



ปริญญาโทปีการศึกษา 2533

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เซ็นเซอร์ และ ทรานสดิวเซอร์ ในงานวัด-ควบคุม

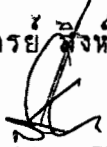
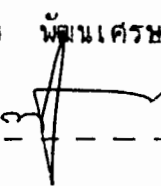
(SENSORS AND TRANSDUCERS IN CONTROL)

ผู้จัดทำ

1. นายพรศักดิ์ ชีรวาณิชย์ผล 301177
2. นายอภิสิทธิ์ คุปรัตน์ 301351

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สิงห์ทอง พันนเศรษฐานนท์

( )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซ็นเซอร์ และ ทรานสดิวเซอร์ ในงานวัด-ควบคุม

..... นศ. ๒๕๖๒
 บล. ๒๕๖๒
 ๒๕๖๒

พรศักดิ์ ชีรวาณิชย์ผล
 อภิสัทธี คุปรัตน์
 อ.สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2533

บทคัดย่อ

เซ็นเซอร์ และ ทรานสดิวเซอร์ ที่เราศึกษา นี้ จะศึกษาถึงพื้นฐานของ เซ็นเซอร์ และ ทรานสดิวเซอร์ ที่มีการใช้ อยู่ แล้วนำเอาพื้นฐานเหล่านี้ไปสร้างวงจรที่มีการใช้งาน เพื่อเป็นการเรียนรู้ถึงวิธีการที่จะพิจารณา และ เลือกใช้ เซ็นเซอร์ และ ทรานสดิวเซอร์ รวมไปถึงการสร้างวงจรที่จะใช้งานในสภาวะการทำงานต่าง ๆ

ในอนาคตนั้น จะต้องมีการทำการควบคุมระบบ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไปตามที่ต้องการ โดยทั้งนี้จะต้องมีส่วนที่จะทำการตรวจสอบ และ ส่งผลไปที่เครื่องประมวลผล

ปฏิญานินพนธ์ ฉบับนี้ จะทำการศึกษาถึงการนำ เซ็นเซอร์ และ ทรานสดิวเซอร์ ไปใช้ในงานควบคุมประต้อัตโนมัติ และ เครื่องวัดระยะทาง

SENSORS AND TRANSDUCERS IN CONTROL

PORNSAK TEERAWANICHPHOL

APISIT KUPARATANA

SINGTHONG PATTANASETTANON ADVISOR

1990

ABSTRACT

This thesis presents the study of sensors and transducers , the study of infrared remote control automatic door and ultrasonic distance measurement , include utilise in industrial control .

Beginning study property of sensors and transducers their utilise in general process then built and develop their circuit for using .

In industrial process must be controlled to receive the good product . By this mean , it must use the sensors and transducers to detect the signal condition and send it to control unit .

This thesis presents the study of sensors and transducers , infrared remote automatic door controller and ultrasonic distance measurement .

สารบัญ

	หน้า
บทนำ	
บทที่ 1 ทฤษฎี	3
ทรานส์ดีวเซอร์	4
อุลตราโซนิก	14
วงจรต่าง ๆ	
การกำเนิดความอินฟราเรด	
<u>ประตูอัตโนมัติ</u>	
บทที่ 2 การออกแบบโครงสร้างของระบบ	36
2.1 Infrared Remote Controller	36
2.2 Logic Controller Unit	46
2.3 Speed And Direction Controller	47
สรุปผลการทดลองประตูอัตโนมัติ	
<u>เครื่องวัดระยะ</u>	
บทที่ 3 หลักการทำงานและการออกแบบ	55
บทที่ 4 การประยุกต์ใช้งานในการวัดระดับ	63
สรุปผลการทดลอง เครื่องวัดระยะ	
บทวิจารณ์และสรุป	66
ภาคผนวก	
หนังสืออ้างอิง	

บทนำ

เทคโนโลยีด้านเครื่องมือวัดและการควบคุมอัตโนมัติเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบดีเทคหรือเปลี่ยนรูปของสัญญาณอื่นเช่น แสง, เสียง, ความร้อน, แรงบิด, ความเค้น ให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าหรือสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการควบคุมหรือแสดงผล (Sensors And Transducers) และที่สำคัญคือช่วยให้ระบบควบคุมอัตโนมัติต่างๆทำงานได้ เพราะทรานสดิวเซอร์ให้สัญญาณมาที่สามารถส่งค่าข้อมูลให้วงจรอื่นจัดการประมวลผลได้

วิทยานิพนธ์แบบนี้จะศึกษาถึงการนำเอาอุปกรณ์ตรวจสอบและเปลี่ยนรูปพลังงานมาใช้ในการควบคุมประตูอัตโนมัติและเครื่องวัดระยะทางอย่างง่าย

ในส่วนของเครื่องควบคุมประตูอัตโนมัติได้ออกแบบให้สามารถใช้งานได้โดยง่าย คือมีปุ่มบังคับเพียงปุ่มเดียว กดครั้งแรกเปิดและเมื่อกดครั้งที่ต่อไปจะเป็นปิด ทั้งนี้เพราะการออกแบบวงจรได้พิจารณาถึงสภาพการเคลื่อนที่และตำแหน่งของประตูในขณะใดขณะหนึ่งๆ เมื่อเริ่มต้นการเปิดประตูจะมีความเร็วในการเปิดสูง และเมื่อตำแหน่งของประตูเคลื่อนที่ไปในจุดที่เหมาะสมแล้วจะมีอุปกรณ์ตรวจสอบจับตำแหน่งของประตูเพื่อส่งสัญญาณมาให้หน่วยควบคุมเพื่อปรับ Speed ของประตูให้ช้าลงและหยุดอย่างนุ่มนวลเมื่อประตูได้เปิดจนสุดแล้ว และในทางองเดียวกันการปิดก็จะเริ่มปิดด้วย Speed ที่สูงและลดความเร็วจนปิดอย่างนุ่มนวลในที่สุด

เครื่องควบคุมระยะต้นสามารถให้ความสะดวกในการใช้งานมากโดยที่ไม่ต้องลงจากรถเพื่อไปเปิดประตูเองหรือให้คนอื่นภายในบ้านมาเปิด เช่น ในกรณีที่ฝนตกหนักและไม่ต้องเสียเวลามากด้วย

ในส่วนของเครื่องวัดระยะทางเป็นเครื่องมือวัดระยะทางโดยอาศัยหลักการส่งคลื่นไปสะท้อนวัตถุโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกได้มีการนำไปใช้งานในด้านต่างๆมากมาย เช่น ใช้ในงานควบคุมระยะไกล (Remote Control) , เครื่องสลายน้ำ , เครื่องวัดความหนาของวัสดุ เป็นต้น คลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้สามารถส่งไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้อย่างแน่นอน เช่นที่ความถี่ 40 KHz คลื่นเสียงที่ออกมาจะมีความยาวคลื่นที่เล็กกว่าตัวที่ทำให้กำเนิดความถี่มากจึงไม่มีการเลี้ยวเบน จึงหึ่งเป็นลาแคทาหรือกล่าวได้ว่ามีทิศทาง นอกจากจะสามารถวัดระยะทางตามปกติแล้วยังออกแบบให้มีวงจรเปลี่ยนความถี่ที่เป็นข้อมูลของระยะทางนี้เป็นแรงดันไฟฟ้า (อนาล็อก) และเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกไปเป็นดิจิตอล เพื่อสามารถนำไปเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ได้ ทำให้สามารถนำมาใช้ในงานวัดระดับได้โดยวัดระยะระหว่างกันถึงกับตำแหน่งที่ตั้งของเครื่องที่ตั้งไว้ แล้วเปิดน้ำเข้าไปในถัง เครื่องวัดระยะจะวัดระยะใหม่ได้สั้นกว่าระยะเดิมซึ่งจะนำค่านี้ไปหักออกจากระยะแรก ซึ่งค่าที่ได้ใหม่นี้คือค่าของระดับน้ำในถังนั่นเอง โดยเงื่อนไขเหล่านี้สามารถกำหนดได้จากโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ โดยที่จะมีการแสดงผลที่ได้ออกมาเป็นตัวเลขหรือรูปภาพก็ได้

ทฤษฎี

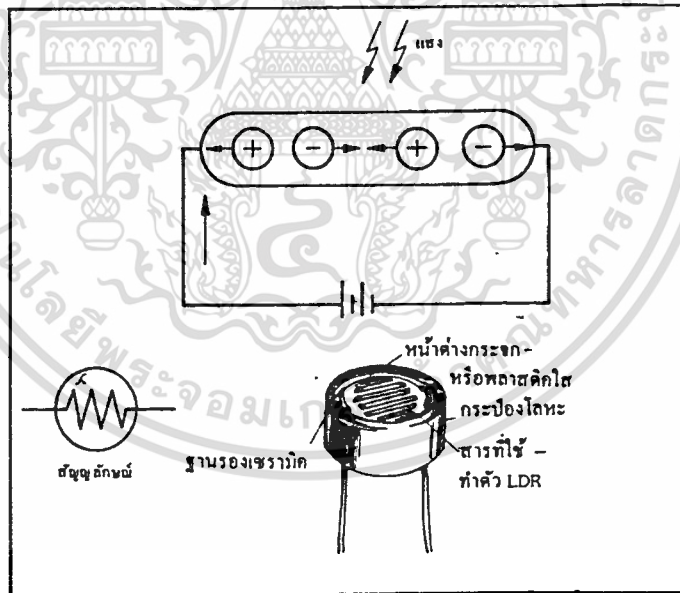
ทรานส์ดิวเซอร์

หมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้แปลงรูปพลังงานรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งในที่นี้เราสนใจในลว่นที่แปลง เป็นพลังงานไฟฟ้า เพราะพลังงานไฟฟ้าเหมาะสมและง่ายสำหรับการนำไปใช้งานต่อไป ทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้ในปัจจุบันมีมากมาย หลายชนิดเช่น ทรานส์ดิวเซอร์ที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน, สเตรนเกจ, การใช้ความนำไฟฟ้าในของเหลวเป็นทรานส์ดิวเซอร์, การวัดพีเอช (PH) หรือความเป็นกรด-ด่าง, การใช้หลักการเก็บประจุเป็นทรานส์ดิวเซอร์ ทรานส์ดิวเซอร์แบบค่าความเหนี่ยวนำเปลี่ยนแปลง ฯลฯ แต่ในที่นี้เราจะศึกษาเฉพาะส่วนที่จะนำมาใช้งานในโครงการนี้ คือ

ออปโตทรานซิสเตอร์

ตัวต้านทานไวแสง (LDR)

ตัวต้านทานไวแสง เป็นตัวต้านทานที่แปลค่าได้กับแสงนั่นเอง โดยเมื่อป้อนพลังงานอย่างเพียงพอให้กับวาเลนซ์อิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำจะทำให้เกิดการแตกตัวของโฮลและอิเล็กตรอนเกิดขึ้นมากมาย พลังงานที่จะทำให้เกิดการแตกตัวนี้จะต้องเป็นพลังงานที่มาจากภายนอก เช่น แสง ความร้อน ปริมาณของพลังงานที่ต้องการจะทำให้เกิดการแตกตัวของอิเล็กตรอน-โฮล จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารนั้นๆ



ภาพแสดง ลักษณะทั่วไปของ LDR และสัญลักษณ์

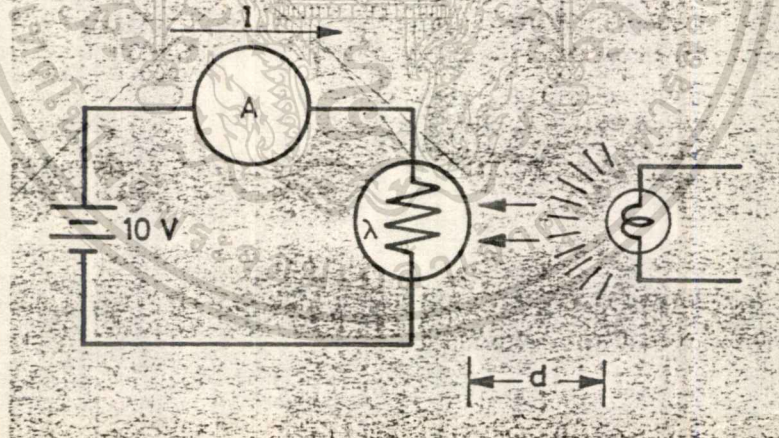
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LDR ส่วนใหญ่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำจากพวกแคดเมียมซัลไฟด์หรือแคดเมียมเซเลไนด์ ซึ่งให้ผลตอบสนองต่อแสงได้ดีที่ความยาวคลื่นประมาณ 4000-10000 Å แดบแสงที่มองเห็นพอดี

ลักษณะการทำงานของ LDR จะเห็นได้ว่าเมื่อมีแสงความเข้มมาก ๆ มาตกกระทบก็จะสามารถทำให้ตัวมันนำกระแสได้ดีขึ้นเป็นผลให้ค่าความต้านทานในตัวมันลดลง

ข้อดีในการใช้งานของ LDR คือมีความไวแสงสูงมีการเปลี่ยนแปลงค่าได้กว้างแต่มีข้อเสียคือมีผลตอบสนองต่อความถี่ของแสงได้แคบ

ตัวอย่างการใช้งานของ LDR ที่เห็นได้ง่าย ๆ ก็คือใช้เป็นตัววัดความเข้มของแสง โดยต่อเป็นวงจรเบื้องต้นง่าย ๆ ดังรูป

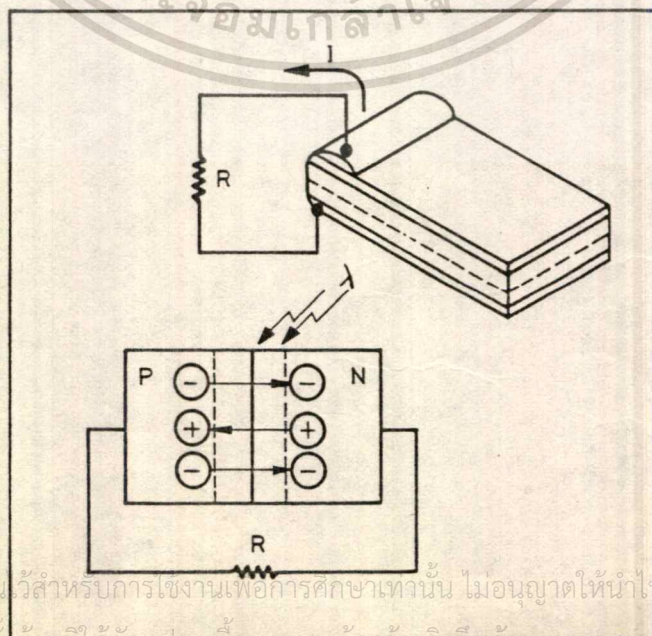


วงจรวัดความเข้มของแสง

เซลล์แสงอาทิตย์ แตกต่างจาก LDR เพราะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถสร้างแรงดันขึ้นที่ตัวมัน หรือพูดง่าย ๆ ก็คือ เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ตัวอุปกรณ์ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ PN ที่ประกอบเป็นรอยต่อ และเมื่อประกอบเป็นวงจรถูกไม่จำเป็นต้องต่อกับแหล่งจ่ายไฟภายนอกและจะมีกระแสไหลผ่านวงจรถัดเอง สารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่เป็นสารจำพวก ซิลิกอน หรือ เซเลเนียม เป็นส่วนใหญ่ สำหรับสารเซเลเนียม แล้วจะให้ผลตอบสนองต่อแสงที่ตาเรามองเห็นได้ ส่วนซิลิกอนจะให้ผลตอบสนองค่อนข้างอินฟราเรด ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ซิลิกอนจึงเหมาะที่จะติดกับยานอวกาศ เพื่อใช้แปลงพลังงานไฟฟ้าในอวกาศ

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ อธิบายได้ คือเมื่อได้รับแสงจะทำให้มีโฮล-อิเล็กตรอนแยกตัวออกจากกัน ถ้าหากเป็นการแยกที่เกิดทางด้านสารชนิด P อิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นก็จะเคลื่อนกลับเข้าไปทาง N ถ้าหากว่าเกิดการแตกตัวที่ผิว N ตัวโฮลก็จะเสมือนเคลื่อนเข้าทางผิว P จะเห็นได้ว่าเกิดการเคลื่อนที่ของพาหะเป็นผลทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวมัน ครั้นถ้าหากต่อให้ครบวงจรถูกก็เกิดการไหลของกระแสขึ้นได้

สำหรับสารชนิดเซเลเนียมจะให้ผลตอบสนองต่อแสงในช่วงความยาวคลื่นจาก 2500 Å ถึง 7500 Å แต่สำหรับซิลิกอนจะอยู่ในราว 3500 Å ถึง 1150 Å

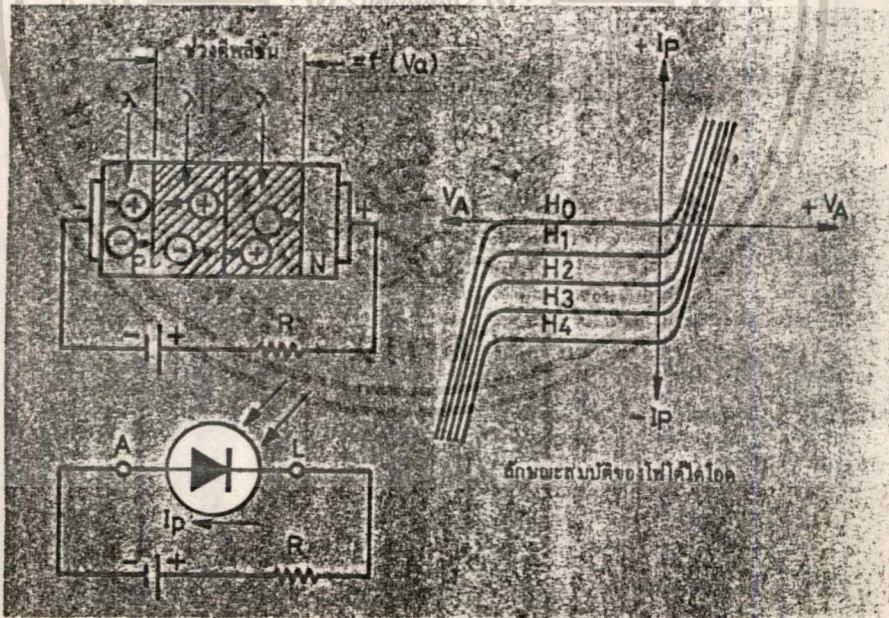


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟโตไดโอด

โฟโตไดโอดคืออุปกรณ์ไวแสงชนิดหนึ่งทีประกอบด้วยรอยต่อ PN เช่นเดียวกับ เซลแสงอาทิตย์แต่จะแตกต่างคือ การใช้งานโฟโตไดโอดจะให้กระแสไหลผ่านตัวมันที่ขึ้นอยู่กับแสง ถ้าแสงที่ส่องมีความยาวคลื่นที่พอเหมาะจะมีกระแสไหลในวงจร โดยเป็นสัดส่วนกับความเข้มของแสงที่ส่องผ่านอุปกรณ์นั้น ซึ่งการทำงานของมันจะกล่าวได้โดยสังเขปได้ดังนี้ คือ เมื่อแสงตกกระทบบที่รอยต่อ จะทำให้เกิดการแตกตัวของโฮลและอิเล็กตรอนอิสระ โฮลและอิเล็กตรอนอิสระ จะถูกแรงดันไบแอสกลับเหนี่ยวนำให้เกิดการข้ามรอยต่อเป็นกระแส เนื่องจากแสงได้ซึ่งจะมีค่าค่อนข้างต่ำมาก คืออยู่ในช่วง 1-10 micro amp. ดังนั้นการใช้โฟโตไดโอด ประเภทนี้จะต้องมีตัวขยายกระแสเพิ่มเติม



แสดงการทำงานและลักษณะสมบัติของโฟโตไดโอด

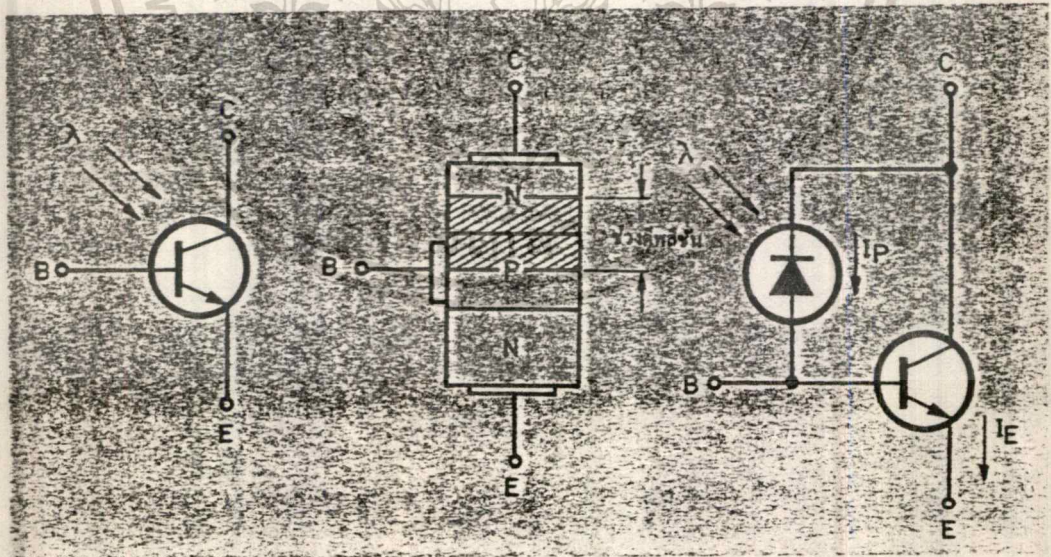


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในห้องสมุดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดโอดที่ไวต่อแสงชนิดซิลิกอนมีสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิต่ำและผลตอบสนองต่อแสงไว และยังสามารถควบคุมผลตอบสนองต่อความถี่ของแสงกับความเร็วได้โดยรูปร่างลักษณะและการโด๊ปของรอยต่อ

โฟโตทรานซิสเตอร์

อาศัยหลักการเดียวกับโฟโตไดโอดแต่จะให้ข้อดีมากกว่ามาก เพราะกระแสที่ได้ผ่านการขยายด้วยทรานซิสเตอร์ก่อนในภาวะปกติของการใช้งานของโฟโตทรานซิสเตอร์รอยต่อระหว่างเบสอิมิตเตอร์จะต่อไบแอสตรง ส่วนรอยต่อระหว่างเบสคอลเลคเตอร์จะต่อไบแอสกลับที่ส่วนนี้เองเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าขึ้นกับแสง

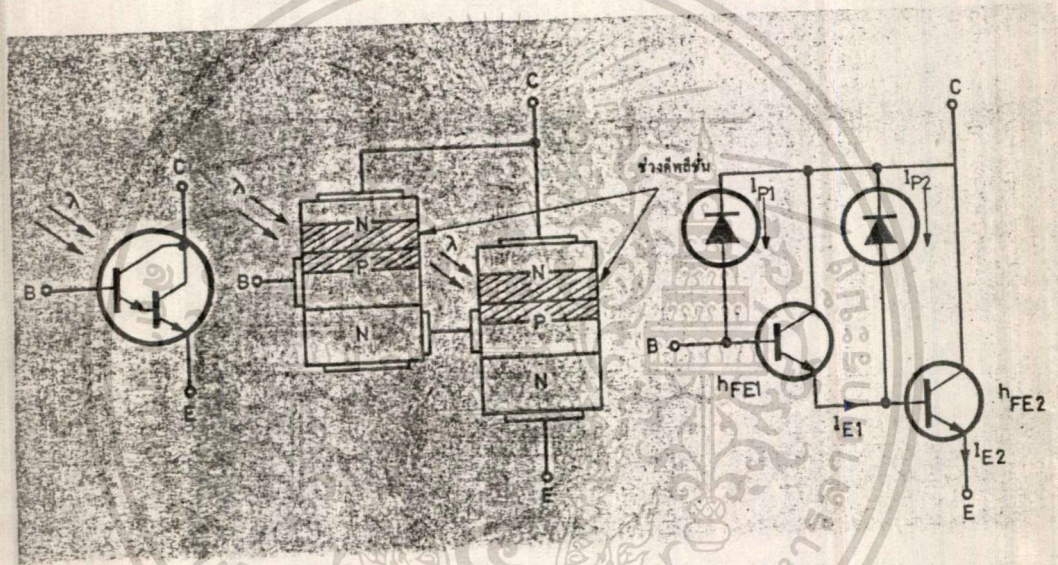


แสดงสัญลักษณ์โครงสร้างของโฟโตทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟโตคาถาลิ่งตัน

โฟโตคาถาลิ่งตันก็คือโฟโตทรานซิสเตอร์ 2 ตัวที่ต่อร่วมกันในลักษณะวงจรคาถาลิ่งตัน คือต่อในลักษณะที่ขาอิมิตเตอร์ของตัวหนึ่งจะต่อเข้ากับขาเบสของอีกตัวหนึ่งทำให้มีอัตราในการขยายสูงกว่าโฟโตทรานซิสเตอร์มาก แต่ก็มีควมเร็วในการสวิตซ์ช้ากว่าและกระแสมีคหรือกระแสที่ไม่โคนแสงจะสูงกว่าด้วยสัญลักษณ์ของวงจรจะแสดงได้ในรูป

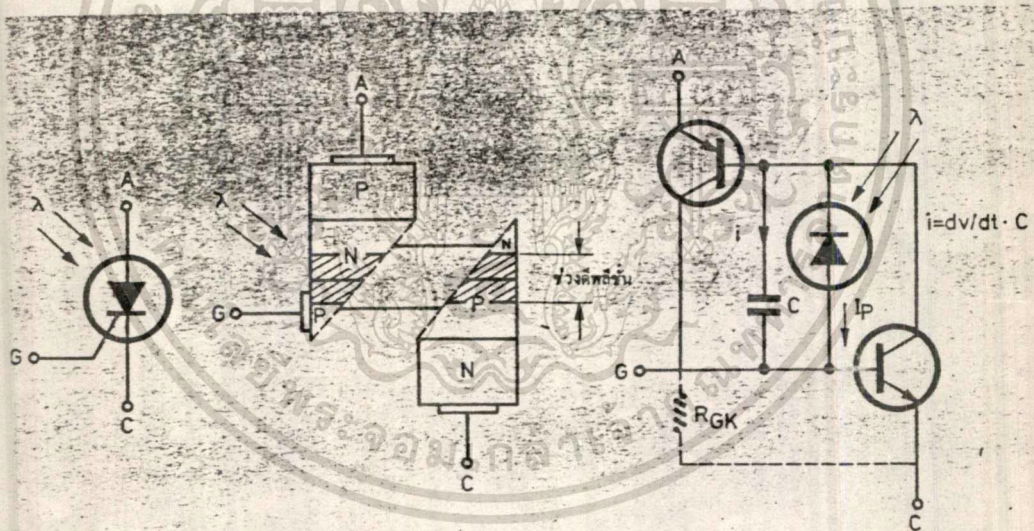


การขยายของโฟโตคาถาลิ่งตันแสดงผลของการเกิดกระแสโฟโต

จากรูปจะเห็นลักษณะของทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่อแคสเคดกันในตัวกระป๋อง โดยมีวงจรสมมูลแสดงไว้เช่นกัน

โฟโต้เอสซีอาร์

จากวงจรสมมูลของโฟโต้เอสซีอาร์จะเห็นได้ว่าเหมือนกับวงจรสมมูลของเอสซีอาร์ธรรมดาแต่ประกอบด้วยโฟโต้ไดโอดต่อที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q2 ดังนั้นถ้ามีการทริกที่เกตเอสซีอาร์มันก็นำกระแสได้ด้วยหลักการทั่วไปของเอสซีอาร์ แต่ถ้าไม่มีการทริกที่เอสซีอาร์แต่เราจะนำให้เอสซีอาร์ถูกแสงสว่างก็จะเป็นผลให้เกิดกระแส I_p เกิดขึ้น และถ้า I_p มีค่าสูงขึ้นค่าหนึ่งเพียงพอที่จะให้ Q1 ทำงาน มันก็จะเหมือนทริกเอสซีอาร์ให้ทำงาน เกิดสภาวะการเนอเรทีฟให้เอสซีอาร์นำกระแสดังที่กล่าวไปแล้ว



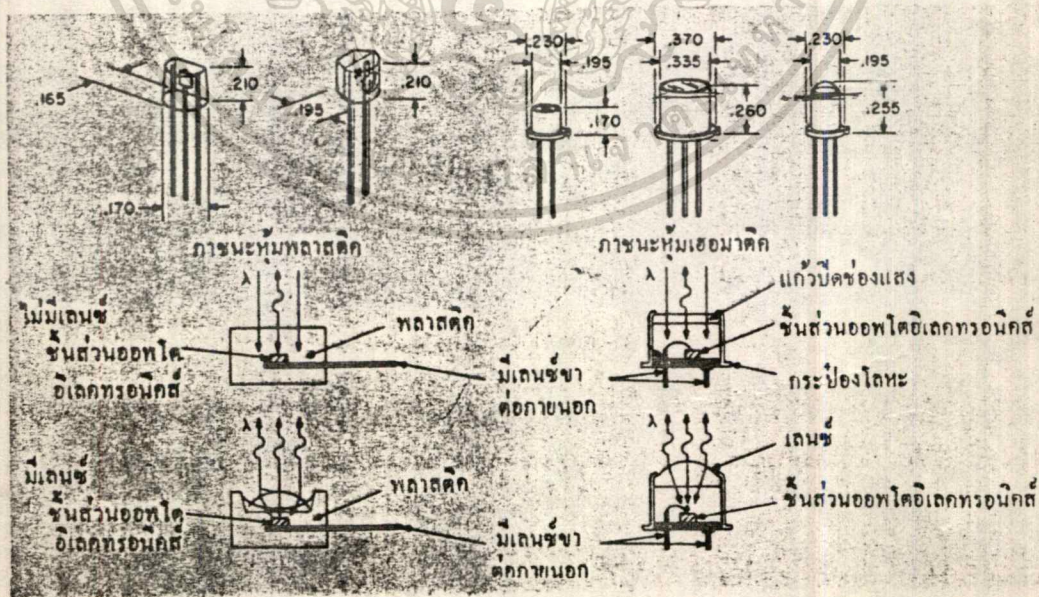
โฟโต้เอสซีอาร์และวงจรสมมูลย์ที่แทนด้วยทรานซิสเตอร์แสดงผลของกระแส โฟโต้คอนที่ เกิดขึ้นและรอยต่อที่ทำให้เสมือนเกิดตัวเก็บประจุ

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง

จะมีรูปร่างหลายอย่างขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงที่เป็นตัวอิสระที่จะปล่อยแสงหรือดีเทคแสง

ภาชนะหุ้มต้องทำหน้าที่ป้องกันชิ้นส่วนภายในและยอมให้แสงผ่านได้ นั่นคือตัวกระเบื้องหุ้มต้องมีช่องแสงซึ่งอาจจะมีเลนซ์เป็นส่วนประกอบเพื่อผลตอบสนองที่ดีขึ้น ความไวและมุมรับแสง ได้กว้างการเปลี่ยนแปลงของเลนซ์จะมีผลต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างมาก



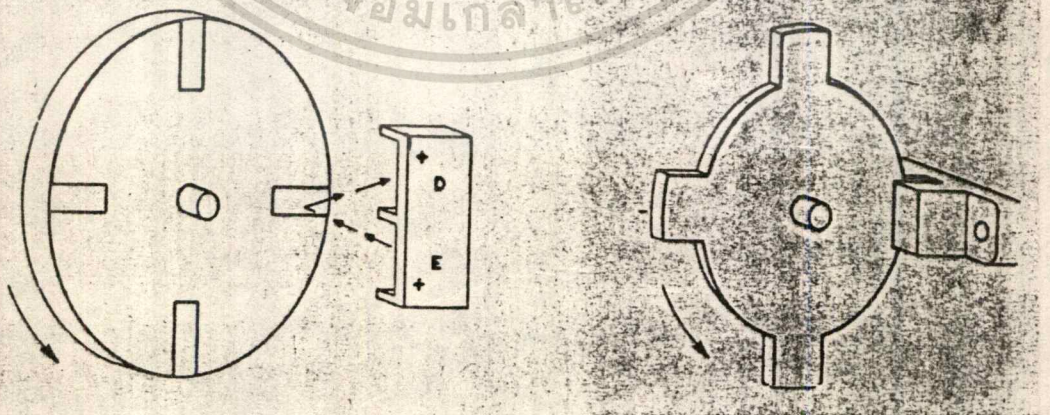
แสดงรูปร่างโครงสร้างของอุปกรณ์ตัวปล่อยแสงและดีเทคแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารที่ใช้ทำภาชนะหุ้มมี 2 ชนิด คือ พลาสติก และ เซรามิก ซึ่งทั้ง 2 แบบจะมีทั้งชนิดมีเลนส์และไม่มีเลนส์ แบบพลาสติกแกนของเลนส์จะตั้งฉากกับขาหรือขั้วต่อภายนอก แต่แบบเซรามิกแกนจะขนานกับขาภายนอกและสามารถทำงานได้ที่กำลังสูงๆช่วงอุณหภูมิกว้างและทนกว่าแต่ราคาจะสูงกว่าด้วย

2. อุปกรณ์การตรวจสอบตัดแสงและการสะท้อนของแสง

อุปกรณ์ตรวจสอบการตัดแสงส่วนใหญ่ในทางการค้าจะสร้างขึ้นจากตัวปล่อยแสงและตัวรับแสงแบบพลาสติก เพราะมีราคาถูกและประกอบเข้าได้ง่ายกว่าวัสดุอย่างอื่น อุปกรณ์บางชนิดอาจสร้างขึ้นจากทั้งแบบพลาสติกและเซรามิกขึ้นอยู่กับราคาและคุณสมบัติที่ต้องการ เนื่องจากแบบสะท้อนแสงจะต้องให้ลำแสงพุ่งเป็นลำสะท้อนกลับมายังตัวรับแสง ดังนั้นจึงควรจะใช้อุปกรณ์ชนิดมีเลนส์ด้วยเพื่อให้ผลดียิ่งขึ้น

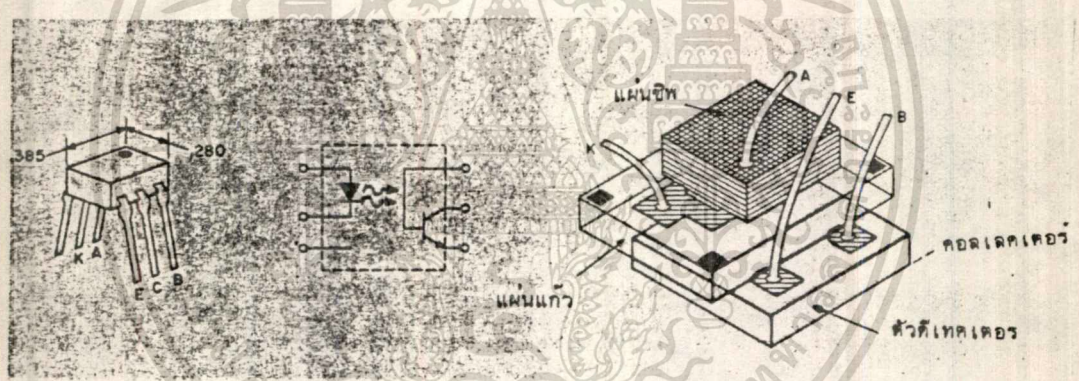


ตัวอย่างการใช้อุปกรณ์ตรวจสอบการตัดแสงและการสะท้อนแสงสำหรับวัดความเร็วของเพลลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเชื่อมต่อด้วยแสง

อุปกรณ์เชื่อมต่อด้วยแสงหรือเรียกว่า "ออฟไคโอโซเลเตอร์" เป็นอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ควันทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงจะคงที่อยู่ที่ในอุปกรณ์ ใช้เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นแสงและจากแสงไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยไม่มีสายต่อเชื่อมโยงต่อระหว่างวงจร แรงดันระหว่างอุปกรณ์สองข้างคือตัวปล่อยแสงและตัวรับแสงจะมากน้อยขึ้นกับระยะระหว่างตัวปล่อยแสงและตัวรับแสง ระยะยิ่งห่างกันมากแรงดันทั้งก็จะยิ่งสูงแต่ข้อเสียคืออัตราการส่งผ่านสัญญาณจะน้อยจึงต้องจัดระยะห่างให้ได้ดีที่สุด ในกรณีแบบขาสองแถวคู่จำนวนจะทนแรงดันที่ผิวระหว่างตัวอุปกรณ์ได้ถึง 5000 โวลท์



รูปที่ 4.27 อุปกรณ์การเชื่อมต่อด้วยแสง และสัญลักษณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นอุลตราโซนิก

ความหมายของคลื่นอุลตราโซนิก

อุลตราโซนิก (ULTRASONIC) หมายถึงคลื่นที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยินโดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์จะได้ยินในย่านความถี่ 20 Hz ถึง 20 KHz อุลตราโซนิกที่กล่าวถึงโดยทั่วไปจึงหมายถึงคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz ขึ้นไป

ชนิดของคลื่นอุลตราโซนิก

คลื่นอุลตราโซนิก ที่เดินทางผ่านตัวกลางต่างๆ มีหลายชนิดด้วยกัน แต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามการเคลื่อนที่ของอนุภาคในตัวกลางนั้น

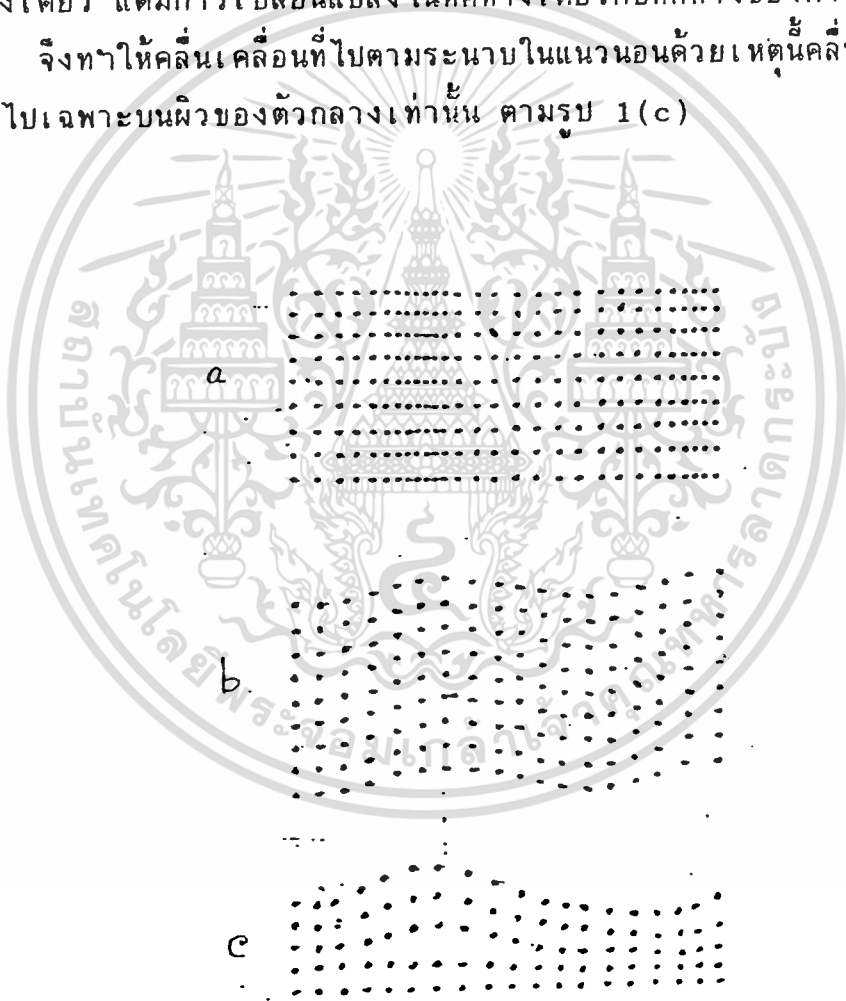
คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) คือคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งทุกๆ จุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ รูปที่ 1 (a) แสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเกิดขึ้นอย่างหนาแน่น และเบาบางสลับกันไป และจะเปลี่ยนแปลงไปเช่นนั้นในแต่ละปริมาตรของอนุภาค คลื่นความยาวนี้สามารถเดินทางผ่านของแข็ง ของเหลวและแก๊ส โดยมากถ้ากล่าวถึงความเร็วของคลื่นแล้วจะหมายถึงความเร็วของคลื่นตามยาว ในการพิจารณาคลื่นตามยาวที่เดินทางผ่านตัวกลางต่างได้นั้น ตัวกลางจะต้องมีขนาดใหญ่พอเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น

คลื่นตามขวาง (Transverse Wave) คือคลื่นที่ทุกๆ จุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ดังในรูปที่ 1 (b) คลื่นชนิดนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางที่มีขนาดของตัวกลางใหญ่กว่าขนาดของความยาวคลื่นและสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งคลิ่นของชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวและแก๊ส

คลื่นตามขวางมีลักษณะเสมือนการเกิดขั้วลบและขั้วบวก ซึ่งเป็นเหตุผลว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคเป็นไปเพียงทางเดียว เช่น ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ไป ต้นกำเนิดของคลื่นตามขวางเป็นพื้นที่หน้าเรียบของระนาบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคอันเนื่องจากการแกว่ง

ความหนาแน่นของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลงโดยการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบตามขวาง ความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดความยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกัน ความยาวคลื่นของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ

คลื่นผิวหน้า (Surface Waves or Rayleigh) คือคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวาง จะต่างกันตรงที่ว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคไม่เป็นเพียงในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางของการเคลื่อนที่เพียงอย่างเดียว แต่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับทิศทางของการเคลื่อนที่ด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามระนาบในแนวอนด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะบนผิวของตัวกลางเท่านั้น ตามรูป 1(c)



รูปที่ 1 แสดงการสั่นของอนุภาคระหว่างการเคลื่อนที่ของคลื่น

- (a) การเคลื่อนที่ของคลื่นตามยาว
- (b) การเคลื่อนที่ของคลื่นตามขวาง
- (c) การเคลื่อนที่ของคลื่นผิวหน้า

การเกิดอูลตราโซนิก

อูลตราโซนิกเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมาหรือเกิดจากการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล ทำให้เกิดคลื่นย่านอูลตราโซนิกกระจายออกไปในอากาศ ดังนั้นจึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล (mechanical wave) อูลตราโซนิกสามารถสร้างได้โดยตัวทรานสดิวเซอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล หลักการสร้างมีหลายวิธีดังนี้

1. แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง

2. แบบแมกนีโตสตริกทีฟ (Magnetostrictive transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่

3. แบบอิเล็กโตรสตริกทีฟ (Electrostrictive transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล

สำหรับแบบเพียโซอิเล็กทริกเป็นแบบที่นิยมใช้เพราะมีราคาถูกหาซื้อง่ายรายละเอียดของเพียโซอิเล็กทริกจะกล่าวถึงในภายหลัง

ความถี่และความยาวคลื่น (Frequency and Wavelength)

ความถี่ คือ จำนวนของการออสซิลเลตที่สมบูรณ์จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาที คลื่นที่ถูกส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่ที่เดียวกัน เช่น อัตราการสั่นของสายไวโอลินที่มีความถี่ 440 Hz มันก็จะมีความถี่เดียวกันกับคลื่นที่ถูกส่งและรับได้จากผู้ฟัง

ความยาวคลื่น คือระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างแต่ละการสั่น

ที่สมบูรณ์หรือการเดินทางครบรอบ (1 cycle) สามารถกล่าวได้ว่าความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง

(successive compressions) หรือการเบาบางของอากาศ (rarefactions) การอัดคือการที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุล และแรงดันมากกว่าบริเวณรอบๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของบรรยากาศปกติ รูปที่ 2 แสดงรูปแบบของการอัดและการเบาบางรอบๆ แหล่งกำเนิดและแสดง ความยาวคลื่นที่เกิดขึ้น



Figure 2 Pattern of compressions and rarefactions surrounding a point source. The distance between successive compressions and rarefactions characterizes the wavelength, λ .

ความถี่และความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์ตามสมการข้างล่าง

$$c = f \cdot \lambda \quad (1)$$

c = ความเร็วของการเดินทาง (m/s)

f = ความถี่ (Hz)

λ = ความยาวคลื่น (m)

ในอากาศที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเร็วของคลื่นประมาณ 334 m/s ดังนั้นช่วงความถี่ของคลื่นเสียงระหว่าง 20 ถึง 20 KHz ความยาวคลื่นจะอยู่ระหว่างประมาณ 17 m ถึง 1.7 m ข้อจำกัดของความยาวคลื่นสั้นในอากาศ (อัลตราโซนิก) ถูกตรวจสอบโดยทางเดินที่เป็นอิสระระหว่างโมเลกุลอากาศประมาณ 10^{-5} cm

ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นที่เดินทางในตัวกลางที่แตกต่างกันด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน และขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย ทั้งหมดนี้เป็นสาเหตุแรกสำหรับการโค้งตัวของคลื่นในบรรยากาศสำหรับทฤษฎีที่แสดงสำหรับความเร็วของคลื่น (c) ในแก๊สอุดมคติ (ideal gas) จะเป็นดังนี้

$$c = \sqrt{\frac{p}{\rho}} \quad (2)$$

โดย p = แรงดันที่ล้อมรอบ (ambient pressure)

= ความหนาแน่นของแก๊ส (gas density)

= อัตราส่วนของความร้อนของแก๊สที่แรงดันคงที่ต่อ

ความร้อนที่ปริมาตรคงที่

เนื่องจากในอากาศประกอบด้วยโมเลกุลอะตอมคู่เป็นพื้นฐาน ดังนั้นค่า

= 1.40 ความเร็วของคลื่นในอากาศจะเป็นดังสมการ

$$c = \sqrt{1.4P/\rho} \quad (3)$$

ถ้าแทนค่าของ P และ ρ สำหรับในอากาศภายใต้เงื่อนไขที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสจะหาความเร็วได้ดังนี้

$$c = \sqrt{(1.4)(1.013 \times 10^5 \text{ dynes/cm}^2) / (1.293 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3) \times (1 \text{ g cm/sec}^2) / (\text{dyne})}$$

$$= 330 \text{ m/s}$$

สำหรับสมการของสถานะของอากาศของแก๊สในอุดมคติ
 ($p_v = r t$) และค่านิยามของความหนาแน่น สมการ 2' อาจเขียนได้ดังนี้

$$c = \frac{RT}{M} \quad (4)$$

R = ค่าคงที่ของแก๊ส

T = ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์

M = น้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส

จากสมการนี้ความเร็วของคลื่นในแก๊สอุดมคติจะขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สกับอุณหภูมิและเป็นอิสระจากการเปลี่ยนแปลงในแรงดัน ดังนั้นความเร็วของคลื่นที่ยอดเขาควรจะเหมือนกับที่เชิงเขาถ้าอุณหภูมิเหมือนกัน ในทางปฏิบัตินี้ที่กล่าวมาจะเป็นจริงสำหรับสมการที่ 2 ค่า P และจะลดลงเมื่อความสูงเหนือจากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น และผลของความกดดันทางบรรยากาศจะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อความเร็ว

ความเร็วที่ยอมรับของคลื่นในอากาศที่อุณหภูมิปกติ ความสัมพันธ์ที่ใช้จะเป็นดังสมการ

$$c = 331.45 + 0.607t \text{ m/s}$$

$$c = 1052.03 + 1.106f \text{ ft/s} \quad (5)$$

โดย t = อุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส

f = อุณหภูมิในหน่วยองศาฟาเรนไฮต์

สำหรับอุณหภูมิที่แตกต่างมากกว่า 20 องศาเซลเซียสเพื่อให้การคำนวณมีความแม่นยำสามารถใช้สมการดังนี้

$$c = 331.45 \sqrt{T/273} \text{ m/s} \quad (6)$$

T = อุณหภูมิในหน่วยองศาฟาเรนไฮต์

ความเร็วของคลื่นในแก๊สต่างๆ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสแสดงในตาราง

GAS	VELOCITY (M/S)
AIR (DRY 0 องศาเซลเซียส)	331.45
ARGON	319
CARBON MONOXIDE	338.
CARBON DIOXIDE	259
HELIUM	965
HYDROGEN	1284
METHANE	430
NEON	435
NITROGEN	334
OXYGEN	316
STREAM (134 องศาเซลเซียส)	494

ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก

ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิกจะถูกวัดในรูปความเข้มของคลื่นอัลตราโซนิกซึ่งจะมีหน่วยเป็น วัตต์ ต่อ ตารางเซนติเมตร (W/cm^2) เป็นการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นใน 1 วินาที

การลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิก (Attenuation)

เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางลำคลื่น (Beam) ของคลื่นอัลตราโซนิกจะสูญเสียความเข้ม ซึ่งเกิดจากการลู่ออกของลำคลื่นอัลตราโซนิก หรือเกิดจากการกระจายพลังงานของคลื่นออกจากลำคลื่น เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องในตัวกลาง และอาจเกิดจากการดูดซับพลังงานส่วนหนึ่งของคลื่นโดยตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านพลังงานที่สูญเสียจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน การสูญเสียพลังงานขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ ความยืดหยุ่นและความหนาแน่น รวมทั้งความถี่ของคลื่นที่ใช้ ยิ่งความถี่สูงพลังงานยิ่งจะถูกดูดซับมาก

การแยกแยะ (Resolution)

การแยกแยะของการส่งระบบพัลส์คลื่นสะท้อน สามารถถูกใช้เป็นตัวกำหนดความสามารถของระบบที่แยกความแตกต่างระหว่างตัวสะท้อน 2 ตัวที่อยู่ใกล้กัน การแยกแยะที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด

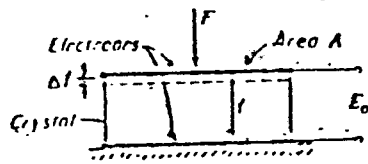
1. การแยกแยะทางด้านข้าง เป็นความสามารถในการแยกความแตกต่างของเป้า 2 อัน ซึ่งวางตั้งฉากกับทิศทางของลำคลื่น และขึ้นอยู่กับความกว้างของลำคลื่นอนุพัลส์

2. การแยกแยะตามแนวแกนของลำคลื่น เป็นการวัดความสามารถในการแยกความแตกต่างของเป้า 2 อันตามแนวแกนของลำคลื่น ซึ่งถูกกำหนดโดยความยาวของพัลส์สะท้อนของอนุพัลส์จากเป้าเล็กกว่าในทางอ้อมคิด พัลส์จะต้องสั้น เพราะถ้ายาวเกินไปพัลส์คลื่นสะท้อนจากเป้าที่ระยะมากกว่า จะมาถึงตัวรับก่อนที่คลื่นอันแรกจะหมดไปซึ่งจะทำให้คลื่นสะท้อนทั้งสองซ้อนกัน

ทรานสดิวเซอร์ ที่ใช้ในงานเกี่ยวกับอนุพัลส์

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

เพียโซอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่ง ไปเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือ ถ้าบ่อนแรงกลให้แก่ solid crystalline dielectric ดังในรูปที่ 3 ก็ จะเกิดความเค้น (stress) ภายในคริสตัลและทำให้ crystal lattice ผิดรูปไปเช่น พวควอทซ์ (Quartz) ผลก็คือ (Displacement) ของประจุบวกและลบในแนวทิศเปลี่ยนไป การแทนที่ของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงกันข้ามบนด้านตรงกันข้ามของคริสตัล เรียกว่า ผลของเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric effect)



ผลของเพียโซอิเล็กทริก

การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด (electrode) เข้าที่ผิวด้านนอกแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง ขนาด (magnitude) และการมีขั้ว (polarity) ของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (induced surface charge) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดและทิศทาง (direction) ของแรง (f) ที่มากระทำ

$$Q = df \quad \text{คูลอมป์} \quad (7)$$

d คือค่าคงที่ของเพียโซอิเล็กทริกของคริสตอล ดูจากตารางที่ 2

f เป็นแรงที่ทำให้คริสตอลสั้นตัวไปมา เป็นระยะทาง t ประจุเหนี่ยวนำเขียนในเทอมของระยะ t คือ

$$Q = daY \frac{t}{t} \quad (8)$$

a คือ พื้นที่ของคริสตอล (m^2)

t คือ ความหนาของคริสตอล (m)

Y คือ ค่ายังส์โมดูลัส (Young's modulus) (n/m^2)

สามารถเขียนสมการใหม่ได้ว่า

$$Y = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}}$$

$$= \frac{\text{stress}}{\text{strain}}$$

$$= \frac{Ft}{a \ t}$$

$$(9)$$

ประจุที่อิเล็กโทรด จะทำให้เกิดโวลเตจเพิ่มขึ้นโดยสมการ

$$E_0 = Q/C \quad (10)$$

C เป็นค่าคาปาซิแตนซ์ระหว่างอิเล็กโทรด (Farad) และ

$$C = a/t \quad (11)$$

= ค่าสัมบูรณ์ของการซึมซาบ (absolute permittivity)

ดังนั้น เอาท์พุทโวลเตจ จะเป็น

$$E_0 = dtF/Ea = gtF/a = gtP \quad (12)$$

g คือความไวของโวลเตจ (Voltage sensitivity)

ในหน่วย (volt/m)/(newton/m²)

$$\text{โดย } g = d/p \quad (13)$$

p คือ แรงกดดันที่กระทำต่อคริสตอลเปียโซอิเล็กทริก

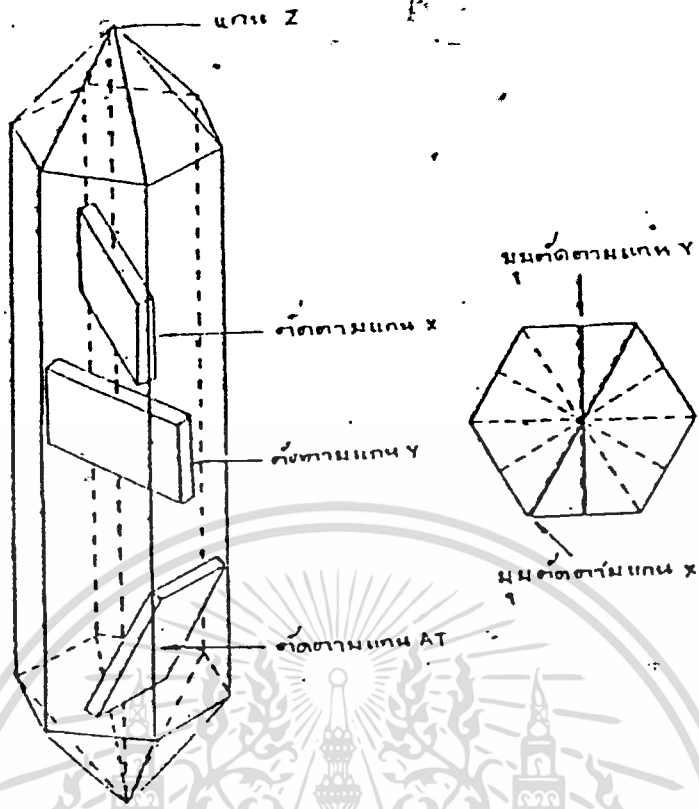
$$\text{โดย } p = F/a \quad (14)$$

ชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric element) จะมีการตัดแบบต่างๆ เพื่อผลทางสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิซึ่งการตัดก็ถือวิธีตัดตามแกนต่างๆ ดังรูปที่ 4

วัสดุเปียโซอิเล็กทริกที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น Quartz, Tourmaline Rochelle salt, Ammonium Dihydrogen Phosphate (ADP), Lithium Sulphate, Barium Titanate และ Lead Zirconate Titanate (PZT) โดยทั่วไปแล้วพวกควอตซ์และคริสตอลที่เป็นเปียโซอิเล็กทริกธรรมชาติ มันจะมีขั้วของมันเองตามธรรมชาติแต่พวกวัสดุเปียโซอิเล็กทริกที่สังเคราะห์ขึ้นมา เช่นแบเรียม ไททาเนต เซรามิค จะต้องนำมาทำการอบคริสตอลภายใต้แรงดันและวางวัสดุที่ได้นี้ในสนามไฟฟ้าที่มีความแรงของ DC มากหลังจากชิ้นส่วนนี้ถูกนำไปในสนามไฟฟ้าแล้ว คริสตอลนี้จะมีขั้วตามแนวของทิศทางของสนามและประพฤติตัวตามคุณสมบัติของเปียโซอิเล็กทริก สำหรับชิ้นส่วนวัสดุที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์นั้นไม่มีข้อจำกัดทางขนาดโดยโครงสร้างของคริสตอล และยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่างๆ และทิศทางของขั้วก็จะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงวงลิกควอartz และการตัด

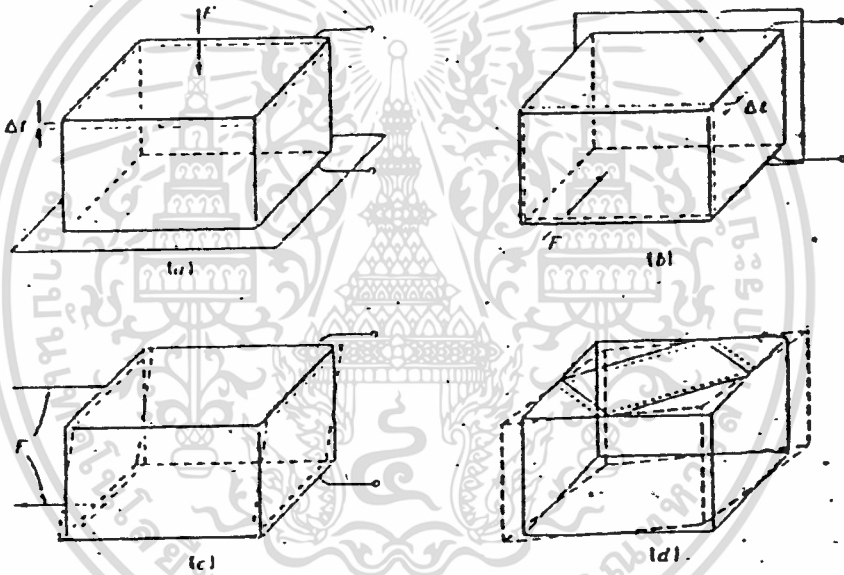
Table 1 Piezoelectric Constants

Material	Orientation	Charge sensitivity d , coulomb/m ² newton/m ²	Voltage sensitivity g , volt/m newton/m ²
Quartz	X cut; length along Y length longitudinal	2.25×10^{-12}	0.055
	X cut; thickness longitudinal	-2.04	-0.050
	Y cut; thickness shear	4.4	0.108
Rochelle salt	X cut 45°; length longitudinal	735	0.098
	Y cut 45°; length longitudinal	-78.4	-0.29
Ammonium dihydrogen phosphate	Z cut 0°; face shear	48	0.354
	Z cut 45°; length longitudinal	24	0.177
Commercial barium titanate ceramics	n to polarization	130 to 160	0.0100
	1 to polarization	-56	0.0042 to 0.0053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในเชิงวิชาการ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

ลักษณะการปฏิบัติตัวของเบี่ยงโซอิเล็กทริก (Mode of operation)

2.2.1 ซิมเปิลเพลท (Simple plate) เป็นเบี่ยงโซอิเล็กทริก
ชั้นเดียว โดยมีแรงมากระทำกับเพลท ในทิศทางต่างๆกันทำให้เกิดการยุบตัว
หรือเปลี่ยนแปลงรูปไปดังในรูปที่ 5



การเปลี่ยนทิศทางของอันแล้วเบี่ยงโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mutiple arrangment (stacks)

สามารถนำเอาชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริกมาต่อกันในลักษณะ compression-expansion made ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยการนำเอาชิ้นส่วนมาต่อกันก็จะได้ เอาท์พุทโวลเตจ ออกมาสูงที่แรงกดคันอันเดียวกันหรือถ้าเอามาต่อขนานกันก็จะได้ เอาท์พุทอิมพีแดนท์ ต่ำกว่าชิ้นส่วนตัวเดียว สามารถแบ่งลักษณะต่างๆได้ดังนี้

(a) Bimorphs, Benders ได้แสดงในรูปที่ 7 ประกอบด้วย transverse expomding plate 2 อันติดกันไว้อย่างแน่นหนา เมื่อบ้นแรงดันให้แก่มันก็จะเกิดการโค้งงอ ซึ่งถ้าใช้เป็นคริสตอล การโค้งจะเป็นในรูปที่ 7 (a) และถ้าใช้เปียโซอิเล็กทริกจะเป็นในรูปที่ 7 (b)

การโค้งงอของชิ้นส่วน เป็นเหตุให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดได้เช่นในรูปที่ 7 (c) ติดตั้งชิ้นส่วนไว้บนขาตั้งที่อยู่กับที่มีแรง F มากกระทำที่ตรงกลางในรูปที่ 7 (d) ติดตั้งในลักษณะเป็นเท้าแขน ระบบนี้เป็นที่ใช้บ่อยใน phonograph pickup cartridye

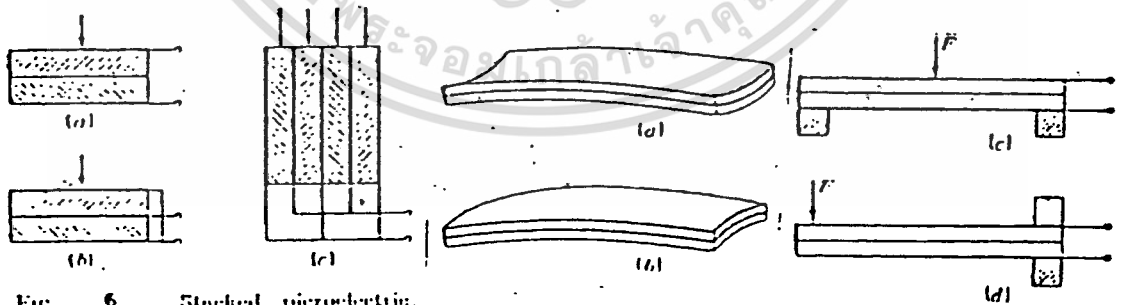
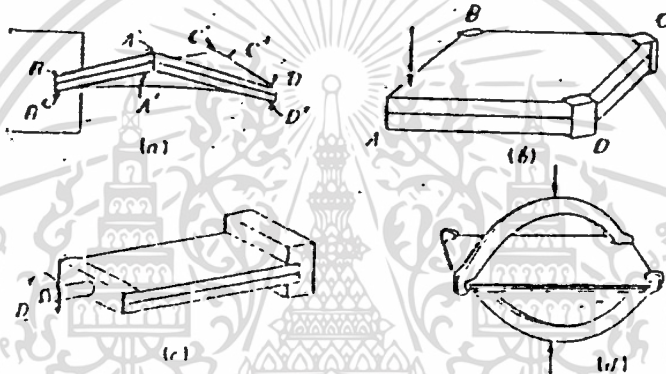


FIG. 6 Stacked piezoelectric crystals: (a) series connections; (b) and (c) parallel connections.

การต่อในลักษณะต่างๆของชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

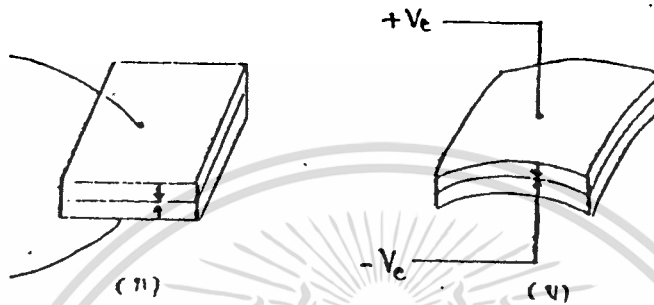
(b) Twisters ในรูปที่ 8 แสดง face-shear plate 2 อันวางประกบกันอย่างหนาแน่น ถ้าจ่ายแรงเคลื่อนให้เพลททั้งสอง มันจะเคลื่อนไหวโดยอิสระการแผ่ขยายตัวจะมีมาก การขยายตัวก็จะเป็นไปในแนวเส้นทะแยงมุม AC โดยที่ A'C' ขยายตัวทำนองเดียวกันกับเส้นทะแยงมุม BD ประกบกันอยู่



แสดง face-shear plate 2 อันก๊ววประกบกัน

สำหรับในปัจจุบันวัสดุเปียโซอิเล็กทริกที่นำมาใช้เป็นทรานสดิวเซอร์ ได้แก่ เซรามิคคริสตอลชนิดแบเรียม ไททาเนต เซรามิค โดยใช้เป็นตัวกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิกที่มีความถี่อยู่ในย่าน 20-50 KHz รูปร่างทางเรขาคณิต (geometry) ของมันจะเป็นตัวควบคุมความถี่ของอุลตราโซนิกที่ถูกสร้างขึ้น สำหรับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้จะประกอบด้วย ชั้นสารเซรามิคสี่เหลี่ยมซึ่งมีผิวโลหะเงินฉาบอยู่ทั้งสองหน้า เพื่อให้สามารถต่อสายไฟมาเป็นขาสองขา ชั้นสารนี้ซึ่งประกอบจากสารเซรามิคสองชั้นประกบกันอยู่ โดยวางให้

โคโพลไฟฟ้าภายในอะตอมของมันเป็นทิศทางตรงกันข้ามโดยแสดงเป็นลูกศร
ในรูปที่ 9



ก) โครงสร้างภายในอลูตราโซนิคทรานส์ดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก
ที่ใช้สารเซราม

ข) เมื่อป้อนแรงดันให้แก่ตัวมันจะทำให้ชั้นสารโคงตัวไปมาทำให้เกิดคลื่น
อลูตราโซนิค

ชั้นส่วนเซรามิคจะถูกยึดติดภายในตัวถังอย่างดีเพื่อไม่ให้เกิดการสั่น

ขณะทำงานอยู่ได้รับผลกระทบกระเทือนจากภายนอก ตัวถังมักจะเป็นรูปทรง
กระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงประมาณ 1-2.5 ซม. ด้านหน้าทำ
เป็นช่องเปิดมีตะแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอลูตราโซนิคเข้ามาหรือออกจากช่อง
เปิดได้สะดวก ถ้าตัวถังทำมาจากโลหะก็ควรจะต้องตัวถังลงกราวด์เพื่อทำ
หน้าที่ชิลด์

ตารางคุณสมบัติของเปียโซอิเล็กทริก (properties of piezoelectric materials)

Physical property	Units	Quartz (x-out)	Lithium sulfate	Barium titanate
Density	10^3 Kg/m^3	2.65	2.06	5.5
Velocity	10^3 m/s	5.45	5.44	4.49
Acoustic Impedance	$10^6 \text{ Kg/m}^2 \text{ s}$	14.4	11.2	24.7
Young's Modulus	10^{10} N/m^2	7.9	6.1	11.1
Dielectric Constant	relative to vacuum	4.57	10.3	1250
Piezoelectric Constant	10^{-12} m/v	2.25	16	145
Mechanical Quality Factor	-	10^6	-	450
Curie Temperature	C	575	75	115

ชนิดของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์
 เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ
 1 แบบ generation-action transducer ใช้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวรับโดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะหาได้จากแรงดันและความถี่ที่มากระทำต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริก

2 แบบ motor-action transducer ใช้เป็นตัวส่งโดยการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างที่ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิกจะขึ้นอยู่กับขนาดความถี่และความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ในทั้ง 2 กรณีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของวัสดุ

การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

เมื่อเซรามิกได้รับสัญญาณแรงดันมาตกคร่อม จะทำให้ชั้นสารเซรามิกโก่งงอทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นขึ้นมา ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วงๆ (electrically pulse) จากออสซิลเลเตอร์ก็จะทำให้ชั้นสารโก่งงอมากน้อยหรือทิศทางใดตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณไฟฟ้าจากออสซิลเลเตอร์นั้นออกไป โดยทั่วไปกำลังเอาต์พุตที่ออกมาจะตกลงประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่เอาต์พุตจะสูงที่ค่านี้โดยประมาณก็คือ เมื่อความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชั้นสารเซรามิกนั้นส่วนที่ความถี่อื่นากำลังเอาต์พุตจะลดลงกว่านี้

ส่วนการทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวรับ มีการทำงานตรงกันข้ามกับตัวส่งคือ เมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนท์ของชั้นสารเซรามิกเข้ามา จะทำให้ชั้นสารโก่งตัวไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขึ้นซึ่งมีขนาดเล็ก ขึ้นคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมัน

คุณสมบัติโดยทั่วไป ของคลื่นอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกก็คือ มีความต้านทานไฟตรงสูงมากอาจสูงถึง 100 M เรียกว่าถ้าเอามัลติมิเตอร์ธรรมดามาตั้งสเกลวัดค่าความต้านทานสูงๆ เข็มจะไม่กระดิกเลย แต่ในขณะที่มันทำงานความต้านทานไฟสลับจะลดลง

ข้อควรระวังในการใช้งานตัวส่งและตัวรับพอที่จะสรุปเป็นแนวทางใช้งานดังนี้

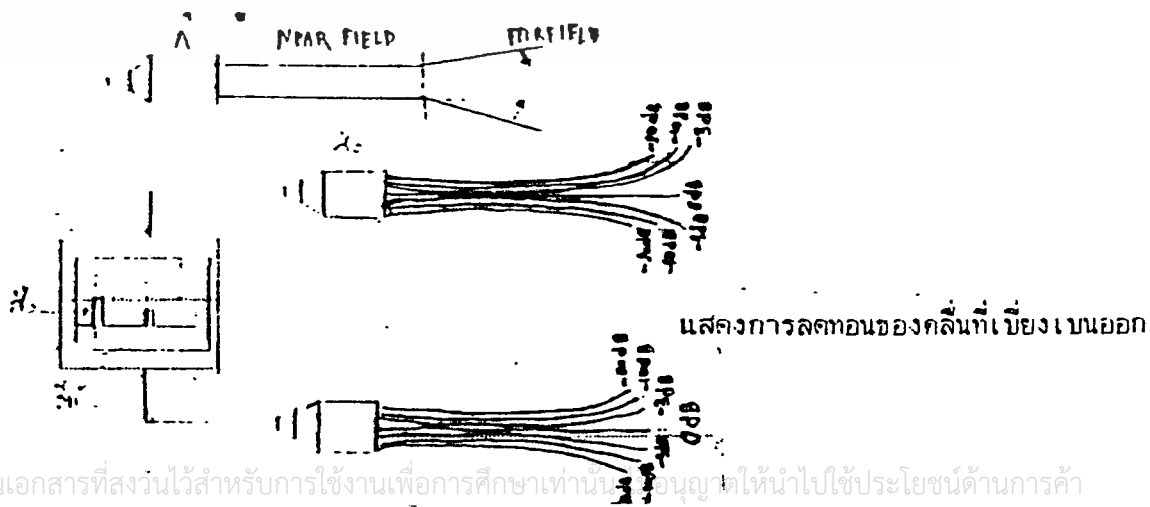
- 1 ไม่ควรให้ตัวทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระแทกหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เสียหาย

2 ทรานส์ควิเซอร์ที่มีขายกันโดยทั่วไปจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมัน
 สูงสุดได้ไม่เกิน 20 vrms ดังนั้นขนาดของสวิตช์ที่จะบ่อนให้กับตัว
 ทรานส์ควิเซอร์ ก็ควรอยู่ภายในขีดจำกัดอันนี้

3 ความถี่เรโซแนนท์(ความถี่ที่ตัวมันทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ
 สูงสุดของทรานส์ควิเซอร์ 40 KHz ที่มีขายกันโดยทั่วไปจะผิดพลาดไปไม่
 เกิน +1KHz และมีแถบความถี่ประมาณ 4.5 KHz (bandwidth) สำหรับ
 ตัวส่ง และมีแถบความถี่ประมาณ 5.0 KHz สำหรับตัวรับจะเห็นได้ว่าแถบ
 ความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าของตัวส่งเล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะ
 สามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้

4 อุดหมุมใช้งานของตัวทรานส์ควิเซอร์ควรอยู่ภายในช่วง -20
 ถึง 60 องศาเซลเซียส

5 ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางการคล้ายคลึงกันมากกล่าวคือ ที่
 ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของ
 คลื่นเสียงที่ตกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 10 dB
 ในทางองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของ
 ตัวรับไปประมาณ 30 องศา ความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมาก็ลดลงไป
 ประมาณ 10 dB ด้วยเช่นกันดังนั้นการใช้งานที่เป็นการควบคุมระยะไกลในที่
 ว่างแจ้งจึงควรพยายามให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงเข้าหากันให้
 มากที่สุด อย่างไรก็ตามในกรณีที่อยู่ในห้องอาจจะเบี่ยงเบนจากกันได้มาก
 เพราะคลื่นเสียงอัลตราโซนิคสามารถสะท้อนกับกำแพงและวัตถุที่อยู่ภายในห้อง
 ทำให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทาง



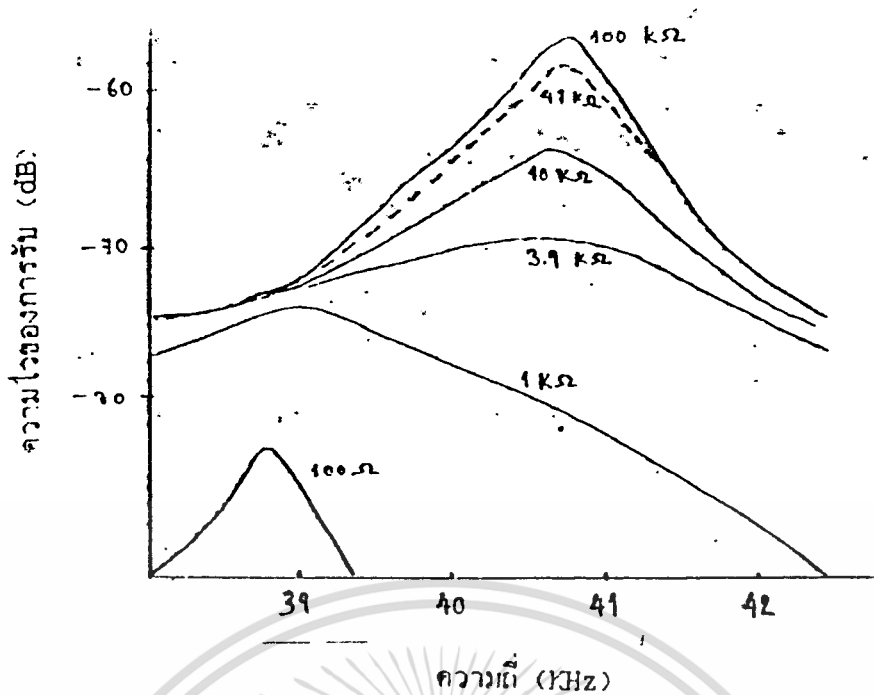
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อูลตราโซนิกนี้สามารถทำให้เป็นลานแคบได้โดยใช้เลนส์ที่เรียกว่า plano-concave lens วางข้างหน้าของทรานส์ดิวเซอร์ แต่การทำให้เป็นลานแคบ(Beam) นี้จะทำให้ near field สั้นลงและ far field กระจายกว้างขึ้น การทำให้เป็นลาคลื่นเหมาะสำหรับการใช้ทรานส์ดิวเซอร์ที่สร้างคลื่นที่มีความถี่สูงที่เหมาะสมสำหรับใช้ในทางแพทย์ (Ultrasound) ที่มีความถี่ตั้งแต่ 2-5 MHz เพื่อใช้ตรวจวินิจฉัยเนื้อเยื่อมีลักษณะการส่งเป็นลานแคบดังรูปที่ 10



แสดงลักษณะการเป็นลาของคลื่น

6 ในกรณีที่ใช้งานตัวรับจะต้องมีตัวต้านทานต่อขานกับตัวรับเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด ตามปกติแล้วตัวต้านทานนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วง 10 K ถึง 100 K จากการทดลองพบว่าถ้าเปลี่ยนโหลดจาก 100 K มาเป็น 10 K ความไวจะลดลงประมาณ 10 ถึง 12 dB แต่แถบความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ค่าความต้านทานต่ำลงไปอีก ความถี่เรโซแนนท์ (ความถี่กลาง) จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหลดที่มีความต้านทานสูงสักหน่อย เพื่อให้ตัวส่งมีความไวสูงและมีแถบความถี่แคบตัวอย่าง การทดลองแสดงในรูปที่ 11



แสดงค่าความถี่ที่มีผลต่อความไวของการรับที่ค่าความต้านทานต่างๆ

7 ตามปกติแล้วเราสามารถนำเอาตัวส่งและตัวรับมาใช้งานแทนกันได้ในการใช้งานส่วนใหญ่ และตัวส่งหรือตัวรับของยี่ห้อใด รุ่นใดก็สามารถใช้แทนกันได้ ในงานส่วนใหญ่ ขอเพียงแต่ให้มีความถี่เรโซแนนท์เดียวกันเท่านั้นเอง อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจต้องเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสมมูลทางด้านไฟฟ้าสลับเพื่อให้ลักษณะผลตอบสนองทางความถี่สอดคล้องกับของเดิม

8 ประโยชน์การใช้งานของคลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้สามารถเล็งคลื่นไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลงถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ทำให้เสียงนั้นออกมา) ของตัวที่ทำให้กำเนิดเสียงความถี่นั้นเช่นคลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศ จะมีความยาวคลื่นถึงประมาณ 1 เมตรเศษๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องเปิดที่ทำให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะหักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงที่ทำให้เกิดการกระจายทิศทางของคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอัลตราโซนิก อย่างเช่น 40 KHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียง 8 ม.ม. เท่านั้น ซึ่งเล็กกว่าตัวที่ทำให้กำเนิดเสียงความถี่นั้นมาก ๆ คลื่นเสียงจะไม่มีอาการเลี้ยวเบนที่ขอบ จึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบๆ หรือที่เรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่ามีทิศทางนั่นเอง การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกทำให้เราสามารถนำไปใช้งานได้หลายอย่างเช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยส่งเกตุระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา เครื่องวัดความลึกและหาแผนที่ใต้ท้องทะเล ใช้ในเครื่องหาตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกาย ใช้ทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นกับการใช้งานเช่น ถ้าคลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้วความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 KHz เพราะที่ความถี่สูงขึ้นไปกว่านี้อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงได้เพิ่มมากขึ้น ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะทางออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้นๆอาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz (10^9 Hz) ก็มีใช้กันหลาย ๆ การใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่อากาศ

วงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ .

C_c = คาปาซิแตนซ์ ของชั้นส่วนเปียโซอิเล็กทริก
 R_c = leakage resistance ของเปียโซอิเล็กทริก
 ปกติจะมีค่าสูงประมาณ $10^6 - 10^{10}$ ความต้านทานระหว่าง
 เทอร์มินอลโดยทั่วไปจะเป็นไปตามความต้านทานไหล R_1 (ในช่วง $10^6 - 10^7$)

C_1 = คาปาซิแตนซ์ของ subsequent stage
 (load) รวมกับ connecting cable
 ที่ความถี่ปานกลางและความถี่สูง โวลเตจ E_0 ที่คร่อม
 ไหลด หาได้โดย C_c และ C_1 ค่าเหล่านี้มาได้โดยการใช้การแบ่งโวลเตจ
 โดยโวลเตจ E_0 ได้มาจากสมการ

$$E_0 = EC_c / C_c + C_1 \quad (15)$$

โดยขึ้นกับความถี่ ถ้าเอาที่พหุโวลเตจมีค่ามากสามารถ
 ทำให้ลดลงได้โดยการเพิ่มค่า C_1 เช่นการนำค่า C_0 ต่อขนานเข้าไปที่
 ความถี่ต่ำโวลเตจ E_0 คร่อมโหลดหาได้โดยคาร์แอกแตนซ์ของ C_0 และ
 อิมพีแดนซ์ ของ C_1 และ R_1 ที่ต่อขนานกัน โวลเตจ E_0 ขึ้นกับความถี่และ
 จะลดลงถ้าความถี่ลดลง การตอบสนองความถี่ต่ำสามารถปรับปรุงได้โดย
 การใช้ทรานส์ดิวเซอร์ที่มีค่าคาปาซิแตนซ์สูงหรือโดยการเพิ่มความต้านทาน
 ไหลด R_1

ประตูดนตรี

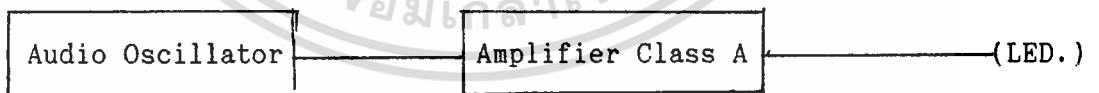
หลักการทํางาน

การทํางานของประตูดนตรีที่ได้ออกแบบนี้จะสามารถแบ่งการทํางานของส่วนต่าง ๆ ได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. ภาคที่ทำการส่งสัญญาณ (Transmitter)
2. ภาคที่ทำการรับสัญญาณ (Receiver)

ซึ่งการทํางานของทั้งสองภาคจะมีดังนี้

Transmitter



การทํางานของส่วนนี้จะประกอบด้วย

- ส่วนที่ทำหน้าที่ผลิตคลื่นวิทยุ (Audio Oscillator)
- ส่วนที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ (Amplifier Class A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ในส่วนที่ทำหน้าที่ผลิตคลื่นวิทยุ จะใช้วงจร Monostable
Nonretrigable หรือ

วงจรรอเสถียรในการผลิตคลื่นวิทยุ โดยจะใช้ IC 555 และสัญญาณที่ได้
จากส่วนนี้จะยังคงมีกำลังที่ต่ำมากยังไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งเราจะ
ต้องนำสัญญาณนี้ไปผ่านวงจรขยาย โดยที่ในส่วนของวงจรขยายจะเป็นวงจร
ขยายชนิด Class A เมื่อสัญญาณที่ผ่านส่วนนี้จะมีกำลังมากพอที่จะถูกนำไป
ใช้งานและจะถูกส่งต่อที่ LED. ชนิดที่ทำหน้าที่ให้แสงอยู่ในช่วงของ Infrared
Band (LED. ที่จะนำมาใช้นี้จะต้องมีความถี่ Input ตรงกันกับความถี่ที่ได้จาก
วงจรรอเสถียร)

ตัว LED. นี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณที่เป็น Pulse ทางไฟฟ้าที่ได้รับ
จาก Oscillator เป็น Pulse ของรังสี Infrared ซึ่งคล้ายคลึงกับ LED
ใน Clock Display (แตกต่างกันเพียง Output ที่ได้อยู่ในช่วง Infrared)

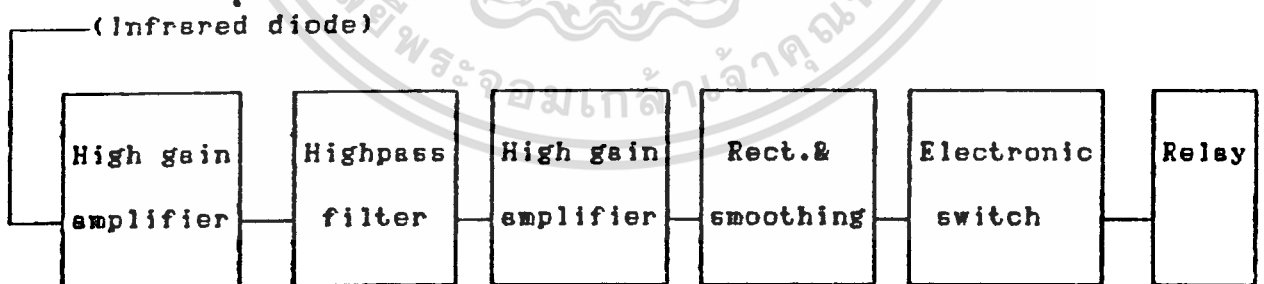
Receiver

Photo Cell ที่ Receiver คือ Photo Diode ซึ่งถูกออกแบบมาให้
ใช้กับระบบ Remote Control โดยเฉพาะ และจะมีช่วงตอบสนองที่ Match
กันกับความยาวคลื่นที่เป็น Output ของ LED. จาก Transmitter ซึ่งถ้า
Photo Cell นี้มีขนาดพื้นที่กว้างมันจะให้ Sensitivity ที่ดี อย่างน้อย
ที่สุดมันจะให้ Sensitivity ที่ดีเทียบเท่ากับมาตรฐานทั่วไป
สัญญาณที่ออกจาก Photo Cell นี้จะมีระดับค่อนข้างต่ำ ซึ่งมันจะถูก

Amplify หรือขยายอย่างมากโดย High Gain Amplifier 2 ตัว เพื่อที่จะทำให้มีกำลังมากพอที่จะไป Drive Relay .ให้ทำงานได้ ซึ่งสัญญาณที่ถูกขยายยังคงเป็นแบบของ Pulse อยู่ ภายใต้สภาวะแวดล้อมโดยทั่วไปนั้น ระดับของ Infrared Noise จะไม่เป็นปัญหา เนื่องจากสัญญาณ Infrared ที่คงที่จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกับระบบแต่สัญญาณที่มาจาก Transmitter จะถูก Modulate Amplitude ซึ่งจะรบกวนระบบโดยการรับของ Receiver ในขณะที่ทำงานซึ่งตัวอย่างเช่น สัญญาณ 100Hz Modulate จะเกิดจากหลอดไฟแบบมีไส้ ซึ่งความถี่ของมันต่ำกว่าความถี่ที่ได้จาก Transmitter มาก เราอาจจะใช้ High Pass Filter อย่างง่ายที่จะใช้ในการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก Photo Diode ที่ตรวจจับได้

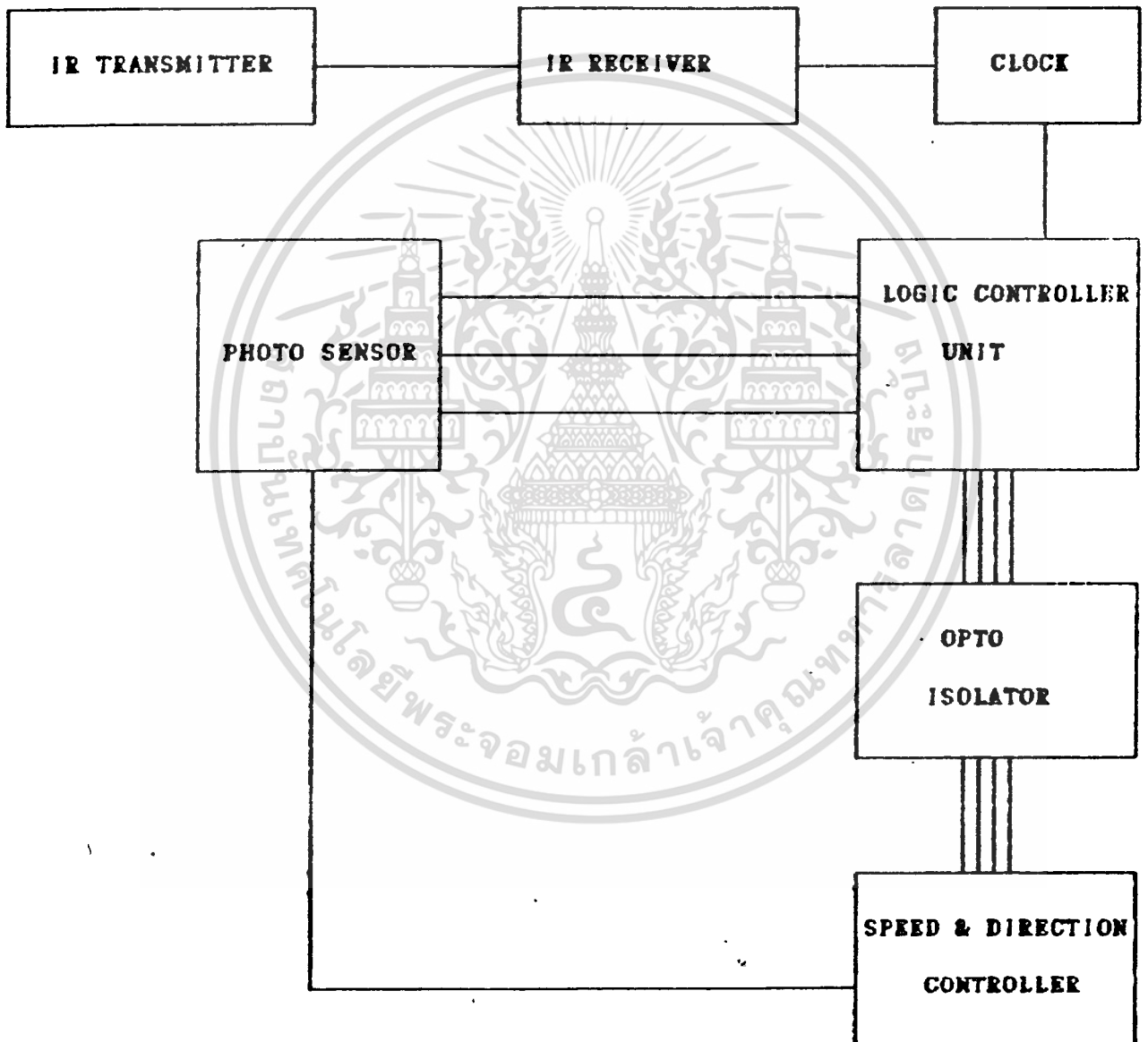
Output จาก High Gain Amplifier ตัวที่สองจะถูกป้อนให้กับวงจร Rectifier และ Smoothing นั่นคือ Output จากส่วน Rectifier Circuit จะเป็นอนุกรมของ Pulse ที่เป็นบวกและจะถูกส่งต่อไปให้กับ Smoothing Circuit เพื่อทำให้เกิดสัญญาณ D.C. ที่เป็นบวกเพื่อที่จะใช้กับ Relay

Relay นี้จะถูกควบคุมโดยผ่านทาง Electronic Switch โดยสัญญาณ D.C. ที่ถูก Amplify ซึ่ง Relay ที่ใช้นี้จะต้องมี Coil Voltage ที่เหมาะสมและเราจะใช้ Relay ในการ On-Off ทำให้เกิดสัญญาณที่จะนำไปใช้ในการควบคุมต่อไป (Controller)



และถ้าไม่มีสัญญาณจาก Transmitter ก็จะทำให้ Output จาก Smoothing Circuit จะไม่เพียงพอที่จะ Drive Electronic Switch นั่นคือ Relay จะ Switch On (นำกระแส) เมื่อ Transmitter Active เท่านั้น

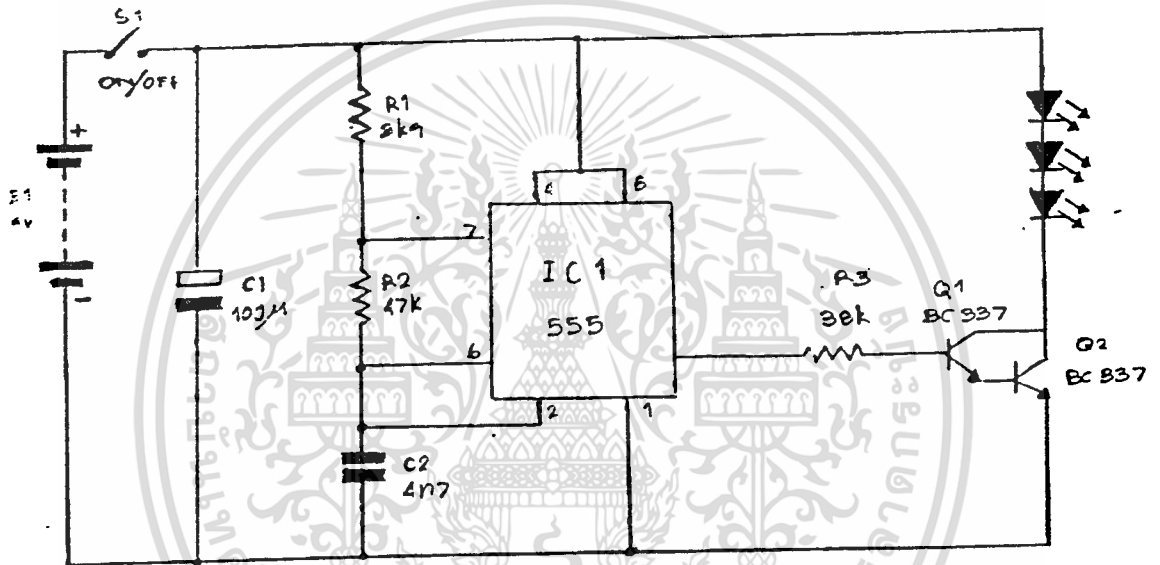
Block Diagram ของระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

TRANSMITTER CIRCUIT

TRANSMITTER CIRCUIT

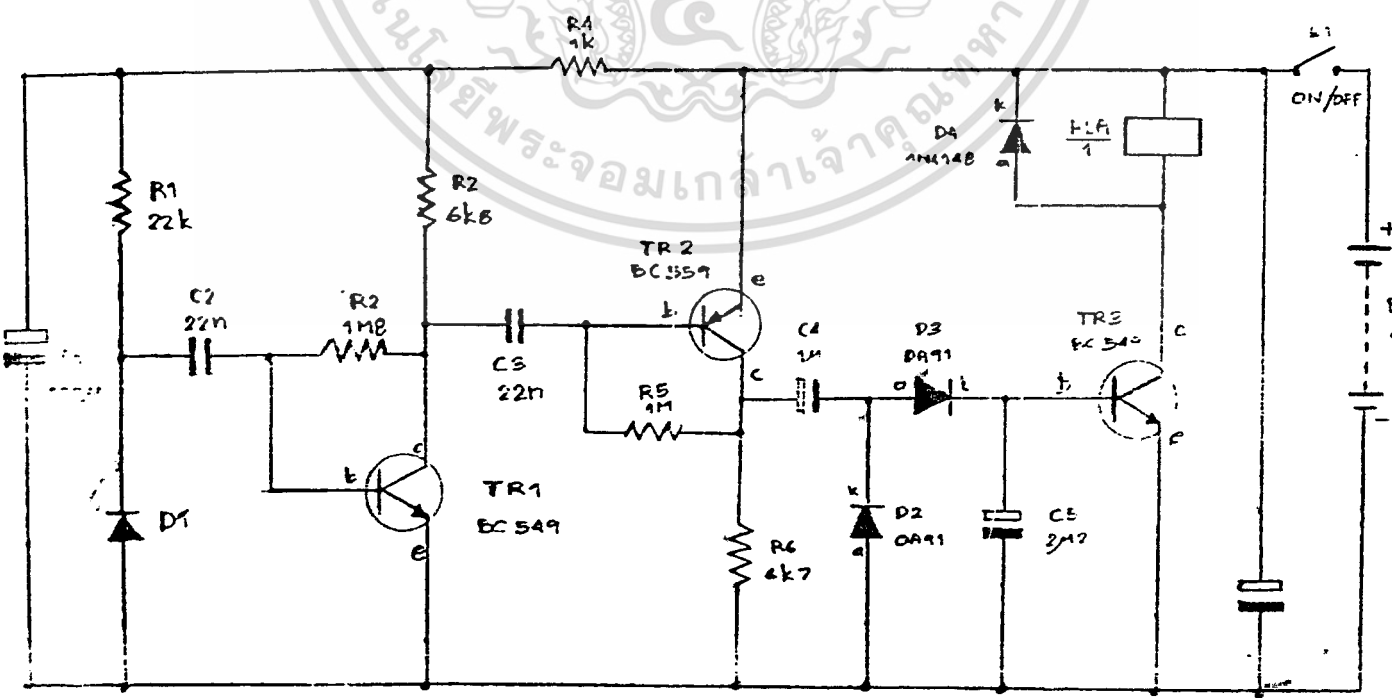


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งคือ " ON " Period ของ LED. (D₁) จะประมาณเท่ากับ " OFF " Period ซึ่งกระแสที่ออกจาก IC1 555 pn3 จะประมาณต่ำกว่า 50 mA และจะถูกขยายต่อโดย Amplifier Class A ก่อนที่จะถูกส่งต่อไปให้ LED.

Receiver Circuit

Receiver Circuit จะแสดงได้ในภาพต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.



โดยที่ D_1 คือ Photo Diode และจะใช้ใน Reverse Bias Mode กระแส Leakage ที่ไหลผ่าน D_1 นี้จะมีขนาดน้อยมาก ส่วน R_1 จะเป็น Reverse Bias

เมื่อ Receiver ที่ได้รับ Pulse ที่เป็น Infrared จาก Transmitter Pulse ของกระแสที่ไหลผ่านวงจร โดยที่มันจะทำให้เกิด Voltage Pulse ที่ Junction ของ R_1 และ D_1 ซึ่งจะถูก Couple โดย C_2 ก่อนที่จะถูกส่งต่อไปให้เป็น Input ของ

Amplifier ตัวแรก

ทรานซิสเตอร์ TR1 และ TR2 จะทำหน้าที่เป็น High Gain Amplifier ทั้งสองตัว โดยจะต่อคร่อมแบบ Common Emitter Stage ทั้งคู่ โดยทรานซิสเตอร์ตัวแรกเราจะให้เป็นแบบ PNP. ซึ่งทั้งคู่จะให้ Voltage Gain มากกว่า 10 db (หรือ 100 เท่า) ค่า Output ของ ทรานซิสเตอร์ตัวที่สองจะถูกส่งต่อไปใกล้กับส่วน High Pass Filter ซึ่ง จะประกอบไปด้วย Capacitor C2 และ C3 ในการ coupling

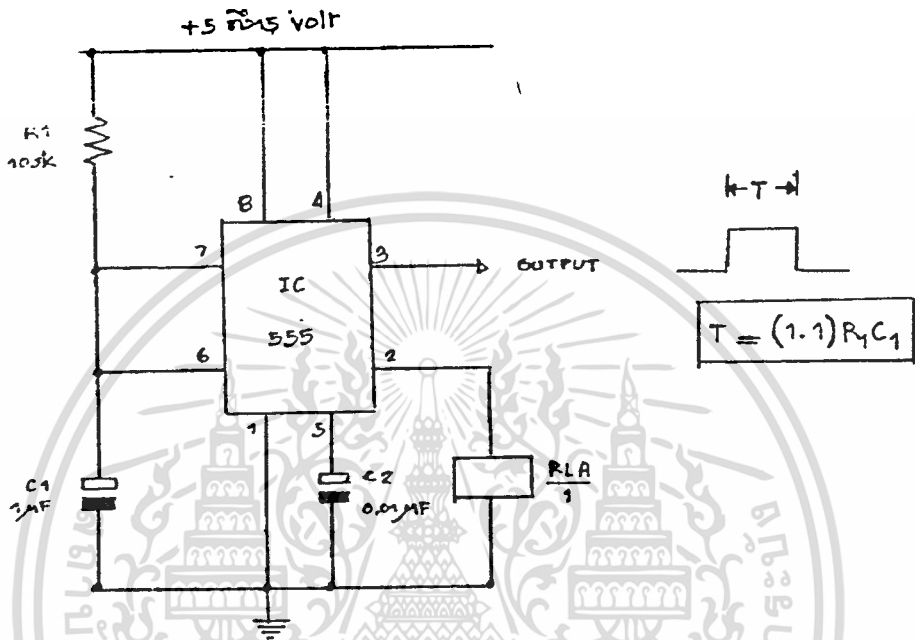
Diode D2 และ D3 จะทำหน้าที่เป็น Rectifier Circuit และส่วน Capacitor C5 ก็ทำหน้าที่เป็น Smoothing Capacitor ซึ่ง Output ของ Smoothing Circuit จะเป็น Input ของ Common Emitter Switch (TR3) Load ที่ Collector เป็น Relay Coil

เมื่อ Relay ได้รับพลังงานจะเกิด High Reverse Voltage คร่อม Coil, D4 จะทำหน้าที่เป็น Effectly Short Circuit ซึ่งจะทำให้เกิด ON-OFF ของ Relay ได้เร็วขึ้นโดยการกำจัด Spike และป้องกันการเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับ Relay นี้ C1, R4 และ C6 คือ Supply Decoupling Network โดยมันจะป้องกัน Low Frequency Instability ที่เนื่องมาจากการ Feed Back โดยผ่านทาง Supply

*Relay : เราจะใช้ Relay ขนาด 6 Volt Supply 200 ohm

Bounceless Switch

เราจะนำการ "ON-OFF" ของ Relay มาใช้ในการเปิด-ปิดวงจร Bounceless Switch เพื่อทำให้เกิด Single Pulse ที่มีขนาด 0.1 วินาที โดยวงจร Bounceless Switch จะอาศัยการทำงานของ LM 555 หรือ MC 1455 P1 ซึ่งจะแสดงวงจรได้ดังภาพต่อไป



วงจรBounceless Switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่า R1 และ C1 จะใช้ในการกำหนดขนาดของ Pulse จากความสัมพันธ์
ต่อไปนี้

$$T = (1.1)R_1C_1$$

โดยเมื่อ T คือความกว้างของ Pulse ในที่นี้เราจะใช้ค่า R ขนาด 100
ohm และค่า C1 ขนาด 1 F ซึ่งจะทำให้ได้

$$T = 0.1 \text{ วินาที}$$

ซึ่ง Output ของ Bouseless Switch จะถูกใช้เป็น Input
ของวงจรส่วน Control ต่อไป โดยทั้งนี้จะต้องทำ Isolated ส่วนที่
เป็น Opto-Diode

ภาค Logic Controller

ประกอบด้วยวงจร Logic ซึ่งออกแบบจากลักษณะความต้องการใน
การทำงานของประตู ซึ่งรับสัญญาณ Input จาก Photo Sensor
(Transmitter , Receiver) และสัญญาณจาก Infrared Receiver

Outputของ Logic Controller จะส่งไป drive มอเตอร์ซึ่งจะใช้ Opto-Isolatorเป็นตัวเชื่อมโยงเพื่อป้องกันการรบกวนที่จะเกิดขึ้นกับภาค Logic Controller

การออกแบบวงจร Logic

ในการออกแบบวงจร Logic เริ่มจากการพิจารณาลักษณะการทำงานของประตูในขั้นตอนต่างๆตามลำดับการทำงานดังนี้

- 1 . ปิดอยู่และหยุดนิ่ง
- 2 . เปิดด้วยความเร็วสูงในตอนเริ่มเปิด
- 3 . ชะลอความเร็วในการเปิดก่อนเปิดสุด
- 4 . หยุดนิ่งเมื่อเปิดสุด
- 5 . ปิดด้วยความเร็วสูงในตอนเริ่มปิด
- 6 . ชะลอความเร็วในการปิดก่อนปิดสุด

ในขั้นตอนต่างๆนี้เป็นตัวกำหนดให้จังหวะการทำงาน , ทิศทาง , Speed ของมอเตอร์กำหนดให้

SW เปิดสุด คือ สัญญาณแสดงสภาวะเปิดประตูสุดแล้ว

SW ปิดสุด คือ สัญญาณแสดงสภาวะปิดประตูสุดแล้ว

Speed SW. คือ สัญญาณที่ใช้ในการปรับ Speed

CK คือสัญญาณจากผู้กด Switch Remote

ซึ่งสัญญาณต่าง ๆ เหล่านี้มี Logic 0 และ 1 ซึ่งรับมาจากวงจร sensor ต่างๆ โดย photosensor มี logic เมื่อประตูยังไม่เคลื่อนที่มาเป็น 1 เมื่อถูกประตูเคลื่อนที่มาขวางกั้นแสงจะทำให้สัญญาณจากวงจรกลายเป็น 0 ซึ่งจากการพิจารณาลักษณะการทำงานของประตู ทำให้ได้ตาราง Logic ในขั้นตอนต่างๆ กันทั้ง 6 ขั้นตอนดังนี้

	CLOCK	sw.เปิดสุด	sw.ปิดสุด	speed sw.
เริ่มเปิดเร็ว	1	1	1	1
ชลอเปิด	1	1	1	0
หยุด	1	0	1	0
เริ่มปิดเร็ว	0	1	1	0
ชลอปิด	0	1	1	1
หยุด	0	1	0	1

D: สัญญาณที่ไม่มีผลกับ output ขณะนั้น

จากตาราง Logic ข้างต้นสามารถออกแบบวงจร Logic ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขและง่ายสุดได้ดังนี้

Output ของ Logic Controller จะส่งไป drive มอเตอร์ซึ่งจะใช้ Opto-Isolator เป็นตัวเชื่อมขงเพื่อป้องกันการรบกวนที่จะเกิดขึ้นกับภาค Logic Controller

2.2 การออกแบบวงจร Logic

ในการออกแบบวงจร Logic เริ่มจากการพิจารณาลักษณะการทำงานของประตูใน ขั้นตอนต่าง ๆ ตามลำดับการทำงานดังนี้

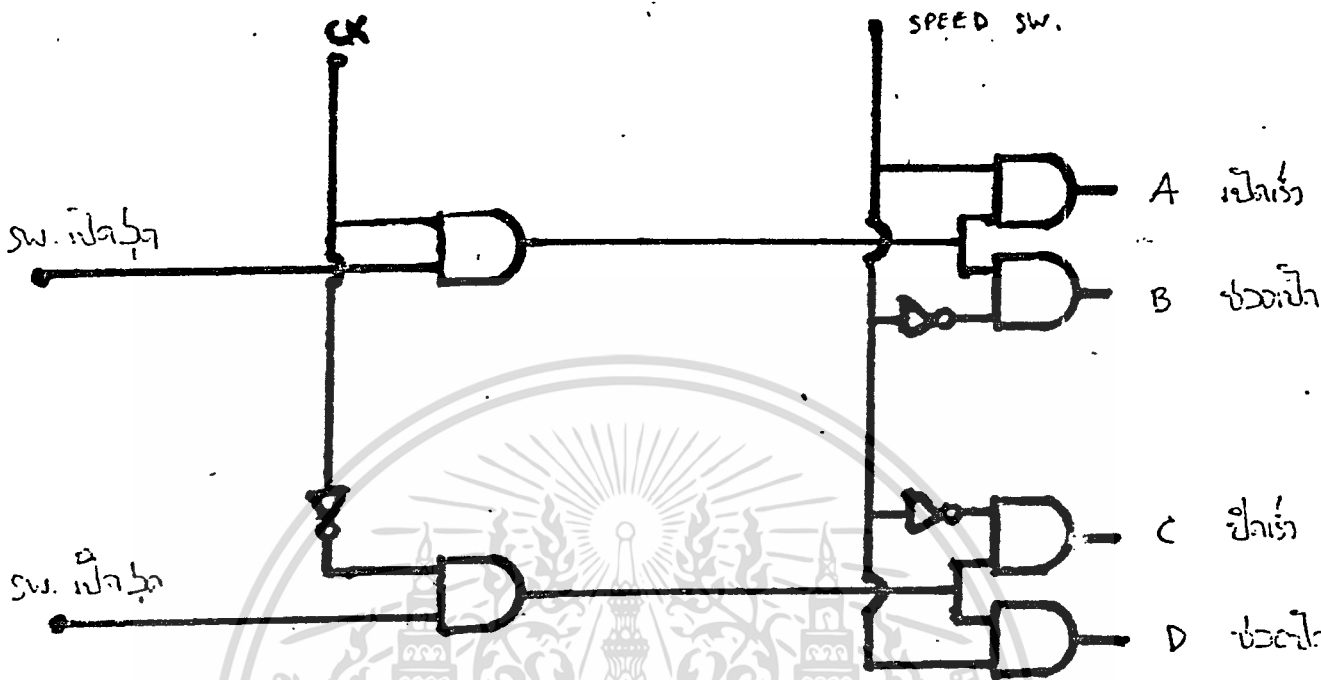
1. ปิดอยู่และหยุดนิ่ง
2. เปิดด้วยความเร็วสูงในตอนเริ่มเปิด
3. ชะลอความเร็วในการ เปิดก่อนเปิดสุด
4. หยุดนิ่ง เมื่อ เปิดสุด
5. ปิดด้วยความเร็วสูงในตอนเริ่มปิด
6. ชะลอความเร็วในการปิดก่อนปิดสุด

ในขั้นตอนต่าง ๆ นี้เป็นตัวกำหนดให้จังหวะการทำงาน, ทิศทาง, Speed ของมอเตอร์ กำหนดให้

SW เปิดสุด คือ สัญญาณแสดงสภาวะ เปิดประตูล่าสุดแล้ว

SW ปิดสุด คือ สัญญาณแสดงสภาวะปิดประตูล่าสุดแล้ว

Speed SW. คือ สัญญาณที่ใช้ในการปรับ Speed



การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้

ขณะประตูปิดนิ่ง Logic ของ sw. เปิดสุด = 1 Speed sw. = 1
 เมื่อสัญญาณ ck เป็น 1 จะทำให้มี output ที่ A ไปสั่งให้มอเตอร์หมุน
 เปิดประตู เมื่อเปิดไปได้ครึ่งทาง Speed sw. จะถูกประตูกั้นแสงทำให้มี
 Logic เป็น 0 เป็นผลให้ output เปลี่ยนมาที่ B มีผลให้มอเตอร์
 ชะลอความเร็วและหยุดเมื่อสัญญาณแสดงสภาวะเปิดสุดแล้ว = 0

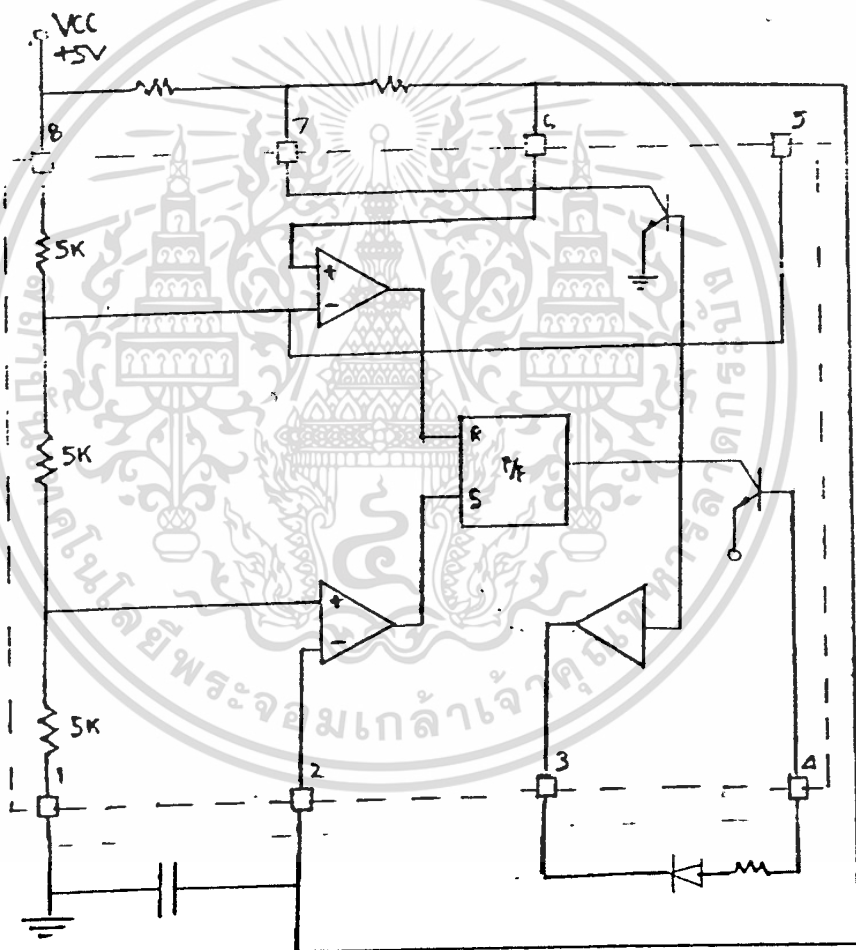
ในการสั่งปิดประตู sw. ปิดสุด = 1 Speed sw. = 0 เมื่อให้สัญญาณ
 ck เป็น 0 ทำให้มี output ออกที่ C มีผลให้มอเตอร์หมุนปิดเร็ว
 เมื่อปิดได้ครึ่งทางจะทำให้ Speed sw. เปลี่ยนไปเป็น 1 มีผลให้มอเตอร์
 ชะลอความเร็วและหยุดเมื่อสัญญาณแสดงสภาวะปิดสุดแล้ว = 0

PHOTO SENSOR

ประกอบด้วยวงจรด้าน Transmitter และวงจร Receiver

TRANSMITTER

ใช้ IC 555 เป็นวงจรถ่ายทอด pulse วงจรนี้ทำหน้าที่เป็นวงจร astable ซึ่งช่วงเวลาของ Pulse จะไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง V_{cc} ซึ่งเมื่อ V_{cc} ลดลงจะทำให้แรงดันทรiggerเกอร์และแรงดันเทสโรลด์ลดลงด้วยช่วงเวลาของ pulse ที่ output ก็จะไม่เปลี่ยนแปลงตาม V_{cc}



จากวงจร R_1 , R_2 ทำหน้าที่กำหนดเวลาร่วมกับตัวเก็บประจุ C_1 เมื่อ C_1 มีค่าเป็น $2/3$ ของ V_{cc} ทำให้วงจร upper comparator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(วงจรเปรียบเทียบแรงดันสูง) ไบทริกให้พลีฟลอปใน IC ทำงานมีผลให้ C_1 จะลดลงจนมีค่าเหลือ $1/3$ ของ V_{cc} มีผลให้วงจร Lower Comparator (เปรียบเทียบแรงดันต่ำ) ใน IC ถูกกระตุ้นให้ทำงานตัวเก็บประจุ C_1 จะเก็บประจุและคายประจุสลับกันอย่างสม่ำเสมอทำให้แรงดันที่คร่อม C_1 มีค่า $2/3$ และ $1/3$

V_{cc} สลับกันแรงดัน output จะมีค่าสูงเมื่อตัวเก็บประจุ C_1 เริ่มเก็บประจุ แรงดันที่ output

ต่ำเมื่อ C_1 คายประจุ output ที่ขา 3 ของ IC จึงมี pulse ออกมา R_3 มีหน้าที่จำกัดกระแสให้กับ

L.E.D. INFRARED โดยมีความถี่ขึ้นกับค่า C_1, R_1, R_2 , ให้ $t_1 =$ เวลาที่ C_1 ประจุจนมีแรงดัน $= 2/3 V_{cc}$

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น} \quad t_1 &= (-\log e^{1/3})(R_1 + R_2)C \\ &= -(-\log e^{2/3})(R_1 + R_2)C \\ &= 0.694 (R_1 + R_2)C \end{aligned}$$

ช่วงเวลาคายประจุ C_1 จะคายประจุผ่าน R_2 เท่านั้น

โดยเวลาของการคายประจุเท่ากับ $t_2 = 0.694 R_2 C_1$

ดังนั้น ช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเก็บประจุที่เปลี่ยนไปมาระหว่าง $1/3$

V_{cc} ถึง $2/3 V_{cc}$

คือ $T = t_1 + t_2$

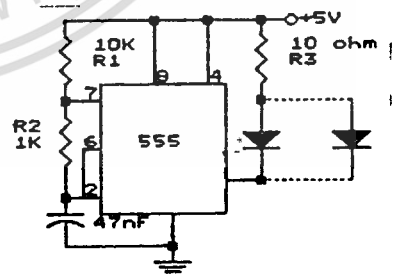
$$= 0.694 (R_1 + 2R_2)C$$

ค่าความถี่ output (f_0) เท่ากับ

$$\begin{aligned} f_0 &= 1/T \\ &= 1.44 / (R_1 + 2R_2)C \end{aligned}$$

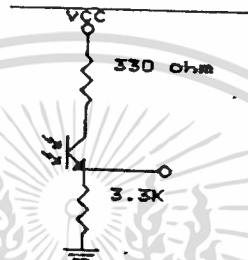
ซึ่งในวงจรข้างต้นที่เราใช้งานจะมี

$$\begin{aligned} f_0 &= 1.44 / (10K + 2K) 47 \cdot 10^{-9} \\ &= 2.5 \text{ kHz} \end{aligned}$$



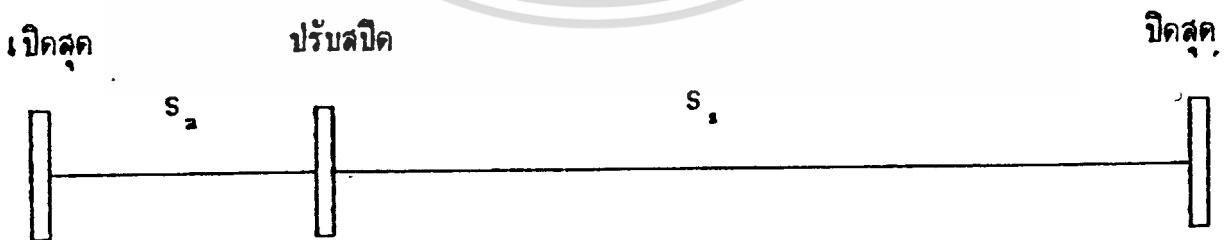
วงจร RECEIVER

เมื่อมีแสง infrared ตกบน infrared photo transistor จะทำให้ที่จุด S มี Logic เป็น 1 เมื่อแสง infrared ถูกบังที่จุด S จะมี Logic 0



ในที่นี้เราใช้ photo sensor 3 ชุด ซึ่งตำแหน่งของแต่ละชุดจะมีผลต่อเงื่อนไขการทำงานของภาค Logic Controller อย่างมาก

ระยะห่างของ Photo Sensor แต่ละชุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นต้องให้ระยะ s_1 กว้างกว่าความยาวประค

ระยะ s_2 แคบกว่าความยาวประค

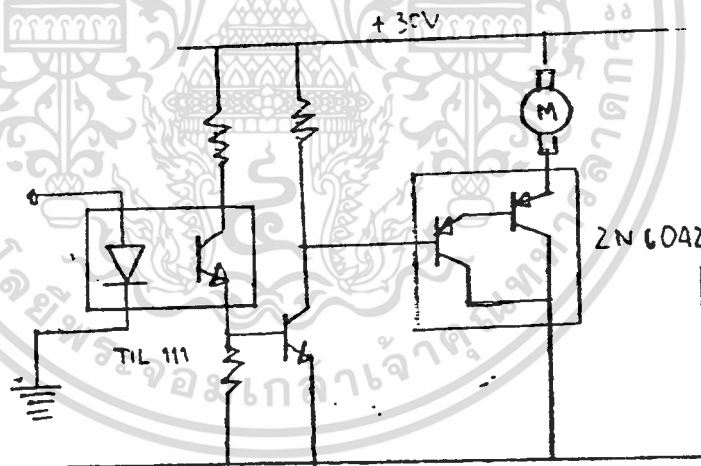
ถ้า D = ความยาวของประค

อาจกำหนดได้ว่า $s_1 = 3D/2$, $s_2 = D/2$

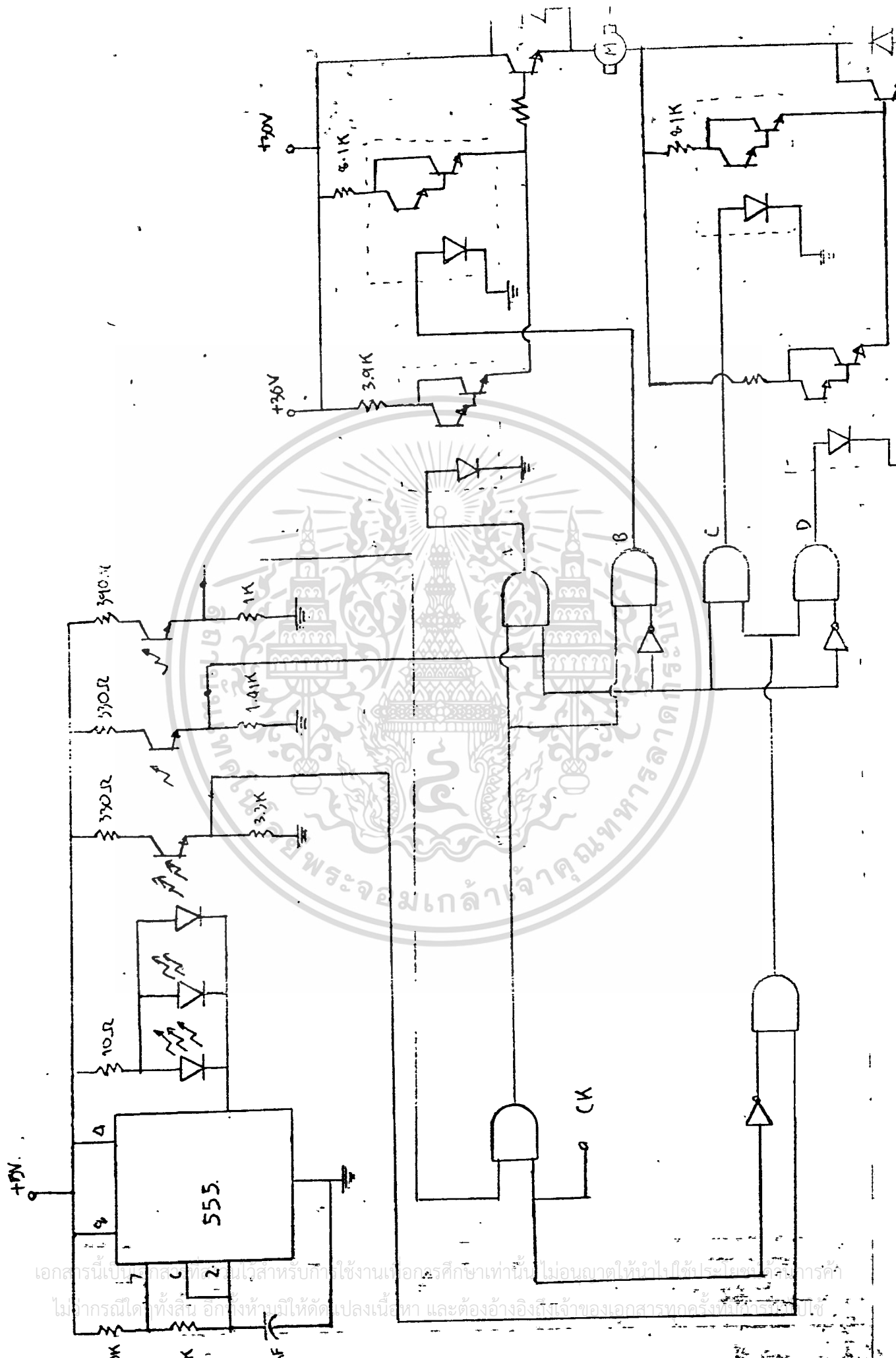
หากไม่เป็นตามเงื่อนไขการทำงานของภาค Logic Controller จะทำงานผิดพลาด

วงจรขับมอเตอร์

ใช้การเชื่อมโยงกับภาค Logic Controller ด้วย opto isolator โดย
ในที่นี้ใช้มอเตอร์ DC ถ้าใช้ 2n6042 และ opto isolator TIL 111

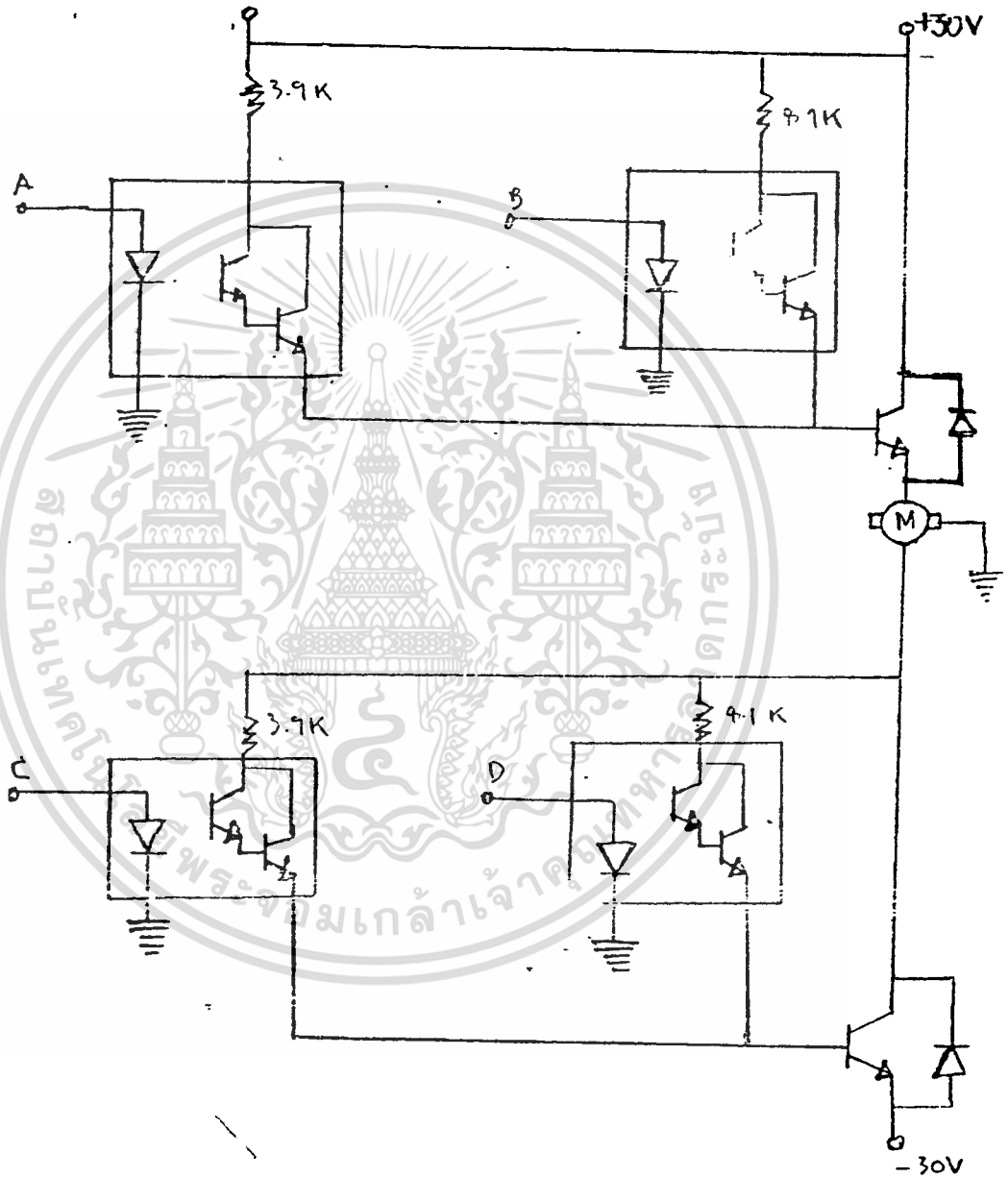


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ใช้สำหรับทำรายงานหรือโครงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ทำการแก้ไขทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ได้มีการนำไปใช้

ถ้าใช้ 2N3055 โดยใช้ opto isolator TIL 119



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Automatie Door

สรุป จากการทดลอง ต่อวงจรควบคุมประตู

ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ 3 ส่วน คือ ส่วนอินพุต รับ-ส่ง, ส่วนควบคุมเงื่อนไขการทำงาน, ส่วนปรับความเร็วและขับเคลื่อนมอเตอร์ ผลปรากฏว่าสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ทั้ง 3 ส่วน โดยส่วนควบคุมสามารถปรับรูปร่างจรรยาให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่ต้องการได้ เช่นถ้าต้องการให้หยุดเมื่อมีสิ่งกีดขวางทางก็สามารถออกแบบตามหลักการขั้นตอนที่ได้อธิบายไว้แล้ว สิ่งที่น่าสนใจไว้ คือ ส่วนส่งสัญญาณซึ่งเดิมใช้อินพุตทำให้มีระยะเวลาใช้งานสั้นหากต้องการให้มีระยะทางที่ไกลกว่าความเปลี่ยนแปลงใช้คลื่นวิทยุแทนและควรมีวงจรเข้ารหัส-ถอดรหัส เพื่อที่เจ้าของเท่านั้นที่สามารถใช้งานได้ ทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถสร้างระบบควบคุมประตูอัตโนมัติให้สามารถทำงานได้ตามเป้าหมายที่ได้วางไว้ส่วนการนำไปใช้งานจริงหรือผลิตเพื่อการค้ายังคงต้องปรับปรุงในส่วนที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

บทที่ 3

เครื่องวัดระยะ

หลักการทำงาน

คลื่นอัลตราโซนิกเดินทางในอากาศด้วยความเร็วคงที่ เวลาในการเดินทางจาก Transmitter ไปกระทบเป้าหมายแล้วสะท้อนกลับมาทำให้เราสามารถทราบระยะทางทั้งหมดที่คลื่นเคลื่อนที่ไปได้ เพราะ เราทราบความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศซึ่งมีค่าความคงที่ เราจึงสามารถเทียบเวลาที่ใช้ทั้งหมดออกเป็นระยะทางทั้งหมดได้ ซึ่งเมื่อหารระยะทางทั้งหมดด้วยสอง ก็จะได้ระยะห่างของเครื่องส่งกับเป้าหมายนั้น (ระยะทางทั้งหมด = ระยะทางไป + ระยะทางกลับ) เมื่อคลื่นส่ง เริ่มส่งสัญญาณออกไปขณะ เดียวกันมันจะทำการส่งสัญญาณเริ่มนับให้วงจรนับ Pulse ด้วย ซึ่ง Pulse เหล่านี้เกิดจากวงจรกำเนิดสัญญาณ Pulse ซึ่งเราปรับให้ความถี่ของ Pulse เท่ากับครึ่งหนึ่งของความเร็วเสียงในอากาศเพราะ เราต้องการทราบเวลาเพียงครึ่งหนึ่งของ เวลาที่ใช้ในการ เดินทางทั้งหมดก็จะทำให้ทราบความห่างของวัตถุกับเครื่องส่ง ซึ่งความถี่ดังกล่าวนี้หากได้จากสูตรความเร็วคลื่นเสียงในอากาศทางฟิสิกส์

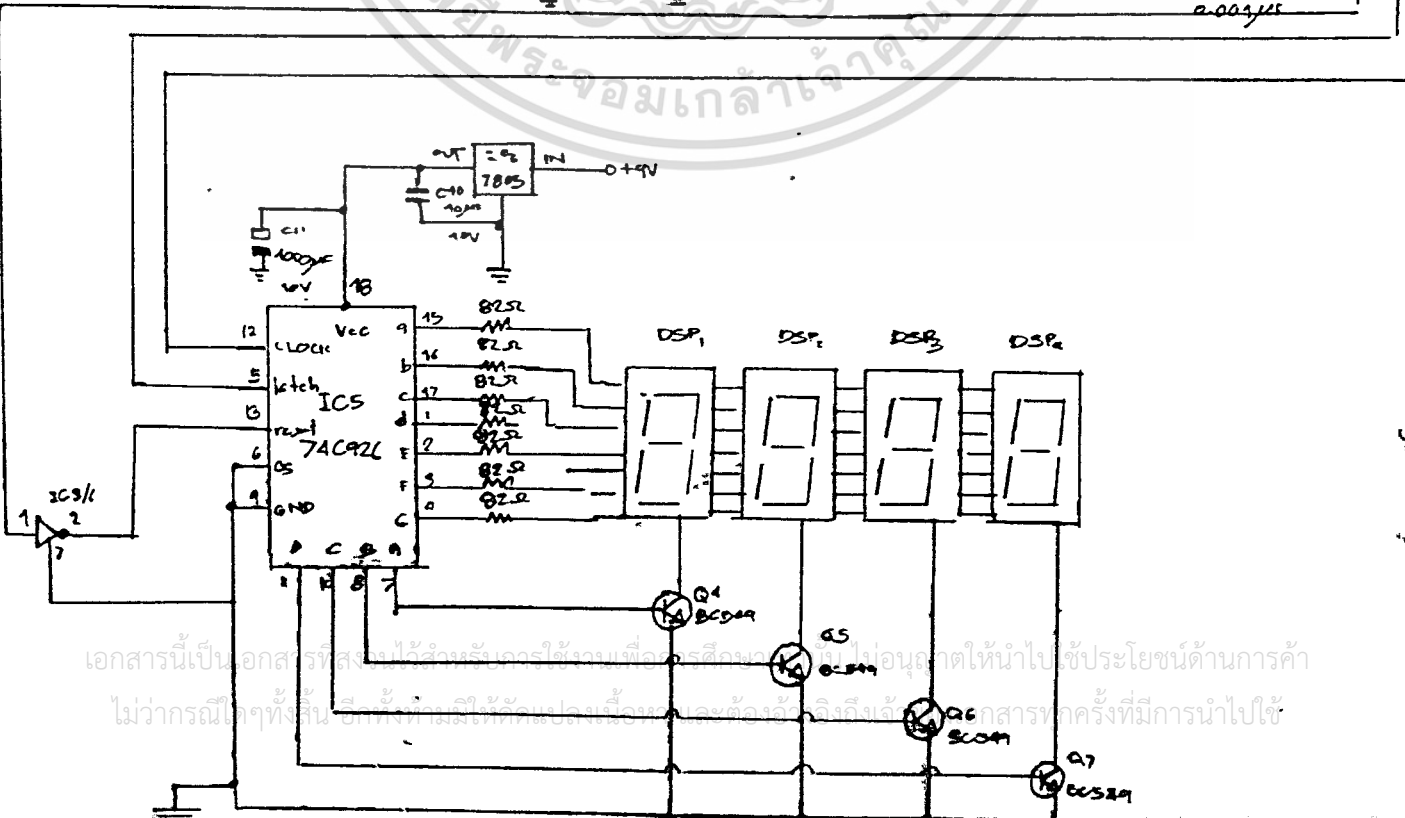
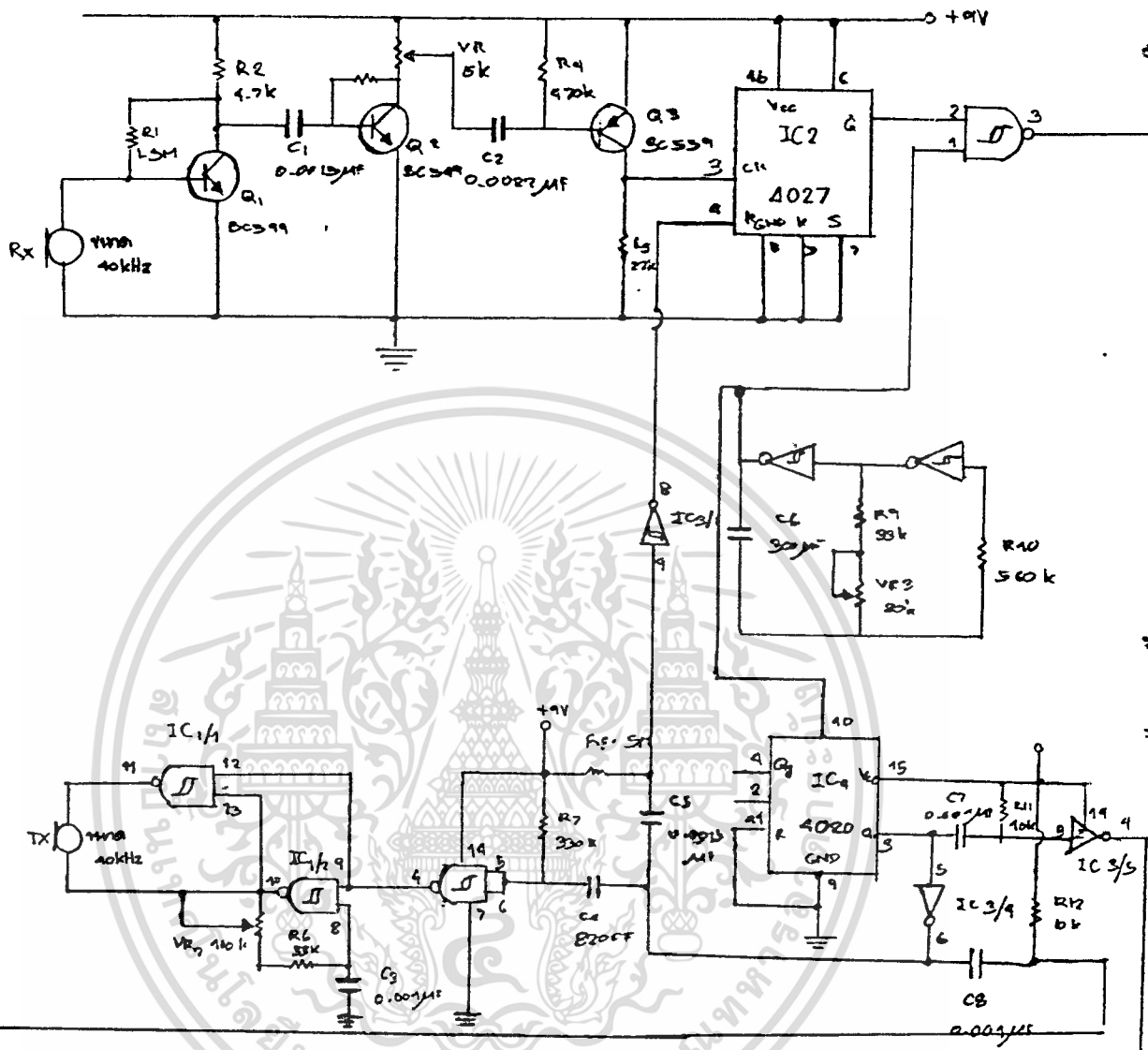
$$\text{ความเร็วของคลื่นในอากาศ } C = 331.4 + 0.6t \text{ m/s}$$

$$\text{เมื่อ } t = \text{อุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิทั่วไปจะประมาณ } 25^{\circ}\text{C}$$

ฉะนั้นเมื่อทราบความเร็วใน 1 วินาทีแล้วทำให้ทราบว่า

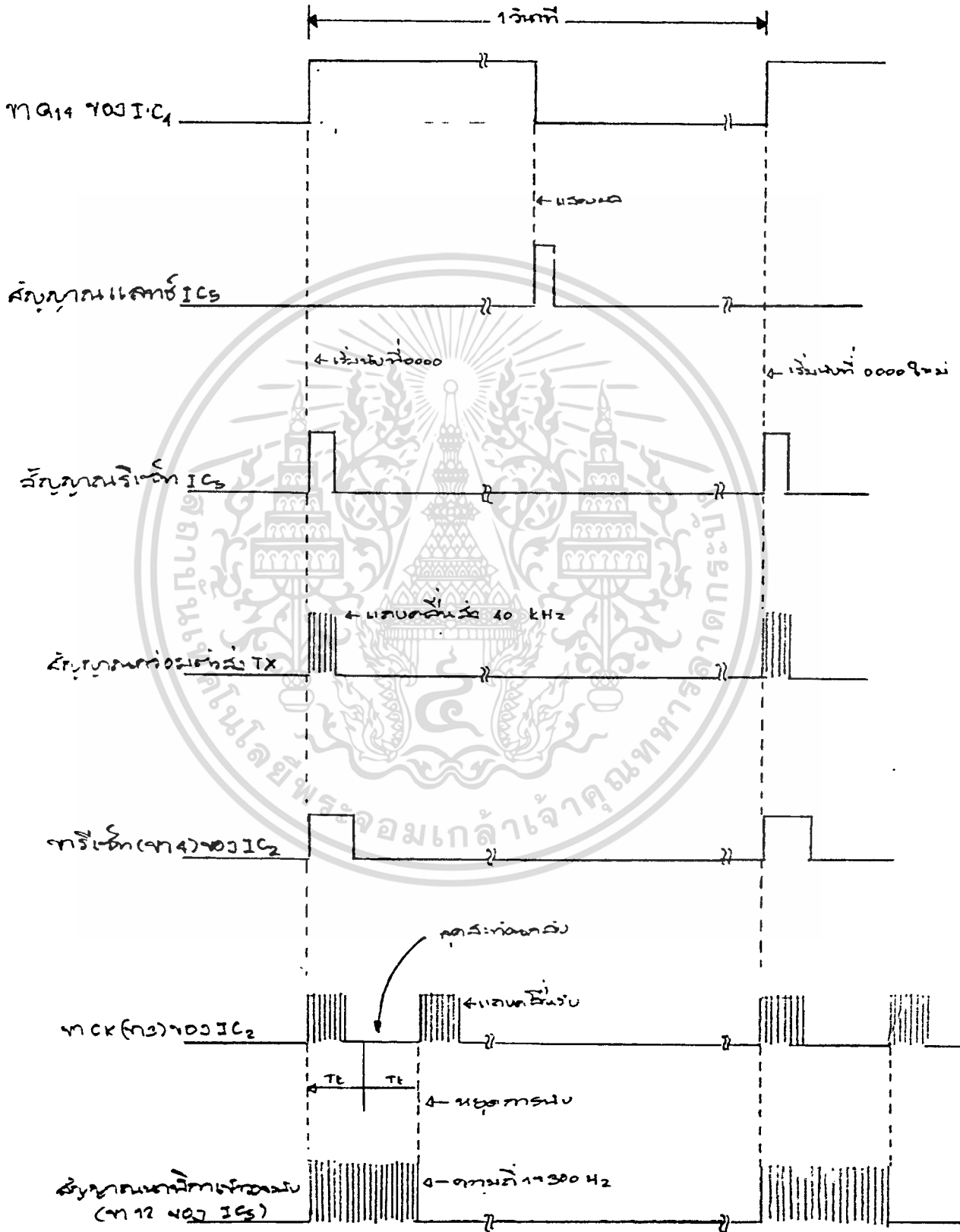
$$T = \frac{1}{346.4} \quad 2.886 \text{ m/s}$$

แบบจำลองวงจร: การวัดตัวแปรแบบ



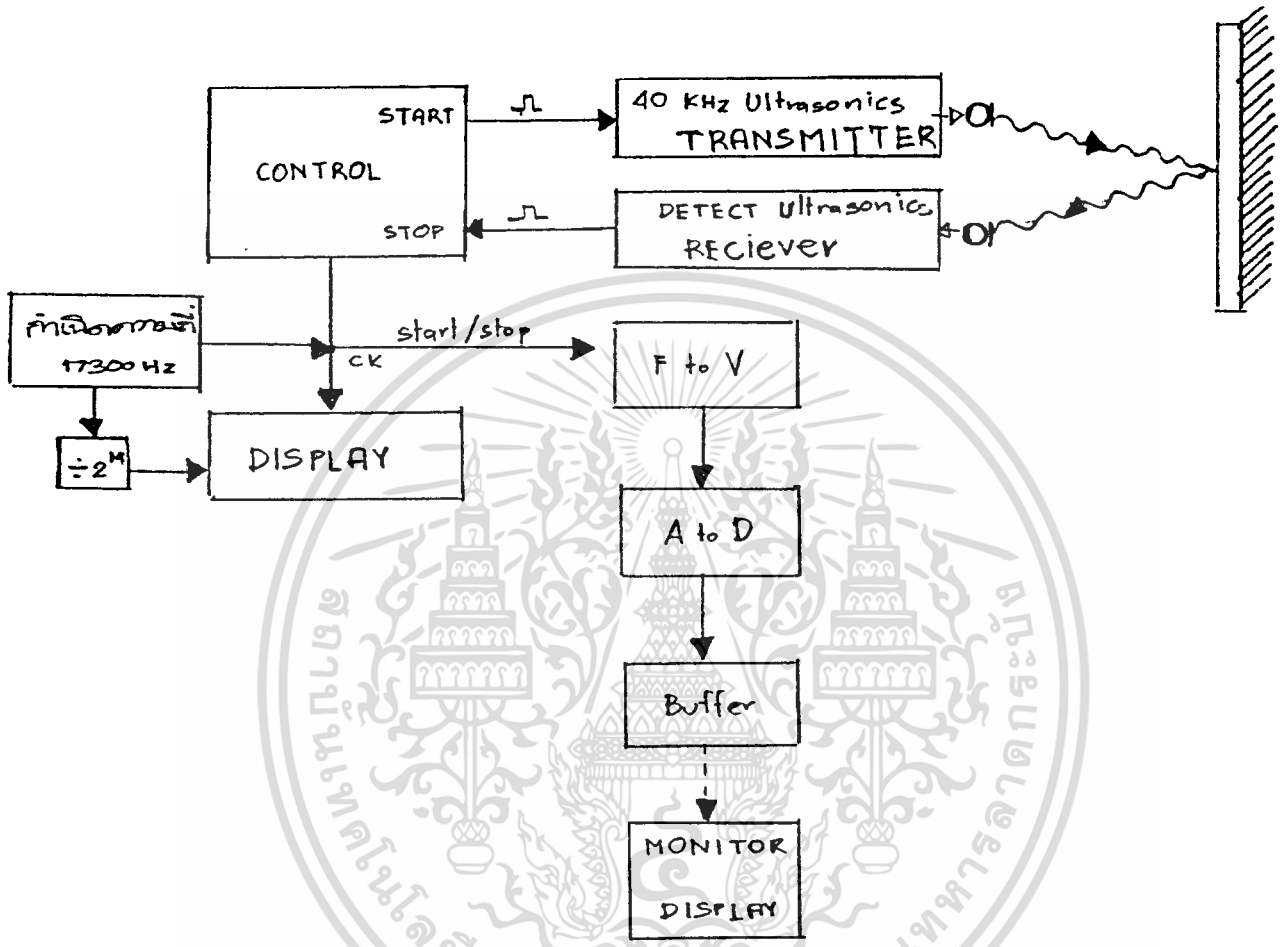
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงนิตยสารหรือสื่อใดๆโดยไม่ได้รับอนุญาต

แผนผังเวลาที่จุดต่างๆ ของวงจร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความถี่} = \frac{1}{T} = 346.4 \text{ Hz.}$$

แต่เราต้องการเพียงครึ่งหนึ่งของทั้งหมด จากเหตุผลข้างต้นทำให้เรา
เลือกใช้ความถี่ $(346.4)/2 = 173.2 \text{ Hz}$ แต่เราจะทำให้สามารถวัดหน่วย
ได้เป็น เซนติเมตร จึงคูณด้วย 100 จึงได้ความถี่อ้างอิง $\sim 17300 \text{ Hz}$.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ .

จาก BLOCK DIAGRAM จะสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

ภาคกำเนิดคลื่นความถี่

ภาคกำเนิดความถี่จะสร้างควมถี่ที่เราคำนวณได้และใช้งาน คือ ~ 17300 Hz. โดยเริ่มทำงานและหยุดทำงานด้วย Pulse ที่มาจากวงจร Transmitter และ Receiver ตามลำดับโดยภาคส่ง

ภาคส่ง

ทำการสร้างควมถี่ออสซิลเลเตอร์ 40 Hz ให้เหมาะสมกับ Transducer ที่ใช้

ภาครับ

ประกอบด้วยส่วนรับสัญญาณสะท้อนกลับ Coupling และทำการขยายสัญญาณที่รับเข้ามาซึ่งมีสัญญาณอ่อนมาก โดยมีส่วนขยาย (Amplifier)

ภาคนับสัญญาณ

จะทำการนับสัญญาณที่ได้จากการกำเนิดความถี่ ซึ่งความถี่ที่นับได้ก็คือระยะทางที่วัดได้เป็นเซ็นติเมตร เช่นนับได้ 17300 Hz แสดงว่าเครื่องรับอยู่ห่างวัตถุเป้าหมาย 17300 cm หรือ 173 เมตร ในที่นี้ใช้ IC เบอร์ 74C926 เป็นวงจรับและแสดงผลการนับ สัญญาณ BCD ครึ่งละ 4 บิต เป็นเลขแสดงจำนวน 4 หลัก แสดงออกมาด้วยการมัลติเพล็กซ์ออกมาซึ่งภายใน IC 74C926 ยังประกอบไปด้วย วงจร Decoder BCD To 7 Segment And Drivers

ภาคแสดงผล

แสดงด้วย LED 7 Segment ซึ่งเป็นแบบ Common Cathod รับผิดชอบ
Drive มาจาก IC 74C926

ขั้นตอนการทำงานทั้งหมด

เริ่มจากวงจร Transmitter ประกอบด้วย NAND GATE SCHMITT TRIGGER 2 ตัวคือเป็นวงจรถูกกำเนิดความถี่ของบริดจ์ Ultrasonic Transmitter ซึ่งต่ออยู่ระหว่าง Output ของ gate 2 ตัวนี้ ทำให้มีแรงดันไฟสลับป้อน Tx ~ 18 V p-p ซึ่งสามารถปรับค่าความถี่ให้ได้ 40 KHz โดยการปรับ VR 100 k ohm

เมื่อส่งคลื่น Ultrasonic 40 KHz ออกไปกระทบวัตถุแล้วจะสะท้อนกลับมาที่วงจร Receiver ซึ่งเมื่อ Ultrasonic Transducer ที่เป็นตัวรับ รับผิดชอบแล้ว คลื่นที่ถูกรับได้จะถูก Coupling และนำมาขยายสัญญาณโดย Transistor BC 549 2 ตัวต่อกัน โดยมี Transistor BC 559 จับสัญญาณที่ส่งกลับมาเพื่อทำการส่งสัญญาณการหยุดนับไปให้วงจรนับ ให้ทำการหยุดนับ เมื่อ Voltage ที่ขาของ Base หรือ Collector 0.6 Volt ทำให้ขาของ IC 4027 ซึ่งเป็น J-K Flip Flop ทำให้ปิด gate ที่ทำการส่งสัญญาณให้วงจรนับหยุดทำงาน

ที่วงจรกำเนิดความถี่ 17300 Hz เราจะสามารถปรับค่าความถี่ได้ โดยการปรับค่าของ VR 20 Kohm ให้มีค่า Output Frequency \sim 17300 Hz. Output ที่ได้จะถูกส่งไปยัง NAND Gate เพื่อรอการส่งไปยังวงจรมับ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปยังวงจรถหาร 14 ซึ่งจะทำให้มีความถี่ออกมา

$$= \frac{17300}{2^{14}} = \frac{17300}{16384} \sim 1.05 \sim 1 \text{ Hz.}$$

ดังนั้นเมื่อความถี่ Output ของวงจรถหารความถี่ = 17300 Hz แล้ว Output ของ IC 4020 (หาร 2^{14}) จะมีความถี่ \sim 1 Hz ซึ่ง Output 1 Hz นี้จะถูกส่งไปยังวงจรมับ Monostable ที่ทำหน้าที่ควบคุมเครื่องส่งและที่ใช้ในการ Reset ข้างของ J-K Flip Flop 4020 เพราะขาของ Output ของ IC 4020 เป็นตัวเปิด-ปิดเกทที่จะส่งสัญญาณ CK ไปให้วงจรมับ

IC 74C926 จะถูก Reset ทุกครั้งที่ Output ของ IC 4020 เป็นขอบขาขึ้น เพื่อให้วงจรมับ Counter เริ่มนับที่ค่าศูนย์ ขณะเดียวกันจะทำให้วงจรมับ Monostable ซึ่งประกอบไปด้วย IC NAND Gate ทำงานเปิดให้สัญญาณวงจรถหารความถี่ 40 KHz ของเครื่องส่งทำงานนานประมาณ 0.3 ms (จากเรื่อง Bounceless switch โดย $T = (1.1)R_1C_1$; $R_1 = 330 \text{ K Ohm}$, $C_1 = 820 \text{ PF}$ จะได้ $T = 0.3 \text{ ms}$)

ในระหว่างเวลานี้ตัวส่ง Tx จะส่ง Pulse 40 KHz ออกไป 12 Pulse ((0.3 ms) คูณด้วย (40 KHz)) Pulse เหล่านี้จะถูกส่งออกไปกระทบกับวัตถุและสะท้อนกลับมาซึ่งจะถูกรับโดย Rx ขณะที่คลื่น Ultrasonic ถูกส่งออกไปพลิบลอบ (IC 4027) จะถูก Reset เป็นเวลาประมาณ 2 ms โดยมีโมโนสเตเบิลทำให้ Output ของ IC 4027 เป็น Logic 1 ทาการเปิด NAND ให้สัญญาณความถี่ 17300 Hz จากวงจรมับ Oscillator

ผ่านไปยังวงจรนับใน IC 74C926 เมื่อได้รับสัญญาณกลับทางขา 3 ของ IC 4027 แล้ว Output ของ IC 4027 จะมี Logic เป็น 0 ทำการเปิด NAND Gate ทำให้ IC 74C926 ไม่ได้รับสัญญาณไปนับอีกต่อไป.

เมื่อสัญญาณ Output ของขา 3 ของ IC 4020 เกิดขอบขาลง เกทของ IC 40106 ที่ต่อไปยังขา Latch ของ IC 74C926 IC ตัวนี้จะทำงานและแล็ทช์ค่าที่นับได้ของวงจรให้ค้างเอาไว้ เพื่อจะนำไปใช้ในการแสดงผลเป็นค่าที่แสดงระยะทาง วงจรนับนี้จะถูก Reset โดยขอบขาขึ้นของสัญญาณของ Output ของ IC 4020 ของชุดต่อไปเพื่อการวัดค่าต่อไป ค่าที่แสดงที่ภาคแสดงผลครั้งสุดท้ายจะยังคงอยู่จนกว่าจะมีรายละเอียดจากการวัดระยะทางรอบต่อไปบ้อนเข้ามา เราจึงสามารถอ่านค่าวัดเข้ามาใหม่ทุกๆ 1 วินาที



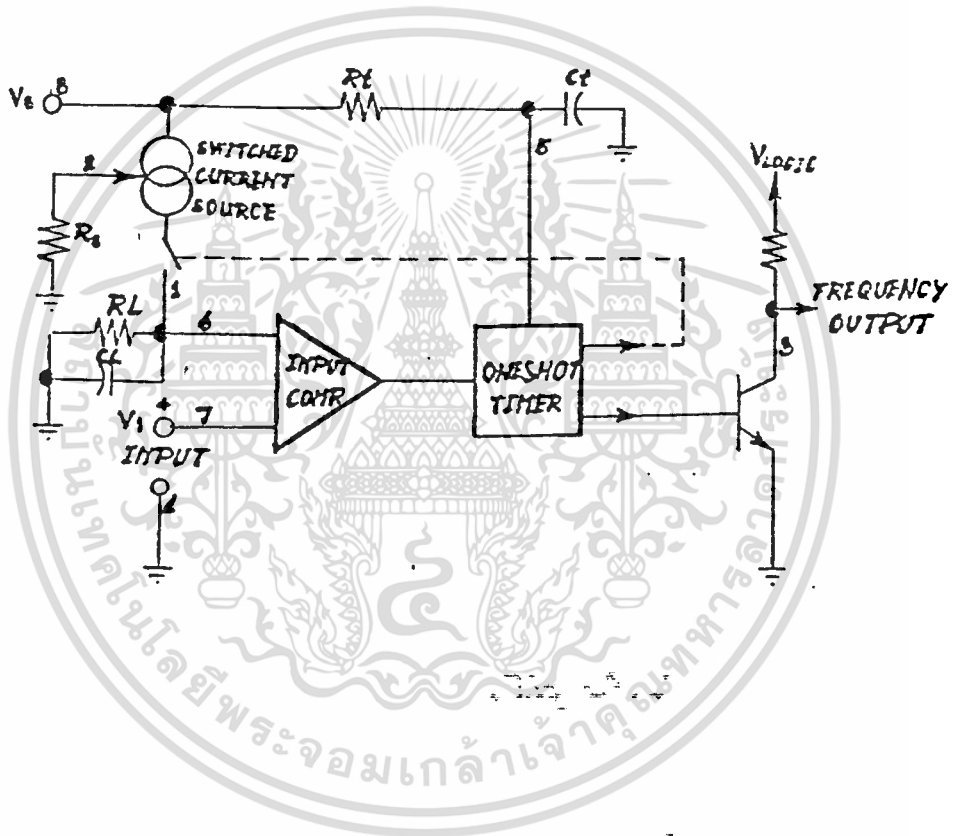
การประยุกต์ใช้งาน

เราอาจนำเครื่องวัดระยะน้ำไปวัดระดับน้ำได้ เช่น ระดับของน้ำในถัง โดยเริ่มจากการวัดระยะจากก้นถังถึงระดับที่ตั้งเครื่องไว้ (ค่า h) เมื่อได้ค่าความสูงของเครื่องจากก้นถังแล้วก็บันทึกไว้เป็นหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นเมื่อเปิดน้ำเข้าถังแล้วทำการวัดค่า และนำค่า h ที่วัดได้ในครั้งแรกนี้เป็นตัวตั้งแล้วลบออกด้วยค่าระยะห่างระหว่างเครื่องวัดและระดับของน้ำที่วัดได้หลังจากเมื่อมีน้ำในถังแล้ว ก็จะได้ระยะความสูงของน้ำในถัง โดยการตัดแปลงวงจรมีดังนี้

- 1) สร้างวงจรเปลี่ยนความถี่เป็นแรงดัน หรือ F To V โดย Voltage ที่ได้เป็นอนาล็อก
- 2) สร้างวงจร A TO D แปลง Analog เป็น Digital
- 3) นำไป Interface กับเครื่อง PC โดยมี Buffer 8255
- 4) เขียนโปรแกรมประมวลผลสัญญาณข้อมูลที่ได้รับเข้ามา และแสดงออกทางจอภาพเป็นตัว เลขหรือเป็นรูปภาพ

การเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นแรงดัน (Frequency To Voltage Convertor)

ไอซี IC LM331 หรือ XR 4151 เป็นชิพที่นิยมมาใช้ในการเปลี่ยน FVC, VFC ส่วนประกอบของระบบมีรายละเอียดการทำงานดังนี้



1) สร้างวงจรเปลี่ยนความถี่เป็นแรงดัน หรือ F To V โดย Voltage ที่ได้เป็นอนาล็อก

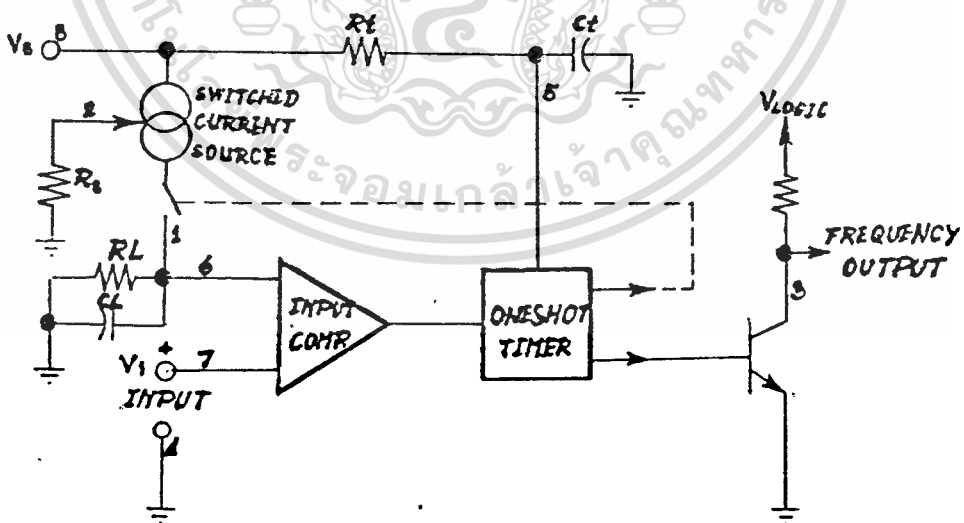
2) สร้างวงจร A TO D แปลง Analog เป็น Digital

3) นำไป Interface กับเครื่อง PC โดยมี Buffer 8255

4) เขียนโปรแกรมประมวลผลสัญญาณข้อมูลที่ได้รับเข้ามา และ แสดงออกทางจอภาพเป็นตัวเลขหรือเป็นรูปภาพ

การเปลี่ยนความถี่เป็นแรงดัน (Frequency To Voltage Converter)

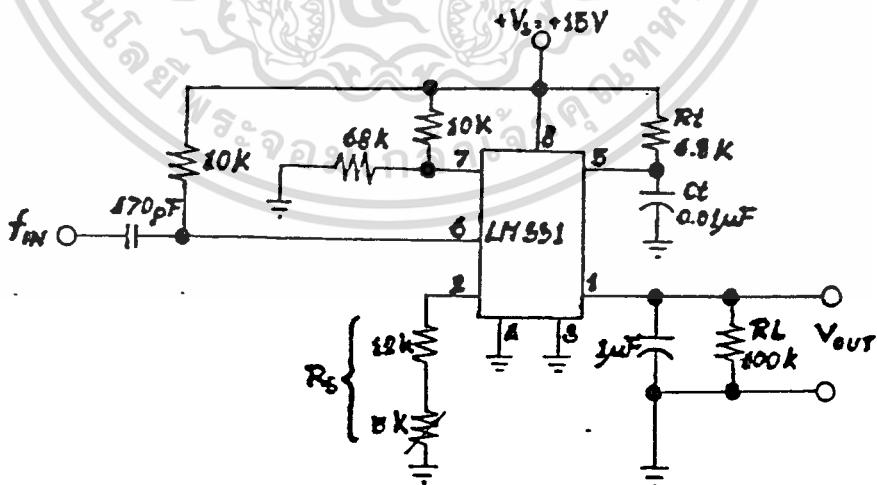
ใช้ IC LM331 หรือ XR 4151 เป็นชิพที่นิยมใช้ในการเปลี่ยน FVC , VFC ส่วนประกอบของระบบมีรายละเอียดการทำงานดังนี้



จากรูป (การเปลี่ยนแรงดันเป็นความถี่) ประกอบด้วย

1. แหล่งจ่ายกระแสแบบสวิทช์ (Switch Current Source)
2. ตัวเปรียบเทียบแรงดันทางเข้า (Input Compare)
3. ตัวตั้งเวลา (One Shot Timer)

การสร้างวงจร FVC ทำได้โดยการนำความถี่ของสัญญาณทางเข้า ไปเปิด-ปิด สวิทช์ เพื่อเก็บประจุเข้าไปในถังเก็บประจุซึ่งแรงดันทางออกคือแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ ดังนั้น FVC ก็จะทำให้ความสัมพันธ์ของแรงดันออกกับความถี่ของสัญญาณทางเข้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

สรุป เครื่องวัดระยะ

จากการทดลองสร้าง เครื่องวัดระยะที่ผ่านมา กล่าวได้ว่าได้ผลในระดับหนึ่ง ซึ่งข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เช่นระยะทางไกลสุดที่สามารถวัดได้, ระยะผิดพลาดต่าง ๆ เหล่านี้ อาจต้องศึกษาเพื่อหาทางแก้ไขต่อไปซึ่งอาจเกิดเนื่องจากความไม่เที่ยงตรงหรือความละเอียดของอุปกรณ์ที่นำมาประกอบหรือความไม่เที่ยงตรงของเครื่องมือวัด หรืออาจเป็นข้อบกพร่องในการคำนวณวงจรเหล่านี้เนื่องจากความจำกัดของเวลาและความสามารถของผู้จัดทำเอง จึงยังมีข้อบกพร่องต่าง ๆ เหล่านี้อยู่แต่โครงการที่ทำขึ้นมานี้ อาจเป็นการเริ่มต้นเพื่อการพัฒนาแนวทางและความคิดขั้นต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

สำหรับในโครงการชิ้นนี้ เราได้บรรลุเป้าหมายในการทำการทดลองเป็นลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาคุณสมบัติการทำงานของอุปกรณ์ Sensor และ Transducer รวมทั้งการนำไปประยุกต์ใช้งาน ในวงจรวัดและควบคุม
- 2) นำความรู้ที่ได้จากการศึกษา มาออกแบบและทำการทดลองกับวงจรที่เราได้ออกแบบไว้ เพื่อทำการเปลี่ยนแปลง และหาค่าคุณสมบัติที่ดีที่สุดของวงจรในการนำไปใช้งานจริง
- 3) ในขั้นแรก เราได้ทำการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของประตูอัตโนมัติ โดยใช้สัญญาณอินฟราเรดในการควบคุมและออกคำสั่ง
- 4) ในตอนที่ 2 เราได้นำเอาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของคลื่นอุลตราโซนิคมาใช้ออกแบบเครื่องวัดระยะทาง

เนื่องจากข้อจำกัดของเวลา และความสามารถของผู้จัดทำเอง โครงการชิ้นนี้จึงมีข้อผิดพลาดอยู่บ้าง ทางผู้จัดทำจึงขอเสนอแนะดังนี้

- 1) เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยทั่วไปที่ใช้คลื่นอินฟราเรด จะใช้ความถี่เดียวกันกับโครงการชิ้นนี้ จึงอาจเกิดปัญหาในด้านการรบกวน และมีผู้ที่สามารถเข้ามาใช้เครื่องในโครงการนี้ได้มากมาย จึงอาจต้องเพิ่มวงจรเข้ารหัสในภาคส่ง และวงจรถอดรหัสในภาครับ เพิ่มให้ผู้ที่มิใช่เครื่องส่งในโครงการนี้เท่านั้นที่สามารถเข้ามาใช้เครื่องนี้ได้
- 2) ในการส่งคลื่นอุลตราโซนิคเพื่อวัดระยะทาง ต้องไม่มีสิ่งกีดขวางเพราะจะทำให้การวัดผิดพลาดได้

กิตติกรรมประกาศ

ตลอดการทำงานที่ผ่านมามีผู้จัดทำได้พบกับอุปสรรคมากมาย บางครั้งทำให้เกิดความรู้สึกท้อแท้ เหนื่อยหน่ายและสิ้นหวัง แต่ในห้วงของความสิ้นหวังนั้นได้รับความห่วงใยของ คุณพ่อ คุณแม่และผู้ที่มีส่วนสนับสนุนผู้จัดทำในด้านต่างๆ ทั้งกำลังใจและคำแนะนำซึ่งมีคุณค่าแก่ผู้จัดทำมาก

เราขอโน้มราสีกถึงคุณความดีที่ได้รับจากท่านพี่และขอขอบคุณอาจารย์ สันต์ทอง พิณเศรษฐานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำรสนัยสนุนตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- วัจจร อิเลคทรอนิคส์ ดร. สิทธิชัย โกโคยอุดม
ดร. พีรศักดิ์ วรสุนทรโรสก
นายโตะมิโอะ อิวะสะกิ
- POWER ELECTRONICS อุดมศักดิ์ ชัยยีน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
- Beck, A.H.W., and H. Ahened, An Introduction to Physical Electronics,
Edward Arnold, London, 1968.
- Cyril W. Hander, "Power Electronics" McGRAW-Hill Book Company (UK)
Limited, 1981.
- Kusko, A., Solid State D.C. Motor Drivers, The mit Press, 1968.



MM74C925, MM74C926, MM74C927, MM74C928 4-Digit Counters with Multiplexed 7-Segment Output Drivers

general description

These CMOS counters consist of a 4-digit counter, an internal output latch, NPN output sourcing drivers for a 7-segment display, and an internal multiplexing circuitry with four multiplexing outputs. The multiplexing circuit has its own free-running oscillator, and requires no external clock. The counters advance on negative edge of clock. A high signal on the Reset input will reset the counter to zero, and reset the carry-out low. A low signal on the Latch Enable input will latch the number in the counters into the internal output latches. A high signal on Display Select input will select the number in the counter to be displayed; a low level signal on the Display Select will select the number in the output latch to be displayed.

The MM74C925 is a 4-decade counter and has Latch Enable, Clock and Reset inputs.

The MM74C926 is like the MM74C925 except that it has a display select and a carry-out used for cascading counters. The carry-out signal goes high at 6000, goes back low at 0000.

The MM74C927 is like the MM74C926 except the second most significant digit divides by 6 rather than 10. Thus, if the clock input frequency is 10 Hz, the display would read tenths of seconds and minutes (i.e., 9:59.9).

The MM74C928 is like the MM74C926 except the most significant digit divides by 2 rather than 10 and the

carry-out is an overflow indicator which is high at 2000, and it goes back low only when the counter is reset. Thus, this is a 3 1/2-digit counter.

features

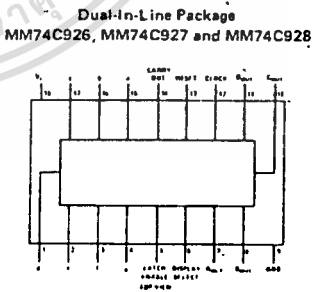
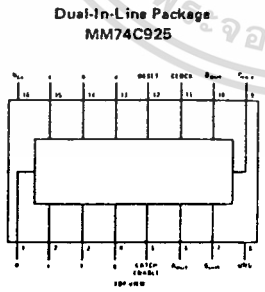
- Wide supply voltage range 3V to 6V
- Guaranteed noise margin 1V
- High noise immunity 0.45 V_{CC} typ
- High segment sourcing current 40 mA
- @ V_{CC} = 1.6V, V_{CC} = 5V
- Internal multiplexing circuitry

design considerations

Segment resistors are desirable to minimize power dissipation and chip heating. The DM75492 serves as a good digit driver when it is desired to drive bright displays. When using this driver with a 5V supply at room temperature, the display can be driven without segment resistors to full illumination. The user must use caution in this mode however, to prevent overheating of the device by using too high a supply voltage or by operating at high ambient temperatures.

The input protection circuitry consists of a series resistor, and a diode to ground. Thus input signals exceeding V_{CC} will not be clamped. This input signal should not be allowed to exceed 15V.

connection diagrams



functional description

- Reset — Asynchronous, active high
- Display Select — High, displays output of counter
Low, displays output of latch
- Latch Enable — High, flow through condition
Low, latch condition
- Clock — Negative edge sensitive

- Segment Output — Current sourcing with 80 mA @ V_{OUT} = V_{CC} - 1.6V typical. Also, sink capability = 2 LTTL loads
- Digit Output — Current sourcing with 1 mA @ V_{OUT} = 1.75V. Also, sink capability = 2 LTTL loads
- Carry-out — 2 LTTL loads. See carry-out waveforms.

absolute maximum ratings (Note 1)

Voltage at Any Output Pin	Gnd - 0.3V to $V_{CC} + 0.3V$
Voltage at Any Input Pin	Gnd - 0.3V to +15V
Operating Temperature Range (T_A)	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation	Refer to $P_{D(MAX)}$ vs T_A Graph
Operating V_{CC} Range	3V to 6V
V_{CC}	6.5V
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

dc electrical characteristics Min/max limits apply at -40°C ≤ T_J ≤ +85°C, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CMOS TO CMOS					
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage	$V_{CC} = 5.0V$	3.5		V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage	$V_{CC} = 5.0V$		1.5	V
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage (Carry-out and Digit Output Only)	$V_{CC} = 5.0V, I_O = -10\mu A$	4.5		V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$V_{CC} = 5.0V, I_O = 10\mu A$		0.5	V
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current	$V_{CC} = 5.0V, V_{IN} = 15V$		0.005	μA
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current	$V_{CC} = 5.0V, V_{IN} = 0V$	-1.0	-0.005	μA
I_{CC}	Supply Current	$V_{CC} = 5.0V$, Outputs Open Circuit, $V_{IN} = 0V$ or 5V		20	1000 μA
CMOS/LPTTL INTERFACE					
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage	$V_{CC} = 4.75V$	$V_{CC} - 1.5$		V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage	$V_{CC} = 4.75V$		0.8	V
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage (Carry-Out and Digit Output Only)	$V_{CC} = 4.75V$, $I_O = -360\mu A$	2.4		V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$V_{CC} = 4.75V$, $I_O = 360\mu A$		0.4	V
OUTPUT DRIVE					
V_{OUT}	Output Voltage (Segment Sourcing Output)	$I_{OUT} = -65\text{ mA}, V_{CC} = 5V, T_J = 25^\circ C$ $I_{OUT} = -40\text{ mA}, V_{CC} = 5V \begin{cases} T_J = 100^\circ C \\ T_J = 150^\circ C \end{cases}$	$V_{CC} - 1.6$ $V_{CC} - 2$	$V_{CC} - 1.3$ $V_{CC} - 1.2$ $V_{CC} - 1.4$	V V V
R_{ON}	Output Resistance (Segment Sourcing Output)	$I_{OUT} = -65\text{ mA}, V_{CC} = 5V, T_J = 25^\circ C$, $I_{OUT} = -40\text{ mA}, V_{CC} = 5V \begin{cases} T_J = 100^\circ C \\ T_J = 150^\circ C \end{cases}$		20 30 35	Ω Ω Ω
	Output Resistance (Segment Output) Temperature Coefficient			0.6	%/°C
I_{SOURCE}	Output Source Current (Digit Output)	$V_{CC} = 4.75V, V_{OUT} = 1.75V, T_J = 150^\circ C$	-1	-2	mA
I_{SOURCE}	Output Source Current (Carry-out)	$V_{CC} = 5V, V_{OUT} = 0V, T_J = 25^\circ C$	-1.75	-3.3	mA
I_{SINK}	Output Sink Current (All Outputs)	$V_{CC} = 5V, V_{OUT} = V_{CC}, T_J = 25^\circ C$	1.75	3.6	mA
θ_{JA}	Thermal Resistance	MM74C925 (Note 4) MM74C926, MM74C927, MM74C928		75 70	100 90 °C/W °C/W

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. Except for "Operating Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: Capacitance is guaranteed by periodic testing.

Note 3: C_{pD} determines the no load ac power consumption of any CMOS device. For complete explanation see 54C/74C Family Characteristics application note, AN-90.

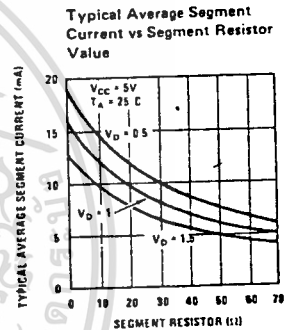
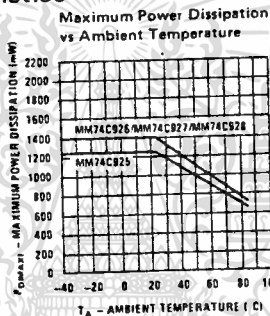
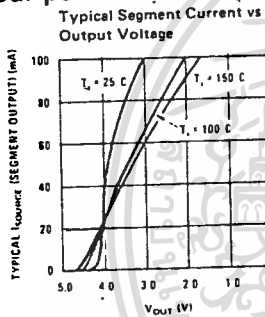
Note 4: θ_{JA} measured in free-air with device soldered into printed circuit board.

MM74C925, MM74C926, MM74C927, MM74C928

ac electrical characteristics $T_j = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 50\text{ pF}$, unless otherwise specified

PARAMETER		CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
f_{MAX}	Maximum Clock Frequency	$V_{CC} = 5.0\text{V}$, Square Wave Clock	$T_j = 25^\circ\text{C}$ $T_j \geq 100^\circ\text{C}$	2 1.5	4 3		MHz
t_r, t_f	Maximum Clock Rise or Fall Time	$V_{CC} = 5.0\text{V}$				15	μs
t_{WR}	Reset Pulse Width	$V_{CC} = 5.0\text{V}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$ $T_j = 100^\circ\text{C}$	250 320	100 125		ns
t_{WLE}	Latch Enable Pulse Width	$V_{CC} = 5.0\text{V}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$ $T_j = 100^\circ\text{C}$	250 320	100 125		ns
$t_{SETICK,LE1}$	Clock to Latch Enable Set-Up Time	$V_{CC} = 5.0\text{V}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$ $T_j = 100^\circ\text{C}$	2500 3200	1250 1600		ns
t_{LR}	Latch Enable to Reset Wait Time	$V_{CC} = 5.0\text{V}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$ $T_j = 100^\circ\text{C}$	0 0	-100 100		ns
$t_{SETIR,LE1}$	Reset to Latch Enable Set-Up Time	$V_{CC} = 5.0\text{V}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$ $T_j = 100^\circ\text{C}$	320 400	160 200		ns
f_{MUX}	Multiplexing Output Frequency	$V_{CC} = 5.0\text{V}$			1000		Hz
C_{IN}	Input Capacitance	Any Input (Note 2)					pF

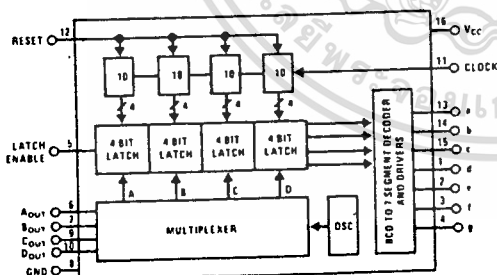
typical performance characteristics



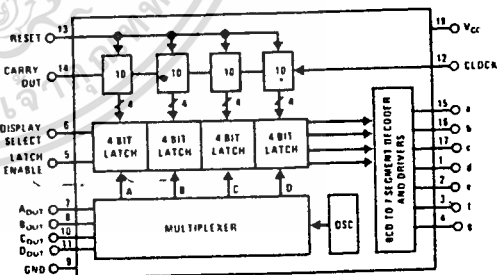
Note, V_D = Voltage across digit driver.

logic and block diagrams

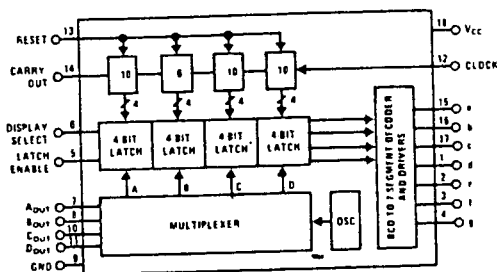
MM74C925



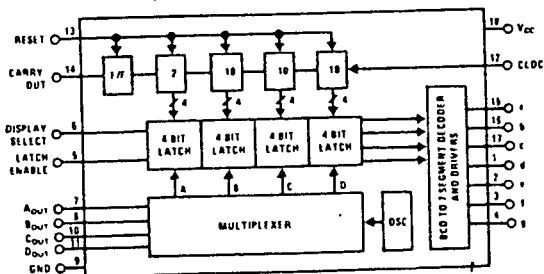
MM74C926



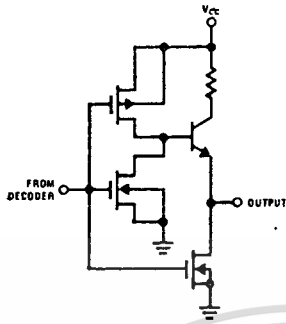
MM74C927



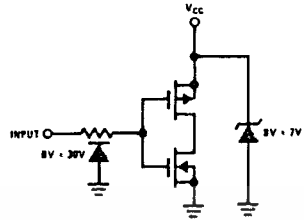
MM74C928



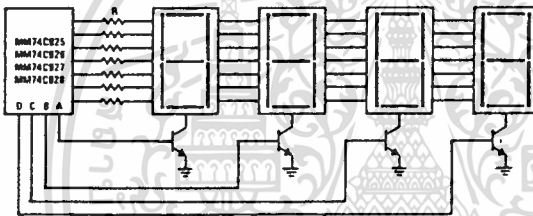
Segment Output Driver



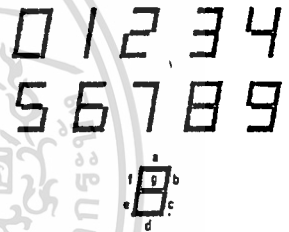
Input Protection



Common Cathode LED Display

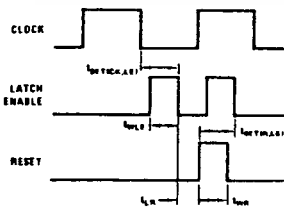


Segment Identification

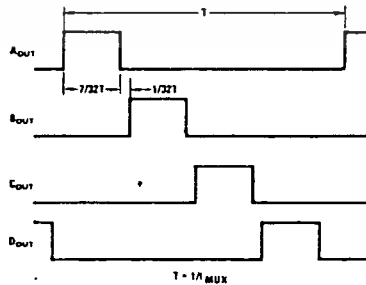


switching time waveforms

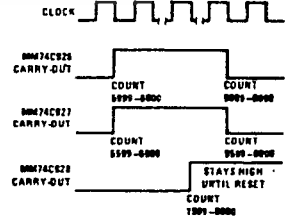
Input Waveforms



Multiplexing Output Waveforms



Carry-Out Waveforms



SCL4027B



CMOS DUAL J-K FLIP-FLOP

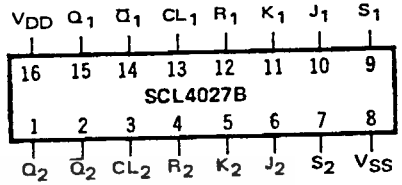
FEATURES

- ◆ Individual Set and Reset Controls
- ◆ Fully Static Operation
- ◆ Logic Edge-Clocked Design
- ◆ 8MHz Toggle Rate @ 10Vdc
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

DESCRIPTION

The SCL4027B consists of two identical independent CMOS J-K master-slave Flip-Flops. The SCL4027B is useful in performing control, register, and toggle functions. Logic levels present at the J and K inputs along with internal self-steering control the state of each flip-flop; changes in the flip-flop state are synchronous with the positive-going transition of the Clock pulse. Set and Reset functions are independent of the Clock and are initiated when a high level signal is present at either the Set or Reset input.

CONNECTION DIAGRAM (all packages)



Add suffix for package:

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

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		-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C

TRUTH TABLE

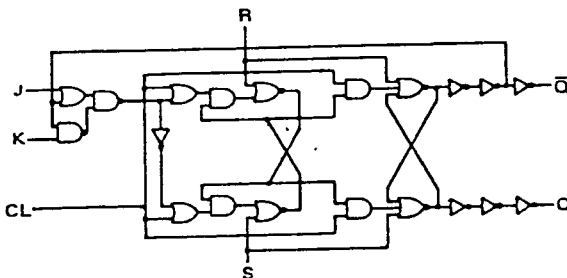
•t _{n-1} INPUTS					†t _n OUTPUTS		
CL▲	J	K	S	R	Q	Q̄	Q̄
1	1	X	0	0	0	1	0
1	X	0	0	0	1	1	0
1	0	X	0	0	0	0	1
1	X	1	0	0	1	0	1
0	X	X	0	0	X		(No Change)
X	X	X	1	0	X	1	0
X	X	X	0	1	X	0	1
X	X	X	1	1	X	1	1

WHERE 1 = HIGH LEVEL
0 = LOW LEVEL

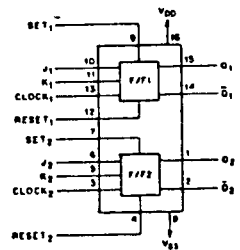
▲ - LEVEL CHANGE
X - DON'T CARE

- t_{n-1} REFERS TO THE INTERVAL PRIOR TO THE POSITIVE CLOCK PULSE TRANSITION
- † t_n REFERS TO THE TIME INTERVAL AFTER THE POSITIVE CLOCK PULSE TRANSITION

LOGIC DIAGRAM (one of two Flip-Flops)



BLOCK DIAGRAM



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS ^{1, 2}

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}	V _{IN} =V _{SS} or V _{DD} All valid input combinations	—	1.0	—	0.005	1.0	—	30	μA _{dc}
			—	2.0	—	0.01	2.0	—	60	
			—	4.0	—	0.02	4.0	—	120	

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.

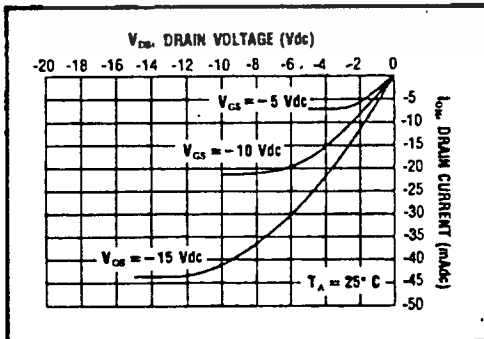
= + 85°C for E device.

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

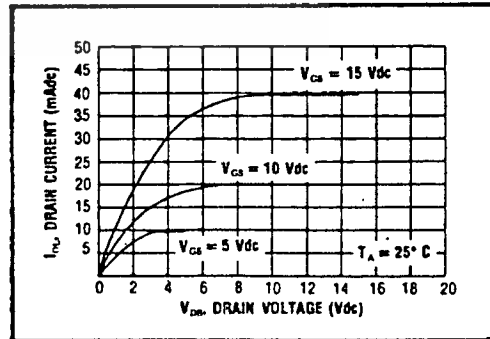
DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
CLOCKED OPERATION					
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PLH} , t _{PHL}	5	—	175	350
		10	—	80	160
		15	—	60	120
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{TLH} , t _{THL}	5	—	100	200
		10	—	50	100
		15	—	40	80
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW _{CL}	5	—	165	330
		10	—	60	120
		15	—	50	100
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f _{CL}	5	1.5	3.0	—
		10	4.0	8.0	—
		15	5.0	10	—
MAXIMUM CLOCK RISE AND FALL TIME ¹	t _{rCL} , t _{fCL}	5	15	—	—
		10	5	—	—
		15	3	—	—
MINIMUM SETUP TIME	t _{setup}	5	—	100	200
		10	—	50	100
		15	—	40	80
MINIMUM HOLD TIME	t _{hold}	5	—	-25	0
		10	—	-10	0
		15	—	-5	0
SET AND RESET OPERATION					
PROPAGATION DELAY TIME S to Q, R to Q	t _{PLH}	5	—	150	300
		10	—	70	140
		15	—	55	110
MINIMUM SET AND RESET PULSE WIDTH	PW _S , PW _R	5	—	100	200
		10	—	50	100
		15	—	40	80
SET AND RESET REMOVAL TIME	t _{rem}	5	—	0	25
		10	—	0	10
		15	—	0	5

¹ When units are cascaded, the maximum rise and fall times of the clock input should be equal to or less than the transition times of the data outputs driving data inputs, plus the propagation delay of the output driving stage for the output capacitive load.



Typical P-Channel
Source Current Characteristics



Typical N-Channel
Sink Current Characteristics

SCL4020AB



CMOS 14-STAGE BINARY COUNTER

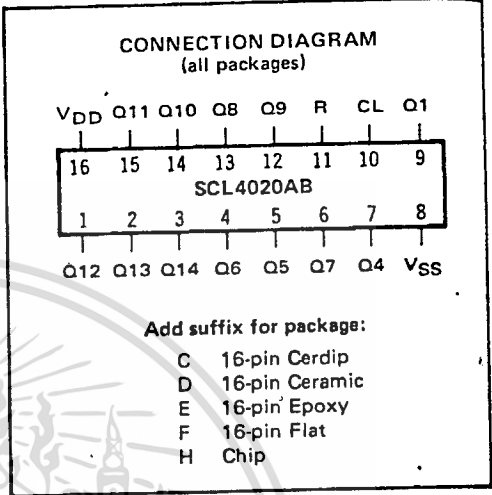
FEATURES

- ◆ 14 Fully Static Stages
- ◆ Buffered Outputs Available from 12 Stages
- ◆ Common Reset Line
- ◆ 8MHz Counting Rate @ 10Vdc
- ◆ All Inputs Buffered

DESCRIPTION

The SCL4020AB consists of 14 ripple-carry binary counter stages with appropriate input buffers and reset circuitry. Buffered outputs are externally available from stages 1, and 4 through 14. The counter is reset to its "all zeroes" state by a high level on the Reset input. The counter is advanced one count on the negative-going transition of each input pulse. Isolation from external noise and the effects of loading is provided by output buffering.

Applications include time delay circuits, counter controls, and frequency-dividing circuits.



RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

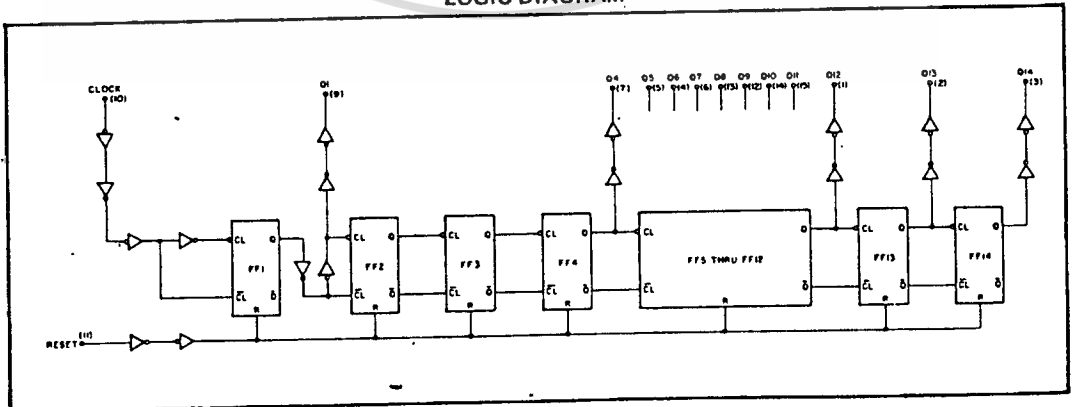
DC Supply Voltage	VDD - VSS	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	TA	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

TRUTH TABLE

CLOCK	RESET	OUTPUT STATE
	0	No Change
	0	Advance to next state
X	1	All Outputs are low

X = Don't Care

LOGIC DIAGRAM



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 ¹	I _{DD}	5	V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	—	5	—	0.05	5	—	150	μAdc	
		10	All valid input combinations	—	10	—	0.1	10	—	300		
		15		—	15	—	0.2	20	—	600		
OUTPUT HIGH (SOURCE) CURRENT C, D, F, H device	I _{OH}	5	V _{OH} = 4.6V	-0.15	—	-0.12	-0.5	—	-0.08	—	mA	
			V _{OH} = 9.5V	-0.37	—	-0.3	-1.15	—	-0.21	—		
			V _{OH} = 13.5V	-1.25	—	-1.0	-4.5	—	-0.69	—		
		E device	5	V _{OH} = 4.6V	-0.14	—	-0.12	-0.5	—	-0.10	—	mA
				V _{OH} = 9.5V	-0.35	—	-0.3	-1.15	—	-0.25	—	
				V _{OH} = 13.5V	-1.2	—	-1.0	-4.5	—	-0.85	—	
OUTPUT LOW (SINK) CURRENT C, D, F, H device	I _{OL}	5	V _{OL} = 0.4V	0.15	—	0.12	0.5	—	0.08	—	mA	
			V _{OL} = 0.5V	0.37	—	0.3	1.0	—	0.21	—		
			V _{OL} = 1.5V	1.25	—	1.0	5.8	—	0.69	—		
		E device	5	V _{OL} = 0.4V	0.14	—	0.12	0.5	—	0.10	—	mA
				V _{OL} = 0.5V	0.35	—	0.3	1.0	—	0.25	—	
				V _{OL} = 1.5V	1.2	—	1.0	5.8	—	0.85	—	

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

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

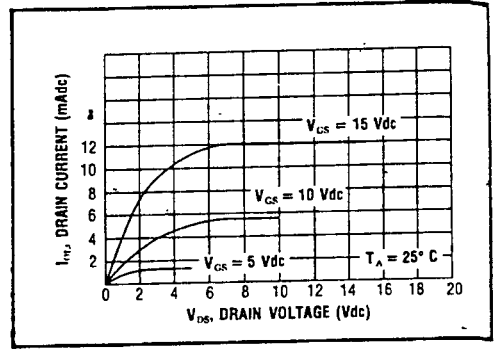
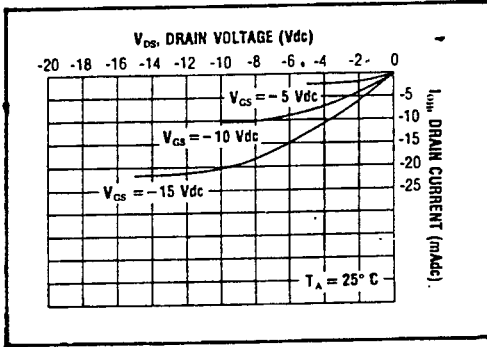
= -40°C for E device.

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

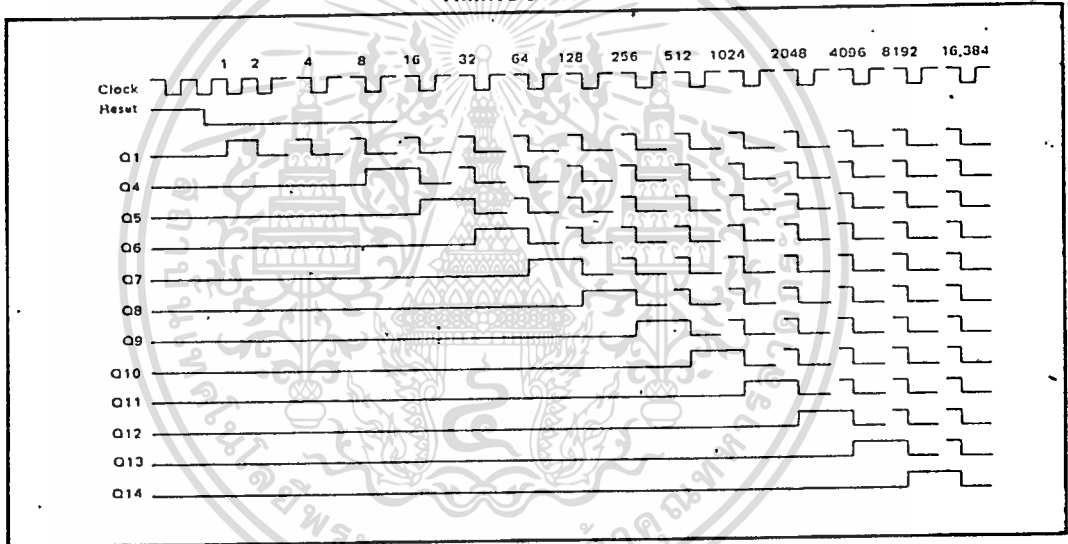
= + 85°C for E device.

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

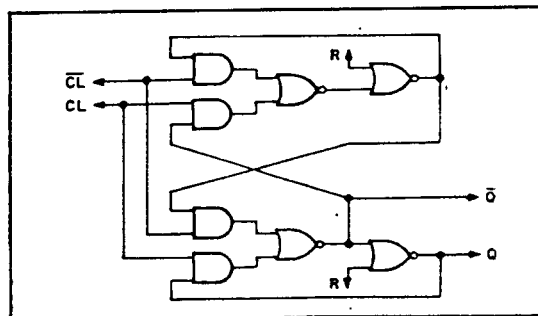
PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units	
CLOCKED OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME Clock to Q1	t _{PLH} , t _{PHL}	5	—	200	400	ns
		10	—	100	200	
		15	—	80	160	
Q _i to Q _i + 1	t _{PLH} , t _{PHL}	5	—	150	300	ns
		10	—	75	150	
		15	—	60	120	
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{TLH} , t _{THL}	5	—	180	360	ns
		10	—	90	180	
		15	—	65	130	
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW _{CL}	5	—	100	200	ns
		10	—	50	100	
		15	—	40	80	
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f _{CL}	5	2.0	4.0	—	MHz
		10	4.0	8	—	
		15	5	10	—	
MAXIMUM CLOCK RISE AND FALL TIME	t _{rCL} , t _{fCL}	5	15	—	—	μs
		10	15	—	—	
		15	5	—	—	
RESET OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PHL}	5	—	300	600	ns
		10	—	150	300	
		15	—	120	240	
MINIMUM RESET PULSE WIDTH	PW _R	5	—	150	300	ns
		10	—	75	150	
		15	—	60	120	
RESET REMOVAL TIME	t _{rem}	5	—	250	500	ns
		10	—	125	250	
		15	—	100	200	



TIMING DIAGRAM



TYPICAL COUNTER STAGE



MM54C00/MM74C00 Quad 2-Input NAND Gate
MM54C02/MM74C02 Quad 2-Input NOR Gate
MM54C04/MM74C04 Hex Inverter
MM54C10/MM74C10 Triple 3-Input NAND Gate
MM54C20/MM74C20 Dual 4-Input NAND Gate

general description

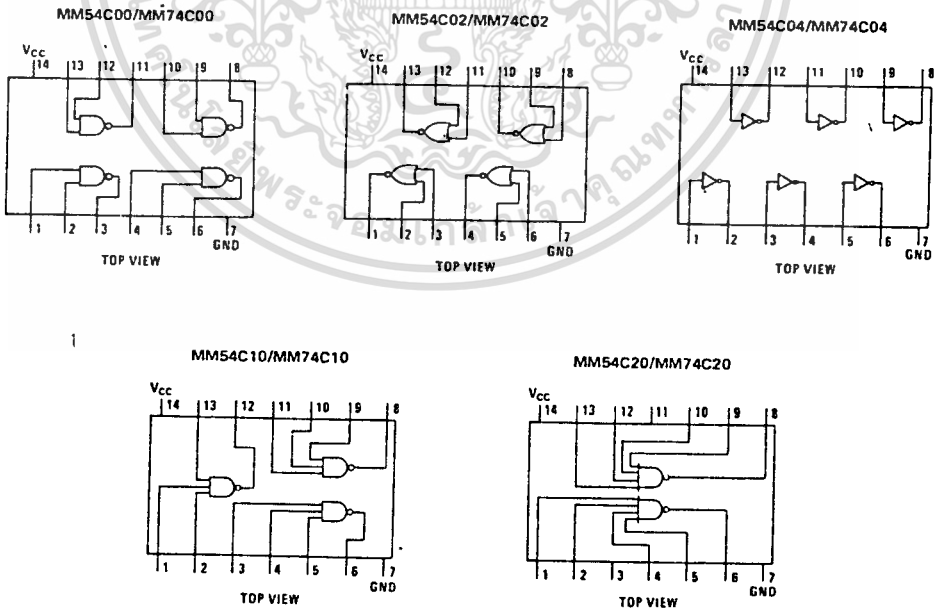
These logic gates employ complementary MOS (CMOS) to achieve wide power supply operating range, low power consumption, high noise immunity and symmetric controlled rise and fall times. With features such as this the 54C/74C logic family is close to ideal for use in digital systems. Function and pin out compatibility with series 54/74 devices minimizes design time for those designers already familiar with the standard 54/74 logic family.

All inputs are protected from damage due to static discharge by diode clamps to V_{CC} and GND.

features

- Wide supply voltage range 3.0V to 15V
- Guaranteed noise margin 1.0V
- High noise immunity 0.45 V_{CC} typ.
- Low power consumption 10 nW/package typ.
- Low power TTL compatibility fan out of 2 driving 74L

connection diagrams



MM54C00/MM74C00, MM54C02/MM74C02, MM54C04/MM74C04, MM54C10/MM74C10, MM54C20/MM74C20

absolute maximum ratings (Note 1)

Voltage at Any Pin	-0.3V to $V_{CC} + 0.3V$
Operating Temperature Range	
54C	-55°C to +125°C
74C	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Operating V_{CC} Range	3.0V to 15V
Maximum V_{CC} Voltage	18V
Package Dissipation	500 mW
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

dc electrical characteristics

Min/max limits apply across the guaranteed temperature range unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CMOS TO CMOS					
Logical "1" Input Voltage ($V_{IN(1)}$)	$V_{CC} = 5.0V$ $V_{CC} = 10V$	3.5 8.0			V V
Logical "0" Input Voltage ($V_{IN(0)}$)	$V_{CC} = 5.0V$ $V_{CC} = 10V$			1.5 2.0	V V
Logical "1" Output Voltage ($V_{OUT(1)}$)	$V_{CC} = 5.0V, I_O = -10\mu A$ $V_{CC} = 10V, I_O = -10\mu A$	4.5 9.0			V V
Logical "0" Output Voltage ($V_{OUT(0)}$)	$V_{CC} = 5.0V, I_O = +10\mu A$ $V_{CC} = 10V, I_O = +10\mu A$			0.5 1.0	V V
Logical "1" Input Current ($I_{IN(1)}$)	$V_{CC} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.005	1.0	μA
Logical "0" Input Current ($I_{IN(0)}$)	$V_{CC} = 15V, V_{IN} = 0V$	-1.0	-0.005		μA
Supply Current (I_{CC})	$V_{CC} = 15V$		0.01	15	μA
LOW POWER TO CMOS					
Logical "1" Input Voltage ($V_{IN(1)}$)	54C, $V_{CC} = 4.5V$ 74C, $V_{CC} = 4.75V$		$V_{CC} - 1.5$ $V_{CC} - 1.5$		V V
Logical "0" Input Voltage ($V_{IN(0)}$)	54C, $V_{CC} = 4.5V$ 74C, $V_{CC} = 4.75V$			0.8 0.8	V V
Logical "1" Output Voltage ($V_{OUT(1)}$)	54C, $V_{CC} = 4.5V, I_O = -10\mu A$ 74C, $V_{CC} = 4.75V, I_O = -10\mu A$	4.4 4.4			V V
Logical "0" Output Voltage ($V_{OUT(0)}$)	54C, $V_{CC} = 4.5V, I_O = +10\mu A$ 74C, $V_{CC} = 4.75V, I_O = +10\mu A$			0.4 0.4	V V
CMOS TO LOW POWER					
Logical "1" Input Voltage ($V_{IN(1)}$)	54C, $V_{CC} = 4.5V$ 74C, $V_{CC} = 4.75V$	4.0 4.0			V V
Logical "0" Input Voltage ($V_{IN(0)}$)	54C, $V_{CC} = 4.5V$ 74C, $V_{CC} = 4.75V$			1.0 1.0	V V
Logical "1" Output Voltage ($V_{OUT(1)}$)	54C, $V_{CC} = 4.5V, I_O = -360\mu A$ 74C, $V_{CC} = 4.75V, I_O = -360\mu A$	2.4 2.4			V V
Logical "0" Output Voltage ($V_{OUT(0)}$)	54C, $V_{CC} = 4.5V, I_O = 360\mu A$ 74C, $V_{CC} = 4.75V, I_O = 360\mu A$			0.4 0.4	V V
OUTPUT DRIVE (See 54C/74C Family Characteristics Data Sheet)					
Output Source Current (I_{SOURCE})	$V_{CC} = 5.0V, V_{IN(0)} = 0V$ $T_A = 25^\circ C, V_{OUT} = 0V$	-1.75			mA
Output Source Current (I_{SOURCE})	$V_{CC} = 10V, V_{IN(0)} = 0V$ $T_A = 25^\circ C, V_{OUT} = 0V$	-8.0			mA
Output Sink Current (I_{SINK})	$V_{CC} = 5.0V, V_{IN(1)} = 5.0V$ $T_A = 25^\circ C, V_{OUT} = V_{CC}$	1.75			mA
Output Sink Current (I_{SINK})	$V_{CC} = 10V, V_{IN(1)} = 10V$ $T_A = 25^\circ C, V_{OUT} = V_{CC}$	8.0			mA

MM54C00/MM74C00, MM54C02/MM74C02, MM54C04/MM74C04, MM54C10/MM74C10, MM54C20/MM74C20

ac electrical characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 50\text{ pF}$, unless otherwise specified.

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
MM54C00/MM74C00, MM54C02/MM74C02, MM54C04/MM74C04					
Propagation Delay Time to Logical "1" or "0" (t_{pd})	$V_{CC} = 5.0\text{V}$ $V_{CC} = 10\text{V}$		50 30	90 60	ns
Input Capacitance (C_{IN})	(Note 2)		6.0		pF
Power Dissipation Capacitance (C_{PD})	(Note 3) Per Gate or Inverter		12		pF
MM54C10/MM74C10					
Propagation Delay Time to Logical "1" or "0" (t_{pd})	$V_{CC} = 5.0\text{V}$ $V_{CC} = 10\text{V}$		60 35	100 70	ns
Input Capacitance (C_{IN})	(Note 2)		7.0		pF
Power Dissipation Capacitance (C_{PD})	(Note 3) Per Gate		18		pF
MM54C20/MM74C20					
Propagation Delay Time to Logical "1" or "0" (t_{pd})	$V_{CC} = 5.0\text{V}$ $V_{CC} = 10\text{V}$		70 40	115 80	ns
Input Capacitance (C_{IN})	(Note 2)		9		pF
Power Dissipation Capacitance (C_{PD})	(Note 3) Per Gate		30		pF

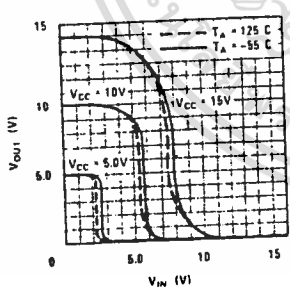
Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. Except for "Operating Temperature Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: Capacitance is guaranteed by periodic testing.

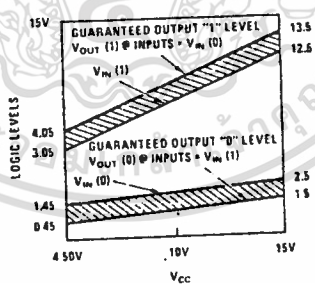
Note 3: C_{PD} determines the no load ac power consumption of any CMOS device. For complete explanation see 54C/74C Family Characteristics application note - AN-90

typical performance characteristics

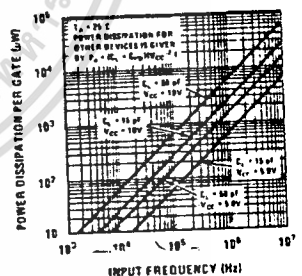
Gate Transfer Characteristics



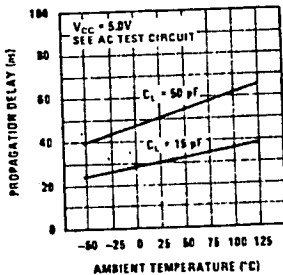
Guaranteed Noise Margin Over Temperature vs VCC



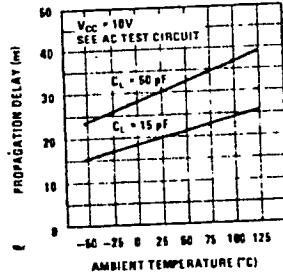
Power Dissipation vs Frequency MM54C00/MM74C00, MM54C02/MM74C02, MM54C04/MM74C04



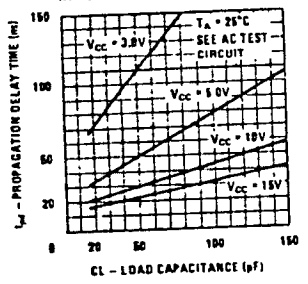
Propagation Delay vs Ambient Temperature MM54C00/MM74C00, MM54C02/MM74C02, MM54C04/MM74C04



Propagation Delay vs Ambient Temperature MM54C00/MM74C00, MM54C02/MM74C02, MM54C04/MM74C04

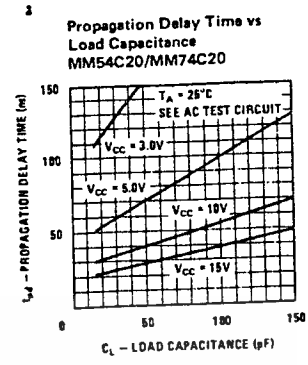
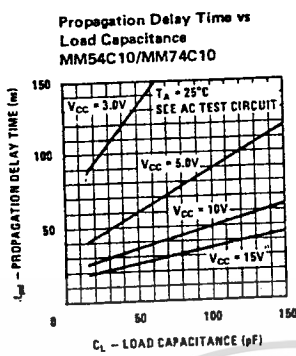


Propagation Delay Time vs Load Capacitance MM54C00/MM74C00, MM54C02/MM74C02, MM54C04/MM74C04

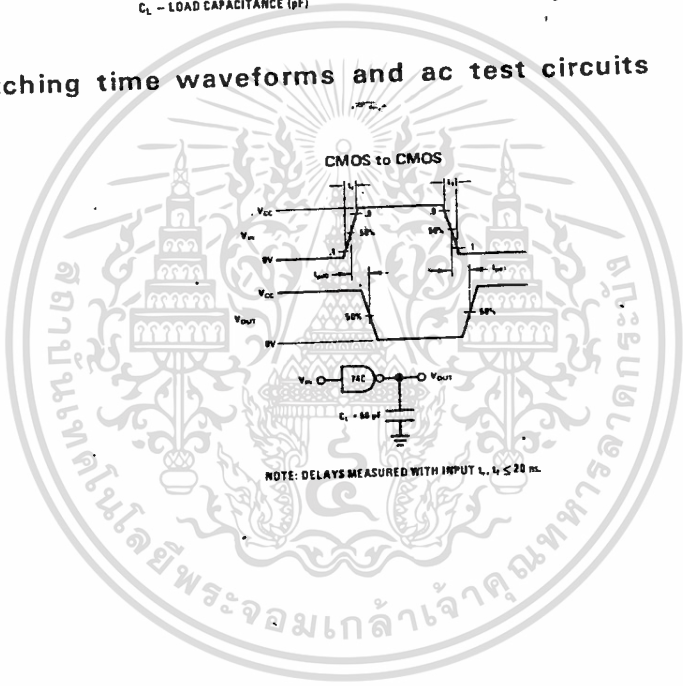


MM54C00/MM74C00, MM54C02/MM74C02, MM54C04/MM74C04, MM54C10/MM74C10, MM54C20/MM74C20

typical performance characteristics (con't)



switching time waveforms and ac test circuits





**National
Semiconductor**

MM54C08/MM74C08 Quad 2-Input AND Gate
MM54C86/MM74C86 Quad 2-Input
EXCLUSIVE-OR Gate

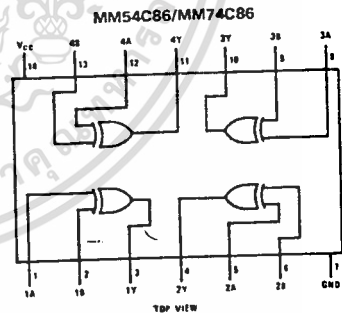
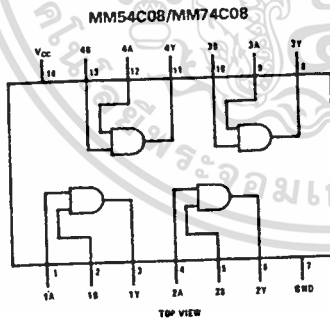
general description

Employing complementary MOS (CMOS) transistors to achieve wide power supply operating range, low power consumption and high noise margin these gates provide basic functions used in the implementation of digital integrated circuit systems. The N and P-channel enhancement mode transistors provide a symmetrical circuit with output swing essentially equal to the supply voltage. No dc power other than that caused by leakage current is consumed during static condition. All inputs are protected from damage due to static discharge by diode clamps to V_{CC} and GND.

features

- Wide supply voltage range 3.0V to 15V
- Guaranteed noise margin 1.0V
- High noise immunity 0.45 V_{CC} typ
- Low power TTL compatibility fan out of 2 driving 74L
- Low power consumption 10 nW/package typ
- The MM54C86/MM74C86 follows the MM54L86/MM74L86 pinout

connection diagrams



truth tables

MM54C08/MM74C08

INPUTS		OUTPUT
A	B	Y
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

H = High Level L = Low Level

MM54C86/MM74C86

INPUTS		OUTPUTS
A	B	Y
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	L

absolute maximum ratings (Note 1)

Voltage at Any Pin	-0.3V to $V_{CC} + 0.3V$
Operating Temperature Range	
MM54C08, MM54C86	-55°C to +125°C
MM74C08, MM74C86	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation	500 mW
Operating V_{CC} Range	3.0V to 15V
Absolute Maximum V_{CC}	18V
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

dc electrical characteristics

Min/max limits apply across temperature range, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CMOS TO CMOS					
Logical "1" Input Voltage ($V_{IN(1)}$)	$V_{CC} = 5.0V$ $V_{CC} = 10V$	3.5 8.0			V V
Logical "0" Input Voltage ($V_{IN(0)}$)	$V_{CC} = 5.0V$ $V_{CC} = 10V$			1.5 2.0	V V
Logical "1" Output Voltage ($V_{OUT(1)}$)	$V_{CC} = 5.0V, I_O = -10\mu A$ $V_{CC} = 10V, I_O = -10\mu A$	4.5 9.0			V V
Logical "0" Output Voltage ($V_{OUT(0)}$)	$V_{CC} = 5.0V, I_O = +10\mu A$ $V_{CC} = 10V, I_O = +10\mu A$			0.5 1.0	V V
Logical "1" Input Current ($I_{IN(1)}$)	$V_{CC} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.005	1.0	μA
Logical "0" Input Current ($I_{IN(0)}$)	$V_{CC} = 15V, V_{IN} = 0V$	-1.0	-0.005		μA
Supply Current (I_{CC})	$V_{CC} = 15V$		0.01	15	μA
CMOS/LPTTL INTERFACE					
Logical "1" Input Voltage ($V_{IN(1)}$)	54C, $V_{CC} = 4.5V$ 74C, $V_{CC} = 4.75V$	$V_{CC} - 1.5$ $V_{CC} - 1.5$			V V
Logical "0" Input Voltage ($V_{IN(0)}$)	54C, $V_{CC} = 4.5V$ 74C, $V_{CC} = 4.75V$			0.8 0.8	V V
Logical "1" Output Voltage ($V_{OUT(1)}$)	54C, $V_{CC} = 4.5V, I_O = -360\mu A$ 74C, $V_{CC} = 4.75V, I_O = -360\mu A$	2.4 2.4			V V
Logical "0" Output Voltage ($V_{OUT(0)}$)	54C, $V_{CC} = 4.5V, I_O = +360\mu A$ 74C, $V_{CC} = 4.75V, I_O = +360\mu A$			0.4 0.4	V V
OUTPUT DRIVE (See 54C/74C Family Characteristics Data Sheet)					
Output Source Current (I_{SOURCE}) (P-Channel)	$V_{CC} = 5.0V, V_{OUT} = 0V$ $T_A = 25^\circ C$	1.75	-3.3		mA
Output Source Current (I_{SOURCE}) (P-Channel)	$V_{CC} = 10V, V_{OUT} = 0V$ $T_A = 25^\circ C$	-8.0	-15		mA
Output Sink Current (I_{SINK}) (N-Channel)	$V_{CC} = 5.0V, V_{OUT} = V_{CC}$ $T_A = 25^\circ C$	1.75	3.6		mA
Output Sink Current (I_{SINK}) (N-Channel)	$V_{CC} = 10V, V_{OUT} = V_{CC}$ $T_A = 25^\circ C$	8.0	16		mA

ac electrical characteristics

(MM54C08/MM74C08) $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 50\text{ pF}$, unless otherwise specified.

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Propagation Delay Time to Logical "1" or "0" (t_{pd})	$V_{CC} = 5.0\text{V}$ $V_{CC} = 10\text{V}$		80 40	140 70	ns ns
Input Capacitance (C_{IN})	Note 2		5.0		pF
Power Dissipation Capacitance (C_{pd})	Note 3 Per Gate		14		pF

ac electrical characteristics

(MM54C86/MM74C86) $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 50\text{ pF}$, unless otherwise specified

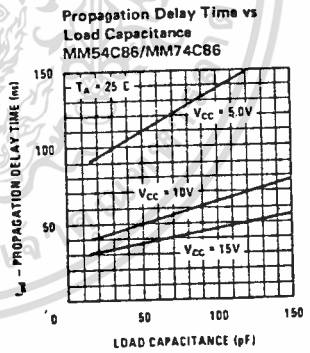
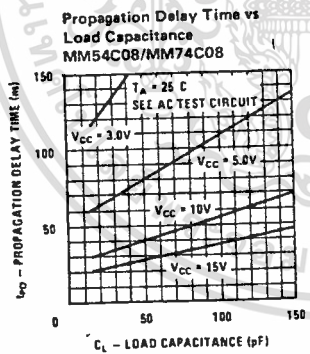
PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Propagation Delay Time to Logical "1" or "0" (t_{pd})	$V_{CC} = 5.0\text{V}$ $V_{CC} = 10\text{V}$		110 50	185 90	ns ns
Input Capacitance (C_{IN})	Note 2		5.0		pF
Power Dissipation Capacitance (C_{pd})	Note 3 Per Gate		20		pF

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. Except for "Operating Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

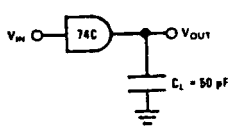
Note 2: Capacitance is guaranteed by periodic testing.

Note 3: C_{pd} determines the no load ac power consumption of any CMOS device. For complete explanation see 54C/74C Family Characteristics application note, AN-90.

typical performance characteristics

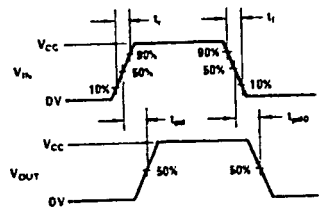


ac test circuit



NOTE: DELAYS MEASURED WITH INPUT $t_r = 70\text{ ns}$

switching time waveforms



54147/74147 IO-Line Decimal to 4-Line BCD Priority Encoder

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package	
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF
T.I.									JTL				SN54147	J(C)			SN74147	J(C)N(D)		
FAIRCHILD																				
MOTOROLA																				
N. S. C.													DM54147				DM74147			
PHILIPS																				
SIGNETICS													N74147		⊕					
SIEMENS													M4147							
FUJITSU													SS4147							
HITACHI																				
HD74147																				
MITSUBISHI																				
M74147																				
NEC																				
TOSHIBA																				

Electrical Characteristics SN54LS147/SN74LS147

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V	temperature range	SN74LS	0°C to 70°C
		Storage temperature range		-65°C to 150°C

recommended operating conditions

	SN54LS147			SN74LS147			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I _{OH}			-400			-400	μA
Low-level output current, I _{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T _A	-55		125	0		70	°C

Function Table

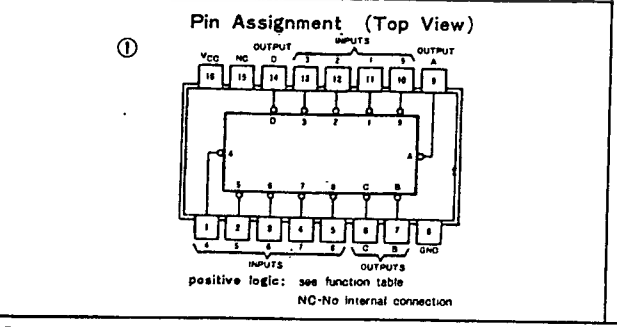
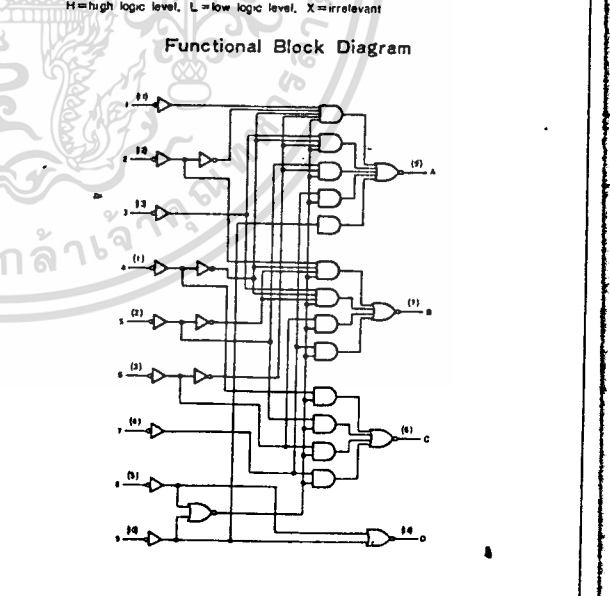
'147

INPUTS									OUTPUTS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	D	C	B	A
H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
X	X	X	X	X	X	X	X	L	L	H	H	L
X	X	X	X	X	X	X	L	H	L	H	H	L
X	X	X	X	X	L	H	H	H	L	L	L	L
X	X	X	X	L	H	H	H	H	H	L	L	L
X	X	X	L	H	H	H	H	H	H	L	L	L
X	X	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L
X	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L
L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L

H=high logic level, L=low logic level, X=irrelevant

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER §	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT	
V _{IH}	High-level input voltage		2		V	
V _{IL}	Low-level input voltage			0.8	V	
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} =MIN, I _I =-18mA		-1.5	V	
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} =MIN, V _{IH} =2V, V _{IL} =0.8V, I _{OH} =-400μA	2.7	3.4	V	
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} =MIN, V _{IH} =2V, V _{IL} =0.8V, I _{OL} =8mA	0.35	0.5	V	
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{CC} =MAX, V _I =7V		0.1	mA	
I _{IH}	High-level input current	Any input except 0, V _{CC} =MAX, V _I =2.7V		20	μA	
I _{IL}	Low-level input current	Any input except 0, V _{CC} =MAX, V _I =0.4V		-0.4	mA	
I _{OS}	Short-circuit output current *	V _{CC} =MAX	-20	-100	mA	
I _{CC}	Supply current	V _{CC} =MAX, Condition 1	12	20	mA	
		V _{CC} =MAX, Condition 2	10	17	mA	
t _{PLH}	from Any to Any output	WAVE- in-phase output	V _{CC} =5V, T _A =25°C	12	18	ns
		FORM Out-of-phase output	C _L =15pF, R _L =2kΩ	21	33	ns
t _{PHL}	from Any to Any output	WAVE- in-phase output	V _{CC} =5V, T _A =25°C	12	18	ns
		FORM Out-of-phase output	C _L =15pF, R _L =2kΩ	15	23	ns



'147 IO-LINE-TO-4 PRIORITY ENCODER

NOTE: I_{CC} (condition 1) is measured with input 7 grounded, other inputs and outputs open; I_{CC} (condition 2) is measured with all inputs and outputs open.

†For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable device type.
‡All typical values are at V_{CC}=5V, T_A=25°C.
*Not more than one output should be shorted at a time.
†t_{PLH}=propagation delay time, low-to-high-level output
†t_{PHL}=propagation delay time, high-to-low-level output

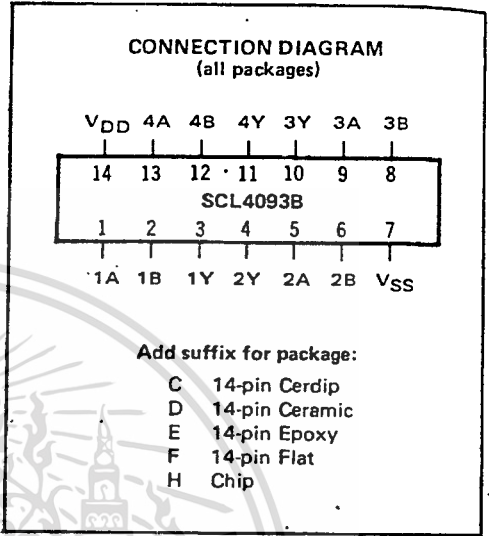


FEATURES

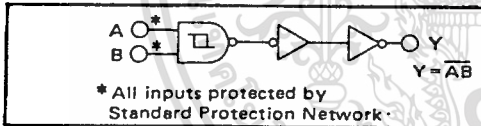
- ◆ Schmitt Trigger Action on each Input with no External Components
- ◆ Quad 2-Input NAND Configuration
- ◆ Noise Immunity Greater than 50%
- ◆ No Limit on Input Rise and Fall Times
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

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

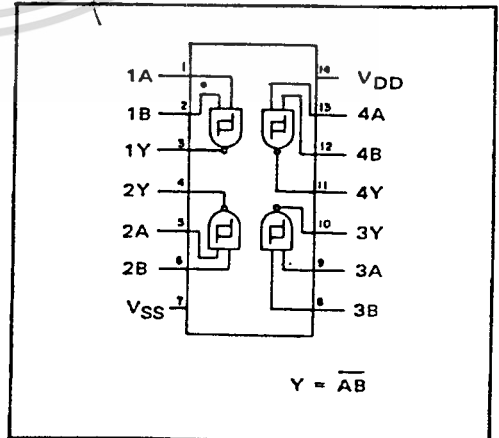


RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

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

BLOCK DIAGRAM



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS^{1,3}

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 10 15	V _{IN} =V _{SS} or V _{DD} All valid input combinations	—	0.05	—	0.0005	0.05	—	1.5	μA _{dc}
			—	0.10	—	0.001	0.10	—	3.0	
			—	0.20	—	0.002	0.20	—	6.0	
POSITIVE TRIGGER THRESHOLD VOLTAGE V _P (V _{IL})	5 10 15		3 typ		2.9 typ			2.9 typ		Vdc
			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 _{IH})	5 10 15		2.6 typ		2.3 typ			2.1 typ		Vdc
			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".

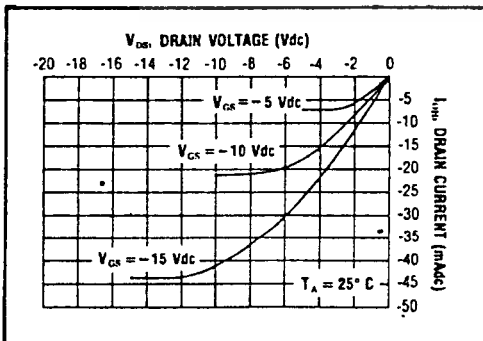
² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
= -40°C for E device.

T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
= + 85°C for E device.

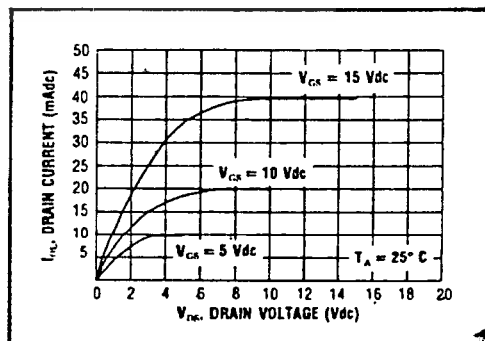
³ This device has been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

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

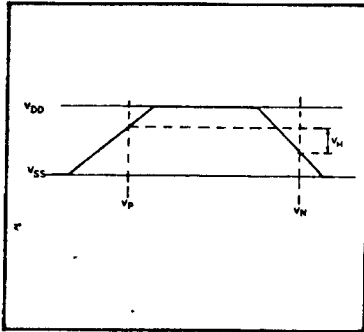
PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME t _{PLH} , t _{PHL}	5	—	300	600	ns
	10	—	150	300	
	15	—	120	240	
OUTPUT TRANSITION TIME t _{TLH} , t _{THL}	5	—	100	200	ns
	10	—	50	100	
	15	—	40	80	



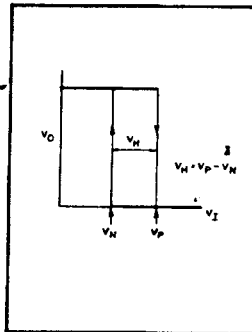
Typical P-Channel
Source Current Characteristics



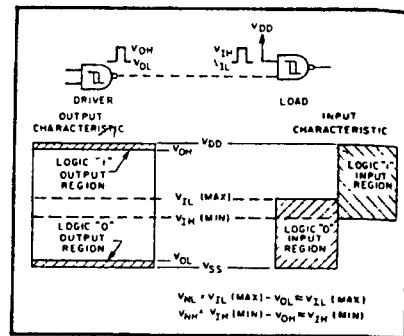
Typical N-Channel
Sink Current Characteristics



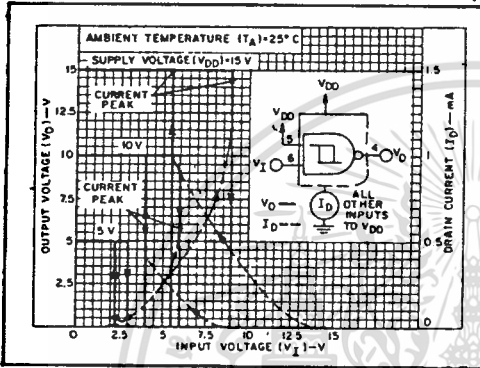
Definition of V_P, V_N and V_H .



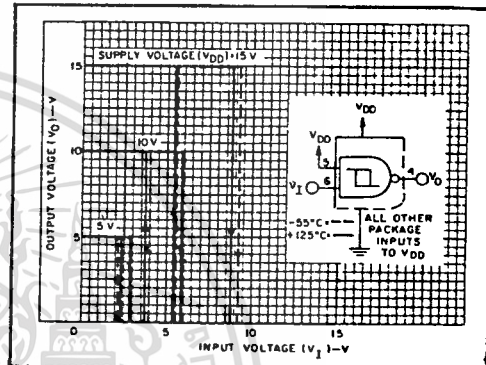
Transfer characteristic of 1 of 4 gates.



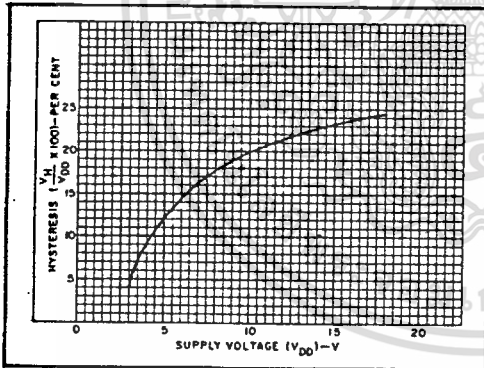
Input and output characteristics.



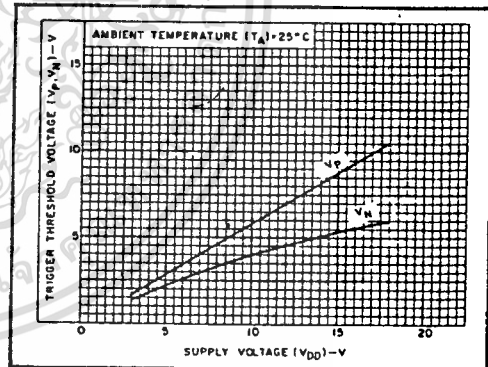
Typical current and voltage transfer characteristics.



Typical voltage transfer characteristics as a function of temperature.

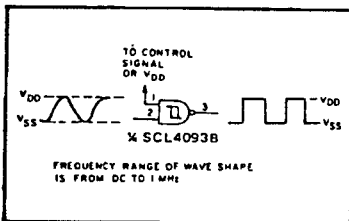


Typical trigger threshold voltage vs. V_{DD} .

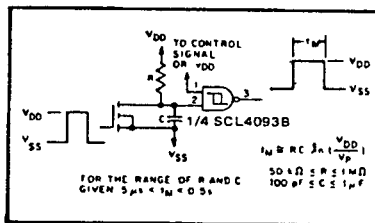


Typical per cent hysteresis vs. supply voltage.

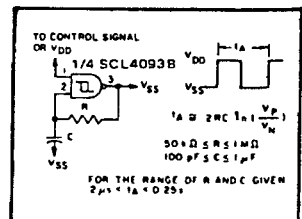
APPLICATIONS INFORMATION



Wave shaper.



Monostable multivibrator.



Astable multivibrator.

CD40106BM/CD40106BC Hex Schmitt Trigger

general description

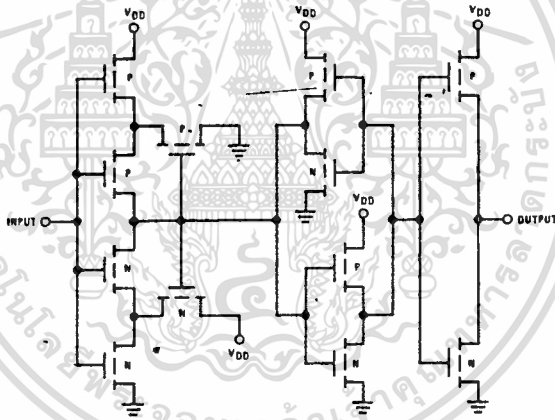
The CD40106B Hex Schmitt Trigger is a monolithic complementary MOS (CMOS) integrated circuit constructed with N and P-channel-enhancement transistors. The positive and negative-going threshold voltages, V_{T+} and V_{T-} , show low variation with respect to temperature (typ 0.0005V/°C at $V_{DD} = 10V$), and hysteresis, $V_{T+} - V_{T-} \geq 0.2 V_{DD}$ is guaranteed.

All inputs are protected from damage due to static discharge by diode clamps to V_{DD} and V_{SS} .

features

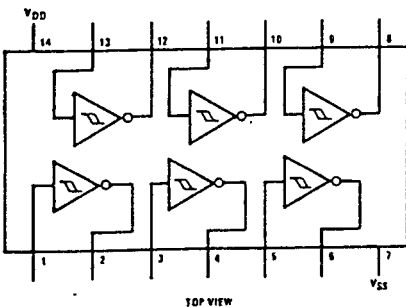
- Wide supply voltage range 3V to 15V
- High noise immunity 0.7 V_{DD} typ
- Low power fan out of 2
- TTL compatibility driving 74L
- Hysteresis or 1 driving
- Equivalent to MM54C14/MM74C14 74LS
- Equivalent to MC14584B 0.4 V_{DD} typ
- 0.2 V_{DD} guaranteed

schematic diagram

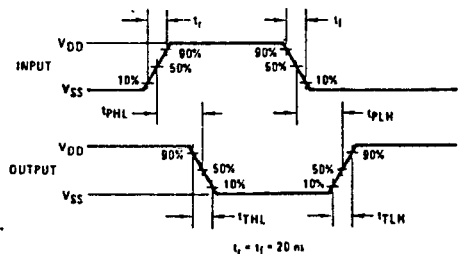


connection diagram

Dual-In-Line Package



switching time waveforms



absolute maximum ratings

(Notes 1 and 2)

V _{DD} dc Supply Voltage	-0.5 to +18 V _{DC}
V _{IN} Input Voltage	-0.5 to V _{DD} +0.5 V _{DC}
T _S Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
P _D Package Dissipation	500 mW
T _L Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

recommended operating conditions

(Note 2)

V _{DD} dc Supply Voltage	3 to 15 V _{DC}
V _{IN} Input Voltage	0 to V _{DD} V _{DC}
T _A Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
CD40106BM	-40°C to +85°C
CD40106BC	

dc electrical characteristics CD40106BM (Note 2)

PARAMETER	CONDITIONS	-55°C		25°C			125°C		UNITS
		MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
I _{DD} Quiescent Device Current	V _{DD} = 5V		1.0			1.0		30	μA
	V _{DD} = 10V		2.0			2.0		60	μA
	V _{DD} = 15V		4.0			4.0		120	μA
V _{OL} Low Level Output Voltage	I _O < 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 _O < 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	3.6	1.0	2.2	3.6	1.0	3.6	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	0.64	0.5	0.88		0.36			mA
	V _{DD} = 10V, V _O = 0.5V	1.6	1.3	2.25		0.9			mA
	V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V	4.2	3.4	8.8		2.4			mA
I _{OH} High Level Output Current	V _{DD} = 5V, V _O = 4.6V	-0.64	-0.51	-0.88		-0.36			mA
	V _{DD} = 10V, V _O = 9.5V	-1.6	-1.3	-2.25		-0.9			mA
	V _{DD} = 15V, V _O = 13.5V	-4.2	-3.4	-8.8		-2.4			mA
I _{IN} Input Current	V _{DD} = 15V, V _{IN} = 0V		-0.10		-10 ⁻⁵	-0.10		-1.0	μA
	V _{DD} = 15V, V _{IN} = 15V		0.10		10 ⁻⁵	0.10		1.0	μA

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: V_{SS} = 0V unless otherwise specified.

Note 3: C_{PD} determines the no load ac power consumption of any CMOS device. For complete explanation, see 54C/74C Family Characteristic application note—AN-90.

dc electrical characteristics CD40106BC (Note 2)

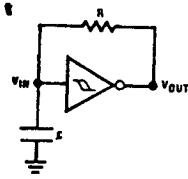
PARAMETER	CONDITIONS	-40°C		25°C			+85°C		UNITS	
		MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX		
I _{DD}	Quiescent Device Current	V _{DD} = 5V		4.0			4.0	30	μA	
		V _{DD} = 10V		8.0			8.0	60	μA	
		V _{DD} = 15V		16.0			16.0	120	μA	
V _{OL}	Low Level Output Voltage	I _{IO} < 1μA								
		V _{DD} = 5V		0.05			0.05	0.05	V	
		V _{DD} = 10V		0.05			0.05	0.05	V	
V _{OH}	High Level Output Voltage	I _{IO} < 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	3.6	1.0	2.2	3.6	1.0	3.6	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	160	ns
t _{THL} or t _{TTLH}	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	
CPD	Power Dissipation Capacitance	Any Gate (Note 3)	14		pF	

typical applications

Low Power Oscillator

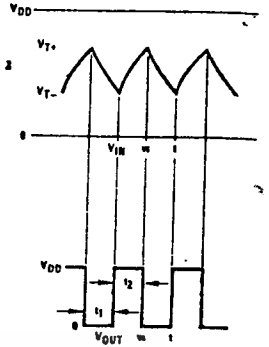


$$t_1 \approx RC \ln \frac{V_{T+}}{V_{T-}}$$

$$t_2 \approx RC \ln \frac{V_{DD} - V_{T-}}{V_{DD} - V_{T+}}$$

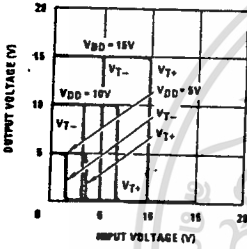
$$f \approx \frac{1}{RC \ln \frac{V_{T+}(V_{DD} - V_{T-})}{V_{T-}(V_{DD} - V_{T+})}}$$

Note: The equations assume $t_1 + t_2 \gg t_{pHL} + t_{pLH}$



typical performance characteristics

Typical Transfer Characteristics



Guaranteed Trip Point Range

