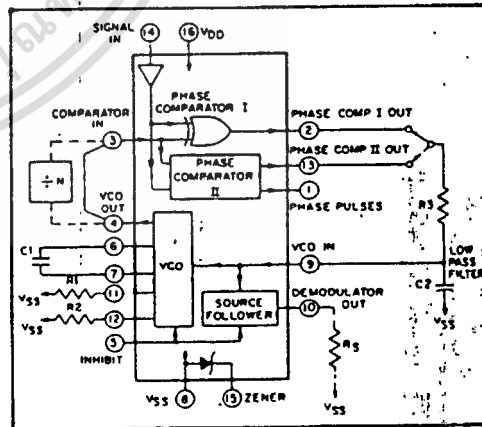


Fig. 1

VCO SECTION

The VCO requires one external capacitor (C1) and one to two external resistors (R1 or R1 and R2). Resistor R1 and capacitor C1 determine the frequency range of the VCO and resistor R2 enables the VCO to have a frequency offset if required. The high input impedance ($10^{12}\Omega$) of the VCO simplifies the design of low-pass filters by permitting the designer a wide choice of resistor-to-capacitor ratios. In order not to load the low-pass filter, a source-follower output of the VCO input voltage is provided at terminal 10 (DEMODULA-

TOR OUTPUT). If this terminal is used, a load resistor (R_3) of $50k\Omega$ or more should be connected from this terminal to V_{SS} . If unused, this terminal should be left open. The VCO can be connected directly or through frequency dividers to the comparator input of the phase comparators. A full CMOS logic swing is available at the output of the VCO. A logic 0 on the INHIBIT input "enables" the VCO and the source follower, while a logic 1 "turns off" both to minimize stand-by power consumption.

PHASE COMPARATORS

The phase-comparator signal input (terminal 14) can be direct-coupled provided the signal swing is within CMOS logic levels [logic "0" $\leq 30\%$ ($V_{DD} - V_{SS}$), logic "1" $\geq 70\%$ ($V_{DD} - V_{SS}$)]. For smaller swings the signal must be capacitively coupled to the self-biasing amplifier at the signal input.

Phase comparator I is an exclusive-OR network; it operates analogously to an over-driven balanced mixer. To maximize the lock range, the signal and comparator input frequencies must have a 50% duty cycle. With no signal or noise on the signal input, this phase comparator has an average output voltage equal to $V_{DD}/2$. The low-pass filter connected to the output of phase comparator I supplies the averaged voltage to the VCO input, and causes the VCO to oscillate at the center frequency (f_0).

The frequency range of input signals on which the PLL will lock, if it was initially out of lock, is defined as the frequency capture range ($2f_c$).

The frequency range of input signals on which the loop will stay locked if it was initially in lock is defined as the frequency lock range ($2f_L$). The capture range can not exceed the lock range.

With phase comparator I, the range of frequencies over which the PLL can acquire lock (capture range) is dependent on the low-pass-filter characteristics, and can be made as large as the lock range. Phase-comparator I enables a PLL system to remain in lock in spite of high amounts of noise in the input signal.

One characteristic of this type of phase comparator is that it may lock onto input frequencies that are close to harmonics of the VCO center-frequency. A second characteristic is that the phase angle between the signal and the comparator input varies between 0° and 180° , and is 90° at the center frequency. Figure 2 shows the (typical) triangular phase-to-output response characteristic of phase-comparator I. Typical waveforms for a CMOS phase-locked-loop employing phase comparator I in locked condition is shown in Figure 3.

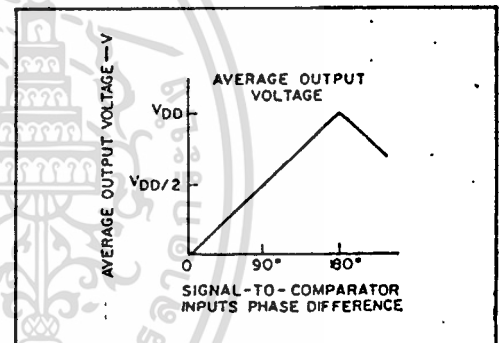


Fig. 2 — Phase-comparator I characteristics at low-pass filter output.

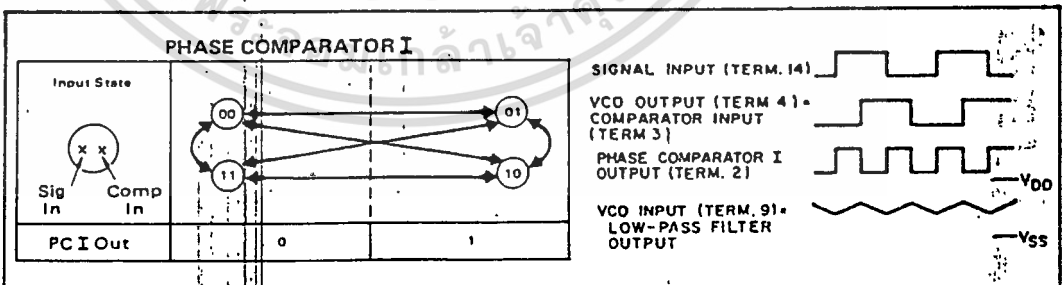


Fig. 3 — Typical waveforms employing phase comparator I in locked condition

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

PARAMETER	CONDITIONS	V _{DD}	+25°C			UNIT
			Min.	Typ.	Max.	
VCO SECTION (Continued)						
TEMPERATURE-FREQUENCY STABILITY	No Offset	R ₂ = ∞	5	—	0.12-0.24	% / °C
			10	—	0.04-0.08	
			15	—	0.015-0.03	
	With Offset	R ₂ ≤ 10X R ₁	5	—	0.06-0.12	% / °C
			10	—	0.05-0.1	
			15	—	0.03-0.06	
INPUT RESISTANCE (VCO _{IN})	R _{IN}	5, 10, 15	—	10 ⁶	—	MΩ
OUTPUT DUTY CYCLE		All valid input combinations and voltages	—	50	—	%
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{LH} , t _{HL}	C _L = 50pF	5	—	100	ns
			10	—	50	
			15	—	40	
PHASE COMPARATORS						
INPUT RESISTANCE Signal Input	R _{IN}		5	1	3	MΩ
			10	0.2	0.7	
			15	0.1	0.3	
Comparator Input	R _{IN}	5, 10, 15	—	10 ⁶	—	MΩ
AC-COUPLED INPUT SENSITIVITY Signal Input	V _{IN}		5	—	200	mV
			10	—	400	
			15	—	700	
OUTPUT TRANSITION TIME	PCI, PCII Outputs	t _{LH} , t _{HL}	5	—	100	ns
			10	—	50	
			15	—	40	
	Phase Pulses Output	t _{LH} , t _{HL}	5	—	130	ns
			10	—	65	
			15	—	50	
DEMODULATOR OUTPUT						
OFFSET VOLTAGE	VCO _{IN} , V _{DEM}	R _S ≥ 50kΩ	5	—	1.4	V _{dc}
			10	—	1.6	
			15	—	1.8	
LINEARITY		R _S ≥ 50kΩ VCO _{IN} = 2.5±0.3V VCO _{IN} = 5.0±2.5V VCO _{IN} = 7.5±5.0V	5	—	0.1	%
			10	—	0.6	
			15	—	0.8	
ZENER DIODE						
ZENER VOLTAGE	V _Z	I _Z = 50μA	—	6.3	7.0	V
DYNAMIC RESISTANCE			—	—	100	Ω

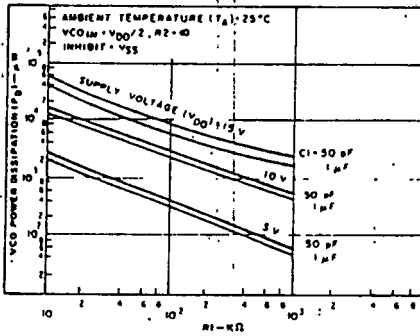


Fig. 6 (a) - Typical VCO power dissipation at center frequency vs R_1 .

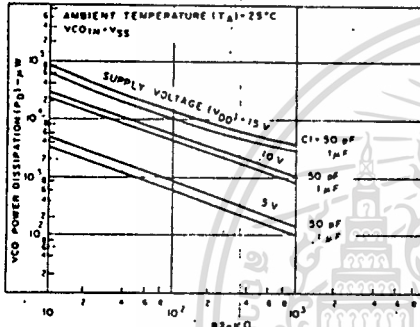


Fig. 6 (b) - Typical VCO power dissipation at f_{min} vs R_2 .

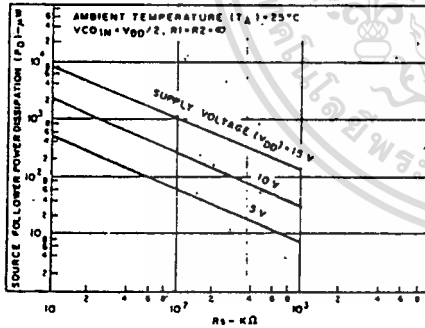


Fig. 6 (c) - Typical source follower power dissipation vs R_S .

NOTE: To obtain approximate total power dissipation of PLL system for no-signal input

$$P_D (\text{Total}) = P_D (f_o) + P_D (f_{MIN}) + P_D (R_S) \\ \text{— Phase Comparator I}$$

$$P_D (\text{Total}) = P_D (f_{MIN}) \\ \text{— Phase Comparator II}$$

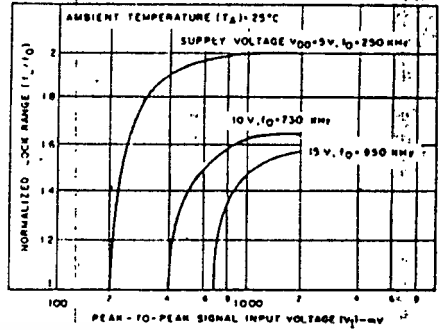


Fig. 7 - Typical lock range vs signal input amplitude

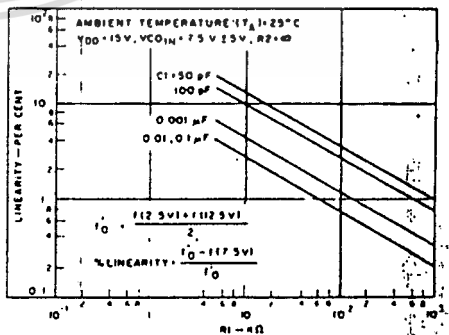
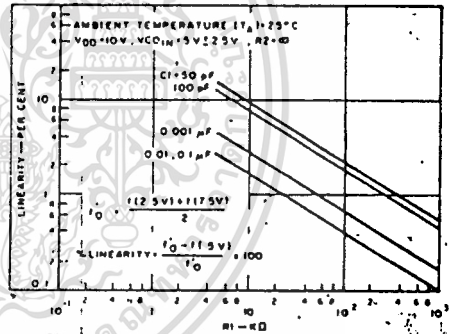


Fig. 8(a, b) - Typical VCO linearity vs R_1 and C_1

SCL4071B, SCL4072B SCL4075B



CMOS OR GATES

SCL4071B - Quad 2-Input OR
SCL4072B - Dual 4-Input OR
SCL4075B - Triple 3-Input OR

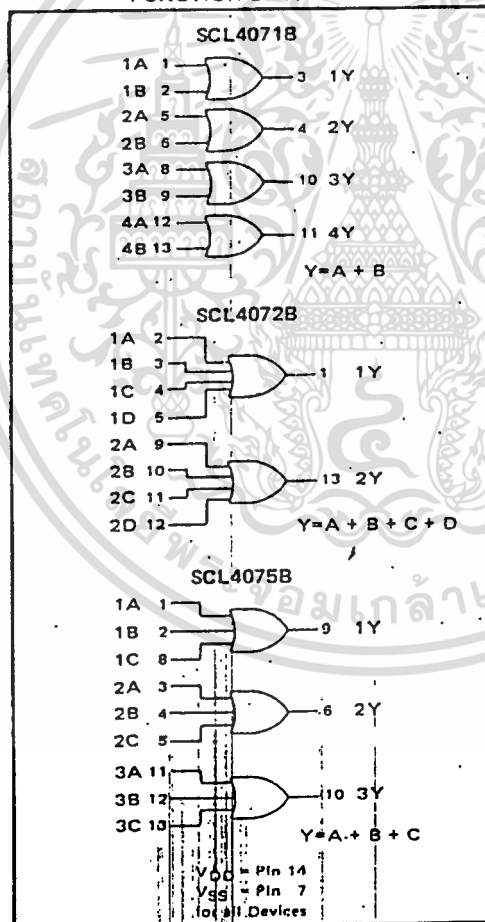
FEATURES

- ◆ Buffered Outputs
- ◆ Diode Protection on all Inputs
- ◆ Fully "B"-Series Compatible
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

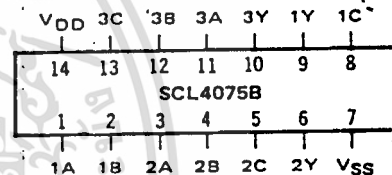
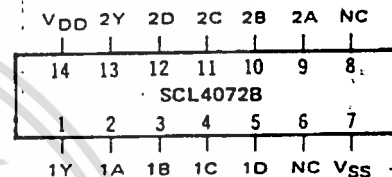
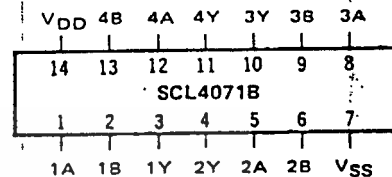
TRUTH TABLE

Inputs	Output
00...0	0
All other combinations	1

FUNCTION DIAGRAMS



CONNECTION DIAGRAMS (all packages)



Add suffix for package:

- C 14-pin Cerdip
- D 14-pin Ceramic
- E 14-pin Epoxy
- F 14-pin Flat
- H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	V _{DD} - V _{SS}	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T _A	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T _{LOW} ¹		+25°C			T _{HIGH} ²		Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I _{DD}	V _{IN} = V _{DD} or V _{DD} All valid input combinations	-	0.05	-	0.0005	0.05	-	1.5	μA _{dc}
	5		-	0.10	-	0.001	0.10	-	3.0	
	15		-	0.20	-	0.002	0.20	-	6.0	

NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications"

T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.

= -40°C for E device.

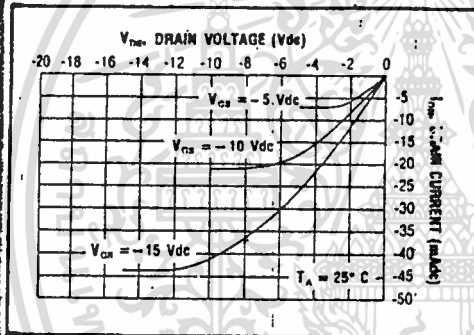
T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.

= + 85°C for E device.

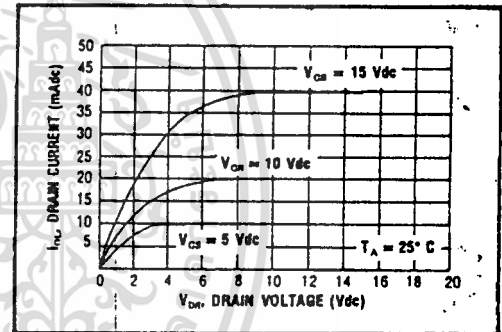
² These devices have been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER		V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PLH} , t _{PHL}	5	-	150	300	ns
		10	-	65	130	
		15	-	50	100	
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{TLH} , t _{THL}	5	-	100	200	ns
		10	-	50	100	
		15	-	40	80	

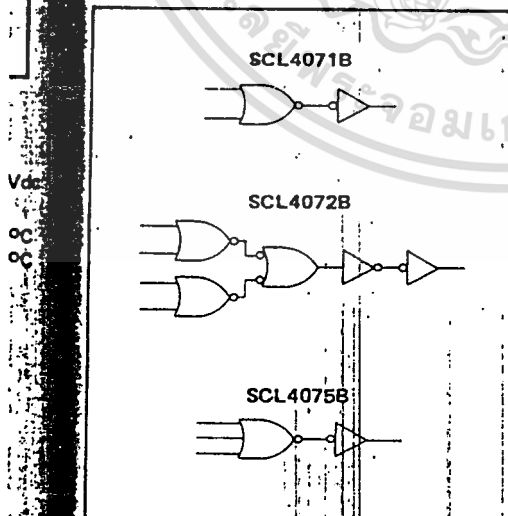


Typical P-Channel
Source Current Characteristics

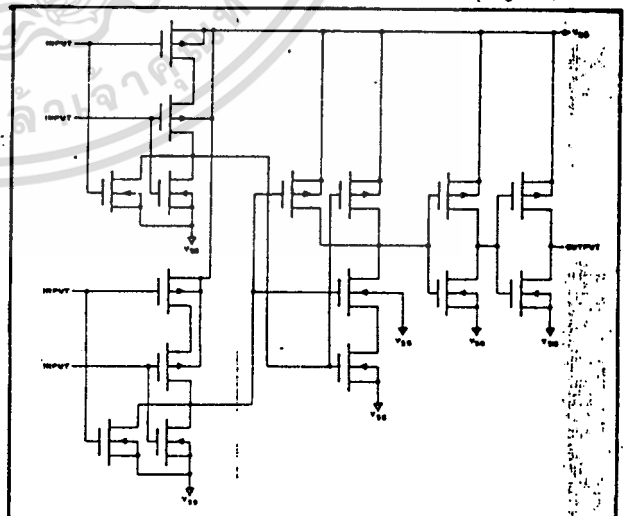


Typical N-Channel
Sink Current Characteristics

LOGIC DIAGRAMS



SCHEMATIC DIAGRAM SCL4072B (1 of 2 gates)



SCL4081B, SCL4082B
SCL4073B



CMOS AND GATES

SCL4081B - Quad 2-Input AND
SCL4082B - Dual 4-Input AND
SCL4073B - Triple 3-Input AND

FEATURES

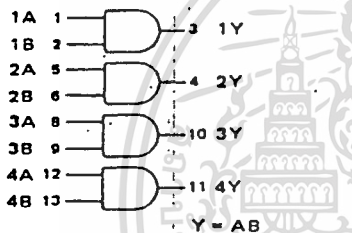
- ◆ Buffered Outputs
- ◆ Diode Protection on all Inputs
- ◆ Fully "B"-Series Compatible
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

TRUTH TABLE

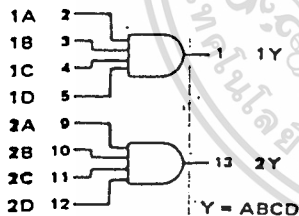
Inputs	Output
1 1 ... 1	1
All other combinations	0

FUNCTION DIAGRAMS

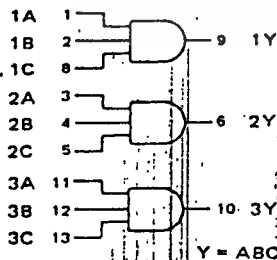
SCL4081B



SCL4082B

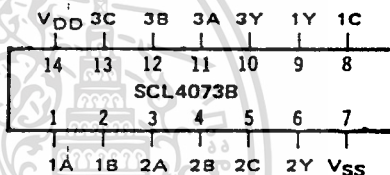
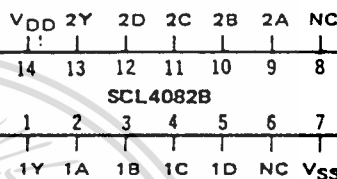
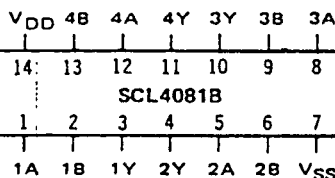


SCL4073B



V_{DD} = Pin 14
V_{SS} = Pin 7
for all Devices

CONNECTION DIAGRAMS (all packages)



Add suffix for package:

- C 14-pin Cerdip
- D 14-pin Ceramic
- E 14-pin Epoxy
- F 14-pin Flat
- H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	V _{DD} - V _{SS}	3 to 15 Vdc
Operating Temperature	T _A	-55 to +125 °C
C, D, F, H Device		-40 to +85 °C
E Device		



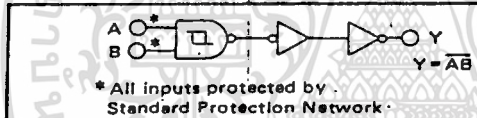
FEATURES

- ◆ Schmitt Trigger Action on each Input with no External Components
- ◆ Quad 2-Input NAND Configuration
- ◆ Noise Immunity Greater than 50%
- ◆ No Limit on Input Rise and Fall Times
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

DESCRIPTION

The SCL4093B consists of four Schmitt trigger circuits. Each circuit functions as a 2-input NAND gate with Schmitt trigger action on both inputs. The gate switches at different points for positive- and negative-going signals. The difference between the positive voltage (V_P) and the negative voltage (V_N) is defined as the hysteresis voltage (V_H). This device is useful in high-noise environments and in wave and pulse shapers and multivibrators.

LOGIC DIAGRAM

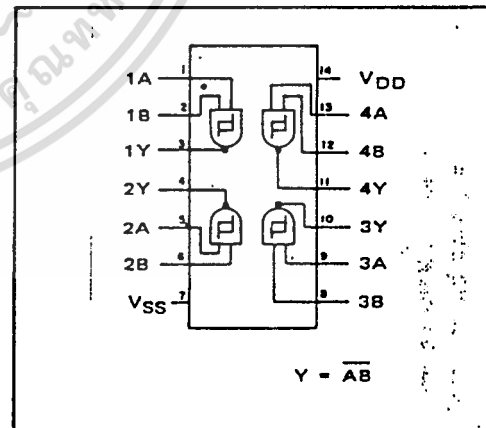
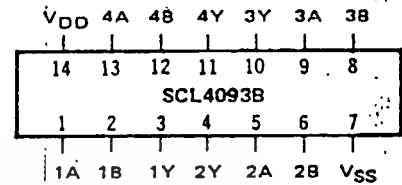


RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vd
Operating Temperature	T_A	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

BLOCK DIAGRAM

CONNECTION DIAGRAM
(all packages)

Add suffix for package:

- C 14-pin Cerdip
- D 14-pin Ceramic
- E 14-pin Epoxy
- F 14-pin Flat
- H Chip

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS

PARAMETER	V _{DD} (V _{Dc})	CONDITIONS	T _{Low} ²		+25°C			T _{High} ²		Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I _{DD}	V _{IN} = V _{SS} or V _{DD} All valid input combinations	—	0.05	—	0.0005	0.05	—	1.5	μAdc
			—	0.10	—	0.001	0.10	—	3.0	
			—	0.20	—	0.002	0.20	—	6.0	
POSITIVE TRIGGER THRESHOLD VOLTAGE	V _P (V _{IL})		3 typ		2.9 typ			2.9 typ		V _{Dc}
			5.9 typ		5.9 typ			5.9 typ		
			8.9 typ		8.9 typ			8.9 typ		
NEGATIVE TRIGGER THRESHOLD VOLTAGE	V _N (V _{HI})		2.6 typ		2.3 typ			2.1 typ		V _{Dc}
			4 typ		3.9 typ			3.8 typ		
			5.5 typ		5.4 typ			5.3 typ		

NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".

² T_{Low} = -55°C for C, D, F, H device.

= -40°C for E device.

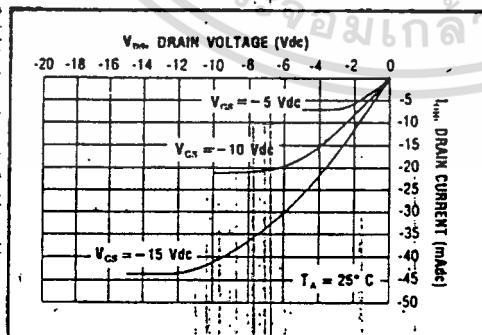
T_{High} = +125°C for C, D, F, H device.

= +85°C for E device.

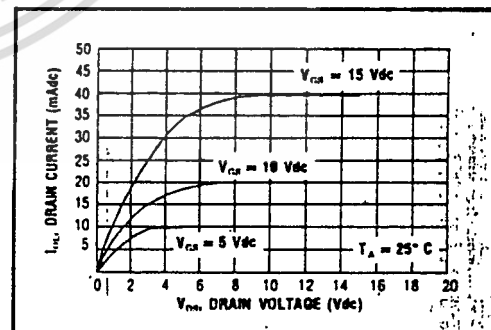
³ This device has been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER		V _{DD} (V _{Dc})	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PLH} , t _{PHL}	5	—	300	600	ns
		10	—	150	300	
		15	—	120	240	
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{TLH} , t _{THL}	5	—	100	200	ns
		10	—	50	100	
		15	—	40	80	



Typical P-Channel
Source Current Characteristics



Typical N-Channel
Sink Current Characteristics

PARAMETER		CONDITIONS	-40°C		25°C			+85°C		UNITS
			MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
I _{DD}	Quiescent Device Current	V _{DD} = 5V		4.0			4.0		30	μA
		V _{DD} = 10V		8.0			8.0		60	μA
		V _{DD} = 15V		16.0			16.0		120	μA
V _{OL}	Low Level Output Voltage	I _{O1} < 1μA								
		V _{DD} = 5V		0.05			0.05		0.05	V
		V _{DD} = 10V		0.05			0.05		0.05	V
V _{OH}	High Level Output Voltage	I _{O1} < 1μA								
		V _{DD} = 5V	4.95		4.95	5		4.95		V
		V _{DD} = 10V	9.95		9.95	10		9.95		V
V _{T-}	Negative-Going Threshold Voltage	V _{DD} = 5V, V _O = 4.5V	0.7	2.0	0.7	1.4	2.0	0.7	2.0	V
		V _{DD} = 10V, V _O = 9V	1.4	4.0	1.4	3.2	4.0	1.4	4.0	V
		V _{DD} = 15V, V _O = 13.5V	2.1	6.0	2.1	5.0	6.0	2.1	6.0	V
V _{T+}	Positive-Going Threshold Voltage	V _{DD} = 5V, V _O = 0.5V	3.0	4.3	3.0	3.6	4.3	3.0	4.3	V
		V _{DD} = 10V, V _O = 1V	6.0	8.6	6.0	6.8	8.6	6.0	8.6	V
		V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V	9.0	12.9	9.0	10.0	12.9	9.0	12.9	V
V _H	Hysteresis (V _{T+} - V _{T-})	V _{DD} = 5V	1.0	3.8	1.0	2.2	3.6	1.0	3.8	V
		V _{DD} = 10V	2.0	7.2	2.0	3.6	7.2	2.0	7.2	V
		V _{DD} = 15V	3.0	10.8	3.0	5.0	10.8	3.0	10.8	V
I _{OL}	Low Level Output Current	V _{DD} = 5V, V _O = 0.4V	0.52		0.44	0.88		0.36		mA
		V _{DD} = 10V, V _O = 0.5V	1.3		1.1	2.25		0.9		mA
		V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V	3.6		3.0	8.8		2.4		mA
I _{OH}	High Level Output Current	V _{DD} = 5V, V _O = 4.6V	-0.52		-0.44	-0.88		-0.36		mA
		V _{DD} = 10V, V _O = 9.5V	-1.3		-1.1	-2.25		-0.9		mA
		V _{DD} = 15V, V _O = 13.5V	-3.6		-3.0	-8.8		-2.4		mA
I _{IN}	Input Current	V _{DD} = 15V, V _{IN} = 0V		-0.30		-10 ⁻⁵	-0.30		-1.0	μA
		V _{DD} = 15V, V _{IN} = 15V		0.30		10 ⁻⁵	0.30		1.0	μA

ac electrical characteristics T_A = 25°C, C_L = 50 pF, R_L = 200k, t_r and t_f = 20 ns, unless otherwise specified.

PARAMETER		CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
t _{PHL} or t _{PLH}	Propagation Delay Time From Input To Output	V _{DD} = 5V		220	400	ns
		V _{DD} = 10V		80	200	ns
		V _{DD} = 15V		70	180	ns
t _{THL} or t _{TLH}	Transition Time	V _{DD} = 5V		100	200	ns
		V _{DD} = 10V		50	100	ns
		V _{DD} = 15V		40	80	ns
C _{IN}	Average Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF
C _{PD}	Power Dissipation Capacitance	Any Gate (Note 3)		14		pF



FEATURES

- ◆ High-Current Sourcing Bipolar Outputs (Up to 25 mA)
- ◆ Latched Storage of Input Code
- ◆ Blanking Input for Display Intensity Modulation
- ◆ Lamp Test Provision
- ◆ Readout Blanking for Illegal Input Combinations

DESCRIPTION

The SCL4511B provides the functions of a 4-bit storage latch, an 8421 BCD-to-seven segment decoder, and an output drive capability to source up to 25 mA of current. Lamp Test, Blanking, and Latch Enable inputs are used to test the display, turn off the display, and store a BCD code, respectively. It can be used with LED, incandescent, fluorescent, gas discharge, or liquid crystal readouts either directly or indirectly.

Applications include counter display drivers, seven-segment decimal display, and various clock, watch, and timer uses.

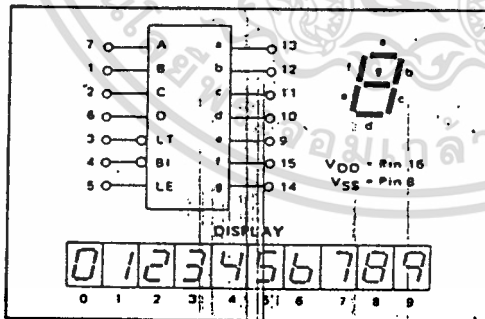
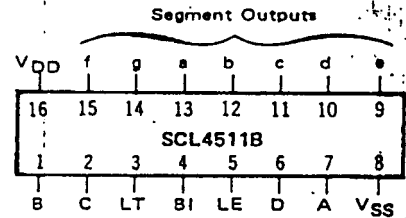
TRUTH TABLE

LE	BI	LT	D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g	DISPLAY
X	X	0	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	8
X	0	1	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	2
0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	3
0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	5
0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	6
0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	7
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	9
0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	Blank
0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Blank
1	1	1	X	X	X	X	*	*	*	*	*	*	*	*

X = Don't care

* Depends upon the BCD code applied during the 0 to 1 transition of LE.

BLOCK DIAGRAM

CONNECTION DIAGRAM
(all packages)

Add suffix for package:

- C 16-pin Cerdip
- E 16-pin Ceramic
- D 16-pin Epoxy
- F 16-pin Flat
- H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

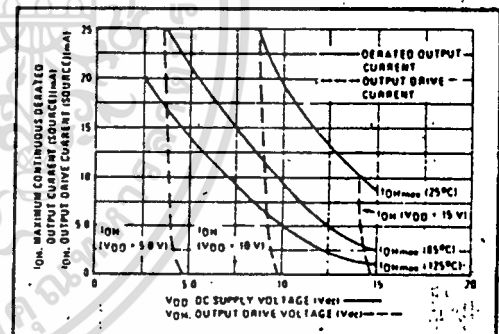
For maximum reliability:

DC Supply Voltage $V_{DD} - V_{SS}$ 3 to 16 Vdc

Operating Temperature T_A -55 to +125 °C

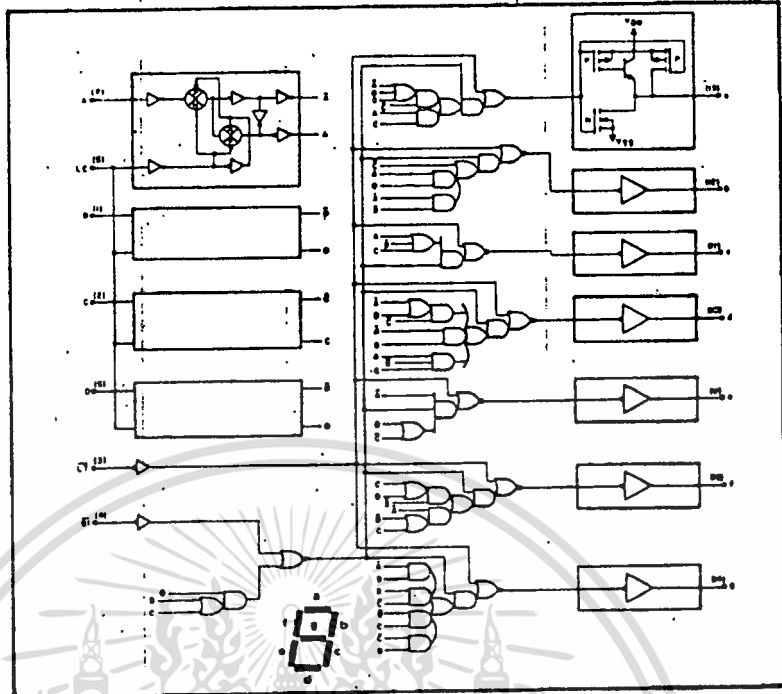
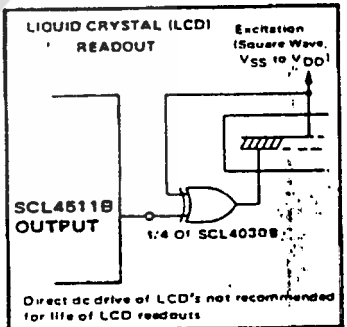
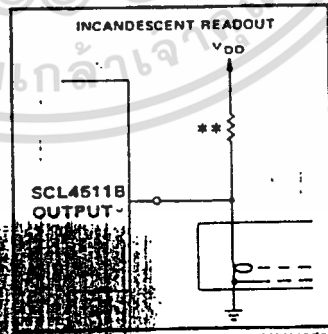
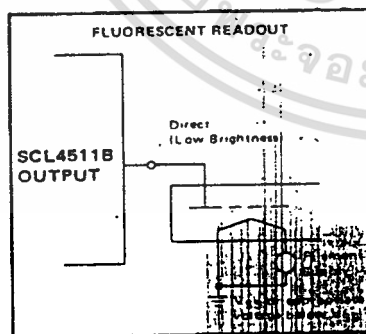
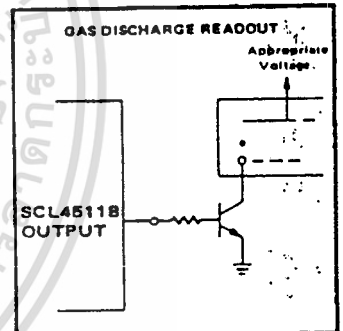
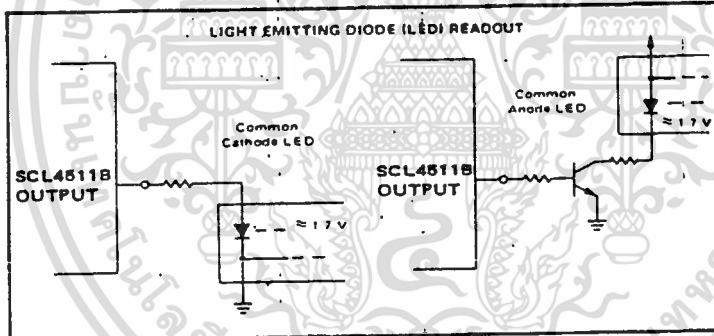
C, D, F, H Device -40 to +85 °C

E Device

Typical P-Channel
Source Current Characteristics

The maximum continuous (worst case) derated output drive current applies to a single output with all other outputs sourcing an equal amount of current. Operation above the derating curve at a given temperature is not recommended.

LOGIC DIAGRAM

APPLICATIONS INFORMATION
DISPLAY CONNECTIONS

SCL4518B SCL4520B



CMOS DUAL UP COUNTERS

FEATURES

- ◆ Two Independent 4-Bit Counters
- ◆ Internally Synchronous for High Speed
- ◆ Dual BCD (SCL4518B) and Dual Binary (SCL4520B) Configurations
- ◆ Direct Reset
- ◆ Logic Edge-Clocked Design
- ◆ Trigger from either Edge of Clock Signal
- ◆ Static Operation— DC to 5MHz @ 10Vdc

DESCRIPTION

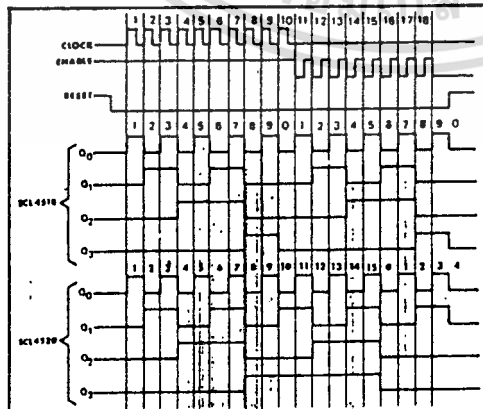
The SCL4518B Dual BCD Counter and the SCL4520B Dual Binary Counter are constructed with MOS P-channel and N-channel enhancement-mode devices in a single monolithic structure. Each consists of two identical, independent, internally synchronous 4-stage counters. The counter stages are type-D flip-flops, with interchangeable Clock and Enable lines for incrementing on either the positive-going or negative-going transition as required when cascading multiple stages. Each counter can be cleared by applying a high level on the Reset line. In addition, the SCL4518B will count out of all undefined states within two clock periods. These complementary MOS up counters find primary use in multi-stage synchronous or ripple counting applications requiring low power dissipation and/or high noise immunity.

TRUTH TABLE

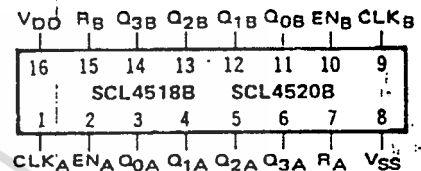
CLOCK	ENABLE	RESET	ACTION
—	1	0	Increment Counter
0	—	0	Increment Counter
—	X	0	No Change
X	—	0	No Change
—	0	0	No Change
1	—	0	No Change
X	X	1	Q0 thru Q3 = 0

X = Don't Care

TIMING DIAGRAM



CONNECTION DIAGRAM (all packages)



Add suffix for package:

- C 16-pin Cerdip
- D 16-pin Ceramic
- E 16-pin Epoxy
- F 16-pin Flat
- H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T_A	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

BLOCK DIAGRAM

