

เครื่องต่อโทรศัพท์ด้วยเสียง

VOICE DIALER



โดย

นายทยา ธรรมวงศ์ 40010258

นายสิทธิเดช เทียรแสงทอง 40010849

นายเอกวัตร มินมณี 40011044

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สุรพล บุญจันทร์

เลขหม.....

เลขทะเบียน.....42209

วัน, เดือน, ปี 5 พ.ค. 2545

.b.....

.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องต่อโทรศัพท์ด้วยเสียงพูด

Voice Dialer

ผู้จัดทำ 1. นายทยา ธรรมวงศ์ 40010258

2. นายสิทธิเดช เทียรแสงทอง 40010849

3. นายเอกวัตร มีนมนี 40011044


ลายเซ็นอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.สุรพล บุญจันทร์)



เครื่องต่อโทรศัพท์ด้วยเสียงพูด

Voice Dialer

ผู้จัดทำ	นายทยา	ธรรมวงศ์	40010258
	นายสิทธิเดช	เจียรแสงทอง	40010849
	นายเอกวัตร	มีนมนิ	40011044

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.สุรพล บุญจันทร์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นโครงการที่เกี่ยวข้องกับการช่วยต่อโทรศัพท์แบบหนึ่ง โดยการใช้เสียงเป็นตัวสั่งงาน คือ เราจะแปลงสัญญาณเสียงซึ่งเป็นอนาล็อก (Analog) ให้เป็นดิจิทัล (Digital) แล้วทำการเก็บไว้ในหน่วยความจำ (ซึ่งเราจะใช้ชื่อคนหนึ่งพยางค์ พูดจากคนคนเดียวกัน โดยแต่ละชื่อให้เน้นเสียงที่แตกต่างกัน เพื่อความสะดวกในการค้นหา) แล้วเราก็ทำการเก็บหมายเลขโทรศัพท์ของคนคนนั้นไว้ด้วย เวลาใช้งานเราก็พูดชื่อของคนที่เราต้องการจะโทรไปหา (1 พยางค์) เครื่องก็จะทำการตรวจสอบว่าหมายเลขที่ต้องการนั้นอยู่ในตำแหน่งใด เมื่อค้นหาเจอแล้ว เครื่องก็จะทำการต่อหมายเลขโทรศัพท์นั้นให้ ถ้าคู่สายไม่ว่างเครื่องก็จะทำการเรียกซ้ำให้อีกจนกว่าจะติด

Abstract

This project is about telephone dialer. We use my voice to order a operation by compare it to the recorded voice (in digital from) and we record telephone number in each voice. In each voice there is one syllable form the same person. When we will use, we must say one syllable that we recorded already this equipment will find the address of that voice if it cam find it will dial the telephone number that we recorded after the voice. If that number is busy it will dial again until it contact that number.

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการ	3
	2.1 วิธีการจดจำเสียง	3
	2.2 ภาคแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	6
	2.3 ระบบโทรศัพท์	14
	2.4 ไตรสเตสซ์เฟอว์	18
	2.5 วงจรกรองสัญญาณความถี่	20
	2.6 การส่งด้วยระบบมัลติเพล็กซ์	22
บทที่ 3	การคำนวณและการสร้าง	25
	3.1 การออกแบบระบบแยกสัญญาณเสียง และวงจรถอดรหัสเสียง	25
	3.2 การออกแบบระบบช่วยหมุน	35
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	48
	4.1 การทดลองระบบแยกสัญญาณเสียงและถอดรหัสเสียง	48
	4.2 การทดลองส่วนตรวจสอบสัญญาณเรียกโทรศัพท์	56
บทที่ 5	บทวิจารณ์และบทสรุป	60
ภาคผนวก 1		
ภาคผนวก 2		
บรรณานุกรม		
กิตติกรรมประกาศ		

สารบัญรูปภาพ

ลำดับภาพ	ชื่อรูปภาพ	หน้า
รูปที่ 1.1	บล็อกไดอะแกรม	2
รูปที่ 2.1	อุปกรณ์สังเคราะห์ สระ A , E , I , O , U	4
รูปที่ 2.2	เครื่องจักรสร้างเสียงเลียนแบบเสียงพูด	4
รูปที่ 2.3	บล็อกไดอะแกรมของเครื่องจักรระบบไฟฟ้า	5
รูปที่ 2.4	บล็อกไดอะแกรมตัวแปลงสัญญาณ 3 บิต	8
รูปที่ 2.5	บล็อกไดอะแกรมการประมาณค่าอย่างต่อเนื่อง	9
รูปที่ 2.6	ขบวนการภายใน ในการกำหนดเอาต์พุต	10
รูปที่ 2.7	วงจรเปรียบเทียบแบบขนาน	11
รูปที่ 2.8	ซิงเกิ้ลแรมพ์ตัวแปลงสัญญาณ	12
รูปที่ 2.9	ตัวแปลงสัญญาณวิธีนับ	13
รูปที่ 2.10	แสดงระบบ โทรศัพท์	15
รูปที่ 2.11	แสดงสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อ	17
รูปที่ 2.12	แสดงหมายเลขและค่าความถี่ DTMF	18
รูปที่ 2.13	แสดงลักษณะเกทไตรสเตทบัฟเฟอร์	19
รูปที่ 2.14	แสดงการทำงานของไตรสเตทบัฟเฟอร์	19
รูปที่ 2.15	แสดงค่าการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบต่าง	21
รูปที่ 2.16	วงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ (R – L)	22
รูปที่ 2.17	วงจรการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาด้วยระบบพีเอเอ็ม	23
รูปที่ 2.18	แสดงการส่งสัญญาณแบบมัลติเพล็กซ์	24
รูปที่ 3.1	แสดงกราฟคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่	25
รูปที่ 3.2	แสดงวงจรกรองความถี่แบบเป็นช่วง	26
รูปที่ 3.3	แสดงกราฟตอบสนองค่าความถี่ของวงจรกรองช่วงความถี่	27
รูปที่ 3.4 / 1	แสดงระบบแยกสัญญาณเสียงและถอดรหัสเสียง	31
รูปที่ 3.4 / 2	แสดงระบบแยกสัญญาณเสียงและถอดรหัสเสียง	32
รูปที่ 3.4 / 3	แสดงระบบแยกสัญญาณเสียงและถอดรหัสเสียง	33
รูปที่ 3.5	บล็อกไดอะแกรมระบบช่วยหมุน	34
รูปที่ 3.6	แสดงโครงสร้างภายในของ LM567	35
รูปที่ 3.7	แสดงการต่อวงจรของไอซีเฟสล็อกคัล	36
รูปที่ 3.8	แสดงวงจรการตรวจจับสัญญาณให้หมุน	37

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ลำดับภาพ	ชื่อรูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.9	แสดงกราฟความสัมพันธ์ของ K , R_{ext} , C_{ext}	39
รูปที่ 3.10	แสดงวงจรการตรวจจับสัญญาณไม่ว่างและสัญญาณเรียกกลับ	40
รูปที่ 3.11	แสดงโครงสร้างภายในของ ไอซี TP5088	41
รูปที่ 3.12	แสดงวงจรกำเนิดความถี่คู่ผสม	42
รูปที่ 3.13	แสดงวงจรการควบคุมการยกหูและวางหู	44
รูปที่ 3.14	แสดงการเชื่อมต่อของ 7 Segment จำนวน 7 หลักร	46
รูปที่ 3.15	แสดงวงจรคีย์บอร์ดสั่งงาน	47
รูปที่ 4.1	แสดงสัญญาณเอาต์พุตของไอซี 555	50
รูปที่ 4.2	แสดงการเปิดของอนาล็อกสวิตช์	50
รูปที่ 4.3	แสดงการปิดของอนาล็อกสวิตช์	51
รูปที่ 4.4	แสดงค่าความแตกต่างของแอมพลิจูดของสัญญาณเสียงทั้ง 2 ช่องสัญญาณ	52
รูปที่ 4.5	แสดงการแบ่งระดับสัญญาณของ LM3914	53
รูปที่ 4.6	แสดงสัญญาณที่ได้รับจากวงจรตรวจสอบการยกหู วางหู	56
รูปที่ 4.7	แสดงสัญญาณที่ได้รับจากวงจรตรวจสอบสัญญาณให้หมุนหมายเลข	56
รูปที่ 4.8	แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจสอบสัญญาณเรียกกลับ	57
รูปที่ 4.9	แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจสอบสัญญาณสายไม่ว่าง	58
รูปที่ 4.10	แสดงเครื่องต่อโทรศัพท์ด้วยเสียง	59
รูปที่ 4.11	แสดงลักษณะภายในเครื่องต่อโทรศัพท์ด้วยเสียง	59

สารบัญตาราง

ตาราง	ชื่อตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1	ค่าเอาต์พุตจากแรงดันอินพุตหลายค่าชนิด 2 บิต	11
ตารางที่ 3.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ศูนย์กลางกับค่าความต้านทาน	22
ตารางที่ 3.2	แสดงค่าความถี่เอาต์พุตของ ไอซี TP5088	42
ตารางที่ 3.3	แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้รับจากระหัสของสัญญาณอินพุต	43
ตารางที่ 4.1	แสดงความผิดพลาดทางทฤษฎีและค่าที่ได้จริงในทางปฏิบัติ	49
ตารางที่ 4.2	แสดงระดับสัญญาณต่าง ๆ ตามค่าความถี่	54
ตารางที่ 4.3	ตารางการเข้ารหัสของไอซี 74 LS 147	55
ตารางที่ 4.4	แสดงค่าประสิทธิภาพ	55



บทที่ 1

บทนำ

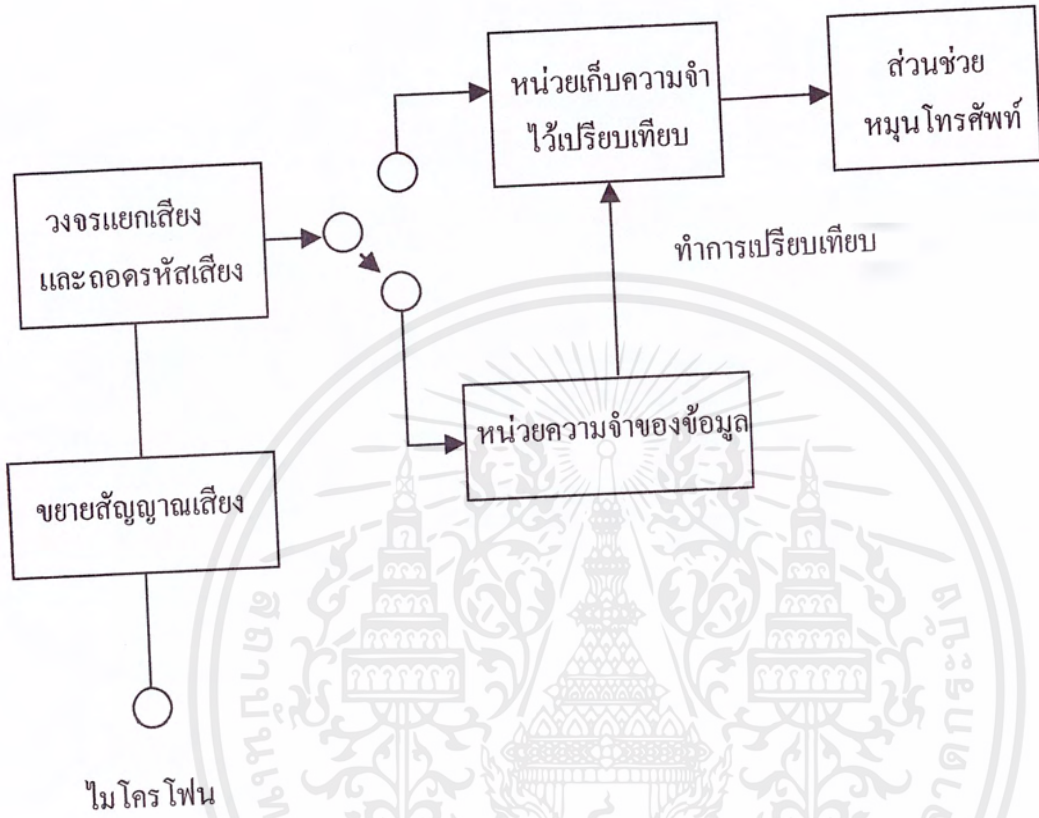
โทรศัพท์เป็นอุปกรณ์การสื่อสารที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตประจำวัน ซึ่งที่จะต้องมีการติดต่อสื่อสารกันตลอดเวลาซึ่งเครื่องโทรศัพท์จะช่วยให้การติดต่อสื่อสารในที่ที่ห่างไกลได้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดเวลาและประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดต่อสื่อสารได้อีกด้วย

ในปัจจุบันเครื่องโทรศัพท์ได้ถูกพัฒนาให้มีความสามารถเพิ่มขึ้นและช่วยการอำนวยความสะดวกมากขึ้นกว่าแต่ก่อนมาก โดยจะมีฟังก์ชันต่างๆ เสริมเข้ามาในเครื่องโทรศัพท์ เช่น การทวนหมายเลขโทรกลับหมายเลขสุดท้าย , Speaker phone , การจำหมายเลขที่สำคัญ , Hot key ฯลฯ แต่ฟังก์ชันต่างๆ ที่เกิดขึ้นมานั้นก็ยังไม่ทำให้การใช้โทรศัพท์มีความสะดวกมากพอ เพราะว่าเมื่อต้องการที่จะติดต่อใครจะต้องทำการกดหมายเลขของผู้ที่เราจะติดต่อด้วยจำนวน 7 หมายเลข (เฉพาะในเขตกรุงเทพฯ ส่วนต่างจังหวัดมี 6 หมายเลข แต่รวมกับรหัสทางไกลประจำจังหวัดแล้วจะเป็น 9 หมายเลข) ถ้าขณะนั้นเราทำกิจกรรมอยู่และต้องการที่ใช้โทรศัพท์เพื่อที่จะติดต่อหาใครซักคน แต่เมื่อเราไม่สามารถที่จะทำการกดหมายเลขโทรศัพท์ได้ เหตุการณ์เช่นนี้ทำให้เกิดความไม่สะดวกในการใช้งานโทรศัพท์ และอีกปัญหาหนึ่งก็คือ เราไม่สามารถที่จะจำหมายเลขโทรศัพท์ของผู้ที่เราจะติดต่อด้วยได้ซึ่งจะทำให้ต้องเสียเวลาในการค้นหาหมายเลขนั้น

ด้วยเหตุนี้เองเพื่อที่จะให้การใช้งานโทรศัพท์นั้นมีความสะดวกยิ่งขึ้นและประหยัดเวลา ทางผู้จัดทำจึงได้จัดทำปฏิญานิพนธ์เรื่อง เครื่องต่อโทรศัพท์ด้วยเสียง (VOICE DIALER) นี้ขึ้น โดยเครื่องต่อโทรศัพท์ด้วยเสียงนี้จะช่วยให้ความสะดวกในการติดต่อได้บ้างและช่วยให้เราไม่ต้องจำหมายเลขโทรศัพท์ให้ยุ่งยากอีกด้วย

เครื่องต่อโทรศัพท์ด้วยเสียง (VOICE DIALER) นี้จะอาศัยหลักการของการจดจำเสียงพูดของมนุษย์และการแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล โดยเราจะต้องทำการสร้างเสียงต้นแบบและหมายเลขโทรศัพท์ของผู้ที่เราต้องการที่จะติดต่อด้วยนั้นเก็บไว้ในหน่วยความจำเพื่อที่จะเป็นฐานข้อมูลไว้สำหรับในการเปรียบเทียบกับข้อมูลเสียงที่เราจะพูดเข้ามาอีกครั้งหนึ่งเพื่อที่จะทำการติดต่อ และในการใช้งานเมื่อเราต้องการที่จะติดต่อใคร เราก็จะทำการพูดชื่อของผู้ที่เราจะติดต่อด้วย (ชื่อ 1 พยางค์) เสียงที่เราพูดไปนั้นจะถูกขยายและแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล สัญญาณดิจิทัลที่ได้มานั้นจะถูกเปรียบเทียบกับลักษณะเสียงที่ถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำ ถ้าลักษณะของเสียงที่เราพูดไปนั้นตรงกับลักษณะเสียงของชื่อที่เราเก็บไว้ในหน่วยความจำ ทางหน่วยประมวลผลก็จะทำการสั่งให้มีการส่งสัญญาณ DTMF ไปที่คู่สายโทรศัพท์ภายนอก ซึ่งสัญญาณ DTMF ที่ส่งไปนั้นก็คือหมายเลขโทรศัพท์ของผู้ที่เราต้องการจะติดต่อด้วย

จากที่กล่าวมานั้นเป็นหลักการงานคร่าวๆ ของเครื่องต่อโทรศัพท์ด้วยเสียง ซึ่งสามารถที่จะสรุปเป็นบล็อกไดอะแกรมเพื่อที่จะเข้าใจได้ง่ายขึ้น ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรม

บทที่ 2

ทฤษฎี

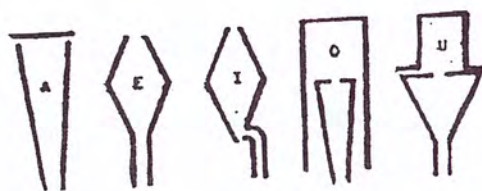
2.1 ทฤษฎีการจดจำเสียง

ในอดีตเรามีความฝันว่า จะทำให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจในเสียงพูดของมนุษย์คือสามารถรับคำสั่งเป็นเสียงพูดจากผู้สั่งได้โดยตรง จึงทำให้ผู้ค้นคิดวิธีการต่างๆ ไร้หลายวิธี หลักสำคัญมันอยู่ที่ว่า เราจะทำอย่างไรให้คอมพิวเตอร์เข้าใจ หรือสามารถวิเคราะห์จำแนกเสียงที่มันได้ยิน เมื่อทำเช่นนี้ได้สิ่งที่ตามมา ก็หมายถึงการนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบที่เหมาะสมอย่างเช่น หุ่นยนต์รับใช้ ซึ่งจะเกิดความจำเป็นสำหรับสถานะเศรษฐกิจอย่างบ้านเรา แต่ประโยชน์ด้านอื่นยังมีอีกมากมาย ลองคิดถึงถ้าเครื่องพิมพ์ข้อความได้ทันทีที่ได้ยินเสียงสั่ง เราคงจะไม่ปฏิเสธว่านั่นหมายถึงความสะดวกสบายในการติดต่อสื่อสาร นอกจากนั้นทางด้านอุตสาหกรรมการผลิตตลอดจนงานวิจัยระดับสูงก็จะเริ่มผสมผสานการควบคุมทางเครื่องจักรกล เช่น รถขุดรดยก โดยมีทั้งระบบควบคุมและระบบควบคุมด้วยเสียง ซึ่งเป็นที่แน่นอนว่าประสิทธิภาพของการทำงานย่อมสูงขึ้น

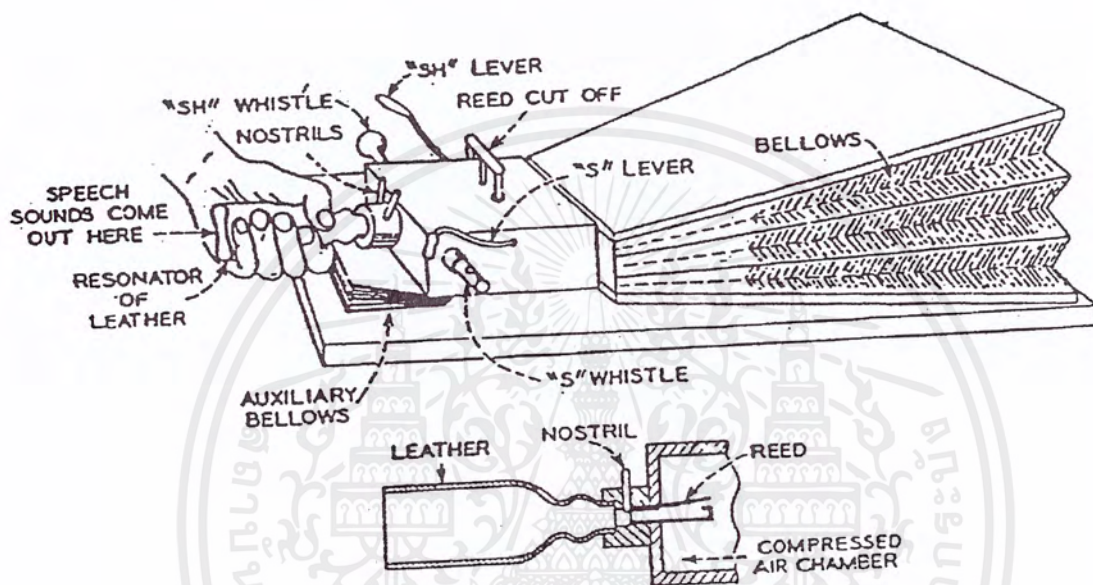
สิ่งประดิษฐ์ชิ้นแรกที่สามารถสร้างเสียงเลียนแบบมนุษย์ได้ เป็นระบบแมคคานิกัลวีน (Mechanical speaking machine) ในที่นี้จะเรียกว่า “เครื่องจักรสร้างเสียงเลียนแบบเสียงพูด” มีลักษณะคล้ายช่องว่างในปากคน และตรงทางทางลมเข้าของกล่องมีลิ้นทำให้ เกิดการสั่นของอากาศคล้ายลิ้นของเครื่องดนตรีชนิดปากเป่าทั่วไป เครื่องที่สร้างขึ้นครั้งแรกนี้ สามารถออกเสียงสระได้เพียง 5 ตัวเท่านั้นคือ A E I O U แต่เครื่องไม่สามารถรับฟังได้ ดังรูป 2.1

อีกไม่นานเครื่องจักรสร้างเสียงเลียนแบบเสียงพูดได้รับการพัฒนาอีกขั้นหนึ่งเครื่องนี้สามารถออกได้ทั้งสระและพยัญชนะแต่เครื่องยังรับฟังเสียงพูดไม่ได้เช่นกันแสดงในรูป 2.2 โดยใช้กล่องก้องเสียง มีลักษณะคล้ายกรวยตรงจุดทางเข้าของลมมีลิ้นเสียงเหมือนกันเสียงที่สร้างขึ้นทำได้อย่างต่อเนื่องโดยอาศัยลมเป่าจากหีบลม

เมื่อมีการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนารวงจรไฟฟ้า ทำให้เริ่มมีการนำวงจรไฟฟ้ามาแทนระบบแมคคานิกมากขึ้น และในที่สุดเครื่องสร้างเสียงระบบวงจรไฟฟ้า (Electrical speaking machine) รูปที่ 2.3 เครื่องจักรสร้างเสียงระบบวงจรไฟฟ้านี้เป็นจุดเริ่มต้นของเครื่องเสียงที่รู้จักในนามของ วอคโคเดอร์ (Vocoder) หรือดนตรีพูดได้

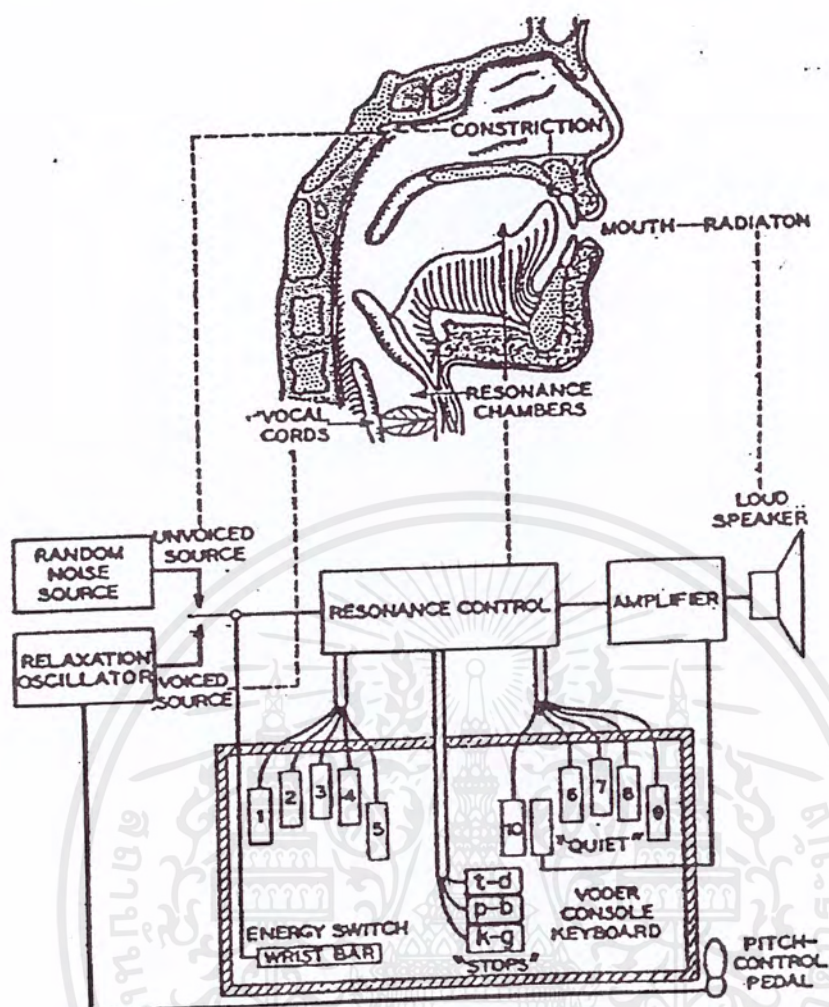


รูปที่ 2.1 อุปกรณ์ดังเคราะห์เสียงสระ AEIOU



รูปที่ 2.2 เครื่องจักรสร้างเสียงเลียนแบบเสียงพูด

ในขณะที่ไวกโคเดอร์ ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายก็พอดีเป็นยุคของการพัฒนาทางอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ และเวลาเดียวกันความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติของเสียงพูดก็พัฒนามากขึ้น ในยุคนี้เครื่องเริ่มมีความสามารถที่จะรับฟังเสียงได้ด้วยการจำเสียงพูดได้ (Speech recognition) นั้นเริ่มจากการเปลี่ยนสัญญาณเสียงซึ่งอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณที่คอมพิวเตอร์เข้าใจได้ คือสัญญาณดิจิทัล และอาศัยความเร็วของคอมพิวเตอร์ทำการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้คณิตศาสตร์เข้าช่วย จึงจะเห็นได้ว่าระบบปัจจุบันนี้แทบจะไม่มีส่วนที่เป็นแมคคานิก อยู่เลย



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องจักรระบบไฟฟ้า

2.1.1 วิธีการวิเคราะห์และศึกษาเสียงพูด (Speech analysis methods)

- รหัสรูปแบบทางดิจิทัล (Digital waveform coding)
- วิธีวิเคราะห์ทางเวลา (Time domain analysis methods)
- วิเคราะห์สเปกตรัมเวลาสั้น (Short-time spectrum methods)
- กระบวนการเสียงแบบโฮโมโมฟิก (Homomorphic speech processing)
- วิเคราะห์ทำนายเชิงเส้น (Linear predictive analysis)

2.1.2 หน่วยการจำเสียงพูด (Speech recognition unit) มีการจำแนกวิธีการตามลักษณะของการพูดไว้ 4 แบบ คือ

1) ผู้พูดคนเดิมหรือผู้พูดคนเดียวกัน (Speaker dependent recognition system) และวิธีการพูดจะต้องพูดแบบเป็นคำแยกจากกัน (Discrete utterance) คือการพูดเป็นหน่วยเสียง หน่วยพยางค์ หน่วยคำ หรือหน่วยวลี สิ่งที่เครื่องจะต้องทำก็คือ เมื่อฟังเสียงจากผู้พูดแล้วจะต้องบันทึกรูปแบบของเสียงตาม

วิธีของเครื่องเองและเครื่องจะต้องรู้เองว่าหากพูดให้ฟังอีกครั้งจะเหมือนกับคำพูดเดิมที่ผู้พูดคนเดิมไว้หรือไม่ โดยอาศัยขั้นตอนดังนี้

เมื่อผู้ใช้ต้องการสอนให้เครื่องรู้จักคำโดยพูดผ่านไมโครโฟนสัญญาณเสียงซึ่งขณะนี้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลจากนั้นก็ให้นำข้อมูลดิจิทัลไปเก็บไว้เลย หรืออาจคำนวณสัมประสิทธิ์ชุดหนึ่งซึ่งจะบอกถึงลักษณะเฉพาะของคำนั้นๆ และเก็บข้อมูลต้นแบบไว้ในหน่วยความจำ ข้อมูลต้นแบบของคำนี้เรียกว่า เทมเพลตต้นแบบ (Templates) ขบวนการจนถึงขั้นนี้เรียกว่า การสอนเครื่องให้รู้จักคำ (Training) การทำงานของเครื่องจะมีความเชื่อถือแค่ไหนขึ้นอยู่กับยุทธวิธี ที่ใช้ในการวิเคราะห์ สำหรับความจุของจำนวนคำขึ้นอยู่กับขนาดของหน่วยความจำ เวลาของการค้นหาคำ จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนคำที่สอนไว้ด้วยซึ่งจำนวนคำมีมาก ยุทธวิธีที่จะค้นคำให้ได้อย่างรวดเร็วก็ยุ่งยากและซับซ้อนยิ่งขึ้น

2) ผู้พูดเป็นใครก็ได้ (Speaker independent recognition system) และวิธียังเป็นแบบแยกจากกันสำหรับเครื่องไมโครโฟนขนาดเดียวกัน วิธีในแบบนี้จะสามารถจำคำได้น้อยกว่าแบบแรกมาก วิธีนี้ไม่ต้องการเทมเพลตต้นแบบจากผู้พูดคนเดิม แต่เทมเพลตต้นแบบจะถูกโปรแกรมไว้ล่วงหน้าแล้วใช้ยุทธวิธีจัดเข้ากลุ่มเพื่อที่จะฟังเสียงคนใดก็ได้

3) สอนให้เครื่องรู้จักคำในลักษณะของหน่วยเสียง หรือหน่วยพยางค์เท่านั้นอย่างไม่ต่อเนื่อง (Unconnected speech) เป็นเทคนิคที่ใช้มาก่อนกับระบบที่แพง ตัวเทมเพลตต้นแบบจะถูกเก็บไว้ เป็นหน่วยเสียงหรือหน่วยพยางค์เท่านั้น ต่างกับสองแบบแรกซึ่งจะเป็นหน่วยเสียง หน่วยพยางค์ หน่วยคำ หรือหน่วยวลีก็ได้

4) ผู้พูดสามารถพูดแบบต่อเนื่องเหมือนพูดปกติ (Connected speech) เครื่องจะต้องสามารถรู้จักและจำแนกคำที่มีการออกเสียงต่อเนื่องกันการพูดแบบนี้ไม่สามารถแบ่งเขตระหว่างคำ หรือระหว่างพยางค์ได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นการรู้จักคำโดยการเอาเทมเพลตที่ได้ยินไปเปรียบเทียบกับเทมเพลตต้นแบบ

วิธีที่ใช้ต่อไปนี้เป็น การสอนให้คอมพิวเตอร์รู้จักคำ หรือจำคำ โดยใช้วิธีแบบที่หนึ่ง คือ ผู้พูดคนเดิมพูดแบบแยกคำ ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถทำเทมเพลตต้นแบบได้อย่างรวดเร็วเราจะวิเคราะห์ทางองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณเสียงใดๆ ที่เรียกว่า สเปกตรัม วิธีนี้จะใช้ฟิลเตอร์หลายตัวมีลักษณะคล้ายกับอีควอไลเซอร์ (Equalizer) เพื่อจะบันทึกระดับพลังงานในแต่ละช่วงความถี่ตามจำนวนฟิลเตอร์ที่ใช้

2.2 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

โดยทั่วไป ปริมาณทางกายภาพต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน สามารถวัดได้โดยแปลงค่าปริมาณต่างๆ เหล่านี้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งเราจะเรียกสัญญาณทางไฟฟ้าเหล่านี้ว่า สัญญาณอนาล็อก (Analog signal) ซึ่งสามารถวัดโดยต่อเนื่องสัมพันธ์กับปริมาณทางกายภาพ ในทางตรงกันข้ามสัญญาณดิจิทัลจะเป็น 2 ระดับ คือ 0 กับ 1 แม้ว่าสัญญาณอนาล็อกสามารถแสดงค่าทางกายภาพได้อย่างต่อเนื่อง แต่ก็ยาก

ต่อการประมวลผลหรือจัดเก็บ ไว้ใช้ได้อีกในเวลาต่อมา โดยมีค่าความผิดพลาดสัญญาณน้อย สัญญาณอนาล็อกยากต่อการอ่านและแปลงค่าออกมา โดยเฉพาะบริเวณที่มีสัญญาณรบกวน

ดังนั้นเราจะใช้ประโยชน์จากการประมวลผลและการจัดเก็บทางดิจิทัล โดยใช้ข้อมูลทางอนาล็อกที่ถูกแปลงเป็นข้อมูลทางดิจิทัลด้วยตัวแปลงสัญญาณ (Analog to Digital of A/D) เช่น ดิจิตอลโวลท์มิเตอร์

ตัวแปลงสัญญาณ (Analog to digital converter)

ตัวแปลงสัญญาณสามารถใช้อินเตอร์เฟซ สัญญาณอนาล็อกต่าง ๆ กับวงจรดิจิทัลทั่วๆ ไปการเลือกใช้ตัวแปลงสัญญาณขึ้นกับ ความแม่นยำและความเร็วที่ต้องการ เพื่อที่จะแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลได้ โดยมีความถูกต้องตามต้องการ ชนิดของตัวแปลงสัญญาณมีอยู่ 4 แบบ คือ

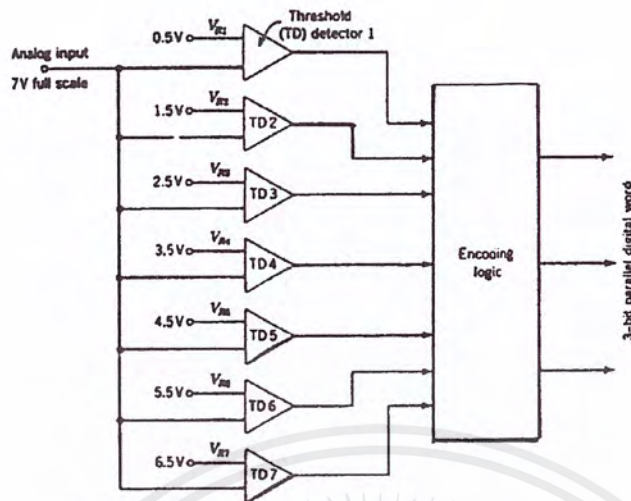
- 1) การแปลงอย่างต่อเนื่อง
- 2) วิธีเปรียบเทียบแบบขนาน
- 3) วิธีซิงเกิลแรนจ์หรือซิงเกิลสโลป
- 4) วิธีนับ

คุณสมบัติของตัวแปลงสัญญาณ

ตามรูปที่ 2.4 แสดงถึงคุณลักษณะทางอุดมคติของตัวแปลงสัญญาณ อย่างไรก็ตามการใช้งานจริงๆ จะต้องเบี่ยงเบนออกไปจากคุณลักษณะทางอุดมคติ ค่าเบี่ยงเบนออกไปถูกกำหนดโดยคุณสมบัติดังที่จะกล่าวดังต่อไปนี้

- Conversion time คือ เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอินพุตอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลทางเอาต์พุต ซึ่งจะมีผลทางหน่วยเวลาในวงจร ตามปกติอาจจะกำหนดเป็นจำนวนครั้งที่แปลงสัญญาณต่อวินาที ซึ่งข้อนี้เป็นจุดสำคัญที่สุดในการเลือกใช้

- Resolution คือ จำนวนอินพุตโวลเตจ (Input voltage) ที่เปลี่ยนโดยที่ต้องเปลี่ยนดิจิทัลเอาต์พุตไป 1 Lsb Resolution สามารถกำหนดโดยจำนวนเอาต์พุตบิต เช่น resolution ของ 8 bit converter สามารถกำหนดเป็น 8 bit



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรม ตัวแปลงสัญญาณ 3 บิต

- Quantizing error of uncertainty คือ ความผิดพลาดที่ไม่สามารถแยกออกได้จากการแบ่งสัญญาณที่ต่อเนื่องออกเป็นจำนวนที่แน่นอนของดิจิทัล ซึ่งจะเท่ากับ $+1/2$, $-1/2$ และจะเท่ากับค่าที่แน่นอน ณ จุดที่มีการเปลี่ยนแปลง (Transition point)
- Absolute accuracy คือ ความผิดพลาดทั้งหมดระหว่างทางอุดมคติและความเป็นจริงของสัญญาณอินพุตโวลเตจ เพื่อจะปรับเป็นโค้ด (Code) ทางดิจิทัลจะประกอบด้วยควอนไทเซชัน (Quantization error) , เกนเออร์เรอร์ (Gain error) , เออร์เรอร์ศูนย์ (Zero error) และคุณสมบัติไม่เชิงเส้น (Nonlinearly)
- Relative accuracy คือ ความเบี่ยงเบนทางอนาล็อกโวลเตจจากค่าอุดมคติ แสดงอยู่ในรูปอัตราส่วนของ full scale ระหว่าง gain กับ off set error โดยปรับค่าเป็น 0 Relative accuracy จะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นและตามปกติจะกำหนดเป็น $+1/2$, $-1/2$ LSB สูงสุด องค์ประกอบที่มีผลต่อ Relative accuracy คือ Differential linearity; Off set; Gain error; Temperature coefficients และ Power supply sensitivity
- No missing code คือ ค่าทางดิจิทัลที่ออกทางเอาต์พุตของตัวสัญญาณที่สมนัยกับสัญญาณอินพุตโวลเตจ 1 Lsb โดยที่จะเบี่ยงเบนออกไปจากค่าทางอุดมคติ เรียกว่า Differential nonlinearity ถ้า Differential nonlinearity มากกว่า 1 Lsb จะเป็นค่าที่ผิดพลาด (Missing code) คุณสมบัติของ Missing code ไม่ควรจะเกิดเพื่อความเหมาะสมในการแปลงสัญญาณ

2.2.1 การประมวลผลอย่างต่อเนื่อง (Successive approximation)

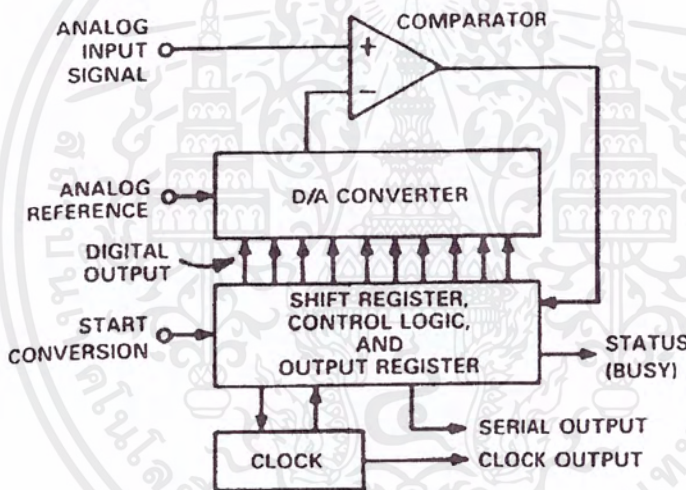
เทคนิคการประมวลผลอย่างต่อเนื่อง เป็นหนึ่งวิธีที่มีการใช้กันอย่างทั่วไป สำหรับตัวแปลงสัญญาณที่ใช้กันอยู่ทั่วไป โดยที่มันจะเปรียบเทียบอินพุตของตัวแปลงสัญญาณกับ มีอยู่ภายใน โดย

ที่อินพุทของตัวแปลงสัญญาณกลับจะถูกกำหนดภายในตัวแปลงสัญญาณเหมือนกัน เมื่อค่าเอาต์พุทของตัวแปลงกลับเท่ากับอินพุทโวลเตจ ค่าดิจิทัลที่ผลิตออกมาจะมีค่าดิจิทัลทางเอาต์พุท

กระบวนการของการเปรียบเทียบสัญญาณอนาล็อกโวลเตจกับเอาต์พุทของตัวแปลงกลับคล้ายการชั่งน้ำหนักของสารทั่วไป โดยเปรียบเทียบเป็นอัตราส่วนที่ $1/2, 1/4, 1/8$ และ $1/16$ โดยเริ่มที่กระบวนการมากที่สุดคือ $1/2$ ถ้ามากกว่าก็จะเพิ่มอีก $1/4$ เปรียบเทียบไปเรื่อยๆจนกว่าจะเท่ากัน

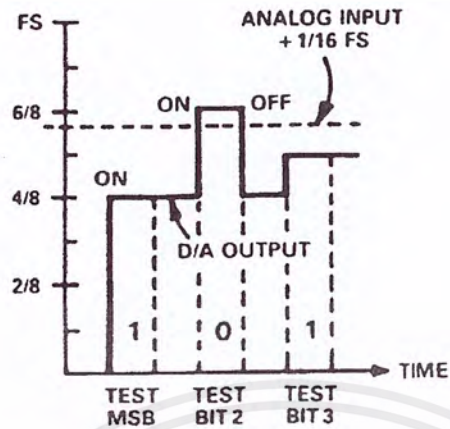
จาก รูปที่ 2.5 จะแสดงบล็อกไดอะแกรม ของตัวแปลงสัญญาณการประมาณอย่างต่อเนื่อง มีส่วนสำคัญอยู่ 3 วงจรคือ

- 1) วงจรเปรียบเทียบ
- 2) ตัวแปลงกลับ
- 3) ตัวเก็บสถานะ



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของการประมาณอย่างต่อเนื่อง

ตามรูปที่ 2.6 จะแสดงการเปรียบเทียบการแปลงกลับของขบวนการแปลง 4 บิต เมื่อ D3 เป็น 1 dac เอาต์พุทมีค่าน้อยกว่าอินพุทที่เข้ามา เพราะฉะนั้น D3 จะเป็น 1 เมื่อบิต D2 จะต้องเป็น 1 เอาต์พุทที่ออกมาของตัวแปลงกลับจะมีค่าเกินอินพุทที่เข้ามา ดังนั้น D2 จะต้องเป็น 0 ขณะเดียวกัน ให้บิต D1 เป็น 0 และบิต D0 เป็น 1 เปรียบเทียบกับอินพุทดูก็เท่ากัน ค่าดิจิทัลของเอาต์พุทจะเป็น 1001



รูปที่ 2.6 ขบวนการภายใน ในการที่จะกำหนดเอาต์พุต

การแปลงสัญญาณแบบการประมาณอย่างต่อเนื่อง มีลักษณะทั่วไปที่ใช้งานดังนี้

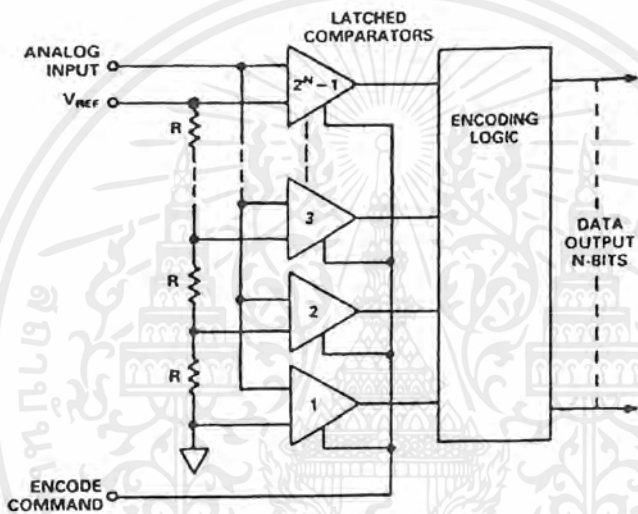
- 1) เหมาะกับงานที่ใช้ความเร็วสูงๆในการแปลงสัญญาณ
- 2) สามารถมี Resolution ได้สูงถึง 16 บิต
- 3) มี Conversion time ที่แน่นอนซึ่งขึ้นอยู่กับอินพุต โวลเตจ
- 4) สำหรับอินพุตที่มีการเปลี่ยนแปลงเร็ว ควรจะเพิ่มวงจร Sample and Hold
- 5) คุณสมบัติสำหรับความเป็นเชิงเส้นและความเร็วขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวแปลงกลับ

2.2.2 วิธีการเปรียบเทียบแบบขนาน

วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและใช้เวลาในการแปลงค่าเร็วมาก จากรูปที่ 2.7 วงจรประกอบด้วยตัวต้านทานต่อกันเป็นโวลเตจดีไวเดอร์ ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นโวลเตจอ้างอิงให้ออปแอมป์ คอมพาราเตอร์ทั้ง 3 ตัวในวงจรนี้โวลเตจอ้างอิงที่จ่ายให้ตัวต้านทานเป็น 4 โวลต์ ซึ่งจะเป็นค่าสูงสุดของแรงดันอินพุตเช่นกัน

ค่าเอาต์พุตคอมพาราเตอร์แต่ละตัวจะมีค่าเป็น 1 ถ้าแรงดันอินพุตที่ขาอินพุตอินเวอร์ต (+) มากกว่าแรงดันที่ขาอินเวอร์ต (-) แรงดันอนาล็อกจะถูกป้อนเข้าที่ขาอินพุตอินเวอร์ต (+) ของคอมพาราเตอร์ทุกตัวพร้อมกันเป็นแบบขนาน จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าถ้าแรงดันอินพุตน้อยกว่า 1 โวลต์ จะไม่มีคอมพาราเตอร์ตัวไหนที่ได้เอาต์พุตเป็น 1 กรณีที่แรงดันอินพุตมีค่าอยู่ระหว่าง 1-2 โวลต์ คอมพาราเตอร์ A1 จะให้เอาต์พุตเป็น 1 กรณีที่แรงดันอินพุตมีค่าอยู่ระหว่าง 2-3 โวลต์ คอมพาราเตอร์ A1 และ A2 จะให้เอาต์พุตเป็น 1 และกรณีที่แรงดันอินพุตมากกว่า 3 โวลต์ ขึ้นไป คอมพาราเตอร์ทุกตัวจะให้เอาต์พุตเป็น 1 หมด สัญญาณที่ได้จากคอมพาราเตอร์ A1, A2 และ A3 จะป้อนให้กับวงจรเข้ารหัส (Encoder) เพื่อแปลงเป็นค่าไบนารีต่อไป

วงจรพาราเคอร์แบบขนานที่ยกตัวอย่างมานี้เป็นชนิด 2 บิต เรโซลูชัน ซึ่งจะใช้ออปแอมป์คอมพาราเคอร์ 3 ตัว ถ้าต้องการชนิด N บิต เรโซลูชันจะต้องใช้ออปแอมป์คอมพาราเคอร์ถึง 2n-1 เช่น 8 บิต เรโซลูชันต้องใช้ออปแอมป์คอมพาราเคอร์ 255 ตัว การที่ใช้ออปแอมป์คอมพาราเคอร์จำนวนมาก จึงเป็นข้อเสียของตัวแปลงสัญญาณชนิดนี้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามตัวแปลงสัญญาณชนิดนี้ก็ยังมีข้อดีในเรื่องของความเร็วค่าดิจิตอลจะได้รับทันทีหลังจากค่าเสียเวลาการเดินทาง (Propagation delay time) ของคอมพาราเคอร์และวงจรเข้ารหัส ดังนั้นตัวแปลงสัญญาณชนิดนี้จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “แฟลช” (Flash) เนื่องจากความเร็วในการแปลงข้อมูลสูงมาก



รูปที่ 2.7 วงจรเปรียบเทียบแบบขนาน

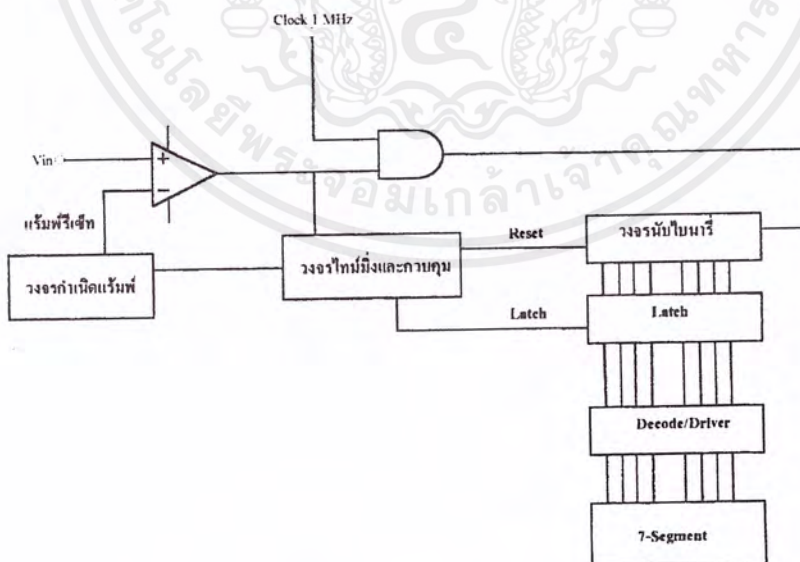
V_{in} (โวลต์)	เอาพุทคอมพาราเคอร์			เอาพุท ไบนารี	
	A1	A2	A3	D1	D0
0 to 1	0	0	0	0	0
1 to 2	1	0	0	0	1
2 to3	1	1	0	1	0
3 to 4	1	1	1	1	1

ตารางที่ 2.1 ค่าเอาท์พุทจากแรงดันอินพุทหลายค่า ชนิด 2 บิต

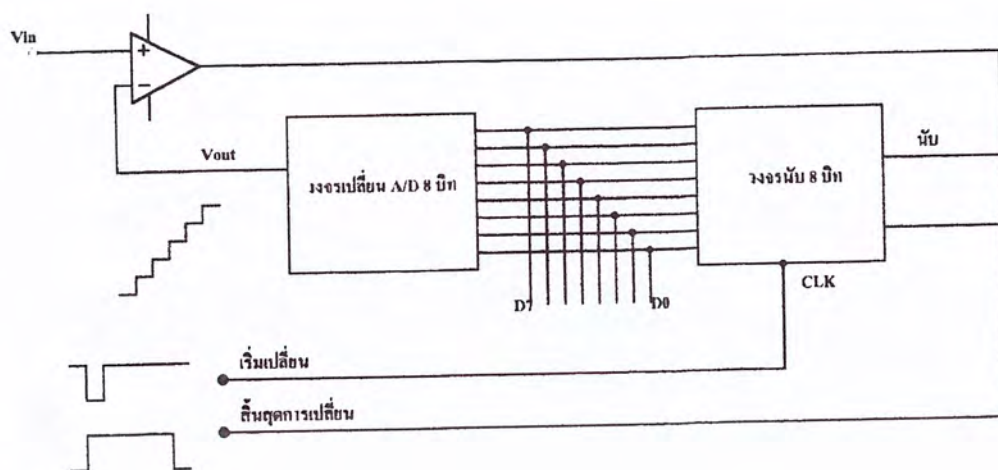
2.2.3 วิธีซึ่งเกิดแรมพ์หรือซึ่งเกิดสโลป

ตัวแปลงสัญญาณชนิดนี้ กระบอด้วยสัญญาณแรมพ์ , คอมพาราเตอร์ และไบนารีเคาน์เตอร์ (BCD) เมื่อเริ่มต้นการแปลงข้อมูลวงจรการเกิดสัญญาณแรมพ์และเคาน์เตอร์จะถูกรีเซ็ตเป็น 0 แรงดันอนาล็อกจะถูกป้อนทางขาอินเวอร์ต (+) ของออปแอมป์คอมพาราเตอร์ เมื่อใดที่อินพุตนี้มีค่าบวกมากกว่าขาอินเวอร์ต (-) เอาท์พุทของคอมพาราเตอร์จะเป็น 1 ตลอด และค่า 1 นี้จะอินาเบิล (Enable) แอนเกท ทำให้สัญญาณนาฬิกา (Clock pulse) เข้าไปสู่วงจรนับพร้อมทั้งเป็นจุดเริ่มต้นของการกำเนิดสัญญาณแรมพ์ ค่าของแรงดันแรมพ์ให้สโลปที่จะเป็นบวกไปจนกระทั่งเกินค่าแรงดันอินพุท ซึ่งจะทำให้ของคอมพาราเตอร์เป็น 0 ส่งให้แอนเกทตัดสัญญาณนาฬิกา และส่งให้วงจรควบคุมรีเซ็ตวงจรกำเนิดสัญญาณแรมพ์พร้อมทั้ง แลทช์ (Latch) วงจรนับเพื่อนำค่าดิจิทัลเอาท์พุทไปแสดงผล

สมมติว่า ถ้าให้สัญญาณนาฬิกามีความถี่ 1 MHz วงจร BCD เคาน์เตอร์ 4 หลัก แรงดันอินพุทมีค่า 2,000 โวลต์ และวงจรกำเนิดสัญญาณแรมพ์ให้สโลป 1 โวลต์ต่อมิลลิวินาที ดังนั้นถ้าป้อนแรงดันอินพุทให้วงจรแปลงสัญญาณนี้ทำงาน วงจรกำเนิดสัญญาณแรมพ์นี้จะใช้เวลา 2 มิลลิวินาที เพื่อกำเนิดสัญญาณจากจุดเริ่มต้นถึง 2 โวลต์ แล้วหยุดวงจรเคาน์เตอร์จากเวลา 2 มิลลิวินาทีนี้สัญญาณนาฬิกาจะมีทั้งหมด 2,000 พัลส์ ซึ่งจะถูกลบโดยวงจรเคาน์เตอร์ วงจรควบคุมจะส่งสัญญาณแลทช์ เพื่อส่งค่าดิจิทัลไปแสดงผล ถ้าเราใช้จุดทศนิยมที่เหมาะสมให้กับ LED แสดงผลเป็นทศนิยม 3 ตำแหน่งจะได้ค่า 2,000 ซึ่งก็จะเท่ากับค่าแรงดันอนาล็อกที่ป้อนเข้าทางอินพุทคือ 2 โวลต์วงจรที่ยกตัวอย่างนี้สามารถแรงดันกับอนาล็อกได้ถึง 9,999 โวลต์ จากหลักการอันนี้สามารถนำไปสร้างเป็นดิจิทัลโวลต์มิเตอร์แบบง่ายได้อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ซึ่งเกิดแรมพ์ตัวแปลงสัญญาณ



รูปที่ 2.9 ตัวแปลงสัญญาณวิธีนับ

2.2.4 วิธีนับ

ตัวแปลงสัญญาณนับแสดงในรูปที่ 2.9 ประกอบด้วยคอมพาราเตอร์ 8 บิต ตัวแปลงกลับ 8 บิต และเคาน์เตอร์ แรงดันอนาล็อกจะป้อนเข้าขา 1 และค่าดิจิทัลเอาท์พุทที่ได้จะได้จาก 8 บิต เคาน์เตอร์ D7-D0 เคาน์เตอร์จะทำงานเมื่อขา นับเป็น 1 และจะหยุดทำงานเมื่อขา นับเป็น 0 ค่าดิจิทัล

เอาท์พุทที่ได้จะผ่านตัวแปลงกลับได้เป็นค่าอนาล็อกเอาท์พุทเพื่อจะป้อนให้ขาอินเวอร์ตติง (-) ของคอมพาราเตอร์

การทำงานเริ่มจากขาเริ่ม (Start) จะส่งพัลส์มาเป็นลอจิก 0 เพื่อเคลียร์ 8 บิต แคนเตอร์เมื่อขาเริ่มกลับมาเป็น 1 แคนเตอร์ก็พร้อมที่จะนับในขณะที่ขา 2 มีค่าเป็น 0 ดังนั้นเมื่อป้อนค่าแรงดันอนาล็อก ออปแอมป์คอมพาราเตอร์จะให้เอาต์พุตเป็น 1 แคนเตอร์จะเริ่มนับจาก 0 ขึ้นไปเนื่องจากเอาต์พุตจาก แคนเตอร์ส่งไปให้ตัวแปลงกลับทำให้ได้เอาต์พุตจากตัวแปลงกลับ (ขา 2) เป็นรูปขั้นบันได เมื่อใดที่ขา 1 มีค่ามากกว่าขา 2 คอมพาราเตอร์จะให้ลอจิกเป็น 1 และแคนเตอร์ก็จะนับต่อไปได้ว่าขา 2 เป็นรูปขั้น บันไดสูงขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งถึงจุดๆหนึ่งที่ขา 2 มีค่ามากกว่าขา 1 ทำให้เอาต์พุตจากคอมพาราเตอร์ เป็นลอจิก 0 แคนเตอร์จะหยุดนับ เราก็จะได้ค่าดิจิตอลเอาต์พุต D7-D0 ซึ่งเป็นค่าที่แปลงมาจากแรงดัน อนาล็อกทางอินพุตของขานับเรียกว่า สัญญาณสิ้นสุดการแปลงข้อมูล ซึ่งใช้สำหรับบอกวงจร อื่นๆ ที่ทำงานร่วมกันว่าการแปลงข้อมูลจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลได้สิ้นสุดลงแล้ว

ถ้าข้อมูลนาฬิกามีการเปลี่ยนแปลงอีกรายการภายนอกจะต้องส่งพัลส์เริ่มเพื่อมาเริ่มต้นการแปลงข้อมูลใหม่ โดยจะเคลียร์เคาน์เตอร์และเริ่มวงจรการแปลงข้อมูลอีกครั้งจนกระทั่งได้ค่าดิจิทัลเอาท์พุทสัญญาณสิ้นสุดการแปลงข้อมูลก็จะตกเป็นขอบขาดลง

ข้อเสียของวิธีนับคือ ใช้เวลาในการแปลงค่านานเพราะว่าวงจรนับ จะนับจนกระทั่งถึงจุดที่ขา 2 เริ่มจะมากกว่าอนาล็อกอินพุต ตัวอย่างเช่น 8 บิต คอนเวอร์เตอร์ต้องใช้เวลาในการแปลงถึง 255 คาบของสัญญาณนาฬิกา หรือ 12 บิตคอนเวอร์เตอร์ต้องใช้เวลาในการแปลงถึง 4,095 คาบของสัญญาณนาฬิกา

2.3 ทฤษฎีระบบโทรศัพท์

ระบบโทรศัพท์ คือ ระบบสื่อสารที่มีโครงข่ายชุมสายบริการระหว่างสมาชิก และผู้รู้หมายเลขสมาชิก ให้สามารถเรียกสลับคู่สายสนทนาต่างๆ โดยลดการเดินทางที่ไม่จำเป็นลงได้

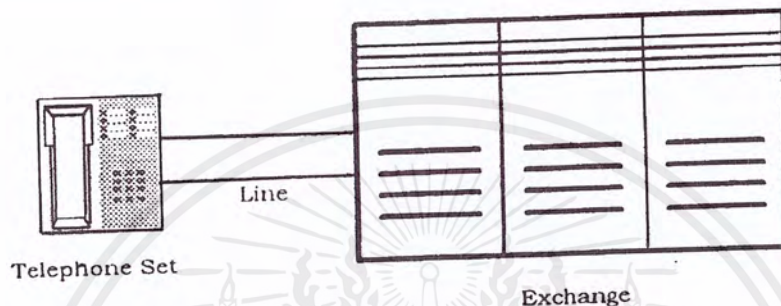
โทรศัพท์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมี 2 ระบบคือ ระบบครอสบาร์ (Cross bar) กับระบบ DTMF (Dual Tone Multi Frequency) ซึ่งระบบแรกเป็นระบบเดิม ใช้นับตั้งแต่เริ่มมีการใช้โทรศัพท์ ส่วนระบบ DTMF เป็นระบบใหม่ที่เข้ามาแทนที่ระบบ Cross bar เพราะมีประสิทธิภาพสูงกว่า ใช้เวลาในการส่งหมายเลขน้อยกว่าและการใช้ระบบ DTMF นั้นที่ชุมสายโทรศัพท์จะใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีความคงทน และมีอายุการใช้งานนานกว่าระบบ Cross bar ซึ่งเป็นระบบ Mechanic ที่มีการสึกหรอ และเสียหายง่าย ซึ่งโครงงานนี้จะกล่าวถึงเฉพาะระบบ DTMF ซึ่งเป็นระบบที่ใช้กันมากในปัจจุบัน

ระบบโทรศัพท์ประกอบด้วย :-

- การเรียกทางโทรศัพท์ (Telephone Call) คือ การเรียกผ่านระบบ โทรศัพท์ระหว่างสมาชิกผู้เรียกและผู้รับ
- เครื่องโทรศัพท์ (Telephone Set) คือ อุปกรณ์สำหรับสมาชิกใช้พูดและฟังในการสนทนาระยะไกลผ่านโครงข่ายโทรศัพท์ เมื่อต้องการเรียกก็หมุนหรือกดหมายเลขผู้รับที่หน้าปัทม์
- ผู้เรียก (Calling Subscriber) หรือสมาชิกผู้เรียก คือ ผู้เริ่มต้นการเรียก จะด้วยการแจ้งให้พนักงานช่วยต่อกับผู้รับ หมุนหรือกดหมายเลขของผู้รับเมื่อเครื่องโทรศัพท์นั้น เป็นคู่สายของเครื่องชุมสายโทรศัพท์อัตโนมัติ
- ผู้รับ (Called Subscriber) หรือสมาชิกผู้ถูกเรียก คือ ผู้ที่ตอบรับการเรียกทางโทรศัพท์ เมื่อได้ยินสัญญาณกริ่งเรียก (Ringing Signal)
- คู่สายสมาชิก (Subscriber Line) คือ คู่ตัวนำกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนมาจากเสียงพูดแจกจ่ายออกมาจากสถานีที่ติดตั้งเครื่องชุมสายท้องถิ่น ไปยังบ้านของผู้เช่าหรือสมาชิกแต่ละรายอย่างอิสระ
- เครื่องชุมสายโทรศัพท์อัตโนมัติ (Automatic Telephone Switching) คือ เครื่องที่ทำหน้าที่ต่อสลับคู่สายระหว่างสมาชิกกับผู้รับโดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็น เครื่องชุมสายโทรศัพท์ที่มีการพัฒนาแล้ว

2.3.1 ส่วนประกอบของระบบ

ระบบโทรศัพท์ เป็นระบบสื่อสารโทรคมนาคม ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารได้สะดวกรวดเร็ว ให้ข่าวสารชัดเจน เป็นที่นิยมใช้กันมาก มีส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ 3 ส่วน คือ เครื่องรับโทรศัพท์ (Telephone Set) สายโทรศัพท์ (Line) และชุมสายโทรศัพท์ (Exchange) ดังรูปแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงระบบโทรศัพท์

จากรูปที่ 2.10 เครื่องรับโทรศัพท์ จะต่อกับชุมสายโทรศัพท์ผ่านทางสายโทรศัพท์ (Line) ซึ่งมีการทำงานดังนี้ เมื่อมีการยกหูโทรศัพท์ขึ้น จะทำให้กระแสไฟฟ้าจากชุมสายไหลครบวงจร ผ่านเครื่องโทรศัพท์ อุปกรณ์ต่างๆพร้อมที่จะทำงาน ชุมสายจะส่งสัญญาณหมุน (Dial Tone) ไปยังเครื่องโทรศัพท์ที่ยกหู เพื่อให้ผู้นั้นส่งหมายเลขโทรศัพท์ที่ต้องการติดต่อไปยังชุมสาย ชุมสายจะหยุดส่งสัญญาณหมุน และดำเนินการจัดเส้นทางเชื่อมโยงกับโทรศัพท์ปลายทางให้จากนั้นจะส่ง สัญญาณเรียก (Ringing Signal) ไปยังปลายทางที่ถูกเรียกและส่งสัญญาณให้ผู้ยกหูเรีกรับรู้ (Ring Back Tone) เมื่อปลายทางรับสาย จึงติดต่อสนทนากันได้

2.3.2 สัญญาณในการติดต่อ

สัญญาณที่ใช้ในการติดต่อระหว่าง ชุมสายโทรศัพท์กับเครื่องรับโทรศัพท์ เรียกว่า Signaling มี 2 แบบคือ Line Signal ได้แก่ Loop Line, Open Line และอีกอย่างคือ Register Signal ได้แก่ สัญญาณการขนส่งเลขหมายเลขต่าง ๆ

สัญญาณที่ชุมสายโทรศัพท์ส่งมายังเครื่องรับโทรศัพท์

- สัญญาณให้หมุน (Dial Tone) เป็นสัญญาณที่บอกให้ทราบว่า ขณะนี้ชุมสายโทรศัพท์พร้อมที่จะรับเลขหมายจากผู้เรียกแล้ว ให้ผู้เรียกส่งเลขหมายได้ สัญญาณมีความถี่ 400- 425 Hz แบบต่อเนื่อง

- **สัญญาณกระดิ่ง (Ringing Tone)** เป็นสัญญาณเรียก ซึ่งส่งไปให้เครื่องของผู้ถูกเรียกจะได้ยินเป็นเสียงกระดิ่งหรือโทนต่าง ๆ ตามชนิดของเครื่องรับโทรศัพท์ มีความถี่ 25 Hz มีช่วงการส่งและหยุดสลับกันไป
- **สัญญาณเรียกกลับ (Ring Back Tone)** เป็นสัญญาณที่บอกให้ผู้เรียกทราบว่าให้รอการตอบรับจากปลายทาง ขณะนี้หุ้มสายโทรศัพท์กำลังส่งสัญญาณเรียกอยู่ สัญญาณนี้มีความถี่ 425 Hz ช่วงการส่งและหยุดสลับกันไป
- **สัญญาณไม่ว่าง (Busy Tone)** เป็นสัญญาณที่บอกให้ผู้เรียกทราบว่า การติดต่อทำไม่สำเร็จ อาจจะเป็นสายปลายทางหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่ว่าง สัญญาณนี้ใช้ความถี่ 425 Hz มีช่วงส่งและหยุดสลับกันไปแต่ช่วงเวลาต่างจากสัญญาณ Ring Back Tone

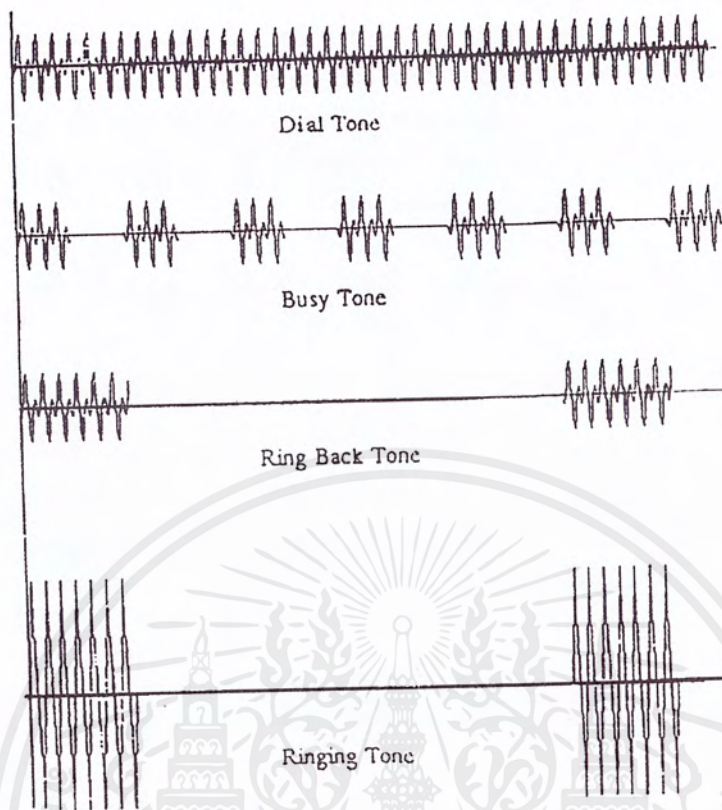
การติดต่อระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับโทรศัพท์

เครื่องส่ง

- ขณะที่ไม่ได้มีการยกหูโทรศัพท์จะมีศักดาคร่อมสายโทรศัพท์สัญญาณกระแสดตรง 48 โวลท์
- เมื่อผู้เรียกยกหูโทรศัพท์ ศักดาจะลดลงเหลือ 8 โวลท์ พร้อมทั้งสัญญาณให้หมุนซึ่งเป็นสัญญาณกระแสดสลับขนาด 250 มิลลิโวลท์ ความถี่ 350 Hz กับ 440 Hz มอดูเลตรวมกัน ซึ่งเมื่อครบหัดสัญญาณเลขหมายแล้วสัญญาณให้หมุนนี้จะหายไป
- กดรหัส (Code) เบอร์โทรศัพท์ทั้งหมด 7 หลักรหัสความถี่ที่ส่งจะเป็นสัญญาณผสมสองความถี่ เป็นความถี่สูงและต่ำผสมกันแต่ละหลายเลขจะมี DTMF อยู่หนึ่งคู่
- ขณะที่รอรับสายจะมีสัญญาณตอบกลับ 2 แบบ เพื่อจะบอกว่าสายว่างหรือไม่ คือ สัญญาณเรียกกลับหรือสัญญาณสายไม่ว่าง ตามลำดับ
- เมื่อมีการรับสายแล้ว สัญญาณเสียงจะขึ้นอยู่กับความดังและความถี่ของเสียงพูดตามสาย
- เมื่อวางหูโทรศัพท์เลิกการติดต่อ ขนาดศักดาจะกลับไป 48 โวลท์

เครื่องรับ

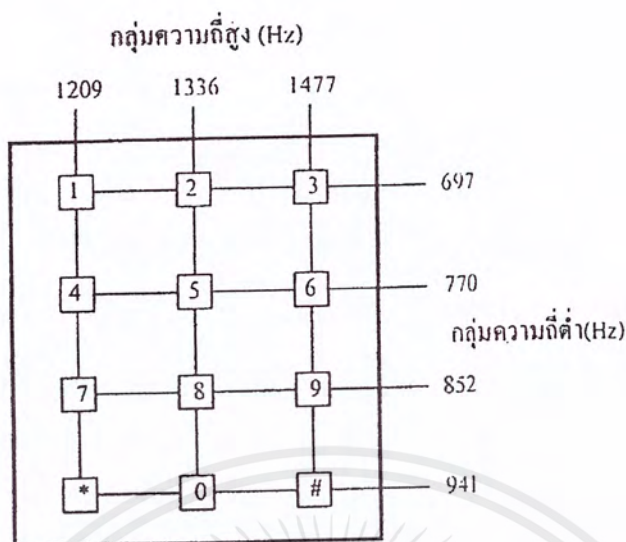
- ขณะที่วางหูอยู่จะมีศักดากระแสดคร่อมสายอยู่ 48 โวลท์
- เมื่อมีสัญญาณกริ่งเรียกจะมีขนาดประมาณ 100 Vrms จังหวะดัง 1 วินาที หยุด 4 วินาที ซึ่งจะตรงกับสัญญาณเรียกกลับที่เครื่องส่ง
- จากนั้น เมื่อผู้รับยกหูโทรศัพท์ ขนาดศักดากระแสดตรงจะเหลือ 8 โวลท์ และมีการกระเพื่อมตามขนาดและความถี่ของเสียงพูด
- เมื่อวางหูโทรศัพท์ ขนาดศักดาก็จะกลับไป 48 โวลท์ ตามเดิม



รูปที่ 2.11 แสดงสัญญาณต่าง ๆ ที่ใช้ในการติดต่อ

2.3.3 การส่งสัญญาณแบบความถี่คู่ (Dual Tone Multi Frequency Type)

เป็นการส่งสัญญาณแบบหนึ่ง ซึ่งนิยมใช้มาก ในปัจจุบันนี้ ซึ่งมีชื่อย่อเรียกว่า DTMF ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ โดยนำสัญญาณความถี่ 2 ความถี่มาอดคู่เลตกัน แล้วนำมาใช้แทนหมายเลขตามที่กำหนด ความถี่ที่ใช้จะอยู่ในย่านความถี่ของเสียงพูด (0-4 kHz) โดยกำหนดให้ ความถี่ตามแนวนอนเป็นความถี่ด้านต่ำ และความถี่ทางแนวตั้งจะเป็นความถี่สูงกว่าซึ่งจะแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 ตัวอย่าง เช่น หมายเลข 2 จะใช้แทนด้วยความถี่ 697 Hz และ 1336 Hz อดคู่เลตกันออกมาแทนหมายเลข 2



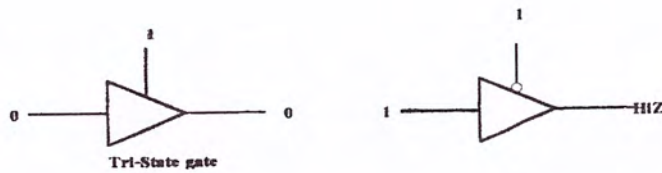
รูปที่ 2.12 แสดงหมายเลขและค่าความถี่ DTMF

ข้อดีสำหรับระบบการส่งแบบ DTMF

- จากข้อมูลทั้งหมดสามารถสรุปถึงข้อดีของระบบ DTMF ได้คือ
- ลดระยะเวลาในการส่งหมายเลขโทรศัพท์ไปยังชุมสาย
 - สามารถให้วงจรที่ใช้อุปกรณ์โซลิตสแตงได้ ซึ่งจะทำให้เกิดความประหยัดและสะดวก
 - ลดอุปกรณ์จำพวกหน่วยความจำที่ใช้ภายในชุมสาย
 - สามารถนำไปใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายในชุมสายอย่างมีประสิทธิภาพ

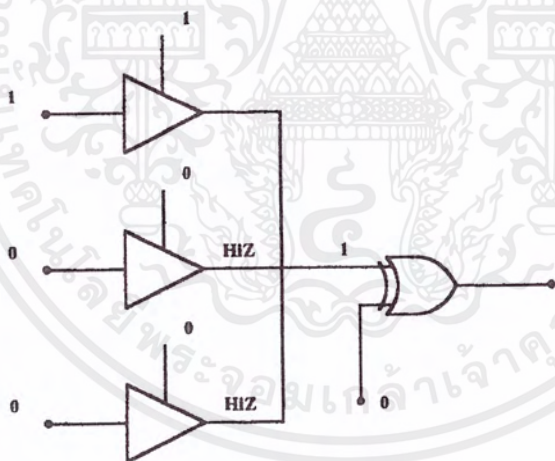
2.4 ไตรสเตตบัฟเฟอร์ (Tri-state Buffer)

บัฟเฟอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีอินพุตเดียว (Single input) ซึ่งสัญญาณที่ผ่านจะ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง คือ 1 เข้าไปก็ออกมาเป็น 1 ไม่มีการขยาย ในไตรสเตตเกจ (Tri-state gate) เอาท์พุท ที่ออกมาจะมีค่าที่ไม่เกิน vcc และไม่ต่ำลงจนเป็นกราว์ เกจที่อยู่ในสภาวะนี้เรียกว่าอยู่ในสภาวะที่ 3 (Third state) หรือ ไฮอิมพีแดนซ์ (Hi-impedence ; HiZ) ในสภาวะไฮอิมพีแดนซ์ นี้เกจตัวนี้จะ ไม่มีผลกับเกจตัวอื่นที่มันต่อดัวย ถ้าเอาท์พุทของหลายๆเกจต่อเข้าด้วยกันจะมีเพียงตัวเดียวที่อยู่ในภาวะแอคทีฟ (Active) ที่ ณ เวลานั้น ส่วนเกจตัวอื่นๆที่เหลือจะอยู่ในภาวะไฮอิมพีแดนซ์



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของเกทไตรสเตตบัฟเฟอร์

รูป 2.13 แสดงภาพไตรสเตตบัฟเฟอร์ (Tri-state buffers) 2 ชนิด ในชนิดที่ 1 ขาคควบคุมจะไม่ มีวงกลม (bubble) ซึ่งตัววงกลมนี้อาจจะทำให้ผลลัพธ์ทางตรรกะตรงข้ามกับค่าที่เข้ามา ค่าสัญญาณ 1 ที่ ใส่ให้อิซึ่ที่ขาคควบคุมจะทำให้ได้เอาต์พุตทั้งภาวะ สูง (High) และ ต่ำ (Low) ขึ้นอยู่กับขาอินพุต แต่ถ้าสัญญาณ 0 เข้ามาที่ขาคควบคุมไม่ว่าขาอินพุตจะเป็นอะไร เกทจะเข้าสู่ สภาวะไฮอิมพีแดนซ์ (HiZ) ส่วนชนิดที่ 2 จะมีวงกลมมีที่ขาคควบคุมถ้าสัญญาณ 0 ถูกใส่เข้ามาในขาคควบคุม เอาต์พุตจะเป็นได้ ทั้งสูงและต่ำขึ้นอยู่กับ ขาอินพุต แต่เมื่อไหร่ที่สัญญาณ 1 เข้ามาที่ขาคควบคุม เกทจะเข้าสู่สภาวะ ไฮอิมพีแดนซ์ (HiZ)



รูปที่ 2.14 แสดงการทำงานของไตรสเตตบัฟเฟอร์

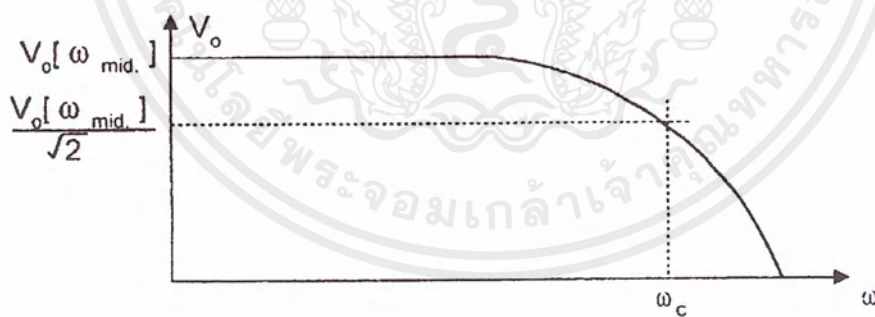
เกททั้ง 3 ตัวเป็น ไตรสเตตเกทชนิดที่ 1 คือเมื่อมีสัญญาณ 1 เข้าที่ขาคควบคุมจะทำให้มีค่า เอาต์พุตออกมาจากรูปอินพุตเป็นของเกทตัวแรกเป็น 1 ตัวที่ 2,3 เป็น 0 แต่จากที่ได้กล่าวมาเกทตัวแรก ได้รับสัญญาณควบคุมเป็น 1 จึงทำให้เกทตัวนี้ให้ค่าเอาต์พุตออกมา ส่วนตัวอื่นๆ สัญญาณควบคุมเป็น 0 ทำให้เอาต์พุตอยู่ในภาวะ ไฮอิมพีแดนซ์ (HiZ)

ในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์บ่อยครั้งที่ทำงานโดยมีการส่งผ่านข้อมูลทีละ 8 หรือ 16 เส้น โดยเรียกว่าบัสข้อมูล (Data bus) ซึ่งในไอซีที่มีลักษณะไตรสแตตจ์บัฟเฟอร์ก็มีหลายตัวที่เป็นแบบบัฟเฟอร์ 8 เส้น (Octal buffers) ซึ่งมักถูกนำมาใช้ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

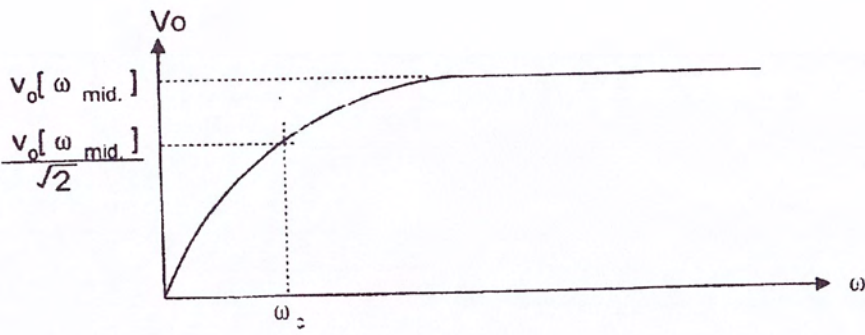
2.5 ทฤษฎีวงจรกรองความถี่

วงจรกรองความถี่ (filter) เป็นวงจรที่ใช้ในการจัดองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณรูปแบบพื้นฐานของการกรองความถี่มีอยู่ 4 รูปแบบคือ

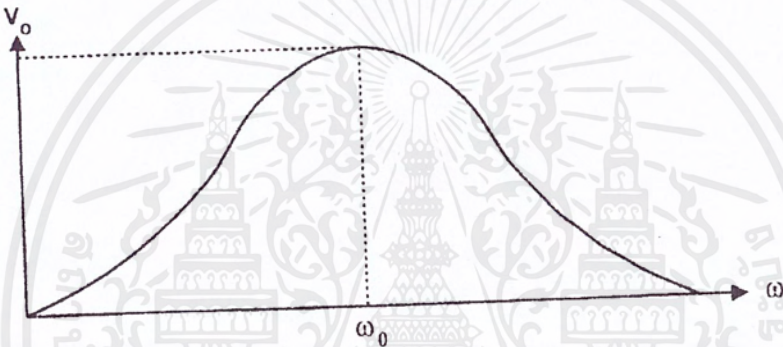
- 1) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter :LPF) เป็นวงจรที่ยอมให้ความถี่ต่ำกว่าความถี่คัทออฟผ่านได้ดี
- 2) วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter :HPF) เป็นวงจรที่ยอมให้ความถี่สูงกว่าความถี่คัทออฟผ่านได้ดี
- 3) วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter :BPF) จะยอมให้เฉพาะช่วงแถบความถี่ผ่านได้และลดทอนความถี่ที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความถี่คัทออฟ
- 4) วงจรกำจัดความถี่ (Band Reject Filter :BRF หรือ Notch) จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าและต่ำกว่าความถี่คัทออฟผ่านไปได้และจะลดทอนช่วงแถบความถี่



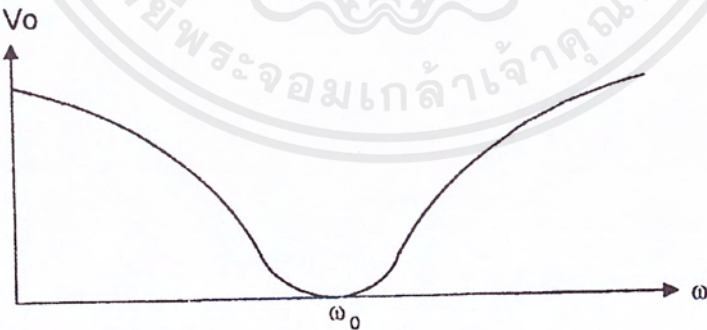
วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน



วงจรกรองความถี่สูงผ่าน



วงจรแถบความถี่ผ่าน



วงจรกำจัดความถี่ผ่าน

รูปที่ 2.15 แสดงค่าการตอบสนองของความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบต่างๆ

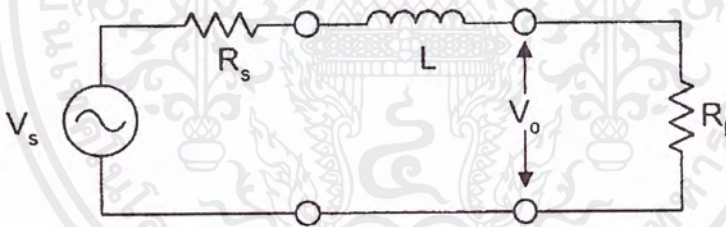
ความถี่คัทออฟ (Cut off frequency) คือค่าความถี่ที่ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ทางออกของวงจรมีค่าลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของกำลังไฟฟ้าที่ทางออกที่แถบความถี่กลาง

ความถี่คัทออฟมี 2 รูปแบบคือความถี่คัทออฟต่ำ (Low Frequency Cut-off) ซึ่งจะเป็นความถี่ต่ำสุดที่วงจรจะสามารถตอบสนองหรือนำไปใช้งานได้ และความถี่สูงคัทออฟ (High Frequency Cut-off) จะเป็นความถี่สูงสุดที่วงจรสามารถนำไปใช้งานได้

แถบความถี่ที่อยู่ระหว่างความถี่ต่ำคัทออฟ และความถี่สูงคัทออฟจะเป็นแถบความถี่ที่วงจรสามารถนำไปใช้งานได้ (Usable Bandwidth) ซึ่งเรามักจะเรียกว่าแบนด์วิดท์ของวงจรหรือแถบความถี่วงจร

วงจรกรองความถี่สามารถสร้างได้จากอุปกรณ์ที่เรียกว่าอุปกรณ์ประเภทรีแอคทีฟ (Reactive) คือตัวเก็บประจุ (C) และตัวเหนี่ยวนำ (L) เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของทั้งตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่

วงจรกรองความถี่อาจอยู่ในรูปของวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ (Passive Filter) หรือวงจรกรองแบบแอคทีฟ (Active Filter) ซึ่งแบบแอคทีฟจะทำงานได้ทั้งในเชิงอนาล็อก (Analog) และดิจิทัล (Digital)



รูปที่ 2.16 วงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ (R - L)

2.6 ทฤษฎีการส่งสัญญาณด้วยระบบมัลติเพล็กซ์

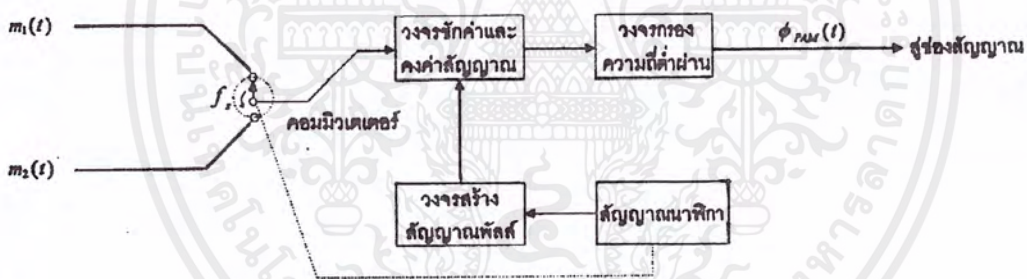
การส่งแบบมัลติเพล็กซ์นั้นเป็นการส่งโดยใช้ความคิดพื้นฐานในการจัดเตรียมวงจรสื่อสารคือความประหยัด โดยการทำให้ได้รับประโยชน์ร่วมกันหลายๆช่องในเวลาเดียวกัน

วิธีในการมัลติเพล็กซ์ (Multiplex Technique) ในทางทฤษฎีอาจแบ่งได้เป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ

1. Space Division Multiplex (SDM)
2. Frequency Division Multiplex (FDM)
3. Time Division Multiplex (TDM)

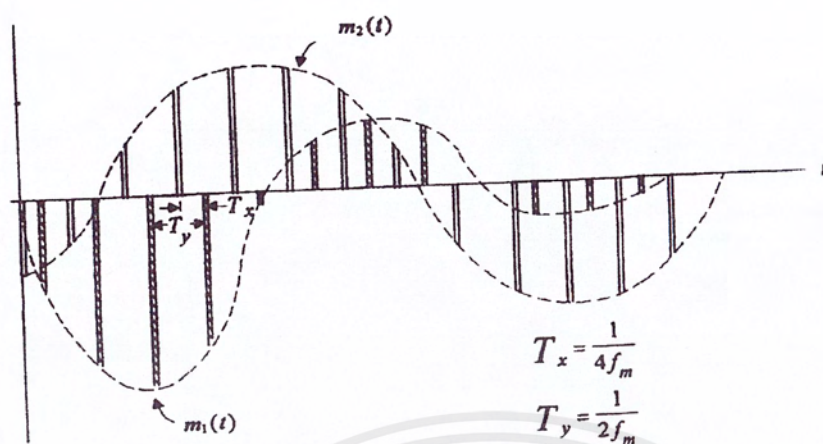
SDM หมายถึง การส่งสัญญาณหลายช่องสัญญาณอย่างอิสระโดยการแบ่งตามที่ว่าง(space) อย่างเช่นคู่สายของเคเบิลก็เป็นชนิดของระบบSDMดังนั้นในทางทฤษฎีแล้ว SDMจะ ไม่ค่อยมีความยุ่งยากมากนัก

FDM และ TDM นั้นเป็นการส่งสัญญาณหลายช่องสัญญาณอย่างอิสระพร้อมๆกันโดยการแบ่งตามความถี่และแบ่งตามเวลาตามลำดับ ระบบทั้งสองนี้สามารถนำไปใช้ได้หลายช่องสัญญาณตามเส้นทางการส่ง อย่างเช่นสายเคเบิล สถานีทวนสัญญาณตามระบบและการเชื่อมโยง(link) ของระบบสื่อสารควาเทียมเป็นต้น อย่างไรก็ตามเทคนิคทาง FDM นั้น กระบวนการในการจัดเตรียมในหลายๆ ช่องสัญญาณเพื่อที่จะส่งออกไปนั้นมีหลายวิธี ซึ่งแตกต่างกันไปจากวิธีทางเทคนิคของTDM ข้อแตกต่างที่สำคัญจะเห็นได้ว่าจากโครงสร้างของสัญญาณที่จะส่งไปในระบบเหล่านั้น โดยทั่วไปสัญญาณอนาล็อกจะถูกนำไปใช้กับระบบ FDM ในขณะที่สัญญาณระบบดิจิทัลจะใช้กับระบบTDM แต่อย่างไรก็ตามสัญญาณอนาล็อกก็สามารถนำไปใช้กับมอดูเลชันต่างๆของระบบTDMได้อย่างเช่น ระบบ PAM,PPM และ PWM เป็นต้น เพื่อทำความเข้าใจคุณสมบัติที่สำคัญของสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิทัลในลักษณะของการส่งให้ดีขึ้น



รูปที่ 2.17 แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาด้วยระบบพีเอเอ็ม

ในโครงการนี้เราจะใช้การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TDM) จากรูป 2.17จะเห็นได้ว่าสัญญาณ $m_1(t)$ และ $m_2(t)$ จะถูกทำการชักค่าสลับกันโดยวงจรชักค่าและค่าคงที่ของระดับสัญญาณ (Sampling and hold) ด้วยค่าความถี่ที่มากกว่า หรือเท่ากับ $2f_m$ โดย f_m คือค่าความถี่สูงสุดขององค์ประกอบสัญญาณ $m_1(t)$ และ $m_2(t)$ ดังนั้นจำนวนตัวอย่างสัญญาณที่ถูกชักค่าและคงค่าสัญญาณ ในกรณีนี้จะต้องมีค่ามากกว่า $4f_m$ ตัวอย่างต่อวินาที ค่าตัวอย่างของสัญญาณเหล่านี้จะถูกรักษาระดับระดับอยู่เป็นเวลาเท่ากับ ความกว้างของพัลส์จากวงจรกำเนิดพัลส์ โดยการใช้การควบคุมจังหวะพัลส์จากสัญญาณนาฬิกา ซึ่งเป็นสัญญาณจังหวะที่ใช้ควบคุมการชักตัวอย่างสัญญาณด้วย ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้ของวงจรชักค่าตัวอย่างและวงจรคงค่าสัญญาณจะมีสัญญาณ PAM ดังรูป 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงการส่งสัญญาณแบบมัลติเพล็กซ์



บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

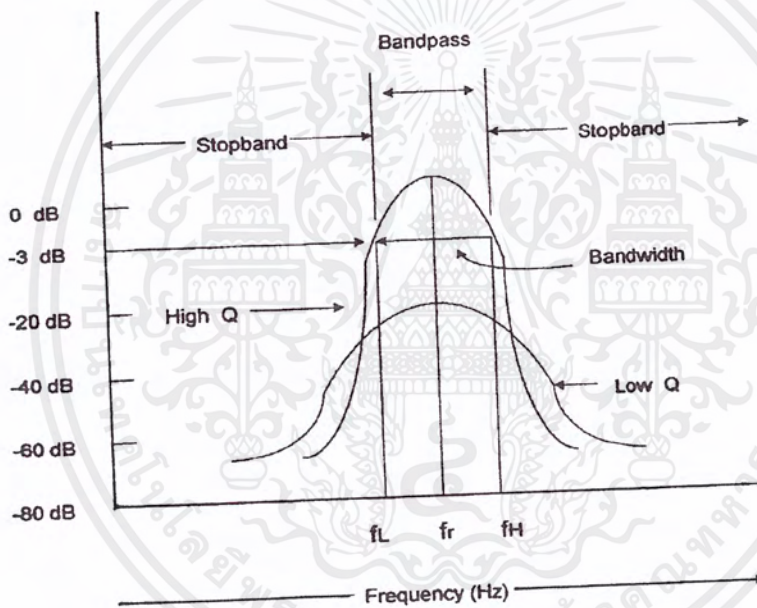
เครื่องต่อโทรศัพท์ด้วยเสียงพูดจะประกอบด้วย 2 ระบบใหญ่ๆ คือ

1. ระบบแยกสัญญาณเสียงและถอดรหัสเสียง
2. ระบบช่วยหมุน

3.1 การออกแบบระบบแยกสัญญาณและถอดรหัสเสียง

3.1.1 การออกแบบวงจรกรองความถี่เป็นช่วง (Band - Pass Filter)

วงจรกรองความถี่เป็นช่วง คือ วงจรที่ยอมให้สัญญาณบางความถี่ผ่านได้เท่านั้น ดังรูปที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่เป็นช่วง

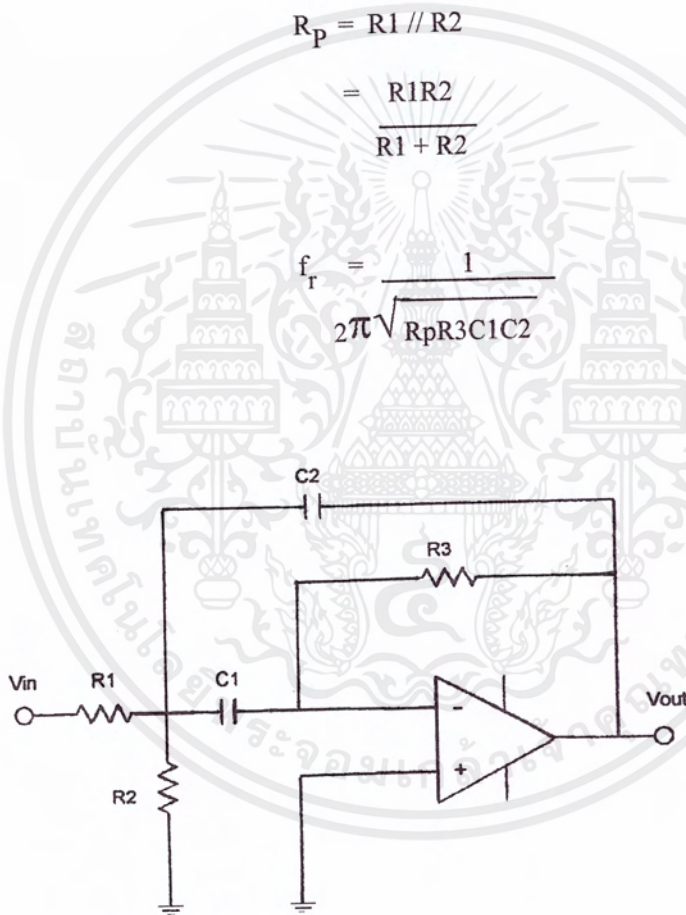


รูปที่ 3.1 แสดงกราฟแสดงคุณสมบัติของวงจรกรองช่วงความถี่

จากรูปจะพบว่า ณ ความถี่เอาต์พุตมีขนาดสูงสุด เราเรียกว่าความถี่เรโซแนนท์ (Resonant Frequency) และที่ความถี่ซึ่งแรงดันเอาต์พุตลดลงเหลือ 70.7 % ทั้งที่ด้านความถี่สูงขึ้นและความถี่ลดลง เรียกว่า f_H และ f_L ตามลำดับโดยที่ผลต่างของความถี่ทั้ง 2 นี้ ($f_H - f_L$) จะแสดงแบนด์วิธ (BW.) ของวงจร ถ้าค่า BW. มีค่าต่ำกว่า 10 % ของความถี่เรโซแนนท์ (f_r) จะเรียกววงจรนี้ว่า วงจรฟิลเตอร์ช่วงแคบ แต่จะเรียกววงจรฟิลเตอร์ช่วงกว้างถ้าค่า BW. มีค่าสูงกว่า 10 % ของ f_r นอกจากนี้ ยังมีนิยามของค่า Q (Quality Factor) ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่เรโซแนนท์กับแบนด์วิธ ดังสมการ

$$Q = f_r / BW.$$

วงจรที่มีค่า Q สูงมากเท่าใด แบนด์วิดท์ก็จะยิ่งแคบเท่านั้น และเอาต์พุตจะมีขนาดสูงขึ้นด้วย จากวงจรในรูปที่ 3.2 แสดงวงจรกรองความถี่เป็นช่วง ซึ่งใช้ในการรวมวงจรกรองความถี่สูง และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเข้าด้วยกัน (โดยวงจรใดจะถูกเรียงก่อนก็ได้) R1 และ C2 คือ อุปกรณ์ในการกรองความถี่ต่ำผ่าน ส่วน C1 และ R2 ใช้กรองความถี่สูง และสามารถหาความถี่เรโซแนนท์ f_r จากสมการ โดยที่



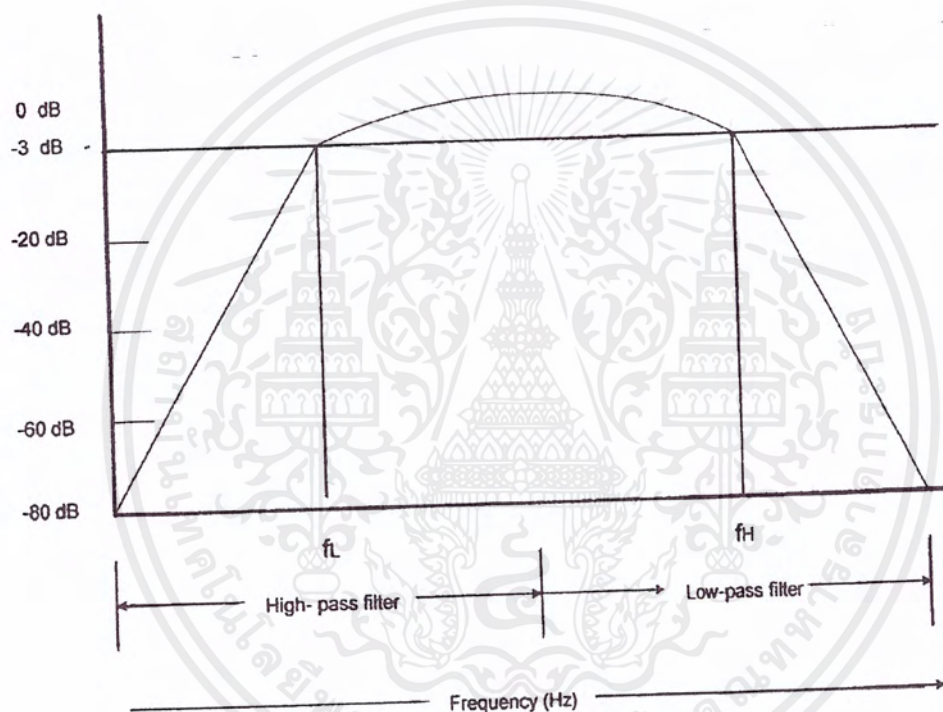
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรกรองความถี่เป็นช่วง (Band Pass)

และหาค่า Q จากสมการ

$$Q = 0.5 \sqrt{\frac{R_3}{R_p}}$$

จากสมการการคำนวณหา f_r และ Q จะพบว่าตัวต้านทาน R_3 มีบทบาทสำคัญมาก ตัวอย่างเช่น

เมื่อตัวต้านทานป้อนกลับ R_3 นี้มีค่าต่ำ f_r จะมีค่าสูง Q มีค่าต่ำเป็นต้น



รูปที่ 3.3 กราฟตอบสนองค่าความถี่วงจรกรองช่วงความถี่

ในกรณีที่ต้องการวงจรกรองความถี่เป็นช่วง ๆ ซึ่งมีความกว้างมาก ๆ เราสามารถที่จะนำวงจรกรองความถี่ต่ำและกรองความถี่สูงมาต่อรวมกันได้เลย โดย f_c สำหรับวงจรกรองความถี่ต่ำเป็น f_H และใช้ f_c ของวงจรกรองความถี่สูงเป็น f_L ซึ่งจะได้กราฟตอบสนองความถี่ดังรูปที่ 3.3

สำหรับวงจรแบบคาสพิลเตอร์เลือกใช้วงจร Multiple feedback order 2 ที่มีการวงจรดังรูปที่ 3.2

ถ้าให้ค่า Q เป็นค่า Quality factor ของวงจร

ω_0 เป็นค่าความถี่ศูนย์กลาง

H เป็นค่าเกนของวงจร

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรแสดงได้คือ

$$\frac{V_o(S)}{V_i(S)} = \frac{H\left(\frac{\omega_o}{Q}\right)S}{S^2 + \left(\frac{\omega_o}{Q}\right)S + \omega_o^2}$$

$$\omega_o^2 = \frac{1}{R_3 C_1 C_2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R_3} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} \left(\sqrt{\frac{C_1}{C_2}} + \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \right)}$$

$$H = \frac{-R_3 C_3}{R_1 (C_1 + C_2)}$$

สำหรับการออกแบบจะกำหนดจะกำหนดค่า Q , ω_o , H และกำหนดค่า C_1 , C_2 โดยให้ $C_1 = C_2$ ค่า R_1 , R_2 และ R_3 หาได้จาก

$$R_1 = \frac{Q}{|H|\omega_o C_1}$$

$$R_2 = \frac{Q}{(2Q^2 - |H|)\omega_o C_1}$$

$$R_3 = \frac{2Q}{\omega_o C_1}$$

เราได้ทำการสร้างแบนด์พาสฟิลเตอร์ ทั้งหมด 8 วงจรโดยกำหนดค่าต่าง ๆ และขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. $C_1 = C_2 = 0.01 \mu F$
2. ค่า $Q = 40$
3. ค่า $H = 5.6$

ค่าความถี่ศูนย์กลางเราได้กำหนดขึ้นมาโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 200 Hz ถึง 1600 Hz แต่ต้องนำค่าความถี่ที่เรากำหนดขึ้นมานั้นแปลงให้อยู่ในรูปของ ω_0 ก่อนถึงจะนำมาใช้ได้ ซึ่งเราได้ทำการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ศูนย์กลางกับค่าความต้านทานดังตารางที่ 3.1

ความถี่ (Hz) \ ความต้านทาน	R1(k Ω)	R2(k Ω)	R3(k Ω)
200	560	1.00	6000
400	280	0.49	3000
600	190	0.33	2000
800	142	0.25	1600
1000	112	0.20	1200
1200	106	0.166	1000
1400	81	0.142	900
1600	71	0.124	800

ตาราง 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ศูนย์กลางกับค่าความต้านทาน

3.1.2 การออกแบบส่วนของวงจรสวิตช์ เราจะใช้อานาล็อกสวิตช์เบอร์ CD 4066 ซึ่งเป็นชิพมอส โดยจะมีลักษณะการทำงานของไอซี คือเมื่อมีสัญญาณที่เป็น 0, 1 เข้ามาที่ขาควบคุมของไอซี สัญญาณนั้นจะเป็นตัวควบคุมการปิดเปิดของสวิตช์ โดยสัญญาณที่เป็น 1 จะทำให้สวิตช์ปิด ส่วนสัญญาณที่เป็น 0 จะทำให้สวิตช์เปิดซึ่งในวงจรนี้สัญญาณควบคุมของอนาล็อกสวิตช์ได้มาจากคิโค้ดใช้ไอซี TTL เบอร์ 74LS138 ซึ่งควบคุมการอ่านจากไมโครโปรเซสเซอร์อีกที

3.1.3 การออกแบบส่วนวงจรเปรียบเทียบแบบขนาน ที่เราใช้การเปรียบเทียบแบบขนานเพราะว่าเป็นวิธีที่ใช้งานง่ายและใช้เวลาที่ใช้ในการแปลงค่าเร็วมาก ดังที่กล่าวมาแล้วในเรื่องภาคแปลงสัญญาณ เราใช้ไอซีเบอร์ LM3914 ซึ่งเป็นไอซีวัดแรงดัน อาจจะวัดเป็นจุดหรือแบบเป็นแถบก็ได้ ภายในไอซีมีออปแอมป์คอมพาราเตอร์อยู่ 10 ตัว ทำให้ได้เอาท์พุท 10 ระดับซึ่ง ในระบบแยกสัญญาณเสียงและถอดรหัสเสียง เราจะใส่ LED เข้าไปด้วยเพื่อเป็นตัวที่จะแสดงผลของระดับสัญญาณเสียงที่พุดเข้าไปว่าอยู่ที่ระดับใด จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งต่อไปยังไอซีเบอร์ 74147 ที่ทำหน้าที่เข้ารหัสตามอันดับจาก 9 ระดับ

เป็นเลขฐานสอง 4 บิต ซึ่งจะส่งไปเก็บไว้ในหน่วยความจำอีกที เพื่อที่จะใช้เป็นข้อมูลเข้าไปสู่หน่วยประมวลผล

การทำงานและวงจรรวมของระบบแยกสัญญาณเสียงและถอดรหัสเสียง

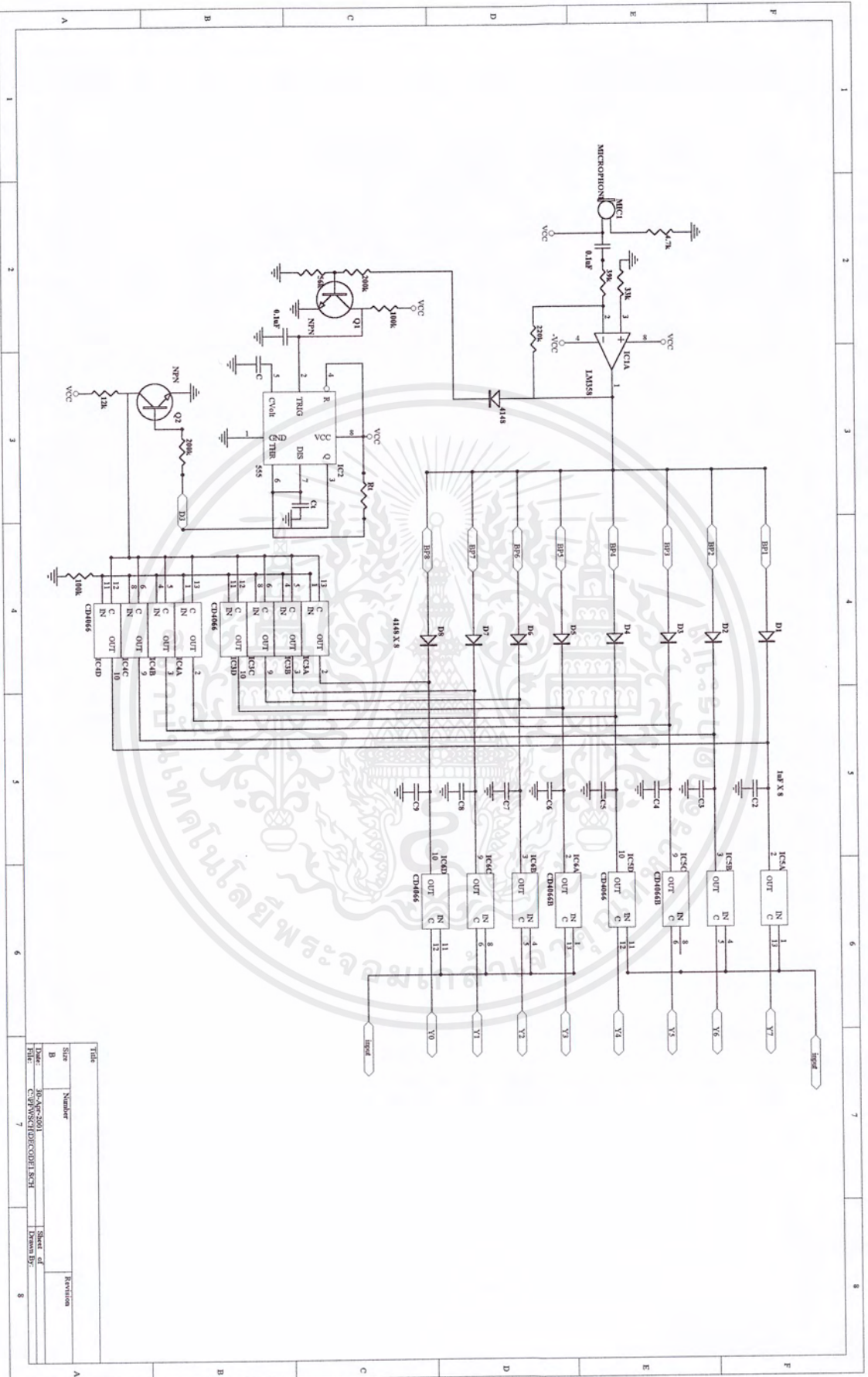
จากรูปที่ 3.4/1 – 3.4/3 แสดงวงจรระบบแยกสัญญาณเสียงและถอดรหัสเสียง โดยเมื่อเสียงพูดเข้าที่ไมโครโฟนแบบคอนเดนเซอร์ (Condenser) เสียงพูดจะถูกขยายโดยออปแอมป์ (Op-Amp) ไอซี LM324 จากนั้นสัญญาณจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ผ่านไปยังวงจรกรองความถี่แบบแถบกลางผ่าน (Band Pass Filter) ทั้ง 8 ชุด ซึ่งการออกแบบวงจรกรองความถี่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น โดยชุดกรองกรองความถี่นี้จะใช้ในการแยกระดับความเข้มของสัญญาณเสียงที่มีความแตกต่างกันของแอมพลิจูด (แยกสัญญาณออกเป็น 8 ช่องสัญญาณ) ส่วนที่ 2 จะเข้าไปที่ไอซีหน่วงเวลา

เมื่อเสียงพูดผ่านชุดวงจรกรองความถี่แล้ว ต่อไปมีไดโอด และ ตัวเก็บประจุต่ออยู่ ซึ่งอุปกรณ์ 2 ตัวนี้มีความสำคัญมากในการรักษาระดับแรงดันที่ออกจากชุดวงจรกรองความถี่ เพื่อที่จะเป็นสัญญาณเข้าที่ ไอซี CD4066 ซึ่งเป็นอนาล็อกสวิตช์ โดยสวิตช์จะถูกควบคุมการปิด-เปิดด้วยสัญญาณที่มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะค่อยๆ สแกน อ่านค่าทีละจุด (ปิดสวิตช์ทีละตัว) เมื่อทำการสแกนเสร็จแล้วก็ต้องทำให้จุดนี้เป็นระดับกราวด์ (Ground) อีกครั้งโดยใช้ไอซีเบอร์ 555 ซึ่งเป็นไอซีหน่วงเวลา คือเมื่อครบเวลาหน่วงสัญญาณเอาต์พุตของ 555 ก็จะเข้าไปควบคุมการสับสวิตช์ของไอซี CD4066 อีก 2 ตัว เพื่อที่จะไปคายแรงดันของตัวเก็บประจุลงกราวด์ เพื่อรอสัญญาณใหม่เข้ามา

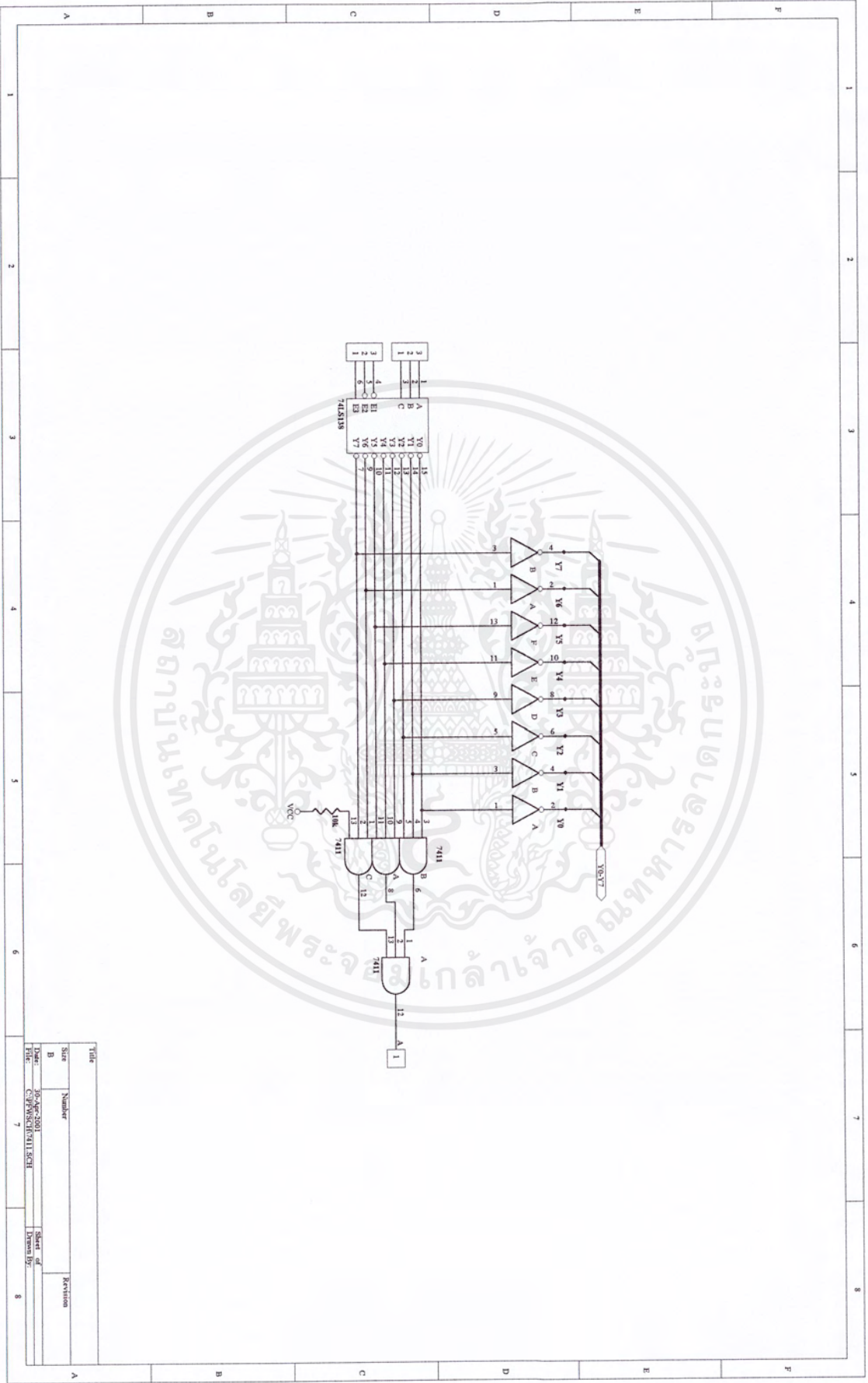
หลังจากผ่านการสแกนอ่านแบบทีละจุดครบทั้ง 8 จุดแล้วสัญญาณที่ได้จะถูกมัลติเพล็กซ์รวมกันซึ่งเรียกว่า 1 เฟรมด้วยไอซี LM 3941 และให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นการแบ่งระดับสัญญาณออกเป็น 10 ระดับ จากนั้นเข้าที่ไอซีเข้ารหัสแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นดิจิทัลซึ่งใช้ ไอซี 74LS147 เมื่อสัญญาณถูกแปลงเป็นดิจิทัลแล้วค่าที่ได้ออกมาแล้วยังใช้ไม่ได้ คือค่าใช้งานจะต้องมีค่าเป็น 0 เราต้องทำการแปลงสัญญาณให้เป็น 1 โดยใช้ไอซีอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เบอร์ 74LS04 แล้วต่อเข้ากับไอซีเบอร์ 74LS125 ซึ่งเป็นไอซีไตรสเตตเอาต์พุต (Tri-state Output) โดยใช้สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นการกำหนดค่าเอาต์พุต คือถ้าสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าเป็น 1 จะไม่มีเอาต์พุตออกมาซึ่งจะเป็นสถานะที่หน่วยประมวลผลยังไม่ทำงาน แต่ถ้าสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่า 0 แล้วก็จะทำให้มีข้อมูลเอาต์พุตออกมา

โดยค่าที่ได้นี้จะป้อนเป็นข้อมูลแบบเลขฐาน 2 จำนวน 4 บิตซึ่งเราให้เป็น 4 บิตต่าง ส่วน 4 บิตบน เราจะให้ข้อมูลเป็น 0 ตลอด ดังนั้นจึงต่ออินพุตของ ไอซี 74125 ลงกราวด์ไว้

ดังนั้นสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากการพูด 1 พยางค์จะมีจำนวนทั้งหมดเท่ากับ 8 ไบต์



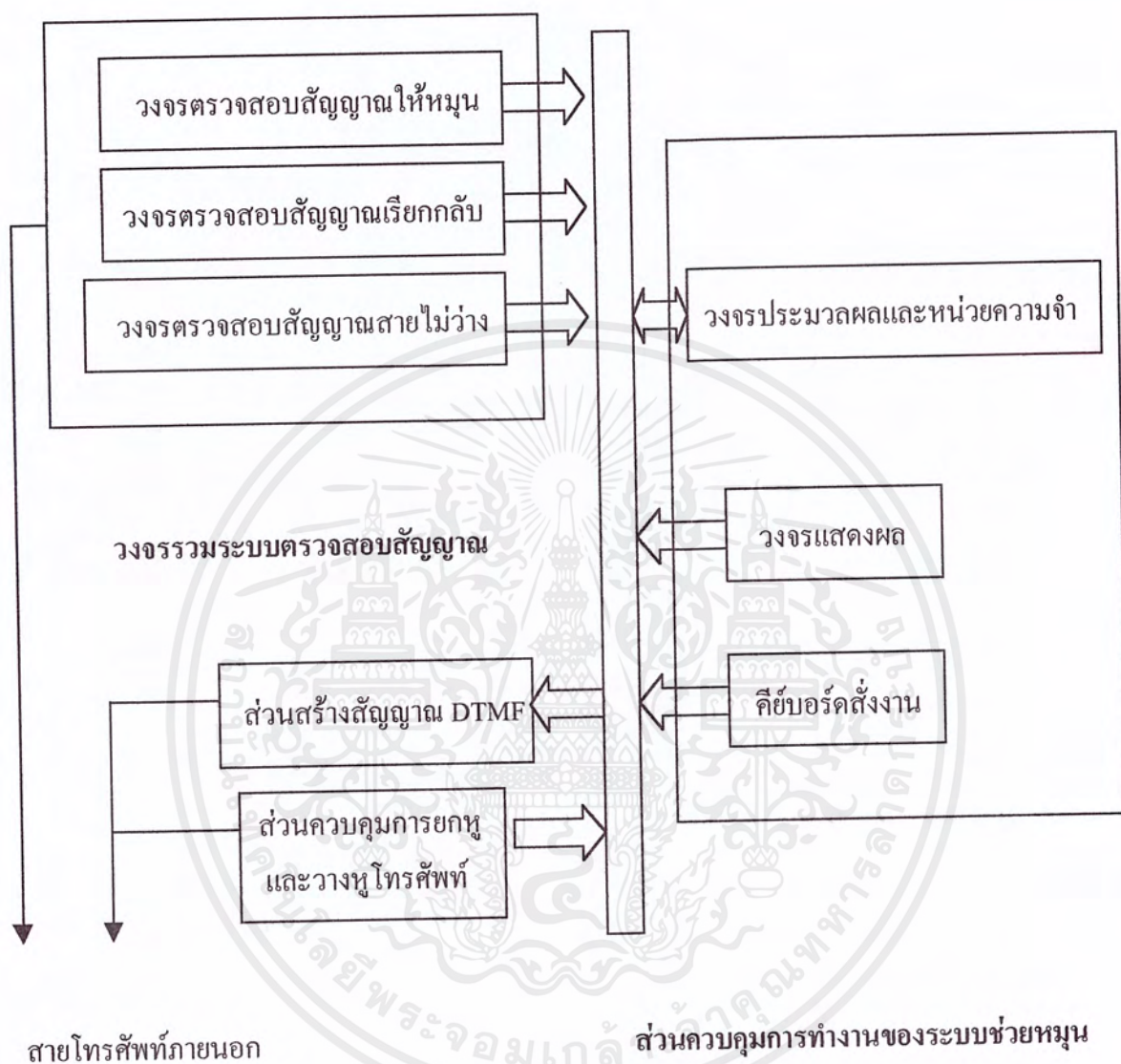
รูปที่ 3.4/1 แสดงระบบแยกสัญญาณเสียงและถอดรหัสเสียง



รูปที่ 3.4/3 แสดงระบบแยกสัญญาณเสียงและถอดรหัสเสียง

3.2 การออกแบบระบบช่วยเหลือ

ระบบช่วยเหลือสามารถที่จะแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมดังนี้



รูปที่ 3.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบช่วยเหลือ

จากบล็อกไดอะแกรมของระบบช่วยเหลือจะประกอบด้วย

- 3.2.1 วงจรรวมระบบตรวจสอบสัญญาณ
- 3.2.2 วงจรส่วนสร้างสัญญาณความถี่คู่ผสม
- 3.2.3 วงจรควบคุมการวางหูและยกหูโทรศัพท์
- 3.2.4 ส่วนควบคุมการทำงานของระบบช่วยเหลือ ซึ่งแบ่งออกเป็น
 - 1 หน่วยประมวลผลและหน่วยความจำ
 - 2 หน่วยแสดงผล
 - 3 คีย์บอร์ดทำงาน

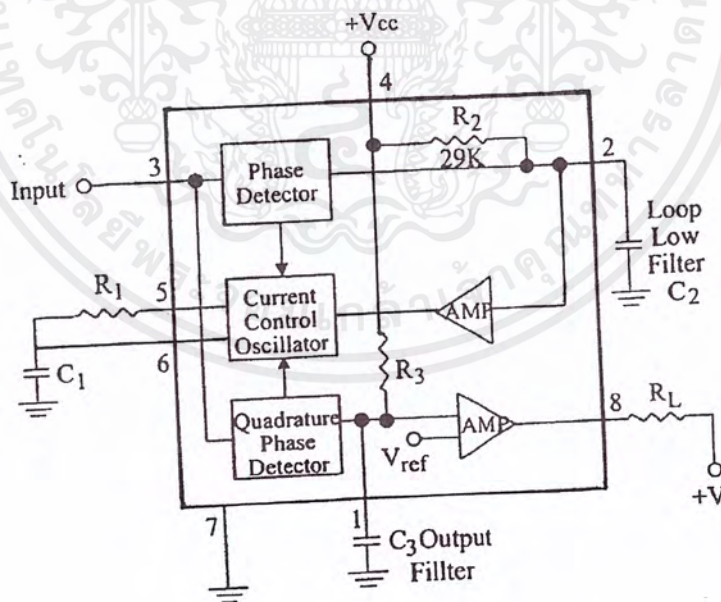
3.2.1 การออกแบบวงจรรวมระบบตรวจสอบสัญญาณเรียก

หลักการทํางาน

เนื่องจากในสายโทรศัพท์จะมีสัญญาณรบกวนอยู่จึงมีผลให้สัญญาณที่ป้อนเข้ามาไม่สะอาดพอจากการทดลองจะเห็นว่าสัญญาณหมุนหมายเลข , สัญญาณเรียกกลับ , สัญญาณสายไม่ว่าง จะมีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ความถี่ประมาณ 400 Hz เนื่องจากเป็นสัญญาณที่มีความถี่เดียวกันซึ่งจะต่างกันก็ตรงช่วงเวลาส่งสัญญาณและช่วงเวลาหยุดเท่านั้น เราจึงต้องกรองสัญญาณให้สะอาดเมื่อสัญญาณสะอาดแล้วก็จะมาเข้าที่วงจรถอดรหัส โดยเราจะใช้วงจรกรองความถี่ที่มีค่าความถี่ศูนย์กลางประมาณ 400 Hz ซึ่งภายในวงจรรวมระบบตรวจสอบสัญญาณเรียกจะประกอบด้วย

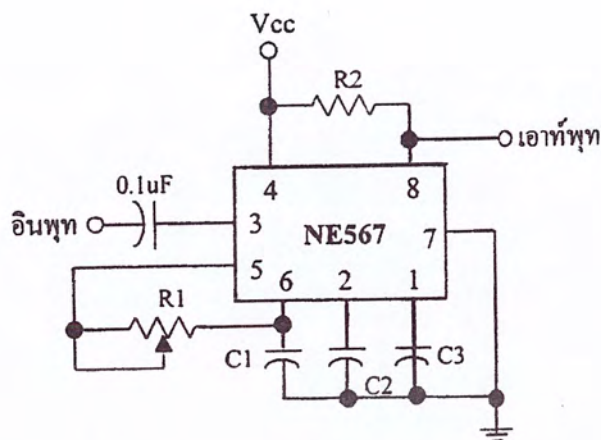
1) การออกแบบส่วนตรวจจับสัญญาณให้หมุน (Detect dial tone)

สัญญาณให้หมุนที่ส่งออกมาจากชุมสายขององค์การ โทรศัพท์จะเป็นสัญญาณความถี่ 400 Hz ต่อเนื่องกันมาดังนั้นในการออกแบบจะใช้ไอซี เฟสล็อกลูป (Phase lock loop) เบอร์ LM 567 ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณให้หมุน โดยมีโครงสร้างบล็อกไดอะแกรมดังแสดงในรูป 3.6 ความถี่ที่ทำการตรวจจับจะขึ้นอยู่กับขนาดของคาปาซิเตอร์และความต้านทานที่ต่ออยู่ระหว่างขา 6 และ ขา 5 ของ LM 567 ซึ่งจะต้องทำการจูนความถี่ให้อยู่ในช่วงความถี่ประมาณ 400 Hz



รูปที่ 3.6 แสดงโครงสร้างภายในของ LM 567

วงจรตรวจจับสัญญาณให้หมุนไอซี เฟสล็อกลูป (Phase lock loop) เบอร์ LM 567 จะสามารถตรวจจับสัญญาณให้ได้ นั้น เราจำเป็นต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้กับวงจรซึ่งประกอบด้วย R_1, C_1, C_2 และ C_3 ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงการต่อวงจรของไอซีเฟสล็อก
โดยค่า $R1$ และ $C1$ จะต้องมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$f_0 = \frac{1}{1.1R1C1} \quad (3.1)$$

โดยที่ f_0 คือค่าความถี่ของสัญญาณอินพุตซึ่งก็คือสัญญาณให้หมุนที่เราต้องการตรวจจับนั่นเอง ซึ่งจะมีค่าความถี่ เท่ากับ 400 Hz

จากคุณสมบัติของไอซีเฟสล็อก LM567 ที่ได้กำหนดค่า $R1$ ที่ทำให้วงจรทำงานอย่างมีประสิทธิภาพควรมีค่าอยู่ในช่วง 2-20 $k\Omega$ เพื่อให้ได้เสถียรภาพของอุณหภูมิที่ดีที่สุด ดังนั้นเมื่อเราทราบค่าสัญญาณความถี่อินพุตซึ่งเท่ากับ 400 Hz เรากำหนดค่า $C1 = 0.47 \mu F$ ซึ่งสามารถซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด จากสมการ 3.1 เราสามารถ ค่า $R1$ ได้ดังนี้

$$R1 = \frac{1}{1.1 \times 400 \times 0.47 \times 10^{-6}} = 4.84 \text{ k}\Omega \quad (3.2)$$

ซึ่งจากค่าความต้านทาน $R1$ ที่ ได้เพื่อความสะดวกในการปรับจูนความถี่จะเลือกใช้เป็นความต้านทานแบบปรับค่าได้ 10 $k\Omega$ เนื่องจากความถี่ของสัญญาณให้หมุนในแต่ละชุดสายโทรศัพท์อาจจะมีค่าแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ทำให้เราสามารถปรับแต่งค่า $R1$ เพื่อให้วงจรสามารถจับสัญญาณความถี่ที่ต้องการได้

ส่วนค่า $C2$ และ $C3$ จะทำหน้าที่เป็นตัวกรองความถี่ต่ำของวงจรซึ่งจะสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$C2 = 130 / f_0 \quad (3.3)$$

$$C3 = 260 / f_0 \quad (3.4)$$

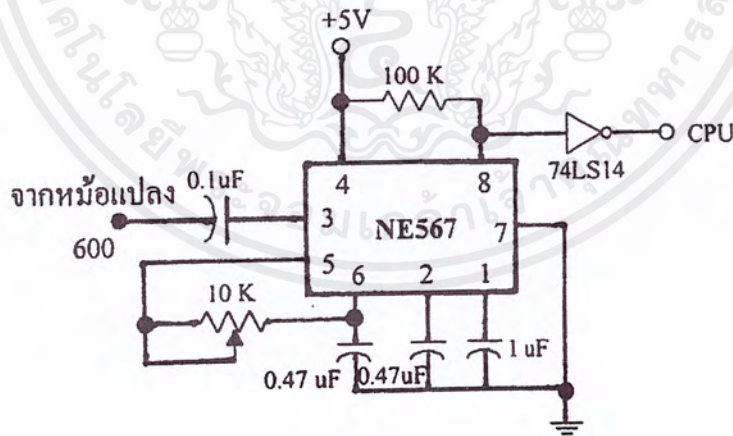
จากสัญญาณความถี่อินพุตที่เป็นสัญญาณให้หมุนมีค่าประมาณ 400 Hz ก็จะสามารถ C2 และ C3 ได้ดังนี้

$$C2 = 130 / f_0 = 130 / 400 = 0.325 \quad \mu\text{F}$$

$$C3 = 260 / f_0 = 260 / 400 = 0.650 \quad \mu\text{F}$$

เนื่องจากค่าปาริเตอร์ค่าดังกล่าวไม่มีขายในท้องตลาดจึงเลือกค่า $C2 = 0.47 \quad \mu\text{F}$ และค่า $C3 = 1 \quad \mu\text{F}$ ซึ่งสามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด

เมื่อเราคำนวนหาค่าอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องการได้แล้ว ก็นำไปต่อในวงจรตรวจจับให้หมุน โดยนำค่า C1 มาต่อกับค่าที่ 6 ส่วนค่า C2 ต่อเข้ากับขาที่ 2 และ C3 ต่อเข้ากับขาที่ 1 ลงกราวด์ หลังจากนั้นนำค่าความต้านทานแบบปรับค่าได้ R1 มาติดอนุกรมกับขาที่ 5 และขาที่ 6 ของไอซีเฟสล็อกกลุป LM567 และทำการปรับค่าให้มีค่าประมาณ $4.84 \quad \text{k}\Omega$ ดังแสดงในรูป 3.8 โดยวงจรตรวจจับสัญญาณให้หมุนจะมีการทำงานดังนี้ เมื่อมีสัญญาณให้หมุนที่มีความถี่ 400 Hz ส่งมาจากชุดสายโทรศัพท์ผ่านหม้อแปลง $600 \quad \Omega$ เข้ามาถ้ววงจรตรวจจับสัญญาณให้หมุนได้ เอาท์พุทที่ขา 8 ของไอซี LM567 ที่ปรกติจะเป็นลอจิก 1 ก็จะเปลี่ยนเป็นลอจิก 0 ผ่านไปยังไอซีอินเวอร์เตอร์ 74LS04 ซึ่งจะกลับเป็นลอจิก 1 ส่งไปยังหน่วยควบคุมและประมวลผล และเอาท์พุทที่ขา 8 จะเปลี่ยนเป็นลอจิก 1 เมื่อสัญญาณให้หมุนหายไป



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรการตรวจจับสัญญาณให้หมุน

2) การออกแบบส่วนตรวจจับสัญญาณสัญญาณไม่ว่างและเรียกกลับ (Detector busy and Ringback tone)

หลังจากที่ส่วนกำเนิดสัญญาณความถี่คู่ผสมทำการกดหมายเลขโทรศัพท์เพื่อทำการติดต่อแล้ว ก็จะมีสัญญาณควบคุมอยู่สองสัญญาณที่ส่งออกมาจากชุมสายโทรศัพท์ เพื่อแจ้งให้ทราบว่าหมายเลขที่เราต้องการติดต่อดังนั้นสามารถติดต่อได้หรือเปล่า ซึ่งสัญญาณนั้นก็คือนสัญญาณเรียกกลับ (Ringback tone) และสัญญาณไม่ว่าง (Busy tone) ถ้าหมายเลขโทรศัพท์ที่เราติดต่อนั้นสายไม่ว่าง ทางชุมสายโทรศัพท์ก็จะส่งสัญญาณไม่ว่างกลับมา เมื่อเราตรวจพบสัญญาณสายไม่ว่าง ก็จะต้องทำการยกหูและวางหูใหม่อีกครั้งเพื่อทำการติดต่อโทรศัพท์ใหม่อีกครั้งโดยจะส่งสัญญาณ DTMF ที่เป็นหมายเลขของเบอร์โทรศัพท์ที่เราจะติดต่ออีกครั้งหนึ่ง นอกจากนี้สัญญาณไม่ว่างในระบบโทรศัพท์ก็จะสามารถเกิดจาก เมื่อผู้สนทนาทั้ง 2 ฝ่ายเสร็จสิ้นการสนทนาและทำการวางหูฟังลงก็จะทำให้เกิดสัญญาณไม่ว่างขึ้นเหมือนกัน โดยสัญญาณไม่ว่างจะมีความถี่ประมาณ 400 Hz ดังแล้วหยุดทุก ๆ 0.5 วินาที แต่ถ้าชุมสายของหมายเลขโทรศัพท์ที่เราติดต่อดังนั้นว่างก็จะส่งสัญญาณเรียกกลับมา โดยสัญญาณเรียกกลับจะมีความถี่ประมาณ 400 Hz เหมือนกัน แต่จะมีคาบเวลามากกว่าคือจะดัง 1 วินาที แล้วเงียบ 3 วินาที

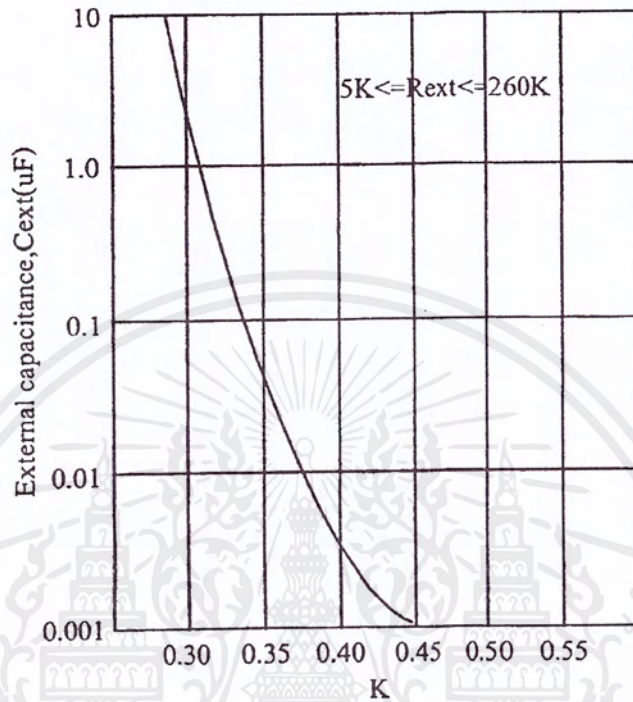
การออกแบบวงจรของส่วนตรวจจับสัญญาณเรียกกลับและสัญญาณไม่ว่างจะอาศัยการทำงานของไอซีเฟสล็อกลูป (Phase lock loop) เบอร์ LM 567 ซึ่งสามารถปรับจูนความถี่ให้อยู่ในช่วงความถี่ประมาณ 400 Hz ของสัญญาณไม่ว่างและสัญญาณเรียกกลับ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยการปรับค่าความต้านทานแบบปรับค่าได้ที่ต่ออยู่ระหว่างขาที่ 5 กับขาที่ 6 ให้มีค่าประมาณ $4.84 \text{ k}\Omega$ และใช้ไอซีโมโนสเตเบิลมัลติไวกเบเตอร์ แบบทรานซิสเตอร์ 74LS123 จำนวน 2 ชุด ทำหน้าที่เป็นตัวถอยครัทช์ของสัญญาณที่เข้ามาว่าเป็นสัญญาณเรียกกลับหรือสัญญาณไม่ว่าง โดยอาศัยคาบเวลาที่แตกต่างกันของสัญญาณทั้งสองเพื่อบอกให้ส่วนประมวลผลทราบ

ในการที่จะทราบว่าเป็นสัญญาณไม่ว่างหรือสัญญาณเรียกกลับ จะอาศัยคุณสมบัติการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลแบบทรานซิสเตอร์ โดยหลักการทำงานของไอซีโมโนสเตเบิลแบบทรานซิสเตอร์ 74LS123 เมื่อวงจรได้รับการกระตุ้นที่ขาอินพุตหรือเกิดการทรานซิสเตอร์อินพุตแล้วจะทำให้เกิดสัญญาณเอาต์พุตที่มีสถานะแรงดันเป็นบวก ที่มีคาบเวลาเท่ากับความกว้างของพัลส์ ในช่วงเวลาคงที่ และถ้าเกิดการทรานซิสเตอร์หรือการกระตุ้นซ้ำต่อไปในช่วงเวลาที่น้อยกว่าความกว้างของพัลส์ สัญญาณเอาต์พุตก็จะเกิดซ้ำต่อไปอีก ในช่วงเวลาที่คงที่อยู่ จะทำให้ระดับเอาต์พุตมีค่าเป็นบวกจากจุดที่มีการทรานซิสเตอร์ไปอีกช่วงเวลาคงที่

การหาค่าพัลส์วัดที่สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$t_w = KR_{\text{ext}}C_{\text{ex}} \quad (3.7)$$

สำหรับไอซีเบอร์ 74LS123 มีเงื่อนไขสำหรับการหาค่า K ดังนี้คือค่า $K = 0.45$ เมื่อค่า $C_{ex} > 1000 \text{ pF}$ และในกรณีที่ค่า $C_{ext} < 1000 \text{ pF}$ จะสามารถหาค่า K ได้จากกราฟในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของ K , R_{ext} , C_{ex}

จากกราฟเมื่อเราเลือกค่า $C_{ext} = 100 \text{ } \mu\text{F}$ และ $R_{ext} = 29 \text{ k}\Omega$ ค่า K ที่ได้ประมาณ 0.45 ดังนั้น t_w สามารถหาได้ดังนี้
โดยค่า $K = 0.45$

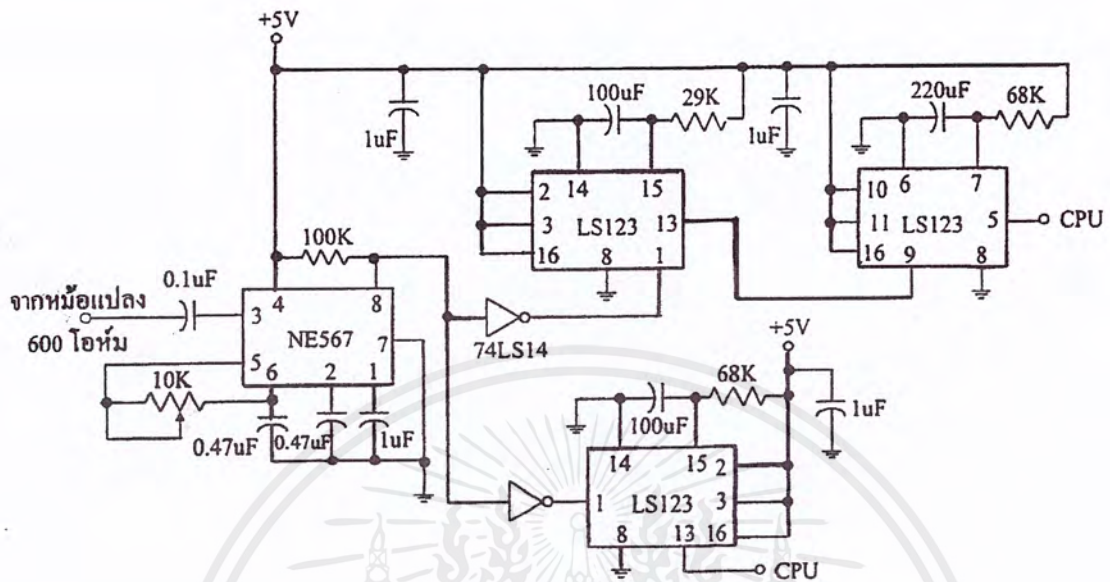
$$t_w = 0.45 \times 100 \times 10^{-6} \times 29 \times 10^3 = 1.305 \text{ วินาที} \quad (3.8)$$

ส่วนค่าของไอซี 74LS147 ตัวที่ 2 ของชุดแรกและชุดที่ 2 จะต้องมีค่ามากกว่า 2 วินาที โดยเลือก $C_{ext} = 220 \text{ } \mu\text{F}$ และ $R_{ext} = 68 \text{ k}\Omega$

$$t_w = 0.45 \times 220 \times 10^{-6} \times 68 \times 10^3 = 1.305 \text{ วินาที} \quad (3.9)$$

ดังนั้นเราจะได้อะไรสมมุติของส่วนตรวจสอบสัญญาณไม่ว่าและสัญญาณเรียกกลับดังรูปที่

3.10

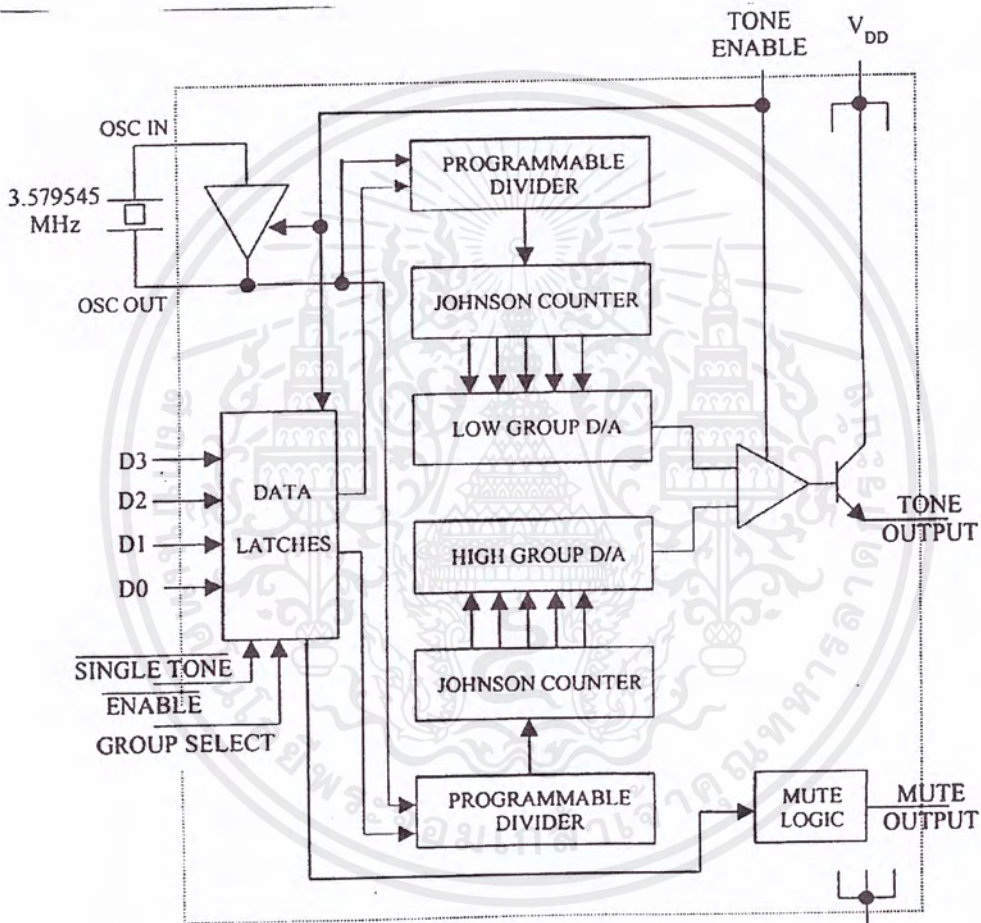


รูปที่ 3.10 แสดงวงจรตรวจสอบสัญญาณไม่ว่าและสัญญาณเรียกกลับ

วงจรตรวจจับสัญญาณเรียกกลับและสัญญาณไม่ว่าจะมีการทำงานดังนี้ เมื่อมีสัญญาณไม่ว่าหรือสัญญาณเรียกกลับที่มีความถี่ประมาณ 400 Hz เข้ามาที่ขา 3 ของไอซี LM 567 จะทำให้เอาต์พุตที่ขา 8 มีสถานะเป็น 0 โวลต์หรือลอจิก 0 แต่ถ้าเป็นสัญญาณความถี่อื่นที่นอกเหนือจากความถี่ที่ได้ปรับจูนไว้หรือไม่มีสัญญาณใด ๆ สถานะลอจิกที่ขา 8 จะเป็นลอจิก 1 เมื่อมีสัญญาณไม่ว่าเข้ามา สถานะเอาต์พุตที่ขา 8 ของ LM 567 จะมีสถานะเป็นลอจิก 0 เป็นเวลา 0.5 วินาที และ 5 โวลต์หรือลอจิก 1 ประมาณ 0.5 วินาที หลังจากนั้นนำเอาเอาต์พุตของ LM567 ไปต่อผ่านไอซี 74LS04 ซึ่งเป็นไอซีอินเวอร์เตอร์ ไปยังไอซี 74LS123 ที่ต่อขนานกันอยู่ 2 ชุด โดยชุดแรกจะประกอบด้วยไอซีโมโนสเตเบิล 2 ตัวต่ออนุกรมกันอยู่โดยที่ไอซีตัวแรกจะถูกกำหนดค่าช่วงเวลาคงที่ด้วย R และ C ให้มีค่ามากกว่า 1 วินาทีเล็กน้อย ทำให้เอาต์พุตของไอซี 74LS123 ตัวแรกเป็นลอจิก 0 เป็นผลให้ไอซีตัวที่สองไม่เกิดการทริกทำให้เอาต์พุตเป็นศูนย์ตลอด แต่ถ้าเป็นสัญญาณเรียกกลับที่มีคาบเวลา 2 วินาที เข้ามาจะทำให้เกิดการทริกซ้ำที่ไอซี 74LS123 ตัวแรกให้เอาต์พุตเป็น 1 ออกมาทำให้มีสัญญาณไปทริกขา 1 ของไอซีตัวที่ 2 ที่มีค่าช่วงเวลาคงที่มากกว่า 2 วินาทีเป็นผลให้เอาต์พุตเป็น 1 ตลอด ส่วนในชุดที่สองจะประกอบด้วยไอซี 74LS123 ตัวเดียวที่มีคาบเวลามากกว่า 2 วินาที ไม่ว่าจะมีสัญญาณอะไรเข้ามาก็จะเกิดการทริกซ้ำให้เอาต์พุตออกมาเป็นลอจิก 1 ตลอดเวลา ทำให้สามารถเปรียบเทียบได้ว่ามีสัญญาณอะไรเข้ามา สัญญาณที่ออกจากเอาต์พุตของไอซีโมโนสเตเบิลแบบทริกซ้ำทั้งสองชุดจะถูกส่งไปยังส่วนควบคุมและประมวลผลเพื่อใช้ในการควบคุม

3.2.2 การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณความถี่

ในวงจรส่วนนี้จะใช้ไอซีเบอร์ TP5088 ทำการส่งสัญญาณความถี่คู่ผสมออกไป ดังจะมีโครงสร้างภายในดังรูปที่ 3.11 ซึ่งเป็นไอซีที่มีราคาถูกและสามารถควบคุมการทำงานได้โดยตรงจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไม่จำเป็นต้องใช้อินพุตที่เป็นคีย์บอร์ด สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะขึ้นอยู่กับรหัสสัญญาณไบনারีที่เข้ามาทางอินพุตที่ได้จะขึ้นอยู่กับรหัสสัญญาณไบনারีที่เข้ามาทางอินพุตที่ขา D0 - D3 และสถานะแรงดันของขา Tone enable



รูปที่ 3.11 โครงสร้างภายในของไอซี TP 5088

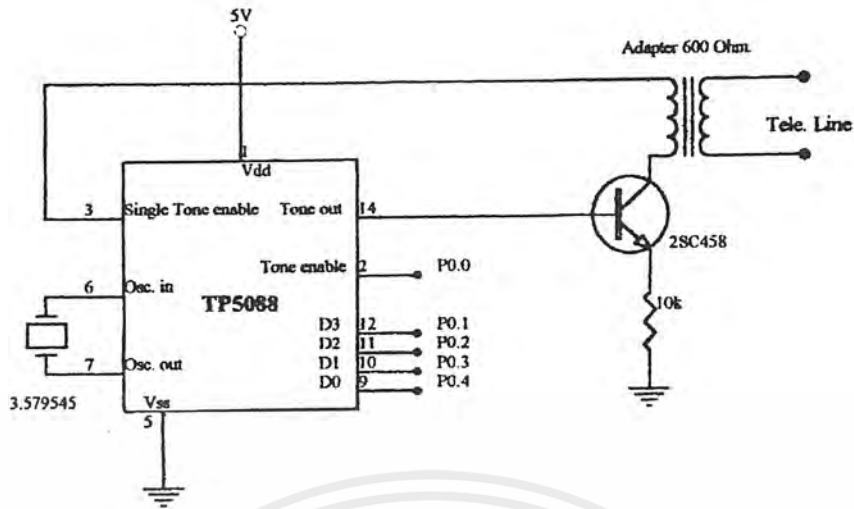
ในการกำเนิดสัญญาณความถี่คู่ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งสัญญาณควบคุมเข้ามายังขาอินพุต D0 - D3 และขา Tone enable อยู่ในสถานะแรงดันต่ำ วงจรออสซิลเลเตอร์จะไม่ทำงาน และไม่รับข้อมูลอินพุตเข้ามา แต่เมื่อขา Tone enable เปลี่ยนสถานะจากแรงดันไฟต่ำไปเป็นแรงดันไฟสูง ข้อมูลจะถูกรับเข้ามาทางขา D0 - D3 แล้วทำการสร้างสัญญาณความถี่คู่ขึ้นมาตามรหัสข้อมูลอินพุต โดยสร้างจาก

สัญญาณความถี่มาตรฐานภายในอุปกรณ์ ซึ่งจะมีกลุ่มความถี่ต่ำ และกลุ่มความถี่สูง ดังแสดงในตารางที่ 3.2 หลังจากนั้นความถี่ทั้งสองที่สร้างมาจะถูกนำมารวมกันที่วงจรมิกซ์เซอร์แล้วส่งเป็นสัญญาณ เอาท์พุท ออกไป ซึ่งก็คือหมายเลขต่าง ๆ นั้นเอง สามารถแสดงดังตารางที่ 3.3 สัญญาณเอาท์พุทจะยังคงสถานะเดิม จนกว่าแรงดันที่ขา Tone enable จะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะของแรงดันจาก 0 โวลต์เป็น 5 โวลต์ใหม่ อีกครั้งหนึ่ง

กลุ่มความถี่	ความถี่มาตรฐาน	ความถี่ที่ส่งออกไป	ค่าผิดพลาด (%)
กลุ่มความถี่ต่ำ	697	694.8	-0.32
	770	770.1	+0.02
	852	852.4	+0.03
	941	940.0	-0.11
กลุ่มความถี่สูง	1209	1206.0	-0.24
	1336	1331.7	-0.32
	1477	1486.5	+0.64
	1633	1639.0	+0.37

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความถี่เอาท์พุทของไอซี TP 5088

วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่คู่ผสมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 โดยสัญญาณเอาท์พุทจะออกจาก ขา Tone out ของไอซี โดยจะทรานซิสเตอร์และความต้านทานต่อโหลดเอาไว้ผ่านหม้อแปลง 600 Ω ที่ทำหน้าที่คลิปปึงสัญญาณความถี่คู่ออกไปทางคู่สายโทรศัพท์ เพื่อส่งออกไปยังหมายเลขโทรศัพท์ที่เราต้องการติดต่อ



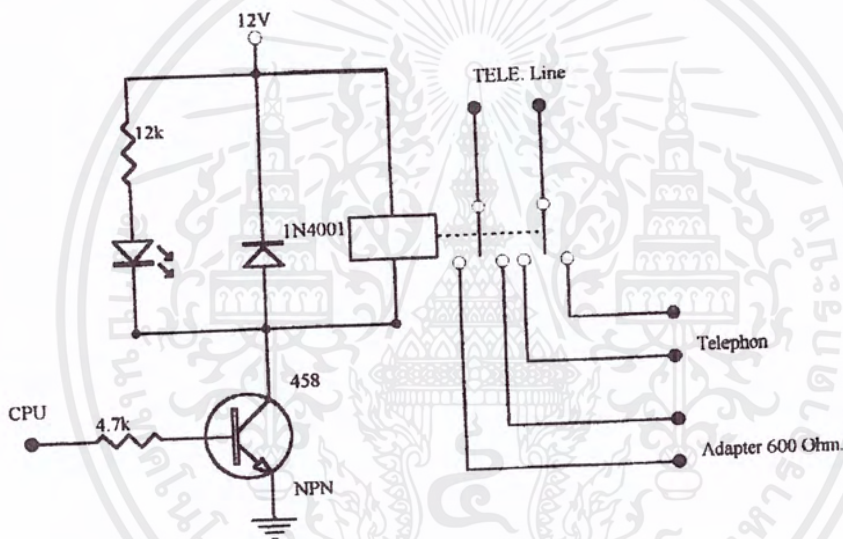
รูปที่ 3.12 แสดงวงจรกำเนิดความถี่คู่ผสม

หมายเลข	ข้อมูลอินพุต				Tone enable	ความถี่ที่ส่งออกไป	
	D0	D1	D2	D3		ความถี่สูง	ความถี่ต่ำ
X	X	X	X	X	0	0V	0V
1	0	0	0	1		1209	697
2	0	0	1	0		1336	697
3	0	0	1	1		1477	697
4	0	1	0	0		1209	770
5	0	1	0	1		1336	770
6	0	1	1	0		1477	770
7	0	1	1	1		1209	852
8	1	0	0	0		1336	852
9	1	0	0	1		1477	852
0	1	0	1	0		1336	941
*	1	0	1	1		1209	941
#	1	1	0	0		1477	941
A	1	1	0	1		1633	697
B	1	1	1	0		1633	770
C	1	1	1	1		1633	852
D	0	0	0	0		1633	941

ตารางที่ 3.3 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากรหัสของสัญญาณอินพุต

3.2.3 การออกแบบส่วนควบคุมการยกหูและวางหูโทรศัพท์

ในการควบคุมการยกหูและวางหูโทรศัพท์ จะอาศัยหลักการการทำงานของรีเลย์แบบ DPDT (Double pole Double Throw) รีเลย์เป็นสวิตช์ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ใช้สนามแม่เหล็กเป็นตัวปิด - เปิดวงจร เพื่อที่จะทำการเชื่อมต่อกับคู่สายโทรศัพท์ผ่านรีเลย์ไปยังหม้อแปลงที่มีขนาดอิมพีแดนซ์ $600\ \Omega$ มีอัตราส่วน 1 : 1 เมื่อหน้าสัมผัสของรีเลย์ปิด คู่สายโทรศัพท์ก็จะถูกเชื่อมต่อกับหม้อแปลงที่มีขนาดอิมพีแดนซ์ $600\ \Omega$ ก็จะเกิดการครบวงจรซึ่งถือว่าเป็นการยกหูโทรศัพท์ โดยทางชุมสายจะทราบว่าการยกหูเกิดขึ้น ก็จะส่งสัญญาณให้หมุนออกมา แต่ถ้าหน้าสัมผัสของรีเลย์เปิดจะไม่มี การเชื่อมต่อกับคู่สายโทรศัพท์จะเป็นการวางหูโทรศัพท์ วงจรของส่วนการควบคุมการยกหูวางหูแสดงดังรูป 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงวงจรควบคุมการยกหูและวางหูโทรศัพท์

3.2.3 ส่วนควบคุมการทำงานของระบบช่วยหมุน

1 วงจรประมวลผลและหน่วยความจำ

หน่วยประมวลผลกลางจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 ซึ่งจะเชื่อมต่อกับอีพรอม (EPROM) และ แรม (RAM) ภายนอก โดยอีพรอมที่ใช้จะเป็นเบอร์ 2764 ซึ่งมีหน่วยความจำขนาด 8K มีหน้าที่เก็บข้อมูลและโปรแกรมสั่งการต่าง ๆ ส่วนแรมที่ใช้เป็นไอซีเบอร์ 6264 ซึ่งมีหน่วยความจำขนาด 8K โดยไอซี 8051 จะแบ่งการทำงานเป็น 4 พอร์ตด้วยกันคือ พอร์ต 0 (P0.0-P0.7) พอร์ต 1 (P1.0-P1.7) พอร์ต 2 (P2.0-P2.7) พอร์ต 3 (P3.0-P3.7) โดยแบ่งหน้าที่ของพอร์ตต่าง ๆ ดังนี้

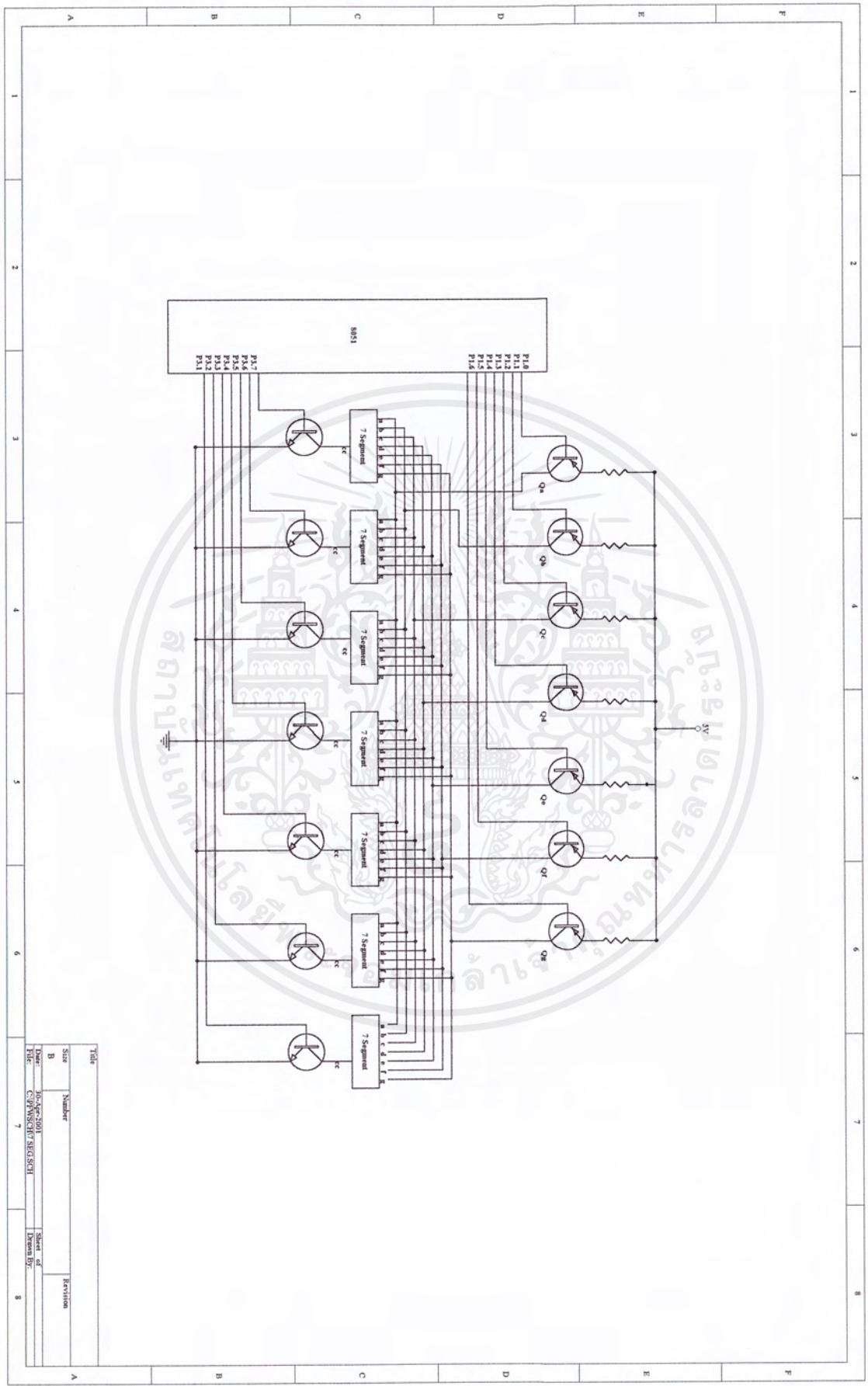
2. วงจรแสดงผล

ประกอบด้วย 7 เซ็กเมนต์ (7 – Segment) จำนวน 7 หลัก ใช้สำหรับแสดงหมายเลขโทรศัพท์ที่ทำการโทรออก ดังรูปที่ 3.14

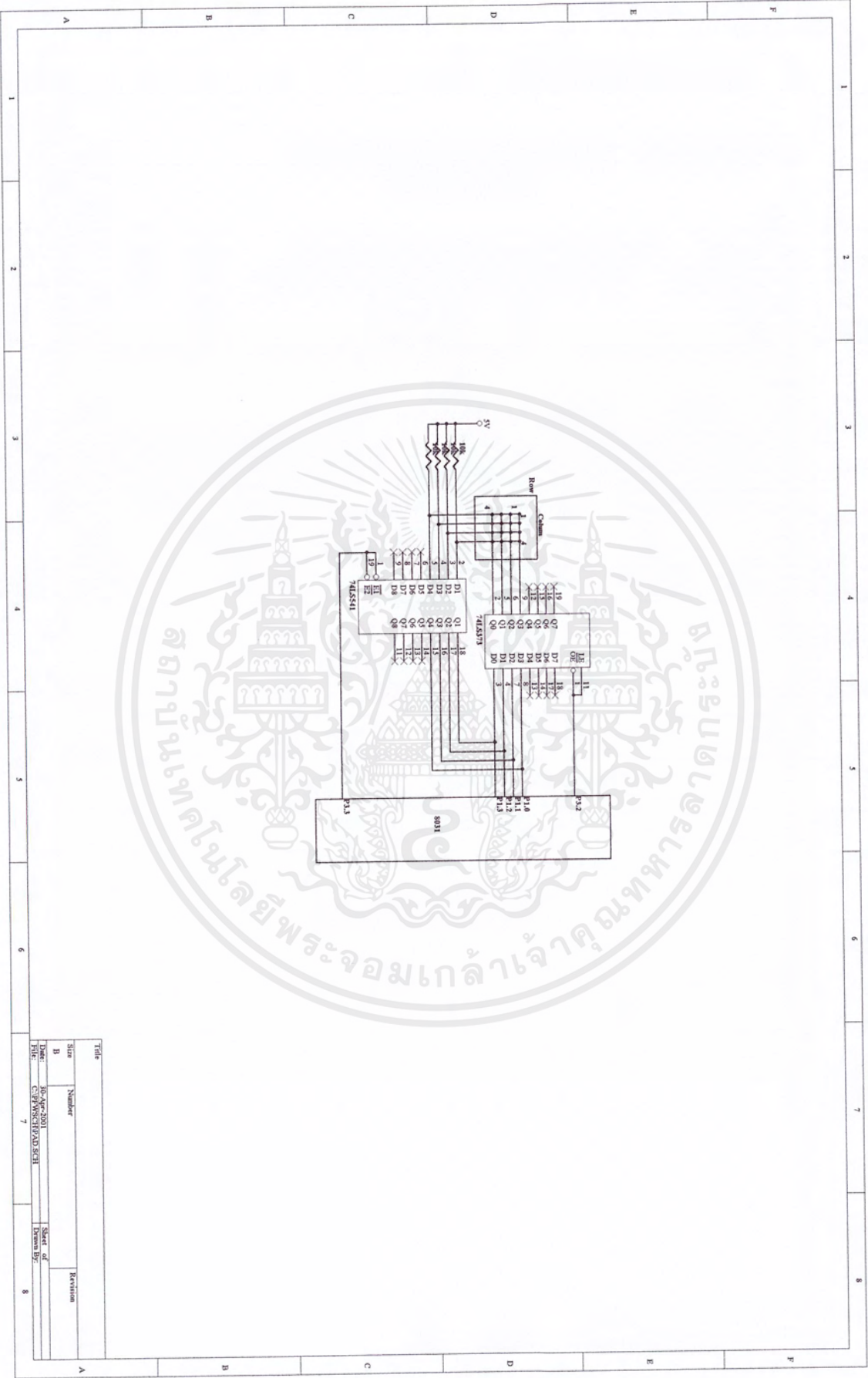
3. วงจรคีย์บอร์ดสั่งงาน

ใช้เป็นกดขนาด 4x3 เป็นกด ใช้สำหรับการคีย์หมายเลขโทรศัพท์ที่ต้องการจะใช้สำหรับจะทำงานด้วยเสียงและให้บันทึกลงไปหน่วยความจำดังรูปที่ 3.15





รูปที่ 3.14 แสดงการเชื่อมต่อของ 7-Segment จำนวน 7 หลัก



รูปที่ 3.15 แสดงวงจรคีย์บอร์ดทำงาน

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองของระบบแยกสัญญาณเสียงและถอดรหัสเสียง

1) การทดลองวัดค่าอัตราขยายของสัญญาณเสียงจากวงจรในรูป 3.4 / 1

$$\begin{aligned} V_O &= - (R_2 / R_1) \times V_i \\ &= - (220 \text{ K} / 39 \text{ K}) \times V_i \\ &= - 5.64 \times V_i \end{aligned}$$

เป็นการขยายแบบย้อนกลับ (เครื่องหมายเป็นลบ) มีอัตราขยายเท่ากับ 5.64 เท่าจากการทดลองวัด เอาท์พุท (Output) ได้เท่ากับ 2.2 โวลต์ อินพุท (Input) จากไมค์โครโฟน เท่ากับ 400 มิลลิโวลต์ (mV)

$$\begin{aligned} \text{อัตราขยาย (Gain)} &= 2.2 \text{ V} / 400 \text{ mV} \\ &= 5.5 \end{aligned}$$

เห็นว่าใกล้เคียงกับทฤษฎี ส่วนความต้านทานที่ขมวก ($33\text{k}\Omega$) เป็นการจำกัด “ออฟเซต โวลเตจ” (Offset Voltage) คือกรณีที่ อินพุท (Input) ต่อลงดิน (Ground) แล้วยังมีค่าโวลต์เตจออกมาค่าหนึ่ง

2) การทดลองในส่วนวงจรกรองช่วงความถี่ (Bandpass Filter) ซึ่งใช้ค่า $Q = 40$

อัตราขยาย 4 dB จะได้แบนวิดธ์ (Bandwidth) คือ

$$\begin{aligned} BW &= F_0 / Q \\ &= F_0 / 40 \\ &= 0.025 \times F_0 \end{aligned}$$

$$(\text{dB}) = 20 \log (V_O / V_i)$$

$$4 = 20 \log (V_O / V_i)$$

เพราะฉะนั้น V_O / V_i คือ 1.586

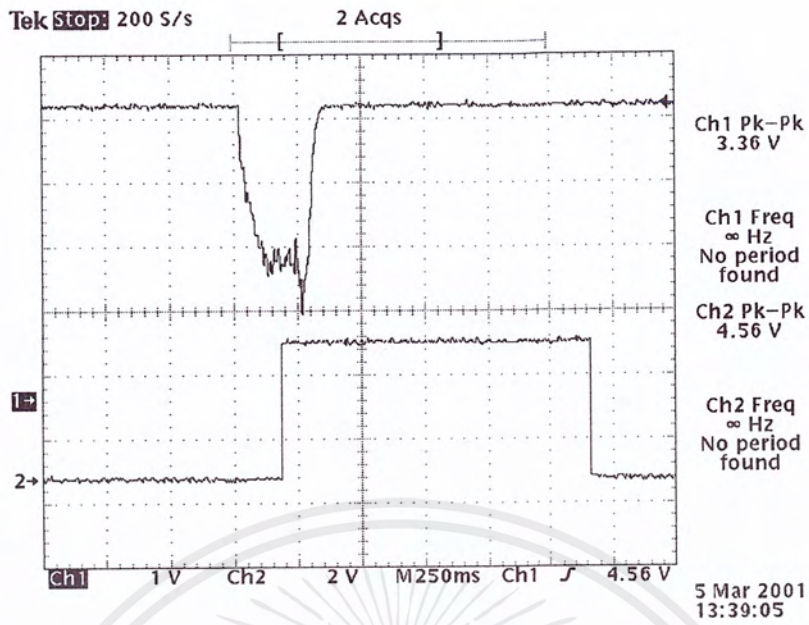
จากการทดลองเนื่องจาก ความละเอียดของกราฟไม่เพียงพอหาความต้านทานให้พอดีกับที่คำนวณ (ในกรณีนี้ไม่ใช่ค่าความต้านทานปรับได้เพราะใช้หลายชุดทำให้สั่นเปลือง) และค่าความผิดพลาดในอุปกรณ์เองทำให้ความถี่ศูนย์กลาง และอัตราขยายผิดไปจากทฤษฎีบ้างแต่ก็อยู่ที่วิสัยที่ยอมรับได้โดยเฉพาะความถี่ศูนย์กลาง ซึ่งเราไม่ได้กำหนดเฉพาะลงไปจะมีแต่อัตราขยาย ซึ่งได้มีการปรับให้ใกล้เคียงผลการทดลองดังตารางข้างล่าง

F_0	F_0 ที่ทำได้จริง	แบนด์วิดท์
200	210	5.25
400	415	10.375
600	600	15.00
800	765	19.125
1000	1010	25.25
1200	1200	30.00
1400	1430	35.75
1600	1615	40.375

ตาราง4.1 แสดงความผิดพลาดทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ

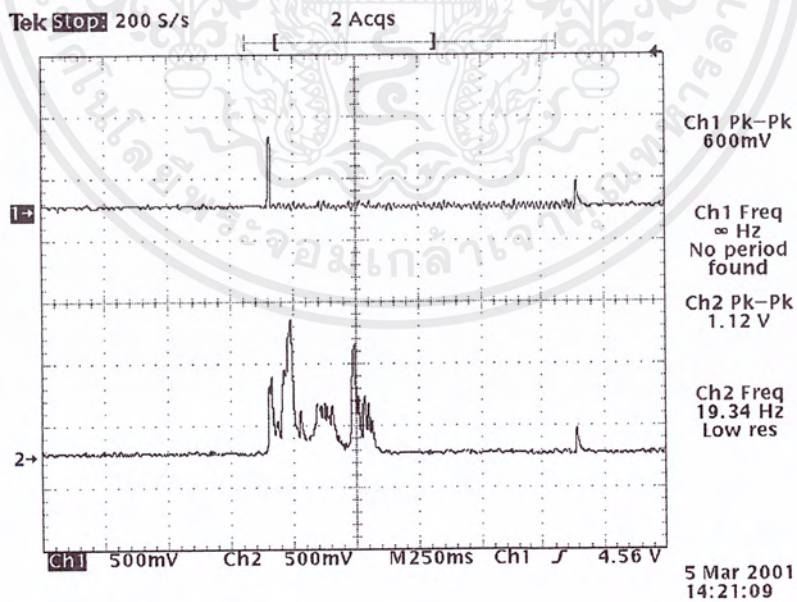
3) การทดลองวงจรแยกสัญญาณเสียงและถอดรหัสเสียง

จากรูป 3.4 / 1 – 3.4 / 3 สัญญาณเสียงที่ผ่านการ โดยออปแอมป์แล้วจะถูกแยกผ่านไดโอด 4148 โดยลักษณะสัญญาณที่ผ่านจะผ่านได้เฉพาะซีกบวกไปประจุไฟฟ้าให้แก่ตัวเก็บความจุตามความแรงของสัญญาณที่เข้ามาในแต่ละความถี่ศูนย์กลางของพยางค์ คำนี้นักเก็บไว้นานจึงต้องมีวงจรคายประจุ ได้แก่วงจรหน่วงเวลาของ 555 และอนาล็อกสวิตช์ (Analog Switch) เราจะหน่วงเวลาไว้พอที่หน่วยประมวลผลอ่านข้อมูลครบทุกจุด จากนั้นเราก็จะคายประจุทำให้จุดนี้เป็นสถานะกราวด์เพื่อรอรับสัญญาณของพยางค์ใหม่ต่อไป

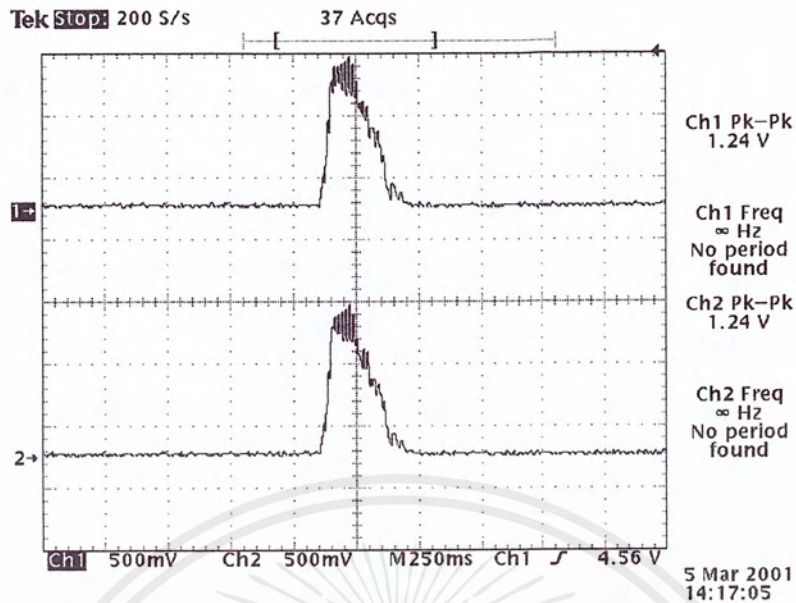


รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะสัญญาณของไอซี 555

โดย CH1 จะเป็นสัญญาณเสียงที่ออกจากทรานซิสเตอร์ BC337 หลังจากถูกกระตุ้นแล้ว ส่วน CH2 เป็นสัญญาณเอาต์พุตของไอซี 555 ที่ขา 3

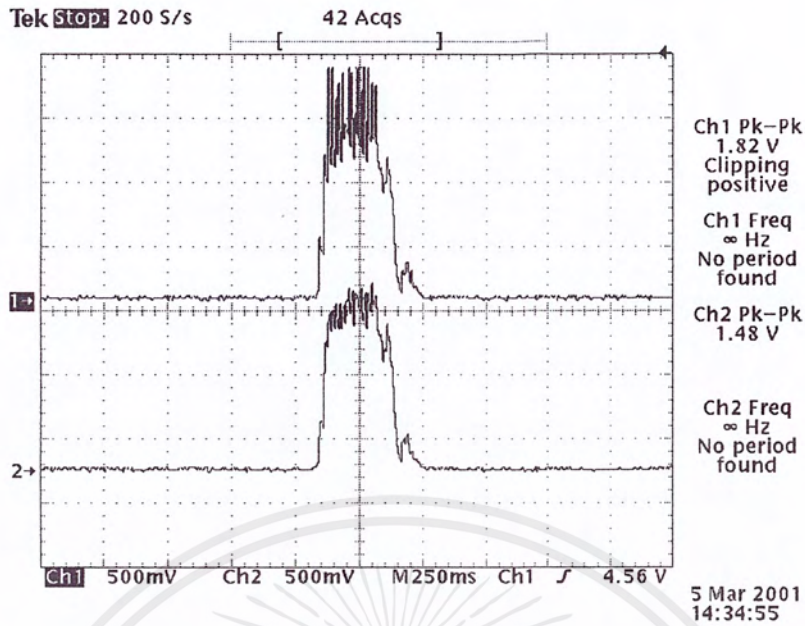


รูปที่ 4.2 แสดงการเปิดของอนาล็อกสวิตช์



รูปที่ 4.3 แสดงการปิดของสวิตช์

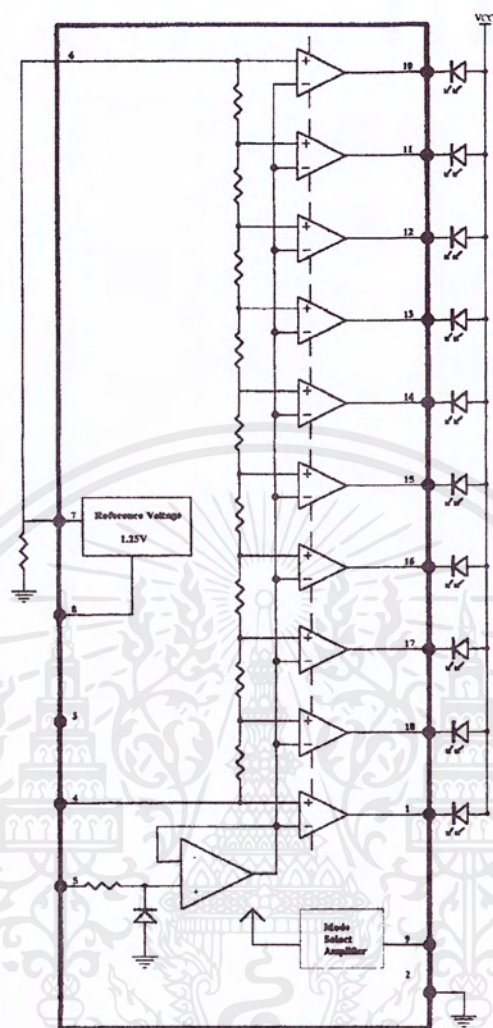
สัญญาณอีกส่วนหนึ่งจะผ่านวงจรกรองความถี่ทั้ง 8 ชุดซึ่งวงจรกรองความถี่นี้จะทำการแยกค่าความเข้มของสัญญาณเสียงตามค่าความถี่ที่ตั้งไว้ (8 ช่องสัญญาณ) หลังจากผ่านวงจรกรองความถี่ทั้ง 8 ชุดแล้วสัญญาณทั้ง 8 ช่องสัญญาณ จะเข้ามาที่อนาล็อกสวิตช์ (CD4066) ทั้ง 2 ตัว ซึ่งอนาล็อกสวิตช์นี้จะถูกควบคุมการปิด-เปิดด้วยลักษณะสัญญาณพัลส์ 0 และ 1 โดยพัลส์ 0 จะทำให้สวิตช์เปิดมีผลให้ไม่มีเอาต์พุตออกมา ดังรูปที่ 4.2 และพัลส์ 1 จะทำให้สวิตช์ปิดมีผลให้มีสัญญาณเอาต์พุต ออกมา ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.4 แสดงค่าความแตกต่างของแอมพลิจูดของสัญญาณเสียงทั้ง 2 ช่องสัญญาณ

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าเมื่อเราให้พัลส์ที่เป็น 1 ทั้ง 2 ช่องสัญญาณจะทำให้สวิทช์ปิดทั้ง 2 ตัว ค่าแอมพลิจูดที่วัดได้ระหว่าง 2 ช่องสัญญาณนั้นจะมีลักษณะแอมพลิจูดที่ต่างกัน

จากนั้นสัญญาณทั้ง 8 ช่องสัญญาณจะถูกมัลติเพล็กซ์ด้วยไอซี LM3914 ซึ่งไอซีนี้จะทำการแบ่งระดับสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แล้วเป็น 10 ระดับ โครงสร้างภายในของไอซี LM3914 เป็นดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดง โครงสร้างภายในของ LM3914

จากการทดลองเราจะใส่ LED ไว้ดังรูปที่ 4.5 เพื่อที่จะสามารถสังเกตเห็นถึงระดับของสัญญาณได้อย่างชัดเจน โดยถ้าสัญญาณถึงที่ระดับใด LED หลอดนั้นก็จะติด แต่จะการพูดส่วนใหญ่แรงดันของเสียงจะมีค่ามากกว่า 5 โวลต์ ซึ่งอาจเป็นเพราะว่า พุดใกล้ไมค์โครโฟนเกินไป ซึ่งทำให้ไม่สามารถหาระยะมาตรฐานในการพูดได้

จากที่กล่าวข้างต้นสามารถที่จะสรุปเป็นตารางความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงกับความถี่ได้ดังตารางที่ 4.1

เสียง \ ความถี่(Hz)								
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
A	3	9	2	8	9	6	9	2
	3	5	3	9	9	9	9	9
	2	5	4	8	9	9	8	9
	4	9	3	9	9	8	9	8
	3	9	3	9	9	6	9	3
E	8	9	1	1	2	0	1	8
	9	9	1	3	1	0	2	8
	8	6	4	1	0	0	1	8
	7	8	4	1	0	0	1	7
	8	9	1	1	1	0	2	8
I	3	1	0	6	3	2	0	3
	5	2	0	6	2	3	1	4
	5	1	0	7	3	3	1	4
	5	2	2	6	3	2	0	4
	6	4	1	9	3	0	0	2
O	5	2	3	8	8	9	4	3
	5	4	3	5	8	7	3	3
	4	4	3	8	9	6	4	3
	5	4	1	8	5	6	4	2
	3	6	2	7	9	6	1	0
U	9	9	5	7	5	1	8	0
	2	9	3	7	4	0	8	1
	9	9	4	7	4	1	5	1
	3	9	5	3	6	0	6	0
	9	9	4	7	4	1	8	0

จากนั้นระดับของเสียงทั้งหมดก็จะถูกเข้ารหัสเป็นสัญญาณดิจิทัล 4 บิตด้วยไอซี 74LS147 ซึ่งมีลักษณะการเข้ารหัสดังตารางที่ 4.2

INPUT									OUTPUT			
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	H
X	X	X	X	X	X	L	H	H	H	L	L	L
X	X	X	X	X	L	H	H	H	H	L	L	H
X	X	X	X	L	H	H	H	H	H	L	H	L
X	X	X	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H
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	H
L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L

ตารางที่ 4.2 แสดงการเข้ารหัสของ 74LS147

ค่าสัญญาณดิจิทัลที่ได้ทั้ง 4 บิตนั้นเป็นค่า 4 บิตล่าง (D0-D3) ส่วน 4 บิตบนจะให้ค่าเป็น 0 โดยการป้อนอินพุตเป็นกราวด์

การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพ

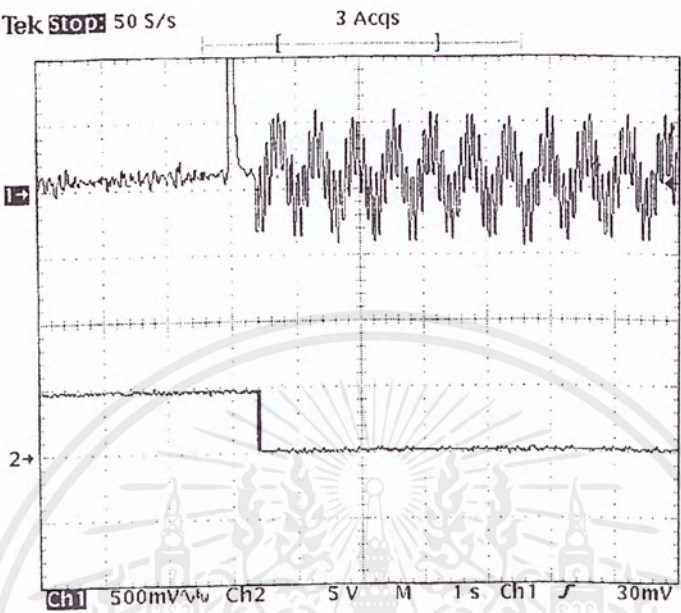
ทำโดยการพูดเสียงแต่ละเสียงเสียงละ 20 ครั้งแล้วพิจารณาจำนวนครั้งที่มีย่านตรงกับในค่าตารางการถอดรหัสของ 74LS147 ดังแสดงตามตารางที่ 4.3

เสียง	จำนวนครั้งที่พูด	จำนวนครั้งที่ถอดรหัสแล้วมีค่าตรงกับตาราง
A	20	6
E	20	7
I	20	5
O	20	5
U	20	8

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าประสิทธิภาพ

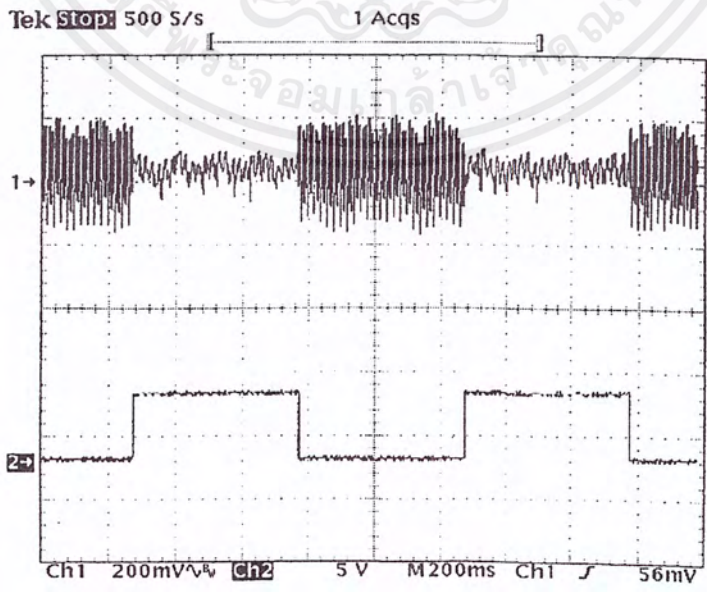
4.2 การทดลองสัญญาณที่วัดได้จากวงจรตรวจสอบสัญญาณโทรศัพท์

ผลการทดลองวงจรตรวจสอบการยกหูวางหู



รูปที่ 4.6 แสดงรูปสัญญาณที่ได้รับจากวงจรการตรวจสอบการยกหู วางหู
จากรูปที่ 4.6 CH 1 เป็นรูปสัญญาณที่วัดจากวงจรตรวจสอบการยกหูวางหู เมื่อขณะวางหูแรงดัน
จะมีค่า เท่ากับ 48 โวลท์ และจะเปลี่ยนเป็นแรงดันขนาด 5 โวลท์ เมื่อมีการยกหูเกิดขึ้น ซึ่งสภาวะ
การวางหูจะถูกแทนด้วยลอจิก 1 ส่วนขนาดยกหูแทนลอจิก 0

ผลการทดลองวงจรตรวจสอบการหมุนเลขหมาย

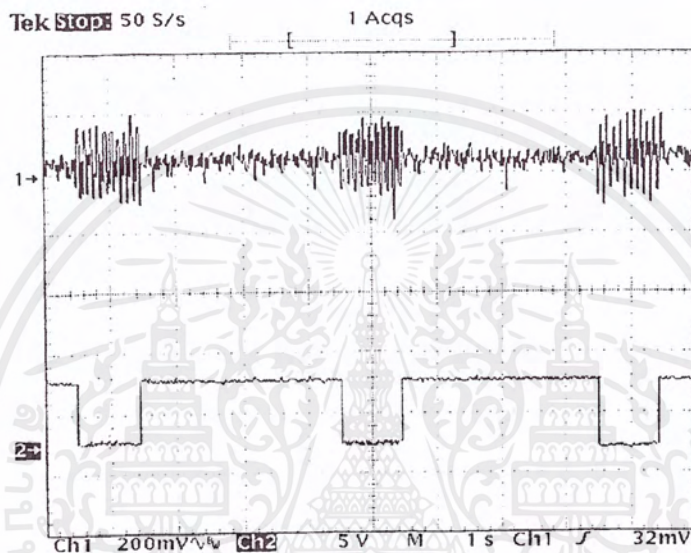


รูปที่ 4.7 แสดงรูปสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับสัญญาณให้หมุนเลขหมาย

จากรูปที่ 4.7 CH 1 แสดงลักษณะของพัลส์ที่วัดจากขา 3 ของไอซี LM567 และ CH 2 เป็นลักษณะสัญญาณให้หมุนที่วัดได้จากชุดสายโทรศัพท์

สัญญาณให้หมุนเลขหมายจะเกิดขึ้น ขณะที่มีการยกหูโทรศัพท์ขึ้นแล้วชุดสายก็จะส่งสัญญาณนี้กลับมาที่ต้นทางเพื่อทำให้ทราบว่าจะพร้อมที่จะทำการติดต่อแล้ว

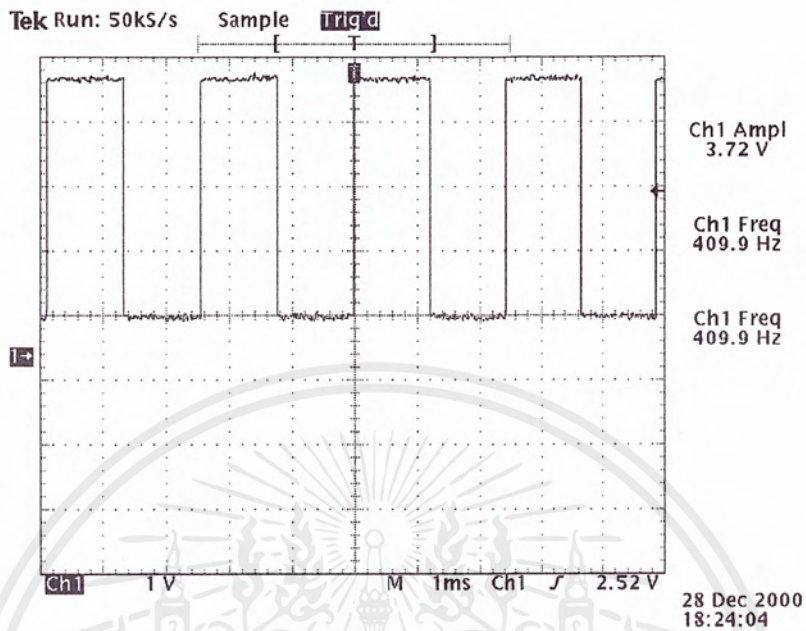
ผลการทดลองวงจรตรวจสอบสัญญาณเรียกกลับ



รูปที่ 4.8 แสดงรูปสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจสอบสัญญาณเรียกกลับ

จากรูปที่ 4.8 CH1 เป็นสัญญาณที่วัดได้จากขา 3 ของไอซี LM567 และ CH 2 เป็นสัญญาณที่วัดได้จากชุดสายโทรศัพท์สัญญาณเรียกกลับ จะเกิดขึ้นเมื่อมีการกดหมายเลขเสร็จเรียบร้อยแล้วถ้าหมายเลขปลายทางยังว่างอยู่ จะทำให้ได้ยินเสียงสัญญาณเรียกกลับนี้ตอบมาที่ต้นทาง เป็นสัญญาณ 400 Hz คือจะเกิดสัญญาณเรียกกลับ 1 วินาที และหยุด 3 วินาที

ผลการทดลองวงจรตรวจสอบสัญญาณสายไม่ว่าง

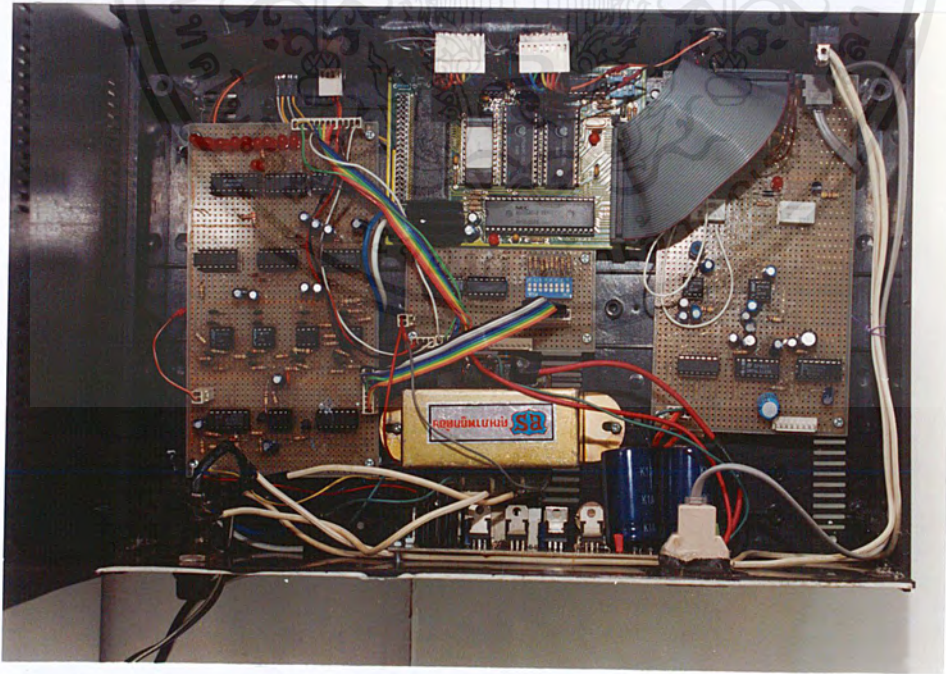


รูปที่ 4.9 แสดงรูปสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจสอบสัญญาณสายไม่ว่าง

จากรูป 4.9 เป็นสัญญาณสายไม่ว่างเกิดขึ้นเมื่อทำการกดหมายเลขปลายทางแล้ว ทางปลายทางทำการใช้คู่สายอยู่จะทำให้ผู้เรียกต้นทางได้ยินสัญญาณสายไม่ว่างนี้กลับมาเป็นสัญญาณ 400 Hz คือเกิดสัญญาณ 1 วินาที หยุค 1 วินาที



รูปที่ 4.10 แสดงเครื่องต่อโทรศัพท์ด้วยเสียง



รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะภายในเครื่องต่อโทรศัพท์ด้วยเสียง

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

เครื่องช่วยหมุนโทรศัพท์ด้วยเสียงจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนแยกสัญญาณเสียงและถอดรหัสเสียง
2. ส่วนช่วยหมุน

ซึ่งในการทดลองแต่ละส่วนได้เกิดปัญหาต่าง ๆ เกิดขึ้น ซึ่งพิจารณาแยกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

1. ปัญหาและแนวทางแก้ไขของส่วนแยกสัญญาณเสียงและถอดรหัสเสียง

ในส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญมาก คือจะเป็นส่วนที่ทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลจำนวน 8 บิตเรียงกันเป็นเฟรม ซึ่งในการพูด 1 พยางค์ไปที่ไมโครโฟนนั้นจะเป็นแค่ช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งจะเป็นผลทำให้การการสแกนที่ละจุดของอนาล็อกสวิตช์ที่ถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ นั้นไม่สามารถที่จะสแกนได้ทันได้

ในเรื่องของความถูกต้องในการเปรียบเทียบเสียงต้นแบบกับเสียงทำงานยังน้อยอยู่ เป็นเพราะการพูดแต่ละครั้งของคนไม่สามารถที่จะพูดได้เหมือนกันทุกครั้งได้ ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยการสร้างเสียงต้นแบบขึ้น

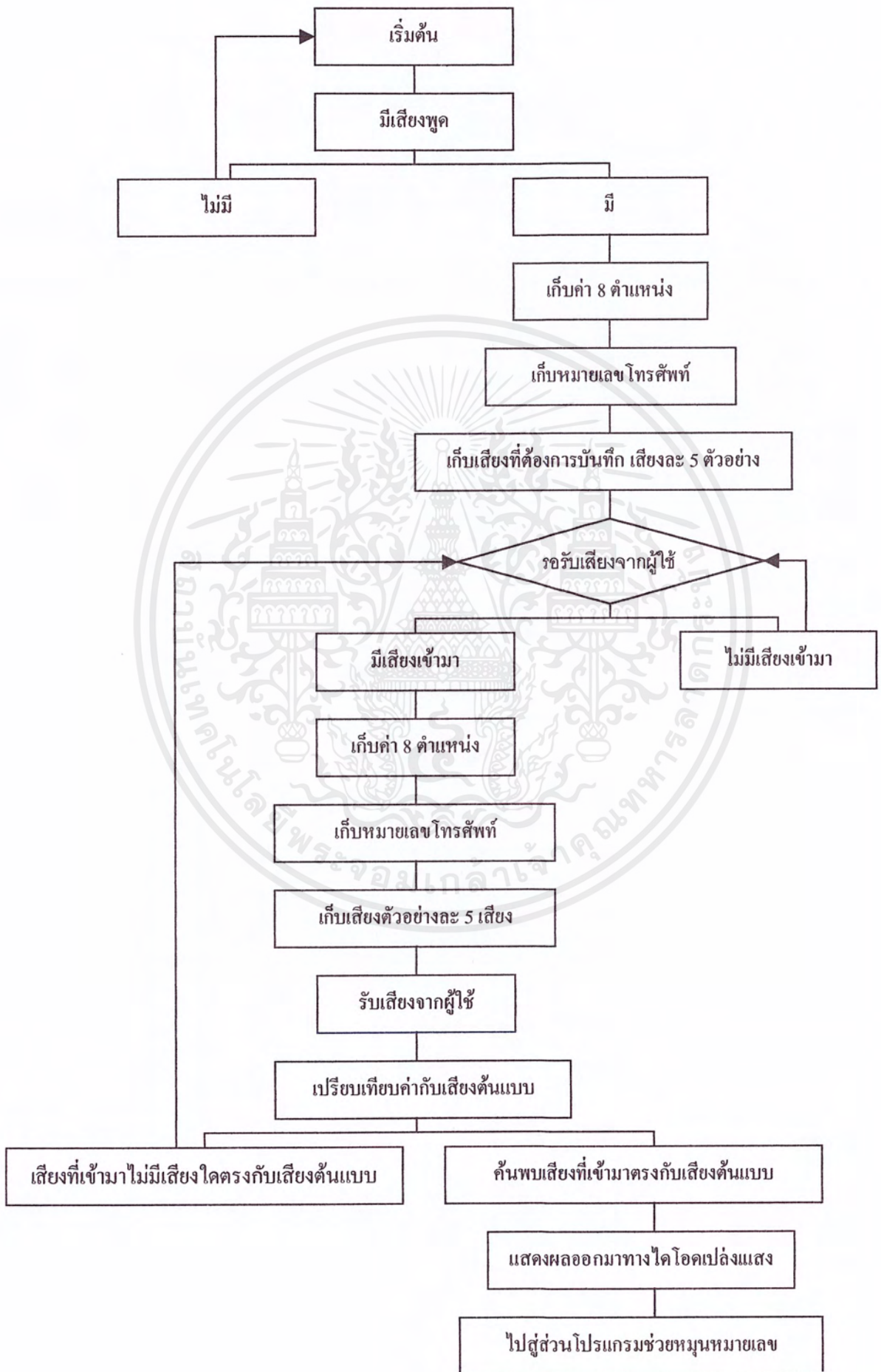
2. ปัญหาและแนวทางแก้ไขของส่วนช่วยหมุน

ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้จะเกี่ยวข้องกับทางชุมสายโทรศัพท์ คือ สัญญาณต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณสายไม่ว่าง, สัญญาณให้กดหมายเลข และสัญญาณเรียกกลับล้วนแต่มีค่าความถี่ 400 Hz ประกอบอยู่ จากที่สัญญาณนั้นถูกส่งผ่านไปตามสายทำให้เกิดค่าการสูญเสียเกิดขึ้นเป็นผลให้ค่าความถี่ที่ได้ไม่เป็น 400 Hz แต่มีค่าใกล้เคียง ทำให้ต้องมีการจูนตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ใหม่

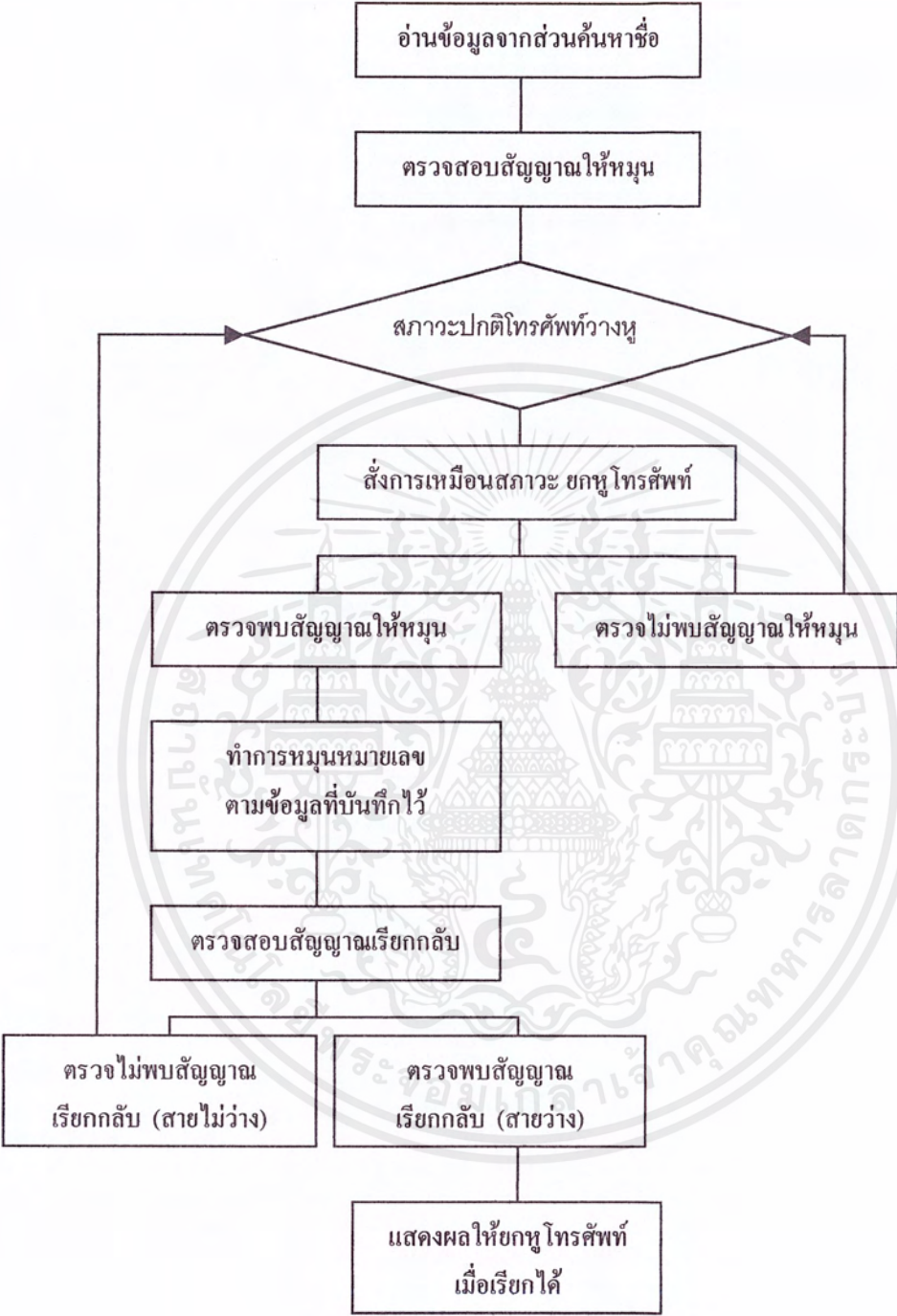
ภาคผนวก 1



โฟลว์ชาร์ตในส่วนของโปรแกรม



โฟลว์ชาร์ตในส่วนโปรแกรมช่วยหมุน



ภาคผนวก 2





SGS-THOMSON
MICROELECTRONICS

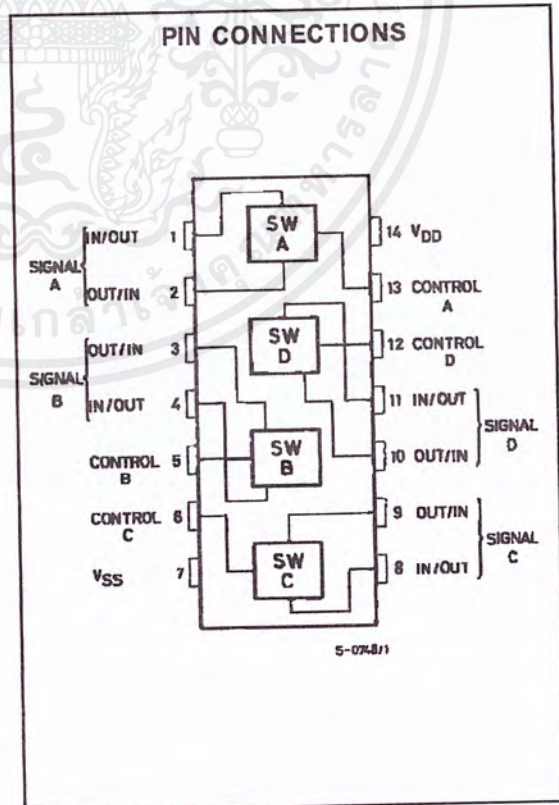
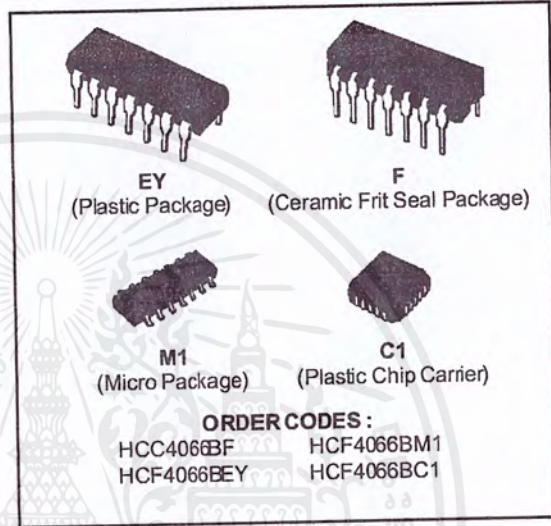
HCC/HCF4066B

QUAD BILATERAL SWITCH FOR TRANSMISSION OR MULTIPLEXING OF ANALOG OR DIGITAL SIGNALS

- 15V DIGITAL OR $\pm 7.5V$ PEAK-TO-PEAK SWITCHING
- 80 Ω TYPICAL ON RESISTANCE FOR 15V OPERATION
- SWITCH ON RESISTANCE MATCHED TO WITHIN 5 Ω OVER 15V SIGNAL-INPUT RANGE
- ON RESISTANCE FLAT OVER FULL PEAK-TO-PEAK SIGNAL RANGE
- HIGH ON/OFF OUTPUT-VOLTAGE RATIO : 65dB TYP. @ $f_{is} = 10kHz$, $R_L = 10k\Omega$
- HIGH DEGREE OF LINEARITY : < 0.5% DISTORTION TYP. @ $f_{is} = 1kHz$, $V_{is} = 5V_{p-p}$, $V_{DD} - V_{SS} \geq 10V$, $R_L = 10k\Omega$
- EXTREMELY LOW OFF SWITCH LEAKAGE RESULTING IN VERY LOW OFFSET CURRENT AND HIGH EFFECTIVE OFF RESISTANCE ; 10pA TYP. @ $V_{DD} - V_{SS} = 10V$, $T_A = 25^\circ C$
- EXTREMELY HIGH CONTROL INPUT IMPEDANCE (control circuit isolated from signal circuit) : 10¹² Ω TYP.
- LOW CROSSTALK BETWEEN SWITCHES : -50dB TYP. @ $f_{is} = 0.9MHz$, $R_L = 1k\Omega$
- MATCHED CONTROL-INPUT TO SIGNAL-OUTPUT CAPACITANCE : REDUCES OUTPUT SIGNAL TRANSIENTS
- FREQUENCY RESPONSE, SWITCH ON = 40MHz (typ.)
- QUIESCENT CURRENT SPECIFIED TO 20V FOR HCC DEVICE
- 5V, 10V, AND 15V PARAMETRIC RATINGS
- INPUT CURRENT OF 100nA AT 18V AND 25 $^\circ C$ FOR HCC DEVICE
- 100% TESTED FOR QUIESCENT CURRENT
- MEETS ALL REQUIREMENTS OF JEDEC TENTATIVE STANDARD N^o. 13A, "STANDARD SPECIFICATIONS FOR DESCRIPTION OF "B" SERIES CMOS DEVICES"

DESCRIPTION

The **HCC4066B** (extended temperature range) and **HCF4066B** (intermediate temperature range) are monolithic integrated circuits, available in 14-lead dual in-line plastic or ceramic package and plastic micropackage. The **HCC/HCF4066B** is a quad bilateral switch intended for the transmission or multiplexing of analog or digital signals. It is pin-for-



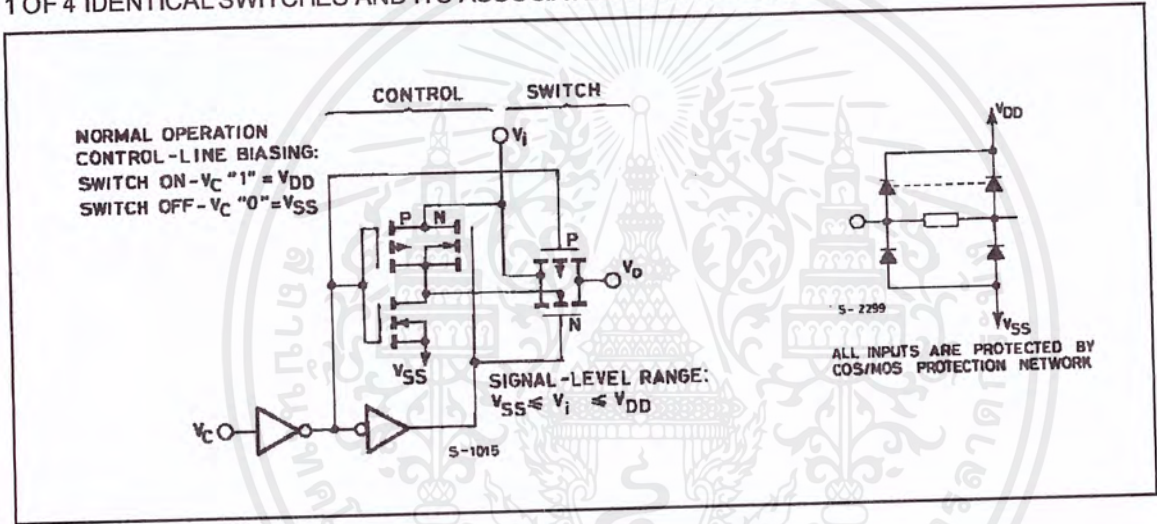
HCC/HCF4066B

pin compatible with HCC/HCF4016B, but exhibits a much lower ON resistance. In addition, the ON resistance is relatively constant over the full input-signal range. The HCC/HCF4066B consists of four independent bilateral switches. A single control signal is required per switch. Both the p and the n device in a given switch are biased ON or OFF simultaneously by the control signal. As shown in schematic diagram, the well of the n-channel device on each switch is either tied to the input when the switch is ON or to Vss when the switch is OFF. This

configuration eliminates the variation of the switch-transistor threshold voltage with input signal, and thus keeps the ON resistance low over the full operating-signal range. The advantages over single-channel switches include peak input signal voltage swings equal to the full supply voltage, and more constant ON impedance over the input-signal range. For sample-and-hold applications, however, the HCC/HCF4016B is recommended.

SCHEMATIC DIAGRAM

1 OF 4 IDENTICAL SWITCHES AND ITS ASSOCIATED CONTROL CIRCUITRY.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{DD} *	Supply Voltage : HCC Types	- 0.5 to + 20	V
	HCF Types	- 0.5 to + 18	V
V _i	Input Voltage	- 0.5 to V _{DD} + 0.5	V
I _i	DC Input Current (any one input)	± 10	mA
P _{tot}	Total Power Dissipation (per package)	200	mW
	Dissipation per Output Transistor	100	mW
	for T _{op} = Full Package-temperature Range		
T _{op}	Operating Temperature : HCC Types	- 55 to + 125	°C
	HCF Types	- 40 to + 85	°C
T _{stg}	Storage Temperature	- 65 to + 150	°C

Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for external periods may affect device reliability.

* All voltage values are referred to Vss pin voltage.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{DD}	Supply Voltage : HCC Types HCF Types	3 to 18 3 to 15	V V
V_I	Input Voltage	0 to V_{DD}	V
T_{op}	Operating Temperature : HCC Types HCF Types	- 55 to + 125 - 40 to + 85	°C °C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, typical temperature coefficient for all V_{DD} values is 0,3%/°C)

Symbol	Parameter		Test Conditions				Value						Unit
			V _I (V)	V _{DD} (V)	T _{Low} *		25°C			T _{High} *			
					Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.		
I _Q	Quiescent Device Current (all switches ON or all switches OFF)	HCC Types	0/ 5	5		0.25		0.01	0.25		7.5	μA	
			0/10	10		0.5		0.01	0.5		15		
			0/15	15		1		0.01	1		30		
			0/20	20		5		0.02	5		150		
		HCF Types	0/ 5	5		1		0.01	1		7.5		
			0/10	10		2		0.01	2		15		
			0/15	15		4		0.01	4		30		
SIGNAL INPUTS (V _{is}) and Outputs (V _{os})													
R _{ON}	On Resistance	HCC Types	V _C = V _{DD} R _L = 10KΩ Return to $\frac{V_{DD} - V_{SS}}{2}$ V _{is} = V _{SS} to V _{DD}	5		800		470	1050		1300	Ω	
				10		310		180	400		550		
				15		200		125	240		320		
		HCF Types		5		850		470	1050		1200		
				10		330		180	400		500		
				15		210		125	240		300		
ΔON	Resistance between any 2 Switches, ΔR _{ON}	R _L 10kΩ, V _C = V _{DD}	5				15				Ω		
			10				10						
			15				5						
TDH	Total Harmonic Distorsion	V _C = V _{DD} = 5V, V _{SS} = - 5V, V _{is} (p-p) = 5V (sine wave centered in 0V) R _L = 10kΩ, f _{is} = 1kHz sine wave					0.4				%		
	- 3 dB Cutoff Frequency (switch on)	V _C = V _{DD} = 5V, V _{SS} = - 5V, V _{is} (p-p) = 5V (sine wave centured on 0V) R _L = 1kΩ					40				MHz		

* $T_{Low} = -55^{\circ}\text{C}$ for HCC device : - 40°C for HCF device.

* $T_{High} = +125^{\circ}\text{C}$ for HCC device : + 85°C for HCF device.

The Noise Margin for both "1" and "0" level is : 1V min. with $V_{DD} = 5\text{V}$, 2V min. with $V_{DD} = 10\text{V}$, 2.5V min. with $V_{DD} = 15\text{V}$.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions		Value						Unit		
			V _{DD} (V)	T _{Low} *		25°C			T _{High} *			
				Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.		Max.	
	- 50 dB Feedthrough Frequency (switch off)	V _C = V _{SS} = - 5V, V _{is} (p-p) = 5V (sine wave centured on 0V) R _L = 1kΩ					1				MHz	
	- 50 dB Crosstalk Frequency	V _C (A) = V _{DD} = + 5V V _C (B) = V _{SS} = - 5V V _{is} (A) = 5Vp-p, 50Ω source R _L = 1kΩ					8				MHz	
t _{pd}	Propagation Delay (signal input to signal output)	R _L = 200kΩ V _C = V _{DD} , V _{SS} = GND, C _L = 50pF, V _{is} = 10V (square wave centured on 5V) t _p t _f = 20ns		5			20	40			ns	
				10			10	20				
				15			7	15				
C _{is}	Input Capacitance	V _{DD} = + 5V V _C = V _{SS} = - 5V				8				pF		
C _{os}	Output Capacitance					8						
C _{ios}	Feedthrough					0.5						
	Input/Output Leakage Current Switch OFF	HCC Types	V _C = 0V V _{is} = 18V ; V _{os} = 0V V _{is} = 0V ; V _{os} = 18V	18		± 0.1		±10 ⁻³	± 0.1		± 1	μA
		HCF Types	V _C = 0V V _{is} = 15V ; V _{os} = 0V V _{is} = 0V ; V _{os} = 15V	15		± 0.3		±10 ⁻³	± 0.3		± 1	
CONTROL (V _C)												
V _{ILC}	Control Input Low Voltage		I _{is} < 10μA V _{is} = V _{SS} , V _{os} = V _{DD} and V _{is} = V _{DD} , V _{os} = V _{SS}	5		1			1		1	V
				10		2			2		2	
				15		2			2		2	
V _{IHC}	Control Input High Voltage			5	3.5		3.5			3.5		V
				10	7		7			7		
				15	11		11			11		
I _{IH} I _{IL}	Input Leakage Current	HCC Types	V _{is} ≤ V _{DD} V _{DD} - V _{SS} = 18V	18		± 0.1		±10 ⁻⁵	± 0.1		± 1	μA
		HCF Types	V _{DD} - V _{SS} = 15V V _{CC} ≤ V _{DD} - V _{SS}	15		± 0.3		±10 ⁻⁵	± 0.3		± 1	

* T_{Low} = - 55°C for HCC device : - 40°C for HCF device.
* T_{High} = + 125°C for HCC device : + 85°C for HCF device.
The Noise Margin for both "1" and "0" level is : 1V min. with V_{DD} = 5V, 2V min. with V_{DD} = 10V, 2.5V min. with V_{DD} = 15V.

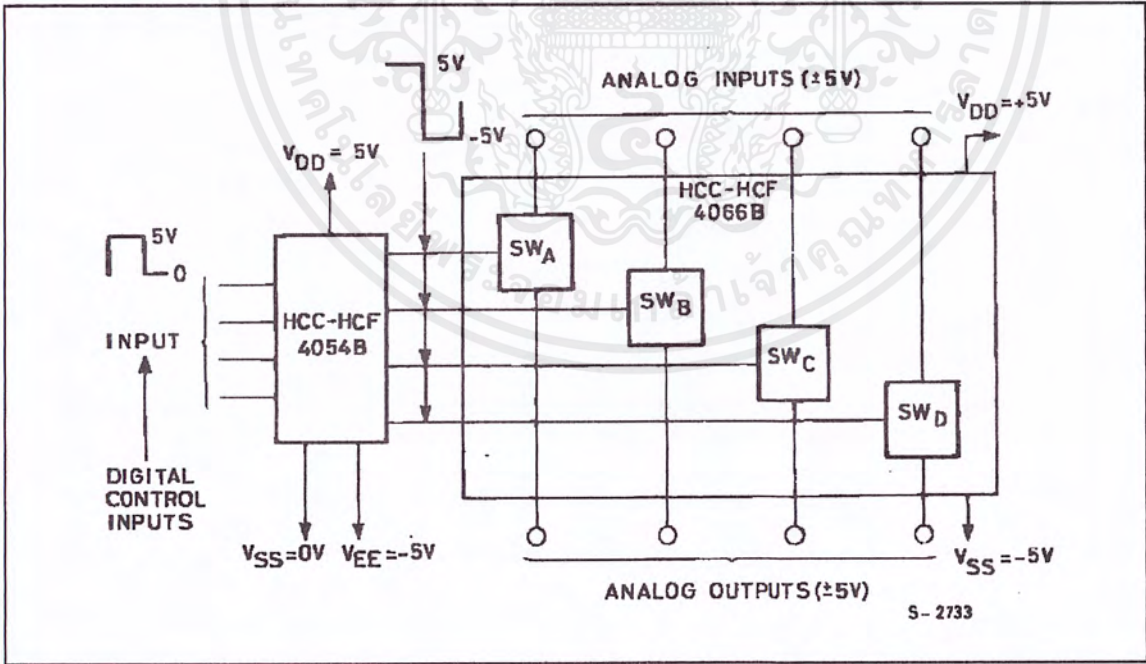
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions		Value						Unit	
			V _{DD} (V)	T _{Low} [*]		25°C			T _{High} [*]		
				Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.		Max.
	Crosstalk (control input to signal output)	V _C = 10V (sq. wave) t _r , t _f = 20ns R _L = 10kΩ	10				50				mV
	Turn-on Propagation Delay	V _{IN} = V _{DD} t _r , t _f = 20ns C _L = 50pF R _L = 1kΩ	5				35	70			ns
			10				20	40			
			15				15	30			
	Control Input Repetition Rate	V _{is} = V _{DD} , V _{SS} = GND R _L = 1kΩ to gnd C _L = 50pF V _C = 10V (square wave centured on 5V) t _r , t _f = 20ns V _{os} = 1/2V _{os} @ 1kHz	5				6				MHz
			10				9				
			15				9.5				
C _i	Input Capacitance	Any Input					5	7.5			pF

* T_{Low} = - 55°C for HCC device : - 40°C for HCF device.
* T_{High} = + 125°C for HCC device : + 85°C for HCF device.
The Noise Margin for both "1" and "0" level is : 1V min. with V_{DD} = 5V, 2V min. with V_{DD} = 10V, 2.5V min. with V_{DD} = 15V.

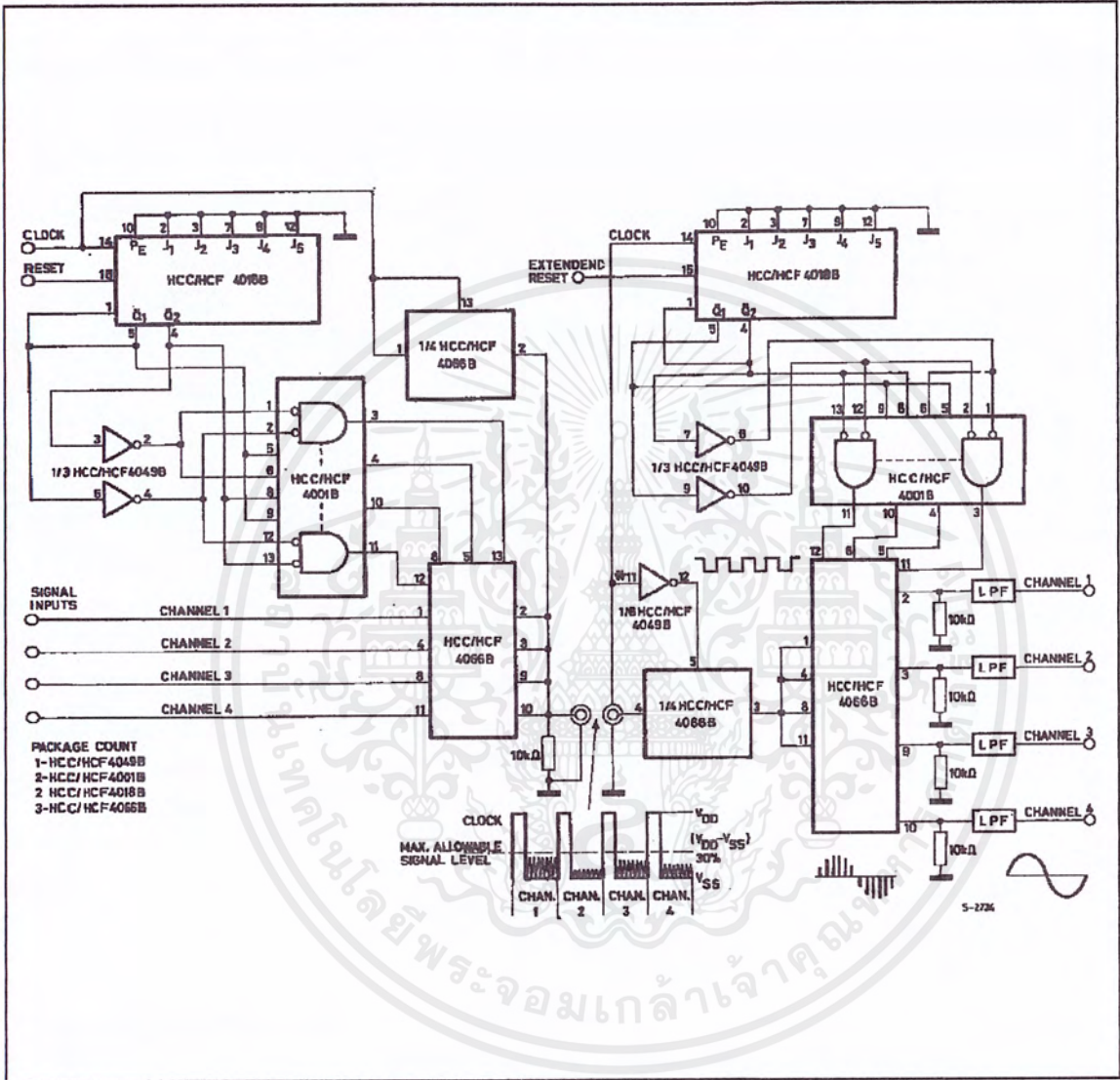
TYPICAL APPLICATIONS

BIDIRECTIONAL SIGNAL TRANSMISSION VIA DIGITAL CONTROL LOGIC



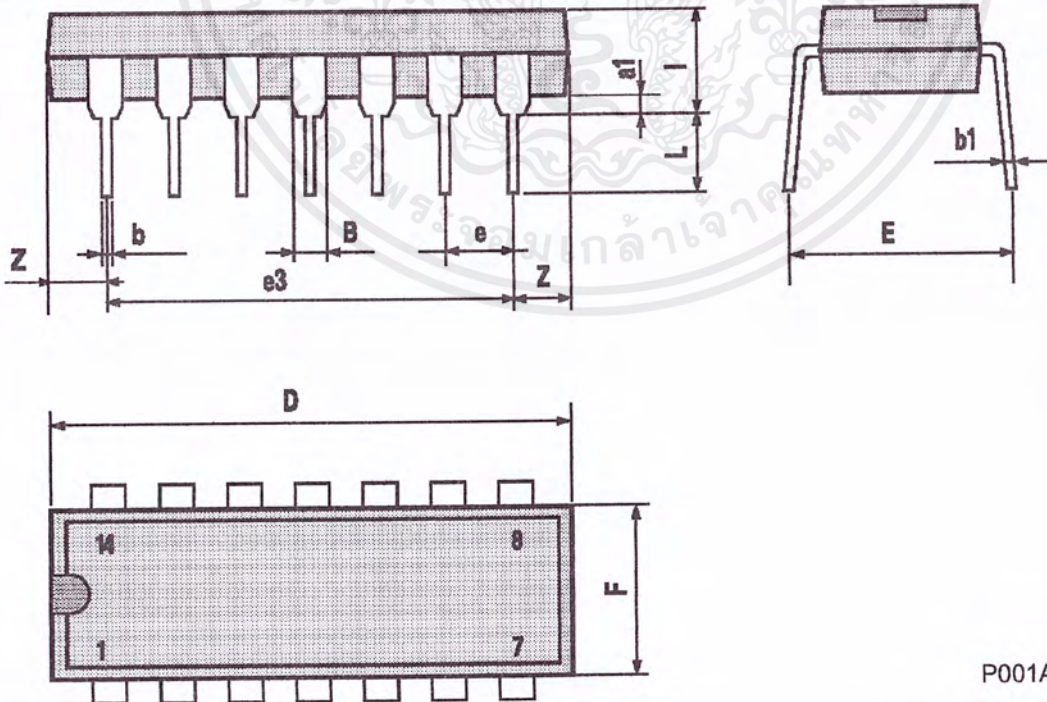
HCC/HCF4066B

TYPICAL APPLICATIONS (continued)
4-CHANNEL PAM MULTIPLEX SYSTEM DIAGRAM.



Plastic DIP14 MECHANICAL DATA

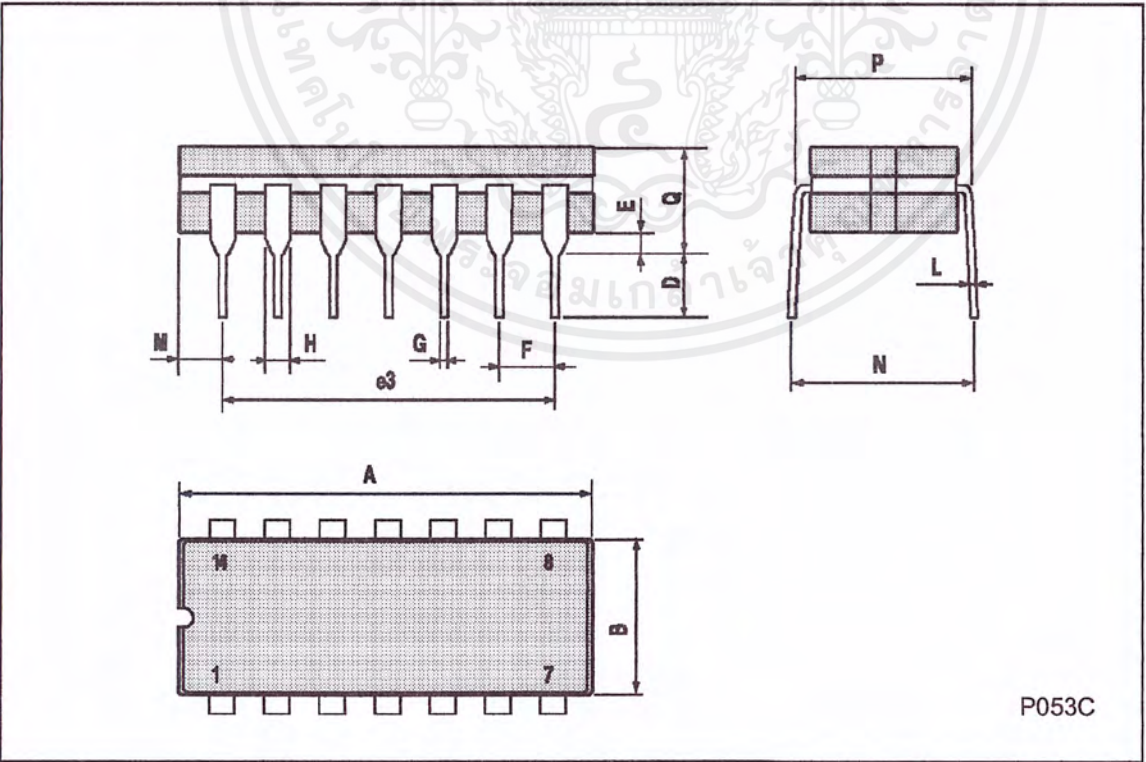
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	1.39		1.65	0.055		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		15.24			0.600	
F			7.1			0.280
I			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z	1.27		2.54	0.050		0.100



P001A

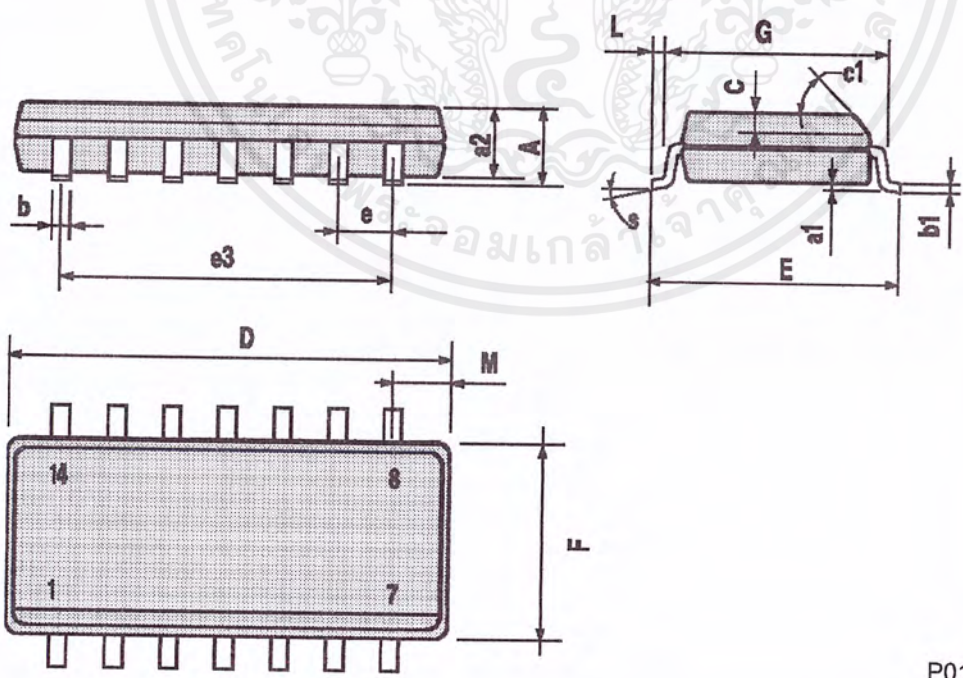
Ceramic DIP14/1 MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			20			0.787
B			7.0			0.276
D		3.3			0.130	
E	0.38			0.015		
e3		15.24			0.600	
F	2.29		2.79	0.090		0.110
G	0.4		0.55	0.016		0.022
H	1.17		1.52	0.046		0.060
L	0.22		0.31	0.009		0.012
M	1.52		2.54	0.060		0.100
N			10.3			0.406
P	7.8		8.05	0.307		0.317
Q			5.08			0.200



SO14 MECHANICAL DATA

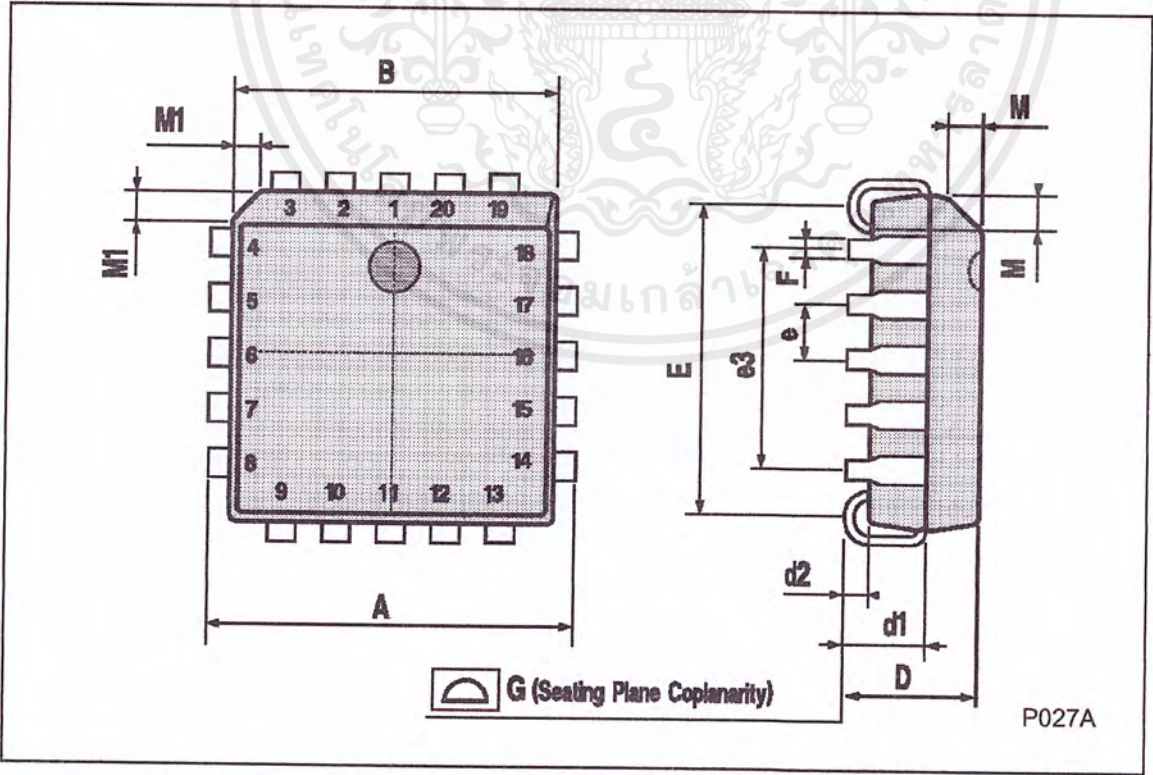
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			1.75			0.068
a1	0.1		0.2	0.003		0.007
a2			1.65			0.064
b	0.35		0.46	0.013		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.019	
c1	45° (typ.)					
D	8.55		8.75	0.336		0.344
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		7.62			0.300	
F	3.8		4.0	0.149		0.157
G	4.6		5.3	0.181		0.208
L	0.5		1.27	0.019		0.050
M			0.68			0.026
S	8° (max.)					



P013G

PLCC20 MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	9.78		10.03	0.385		0.395
B	8.89		9.04	0.350		0.356
D	4.2		4.57	0.165		0.180
d1		2.54			0.100	
d2		0.56			0.022	
E	7.37		8.38	0.290		0.330
e		1.27			0.050	
e3		5.08			0.200	
F		0.38			0.015	
G			0.101			0.004
M		1.27			0.050	
M1		1.14			0.045	





Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

© 1994 SGS-THOMSON Microelectronics - All Rights Reserved

SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Morocco - The Netherlands -
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A

DM74LS125A Quad 3-STATE Buffer

General Description

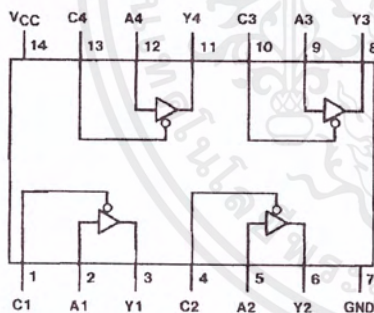
This device contains four independent gates each of which performs a non-inverting buffer function. The outputs have the 3-STATE feature. When enabled, the outputs exhibit the low impedance characteristics of a standard LS output with additional drive capability to permit the driving of bus lines without external resistors. When disabled, both the output transistors are turned off presenting a high-impedance state to the bus line. Thus the output will act neither as a significant load nor as a driver. To minimize the possibility that two outputs will attempt to take a common bus to opposite logic levels, the disable time is shorter than the enable time of the outputs.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS125AM	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
DM74LS125ASJ	M14D	14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
DM74LS125AN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Function Table

Y = A		
Inputs		Output
A	C	Y
L	L	L
H	L	H
X	H	Hi-Z

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level
X = Either LOW or HIGH Logic Level
Hi-Z = 3-STATE (Outputs are disabled)

Absolute Maximum Ratings(Notes 1)

Supply Voltage	7V
Input Voltage	7V
Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Note 1: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Nom	Max	Units
V _{CC}	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V _{IH}	HIGH Level Input Voltage	2			V
V _{IL}	LOW Level Input Voltage			0.8	V
I _{OH}	HIGH Level Output Current			-2.6	mA
I _{OL}	LOW Level Output Current			24	mA
T _A	Free Air Operating Temperature	0		70	°C

Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 2)	Max	Units
V _I	Input Clamp Voltage	V _{CC} = Min, I _I = -18 mA			-1.5	V
V _{OH}	HIGH Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OH} = Max V _{IL} = Max, V _{IH} = Min	2.4	3.4		V
V _{OL}	LOW Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OL} = Max V _{IL} = Max I _{OL} = 12 mA, V _{CC} = Min		0.35 0.25	0.5	V
I _I	Input Current @ Max Input Voltage	V _{CC} = Max, V _I = 7V			0.1	mA
I _{IH}	HIGH Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 2.7V			20	μA
I _{IL}	LOW Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 0.4V			-0.4	mA
I _{OZH}	Off-State Output Current with HIGH Level Output Voltage Applied	V _{CC} = Max, V _O = 2.4V V _{IH} = Min, V _{IL} = Max			20	μA
I _{OZL}	Off-State Output Current with LOW Level Output Voltage Applied	V _{CC} = Max, V _O = 0.4V V _{IH} = Min, V _{IL} = Max			-20	μA
I _{OS}	Short Circuit Output Current	V _{CC} = Max (Note 3)	-20		-100	mA
I _{CC}	Supply Current	V _{CC} = Max (Note 4)		11	20	mA

Note 2: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 3: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

Note 4: I_{CC} is measured with the data control (C) inputs at 4.5V and the data inputs grounded.

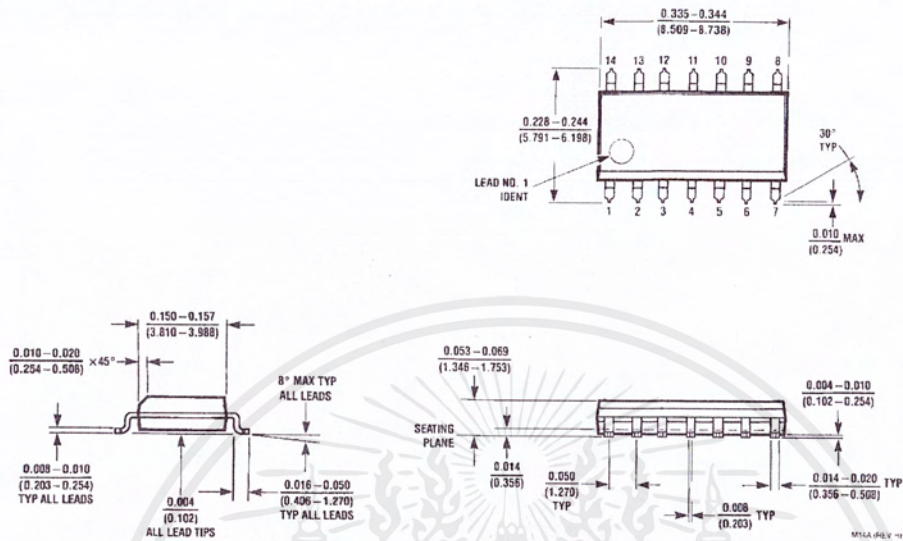
Switching Characteristics

at V_{CC} = 5V and T_A = 25°C

Symbol	Parameter	R _L = 667Ω				Units
		C _L = 50 pF		C _L = 150 pF		
		Min	Max	Min	Max	
PLH	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output		15		21	ns
PHL	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output		18		22	ns
PZH	Output Enable Time to HIGH Level Output		25		35	ns
PZL	Output Enable Time to LOW Level Output		25		40	ns
PHZ	Output Disable Time from HIGH Level Output (Note 5)		20			ns
PLZ	Output Disable Time from LOW Level Output (Note 5)		20			ns

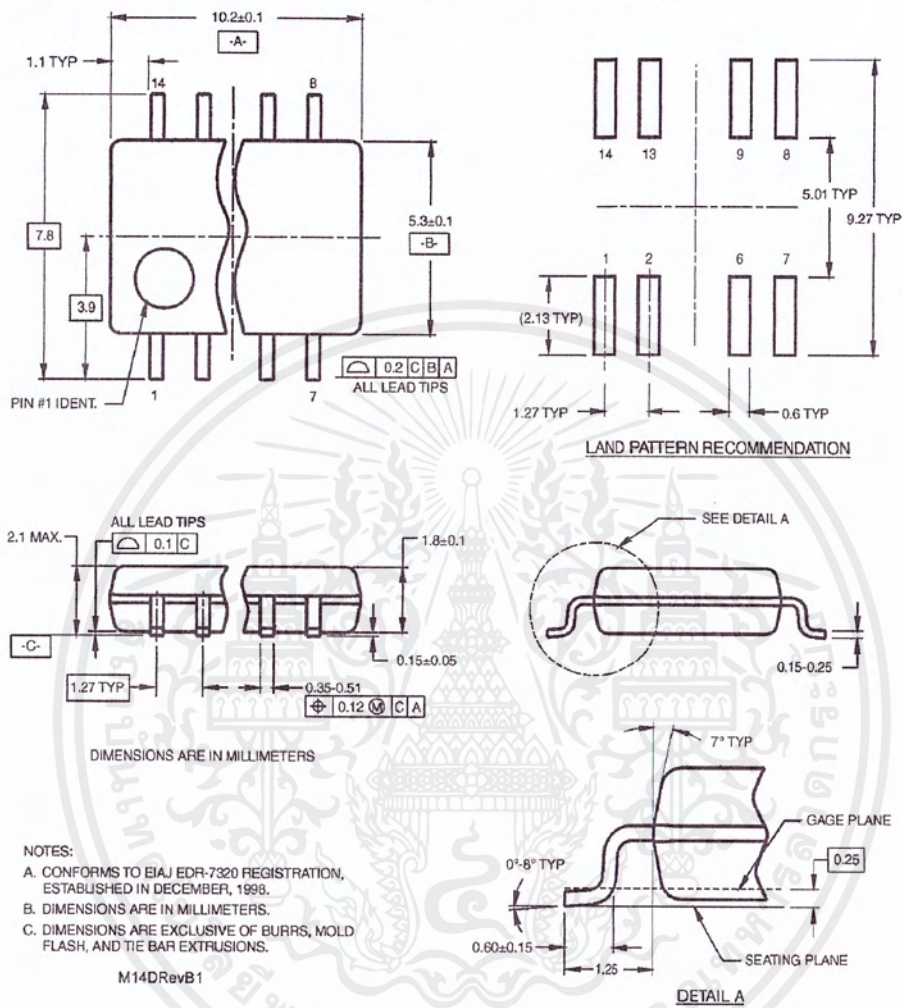
Note 5: C_L = 5pF.

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



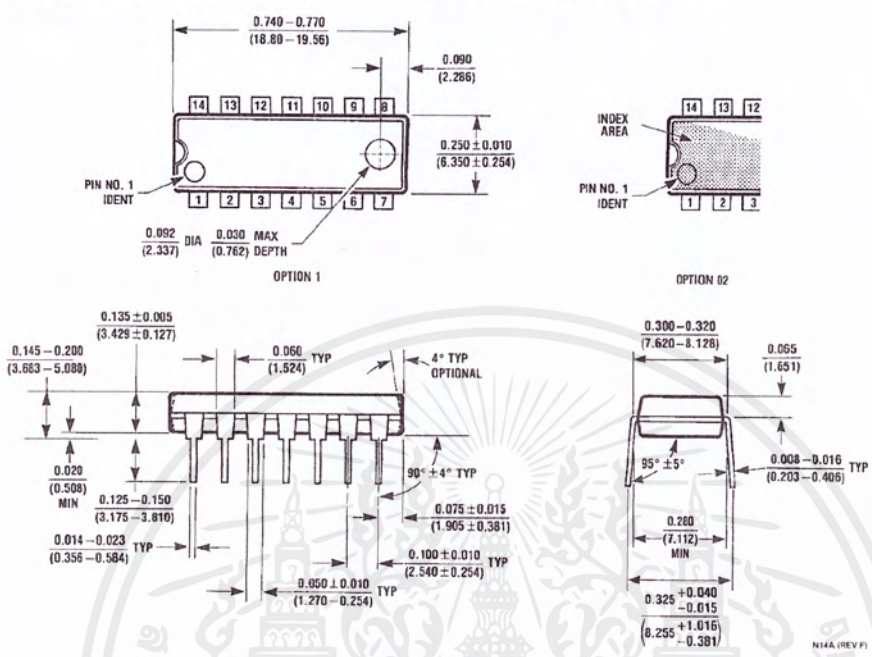
**14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
Package Number M14A**

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
Package Number M14D

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide Package Number N14A

Fairchild does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and Fairchild reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

www.fairchildsemi.com

LM567/LM567C Tone Decoder

General Description

The LM567 and LM567C are general purpose tone decoders designed to provide a saturated transistor switch to ground when an input signal is present within the passband. The circuit consists of an I and Q detector driven by a voltage controlled oscillator which determines the center frequency of the decoder. External components are used to independently set center frequency, bandwidth and output delay.

Features

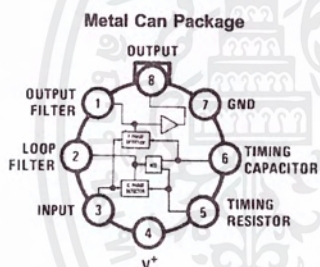
- 20 to 1 frequency range with an external resistor
- Logic compatible output with 100 mA current sinking capability
- Bandwidth adjustable from 0 to 14%

- High rejection of out of band signals and noise
- Immunity to false signals
- Highly stable center frequency
- Center frequency adjustable from 0.01 Hz to 500 kHz

Applications

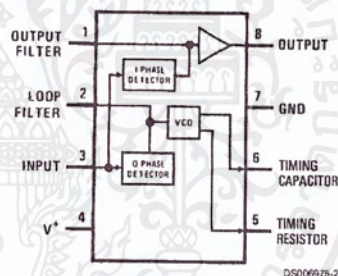
- Touch tone decoding
- Precision oscillator
- Frequency monitoring and control
- Wide band FSK demodulation
- Ultrasonic controls
- Carrier current remote controls
- Communications paging decoders

Connection Diagrams



Top View
Order Number LM567H or LM567CH
See NS Package Number H08C

Dual-In-Line and Small Outline Packages



Top View
Order Number LM567CM
See NS Package Number M08A
Order Number LM567CN
See NS Package Number N08E

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage Pin	9V
Power Dissipation (Note 2)	1100 mW
V_B	15V
V_3	-10V
V_3	$V_4 + 0.5V$
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Operating Temperature Range

LM567H	-55°C to +125°C
LM567CH, LM567CM, LM567CN	0°C to +70°C

Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 sec.)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics

AC Test Circuit, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V^+ = 5V$

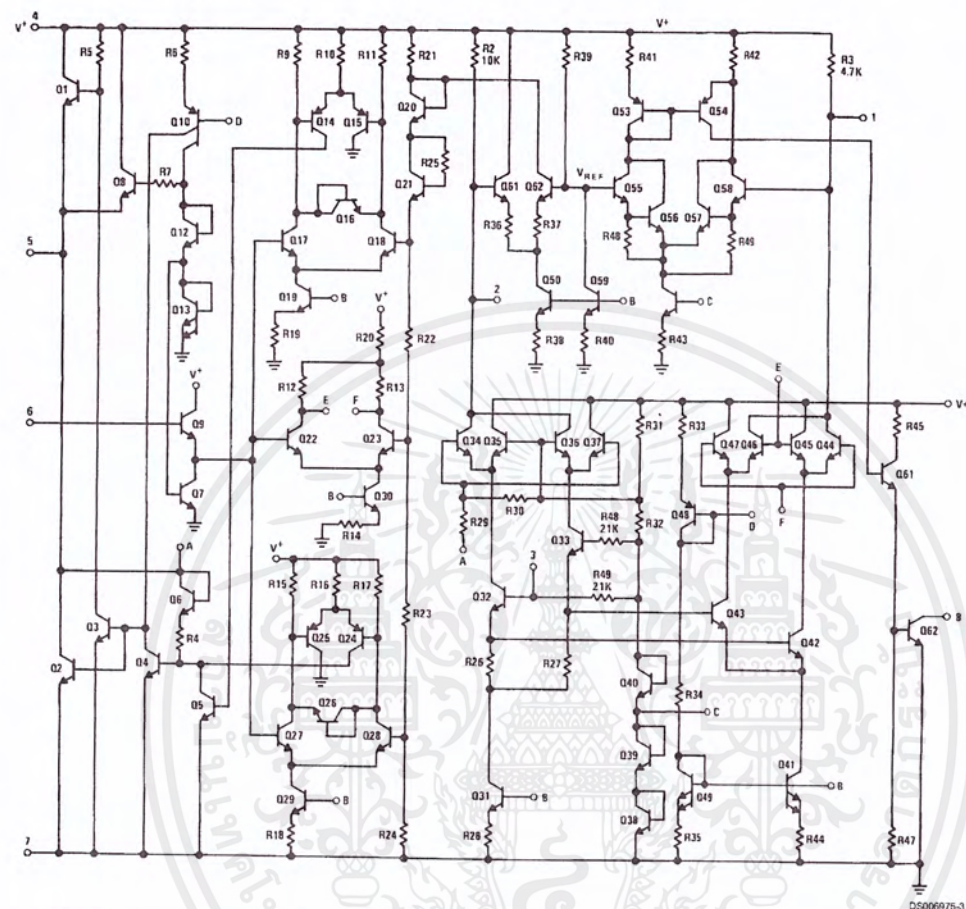
Parameters	Conditions	LM567			LM567C/LM567CM			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Power Supply Voltage Range		4.75	5.0	9.0	4.75	5.0	9.0	V
Power Supply Current Quiescent	$R_L = 20k$		6	8		7	10	mA
Power Supply Current Activated	$R_L = 20k$		11	13		12	15	mA
Input Resistance		18	20		15	20		k Ω
Smallest Detectable Input Voltage	$I_L = 100\text{ mA}$, $f_i = f_o$		20	25		20	25	mVrms
Largest No Output Input Voltage	$I_C = 100\text{ mA}$, $f_i = f_o$	10	15		10	15		mVrms
Largest Simultaneous Outband Signal to Inband Signal Ratio			6			6		dB
Minimum Input Signal to Wideband Noise Ratio	$B_n = 140\text{ kHz}$		-6			-6		dB
Largest Detection Bandwidth		12	14	16	10	14	18	% of f_o
Largest Detection Bandwidth Skew			1	2		2	3	% of f_o
Largest Detection Bandwidth Variation with Temperature			± 0.1			± 0.1		%/°C
Largest Detection Bandwidth Variation with Supply Voltage	4.75–6.75V		± 1	± 2		± 1	± 5	%V
Highest Center Frequency		100	500		100	500		kHz
Center Frequency Stability (4.75–5.75V)	$0 < T_A < 70$ $-55 < T_A < +125$		35 ± 60 35 ± 140			35 ± 60 35 ± 140		ppm/°C ppm/°C
Center Frequency Shift with Supply Voltage	4.75V–6.75V 4.75V–9V		0.5 2.0	1.0 2.0		0.4 2.0	2.0 2.0	%V %V
Fastest ON-OFF Cycling Rate			$f_o/20$			$f_o/20$		
Output Leakage Current	$V_B = 15V$		0.01	25		0.01	25	μA
Output Saturation Voltage	$e_i = 25\text{ mV}$, $I_B = 30\text{ mA}$ $e_i = 25\text{ mV}$, $I_B = 100\text{ mA}$		0.2 0.6	0.4 1.0		0.2 0.6	0.4 1.0	V
Output Fall Time			30			30		ns
Output Rise Time			150			150		ns

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

Note 2: The maximum junction temperature of the LM567 and LM567C is 150°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient or 45°C/W, junction to case. For the DIP the device must be derated based on a thermal resistance of 110°C/W, junction to ambient. For the Small Outline package, the device must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W, junction to ambient.

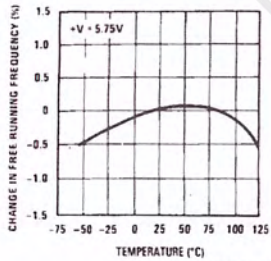
Note 3: Refer to RETS567X drawing for specifications of military LM567H version.

Schematic Diagram



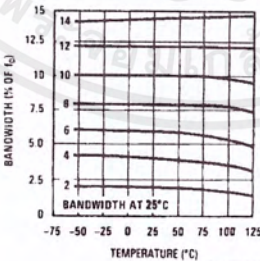
Typical Performance Characteristics

Typical Frequency Drift



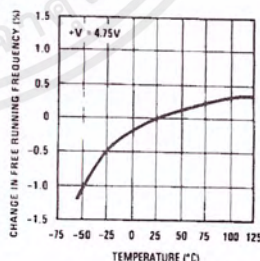
DS006975-10

Typical Bandwidth Variation



DS006975-11

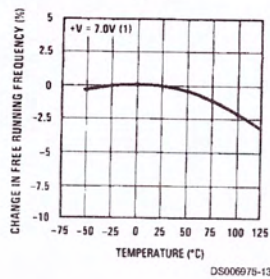
Typical Frequency Drift



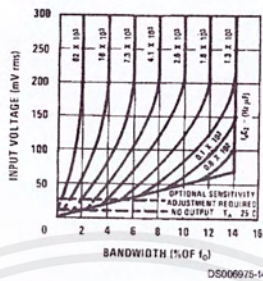
DS006975-12

Typical Performance Characteristics (Continued)

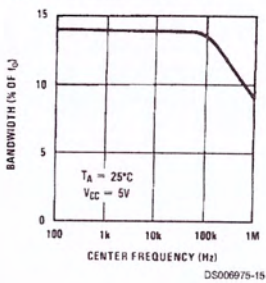
Typical Frequency Drift



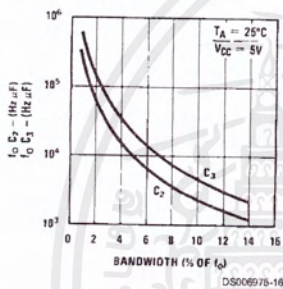
Bandwidth vs Input Signal Amplitude



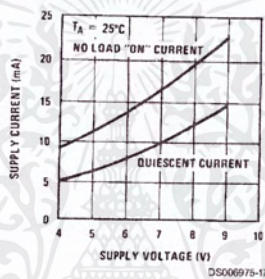
Largest Detection Bandwidth



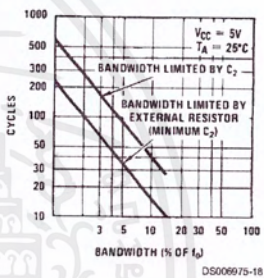
Detection Bandwidth as a Function of C_2 and C_3



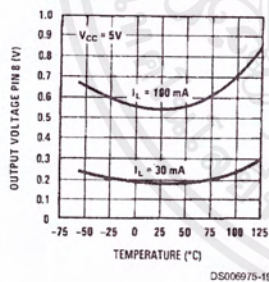
Typical Supply Current vs Supply Voltage



Greatest Number of Cycles Before Output

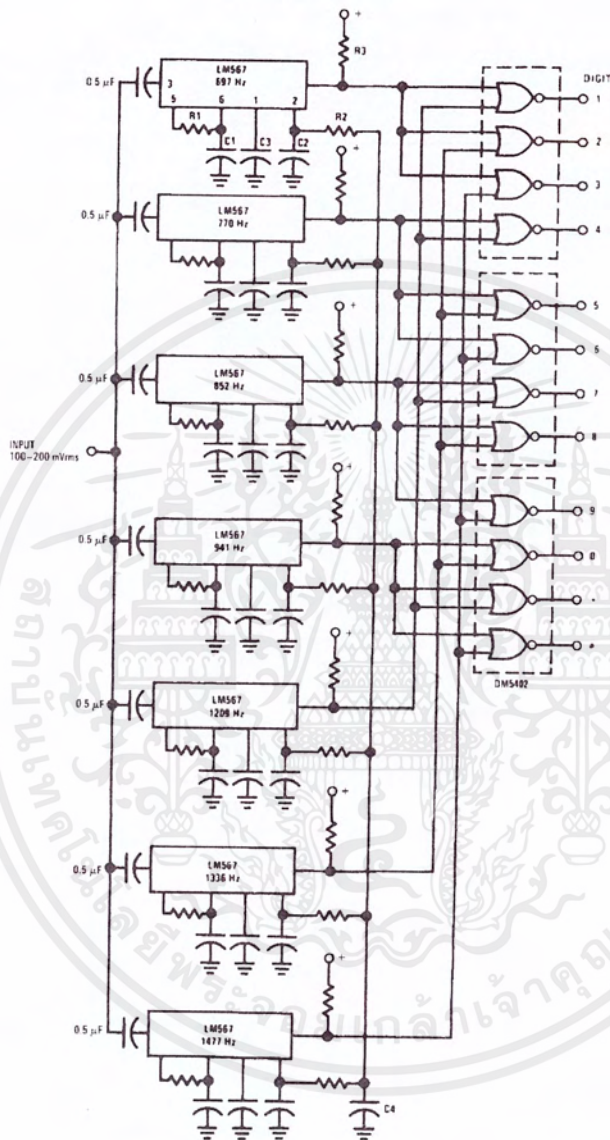


Typical Output Voltage vs Temperature



Typical Applications

Touch-Tone Decoder



Component values (typ)

R1 6.8 to 15k

R2 4.7k

R3 20k

C1 0.10 mfd

C2 1.0 mfd 6V

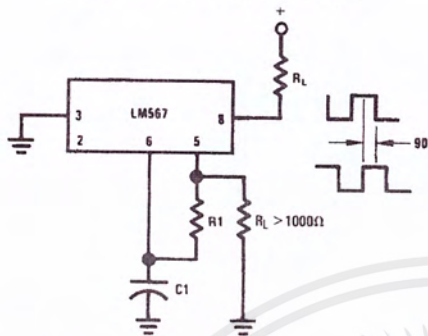
C3 2.2 mfd 6V

C4 250 mfd 6V

DS006975-6

Typical Applications (Continued)

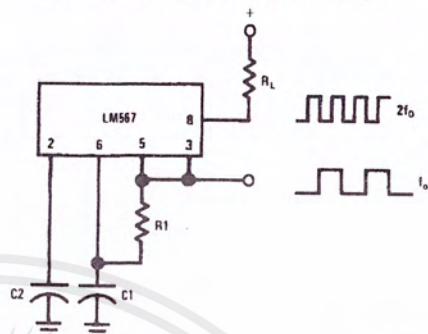
Oscillator with Quadrature Output



Connect Pin 3 to 2.8V to Invert Output

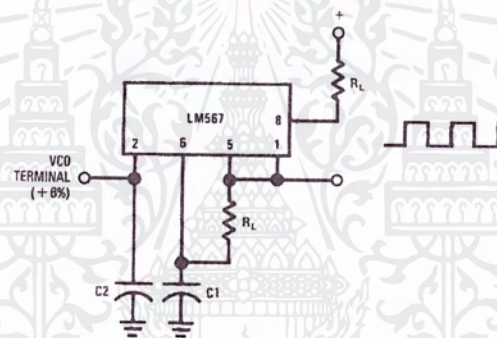
DS006975-6

Oscillator with Double Frequency Output



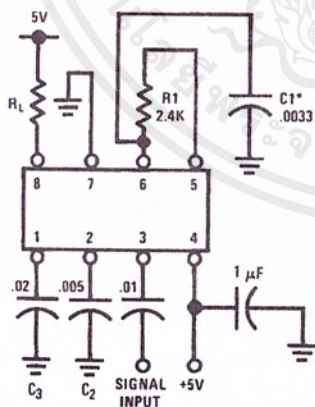
DS006975-7

Precision Oscillator Drive 100 mA Loads



DS006975-8

AC Test Circuit



$f_i = 100 \text{ kHz} + 5 \text{ V}$

*Note: Adjust for $f_o = 100 \text{ kHz}$.

DS006975-9

Applications Information

The center frequency of the tone decoder is equal to the free running frequency of the VCO. This is given by

$$f_o \cong \frac{1}{1.1 R_1 C_1}$$

The bandwidth of the filter may be found from the approximation

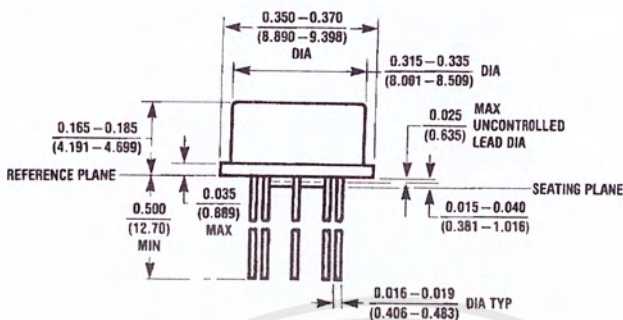
$$BW = 1070 \sqrt{\frac{V_i}{f_o C_2}} \text{ in } \% \text{ of } f_o$$

Where:

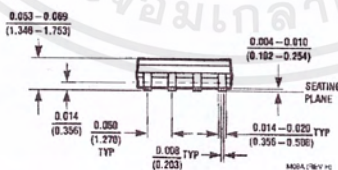
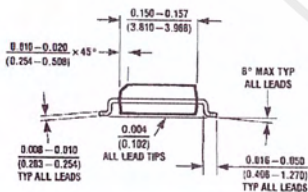
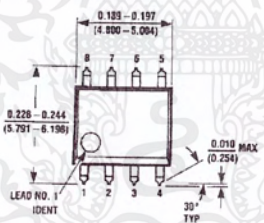
V_i = Input voltage (volts rms), $V_i \leq 200 \text{ mV}$

C_2 = Capacitance at Pin 2 (μF)

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

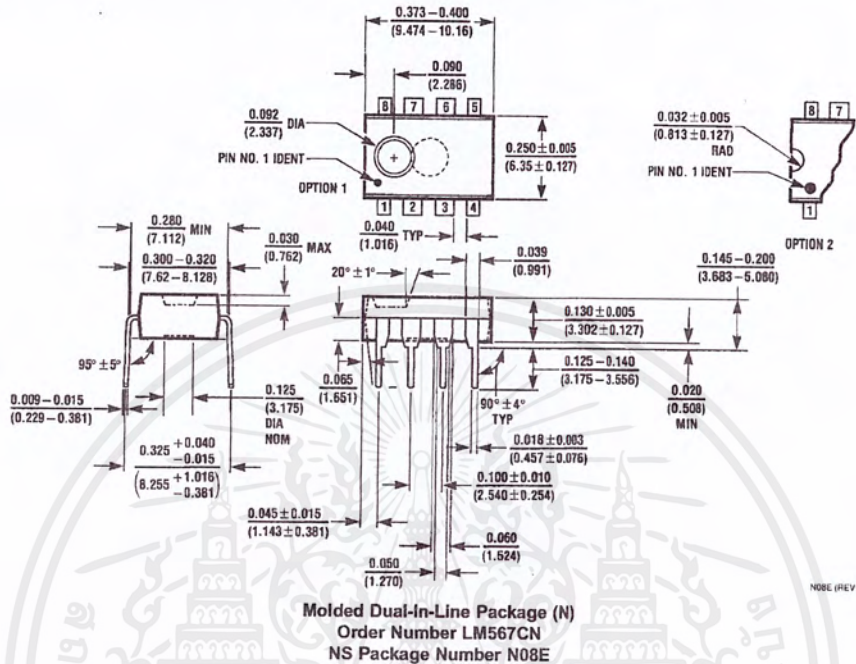


Metal Can Package (H)
Order Number LM567H or LM567CH
NS Package Number H08C



Small Outline Package (M)
Order Number LM567CM
NS Package Number M08A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com

www.national.com

National Semiconductor Europe

Fax: +49 (0) 1 80-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-530 85 85
English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32
Français Tel: +49 (0) 1 80-532 93 58
Italiano Tel: +49 (0) 1 80-534 16 80

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group

Tel: 65-2544468
Fax: 65-2504468
Email: sea.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.

Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

บรรณานุกรม

- [1]. สุชิน จำจด “ วิศวกรรมโทรศัพท์ ” ภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , พิมพ์ครั้งที่ 4 , 2529
- [2]. รศ.ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์ “ วิศวกรรมการสื่อสาร ” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3]. ผศ. ประภากร สุวรรณ , ผศ. สมศักดิ์ ชุมช่วย “ วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ” ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4]. John L. Hillbrun , David E Jhonson , “ Manual of Filter Design ” , Mc Graw – Hill Company , 1993
- [5]. David F. Hoesechele “ Analog to Digital and Digital to Analog Conversion Techniques ” , Wiley Interscience Publication 2nd edition
- [6]. Jame Bignell , Robert Donovan “ Digital Electronic ” Delmar Publishers Inc. 3rd edition

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ได้รับความช่วยเหลือและความเมตตาเป็นอย่างดีจากท่าน อ.สุรพล บุญจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.สมยศ จุณณะปิยะ รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านและพี่ภาค ต่อเนื่องทุกคนที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะต่างๆ ทั้งในด้านทฤษฎีและปฏิบัติและให้ยืมอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงาน ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ คุณพ่อ ที่ให้โอกาสกับบุตรสำหรับการศึกษาเล่าเรียน ในระดับต่างๆ จนกระทั่งถึงการศึกษาในระดับบัณฑิต

ขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้โดยตลอด ความรู้และประโยชน์ที่ได้รับจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอบพระคุณ ให้แด่ผู้มีพระคุณ ทุกท่าน

ผู้จัดทำ

