สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดทดลองโทรศัพท์แบบดิจิตอล
DIGITAL TELEPHONY DEMONSTRATOR

TRA

โดย

นาย ชูชาติ ชนะดี
นาย ศิริโรจน์ จินดาสายสนธิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 36902
วัน, เดือน, ปี 29 ส.ค. 2543

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ชุดทดลองโทรศัพท์แบบดิจิตอล
	DIGITAL TELEPHONE DEMONSTATOR
จัดทำโดย	นาย ชูชาติ ชนะดี 40013290
	นาย ศิริโรจน์ จินดาสายสนธิ์ 40013307
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. อรลาภ แสงอรุณ
	รศ. ดร. กนก เจนจิระพงศ์เวช
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2542
	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

( )

.....กรรมการ

( )

.....กรรมการ

( )

.....กรรมการ

( )

.....กรรมการ

( )

ชุดทดลองโทรศัพท์ระบบดิจิตอล

โดย นาย ชูชาติ ชนะดี รหัส 40013290
นาย ศิริโรจน์ จินดาสายสนธิ์ รหัส 40013307

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. อรลาภ แสงอรุณ
รศ. ดร. กนก เจนจิระพงศ์เวช

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการออกแบบสร้างชุดทดลองเพื่อจำลองการทำงานของระบบโทรศัพท์แบบดิจิตอล ซึ่งภายในประกอบไปด้วยทฤษฎี,ขั้นตอนในการสร้างและออกแบบรวมทั้งคุณสมบัติของอุปกรณ์แต่ละตัว ซึ่งภายในโครงงานจะประกอบไปด้วย วงจรกำเนิดสัญญาณโทรศัพท์,วงจรเชื่อมต่อคู่สาย,วงจรแปลงสัญญาณ,วงจรถอดรหัส DTMF ,วงควบคุมการทำงานของชุมสายโทรศัพท์,วงจรตรวจจับสัญญาณกระดิ่งวงจรกำเนิดสัญญาณเลขหมายแบบ DTMF,วงจรกำเนิดสัญญาณเลขหมายแบบพัลส์,วงจรแสดงผลและวงจรควบคุมเสียงพูด

DIGITAL TELEPHONY DEMONSTATOR

BY MR. SHUCHART CHANADEE
MR. SIRIROD JINDASAISON

ADVISER ASST.PROF ORNLARP SAIGNROON
ASSOC.PROF DR. KANOK JENJIRAPONGVECH

.....

ABSTRACT

This project descried the development of Digital Telephony Demonstator for study. This course consist of Subscriber loops Interface Circuit ,CODEC Circuit ,DTMF Decorder Circuit ,Telephone Central Office Circuit ,Ringing Tone Circuit ,DTMF Circuit ,Pulse Dialers Circuit ,Speech Contral Circuit, Speech Contral Circuit and Display Pulse Dialers Circuit

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญาณนิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาของ ผศ. อรลาภ แสงอรุณ และ รศ. ดร. กนก เจนจิระพงศ์เวช ที่ช่วยแนะนำและให้คำปรึกษาด้านวิชาการ

ขอขอบคุณ บริษัท โมโตโรล่า ประเทศไทย ที่กรุณาให้ตัวอย่าง ไอซีมาใช้ในโครงการนี้และที่ขาดไม่ได้ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในด้าน คำปรึกษา ,อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำโครงงานนี้

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

กลุ่มผู้วิจัย

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	
กิตติกรรมประกาศ	
สารบัญตาราง	
สารบัญรูป	
บทนำ	1
บทที่ 1 การทำงานของระบบโทรศัพท์	2
การทำงานของระบบโทรศัพท์	2
หน้าที่หลักของโทรศัพท์	2
ลักษณะของสัญญาณโทรศัพท์	2
กลไกการเชื่อมต่อโทรศัพท์	6
การสนทนา	7
ระบบการส่งสัญญาณในสายส่ง	7
ระบบการทำงานของโทรศัพท์	8
ระบบโทรศัพท์แบบส่งสัญญาณพัลส์	9
ระบบโทรศัพท์แบบส่งสัญญาณความถี่คู่	10
ข้อเปรียบเทียบของระบบ DTMF กับ ระบบพัลส์	12
บทที่ 2 การทำงานของชุมสายโทรศัพท์	14
สัญญาณอะนาล็อกและการส่ง	14
สัญญาณดิจิตอลและการส่ง	15
หลักการของระบบ Pulse Code Modulation	19
การชุ่มตัวอย่าง	20
การแบ่งย่าน Amplitude ออกเป็นระดับต่าง	21
การเข้ารหัส	23
หลักการเบื้องต้นของ Regencrative Repeater	25
บทที่ 3 บล็อคไดอะแกรมและวงจร	27
วงจรส่วนของโทรศัพท์	28
วงจรควบคุมเสียงพูด	29

วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ 35
วงจรกำเนิดสัญญาณ DTMF 37
วงจรตรวจจับสัญญาณกระดิ่ง 38
ส่วนของชุมสายโทรศัพท์ 39
ภาคควบคุมการทำงาน 39
ภาคกำเนิดสัญญาณโทรศัพท์ 40
ชุดถอดรหัสหมายเลขโทรศัพท์ 44
ภาค PCM CODEC Fillter 48
วงจรเชื่อมต่อคู่สาย 50
บทที่ 4 ผลการทดลอง 52
วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ 53
วงจร DTMF 53
วงจร CODEC 53
สัญญาณกระดิ่ง 54
สัญญาณสายไม่ว่าง 56
สัญญาณตอบกลับ 57
สัญญาณ Dial Tone 58
สัญญาณ Error 58
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 59
ภาคผนวก ก.
ภาคผนวก ข.
บรรณนานุกรม

สารบัญภาพ

เรื่อง		หน้า
ภาพที่ 1	ลักษณะทางไฟฟ้าปรากฏที่คู่สาย	4
ภาพที่ 2	ลักษณะของสัญญาณเมื่อผู้เรียก ๆ เข้ามา	5
ภาพที่ 3	ลักษณะของสัญญาณโทรศัพท์	5
ภาพที่ 4	วงจรในเครื่องโทรศัพท์ในการเชื่อมต่อกับชุมสายโทรศัพท์	6
ภาพที่ 5	ผังการทำงานของโทรศัพท์	8
ภาพที่ 6	แสดงเวลาไดอแกรมของสัญญาณที่หมุนหมายเลข 4	10
ภาพที่ 7	แสดงบล๊อกไดอะแกรมของระบบ DTMF แบบเก่า	11
ภาพที่ 8	สัญญาณอนาล๊อก	14
ภาพที่ 9	ลักษณะการส่งสัญญาณอนาล๊อก	15
ภาพที่ 10	สัญญาณดิจิตอล	16
ภาพที่ 11	ลักษณะการส่งสัญญาณดิจิตอล	17
ภาพที่ 12	การแปลงสัญญาณอนาล๊อกเป็นดิจิตอลที่ใช้ในระบบ PCM	18
ภาพที่ 13	บล๊อกไดอะแกรมของระบบ PCM	19
ภาพที่ 14	การสุ่มตัวอย่าง	21
ภาพที่ 15	การแบ่งย่าน Amplitude ออกเป็นย่าน ๆ	22
ภาพที่ 16	การเข้ารหัส	23
ภาพที่ 17	หลักการของระบบ PCM จำนวน 3 ช่อง	24
ภาพที่ 18	วงจรควบคุมเสียงพูด	28
ภาพที่ 19	แสดงบล๊อกไดอะแกรมของ MC 34114	29
ภาพที่ 20	วงจรสมมูลการ Interface กับคู่สาย	30
ภาพที่ 21	แสดงบล๊อกไดอะแกนมและอุปกรณ์ภายนอกของMC34114	31
ภาพที่ 22	แสดงลักษณะของสัญญาณทางด้านส่งและรับ	32
ภาพที่ 23	วงจรกำเนิดสัญญาณส่งแบบพัลซ์และวงจรแสดงผล	36
ภาพที่ 24	วงจรกำเนิดสัญญาณแบบความถี่คู่	37
ภาพที่ 25	วงจรตรวจจับสัญญาณกระดิ่ง	38
ภาพที่ 26	โฟวล์ชาร์ทแสดงระบบการทำงานของชุมสายโทรศัพท์	39
ภาพที่ 27	แสดงวงจรพื้นฐานของวงจร Astable Mutivibrator	41

ภาพที่ 28	แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณโทรศัพท์	43
ภาพที่ 29	แสดงวงจร DTMF Decoder	46
ภาพที่ 30	รูปวงจร Codec	49
ภาพที่ 31	รูปแสดงวงจร Subscriber Loop Circuit	51
ภาพที่ 32	แสดงรูปสัญญาณขณะกดหมายเลข 0	52
ภาพที่ 33	แสดงรูสัญญาณขณะกดหมายเลข 4	53
ภาพที่ 34	สัญญาณ DTMF ขณะกดหมายเลข่ 5,6	54
ภาพที่ 35	สัญญาณ CODEC	55
ภาพที่ 36	สัญญาณกระดิ่ง	56
ภาพที่ 37	สัญญาณสายไม่ว่าง	56
ภาพที่ 38	สัญญาณตอบกลับเมื่อสายว่าง	57
ภาพที่ 39	สัญญาณ Dial Tone	58
ภาพที่ 40	สัญญาณ Error	58

บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารโทรคมนาคม ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวัน ในวันหนึ่ง ๆ เราต้องพบกับระบบสื่อสารต่าง ๆ มากมาย โทรศัพท์ก็เป็นสิ่งจำเป็นสิ่งหนึ่งในการติดต่อสื่อสาร และใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากโทรศัพท์ สามารถติดต่อกันได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว โดยผู้รับและผู้ส่งสามารถติดต่อกันได้โดยตรง ซึ่งเพียงแค่กดปุ่มหรือหมุนโทรศัพท์เพียงไม่กี่วินาทีก็สามารถติดต่อถึงกันได้แล้ว

โดยทั่ว ๆ ไป แล้วโทรศัพท์ จะมีอยู่ 2 แบบคือ แบบกดปุ่มและแบบหมุน โดยโทรศัพท์ทั้ง 2 แบบนี้ ส่วนการทำงานจะคล้ายกัน จะต่างกันตรงที่ภาคส่ง โดยโทรศัพท์แบบแรกจะส่งสัญญาณความถี่ที่แตกต่างกัน แต่อีกแบบหนึ่งจะส่งสัญญาณเป็นจำนวนพัลส์ซึ่งระบบการทำงานของทั้ง 2 แบบ

ในการส่งสัญญาณไฟฟ้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นการส่งสัญญาณแบบ Analog หรือ Digital ก็ตาม สิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้คือสิ่งรบกวน (Noise) และความเพี้ยน (Distortion) ซึ่งเกิดขึ้นตลอดเส้นทางของการส่งในการรักษาคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ที่ปลายทาง ไว้ให้ดีที่สุดก็ควรจะให้สิ่งรบกวนและความเพี้ยนอยู่ในขีดจำกัดอันพึงยอมรับได้ การส่งสัญญาณใด ๆ เราสามารถส่งในลักษณะของ Analog Transmission หรือ Digital Transmission ก็ได้แต่ในปัจจุบันเริ่มนิยมส่งสัญญาณ Analog ในลักษณะของ Digital Transmission ด้วยกรรมวิธีของ Time Division Multiplex-Pulse Code Modulation (TDM - PCM) มากขึ้น

เนื่องจากชุมสายโทรศัพท์ระบบ Stored Program Control (SPC) ได้นำเอาเทคนิคทาง Digital มาใช้ในการรับส่งสัญญาณและข้อมูลต่าง ๆ โดยเฉพาะในภาค Switching Network สัญญาณ Analog จะถูกแปลงเป็นสัญญาณ Digital ทั้งสิ้น ดังนั้นในการที่จะศึกษาเครื่องชุมสายโทรศัพท์ระบบ Stored Program Control (SPC)จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาหลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ Pulse Code Modulation (PCM) ก่อน

บทที่ 1
การทำงานของระบบโทรศัพท์

1. การทำงานโทรศัพท์ทั่วไป

1.1 หน้าที่หลักของโทรศัพท์

1.1.1 เครื่องโทรศัพท์ สามารถติดต่อกับอีกเครื่องหนึ่งได้ โดยการส่งสัญญาณผ่านทางชุมสายโทรศัพท์

1.1.2 เครื่องโทรศัพท์จะส่งสัญญาณที่เรียกว่า สัญญาณหมุนที่จะทำให้การกดหรือหมุนหมายเลขที่จะติดต่อได้ และส่งรหัสหมายเลขที่ผู้เรียกต้องการจะติดต่อด้วยไปยังชุมสาย

1.1.3 เครื่องโทรศัพท์ สามารถจะเปลี่ยนรูปสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และเปลี่ยนจากสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณเสียง เช่น ในขณะสนทนา จะได้ยินเสียงและสามารถพูดโต้ตอบกันได้

1.1.4 เครื่องโทรศัพท์สามารถรับสัญญาณต่างๆ ที่ส่งมาจากชุมสายโทรศัพท์เช่นสามารถตรวจจับสัญญาณกระดิ่ง จากชุมสายโทรศัพท์ ว่าขณะนี้กำลังจะมีผู้เรียกสายอยู่

1.1.5 เครื่องโทรศัพท์จะส่งสัญญาณไปยังชุมสายโทรศัพท์เพื่อแจ้งให้ทราบว่าสิ้นสุดการใช้งานแล้วและให้ชุมสายโทรศัพท์เลิกทำการติดต่ออีกฝ่ายหนึ่งได้

1.2 ลักษณะของสัญญาณโทรศัพท์

เมื่อเป็นผู้เรียก

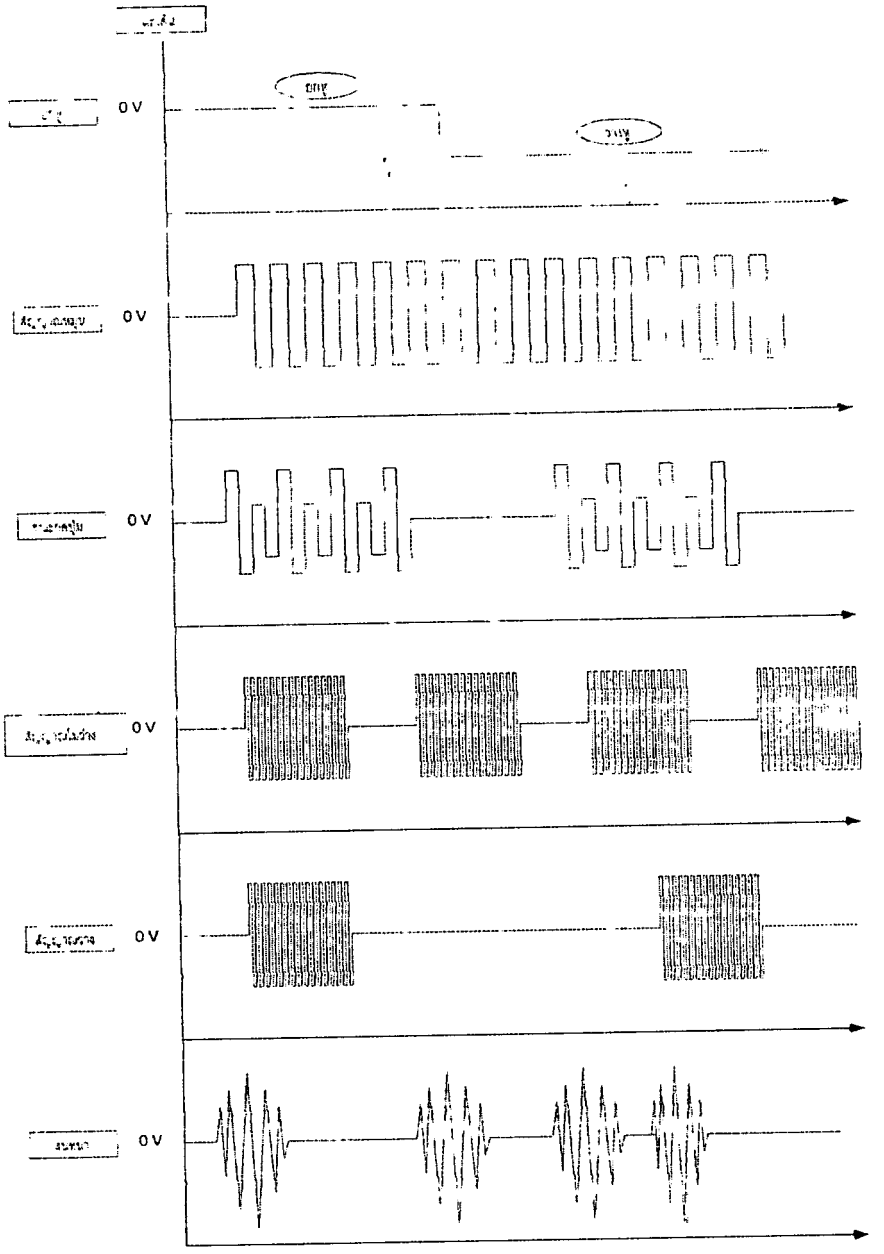
เมื่อโทรศัพท์ยังไม่ได้ยกหู สัญญาณระหว่างคู่สายจะเป็น 48 โวลท์ ดีซี เมื่อยกหูฟังขึ้นสัญญาระหว่างโทรศัพท์จะตกลงเป็น 5 โวลท์ ดีซี ในขณะเดียวกันก็จะมีสัญญาณ 600 มิลลิโวลท์ ผสมมาด้วย

เมื่อหมุนหรือกดหน้าปัทม์เพื่อเรียกไปหมายเลขที่ต้องการติดต่อด้วยนั้น ในแบบหมุนหน้าปัทม์จะส่งพัลซ์จำนวนลูกเท่ากับจำนวนพัลซ์ที่หมุน โดยจะส่งพัลซ์ในแบบ 10 พัลซ์ต่อวินาที สำหรับในแบบกดปุ่มหน้าปัทม์นั้นจะส่งสัญญาณคู่ความถี่ ซึ่งเป็นสัญญาณของกลุ่มความถี่ ต่ำและความถี่สูงรวมกัน ซึ่งเป็นความถี่มาตรฐานที่กำหนดไว้

ความถี่				
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	*	D

การจัดตำแหน่งความถี่และการจัดปุ่ม

ขณะรอสัญญาณหลังการกดปุ่มหรือหมุนหน้าปัทม์ ถ้าได้รับสัญญาณเรียกกลับ แสดงว่า กำลังมีการเรียกไปยังเลขหมายี่ต้องการติดต่ออยู่ โดยเป็นสัญญาณจังหวะดัง 1 วินาที หยุด 4 วินาที สลับกัน ที่ความถี่ 440 เฮิรตซ์ และระดับสัญญาณ 200มิลลิโวลท์ แต่ถ้าหากว่าได้รับสายสัญญาณไม่ว่าง ซึ่งจะเป็นสัญญาณดังและหยุดสลับกันเป็นจังหวะทุก 0.5 วินาที ที่มีความถี่ 500 เฮิรตซ์ และระดับสัญญาณ 400 มิลลิโวลท์ขณะพูด สัญญาณระหว่างสายโทรศัพท์ยังคงเป็นสัญญาณดีซี 5 โวลท์เช่นเดิม แต่จะมีสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณเอซี ระดับสัญญาณขนาดไม่เกิน 1 โวลท์ คร่อมอยู่บนสัญญาณดีซี



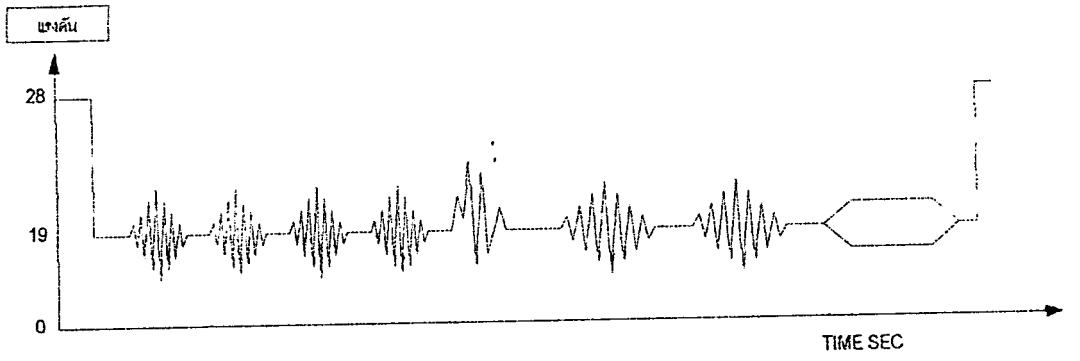
รูปที่ 1 ลักษณะทางไฟฟ้าปรากฏที่คู่สายขณะทำการเรียก

เมื่อเป็นผู้รับ

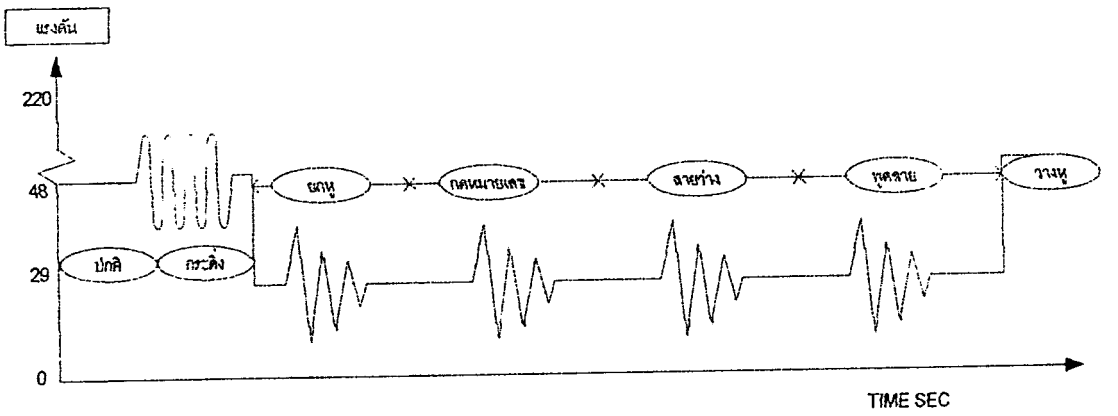
ขณะยังวางหูอยู่ สัญญาณระหว่างสายโทรศัพท์จะเป็น 48 โวลท์ ดีซี

เมื่อมีสัญญาณกระดิ่ง จะมีสัญญาณเอซีดความถี่ 16 เฮิรตซ์ ระดับสัญญาณ 75-110 โวลท์คัง 1 วินาที และหยุด 4 วินาที สลับกัน

เมื่อยกหูโทรศัพท์ สัญญาณระหว่างสายโทรศัพท์จะตกลงไปเป็น 10 โวลท์ ดีซีและจะได้ยินเสียงจากผู้เรียก



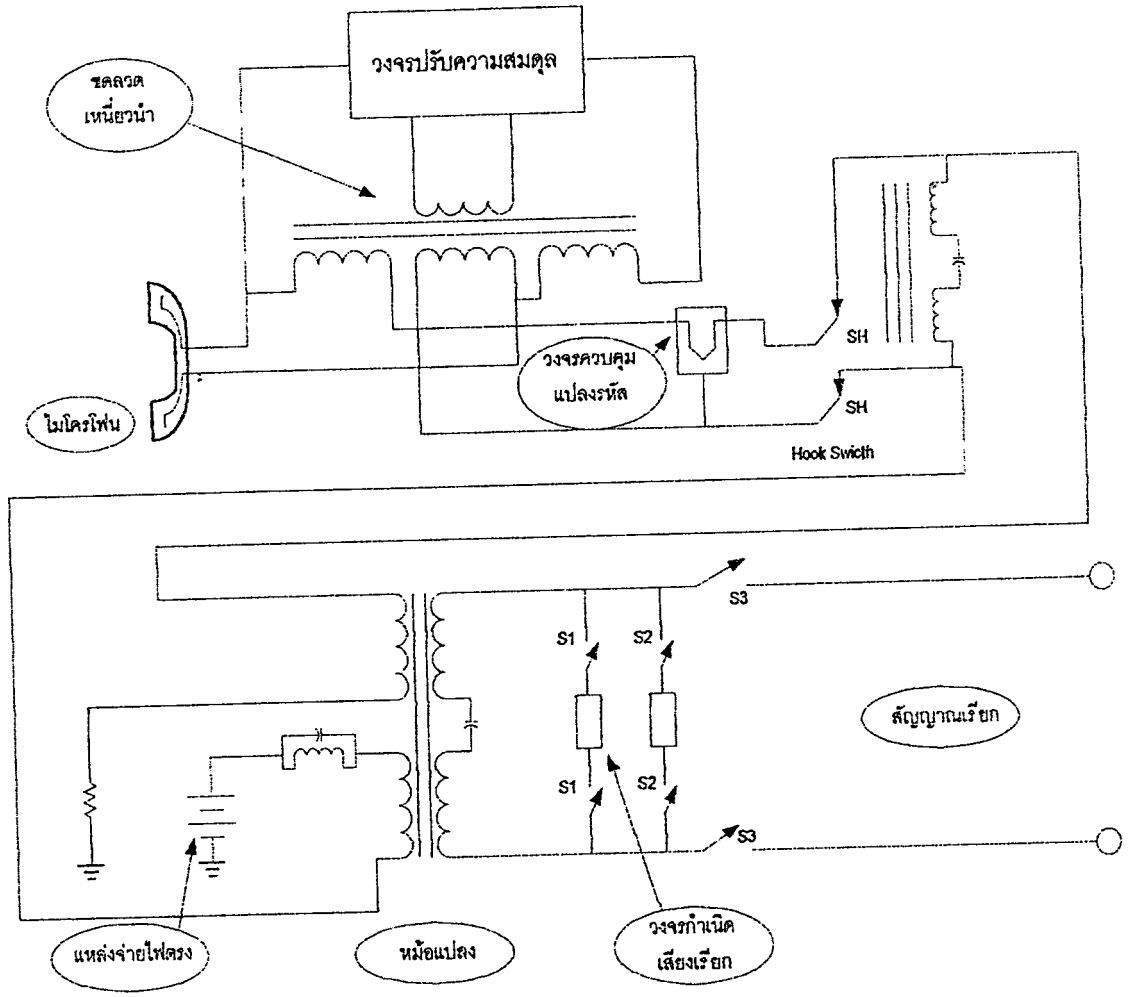
รูปที่ 2 ลักษณะของสัญญาณเมื่อผู้ที่เรียกเรียกเข้ามา



รูปที่ 3 ลักษณะของสัญญาณโทรศัพท์

1.3 กลไกการเชื่อมต่อวงจรโทรศัพท์

วงจรพื้นฐานข้างในรวมทั้งการเชื่อมต่อกับชุมสายเบื้องต้นแสดงดังรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าโทรศัพท์จะเชื่อมต่อกับชุมสายด้วยสาย 2 สาย คือ T (Tip) และ R (Ring) เมื่อผู้ใช้ยกหูโทรศัพท์ฮุกสวิตซ์ ในส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างหูฟังกับสายโทรศัพท์ที่มีหม้อแปลงแบบอัตโนมัติ ทำหน้าที่ปรับอิมพีแดนซ์ของหูฟัง ทำให้การรับส่งสัญญาณมีประสิทธิภาพมากที่สุด รวมไปถึงทำให้ผู้พูดได้ยินเสียงที่ตัวเองพูดไปในระดับที่เหมาะสม



รูปที่ 4 วงจรภายในเครื่องโทรศัพท์และการเชื่อมต่อกับชุมสายท้องถิ่น

เมื่อมีการติดต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับชุมสายแล้วก็จะมีสัญญาณถูกส่งไปยังอุปกรณ์สวิตซ์ชิ่งเพื่อบอกให้รู้ว่าขณะนี้คู่สายไม่ว่างแล้ว

สำหรับการหมุนหมายเลขโทรศัพท์ ก็คือ การส่งสัญญาณพัลซ์ ตั้งแต่ 1 ถึง 10 พัลซ์ เช่น ถ้ามีการส่งสัญญาณพัลซ์ 1 พัลซ์ ก็หมายถึงการหมุนหมายเลข 0 ส่ง 2 พัลซ์ ก็หมายถึง หมายเลข 1 ดังนั้น

ถ้าเราหมุน 9 ก็จะมีการส่งพัลซ์จำนวน 10 พัลซ์นั่นเอง ความเร็วในการส่งพัลซ์ คือ 10 พัลซ์ต่อวินาที

สำหรับโทรศัพท์ที่ใช้การกดปุ่มนั้นจะเป็นการส่งที่มีค่าของความถี่ที่แตกต่างกันออกไปสำหรับแต่ละหมายเลขที่มีอยู่ 10 ตัว ความถี่ที่ ส่งออกไปเป็นความถี่ที่อยู่ในย่านความถี่เสียง โดยในการกดครั้งหนึ่งจะมีสัญญาณเสียงที่มอดดูเลตแล้วส่งออกไป 2 ความถี่

ทางชุมสายเมื่อได้รับข้อมูลจากผู้เรียกแล้ว ก็จะแปลงสัญญาณที่จะได้รับมาสั่งให้อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งทำงาน เพื่อทำการต่อสายให้กับผู้เรียก ถ้าปลายสายที่ต้องการติดต่อด้วยไม่ว่าง ชุมสายก็จะส่งสัญญาณไม่ว่าง (Busy Tone) ไปยังผู้เรียกเพื่อแจ้งให้ทราบว่าไม่สามารถต่อวงจรให้ได้แต่ถ้าปลายสายว่าง ชุมสายก็จะส่งสัญญาณเรียก (Ringing Back Tone) ไปยังผู้เรียก เพื่อแจ้งให้ทราบว่าสามารถต่อวงจรให้ได้ตามต้องการแล้ว

1.4 การสนทนา

เมื่อปลายสายหรือผู้เรียกหรือผู้ถูกเรียกยกหูโทรศัพท์ขึ้น การทำงานในส่วนวงจรควบคุมของชุมสายโทรศัพท์ก็จะหยุด เพื่อที่จะรอทำงานให้กับผู้อื่นที่เรียกเข้ามาต่อไป แต่หน้าที่ของชุมสายสำหรับตอนนี้ก็คือ การทำงานของมิเตอร์สำหรับเรียกเก็บค่าบริการในภายหลัง

ในระหว่างที่ทำการสนทนาอยู่ เครื่องโทรศัพท์ก็จะทำงาน 2 รูปแบบไปพร้อม ๆ กัน คือ แปลงจากสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณเสียง (Acoustic Energy) ซึ่งจะเรียกว่ารูปแบบการรับสัญญาณ (Receiver Mode) และในทางกลับกัน รูปแบบที่ทำหน้าที่แปลงจากสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้าจะเรียกว่า รูปแบบการส่งสัญญาณ (Transmitter Mode) ในรูปแบบหลังนี้เองที่มีเรื่องของการป้อนกลับของสัญญาณเข้ามาเกี่ยวข้องนั่นก็คือ การที่ผู้พูดสามารถได้ยินเสียงของตนเองจากหูฟังด้วย เรียกเสียงนี้ว่า Side Tone ซึ่งจำเป็นอย่างมากที่จะต้องป้อนกลับมา เพราะไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถรับรู้ได้เลยว่าควรพูดให้มีเสียงดังให้อยู่ในระดับใดจึงจะพอเหมาะที่คู่สนทนาจะได้ยินเสียงผู้พูดของผู้เรียกได้อย่างชัดเจน

เมื่อสิ้นสุดการสนทนาทั้ง 2 ฝ่าย และวางหูโทรศัพท์ลง สัญญาณจาก ฮุกสวิตซ์ก็จะบอกให้ชุมสายโทรศัพท์ทำการเปิดวงจรที่ทำการติดต่ออยู่ออก อุปกรณ์ต่าง ๆ ก็จะว่าง และพร้อมสำหรับการติดต่อครั้งต่อไป

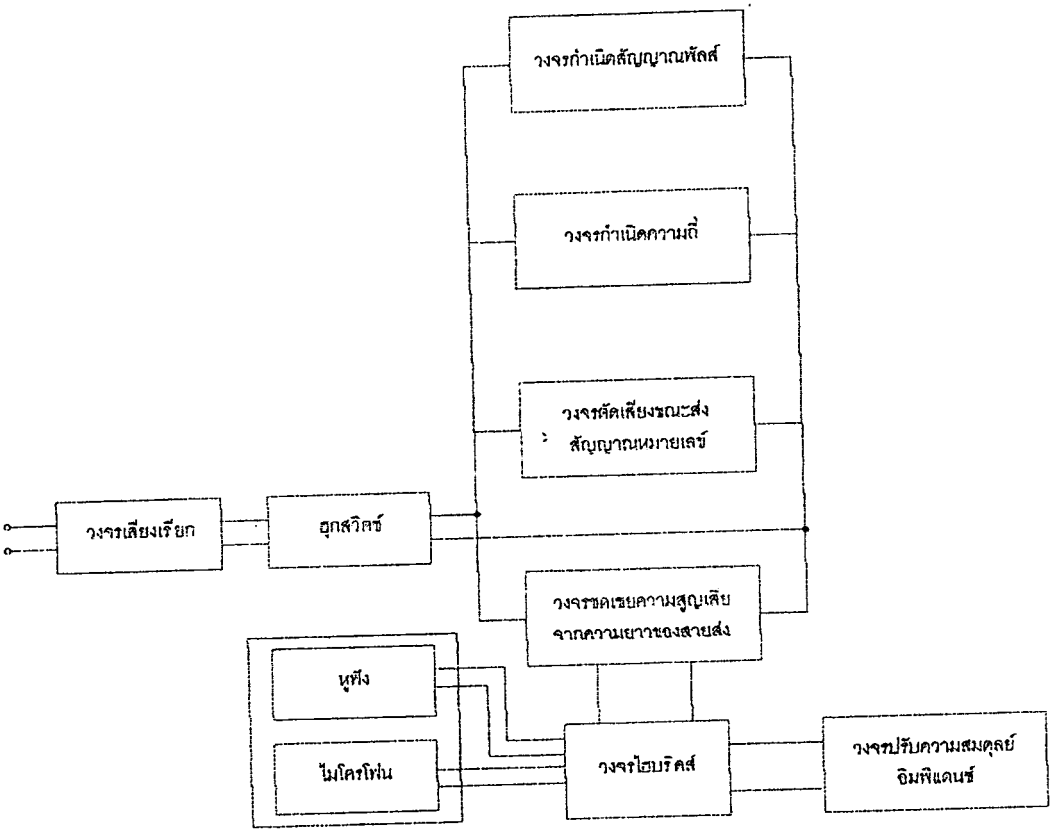
1.5 ระบบการส่งสัญญาณในสายส่ง

ในสายส่งโทรศัพท์นั้นมีสัญญาณต่าง ๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อทำให้เราสามารถพูดคุยกันในระยะทางไกล ๆ ได้ สัญญาณที่จะปรากฏในสายส่งจะสามารถแยกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ คือสัญญาณเสียงที่พูดคุยกัน และสัญญาณที่ใช้ ในการควบคุมระบบสวิตซ์ ซึ่งในการเชื่อมต่อวงจรระหว่างผู้เรียกนั่นเอง รวมทั้งสัญญาณเรียกกลับและสัญญาณบอกไม่ว่าง ตัวสัญญาณควบคุมนี้อาจเป็นได้ทั้ง

สัญญาณอะนาล็อก หรือจะเป็นสัญญาณดิจิตอลก็ได้ โทรศัพท์แบบหมุนกับแบบกดปุ่มมีหลักการส่งรหัสเลขหมายโทรศัพท์คนละแบบกัน

ดังนั้นการส่งสัญญาณออกไปในสายส่งบางครั้ง อาจมีการส่งทั้งสัญญาณดิจิตอล และสัญญาณอะนาล็อกไปพร้อม ๆ กันก็ได้

2. ระบบการทำงานของโทรศัพท์



รูปที่ 5 ผังการทำงานของโทรศัพท์

ในรูปที่ 6 เป็นผังการทำงานของส่วนต่าง ๆ ที่จำเป็นในเครื่องโทรศัพท์ โดยเชื่อมต่อกับชุมสายด้วยสาย T (Tip) และสาย R (Ring) วงจรแรกที่เชื่อมต่อระหว่างวงจรภายในเครื่องโทรศัพท์กับอุปกรณ์ชุมสาย คือวงจรกำเนิดเสียงเรียก (Ringer) ซึ่งจะส่งสัญญาณเรียกเมื่อมีการติดต่อมาจากผู้อื่น เหตุผลประการสำคัญที่ต้องนำวงจรส่วนนี้มาเชื่อมต่อกับชุมสายโทรศัพท์โดยตรงก็คือเมื่อวางหู

โทรศัพท์ไว้กับที่วาง ฮุกสวิตซ์จะถูกเปิดวงจรออกทำให้ไม่มีแรงดันจากชุมสายผ่านไปยังวงจรส่วนที่อยู่หลังฮุกสวิตซ์ได้ ดังนั้น ถ้าวงจรกำเนิดสัญญาณเรียกอยู่ด้านหลังฮุกสวิตซ์จะไม่สามารถสร้างสัญญาณเรียกได้ในเวลาที่มีการติดต่อเข้ามา

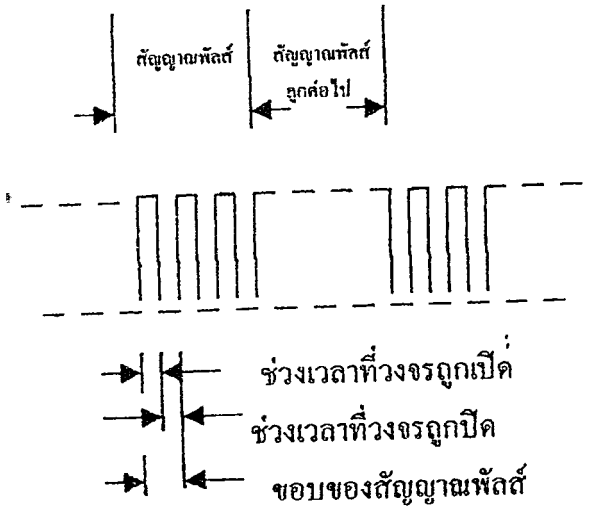
เมื่อมีการยกหูโทรศัพท์ขึ้น ฮุกสวิตซ์ S1 และ S2 ในรูปที่ 6 ก็ปิดวงจรทำให้มีกระแสจากชุมสายไหลครบวงจรผ่านเครื่องโทรศัพท์ได้ ในขณะเดียวกัน กระแสค่าเดียวกันนี้จะไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ที่ชุมสายด้วย ซึ่งทำหน้าที่หน้าสัมผัสของรีเลย์ที่ชุมสายถูกปิดลง เพื่อที่จะทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในชุมสายพร้อมที่จะทำการติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์ได้จากนั้นชุมสายก็จะส่งสัญญาณหมุนไปยังผู้ที่ยกหูโทรศัพท์ เพื่อให้ผู้นั้นส่งหมายเลขโทรศัพท์ของผู้ที่ต้องการจะติดต่อด้วยมายังชุมสาย หลังจากที่ชุมสายได้รับหมายเลขที่ส่งมาแล้วชุมสายก็จะยกเลิกสัญญาณหมุน ซึ่งกระบวนการตอนนี้จะเกิดขึ้นรวดเร็ว

การส่งเลขหมายโทรศัพท์ไปยังชุมสายนั้นสามารถกระทำได้ 2 วิธี วิธีแรกเป็นการส่งสัญญาณพัลซ์ที่แสดงถึงค่าของเลขหมายต่าง ๆ และอีกวิธีหนึ่งก็คือ การส่งสัญญาณเป็นความถี่ต่าง ๆ กัน โดยค่าของตัวเลขจะถูกแทนด้วยคาสความถี่ 2 ความถี่ที่มอดูเลตรวมกัน ลักษณะการใช้งานของแต่ละแบบมีดังนี้

2.1 ระบบโทรศัพท์แบบส่งสัญญาณพัลซ์

วงจรที่ใช้ส่งหมายเลขโทรศัพท์ในแบบพัลซ์ เห็นได้ว่าสวิตซ์ จะถูกเปิดวงจรออกเมื่อมีการหมุนหมายเลขโทรศัพท์ เมื่อสวิตซ์ ถูกเปิดวงจรออกก็จะไม่มีกระแสไหลผ่านเข้าไปในวงจรส่วนที่อยู่ถัดไปได้ จึงเสมือนว่าเป็น การขัดจังหวะ (Interruption) การไหลของกระแส สำหรับจำนวนครั้งที่ สวิตซ์ ถูกเปิดกระแสออกจะขึ้นอยู่กับระยะห่างของ แป้นหมุน (Dialer) ที่ถูกหมุนไป กับตำแหน่งปกติในขณะที่ไม่มีการหมุนหมายเลขใด ๆ เป็นต้นว่า ถ้าหมุนหมายเลข 4 สวิตซ์ 0tถูกทำให้เปิดออก 4 ครั้ง ซึ่งสวิตซ์ จะถูกเปิดวงจรในช่วงที่ปล่อยให้แป้นหมุนกลับสู่ตำแหน่งเดิมเท่านั้น ไม่ได้เกิดขึ้นในระหว่างที่ทำการหมุนหมายเลขอยู่

รูปที่ 6 จะแสดงถึงลักษณะของรูปสัญญาณเมื่อมีการหมุนหมายเลขโทรศัพท์ จากรูปนี้จะเห็นว่าในตอนแรก โทรศัพท์ยังอยู่ในสภาวะ off-hook ฮุกสวิตซ์จะถูกปิดวงจรลง ทำให้มีกระแสไหลครบวงจรได้ และเมื่อมีการหมุนหมายเลข 4 จะทำให้มีการเปิดวงจรออกด้วยสวิตซ์ S3 จำนวน 4 ครั้ง ได้รูปสัญญาณตามที่เห็น



รูปที่ 6 แสดงไดอะแกรมของเวลาคร่าว ๆ ของสัญญาณที่เกิดจากการหมุนหมายเลข 4

ในระบบโทรศัพท์แบบที่ส่งสัญญาณแบบพัลซ์นี้ จะถูกกำหนดให้สามารถส่งสัญญาณในอัตรา 10 พัลซ์ต่อวินาที และเพื่อความเข้าใจที่ตรงกันในการพิจารณาสัญญาณที่เกิดขึ้น จึงความทราบความหมายดังต่อไปนี้

- อัตราการส่งสัญญาณพัลซ์ (pulse rate) = จำนวนพัลซ์ที่ถูกส่งออกไปใน 1 วินาที = 1000/คาบเวลาของสัญญาณพัลซ์(เป็นมิลลิวินาที)
- เปอร์เซ็นต์ของการเปิดวงจร (percent break = 100 * อัตราส่วนการเปิดวงจร (break ratio) = 100 * = ช่วงเวลาที่วงจรถูกเปิดออก/คาบของสัญญาณพัลซ์
- ช่วงเวลาระหว่างกลุ่มของสัญญาณ (interdigit interval) ถูกกำหนดให้มีค่าอย่างต่ำ 700 มิลิวินาที

2.2 ระบบโทรศัพท์แบบส่งสัญญาณความถี่คู่

ระบบโทรศัพท์แบบเก่าที่มีใช้อยู่โดยทั่วไปนั้น ไม่ว่าจะเป็นแบบ Stowger หรือ ระบบครอสบาร์การต่อโทรศัพท์จากผู้เช่าไปยังอีกเลขหมายหนึ่งนั้น ยังอาศัยการหมุนหน้าปัทม์เพื่อทำการส่งพัลซ์ให้สวิตซ์ทำงาน การส่งพัลซ์ยังคงใช้อยู่ทั้งระบบ 10 pps และ 20 pps

วงการโทรศัพท์ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วมาก จากเดิมที่เป็นหน้าปัทม์หมุน ก็เปลี่ยนมาเป็นการกดปุ่มแทน การกดปุ่มก็เพื่อจะส่งความถี่ออกไป ซึ่งเป็นสัญญาณ multi frequency signal การที่เราใช้วิธีนี้ก็เพื่อ

- ลดเวลาในการหมุนหน้าปัทม์ลง
- ส่งเลขหมายได้ง่ายขึ้นเพียงการกดปุ่ม
- มีความผิดพลาดในการส่งเลขหมายน้อยลง
- สามารถที่จะเพิ่มปุ่มอื่น ๆ นอกเหนือที่มีอยู่แล้ว เพื่อใช้งานอย่างอื่นได้ด้วย

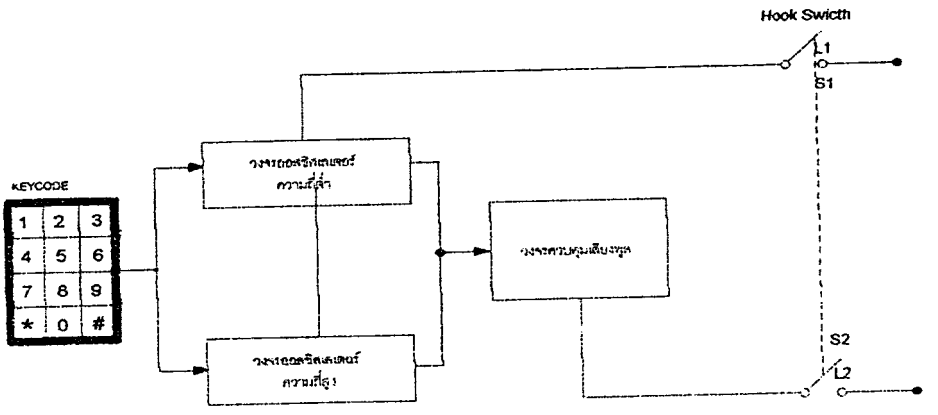
- ใช้ความถี่ในระดับเครื่องเสียง

ระบบนี้เป็นระบบการส่งสัญญาณอีกแบบหนึ่ง ซึ่งจะพบมากกว่าการส่งแบบพัลซ์ ระบบนี้มีชื่อย่อว่า DTMF (Dial Tone Multi Frequency) มีวิธีการส่งหมายเลขของผู้ที่ต้องการจะติดต่อโดยการส่งสัญญาณความถี่ 2 ความถี่มอดูเลทกันไป ความถี่นี้อยู่ในย่านความถี่เสียงพูด (0-4 กิโลเฮิรตซ์) กลุ่มความถี่ต่ำจะเป็นของแนว ส่วนกลุ่มความถี่สูงกว่าจะเป็นของแถวค่าต่าง ๆ ของความถี่ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 1

ความถี่ Hz	รหัสหรือหมายเลข		
697	1	2	3
770	4	5	6
852	7	8	9
941	*	0	#
ความถี่ H	1209	1336	1477

ตารางที่ 1 แสดงความถี่ต่าง ที่ใช้ในระบบ DTMF

ระบบสัญญาณ DTMF ด้วยการใช้ไอซีสำเร็จรูปในปัจจุบันจะดูเหมาะสมกว่าการนำเอาอุปกรณ์มาต่อกันเพื่อทำการผลิตความถี่ต่าง ๆ ของเลขหมายที่ต้องการจะติดต่อ หลักการของไอซีจำพวกนี้ก็ใช้หลักการเดิม คือ การเอาความถี่ที่แตกต่าง 2 ความถี่ที่เกิดจากการกดปุ่มหมายเลขโทรศัพท์มามอดูเลทกัน แล้วส่งไปยังชุมสายต่อไป



รูปที่ 7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบ DTMF แบบเก่า

ในรูปที่ 7 เป็นบล็อกไดอะแกรมของการส่งสัญญาณแบบ DTMF ซึ่งในระบบนี้ยังคงต้องใช้อุปกรณ์พาสซีฟ ในการวงจรออสซิสเลเตอร์ ซึ่งแน่นอนว่าปัญหาที่จะพบในวงจรที่ใช้อุปกรณ์เหล่านี้คือ ความเคลื่อนเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปตลอดจนอายุการใช้งาน ซึ่งผลที่ตามมาคือความถี่ที่ผลิตออกมาย่อมเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยผลสุดท้ายก็จะทำให้ชุมสายเกิดการทำงานผิดพลาดในการติดต่อกับผู้ที่จะเรียกใช้ ดังนั้นการสร้างไอซีสำเร็จรูปขึ้นมาแทนอุปกรณ์พาสซีพ ย่อมจะแก้ไขปัญหาได้ในระดับหนึ่ง ในรูปที่ เป็นบล็อกไดอะแกรมของไอซีที่จะใช้สร้างสัญญาณในระบบ DTMF ซึ่งวงจรภายในประกอบด้วย วงจรนับและถอดรหัส ซึ่งจะแยกแยะว่าการกดหมายเลขแต่ละครั้งจะตรงกับตำแหน่งใดบ้างในแต่ละแถวหรือแนว เมื่อทำการถอดรหัสจากการกดได้แล้วจะนำค่าในแถวและแนวไปหารจากค่าความถี่หลัก สัญญาณที่ออกจากวงจรนับและถอดรหัสก็จะออกมาเป็นสัญญาณดิจิตอล 2 สัญญาณที่มีความถี่แตกต่างกัน หลังจากนั้นก็นำสัญญาณทั้งสอง ไปผ่านวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลไปเป็นอะนาลอก และนำมารวมกันโดยการนำไปผ่านวงจรรวมและขยายสัญญาณ แล้วจึงถูกส่งผ่านต่อไปยังวงจรควบคุมเสียงพูด และผ่านไปยังชุมสายโทรศัพท์ในที่สุด

2.3 ข้อเปรียบเทียบของระบบ DTMF กับระบบ พัลซ์

ในการส่งสัญญาณแบบพัลซ์ ลูก ใช้เวลาอย่างน้อย 100 มิลลิวินาที (60 มิลลิวินาทีในช่วงการเปิดวงจร และ 40 มิลลิวินาทีในช่วงของการปิดวงจร) และยังต้องมีช่วงเวลาที่แยกสัญญาณแต่ละกลุ่มออกจากกันอีกอย่างน้อย 700 มิลลิวินาที ดังนั้นถ้าเลขหมายที่ต้องการติดต่อมีความยาวมากขึ้นเท่าใด ย่อมจะต้องเสียเวลาในการส่งมากขึ้นเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น ในการส่งสัญญาณ 555-5555 ใช้เวลาในการส่ง

= 5 (พัลซ์/มิลลิวินาที)*1000(มิลลิวินาที/พัลซ์)*7(หมายเลข)

= 3.5 วินาที

ระยะเวลาของช่องว่างระหว่างกลุ่มสัญญาณ

= 700 (มิลลิวินาที) * 6

= 4.2 วินาที

ดังนั้นจะใช้เวลาการส่งทั้งหมด

= 3.5+4.2 วินาที

แต่ถ้าเป็นโทรศัพท์ที่ใช้การส่งระบบ DTMF จะใช้เวลาเท่ากับ

= 7 * 100 มิลลิวินาที

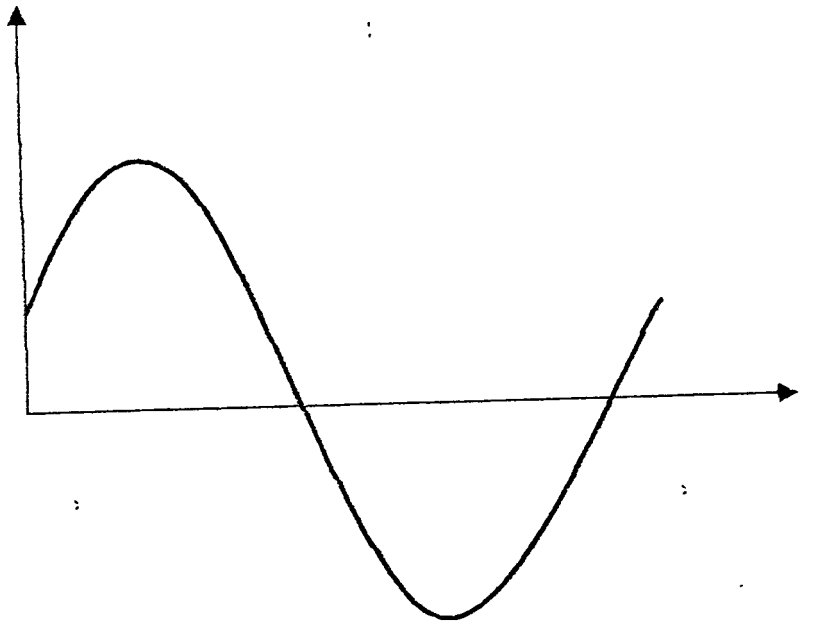
= 0.7 วินาที

ดังนั้นจะเห็นได้ชัดเจนว่าข้อดีของระบบ DTMF คือสามารถประหยัดเวลาในการส่งหมายเลขไปยังชุมสายได้มากกว่าระบบพัลซ์ สามารถใช้วงจรที่เป็นโซลิทสเตทได้ ทำให้เกิดความประหยัดและสะดวก ซึ่งเป็นผลให้ชุมสายใช้อุปกรณ์ผ่อนความจำภายในชุมสายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2
การทำงานของชุมสายโทรศัพท์

2.1 สัญญาณ Analog และการส่ง

สัญญาณ Analog ในรูปของไฟฟ้า หมายถึง สัญญาณที่ Amplitudeของมันแปรผันต่อเนื่องกันกับเวลา ดังแสดงตามรูปที่ 8

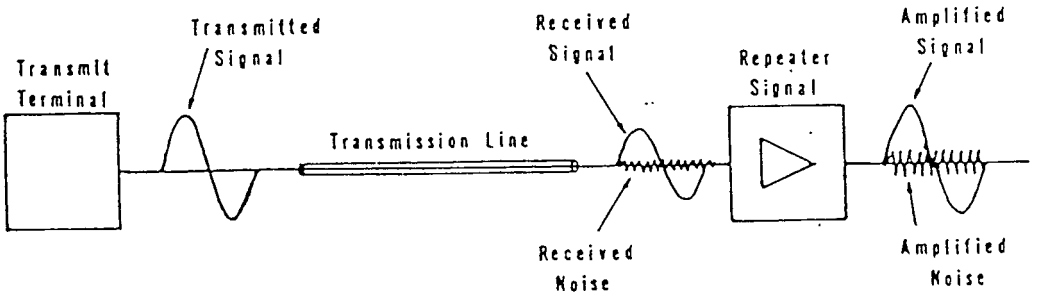


รูปที่ 8 สัญญาณ Analog

สัญญาณ Analog ที่ใช้กันโดยทั่วไปในระบบรับส่ง ได้แก่ สัญญาณโทรศัพท์ สัญญาณวิทยุกระจายเสียง สัญญาณโทรทัศน์ เป็นต้น เมื่อวิเคราะห์รูปคลื่นของสัญญาณ Analog อันหนึ่งจะพบว่าประกอบด้วย Sine wave ที่ความถี่ต่าง ๆ กันโดยทั่วไปแล้ว ความถี่ของสัญญาณ Analog ที่ใช้กับโทรศัพท์นั้น จะใช้ในย่านตั้งแต่ 300 Hz 57' 3,400 Hz เท่านั้น

การส่งสัญญาณ Analog นั้น ไม่มีความจำเป็นที่ต้องส่งข่าวสารทาง Amplitude ต่อเนื่องกันไปตลอดเวลา จากการทดลองค้นคว้าพบว่า ถ้าทำการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) สัญญาณ Analog ด้วยช่วงเวลาที่สม่ำเสมอในอัตราอย่างน้อยเป็น 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณนั้น ๆ แล้ว ตัวอย่างที่สุ่มมาได้จะบรรจุข่าวสารของสัญญาณเดิมครบถ้วน เช่น สัญญาณ Analog ที่ใช้กับโทรศัพท์มีความถี่สูงสุด 3,400 Hz ดังนั้นถ้าทำการสุ่มตัวอย่างเป็นช่วงสม่ำเสมอในอัตราอย่างน้อย = 2 * 3400 = 6800 ตัวอย่างต่อวินาทีแล้ว ตัวอย่างที่

สุ่มมาได้จะบรรจุไว้ด้วย Amplitude ของสัญญาณเดิมครบถ้วน วิธีการอันนี้เราเรียกว่า ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Theorem) และได้ถูกนำไปใช้ในวิธีการของ Pulse Code Modulation

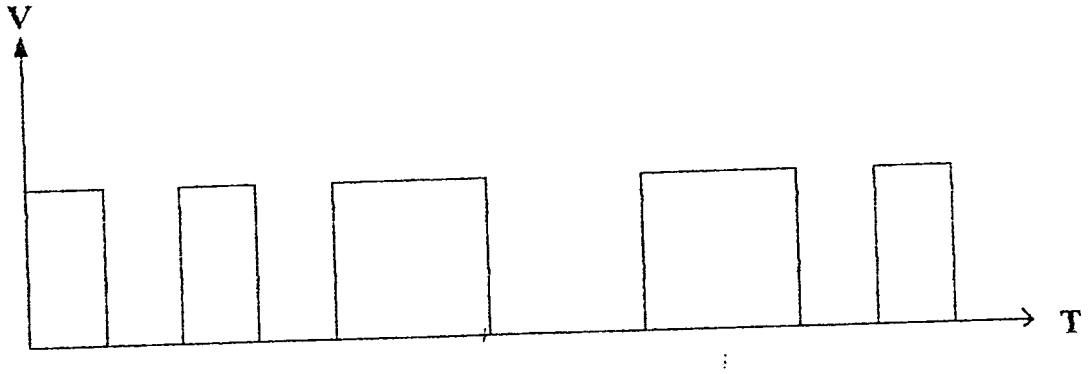


รูปที่ 9 ลักษณะการส่งสัญญาณ Analog

การส่งสัญญาณ Analog สามารถกระทำได้ในรูปเดิมของมัน เช่นการส่งสัญญาณโทรศัพท์ระหว่างผู้เช่าโทรศัพท์ในชุมสายเป็นต้น สำหรับการส่งสัญญาณ Analog ในระยะทางไกล สิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ก็คือ สัญญาณที่ส่งจะอ่อนกำลังลงหรือถูกลดทอน (Attenuation) และสิ่งรบกวน (Noise) ที่เสริมเข้ามาตลอดเส้นทางของการส่ง เราจะต้องรักษาระดับกำลังของสัญญาณที่ส่งให้สูงกว่าระดับกำลังของสิ่งรบกวนมากๆ ซึ่งสามารถทำได้โดยการขยายกำลังของสัญญาณที่ส่งเป็นระยะที่เหมาะสมตามเส้นทางการส่ง แต่อย่างไรก็ตามสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นที่ Input ของเครื่องขยายกำลังย่อมจะได้รับการขยายกำลังให้สูงขึ้นไปพร้อมกับตัวสัญญาณที่ส่งด้วย นอกจากนี้การส่งสัญญาณ Analog ในระยะทางไกล ๆ ผ่านตัวกลางและเครื่องขยายกำลังย่อมจะทำให้เกิดความเพี้ยน (Distrotion) ขึ้นอีกด้วย ในการรักษาให้สิ่งรบกวนและความเพี้ยนของสัญญาณ Analog ที่รับได้ที่ปลายทางอยู่ในขอบเขตจำกัดอันพึงยอมให้ได้นั้น จึงต้องมีการออกแบบที่ดีทั้งระบบและอุปกรณ์ที่ใช้

2.2 สัญญาณ Digital และการส่ง

สัญญาณ Digital หมายถึง สัญญาณที่ Amplitude ของมันถูกจัดระดับให้แปรผันไปกับเวลาตามค่าที่กำหนดให้เช่น ถ้าแปรผันอยู่ระหว่าง 2 ค่าเรียกว่า Binary Signal ถ้าแปรผันอยู่ระหว่าง 3 คำ เรียกว่า Ternary Signal เป็นต้น



รูปที่ 10 สัญญาณ Digital

สัญญาณ Digital ที่ใช้กันในงานด้านโทรคมนาคมโดยทั่วไปจะเป็นแบบ Binary Signal ทั้งสิ้น ซึ่งเป็นลักษณะของ Pulse ที่มีอยู่ 2 ค่าคือ 0 และ 1 โดยที่ 0 หมายถึงไม่มี Pulse และ 1 หมายถึงมี Pulse เราสามารถจัดกลุ่มของ Binary Signal ให้อยู่ในรูปของรหัส (Code) เพื่อใช้แทนค่าระดับของแรงดัน (Voltage) ในการกำหนดจำนวน Bit ของ Binary Code นั้น จะขึ้นอยู่กับจำนวนระดับของแรงดัน เช่น

1. Bit Code แทนได้ 2 ค่า คือ 0 และ 1
2. Bit Code แทนได้ 4 ค่า คือ 00, 01, 10 และ 11
3. Bit Code แทนได้ 8 ค่า คือ 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110 และ 111

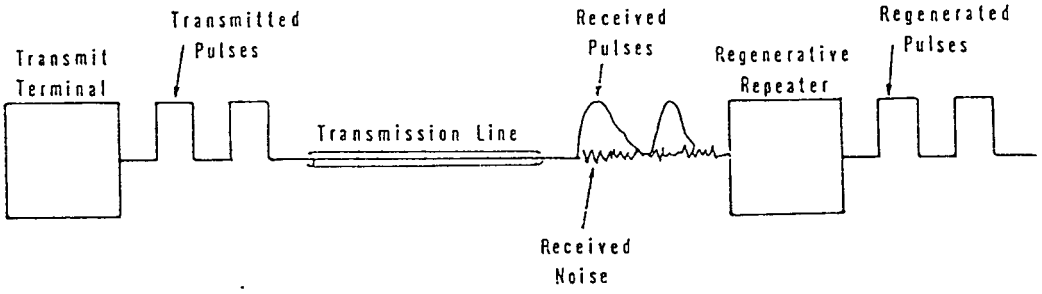
โดยทั่วไปแล้ว n Bit Code สามารถแทนจำนวนระดับของแรงดันได้ 2^n ค่า เช่น 8 Bit Code สามารถแทนจำนวนระดับของแรงดันได้ $2^8 = 256$ ค่าเป็นต้น

ในการส่งสัญญาณ Digital Amplitude ของ Binary Signal จะมีค่าได้เพียงค่าใดค่าหนึ่งใน 2 ค่าเท่านั้น ซึ่งแทนด้วยเลข Binary ได้คือ 1 หรือ 0 การตรวจหาว่ามี Pulse (Logic 1) หรือไม่มี Pulse (logic 0) ของ Binary Signal สามารถทำได้ภายใต้ภาวะที่มีสิ่งรบกวนและความเพี้ยนมากกว่าที่จะพึงยอมให้เกิดขึ้นได้ในการส่งสัญญาณ Analog การยอมให้มีสิ่งรบกวนและความเพี้ยนเกิดขึ้นได้มากกว่าจึงนับได้ว่าเป็นข้อได้เปรียบประการหนึ่งของวิธีการส่งสัญญาณ Digital ข้อได้เปรียบอีกประการหนึ่งก็คือการผลิตสัญญาณ Digital ขึ้นมาใหม่ที่ Regenerative Repeater มันจะตรวจดูว่ามี Pulse หรือไม่มี Pulse ที่ Input ของมัน ถ้ามี Pulse มันก็จะผลิต Pulse ที่ปราศจากสิ่งรบกวนและความเพี้ยนขึ้นมาใหม่ ถ้าตรวจพบว่าไม่มี Pulse มันก็จะไม่ผลิต Pulse ออกไป

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จากที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าการส่งสัญญาณ Digital มีข้อได้เปรียบเหนือกว่าการส่งสัญญาณ Analog อยู่ 2 ประการคือ

- มีภูมิคุ้มกันต่อสิ่งรบกวนและความเพี้ยนได้มากกว่า
- สามารถผลิตสัญญาณ Digital ที่ปราศจากสิ่งรบกวนและความเพี้ยนขึ้นมาใหม่ที่ Regenerative Repeater ได้



รูปที่ 11 ลักษณะการส่งสัญญาณ Digital

เนื่องจากการส่งสัญญาณ Digital มีข้อได้เปรียบเหนือกว่าการส่งสัญญาณ Analog ดังนั้นจึงมีแนวโน้มในอันที่จะส่งสัญญาณ Analog ในรูปของการส่งสัญญาณ Digital มากขึ้นตามลำดับ ด้วยวิธีการนี้จึงจำเป็นต้องแปลงสัญญาณ Analog ให้เป็นสัญญาณ Digital ที่ปลายทางด้านส่ง และแปลงกลับเป็นสัญญาณ Analog ตามเดิมที่ปลายทางด้านรับ วิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือวิธีการของ Pulse Code Modulation (PCM)

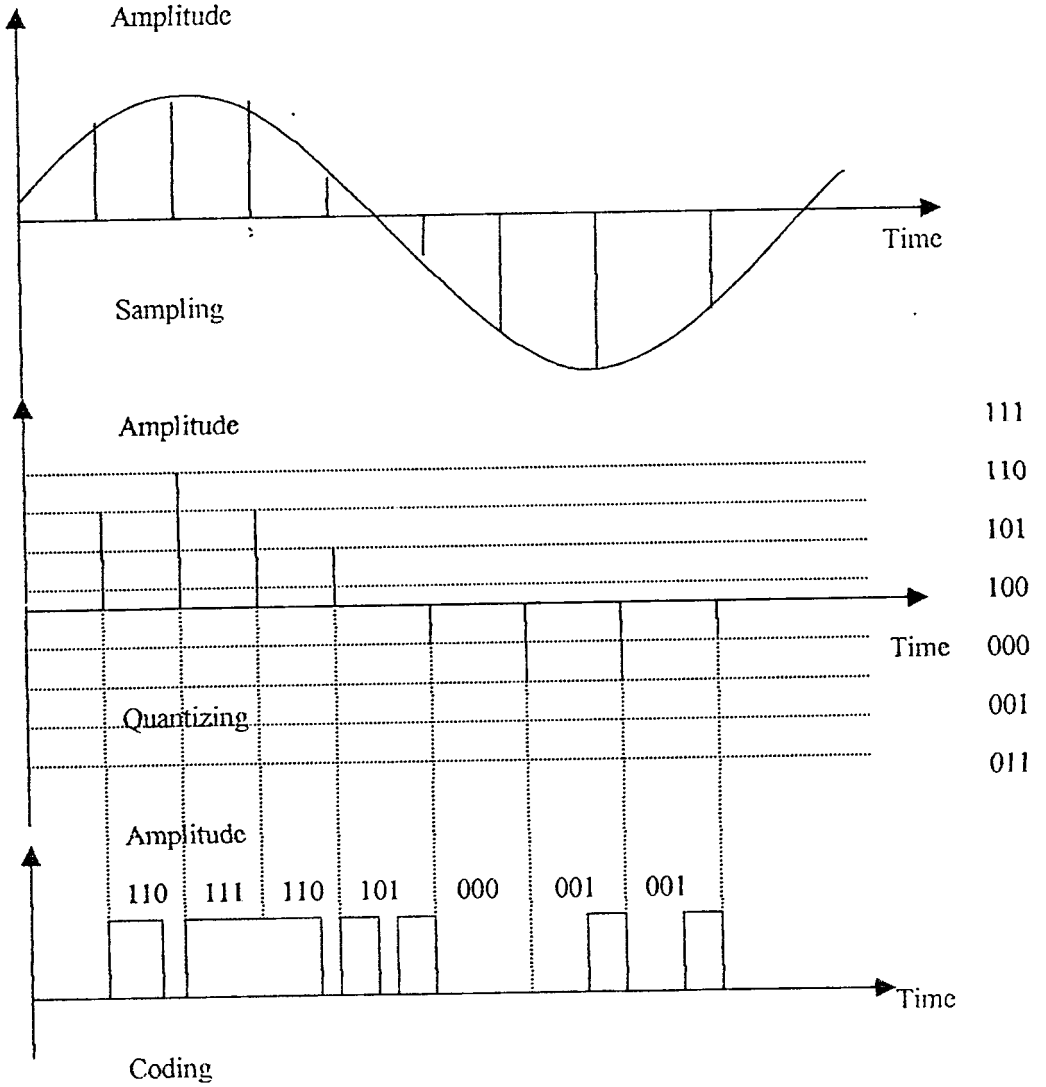
หลักการขั้นต้นของระบบ Pulse Code Modulation ก็คือการแปลงสัญญาณ Analog ให้เป็นสัญญาณ Digital สำหรับในโทรศัพท์จะเป็นการแปลงสัญญาณโทรศัพท์ให้เป็นกระบวนของ Pulse ในรูปของรหัส (Binary Code) แล้วส่งไปในตัวกลาง ที่ปลายทางด้านรับ กระบวนของ Pulse ในรูปของรหัสดังกล่าวจะถูกแปลงกลับเป็นสัญญาณ Analog ดังเดิม การส่งกระบวน Pulse ในรูปของรหัสจะเป็นการส่งสัญญาณในลักษณะ Digital Transmission ซึ่งมีข้อได้เปรียบเหนือกว่าการส่งสัญญาณแบบ Analog Transmission ในเรื่องภูมิคุ้มกันต่อสิ่งรบกวนและความเพี้ยนดังได้กล่าวมาแล้ว การแปลงสัญญาณ Analog ให้เป็นสัญญาณ Digital ดังแสดงตามรูปที่ 1.5 จะประกอบด้วยหลักการที่สำคัญ 3 ประการคือ

- การสุ่มตัวอย่าง (Sampling)

36902

- การแบ่งย่าน Amplitude ออกเป็นระดับต่าง ๆ (Quantizing)
- การเข้ารหัส (Codeing)

ระบบรับส่ง PCM ประกอบด้วยเครื่องส่ง สายส่งและเครื่องรับ เพื่อทำให้เกิดการติดต่อแบบ 2 ทาง (Duplex) ระบบ PCM จึงต้องใช้ทั้งเครื่องส่ง (Transmitter) และเครื่องรับ (Receiver) ติดตั้งที่แต่ละแห่งของปลายทาง (Terminal) สายส่ง (Transmission Line) ที่ใช้จะเป็นแบบ 4 Wires หากสายส่งมีความยาวมากก็จะติดตั้ง Regenerative Repeater ในระยะทางที่เหมาะสมเพื่อทำการผลิต Binary Code ตัวเดิมขึ้นม่าใหม่ การส่ง Binary Code ในระบบ PCM สามารถทำการส่งได้อย่างรวดเร็วมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มจำนวนสัญญาณที่ต้องการส่งหรือเพิ่มจำนวนช่องสื่อสารให้มากขึ้น จึงสามารถใช้ระบบ Time Division Multiplex (TDM) มาใช้ นั่นคือส่หุ่มตัวอย่างที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ สามารหถที่จะแบ่งเวลากันส่งโดยใช้สายส่งร่วมกัน



รูปที่ 12 การแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital ที่ใช้ในระบบ PCM

CCITT ได้แนะนำ First Order ของระบบ PCM ไว้ 2 ประเภทคือ ระบบยุโรปเป็นแบบ 30/32 Channels หรือเรียกว่า A – Law ระบบนี้จะบรรจุไว้ด้วย 32 Time Slots โดยแบ่งเป็น 30 Voice Channel Time slots ส่วนอีก 2 Time Slots ใช้สำหรับ Signalling และ Synchronization และระบบอเมริกาเป็นแบบ 24 Channels หรือเรียกว่า U - Law ระบบนี้จะบรรจุไว้ด้วย 24 Time Solts โดยใช้เป็น 24 Voice Channels ทั้งหมด ในส่วนของการรับส่งสัญญาณของโทรศัพท์ได้มีการใช้ระบบ Frequency Division Multiplex (FDM) และ Time Division Multiplex (TDM) กันมาเป็นเวลานานแล้ว แต่ในขณะนั้นภาค Switching Network ยังคงใช้เป็นแบบ Electro-Mechanical อยู่เช่น Crossbar Switch เป็นต้น ในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสูงขึ้น จึงได้เกิดภาค Switching Network ที่ใช้ Time Division Switch โดยใช้อุปกรณ์ที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสิ้น และเรียกว่า Digital Switching ซึ่งถูกควบคุมการทำงานโดยใช้ระบบ Stored Program Control (SPC)

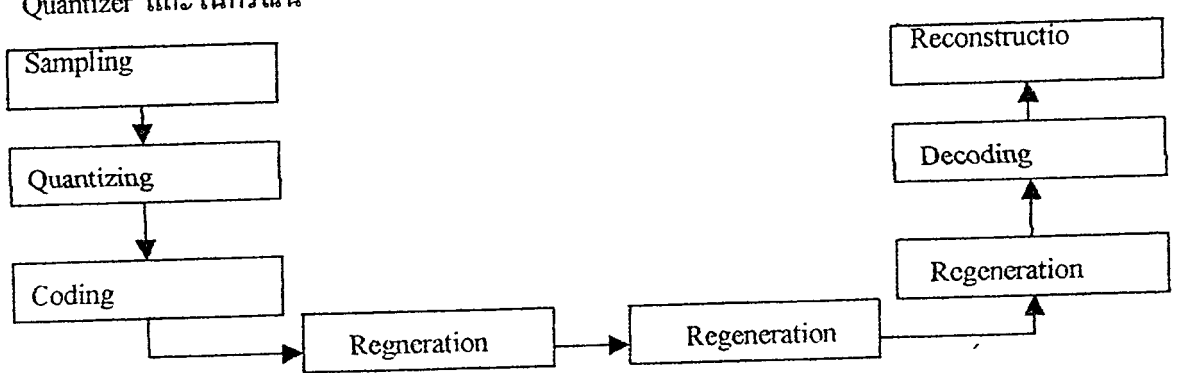
2.3 หลักการของระบบ Pulse Code Modulation (PCM)

Pulse Code Modulation (PCM) เป็นวิธีการที่จะเปลี่ยน Analog Speech Signal ให้เป็นสัญญาณ Digital ซึ่งแต่ละสัญญาณจะถูกกำหนดให้เป็นกระบวนของ Pulse ในรูปของ Binary Code การเปลี่ยนสัญญาณดัง

กล่าวจะต้องประกอบด้วยหลักการที่สำคัญ 3 ประการเรียงตามลำดับคือ

- การสุ่มตัวอย่าง (Sampling)
- การแบ่งย่าน Amplitude ออกเป็นระดับต่าง ๆ (Quantizing)
- การเข้ารหัส (Coding)

รูปที่ 13 แสดง Block Diagram ของระบบ PCM วิธีการขั้นแรกคือการสุ่มตัวอย่างสัญญาณโทรศัพท์แต่ละช่องด้วย Sampler จะทำให้ได้ Pulse ที่มี Amplitude เท่ากับของสัญญาณ ณ เวลาที่ทำการสุ่มนั้น ๆ ซึ่งเรียกว่า PAM Signal จากนั้น PAM Signal จะถูกป้อนเข้าที่ Quantizer และในกรณีนี้

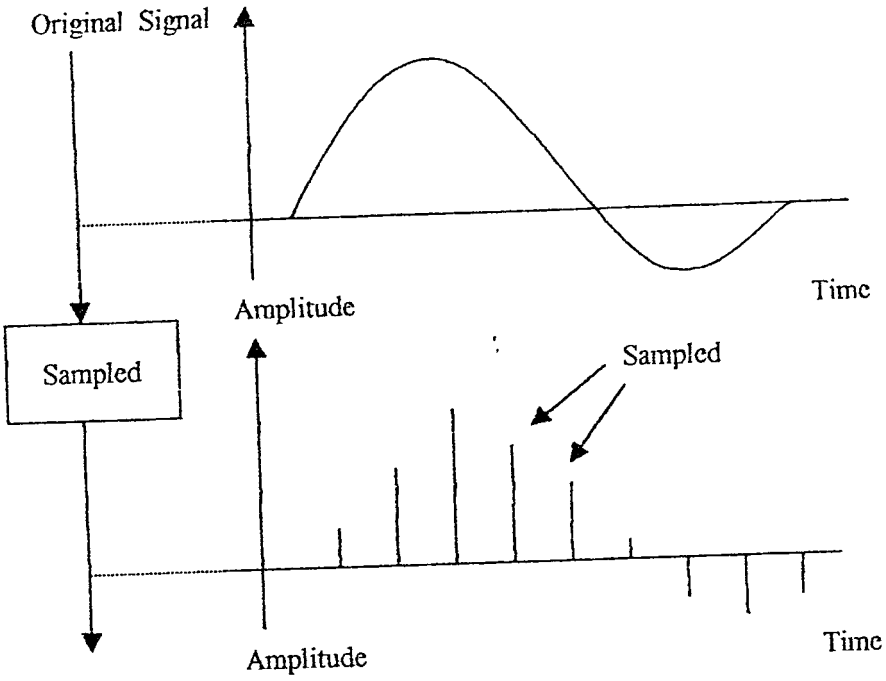


รูปที่ 13 Block Diagram ของระบบ PCM

Amplitude ของแต่ละตัวอย่างที่สุ่มมาได้จะถูกจัดให้อยู่ในระดับที่ตรงกันหรือใกล้เคียงกับระดับที่ได้กำหนดไว้ ขั้นต่อไปคือการให้ Binary Code กับตัวอย่างที่สุ่มมาได้โดยตัวเข้ารหัส (Coder) ซึ่ง Binary Code ที่ให้นี้จะตรงกับระดับของ Amplitude ที่ได้ถูกแบ่งไว้แล้วในตอนแรก กระบวน Pulse ในรูปของ Binary Code ของสัญญาณโทรศัพท์หลาย ๆ ช่องซึ่งเรียกว่า PCM Signal จะถูกส่งเข้าไปในสายส่ง (Transmission Line) หากสายส่งมีความยาวมากก็จะใช้ Regenerative Repeater ติดตั้งในระยะทางที่เหมาะสม เพื่อทำการผลิต PCM Signal ตัวเดิมที่ปราศจากสิ่งรบกวนและความเพี้ยนขึ้นมาใหม่ และที่ปลายทางด้านรับก็จะมี Regenerative Repeater ติดตั้งไว้ด้วยเช่นเดียวกัน Output ที่ได้จาก Regenerative Repeater นี้ จะมีรูปร่างลักษณะเหมือนกับ PCM Signal ที่ส่งมาจากทางด้านส่ง จากนั้น PCM Signal ดังกล่าวจะถูกส่งไปยังตัวถอดรหัส (Decoder) เพื่อทำการถอดรหัส PCM Signal ให้ได้เป็น PAM Siganl แล้วส่งผ่าน Sampler ไปยังช่องโทรศัพท์ที่ตรงกัน จึงทำให้ได้สุ่มตัวอย่างของสัญญาณโทรศัพท์แต่ละช่อง ในขั้นสุดท้ายจะเป็นการสร้าง Analog Speech Signal เดิมด้วย Low Pass Filter เรียกว่า Reconstruction

2.3.1 การสุ่มตัวอย่าง (Sampling)

การสุ่มตัวอย่าง (Sampling) หมายถึงการเลือกเอาค่า Amplitude ที่จุดใด ๆ ของสัญญาณ Analog ที่มีช่วงเวลาที่เท่ากัน ตัวอย่างที่สุ่มมาได้ก็คือ Pulse Train หรือเรียกว่า PAM Sample จำนวนของสุ่มตัวอย่างต่อวินาทีคือ Sampling Rate จาก Sampling Theorem ที่กล่าวไว้ว่า "ถ้าได้ทำการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) สัญญาณ Analog ด้วยช่วงเวลาที่สม่ำเสมอในอัตราอย่างน้อยเป็น 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณนั้น ๆ แล้ว ตัวอย่างที่สุ่มมาได้จะบรรจุข่าวสารของสัญญาณเดิมครบถ้วน" ในระบบ PCM สัญญาณโทรศัพท์ซึ่งใช้ความถี่ในช่วงระหว่าง 300 ถึง 3400 Hz จะถูกสุ่มตัวอย่างด้วย Sampling Rate 8000 ครั้งต่อวินาที หรือถูกสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 125 ไมโครวินาที ซึ่งเรียกว่า Sampling Intertval



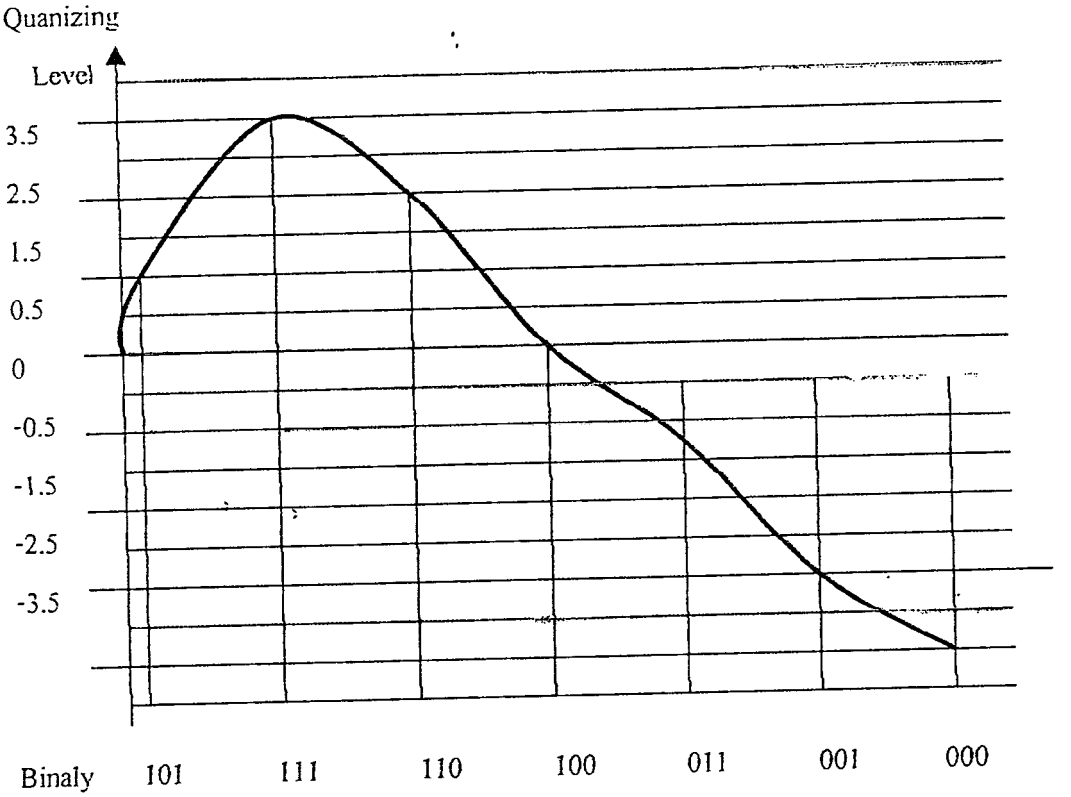
รูปที่ 14 การสุ่มตัวอย่าง (Sampling)

วิธีการสุ่มตัวอย่างในระบบ Time Division Multiplex (TDM) นั้นกระทำกันเป็นจำนวนหลายช่องโทรศัพท์เรียงกันตามลำดับ โดยใช้ Electronic Switch หรือ Gate จากผลการสุ่มตัวอย่างจำนวนหลายช่องโทรศัพท์ดังกล่าวจึงทำให้ได้ PAM Signal ที่มีขนาดของ Amplitude ต่าง ๆ กันของแต่ละช่องเรียงกันตามลำดับ ในระบบ PCM แบบ 24 Time Slots การสุ่มตัวอย่างจาก Time Slot ที่ 1 ถึง Time Slot ที่ 24 จะต้องกระทำให้เสร็จภายใน 125 ไมโครวินาที (ช่องเวลาใน 1 Frame) หรือกล่าวได้ว่าต้องทำการสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 125/24 ช 5.2 ไมโครวินาที ส่วนระบบ PCM แบบ 32 Time Slots การสุ่มตัวอย่างจาก Time Slot ที่ 1 ถึง Time Slot ที่ 32 จะต้องกระทำให้เสร็จภายใน 125 ไมโครวินาที หรือกล่าวได้ว่าต้องทำการสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 125/32 = 9 ไมโครวินาที

2.3.2 การแบ่งย่าน Amplitude ออกเป็นระดับต่าง ๆ (Quantixing)

การสุ่มตัวอย่างสัญญาณโทรศัพท์ในอัตราที่สม่ำเสมอนั้น จะทำให้ได้ PAM Signal ที่ Amplitude ของมันเป็นสัดส่วนกับระดับของสัญญาณ ณ เวลาที่ได้ทำการสุ่มนั้น Amplitude ดังกล่าวอาจมีค่าได้มากมายไม่จำกัด การให้ Binary Code กับสุ่มตัวอย่างที่มี Amplitude จำนวนมากได้ทุกตัวนั้น ก็จำเป็นที่จะต้องใช้จำนวน Bit ในกลุ่มรหัส (Code Word) มากตามไปด้วย ทำให้ไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ดีการแบ่งย่าน Amplitude ออกเป็นระดับต่าง ๆ ด้วยจำนวนที่จำกัด เราก็สามารถที่จะแทน Amplitude ค่าต่าง ๆ ของสัญญาณที่สุ่มมาได้ด้วยจำนวนจำกัดของ

ระดับที่ได้แบ่งไว้ ซึ่งอาจจะมีความคลาดเคลื่อนได้บ้างการให้ Binary Code ก็กำหนดเอาค่าที่ตรงกันหรือใกล้เคียงที่สุดกับระดับที่ได้แบ่งไว้ กรรมวิธีในการแบ่งย่าน Amplitude ของตัวอย่างที่สุ่มมาได้ออกเป็นระดับต่าง ๆ ที่มีจำนวนจำกัด และกำหนดระดับที่แน่นอนให้กับ PAM Signal นั้น เรียกว่า Quantizing โดยเรียกระดับหนึ่ง ๆ ที่แบ่งไว้ว่า Quantizing Level และจะเรียกช่วงห่างระหว่าง Quantizing Level ว่า Quantizing Interval หรือ Quantum Step



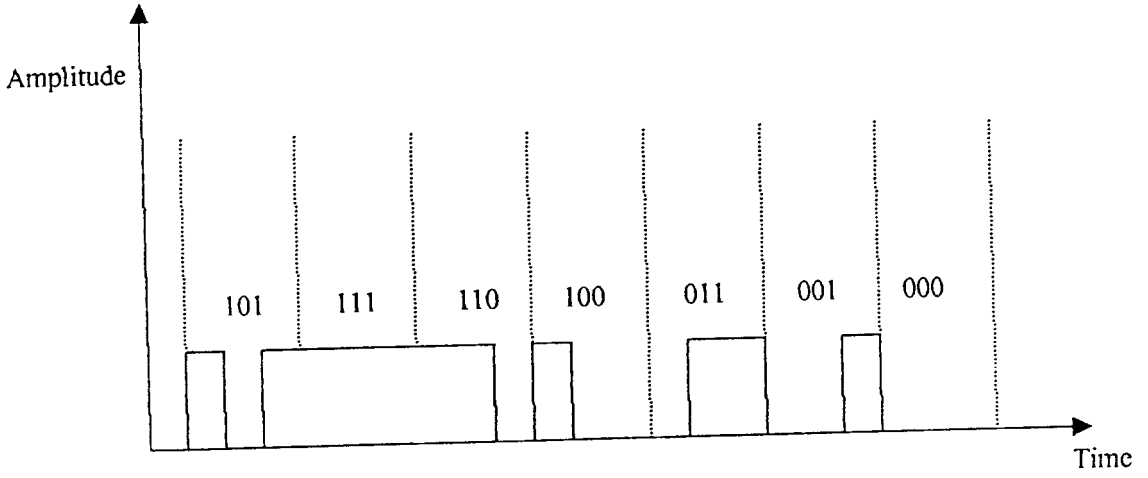
รูปที่ 15 การแบ่งย่าน Amplitude ออกเป็นระดับต่าง ๆ (Quantizing)

จารรูปที่ 15 สัญญาณที่จะทำการสุ่มตัวอย่างมีย่าน Amplitude อยู่ระหว่าง +4 โวลท์ และ -4 โวลท์ โดยสมมุติว่าเราแบ่งย่าน Amplitude นี้ออกเป็น 8 ระดับคือที่ -3.5 , -2.5 , -1.5 , -0.5 , 1.5, 2.5 และ 3.5 โวลท์ (Quantizing Interval = 1 โวลท์) การสุ่มตัวอย่างครั้งแรกตรงกับ Amplitude 1.3 โวลท์ เรากำหนดให้อยู่ใน Quantizing Level ที่ 1.5 โวลท์ เพราะเป็นระดับที่ใกล้เคียงที่สุด การสุ่มตัวอย่างครั้งที่สองตรงกับ Amplitude 3.6 โวลท์
เรากำหนดให้อยู่ใน Quantizing Level ที่ 3.5 โวลท์ (ระดับที่ใกล้เคียงที่สุด) การสุ่มตัวอย่างครั้งต่อ ๆ ไปก็เป็นเช่นเดียวกันจึงเห็นได้ว่า Quantizing Level ที่เรากำหนดให้นั้นเป็นเพียงค่าที่ใกล้เคียงกับค่าของ Amplitude จริงที่ได้มาจากการสุ่มตัวอย่าง ความคลาดเคลื่อนจากการ Quantizing ย่อมจะต้องเกิดขึ้นบ้าง เช่น จากการสุ่มตัวอย่างในครั้งแรก Quantizing Level ที่กำหนดให้จะ

และเราเรียกความคลาดเคลื่อนนี้ว่า Quantizing Error หรือ Quantizing Noise ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของความเพี้ยน ในขั้นตอนของ Quantizing ถ้าเพิ่มจำนวนของ Quantizing Level ให้มากขึ้น ก็จะทำให้ Quantizing Noise มีค่าน้อยลงแต่ในการเพิ่มจำนวน Quantizing Level ให้มากขึ้นทำให้ Binary Code มีจำนวน Bit มากขึ้นตามไปด้วยและเป็นผลทำให้การส่งสัญญาณ Binary Code ต้องการ Bandwidth กว้างมากขึ้น โดยทั่วไปแล้วเราจะต้องกำหนดให้จำนวน Quantizing Level และจำนวน Bit ในกลุ่มรหัสหนึ่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การส่งสัญญาณ Binary Code ได้ผลเป็นที่พอใจ โดยใช้ banwidth น้อยที่สุดเป็นหลัก

2.3.3 การเข้ารหัส (Coding)

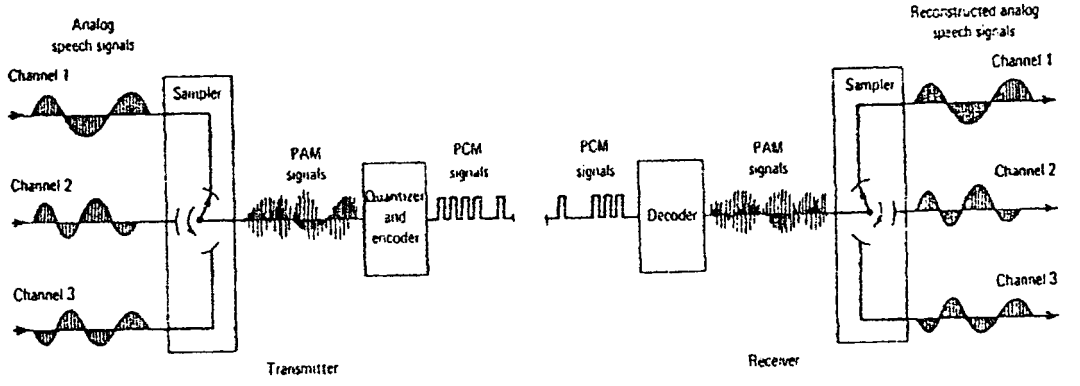
เมื่อได้ทำการสุ่มตัวอย่างสัญญาณ Analog เรียบร้อยแล้ว เราก็จะได้ PAM Signal ที่มีขนาดของ Amplitude ต่าง ๆ กันส่งเข้าไปยัง Quantizer โดยกำหนดให้ Quantizing Level อันใดซึ่งตรงกันหรือใกล้เคียงที่สุดกับระดับของ Amplitude ที่สุ่มมาได้ ตัวเข้ารหัส (Coder) ก็จะผลิต Binary Code Signal ตรงตาม Quantizing Level นั้น ๆ แล้วจึงจะส่งออกไปในสายส่ง (Transmission Line) จากรูปที่ 16 สมมุติว่าเราได้กำหนดค่าของรหัส (Code Number) ที่ใช้กับ Quantizing Level ที่ระดับต่าง ๆ คือ -3.5, -2.5, -1.5, ..., 3.5 โวลท์ เป็น 0 , 1 , 2 , ... , 7 ตามลำดับแล้ว ตัวอย่างที่สุ่มมาได้อันแรกคือ 1.3 โวลท์ Quantizing Level ที่ใกล้เคียงที่สุดของมันคือ 1.5 โวลท์ ซึ่งตรงกับค่าของรหัส 5 ดังนั้นรหัสที่ส่งออกไปเป็น Code Word ขนาด 3 Bits คือ 101 ตัวอย่างที่สุ่มมาได้อันที่สองคือ 3.6 โวลท์ Quantizing Level ที่ใกล้เคียงที่สุดคือ 3.5 โวท์ ซึ่งตรงกับค่าของรหัส 7 ดังนั้นรหัสที่ส่งออกไปเป็น Code Word คือ 111 เช่นนี้เป็นต้น



รูปที่ 16 การเข้ารหัส Coding

ระบบ PCM แบบ 30/32 Channels หรือแบบ 24 Channels จะมีจำนวน Quantizing Level เป็น 256 Levels จึงทำให้แต่ละตัวอย่างที่สุ่มมาได้ถูกเข้ารหัสเป็น Code Group หรือ PCM Word จำนวน 8 Bits และ Sampling Rate ที่ใช้จะเป็น 8000 Samples/Second ดังนั้น 1 Pulse Code Modulated Speech Signal จะผลิตสัญญาณจำนวน 8 * 8000 = 64 Kbits/Second ซึ่งเป็น Binary Code

การสุ่มตัวอย่างในระบบ PCM จะเริ่มสุ่มตั้งแต่ Channel แรกไปจนถึง Channel สุดท้าย เรียงตามลำดับและกลับมาทำการสุ่มตัวอย่างที่ Channel แรกใหม่อีกครั้งหนึ่งและเป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ ไป ตัวอย่างที่สุ่มมาได้แต่ละตัวอย่างจะหกถูกส่งผ่าน Quantizer และนำไปเข้ารหัสดังที่ได้กล่าวมาแล้ว รูปที่ 5.12 แสดงหลักการของระบบ PCM จำนวน 3 ช่อง ทางด้านส่ง (Transmitter) สัญญาณ Analog Speech Signal ทั้ง 3 ช่อง จะถูกส่งผ่านไปยัง Sampler ทีละช่องเรียงกันตามลำดับจึงทำให้ได้ PAM Signals จากนั้น PAM Signals จะถูกป้อนเข้าไปยัง Quantizer และ Coder ซึ่งทำให้ได้ PCM Signals ที่เป็น Binary Code ของสัญญาณทั้ง 3 ช่อง และส่งออกไปในสายส่งต่อไป ส่วนที่ปลายทางด้านรับ (Receiver) เมื่อได้รับ PCM Signals มาแล้วก็จะถอดรหัสด้วยตัวถอดรหัส (Decoder) ทำให้ได้ PAM Signals และเมื่อผ่าน Sampler ซึ่ง Synchronized กับ Sampler ทางด้านส่ง PAM Signals จึงถูกแยกออกเป็นสุ่มตัวอย่างของสัญญาณแต่ละช่องและทำการสร้าง (Reconstruction) Analog Speech Signal อันเดิมด้วย Low Pass Filter



รูปที่ 17 หลักการของระบบ PCM จำนวน 3 ช่อง

2.4 หลักการเบื้องต้นของ Regenerative Repeater

สัญญาณ PCM ที่ถูกส่งออกไปจะถูกลดทอน (Attenuation) และเกิดความเพี้ยน (Distortion) ขึ้นในระหว่างการรับส่งสัญญาณ นอกจากนี้ยังมีสิ่งรบกวน (Noise) แทรกซ้อนเข้ามา ดังนั้นในการรับส่งสัญญาณ PCM จึงต้องมีอุปกรณ์ในการทำให้สัญญาณ PCM กลับมาให้อยู่ในสภาพเดิม อุปกรณ์นี้เรียกว่า Regenerative Repeater ซึ่งมีหน้าที่ในการผลิตสัญญาณ PCM ขึ้นมาใหม่ โดยให้มีลักษณะเช่นเดียวกับสัญญาณ PCM ที่ส่งมาจากต้นทาง โดยทั่วไปแล้วเราจะใส่ Regenerative Repeater ไว้ในเส้นทางการส่งสัญญาณ ณ จุดที่ค่า Peak ของสิ่งรบกวนมีขนาดไม่เกินครึ่งหนึ่งของ Peak Level ของ Pulse Train ที่รับเข้ามา

ในระบบ PCM Analog Speech Signal จะถูกแทนด้วย Binary Code ซึ่งก็คือการมี Pulse หรือไม่มี Pulse ณ เวลาที่กำหนดให้ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ Pulses เนื่องจากระบบรับส่งจะไม่ทำให้เกิดผลเสียใด ๆ ขึ้นหากการเปลี่ยนแปลงนั้นมีไม่มากเกินไปที่จะทำให้เกิดความสับสนในการจำแนกว่ามี Pulse หรือไม่มี Pulse และเมื่อตัดสินการมี Pulse หรือไม่มี Pulse ได้ถูกต้องที่ Regenerative Repeater ก็ย่อมสามารถจะผลิต Pulse ขึ้นมาใหม่เหมือนกับ Pulse ที่ส่งออกมาได้โดยใช้ Pulse Generator

ในการตัดสินใจว่ามี Pulse หรือไม่มี Pulse นั้น สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบ Amplitude ของสัญญาณที่รับมาได้กับระดับอ้างอิง (Reference Level) ตามทฤษฎีระดับอ้างอิงจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของ Pulse Peak ของสัญญาณที่รับมา การเปรียบเทียบจะกระทำที่เวลาเมื่อ Pulse เกิดขึ้นโดยปราศจากจากการรบกวนใด ๆ และที่เวลานี้เรียกว่า Decision หรือ Sampling Instant

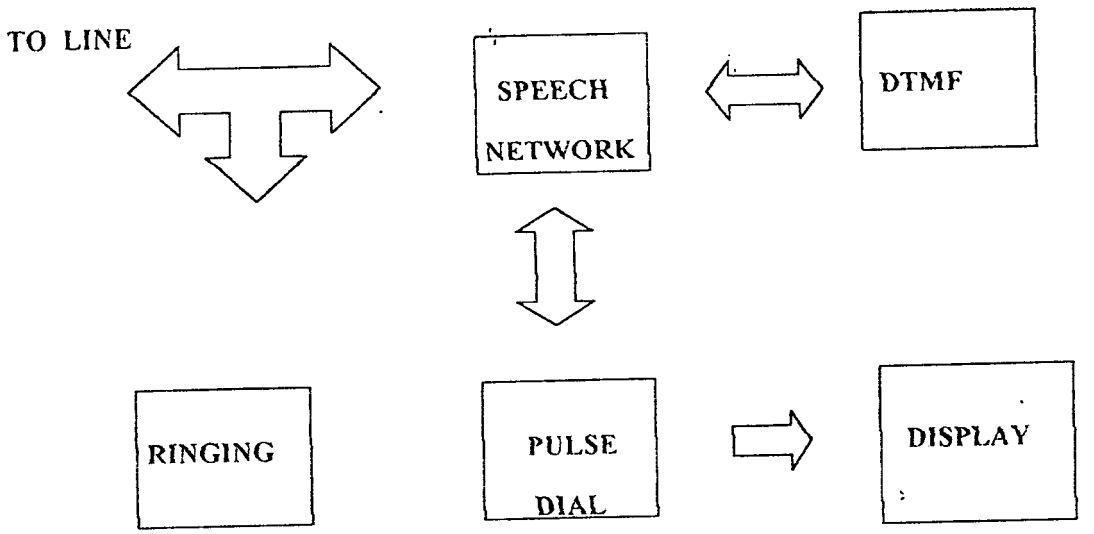
Pulse Train ที่ส่งมาจากต้นทาง ย่อมจะเกิดความเพี้ยนขึ้นและมี Noise เสริมเข้ามาตลอดเส้นทางการส่ง Pulse Train ดังกล่าวจะถูกส่งเข้ามายัง Regenerative Repeater ที่ภาค Equalizing Amplifier ซึ่งภาคนี้จะทำการปรับปรุงรูปร่างของ Pulse Train ที่ได้รับเพื่อให้ Pulse นั้นๆ อยู่ใน Time Slot ของมัน หลังจากการปรับปรุงรูปร่างแล้ว Pulse ดังกล่าวจะได้รับการขยายถึงระดับที่สามารถตัดสินระหว่างการมี Pulse หรือไม่มี Pulse ได้ Output จาก Equalizing Amplifier ทางหนึ่งจะส่งไปยังภาค Regenerator และอีกทางหนึ่งจะส่งไปยังภาค Timeing Circuit ซึ่งปรับตั้งความถี่ไว้เท่ากับ Bit Rate ของระบบภาค Timing Circuit นี้จะทำการผลิต Timing Pulses ที่มีความหกถี่เดียวกับ Bit Rate. Timing Pulses จาก Timimg Circuit และ Pulse Train จาก Output ของ Equalizer Amplifier จะป้อนไปยังภาค Regenerator ที่ Decision Circuit ซึ่งเป็น AND Gate โดยจะผลิต Pulses ออกมาเมื่อ Output ของ Equalizing Amplifier มีขนาดสูงกว่า

Threshold Level และมี Timimg Pulse พร้อมกันด้วย ช่วงเวลาของ Pulses ที่ผลิตออกมาใหม่จะถูกกำหนดด้วยช่วงว่างของเวลาระหว่าง Timimg Pulses รูปร่างลักษณะ (Waveshape) ของ Pulse Train ที่ผลิตขึ้นมาใหม่โดย Pulse Generator ก็จะเหมือนกับ Pulse Train ที่ส่งมาจากต้นทาง

บทที่ 3

วงจรและการออกแบบ

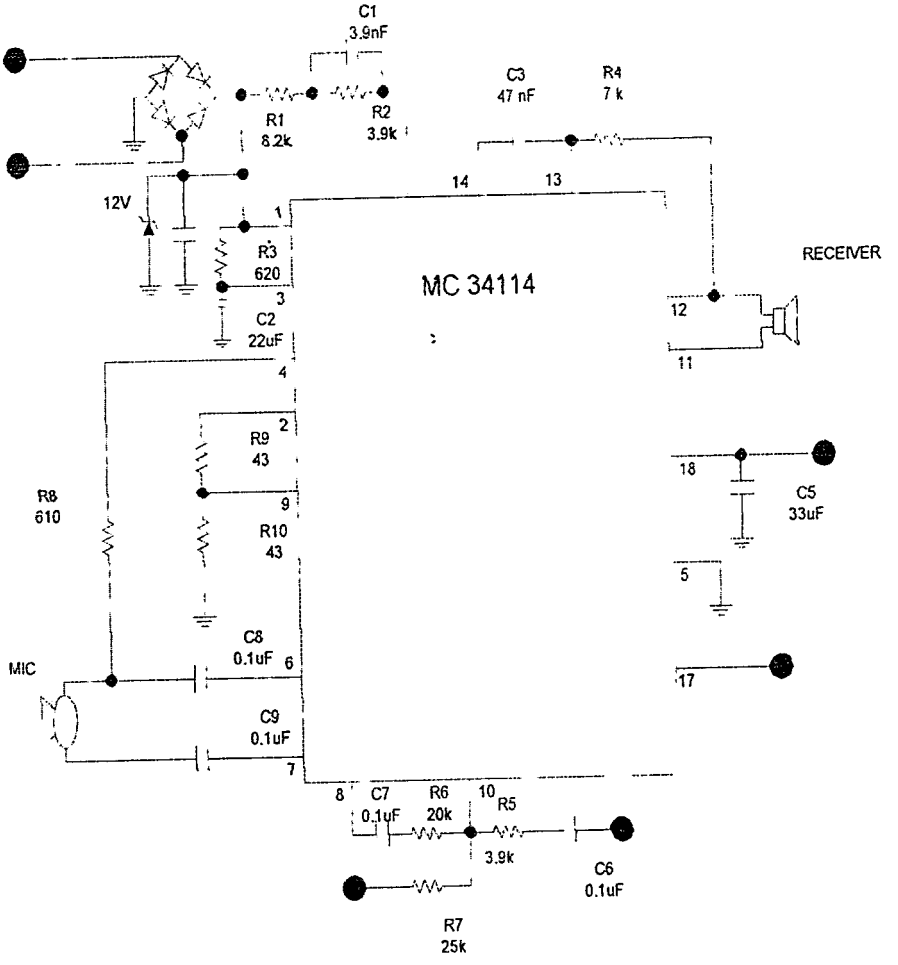
บล็อกไดอะแกรมและวงจรส่วนของโทรศัพท์



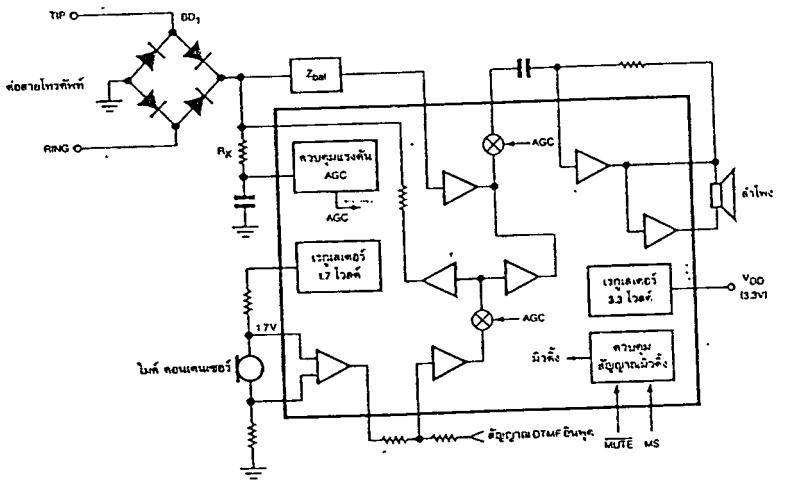
3.1 วงจรส่วนของโทรศัพท์

3.1.1วงจรควบคุมเสียงพูด

วงจรควบคุมเสียงพูดแบบสองทิศทาง (two way speech circuit) เป็นส่วนหนึ่งภายในเครื่องโทรศัพท์ที่จัดว่ามีความสำคัญต่อการทำงานของตัวเครื่องโทรศัพท์ เพราะเป็นส่วนที่จะต้องทำงานเกี่ยวกับสัญญาณเสียงพูดที่เราพูดผ่านไมโครโฟน หรือสัญญาณเสียงที่จะได้ยินจากคู่สนทนาที่จะได้ยินจากคู่สนทนา ข้อสำคัญของการออกแบบวงจรนี้ คือ การแมตชิ่งอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณจากชุมสายกับอิมพีแดนซ์ของวงจร ซึ่งจะต้องมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดเพื่อประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณ



รูปที่ 18 แสดงวงจรควบคุมเสียงพูด



รูปที่ 19 แสดงบล็อกไดอะแกรมภายใน MC 34114

ไอซี MC34114 ประกอบด้วยวงจรควบคุมเสียงพูดที่มีวงจรไฮบริด (วงจรแยกระบบสายส่งจาก 2W เป็น 4W) วงจรเชื่อมต่อกระแสไฟตรงที่ต่ออยู่กับสายทิปกับริง สามารถปรับแต่งอัตราการขยายสัญญาณของด้านส่ง ด้านรับและไซด์โทน (sidetone : การที่เสียงพูดของผู้พูดสามารถได้ยินในส่วนของหูฟัง เพื่อให้ทราบได้ว่าเราควรจะพูดดังค่อยขนาดไหนในการคิดต่อกัน) มีส่วนวงจรชดเชยผลอันเนื่องมาจากความยาวของสายสัญญาณ (line length compensatation) ที่อัตราการขยายเปลี่ยนแปลงตามกระแสในลูป รวมทั้งวงจรขยายไมโครโฟนแบบผลต่างเพื่อที่จะลดการรบกวนเนื่องจากความถี่วิทยุ

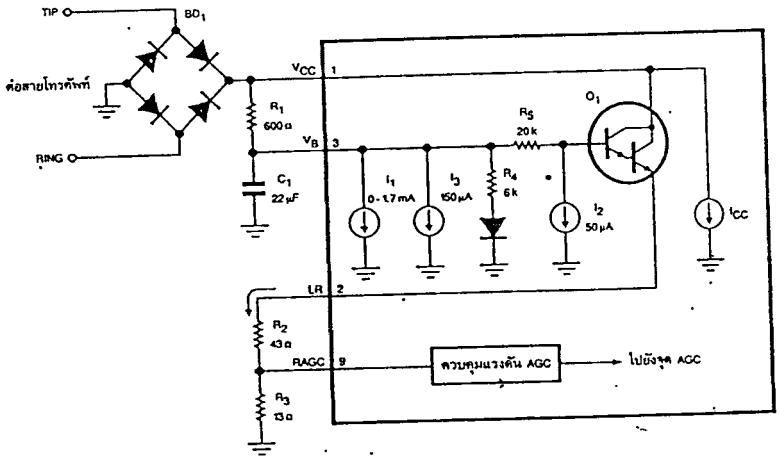
วงจรเชื่อมต่อกับไฟตรง

วงจรเชื่อมต่อกับไฟตรง (ขา 1,2,3) จะกำหนดคุณสมบัติของไฟตรงจากกระแสในลูปจากรูปที่ ระดับแรงดันไฟตรงที่ Vcc ถูกจำกัดโดยการยกระดับแรงดันของขา 1 กับ ขา 2 บวกกับแรงดันตกคร่อม R2 และ R3 ไอซี MC34114 ต้องการ Icc เป็นกระแสไบอัสภายใน ซึ่งปกติมีค่าประมาณ 10 mA เราสามารถที่จะลดกระแส Icc หากจำเป็นโดยการเพิ่มค่า R1

ในระหว่างการพูดและการส่งสัญญาณแบบพัลส์ ตัวกำเนิดกระแส I1 ไม่ทำงานการยกระดับแรงดันจะตกลงไปเนื่องมาจากขา B และ E ของทรานซิสเตอร์ Q1 (ประมาณ 1.4 โวลท์) 1 โวลท์คร่อมความต้านทาน 20 k และแรงดันตกคร่อม R1 ซึ่งทำให้ Vcc จะเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.15

ไปจนถึงประมาณ 1.0 โวลท์ เมื่อกระแสลูปที่มาจากขั้วทิปกับริงมีค่าเกินกว่า Icc จะต้องการ กระแสที่เกินจะไหลผ่าน Q1 ,R2 ,R3 เพื่อให้เป็นไปตามคุณสมบัติของ V-I ตามรูปที่ 20

ในการส่งสัญญาณแบบโทน แหล่งจ่ายกระแส I1 ทำงาน ทำให้มีกระแสไหลผ่าน R1 เพิ่มขึ้น 1.7 mA ยกระดับแรงดันขึ้นอีกประมาณ 1.0 โวลท์ (เมื่อ R1 มีค่า 600 โอห์ม) คุณสมบัติ พิเศษนี้เป็นการประกันได้ว่าเมื่อกระแสลูปมีค่าน้อย จะมีแรงดันที่ Vcc มากพอสำหรับสัญญาณ DTMF และแหล่งจ่ายไฟ VDD จะสามารถจ่ายแรงดันที่พอเพียงไปให้ส่วนเป็นกดสัญญาณภายนอก กระแส Icc ในการทำงานแบบนี้จะเพิ่มขึ้นไปประมาณ 1.3 mA



รูปที่ 20 วงจรสมมูลการอินเตอร์เฟสกับคู่สาย

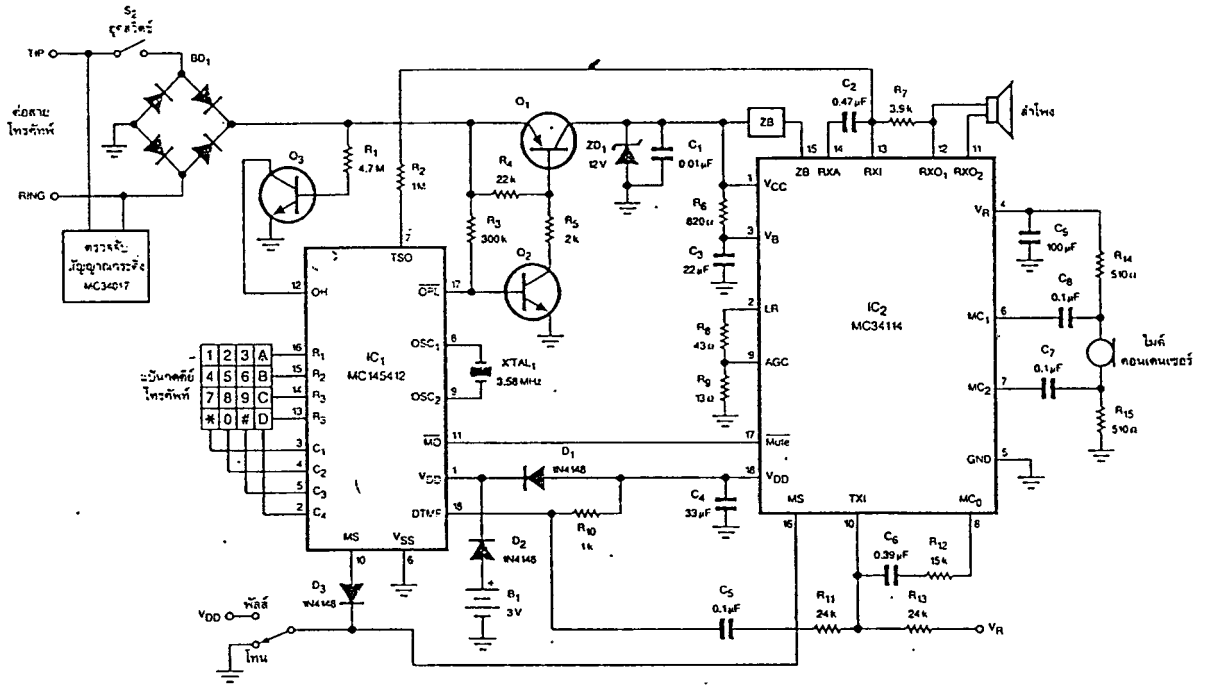
ความต้านทาน R1 ใช้ได้ตั้งแต่ 100 ไปจนถึง 1800 โอห์ม ถ้าใช้ค่าที่มากเกินไป กกระแสที่ไหลไปยัง VB จะมีค่าไม่เพียงพอ แต่ถ้ามีค่าน้อยเกินไป การกรองที่ VB จะไม่เป็นผล ถึงแม้ว่ามีการเพิ่ม C1 ก็ตาม(สัญญาณเสียงจะถูกกรองโดย VB)

แรงดันตกคร่อม R3 เป็นตัวควบคุมการทำงานของวงจร AGC (เป็นส่วนชดเชยผลอันเนื่องมาจากความยาวของสายส่งสัญญาณ) เมื่อความต้านทานที่ตกคร่อม RAGC เพิ่มขึ้นจากประมาณ 0.4 โวลท์เป็น เป็น 1.2 โวลท์ ส่วนควบคุมการทำงานของ AGC จะเปลี่ยนอัตราการขยายส่วนรับและส่งไปประมาณ 6 dB ตามรูปที่

ค่าของ R2 และ R3 สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อมีการเพิ่มเติมวงจรที่ใช้กระแสจากลูป อาทิเช่น ไมโครโปรเซสเซอร์ต่าง ๆ หรือเปลี่ยนแปลงจุดเริ่มต้นการทำงานของ AGC ถ้าหากจะไม่ใช้งาน AGC ควรจะต่อขา 9 เข้ากับกราวน์เพื่อให้ได้อัตราการขยายที่สูงสุด หรือเข้ากับ VR เพื่ออัตราขยายต่ำสุด

วงจรจ่ายแรงดันคงที่

ไอซี MC34114 มีตัวจ่ายแรงดันคงที่ 2 ตัว เพื่อจ่ายแรงดันให้แก่ทั้งวงจรภายในและวงจรภายนอก ตัวจ่านแรงดันคงที่ VR จ่ายแรงดัน 1.7 โวลท์ ที่แรงดันสูงสุด 500 μA ซึ่งผลที่ได้นี้ จะนำไปใช้ไบอัสขา 10 (TXI) และไบอัสไมโครโฟน โดยปกติ VR มีค่าน้อยกว่า Vcc ประมาณ 0.3 โวลท์ เมื่อ Vcc มีค่าน้อยกว่า 2.0 โวลท์ เมื่อ MC 34114 อยู่ในระหว่างการส่งสัญญาณหมุน วงจรขยายไมโครโฟนจะถูกลดกำลังลงการส่งลงไปประมาณ 70 dB (300 – 4000 kHz) ซึ่งเพียงพอในการหยุดทำงานของไมโครโฟนระดับแรงดันไฟตรงที่ MCO มีค่าประมาณ 80 mV เมื่อถูกลดกำลังส่งลง



รูปที่ 21 แสดงบล็อกไดอะแกรมและอุปกรณ์ภายนอกของ MC 34114

วงจรในการส่งสัญญาณ

วงจรที่ใช้ในการส่งสัญญาณออกไปมีอุปกรณ์ดังรูป 3.16 แรงดันเอาท์พุทที่ MCO ถูกเปลี่ยนไปเป็นกระแสเข้า TXI โดย C5,R6 และความต้านทานภายในของ TXI 1 kΩ A1 และ A2 คือ อุปกรณ์ขยายกระแสที่มีอัตราขยายรวมกันเป็น 100 AGC ที่เข้ามามีค่าเป็น 1 เมื่อมีกระแสลูปน้อย และลดลงเป็น 0.5 เมื่อกระแสลูปมีค่าเพิ่มขึ้นดังนั้นจะทำให้อัตราการขยายจาก TXI ไปจนถึง Vcc มี

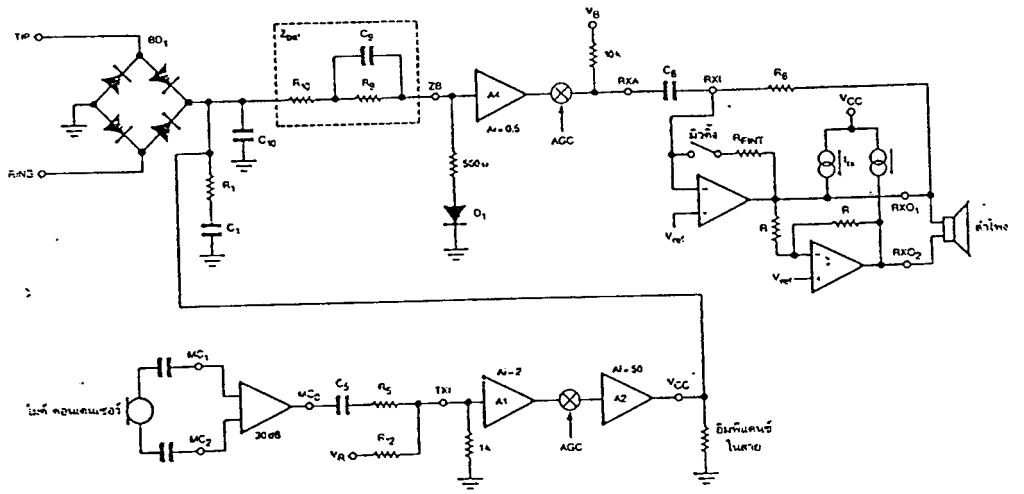
ค่า ตั้งแต่ 100 ถึง 50 เป็นผลทำให้กระแสที่ Vcc กระทำต่อ R1 และอิมพีแดนซ์ของสายส่ง(ประมาณ 600 Ω)ก่อให้เกิดแรงดันที่ Vcc และเช่นกันที่ขั้วทิปกับ

ริง ระดับแรงดันระหว่างขา MC1-MC2 และขั้วทิปกับริงมีค่าตามสมการ

GTX = (Am * 100 * AGC * R1/ZLINE)/(R6 + 1000)

เมื่อ Am เป็นอัตราการขยายของอุปกรณ์ขยายไมโครโฟน (31.1 V/v) ที่กระแสลูปค่าน้อยๆ GTX มีค่าเป็น 84 V/V (32.5 dB) และมีค่าเป็น 42 V/V (32.5 dB) ที่กระแสลูปค่ามาก ๆ

สัญญาณที่ Vcc กลับเฟสกันกับสัญญาณที่ TXI แต่มีเฟสเดียวกันกับสัญญาณที่ MC1



รูปที่ 22 แสดงลักษณะของสัญญาณทั้งด้านส่งและรับ

วงจรในการรับสัญญาณ

วงจรที่ใช้รับสัญญาณเข้ามามีอุปกาณ์ดังรูปที่ 3.15 R1 ซึ่งโดยปกติมีค่า 600 Ω จะเป็นตัวกำหนดจุดสิ้นสุดของสายส่ง (เป็น return loss) ของสัญญาณที่ส่งมาจากขั้วทิปและริงสัญญาณที่ได้รับจะสร้างกระแสสลับผ่าน ZB Network (Balanced Impedance Network) และ ความต้านทาน 500 Ω ที่ขา ZB A4 จะลดกระแสลงครึ่งหนึ่งแล้วส่งต่อไปให้ AGC แล้วผ่าน CB ไปยัง RXi (จุดรวมอัตราขยาย ซึ่งถ้า C8 มีค่ามาก RXA จะเปรียบเป็นกราวน์เสมือนและไม่มีกระแสไฟสลับไหลผ่านความต้านทานผ่านใน 10 kΩ แรงดันที่ RXO1 ถูกกำหนดโดยกระแสจาก C8 และความต้านทานป้อนกลับ

R8 ออปแอมป์ตัวที่ 2 (ที่ขา RXO2) มีการกำหนดไว้แล้วว่าให้มีการขยายแบบกลับขั้วและมีอัตราการขยายเป็น 1 อัตราการขยายแรงดันจากขั้วริปกับริงไปยัง RXO1-RXO2 มีค่าตามสมการต่อไปนี้

$$GRX = (R8 * AGC) / (ZB + 500)$$

เมื่อ $ZB = R10 + R9 // C9 \approx R10 + R9$

เมื่อ ใช้ค่าของอุปกรณ์ตามรูปที่ 12 อัตราการขยายจะมีค่าประมาณ 0.495 V/V (-6.1 dB) เมื่อกระแสในลูปมีค่าน้อย และอัตราการขยายกลายเป็น 0.25 V/V (-12 dB) เมื่อมีกระแสในลูปสูง

เมื่อ MC 34114 อยู่ในระหว่างการส่งสัญญาณเลขหมายออก (MUTE มีค่าเป็น 0) อัตราการขยายของวงจรภาครับจะลดลง ด้วยเพราะมีการต่อ RFINT ที่มีค่า 1.0 $k\Omega$ ขนานกับ R8 อัตราการลดลงของสัญญาณจะมีค่าดังสมการต่อไปนี้

$$GRXM = 20 * Log\{(R8 + Rfint) / RFINT\}$$

เมื่อขา MUTE กลับไปสู่สภาวะ 1 อีกครั้ง จะมีการหน่วงเวลาประมาณ 11 mSEC ก่อนที่ความต้านทานจะถูกทำให้กลับไปเป็นสภาวะเดิม ดพราะเหตุว่า จะได้ป้องกันสัญญาณทรานเซียนส์อันเนื่องมาจากการส่งสัญญาณแบบพัลซ์ อันเป็นเหตุให้เกิดเสียงคลิ๊กขึ้นที่หูฟัง

แรงดันไบอัสที่ขา RXI,RXO1 และ RXO2 มีค่าประมาณ 0.65 โวลท์ กระแสไบอัสที่ขา RXI มีค่าประมาณ 50 nA แรงดันสูงสุดที่ RXO1 และ RXO2 อยู่ในเทอมของความต้านทานของหูฟังและกระแส Irx โดยค่านี้หาได้จากสมการ $Irx = (VR * 50 * AGC) / (R12 + 1000)$

วงขจัดไซด์โทน

การขจัดไซด์โทนสามารถทำได้โดยการนำเอาตัวขยายกระแส A3 มาสร้างสัญญาณที่คล้ายคลึงกับสัญญาณทางด้านส่ง แล้วนำมาขจัดไซด์โทนที่ผ่านเข้ามาทาง ZB และ A4 เพื่อที่จะได้การขจัดสัญญาณที่สมบูรณ์ (ไม่มีกระแสสลับออกมาทาง RXA) จำเป็นที่จะต้องให้ ZB มีค่าตามในสมการ

$$ZB = (40 * R1 // ZLINE) - 500$$

ซึ่ง ZB เป็นวงจรที่ประกอบขึ้นด้วย R9, R10 และ C9 และ ZB เป็นความต้านทานทาง AC ของสายส่ง อุปกรณ์ที่มีปฏิกริยาตอบสนองต่อความต้านทานของสายส่งสามารถชดเชยได้ด้วยการใช้วงจร ZB ที่มีปฏิกริยาตอบสนองอย่างเปรียบเทียบกันได้ ในรูปที่ Cg จะเป็นตัวชดเชยการเลื่อนของเฟสอันเนื่องมาจากสายส่ง

การเชื่อมต่อกันของสัญญาณลอจิก

ขาอินพุทลอจิก 2 ขาของ MC 34114 ถูกใช้ในการเปลี่ยนแปลงโหมดการทำงานดังตารางที่ต่อไปนี้

ค่าของลอจิก 1 ของขา MUTE มีค่าระหว่าง VDD-0.5 จนถึง VDD ส่วนค่าลอจิก 0 ของขา MUTE มีค่าระหว่าง 0-1 โวลท์ การเปลี่ยนแปลงลอจิกต้องมากกว่าค่าเทรชโชล 2-3 โวลท์เมื่อ MUTE เปลี่ยนค่าไปเป็น 0 หรือขา MS เกิดการเปลี่ยนแปลงลอจิก การเปลี่ยนแปลงภายในวงจรจะเกิดขึ้นภายใน 10 μS แต่ถ้าขา MUTE เปลี่ยนไปเป็นค่า 1 จะเปลี่ยนหลังจากการหน่วง 11 mS เนื่องจากมีการป้องกันสัญญาณทรานเซียนส์ที่เกิดขึ้นจากสัญญาณพัลซ์อันจะทำให้ได้ยินเสียงคลิ๊กที่หูฟัง

ขา MS จะทำงานเมื่อขา MUTE มีลอจิก 0 หน้าที่ที่แท้จริงของ MS ก็คือ การให้ค่าแรงดันแก่ VCC และ LR ในการส่งสัญญาณแบบโทน ค่าลอจิก 0 มีค่าระหว่าง 0-0.3 โวลท์ ค่าลอจิก 1 มีค่าระหว่าง 2-VDD โวลท์ ค่าเทรชโชลมีค่า 0.75 โวลท์ เมื่อไม่มีการเลือกการทำงานระหว่างการส่งแบบพัลส์หรือโทน ให้ต่อลงกราวน์หรือ VDD ห้ามไม่ให้ปล่อยลอยไว้เป็นอันขาด

เมื่ออยู่ในสภาวะ ON Hook และมีแรงดันไม่เกิน 6 โวลท์ต่ออยู่กับ MUTE กระแสรั่วไหล 0.02 μA จะไหลถ้าขา MUTE และ VDD แรงดันเท่ากัน แต่ถ้าแรงดันมีค่าไม่เท่ากันแล้ว กระแสจะไหลผ่านตัวต้านทานภายในและไดโอด หากมีแหล่งจ่ายเพื่อคงหน่วยความจำของวงจรแป้นกดที่ VDD ขา MUTE จะต้องต่ออยู่กับ VDD หรือ กราวน์ มิฉะนั้นแล้ว กระแส 100-200 μA จะไหลผ่าน VDD และออกทางขา MUTE

เมื่อ VCC มีค่าเท่ากับ 0 และมีแรงดันไม่เกิน 6 โวลท์ต่ออยู่ที่ขา MS จะมีกระแสรั่วไหลเกิดขึ้น 0.01 μA ตลอดเวลาที่ขา MUTE ต่อลงกราวน์จะมีความต้านทาน 3.5 kΩ เกิดขึ้นที่ระหว่าง MS และ MUTE

หาก VCC < 1.5 โวลท์ ขา MUTE จะไม่ทำงาน เป็นเหตุให้ MC34114 อยู่ในการทำงานโหมดสนทนา

Mute	MS	Mode
High	-	Speech
Low	High	Pulse Dialing
Low	Low	Tone Dialing

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหมดการทำงานกับลอจิกของ Mute และ MS

ค่าของลอจิก 1 ของขา MUTE มีค่าระหว่าง VDD - 0.5 จนถึง VDD ส่วนค่าลอจิก 0 ของขา MUTE มีค่าระหว่าง 0 – 1 โวลท์การเปลี่ยนแปลงลอจิกต้องมากกว่าค่าเทรชโชล 2.3 โวลท์เมื่อขา MUTE เปลี่ยนไปเป็นค่า 0 หรือขา MS เกิดการเปลี่ยนแปลงลอจิก การเปลี่ยนแปลงภายในวงจรจะ

เกิดขึ้นภายใน 10 μ S แต่ถ้าขา MUTE เปลี่ยนไปเป็นค่า 1 จะเปลี่ยนแปลงหลังจากมีการหน่วง 11 mS เนื่องจากมีการป้องกันสัญญาณทรานเซียนส์ที่เกิดขึ้นจากสัญญาณพัลส์อันจะทำให้ได้ยินเสียงคลิ๊กที่หูฟัง

ขา MS จะทำงานเมื่อขา MUTE มีลอจิก 0 หน้าที่ที่แท้จริงของ MS ก็คือ การให้ค่าแรงดัน เลเวลชิฟแก่ VCC และ LR ในการส่งสัญญาณแบบโทน ค่อลอจิก 0 มีค่าระหว่าง 0 – 0.3 โวลท์ ค่าลอจิก 1 มีค่าระหว่าง 2-VDD โวลท์ ค่าเทรชโชลมีค่า 0.75 โวลท์ เมื่อไม่มีการเลือกการทำงานระหว่างการส่งแบบพัลส์หรือโทน ให้ต่อลงกราวน์หรือ VDD ห้ามไม่ให้ปล่อยลอยไว้เป็นอันขาด

เมื่ออยู่ในสภาวะออนฮุกและมีแรงดันไม่เกิน 6 โวลท์ต่ออยู่กับ MUTE กระแสรั่วไหล 0.02 μA จะไหลถ้าขา MUTE และ VDD แรงดันเท่ากัน แต่ถ้าแรงดันมีค่าไม่ท่ากันแล้ว กระแสจะไหลผ่านตัวต้านทานภายในและไดโอด หากมีแหล่งจ่ายเพื่อคงหน่วยความจำของวงจรแป้นกดต่ออยู่และปรากฏว่ามีแรงดันของแหล่งจ่ายไฟเพื่อคงหน่วยความจำของวงจรแป้นกดที่ VDD ขา MUTE จะต้องต่ออยู่กับ VDD หรือกราวน์ มิฉะนั้นแล้ว กระแส 100 – 200 μA จะไหลผ่าน VDD และออกทางขา MUTE

เมื่อ VCC มีค่าเท่ากับ 0 และมีแรงดันไม่เกิน 6 โวลท์ ต่ออยู่ที่ขา MS จะมีกระแสรั่วไหลเกิดขึ้น 0.01μA ตลอดเวลาที่ขา MUTE ปล่อยลอยหรือต่อกับ VDD หากขา MUTE ต่อลงกราวน์จะมีความท้านทาน 3.5 kΩ เกิดขึ้นที่ระหว่าง MS และ MUTE

หาก VCC < 1.5 โวลท์ ขา MUTE จะไม่ทำงาน เป็นเหตุให้ MC34114 อยู่ในการทำงานโหมดสนทนา

3.1.2 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลซ์

การต่อขาต่าง ๆ ของ ไอซี TP50981 (ภาคกำเนิดสัญญาณพัลซ์)

- OSC in, OSC out (ขา 7 และ ขา 8)

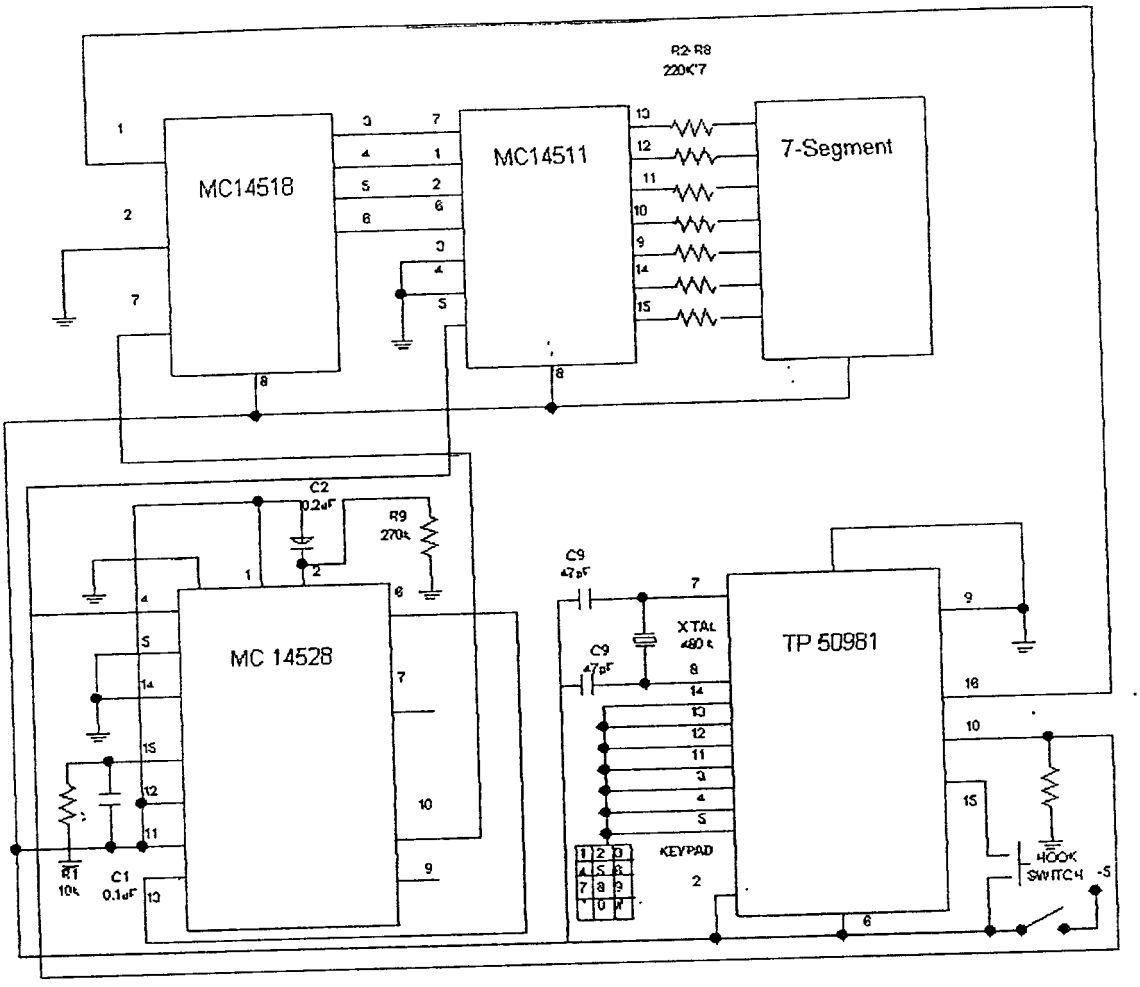
วงจรออสซิลเลเตอร์ภายในชิปต้องการ คริสตอลขนาด 480 KHz เพื่อการอ้างอิงความถี่ คริสตัลถูกไบอัสโดยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุภายใน

- Hookswitch Test (ขา 15)

เป็นขาที่ตรวจสอบว่าอยู่ในสภาวะ ออนฮุก หรือ ออฟฮุก

- Vref ,Vss (ขา 2 และ ขา 6)

ต่อเข้ากับไฟ –5 V



รูปที่ 23 วงจรกำเนิดสัญาณส่งแบบพัลส์และและวงจรแสดงผล

- Output Pulse (ขา 16)

กำเนิดสัญญาณพัลซ์ 10 pps มีอัตราการเปิดปิดเป็น 60/40

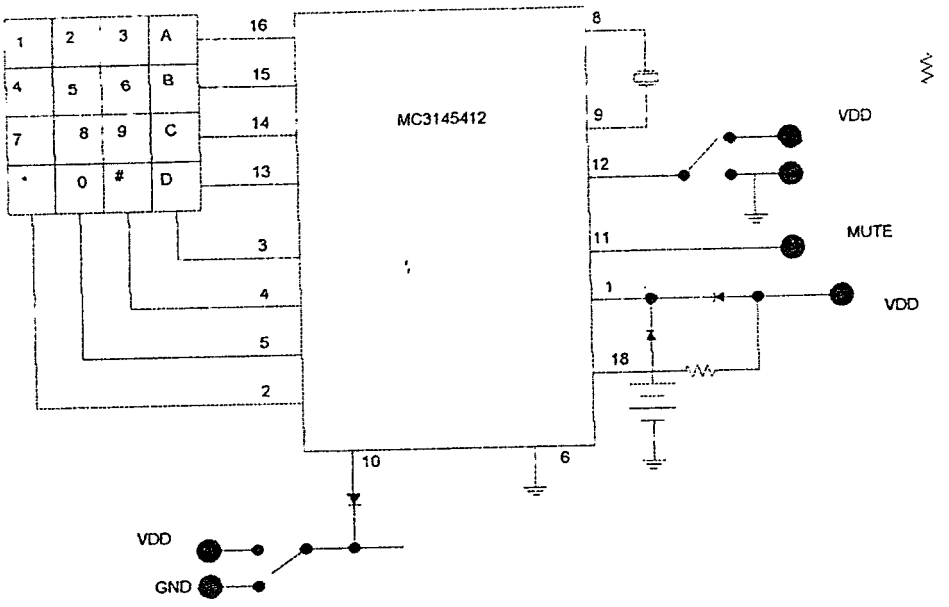
- Mute Output (ขา10)

ขานี้จะเปลี่ยนสภาวะเป็น 0 เมื่อ ขา Output Pulse ทำงาน

- Keyboard Input(ขา 3,4,5,11,12,13,14)

การกดปุ่มที่ใช้ คือการที่แถวหนึ่งแถวถูกต่อกับแนวหนึ่งแนวเพื่อส่งสัญญาณออกไป

3.1.3 วงจรกำเนิดสัญญาณ DTMF



รูปที่ 24 วงจรส่งสัญญาณแบบความถี่คู่

การต่อขาต่าง ๆ ของ ไอซี TP 5098 (ภาคกำเนิดสัญญาณความถี่ DTMF)

- OSC in, OSC out (ขา 8 และ ขา 9)

วงจรออสซิลเลเตอร์ภายในชิปต้องการ คริสตอลขนาด 3.579545 MHz เพื่อการอ้างอิงความถี่ คริสถูกไบอัสด้วยโดยความต้านทานและตัวเก็บประจุภายใน

- DTMF out (ขา 16)

ขา DTMF out จะกำเนิดสัญญาณ DTMF ตามแถวและแนวของ key pad ที่ถูกกด

- Keyboard Input(ขา 3,4,5,11,12,13,14)

การกดปุ่มที่ใช้ คือการที่แถวหนึ่งแถวถูกต่อกับแนวหนึ่งแนวเพื่อส่งสัญญาณออกไป

- VDD (ขา1)

กระแสไฟตรงจะถูกป้อนเข้ามายังขานี้ มีค่าตั้งแต่1.7-5.5

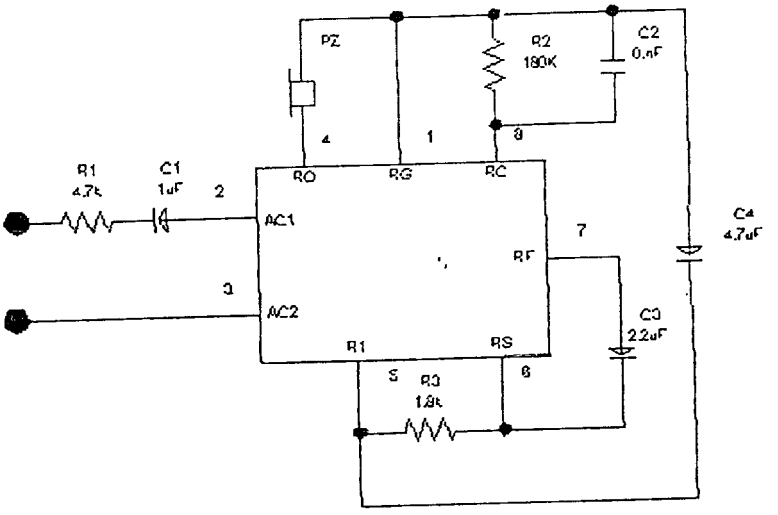
- VSS (ขา 6และ ขา15)

จะถูกจ่ายไฟ –5 โวลท์

- Mute output (ขา10)

ขานี้จะเปลี่ยนเป็น 0 เมื่อ หมุนเบอร์จากหน่วยความจำในโหมด DTMF

3.1.4 วงจรตรวจจับสัญญาณกระดิ่ง



รูปที่ 25 วงจรตรวจจับสัญญาณกระดิ่ง

เป็นส่วนที่ใช้สำหรับตรวจจับสัญญาณกระดิ่งที่มาจากชุมสายโทรศัพท์ ในขณะที่ผู้โทรเข้ามาอาศัยหลักการรพื้นฐานของสัญญาณโทรศัพท์ คือ ในขณะที่สายว่าง คู่สายโทรศัพท์จะมีแรงดันประมาณ 48 โวลต์ ซึ่งมาจากชุมสายโทรศัพท์ และเมื่อมีผู้เรียกเลขหมายเข้ามาทางชุมสายจะจ่ายสัญญาณกระดิ่งมาเป็นแรงดันกระแสสลับที่มีแรงดันประมาณ 100 Vp-p ส่วนตรวจจับสัญญาณจะให้พัลส์ออกมาเมื่อมีกระดิ่งดังออกมา

หลักการทำงานของ IC 34012 และการออกแบบวงจร

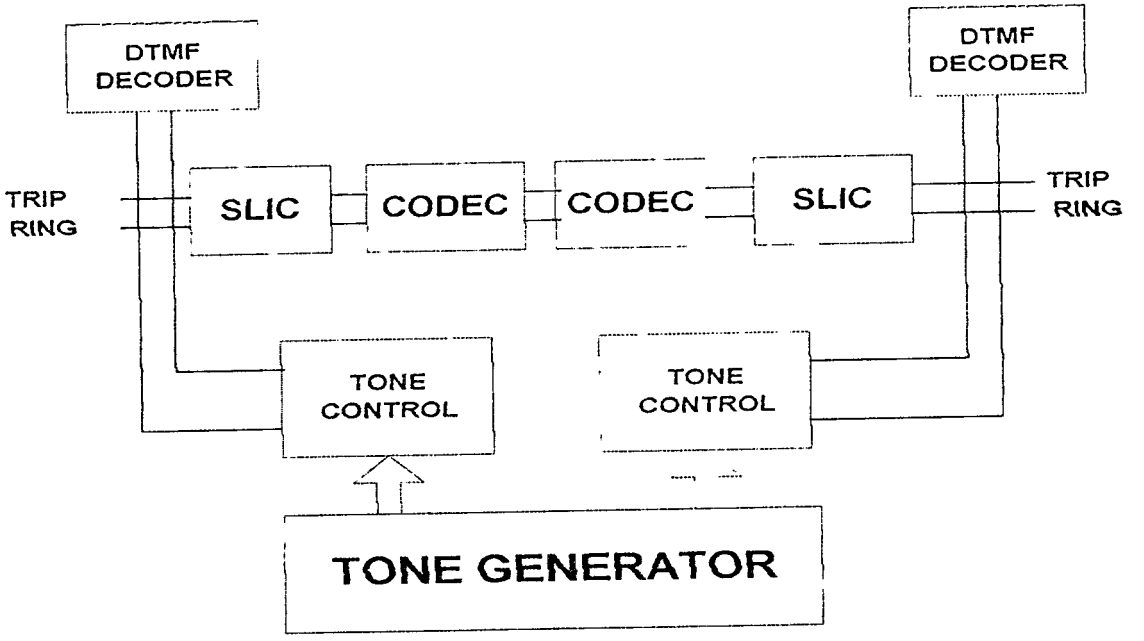
สัญญาณเรียกจากคู่สายโทรศัพท์ภายนอก ซึ่งมีลักษณะเป็นสัญญาณไฟฟ้าสลับขนาด 100 โวลต์ จะถูกนำมาผ่านวงจรเรียกว่า Full Wave Diode Bridge ทางขา AC1 และ AC2 ของ IC MC 34012 โดยมี R1 ทำหน้าที่ควบคุมอินพุทอิมพีแดนซ์และจำกัดกระแสทรานเซียนต์จากสายโทรศัพท์ และ C1 ทำหน้าที่ควบคุมอินพุทอิมพีแดนซ์ที่มีความถี่ต่ำ IC นี้ได้ไฟเลี้ยงมาจากการเรคติไฟร์สัญญาณ AC ที่ป้อนเข้ามาทาง AC1 และ AC2 และจะทำให้ไฟนี้ไปทำให้วงจร Tone Generator (อยู่ภายใน IC) ซึ่งประกอบด้วยวงจร Relaxation Oscillator วงจรหารความถี่ (Tone frequency Devider) ทำงานและวงจร Reiaxation Time จะทำให้กำเนิดความถี่ fo ที่ถูกกำหนดโดย R2 และ C2 ที่ต่อเข้าที่ขา R2 โดยจะต้องใช้ค่าตรงกับกับหมายเลขตามหลังเบอร์ IC ถ้าเป็นขีด 1 ก็ใช้ค่า 0.001 uF ถ้าเป็นขีด 2 ก็ใช้ ถ้าเป็นขีด 2 ก็ใช้ 500 uF และถ้าเป็นขีด 3 ก็ใช้ 0.002 uF เพื่อให้ไดเสียงไม่เพี้ยน โดย fo จะมีค่าตั้งแต่ 1 KHz ถึง 10 KHz ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้อุปกรณ์

สำหรับความต้านทาน R3 ในวงจรนี้จะเป็นตัวกำหนดตัวแอมป์พิจูดของสัญญาณ Ringing ซึ่งเป็นสัญญาณเอาท์พุทออกที่ Ro โดยจะเริ่มจากสัญญาณที่เรคติไฟร์จากบริดจ์ไดโอดที่ขา AC1

และ AC2 จะทำให้เกิดค่ากระแสที่ไหลผ่าน R3 จะถูกกรองโดย C3 ณ จุดอินพุทที่เข้าสู่วงจร Threshold เมื่อโวลต์เตจตกคร่อม C3 มีค่าเกิน 1.7 โวลท์ จะทำให้(Thershold comparator) enable สัญญาณ Tone Ringger ออกมา (ขาLine Transient ที่เกิดจากการหมุนโทรศัพท์ที่ชาร์จ C3 จะยังมีค่าไม่มากพอที่จะทำให้เกิดสัญญาณ Tone Gen ออกมา)ส่วน C4 จะทำหน้าที่กรองไปเลี้ยงให้วงจร Tone Generator สัญญาณเอาท์พุทที่ขา Ro เพื่อออกสู่ลำโพงต่อไป

3.2. ส่วนของชุมสายโทรศัพท์

3.2.1 ภาคควบคุมการทำงาน (Contro Unit)



รูปที่ 26 โฟวล์ชาร์ทแสดงระบบการทำงานทั้งหมด

อธิบายการทำงาน

เมื่อเครื่องโทรศัพท์เครื่องใดเครื่องหนึ่งมีการยกหู โดยมี IC เบอร์ MC33120P ตรวจจับสภาวะการทำงานแล้วส่งสัญญาณมาที่ภาค Tone Control เพื่อต่อสัญญาณ Dial Tone ออกไป และถ้ามีการกดเลขหมายปลายทางภาค Tone Control นี้จะเป็นตัวตัดต่อสัญญาณต่าง ๆ ออกไปยังเครื่องต้นทางและเครื่องปลายทาง เช่น

ถ้าสายว่างจะส่งสัญญาณ Ringback Tone มายังเครื่องต้นทาง และส่งสัญญาณ Ringing Tone ไปยังเครื่องปลายทาง

ถ้าสายไม่ว่างจะส่งสัญญาณ Busy Tone มายังเครื่องต้นทาง

ถ้าคู่สายชำรุดหรือยังไม่เปิดใช้บริการก็จะส่งสัญญาณ Error Tone มายังเครื่องต้นทาง

หน้าที่ ๆ สำคัญอีกอย่างหนึ่งของ IC เบอร์ MC33120 คือ ทำหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงเครื่องโทรศัพท์ ซึ่งขณะไม่มีการยกหู จะมีแรงดันประมาณ 48 โวลท์ และถ้ามีการยกหูจะมีแรงดันประมาณ 9 โวลท์

การตัดต่อคู่สายจะใช้ IC เบอร์ MT8870 เป็นต่อถอดรหัสของสัญญาณ DTMF มาเป็นรหัส BCD 4 bit แล้วใช้ IC 7442 ถอดรหัสเป็นเลขฐาน 10 โดยให้เป็นช่องสัญญาณแต่ละช่อง

ถ้าเกิดการสนทนากันเกิดขึ้น สัญญาณจะผ่านเข้ามาทาง IC เบอร์ MC33120 ซึ่งมีวงจร 4 – 2 Wire เป็นตัวแปลงช่องสัญญาณแล้วส่งมาที่ IC เบอร์ MC145557 ซึ่งเป็น IC Codec ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากอนาล็อก (Analog) ไปเป็นสัญญาณดิจิตอล (Digital) และเข้ารหัสเป็นแบบ Pulse Code Modulation แล้วใช้ IC Codec อีกตัวหนึ่งแปลงสัญญาณจากดิจิตอล (Digital) กลับมาเป็นอนาล็อก

(Analog) แล้วส่งสัญญาณไปยัง IC Subscriber Loop Interface Circuit ต่อสัญญาณไปยังเครื่องโทรศัพท์ปลายทาง

3.2.2 ภาคกำเนิดสัญญาณโทรศัพท์ (Tone Generator)

ภาคกำเนิดสัญญาณโทรศัพท์

ภายในชุมสายโทรศัพท์จะประกอบด้วยสัญญาณที่ติดต่อกับผู้ใช้โทรศัพท์อยู่ 5 แบบ ซึ่งประกอบด้วย

1. **สัญญาณให้หมุน (DIAL TONE)**
   บอกถึงสถานะพร้อมให้ผู้ใช้สามารถกดเลขหมายได้สัญญาณนี้จะมีความถี่ประมาณ 400-425 Hz โดยที่สัญญาณให้หมุนนี้จะเป็นสัญญาณต่อเนื่องที่มีค่าคาบเวลาที่ขอบขาขึ้นและขอบขาลง (t on AND t off) มีค่าเท่ากัน
2. **สัญญาณเรียกกลับ (RINGBACK TONE)**
   จะเป็นตัวบอกให้ผู้ใช้ทราบว่าขณะนี้สามารถหต่อโทรศัพท์ถึงผู้ถูกเรียกยังไม่รับสายสัญญาณนี้จะมีความถี่ 400-425 Hz และมีช่วงเวลาติด 1 วินาที ดับ 3 วินาที สลับกันไป
3. **สัญญาณสายไม่ว่าง (BUSY TONE)**

เป็นสัญญาณบ่งบอกว่าผู้เรียกใช้โทรศัพท์อยู่ สัญญาณนี้จะมีความถี่ 400-425 Hz และมีช่วงเวลาติด 0.5 วินาที และ ดับ 0.5 วินาที

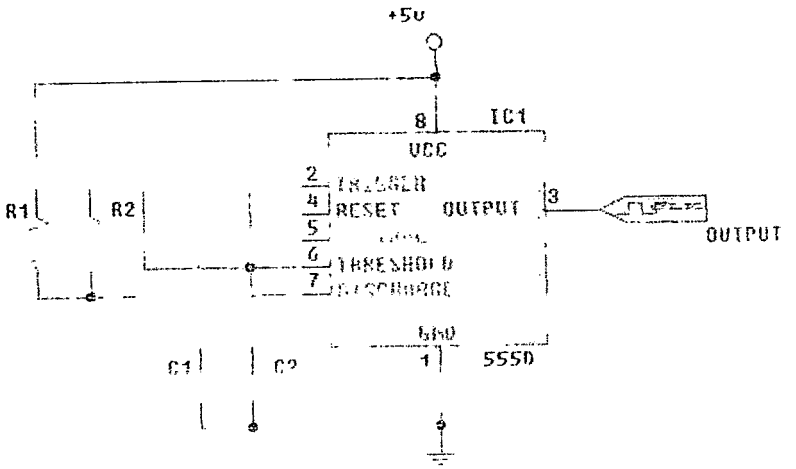
4. **สัญญาณเรียก (RINGING TONE)**
เป็นสัญญาณที่ส่งไปยังกระดิ่งของฝ่ายผู้รับเมื่อมีการเรียกขึ้นมา สัญญาณนี้จะมีความถี่ 25 Hz และมีลักษณะ ติด 1 วินาทีและดับ 3 วินาที และมีระดับสัญญาณ 80-120 โวลท์

5. **สัญญาณบอกความผิดพลาด (ERROR TONE)**
เป็นสัญญาณที่ใช้แก่ผู้เรียกว่าเบอร์ที่กำลังถูกเรียกอยู่ในขณะนั้นเกิดความผิดปกติอยู่ เช่น กำลังเสียอยู่หรือเป็นเบอร์ที่ยังไม่ทำการเปิดใช้ สัญญาณมีลักษณะเป็นพัลซ์เล็ก ๆ 3 ลูก แล้วจึงดับยาวซึ่งเวลาช่วงที่มีพัลซ์เล็ก ๆ และช่วงที่ดับจะมีขนาดเท่ากัน

การออกแบบอาศัยวงจรพื้นฐานและสูตรการคำนวณของ IC TIMER เบอร์ LF 555 ซึ่งเป็นวงจร Astable Multivibrator โดยมี R1 R2 C1 เป็นตัวกำหนดขนาดของความถี่และค่า Ton, T 'off และจะมีเอาท์พุทออกมาที่ขา 3 ของ IC TIMER เบอร์ 555

สูตรการคำนวณ

f	=	1.44 / ((R1+2R2)*C1)	สมการที่ 1
T on	=	0.693*(R1+R2)*C1	สมการที่ 2
T off	=	0.693*R2*C1	สมการที่ 3



รูปที่ 27 แสดงวงจรพื้นฐานของวงจร **Astable Multivibrator**

การคำนวณ

1. ความถี่ของสัญญาณให้หมุน (DIAL TONE)

f = 1.44 / ((1000+(2*3100)) * 0.47u)

= 425053 Hz

2. ฐานเวลาของสัญญาณไม่ว่าง (BUSY TONE)

T on = 0.693*(2000+73000) * 10u

= 0.519 s

T off = 0.693*73000* 10u

= 0.505 s

3. ฐานเวลาของสัญญาณเรียกกลับ (RINGBACK TONE)

T on = 0.693*(15000+45000)* 100u

= 40158 s

T off = 0.693*15000* 100 u

= 1.04 s

4. ความถี่ของสัญญาณเรียก (RINGING TONE)

f = 1.44/((75000+(2*250000))* 0.1 u)

= 25.04 Hz

5. ความถี่และฐานเวลาของสัญญาณบอกความผิดพลาด (ERROR TONE)

f = 1.44/((10000+(2*47000))*4.7 u)

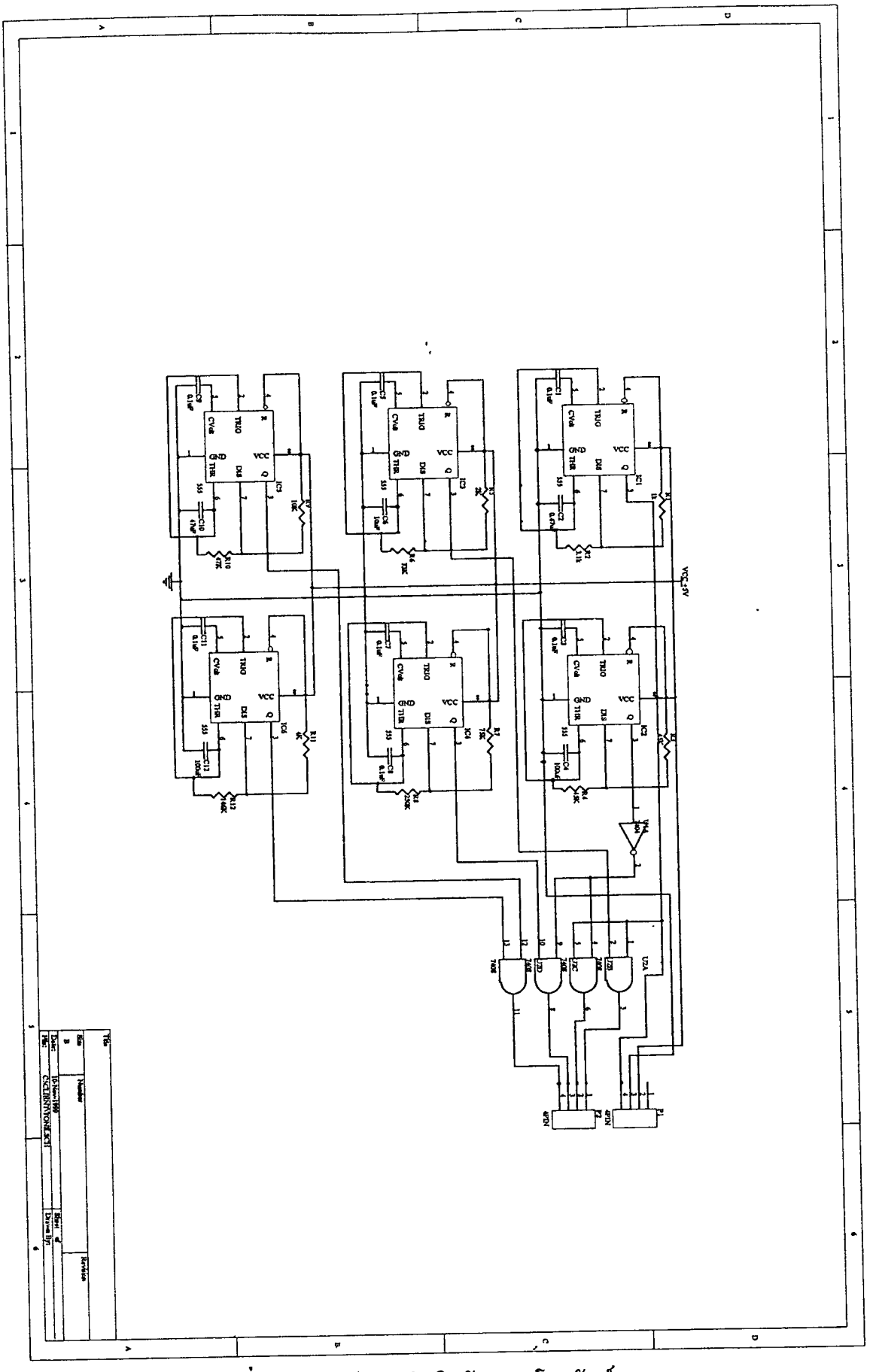
= 3 Hz

T on = 0.693*(4000+146000)*100 u

= 1.074 s

T off = 0.693*146000*100 u

= 1.039 s



รูปที่ 28 แสดงรูปวงจรกำเนิดสัญญาณโทรศัพท์

3. ชุดถอดรหัสหมายเลขโทรศัพท์ (DTMF DECODER)

ในขณะที่มีการกดหมายเลขโทรศัพท์ทางชุมสายโทรศัพท์ CENTRAL OFFICE) จะมีชุดถอดรหัสหมายเลขโทรศัพท์เพื่อจะได้ทราบว่าผู้เรียกต้องการเรียกหมายเลขใด ชุมสายจะได้ทำการต่อคู่สายได้ถูกต้อง

ไอซี MT8870 เป็นไอซีที่ใช้แปลงความถี่โทรศัพท์ให้เป็นเลขฐาน 2 ขนาด 4 บิทร่วมกับตัวกำเนิดความถี่ (XTAL)

ภายใน MT8870 จะประกอบไปด้วย 5 ส่วน

1. ภาคกรองสัญญาณความถี่ (FILTER)

ในส่วนนี้จะแยกสัญญาณ DTMF ที่เข้าออกมาเป็น 2 ชุดคือช่วงความถี่สูงและช่วงความถี่ต่ำ โดยใช้วงจรกรองความถี่แบบ BAND-PASS อันดับ 6 ชนิด สวิทซ์คาปาซิสเตอร์ ซึ่งความถี่แยกออกมาจะมีอยู่ 2 ช่วง ช่วงความถี่สูงและความถี่ต่ำ

2. ภาคถอดรหัส (DECODER)

ความถี่ DTMF ที่ถูกกรองเรียบร้อยแล้วจะผ่านเข้าวงจรถอดรหัสความถี่ออกเป็นตัวเลขโดยใช้เทคนิคการนับแบบดิจิตอล และมีการตรวจสอบความถี่มาตรฐานหรือไม่ เพื่อป้องกันความถี่อื่นเข้ามาผสมหรือตรวจสอบว่าถูกต้อง สัญญาณที่ขา EST (EARLY STEERING) ก็จะแอคทีฟสำหรับค่าที่ถอดได้จากความถี่ต่าง ๆ

3. ภาคตรวจสอบสัญญาณ (STEERING)

ก่อนจะมีการถอดรหัสความถี่ออกเป็นเอาท์พุท จะมีการตรวจสอบช่วงความถี่ที่เข้ามาว่ามีระยะเวลาตามที่กำหนดหรือไม่ โดยสังเกตจากระยะเวลาการกดปุ่มโทรศัพท์ ซึ่งต้องมีการกดปุ่มให้มีความถี่ออกมาเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสม มิฉะนั้นวงจรส่วนนี้จะไม่รับโดยหถือสัญญาณนั้นไม่ถูกต้องส่วนช่วงเวลายาวเท่าใดสามารถตั้งได้โดยการใช้ R และ C ต่อภายนอกที่ขา Est จะเป็น HIGH นานใกล้เคียงกับระยะเวลาที่ความถี่ DTMF เข้ามา

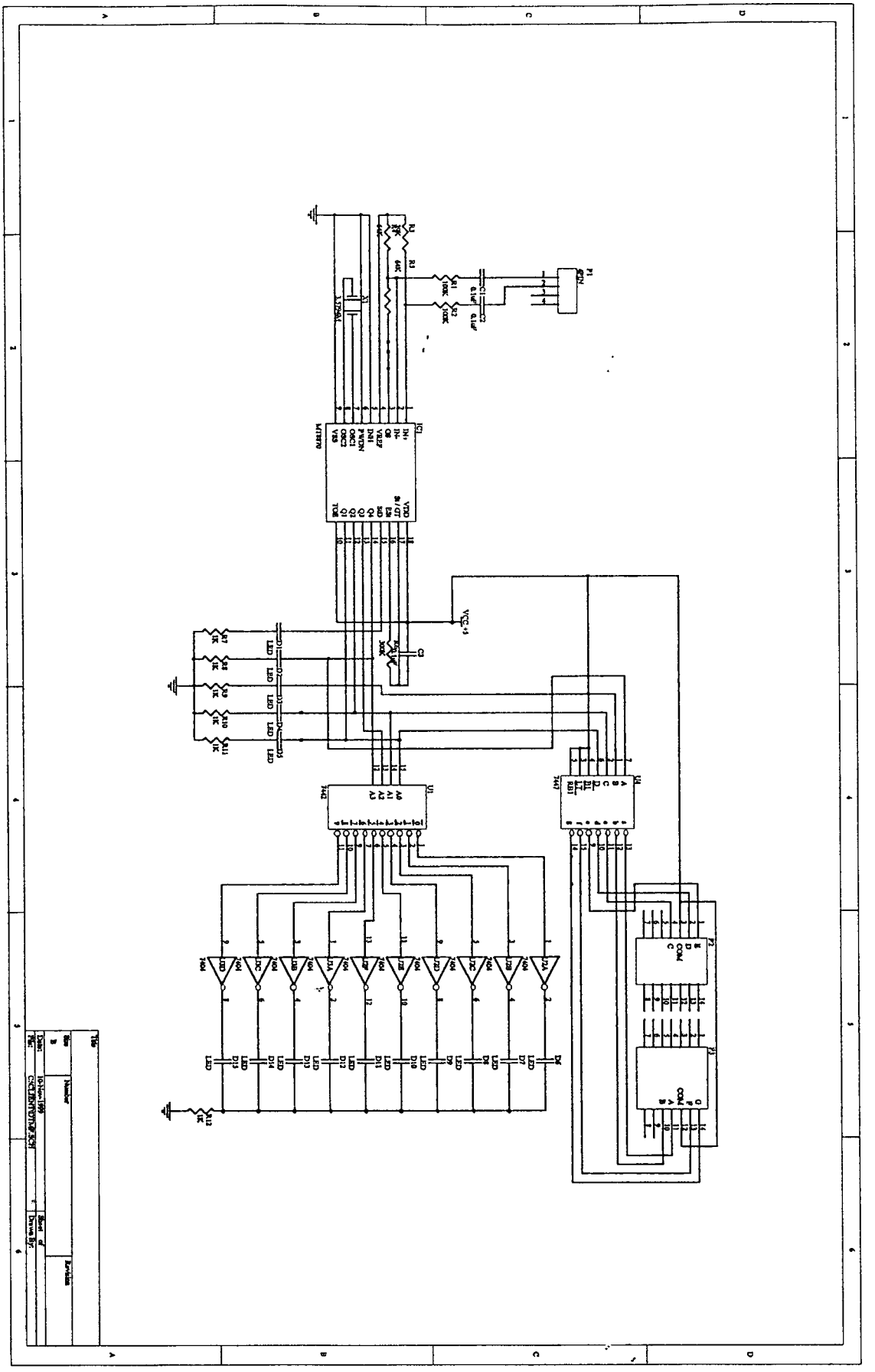
การ์ดไทม์ หมายถึง ช่วงคาบเวลาของความถี่ที่เข้ามาซึ่งจะต้องนานเท่ากับหรือมากกว่าช่วงเวลาที่เราตั้งไว้จึงจะได้รับการยอมรับว่าความถี่นั้นถูกต้อง ซึ่งก็คือ ค่าR และ C ที่เราตั้งไว้นั่นเอง

4. ภาคขยายความแตกต่าง (DIFFERENTIAL INPUT)

วงจรส่วนอินพุทของ MT8870 เป็นภาคขยายออปแอมป์ที่สามารถปรับอัตราขยายโดยต่อวงจรภายนอกเข้ากับอินพุท

5. ภาคกำเนิดความถี่ (OSCILLTOR)

.ในภาคนี้ภายในตัวไอซีจะมีวงจรอยู่ภายในเพียงต่อ XTAL ความถี่ 3.579 MHz



รูปที่ 29 แสดงรูปวงจร DTMF DECODER

อธิบาย

เมื่อ IC MT 8870 ทำการถอดรหัสความถี่ของDTMF แล้วจะให้เอาท์พุทออกมาเป็น BCD 4 bit โดยมีขา STD เป็นตัวควบคุม เมื่อเรานำเอาท์พุททั้ง 4 bit ส่งสัญญาณมาเข้า IC 7442 ถอดรหัส BCD 4 bit มาเป็นเลขฐาน 10 ซึ่ง IC 7442 ที่เอาท์พุทของมันจะมี NOT GATE ต่ออยู่ ฉะนั้นเราจึงต้องทำการต่อ NOT GATE ที่เอาท์พุทเพื่อกลับสถานะของมันเพื่อใช้ในการต่อเป็นช่องสัญญาณ

หมายเลขที่กด	ความถี่ด้านต่ำ (Hz)	ความถี่ด้านสูง (Hz)	STD	Q4	Q3	Q2	Q1
1	697	1209	1	0	0	0	0
2	697	1336	1	0	0	1	1
3	697	1447	1	0	0	1	0
4	770	1209	1	0	1	0	1
5	770	1336	1	0	1	0	0
6	770	1447	1	0	1	1	1
7	852	1209	1	0	1	1	0
8	852	1336	1	1	0	0	1
9	852	1447	1	1	0	0	0
0	941	1209	1	1	0	1	1
*	941	1336	1	1	0	1	0
#	941	1447	1	1	1	0	1

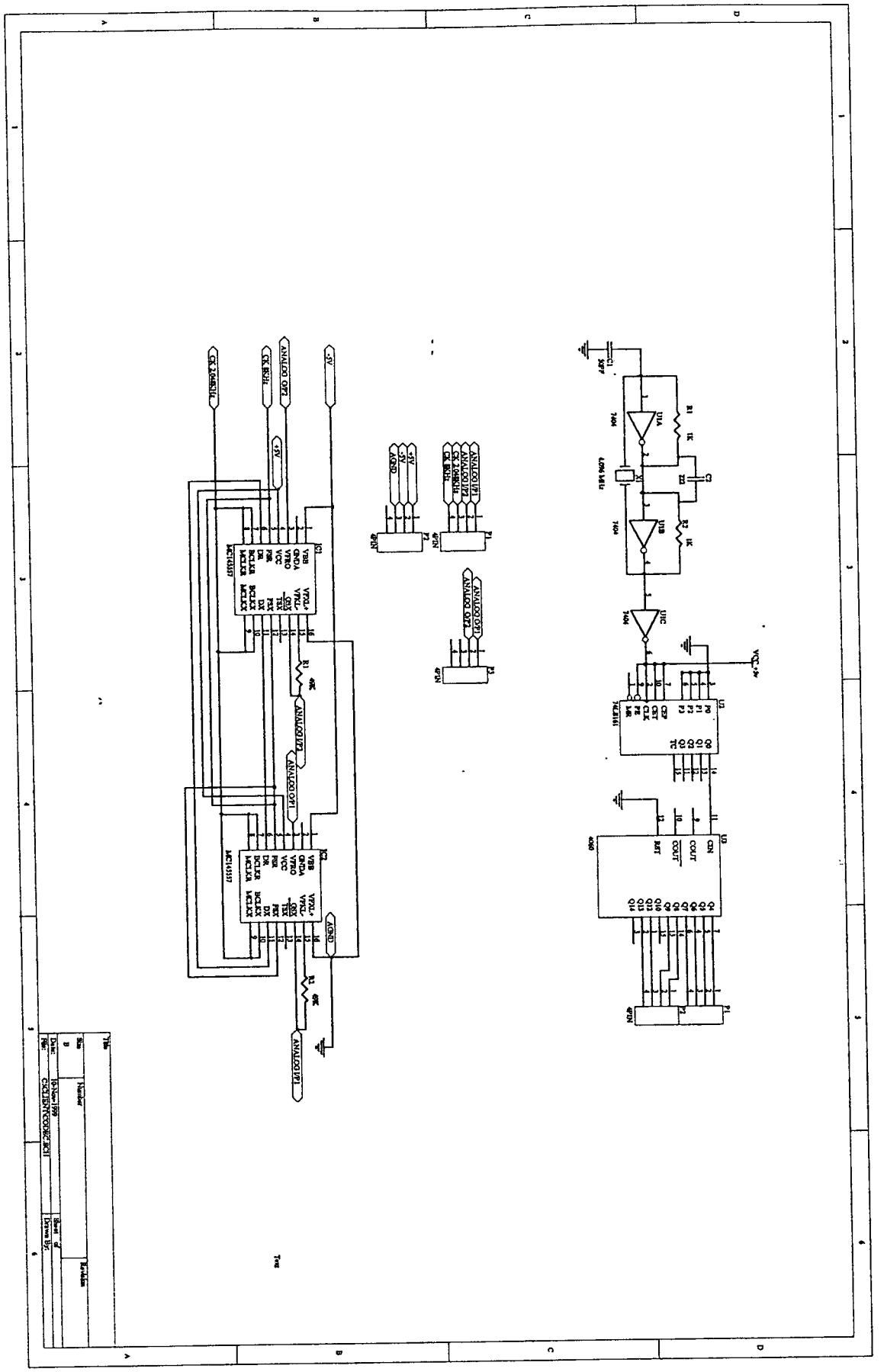
ตารางที่ 3 แสดงผลการการทดลองถอดรหัส BCD CODE

2 ภาค PCM Codec Filter

ในชุมสายโทรศัพท์ระบบ PCM (Pulse Code Modulation) จะต้องมีการแปลงสัญญาณจากแบบอนาล็อก(Analog) ไปเป็นแบบ Digital จะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่เรียกว่า "Codec" เป็นตัวแปลงสัญญาณ

ในโครงงานนี้เลือกใช้ไอซี (IC) เบอร์ MC145557 ซึ่งมีรูปแบบการแปลงสัญญาณแบบ A-Law ซึ่งรูปแบบทั่ว ๆ ไปที่ใช้กันอยู่

IC เบอร์ MC 145557 จะมีออปแอมป์ (Operational Amplifier) เป็นส่วนของ (Input) ในส่วนของตัวเข้ารหัสจะมีวงจรกรองความถี่ต่ำเพื่อกำจัดความถี่ Input ที่จะเข้ามาและมี R-C Filter เป็นตัวกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่สูงที่จะปนเข้ามากับสัญญาณอนาล็อก (Analog) ซึ่งวงจรภายในจะมีลักษณะเป็น Switched capactor fifter โดยมีแบนด์วิท (Brand width) = 200-34000 Hz



รูปที่ 30 แสดงรูปวงจร CODEC

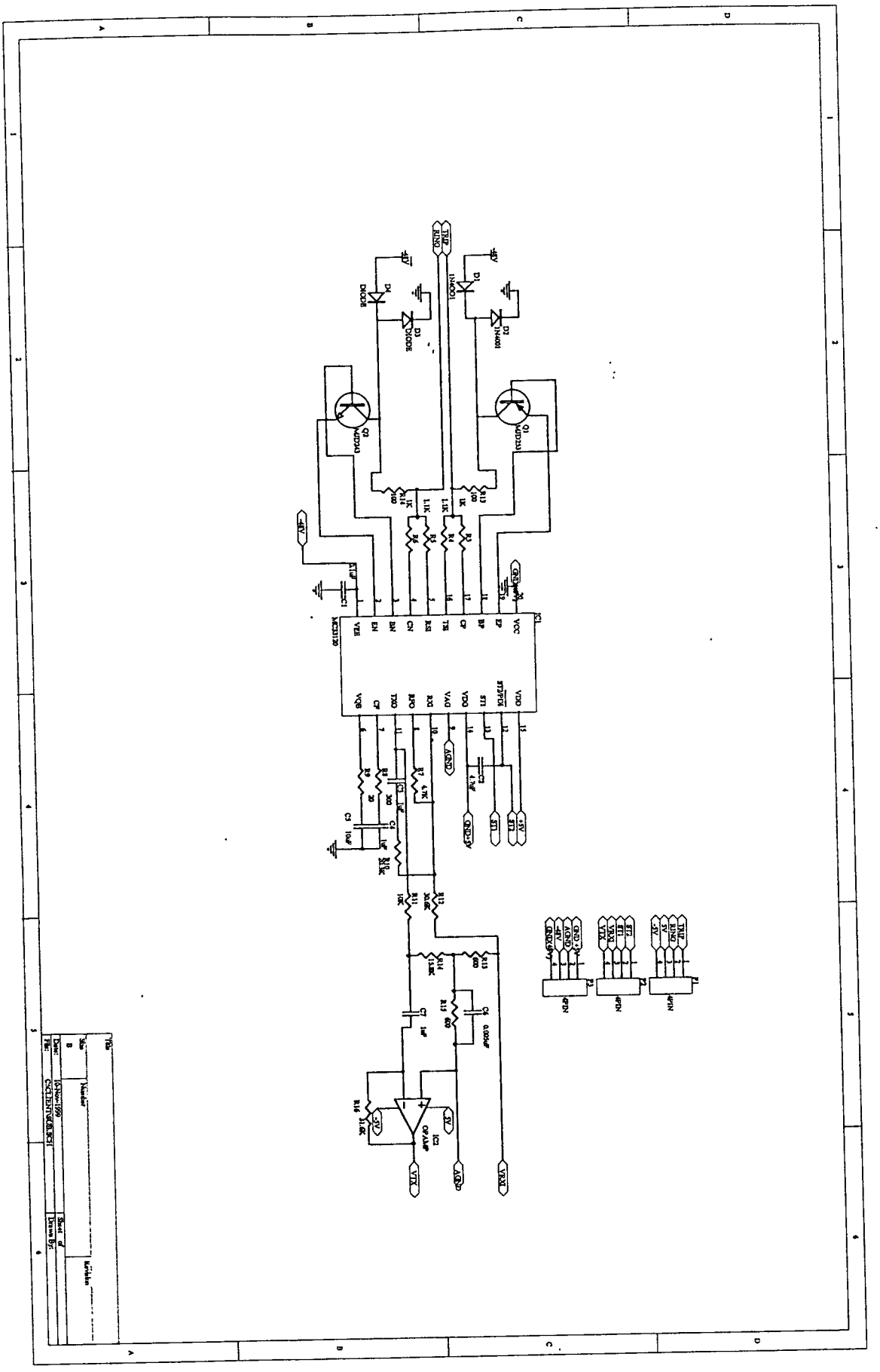
4. **วงจรเชื่อมต่อคู่สาย (Subsriber Loop Interface Circuit)**

วงจรเชื่อมต่อคู่สายมีหน้าที่จ่ายไฟไปเลี้ยงเครื่องโทรศัพท์ ซึ่งถ้าเป็นตอนวางหูจะต้องมีแรงดันในการเลี้ยงเครื่องลูกประมาณ 48 V และขณะยกหูจะมีแรงดัน 9 V กระแสประมาณ 350 MA

แต่ในโครงงานนี้ต้องการป้องกันความร้อนของไอซี (IC) จำต้องทำการเปลี่ยนค่าตัวความต้านทานเพื่อให้กระแสน้อยลง

ในขณะวางหู จะมีแรงดันประมาณ44 V ขณะยกหูมีแรงดัน 7 V กินกระแส 220 MA

หน้าที่อีกอย่างหนึ่งของภาคนี้คือ เป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณ 4 สายในชุมสายให้เป็น 2 สายในการต่อกับโทรศัพท์ ในโครงงานนี้เลือกใช้ IC เบอร์ MC 33120 ซึ่งจะใช้ร่วมกับ IC ภาค Codec เบอร์ MC 145557



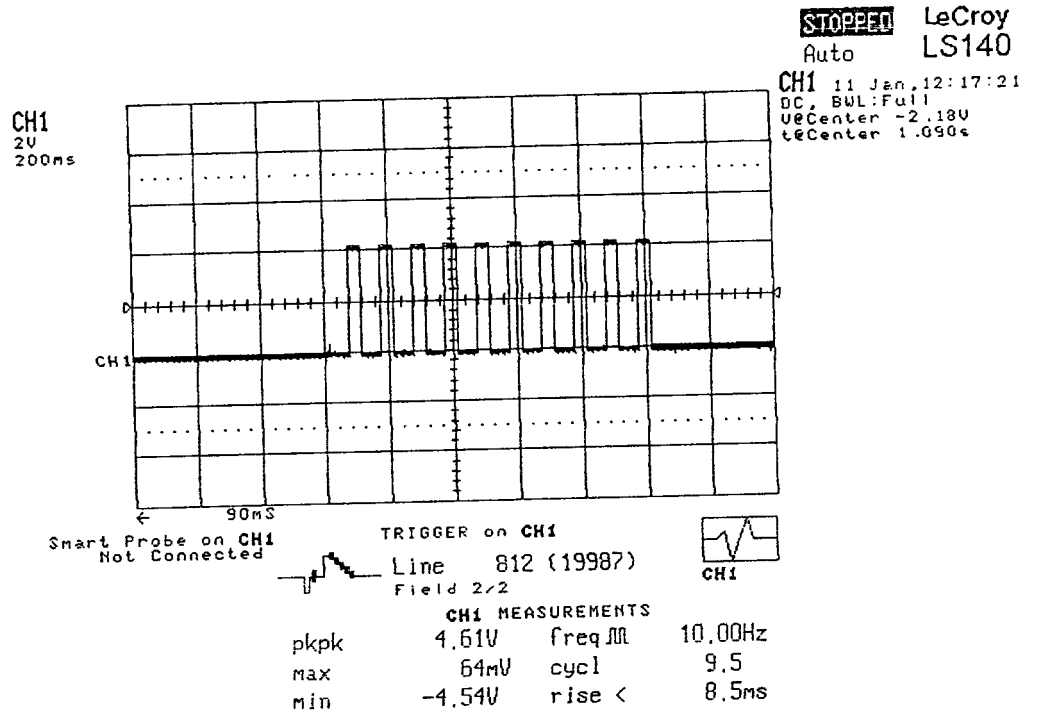
รูปที่ 31 แสดงรูปวงจร SUBSCRIBER LOOP INTERFACE CIRCUIT

บทที่ 4

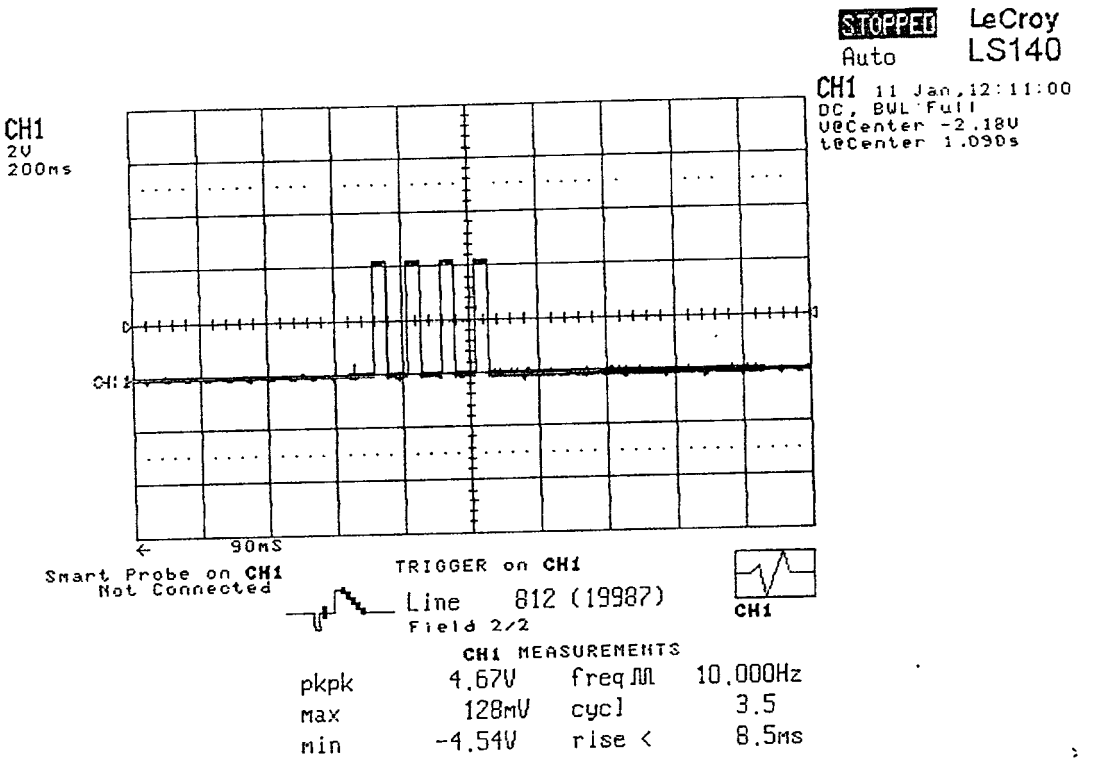
ผลการทดลอง

วงจรส่งสัญญาณแบบพัลส์

ทำการทดลองโดยการกดปุ่มหมายเลข 2 และหมายเลข 5 (ยกตัวอย่างเพียง 2 หมายเลข) นำออสซิลโลสโคบวัดที่ ขา 16 ของไอซี TP 5098 ได้สัญญาณดังนี้



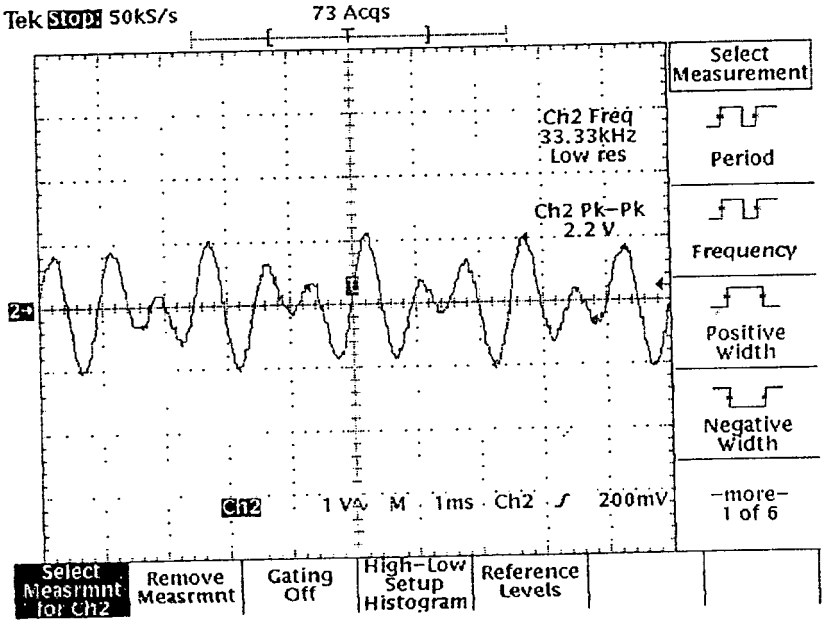
รูปที่ 32 แสดงรูปสัญญาณขณะกดหมายเลข 0

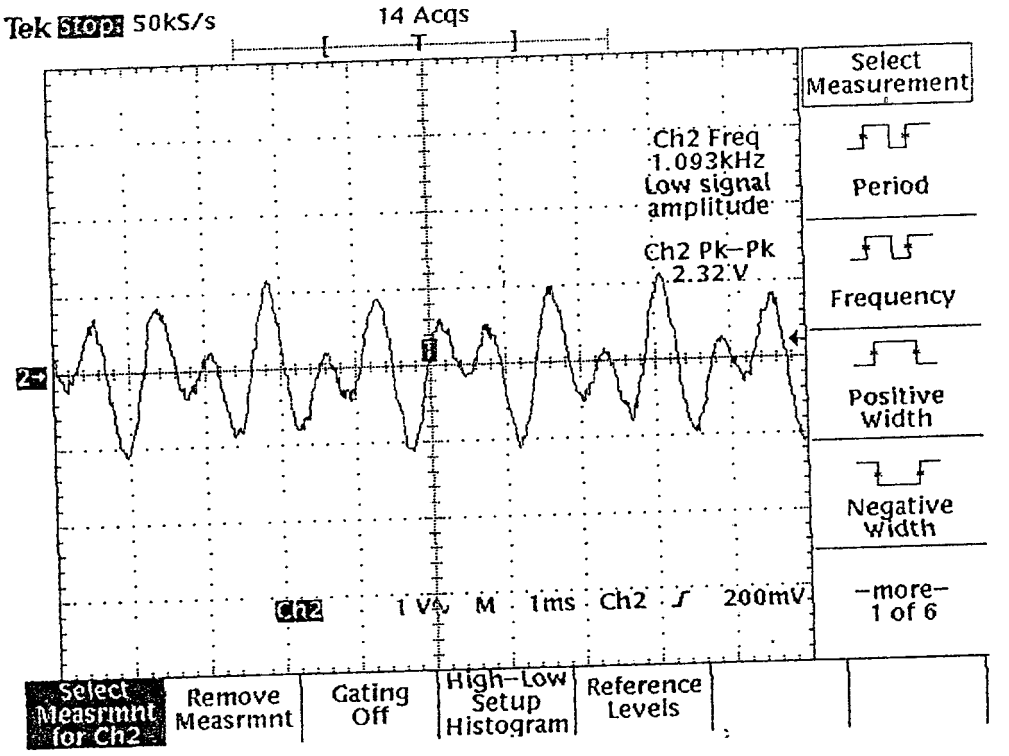


รูปที่ 33 แสดงรูปสัญญาณขณะกดหมายเลข 4

วงจรส่งสัญญาณแบบความถี่คู่

กำหนดการวัดสัญญาณเลขหมาย 5 และ 6 (ยกตัวอย่าง 2 เลขหมาย)นำออสซิลโลสโคบมาวัดที่ขา 18 ของไอซี MC 145412 ได้รูสัญญาณดังนี้

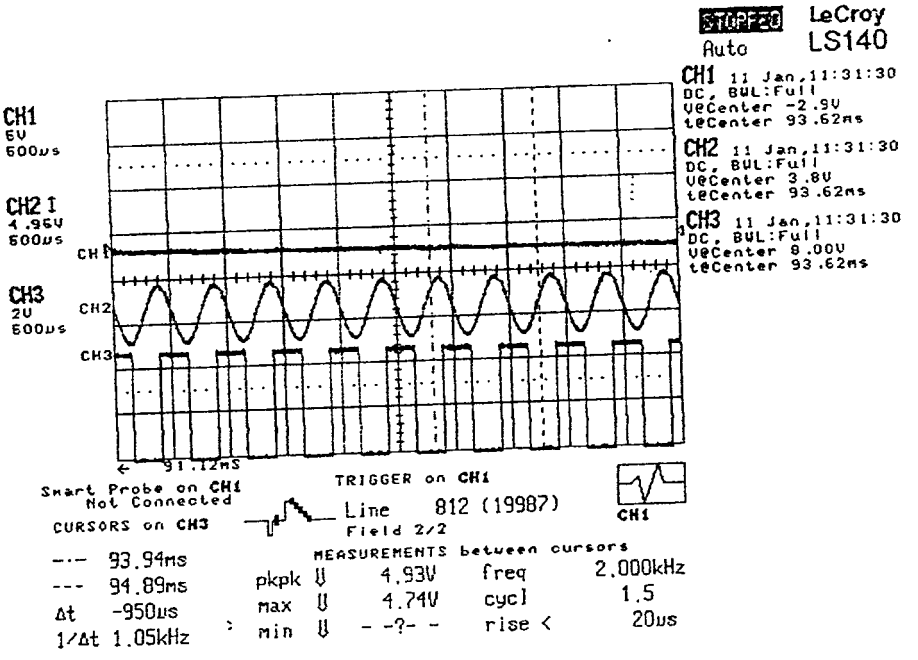


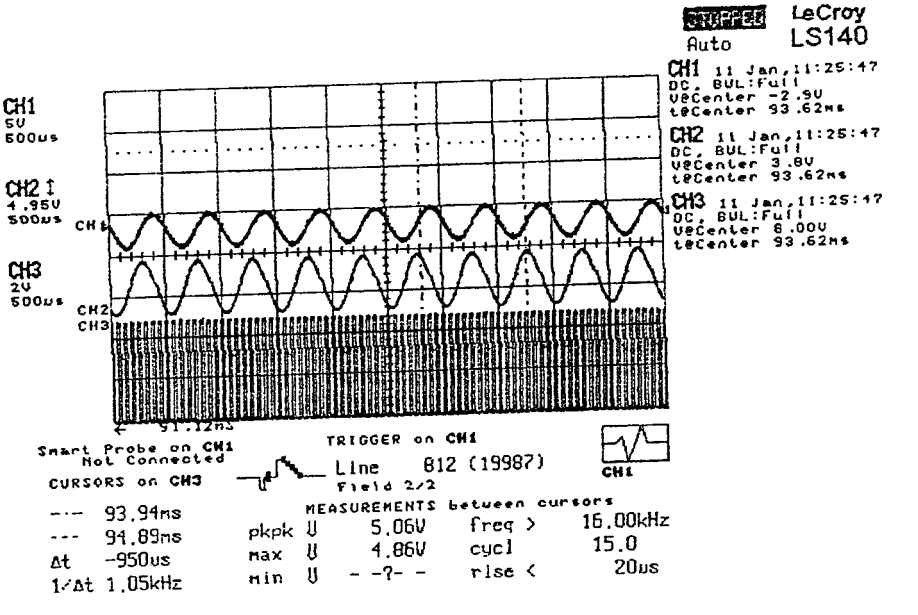


รูปที่ 34 สัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 5 และ 6

วงจร CODEC

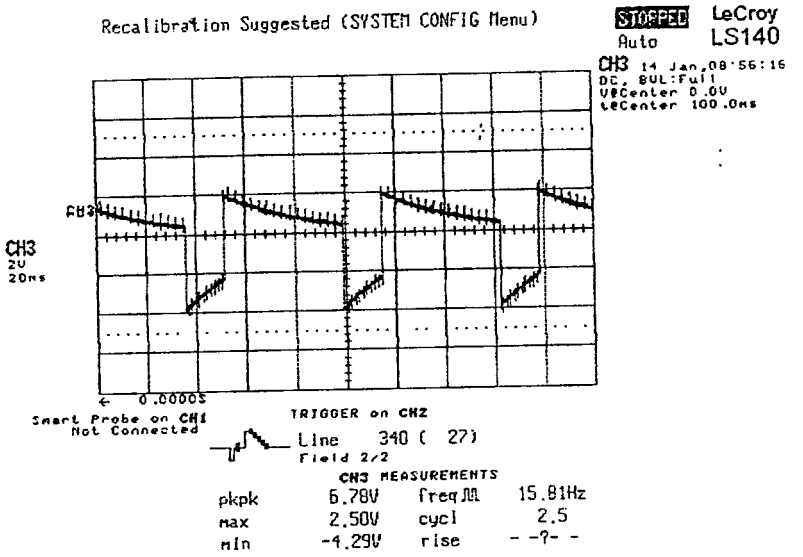
ลักษณะรูปของสัญญาณ CODEC เมื่อป้อน Clock ต่างกัน





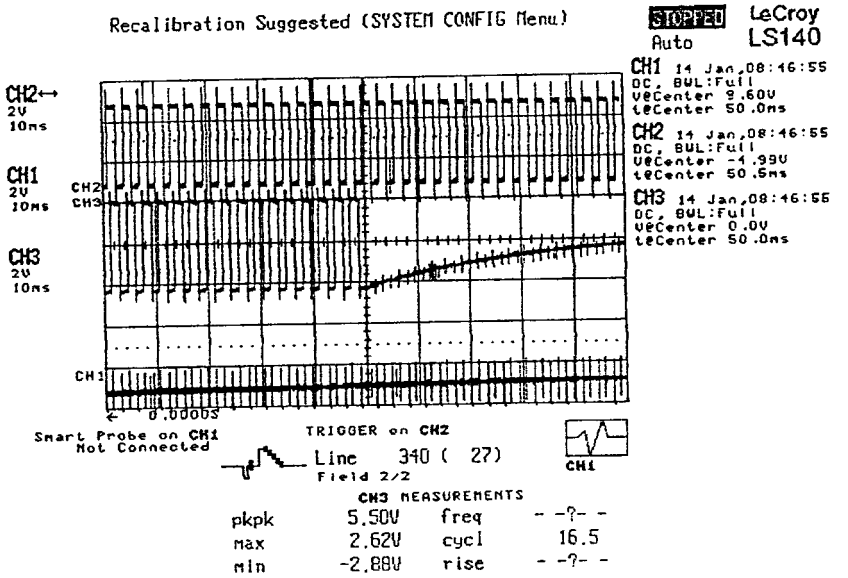
รูปที่ 35 สัญญาณ CODEC

รูปสัญญาณ Ringing Tone



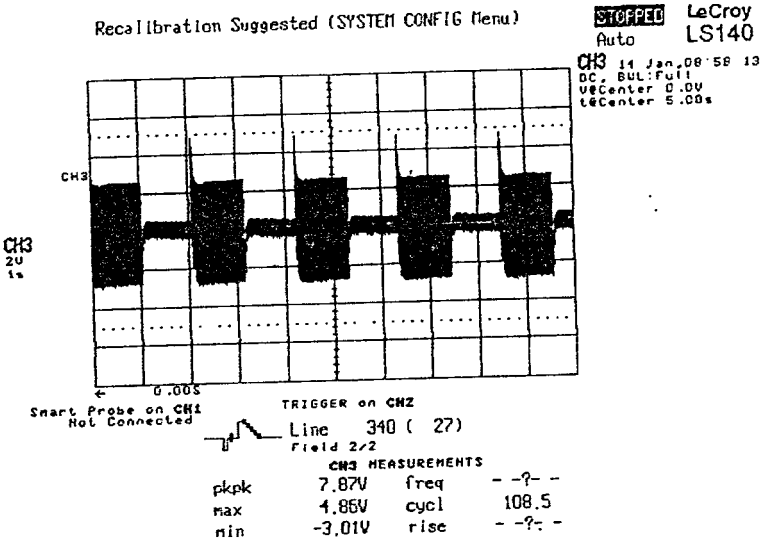
รูปที่ 36 รูปสัญญาณกระดิ่ง

รูปสัญญาณ Busy Tone



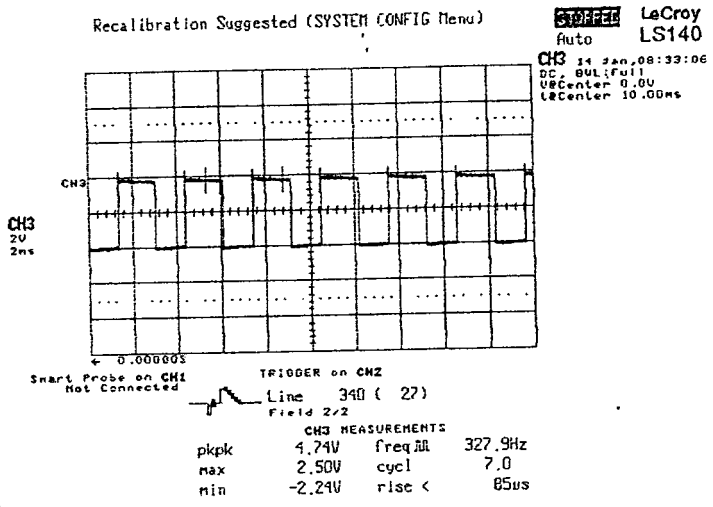
รูปที่ 37 รูปสัญญาณสายไม่ว่าง

รูปสัญญาณ Ringback Tone



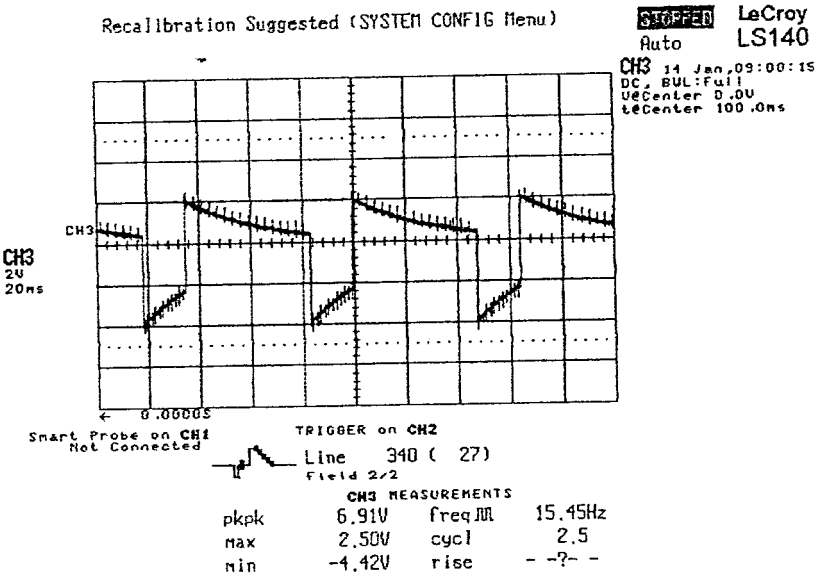
รูปที่ 38 รูปสัญญาณตอบกลับว่ามีสายว่าง

รูปสัญญาณ Dial Tone



รูปที่ 39 รูปสัญญาณ Dial Tone

รูปสัญญาณ Error



รูปที่ 40 รูปสัญญาณ Error

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

วงจรส่งสัญญาณแบบพัลส์

ได้ทำการกดลองกดเลขหมายและวัดสัญญาณเอาท์พุท (ขา 16)ของ IC TP50981 ด้วยออสซิลโลสโคบ ปรากฏว่าได้รูปสัญญาณตรงตามทฤษฎี โดยการส่งสัญญาณที่ได้เป็นแบบ 10 pulse/sec และได้ทดลองโดยการนำเอาวงจรภาคแสดงผลมาต่อก็จะแสดงผลตามหมายเลขที่กด

วงจรส่งสัญญาณแบบความถี่คู่

ทำการทดลองกดเลขหมายและวัดสัญญาณเอาท์พุท(ขา 18)ของไอซี MC 145412 ด้วยออสซิลโลสโคบ ปรากฏว่าได้รูปสัญญาณความถี่คู่ตรงตามทฤษฎี และทดลองว่าส่งไปตามชุมสายได้จริงโดยทดลองร่วมกับวงจรควบคุมเสียงพูดผลปรากฏว่าสามารถทดลองส่งได้จริงมีเสียงตอบรับจากชุมสายโทรศัพท์

วงจรแสดงผลวงจรสัญญาณแบบพัลส์

ทำการต่อเข้ากับเอาท์พุท(ขา16) ของ TP50981 แล้วทดลองกดเลขหมาย ที่7-Segment แสดงผลตามจำนวนพัลส์ที่กดเลขหมาย

วงจรตรวจจับสัญญาณกระดิ่ง

ทดลองนำวงจรตรวจจับสัญญาณกระดิ่งต่อกับชุมสายโทรศัพท์ (ขา 2,3) และได้ต่อเอาท์พุทกับวงจรขยายสัญญาณทดลองโทรเข้าไปผลปรากฏว่าวงจรสัญญาณกระดิ่งได้ทำงานโดยได้ยินเสียงกระดิ่งจากลำโพงแต่เสียงที่ได้ยังไม่ไพเราะมากนัก

วงจรควบคุมเสียงพูด

ทำการทดลองป้อนสัญญาณความถี่ที่ ขา 6 , 7 ของ ไอซี MC 34114 วัดสัญญาณที่ ขา 11,12 ผลปรากฏว่าไอซี MC 34114 ได้ทำการขยายสัญญาณจากสัญญาณ input ที่ป้อนเข้ามา และทำการต่อสัญญาณเอาท์พุทของ ไอซี MC 145412 ที่ขาของไอซี MC 34114 ที่ขา 10 ผลที่ได้จากการวัดสัญญาณที่ขา 11,12 ของ
ไอซี MC34114 ได้ทำการขยายสัญญาณ DTMF เหมือนกัน ได้ทดลองต่อกับคู่สายและกดเลขหมายออกไปได้ยินเสียงตอบรับจากชุมสายโทรศัพท์ แต่ไม่ค่อยชัดเจนเท่าใด

ส่วนชุมสายโทรศัพท์

ในตอนแรกได้ทำการทดลองให้สามารถใช้คู่สายสนทนากันได้แต่ผลปรากฏว่ามีสัญญาณรบกวนมากมายจนทำให้สัญญาณเสียงที่สนทนาไม่สามารถสนทนากันได้จึงทดลองเพียงแค่ให้โทรศัพท์หนึ่งเครื่องสามารถติดต่อกับชุมสายโทรศัพท์ได้ ถ้าผู้ที่สนใจสามารถนำไปพัฒนาต่อได้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

MC33120

Subscriber Loop Interface Circuit

SUBSCRIBER LOOP INTERFACE CIRCUIT (SLIC)

THIN FILM SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT

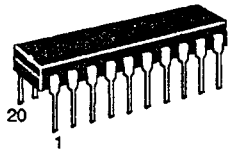
The MC33120 is designed to provide the interface between the 4-wire side of a central office, or PBX, and the 2-wire subscriber line. Interface functions include battery feed, proper loop termination AC impedance, hookswitch detection, adjustable transmit, receive, and transhybrid gains, and single/double fault indication. Additionally the MC33120 provides a minimum of 58 dB of longitudinal balance (4-wire and 2-wire).

The transmit and receive signals are referenced to analog ground, while digital signals are referenced to digital ground, easing the interface to codecs, filters, etc. The 2 status outputs (hookswitch and faults) and the Power Down Input are TTL/CMOS compatible. The Power Down Input permits local shutdown of the circuit.

Internal drivers allow the external loop current pass transistors to be standard bipolar transistors (non-Darlington).

The MC33120 is available in a 20 pin DIP and a 28 pin PLCC surface mount package.

- 58 dB Longitudinal Balance Guaranteed; 4-wire and 2-wire
- Transmit, Receive, and Transhybrid Gains Externally Adjustable
- Return Loss Externally Adjustable
- Proper Hookswitch Detection With 30 kΩ Leakage
- Single/Double Fault Indication With Shutdown for Thermal Protection
- Critical Sense Resistors Included Internally
- Standard Power Supplies: – 42 V to – 58 V, and +5.0 V, ±10%
- On-Hook Transmission
- Power Down Input (TTL and CMOS Compatible)
- Operating Ambient Temperature: – 40°C to +85°C
- Available in a 20 Pin DIP and 28 Pin PLCC Package

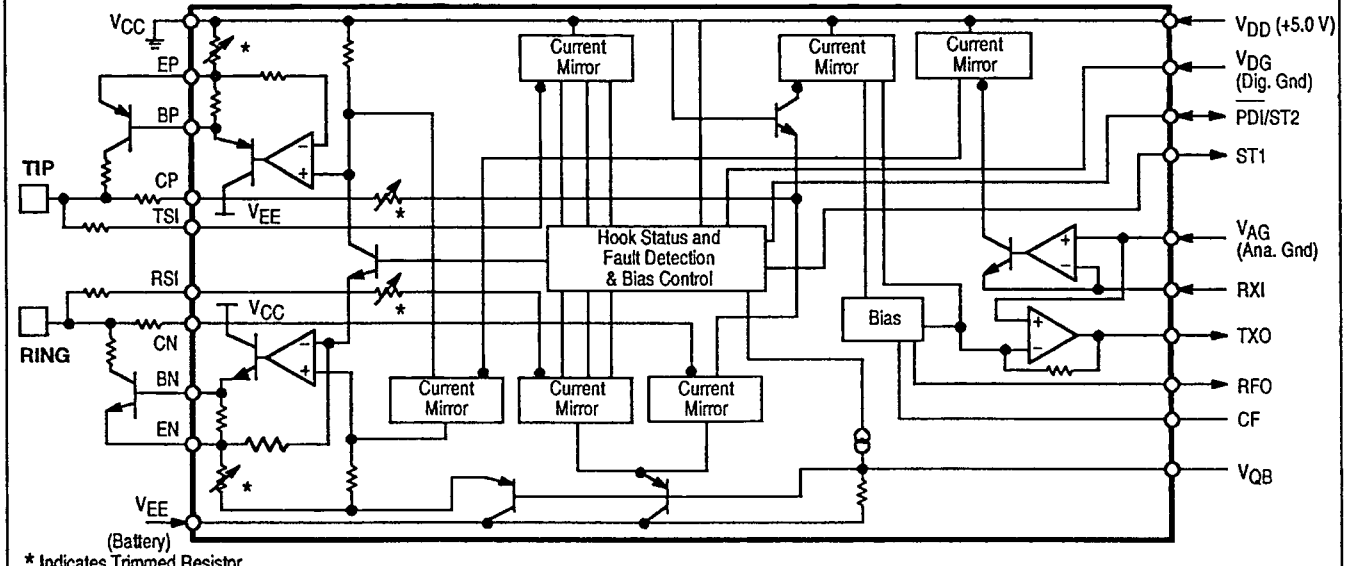


P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 738

FN SUFFIX
PLCC
CASE 776

ORDERING INFORMATION		
Device	Temperature Range	Package
MC33120P	– 40° to +85°C	Plastic DIP
MC33120FN		PLCC

SIMPLIFIED BLOCK DIAGRAM



MOTOROLA INC., 1991

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage with respect to V_{CC} with respect to V_{DG}	 V_{EE} V_{DD}	 – 60, +0.5 – 0.5, +7.0	Vdc
Input Voltage @ PDI, with respect to V_{DG} @ Pins 1–5, 16–20	V_{in}	 – 0.5, +7.0 V_{EE} to V_{CC}	Vdc
Storage Temperature Range	T_{stg}	– 65 to +150	°C
Junction Temperature	T_J	150	°C

Devices should not be operated at these values. The "Recommended Operating Conditions" table provides conditions for actual device operation.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply Voltage (with respect to V_{CC}) (with respect to V_{DG})	 V_{EE} V_{DD}	 – 58 +4.5	 – 48 +5.0	 – 42 +5.5	Vdc
(with respect to V_{CC}) (with respect to V_{CC}) (with respect to V_{AG})	V_{AG} V_{DG}	– 3.0 – 3.0 – 3.0	0 0 0	+10 +7.0 +10	Vdc
(with respect to V_{EE}) (with respect to V_{CC} and V_{AG})	V_{DD}	— +3.5	— —	+63.5 —	Vdc
Loop Current	I_{LOOP}	15	—	50	mA
PDI Input Voltage	V_{PDI}	0	—	V_{DD}	Vdc
Sink Current ST1 ST2	 I_{ST1L} I_{ST2L}	 0 0	 — —	 1.0 1.0	mA
Transmit Signal Level at Tip & Ring Receive Signal Level at V_{RX}	S_{TX} S_{RX}	– 48 – 48	— —	+3.0 +3.0	dBm
Loop Resistance	R_L	0	—	2.0	kΩ
External Transistor Beta	H_{FE}	40	—	500	A/A
Operating Ambient Temperature (See text for derating)	T_A	– 40	—	+85	°C

All limits are not necessarily functional concurrently.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{EE} = – 48 V, V_{DD} = +5.0 V, unless otherwise noted, V_{CC} = V_{AG} = V_{DG} = 0 V, T_A = 25°C, see Figure 1, unless otherwised noted.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
POWER SUPPLIES					
V_{EE} Current On Hook (R_L > 10 MΩ, V_{EE} = – 58 V) Off Hook (R_L = 0 Ω, V_{EE} = – 58 V)*	 I_{EEN} I_{EEF}	 – 2.7 – 75	 – 1.2 – 58	 — – 45	mA
V_{DD} Current On Hook (R_L > 10 MΩ, V_{DD} = +5.5 V) Off Hook (R_L = 0 Ω, V_{DD} = +5.5 V)	 I_{DDN} I_{DDF}	 — 5.5	 1.4 9.0	 2.7 15	
V_{EE} Ripple Rejection f = 1.0 kHz, at V_{TX} (4-wire) f = 1.0 kHz, at Tip/Ring (2-wire)	PSRR	 40 40	 62 52	 — —	dB
V_{DD} Ripple Rejection f = 1.0 kHz, at V_{TX} (4-wire) f = 1.0 kHz, at Tip/Ring (2-wire)		 37 37	 52 48	 — —	

*Includes loop current.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{EE} = −48 V, V_{DD} = +5.0 V, unless otherwise noted, V_{CC} = V_{AG} = V_{DG}, T_A = 25°C, see Figure 1)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
LOOP FUNCTIONS					
Loop Current					mA
Maximum (RRF = 4.7 k, R_L = 10 Ω)	I_{LMAX}	41	43	53	
Nominal (RRF = 4.7 k, R_L = 600 Ω)	I_{LOOP}	37	40	48	
Minimum (RRF = 4.7 k, R_L = 1800 Ω)	I_{LMN}	19	21	—	
Battery Feed Resistance (RRF = 4.7 k, R_L = 1800 Ω)*	R_{BF}	475	508	675	Ω
Hookswitch Threshold					kΩ
On-to-Off Hook	R_{NF}	2.0	3.1	—	
Off-to-On Hook	R_{FN}	—	7.0	10	
Fault Detection Threshold					Ω
Ring-to-Ground (R_L = 600 Ω)	R_{RG}	600	660	—	
Tip-to-Battery (R_L = 600 Ω)	R_{TB}	600	660	—	

*Calculated from $[(48/I_{LMN}) - 1800]$

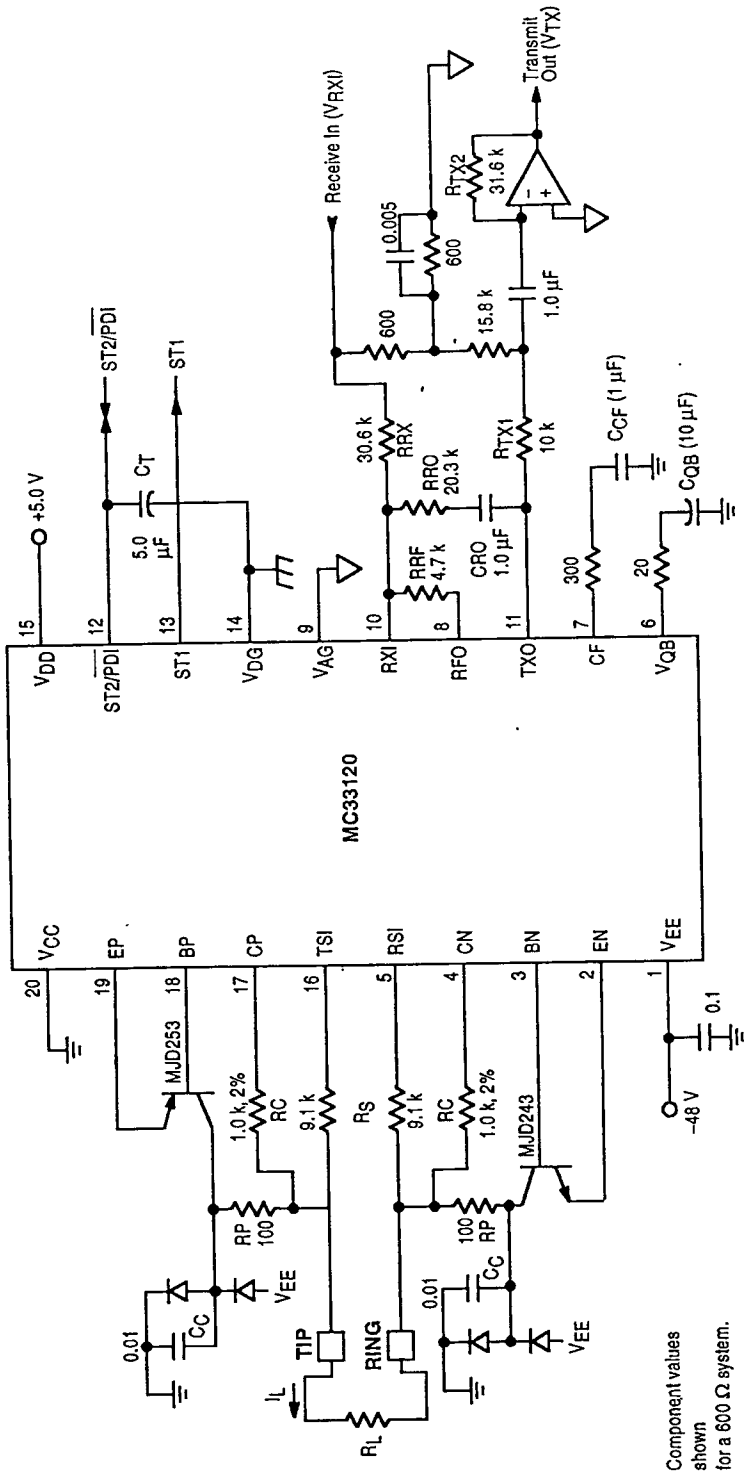
GAIN LEVELS					
Transmit Voltage Gain (CP, CN to TXO)	G_{TX1}	—	0.328	—	V/V
Transmit Voltage Gain (V_{TX}/V_L)					dB
V_L = 0 dBm, f = 1.0 kHz	G_{TX2}	−0.3	0.0	+0.3	
V_L = 0 dBm, f = 3.4 kHz, with respect to G_{TX2}		−0.1	0.0	+0.1	
V_L = +3.0 dBm, f = 1.0 kHz, with respect to G_{TX2}		−0.15	0.0	+0.15	
V_L = −48 dBm, f = 1.0 kHz, with respect to G_{TX2}		—	±0.1	—	
Transmit Distortion (at Pin 11)	THD_T				%
(f = 300 Hz to 4.0 kHz, −40 dBm ≤ V_{T-R} ≤ +5.0 dBm)		—	0.05	—	
Receive Current Gain (I_{EP}/I_{RXI})	G_{RX1}	94	102	110	mA/mA
Receive Voltage Gain (V_L/V_{RXI}) (R_L = 600 Ω)					dB
V_{RXI} = 0 dBm, f = 1.0 kHz	G_{RX2}	−0.3	0.0	+0.3	
V_{RXI} = 0 dBm, f = 3.4 kHz, with respect to G_{RX2}		−0.1	0.0	+0.1	
V_{RXI} = +3.0 dBm, f = 1.0 kHz, with respect to G_{RX2}		−0.15	0.0	+0.15	
V_{RXI} = −48 dBm, f = 1.0 kHz, with respect to G_{RX2}		—	±0.1	—	
Receive Distortion	THD_R				%
(f = 300 Hz to 4.0 kHz, −40 dBm ≤ V_{RXI} ≤ +5.0 dBm)		—	0.05	—	
Return Loss (Reference = 600 Ω resistive, f = 1.0 kHz)	RL	30	>40	—	dB
Transhybrid Rejection (R_L = 600 Ω, f = 1.0 kHz, Figure 4)	THR	—	44	—	dB

LONGITUDINAL SIGNALS (V_{CM} = 5.12 Vrms, see Figures 1 and 2)					
2-Wire Balance, f = 1.0 kHz, Z_{ac} = 600 Ω (@ Tip/Ring)	LB	58	64	—	dB
4-Wire Balance, f = 1.0 kHz, Z_{ac} = 600 Ω (@ V_{TX})		58	64	—	
2-Wire Balance, f = 330 Hz, Z_{ac} = 600 Ω (@ Tip/Ring)		58	64	—	
4-Wire Balance, f = 330 Hz, Z_{ac} = 600 Ω (@ V_{TX})		58	64	—	
2-Wire Balance, f = 3.3 kHz, Z_{ac} = 600 Ω (@ Tip/Ring)		53	60	—	
4-Wire Balance, f = 3.3 kHz, Z_{ac} = 600 Ω (@ V_{TX})		53	60	—	
2-Wire Balance, f = 1.0 kHz, Z_{ac} = 900 Ω (@ Tip/Ring)		—	62	—	
4-Wire Balance, f = 1.0 kHz, Z_{ac} = 900 Ω (@ V_{TX})		—	62	—	
Signal Balance, f = 1.0 kHz (Figure 3)		40	55	—	
Longitudinal Impedance, RS = 9100 Ω	Z_{LONG}	150	180	210	Ω
Maximum Longitudinal Current per side	I_{LM}				mA
f = 1.0 kHz, I_{LOOP} = I_{LMN}, C_T = 0.1 µF		8.5	16	—	

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{EE} = – 48 V, V_{DD} = +5.0 V, unless otherwise noted, V_{CC} = V_{AG} = V_{DG}, T_A = 25°C, see Figure 1)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
LOGIC INTERFACE					
ST1 Output Voltage Low (I_{ST1} = 1.0 mA, V_{DD} = 5.5 V) High (I_{ST1} = – 100 µA, V_{DD} = 4.5 V)	 V_{OL} V_{OH}	 V_{DG} 2.4	 0.17 3.2	 0.4 —	Vdc
ST2 Output Voltage Low (I_{ST2} = 1.0 mA, V_{DD} = 5.5 V) High (I_{ST2} = – 100 µA, V_{DD} = 4.5 V)	 V_{OL} V_{OH}	 V_{DG} 2.4	 0.17 4.3	 0.4 —	
Time Delay Hookswitch Closure to ST1 Change Hookswitch Opening to ST1 Change	 t_{ST11} t_{ST12}	 — —	 10 200	 — —	µs
Hookswitch Closure to 90% of Loop Current (C_T = 0.1 µF)	t_{HS}	—	19	—	ms
PDI Taken High-to-Low to 10% of Loop Current PDI Taken Low-to-High to 90% of Loop Current	t_{ST21} t_{ST22}	— —	18 10	— —	ms µs
PDI Input Current V_{PDI} = 3.0 V, R_L = 600 Ω, V_{DD} = 5.0 V V_{PDI} = 0 V, R_L = 600 Ω, V_{DD} = 5.5 V	I_{IH}	 – 1250 —	 – 800 – 800	 – 300 —	µA
PDI Input Voltage Low High	 V_{IL} V_{IH}	 V_{DG} 2.0	 — —	 0.8 V_{DD}	V
MISCELLANEOUS					
V_{QB} Voltage (V_{QB} – V_{EE}) @ I_L = 20 mA @ I_L = 40 mA	V_{QB}	 — —	 0.82 0.95	 — —	Vdc
TXO Offset Voltage (V_{TXO} – V_{AG}) @ R_L = 600 Ω	V_{TXO}	– 400	+30	+400	mVdc
TXO Output Current	I_{TXO}	±275	±800	—	µA pk
RXI Offset Voltage (V_{RXI} – V_{AG}) @ R_L = 600 Ω	V_{RXOS}	—	0.8	—	mVdc
V_{AG} Input Current @ R_L = 600 Ω	I_{VAG}	—	0.2	—	µA
Idle Channel Noise (with C-message filter, R_L = 600 Ω) @ TXO (Pin 11) @ Tip/Ring	 N_{IC4} N_{IC2}	 — —	 – 10 – 5.0	 — —	dBmc
Thermal Resistance — Junction to Ambient (Either package, in still air, soldered to a PC board) (@ T_A = +25°C) (@ T_A = +85°C)	θ_{JA}	 — —	 62 36	 — —	°C/W

FIGURE 4 — APPLICATION CIRCUIT



Note: Pin numbers refer to DIP package.

MC145554
MC145557
MC145564
MC145567

PCM Codec-Filter

The MC145554, MC145557, MC145564, and MC145567 are all per channel PCM Codec–Filters. These devices perform the voice digitization and reconstruction as well as the band limiting and smoothing required for PCM systems. They are designed to operate in both synchronous and asynchronous applications and contain an on–chip precision voltage reference. The MC145554 (Mu–Law) and MC145557 (A–Law) are general purpose devices that are offered in 16–pin packages. The MC145564 (Mu–Law) and MC145567 (A–Law), offered in 20–pin packages, add the capability of analog loopback and push–pull power amplifiers with adjustable gain.

These devices have an input operational amplifier whose output is the input to the encoder section. The encoder section immediately low–pass filters the analog signal with an active R–C filter to eliminate very–high–frequency noise from being modulated down to the pass band by the switched capacitor filter. From the active R–C filter, the analog signal is converted to a differential signal. From this point, all analog signal processing is done differentially. This allows processing of an analog signal that is twice the amplitude allowed by a single–ended design, which reduces the significance of noise to both the inverted and non–inverted signal paths. Another advantage of this differential design is that noise injected via the power supplies is a common–mode signal that is cancelled when the inverted and non–inverted signals are recombined. This dramatically improves the power supply rejection ratio.

After the differential converter, a differential switched capacitor filter band passes the analog signal from 200 Hz to 3400 Hz before the signal is digitized by the differential compressing A/D converter.

The decoder accepts PCM data and expands it using a differential D/A converter. The output of the D/A is low–pass filtered at 3400 Hz and sinX/X compensated by a differential switched capacitor filter. The signal is then filtered by an active R–C filter to eliminate the out–of–band energy of the switched capacitor filter.

These PCM Codec–Filters accept both long–frame and short–frame industry standard clock formats. They also maintain compatibility with Motorola's family of TSACs and MC3419/MC34120 SLIC products.

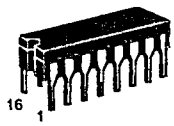
The MC145554/57/64/67 family of PCM Codec–Filters utilizes CMOS due to its reliable low–power performance and proven capability for complex analog/digital VLSI functions.

MC145554/57 (16–Pin Package)

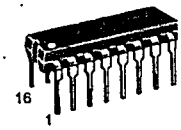
- Fully Differential Analog Circuit Design for Lowest Noise
- Performance Specified for Extended Temperature Range of – 40 to + 85°C
- Transmit Band–Pass and Receive Low–Pass Filters On–Chip
- Active R–C Pre–Filtering and Post–Filtering
- Mu–Law Companding MC145554
- A–Law Companding MC145557
- On–Chip Precision Voltage Reference (2.5 V)
- Typical Power Dissipation of 40 mW, Power Down of 1.0 mW at ± 5 V

MC145564/67 (20–Pin Package) — All of the Features of the MC145554/57 Plus:

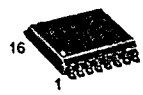
- Mu–Law Companding MC145564
- A–Law Companding MC145567
- Push–Pull Power Drivers with External Gain Adjust
- Analog Loopback



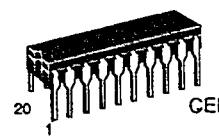
L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 620
MC145554/57



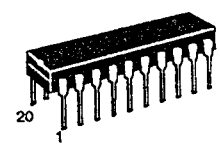
P SUFFIX
PLASTIC DIP
CASE 648
MC145554/57



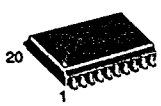
DW SUFFIX
SOG PACKAGE
CASE 751G
MC145554/57



L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 732
MC145564/67



P SUFFIX
PLASTIC DIP
CASE 738
MC145564/67



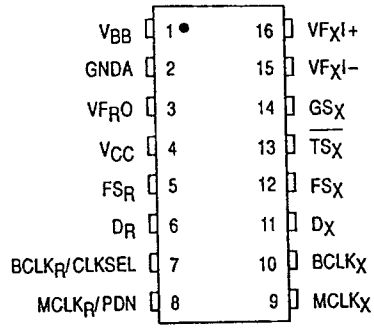
DW SUFFIX
SOG PACKAGE
CASE 751D
MC145564/67

REV 1
9/95 (Replaces ADI1517)

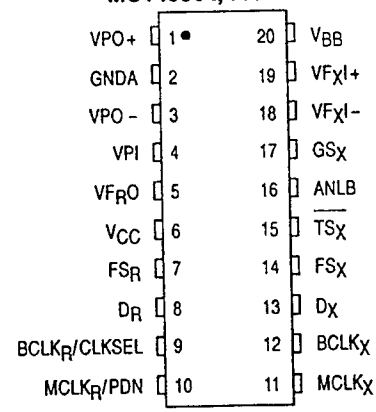
© Motorola, Inc. 1995

PIN ASSIGNMENTS

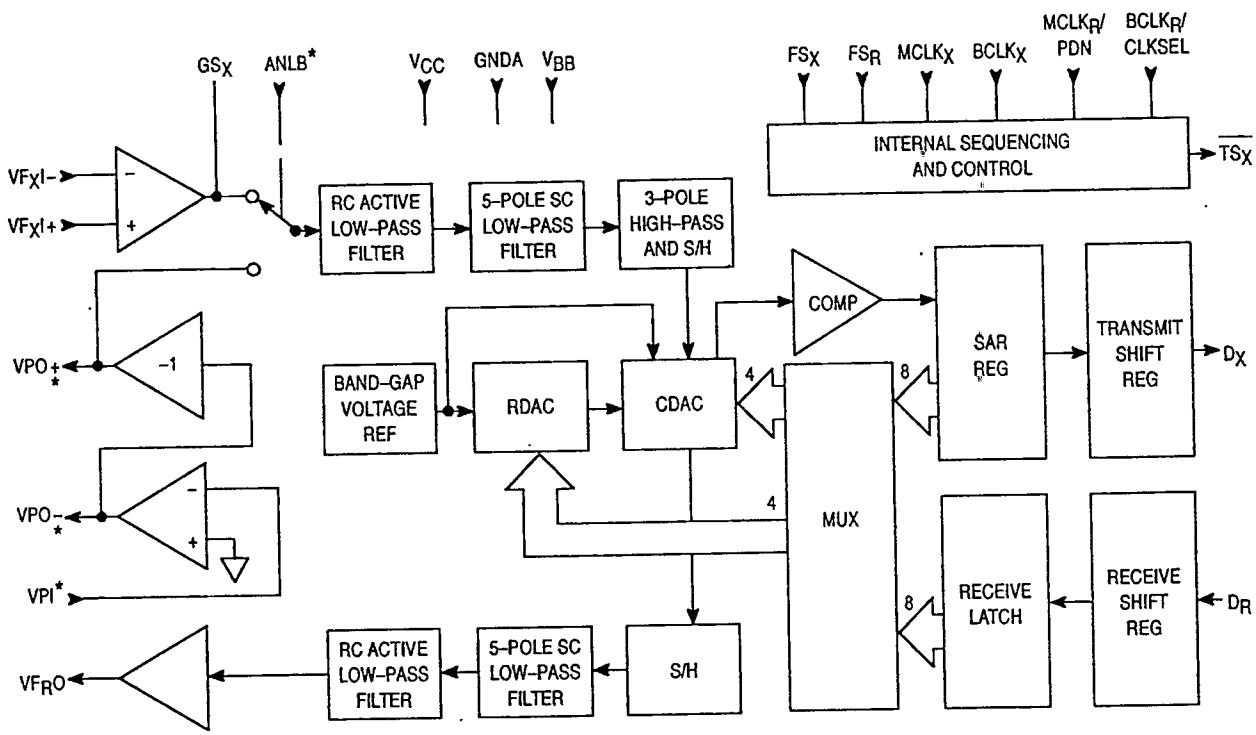
MC145554, MC145557



MC145564, MC145567



FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



*MC145564 and MC145567 only.

DEVICE DESCRIPTION

A codec–filter is used for digitizing and reconstructing the human voice. These devices were developed primarily for the telephone network to facilitate voice switching and transmission. Once the voice is digitized, it may be switched by digital switching methods or transmitted long distance (T1, microwave, satellites, etc.) without degradation. The name codec is an acronym from "COder" (for the A/D used to digitize voice) and "DECoder" (for the D/A used for reconstructing voice). A codec is a single device that does both the A/D and D/A conversions.

To digitize intelligible voice requires a signal–to–distortion ratio of about 30 dB over a dynamic range of about 40 dB. This can be accomplished with a linear 13–bit A/D and D/A, but will far exceed the required signal–to–distortion ratio at amplitudes greater than 40 dB below the peak amplitude. This excess performance is at the expense of data per sample. Methods of data reduction are implemented by compressing the 13–bit linear scheme to companded 8–bit schemes. There are two companding schemes used: Mu–255 Law specifically in North America, and A–Law specifically in Europe. These companding schemes are accepted world wide. These companding schemes follow a segmented or "piecewise–linear" curve formatted as sign bit, three chord bits, and four step bits. For a given chord, all sixteen of the steps have the same voltage weighting. As the voltage of the analog input increases, the four step bits increment and carry to the three chord bits which increment. When the chord bits increment, the step bits double their voltage weighting. This results in an effective resolution of six bits (sign + chord + four step bits) across a 42 dB dynamic range (seven chords above zero, by 6 dB per chord). Tables 3 and 4 show the linear quantization levels to PCM words for the two companding schemes.

In a sampling environment, Nyquist theory says that to properly sample a continuous signal, it must be sampled at a frequency higher than twice the signal's highest frequency component. Voice contains spectral energy above 3 kHz, but its absence is not detrimental to intelligibility. To reduce the digital data rate, which is proportional to the sampling rate, a sample rate of 8 kHz was adopted, consistent with a bandwidth of 3 kHz. This sampling requires a low–pass filter to limit the high frequency energy above 3 kHz from distorting the in–band signal. The telephone line is also subject to 50/60 Hz power line coupling, which must be attenuated from the signal by a high–pass filter before the A/D converter.

The D/A process reconstructs a staircase version of the desired in–band signal, which has spectral images of the in–band signal modulated about the sample frequency and its harmonics. These spectral images, called aliasing components, need to be attenuated to obtain the desired signal. The low–pass filter used to attenuate these aliasing components is typically called a reconstruction or smoothing filter.

The MC145554/57/64/67 PCM Codec–Filters have the codec, both presampling and reconstruction filters, and a precision voltage reference on–chip, and require no external components.

PIN DESCRIPTION

DIGITAL

FS_R
Receive Frame Sync

This is an 8 kHz enable that must be synchronous with $BCLK_R$. Following a rising FS_R edge, a serial PCM word at D_R is clocked by $BCLK_R$ into the receive data register. FS_R also initiates a decode on the previous PCM word. In the absence of FS_X, the length of the FS_R pulse is used to determine whether the I/O conforms to the Short Frame Sync or Long Frame Sync convention.

D_R
Receive Digital Data Input

$BCLK_R$/CLKSEL
Receive Data Clock and Master Clock Frequency Selector

If this input is a clock, it must be between 128 kHz and 4.096 MHz, and synchronous with FS_R. In synchronous applications this pin may be held at a constant level; then $BCLK_X$ is used as the data clock for both the transmit and receive sides, and this pin selects the assumed frequency of the master clock (see Table 1 in **Functional Description**).

$MCLK_R$/PDN
Receive Master Clock and Power–Down Control

Because of the shared DAC architecture used on these devices, only one master clock is needed. Whenever FS_X is clocking, $MCLK_X$ is used to derive all internal clocks, and the $MCLK_R$/PDN pin merely serves as a power–down control. If $MCLK_R$/PDN pin is held low or is clocked (and at least one of the frame syncs is present), the part is powered up. If this pin is held high, the part is powered down. If FS_X is absent but FS_R is still clocking, the device goes into receive half–channel mode, and $MCLK_R$ (if clocking) generates the internal clocks.

$MCLK_X$
Transmit Master Clock

This clock is used to derive the internal sequencing clocks; it must be 1.536 MHz, 1.544 MHz, or 2.048 MHz.

$BCLK_X$
Transmit Data Clock

$BCLK_X$ may be any frequency between 128 kHz and 4.096 MHz, but it should be synchronous with $MCLK_X$.

D_X
Transmit Digital Data Output

This output is controlled by FS_X and $BCLK_X$ to output the PCM data word; otherwise this pin is in a high–impedance state.

FS_X
Transmit Frame Sync

This is an 8 kHz enable that must be synchronous with $BCLK_X$. A rising FS_X edge initiates the transmission of a

serial PCM word, clocked by $BCLK_X$, out of D_X. If the FS_X pulse is high for more than eight $BCLK_X$ periods, the D_X and TS_X outputs will remain in a low–impedance state until FS_X is brought low. The length of the FS_X pulse is used to determine whether the transmit and receive digital I/O conforms to the Short Frame Sync or to the Long Frame Sync convention.

$\overline{TS_X}$
Transmit Time Slot Indicator

This is an open–drain output that goes low whenever the D_X output is in a low–impedance state (i.e., during the transmit time slot when the PCM word is being output) for enabling a PCM bus driver.

ANLB
Analog Loopback Control Input (MC145564/67 Only)

When held high, this pin causes the input of the transmit RC active filter to be disconnected from GS_X and connected to VPO+ for analog loopback testing. This pin is held low in normal operation.

ANALOG

GS_X
Gain–Setting Transmit

This output of the transmit gain–adjust operational amplifier is internally connected to the encoder section of the device. It must be used in conjunction with VF_XI- and VF_XI+ to set the transmit gain for a maximum signal amplitude of 2.5 V peak. This output can drive a 600 Ω load to 2.5 V peak.

VF_XI-
Voice–Frequency Transmit Input (Inverting)

This is the inverting input of the transmit gain–adjust operational amplifier.

VF_XI+
Voice–Frequency Transmit Input (Non–Inverting)

This is the non–inverting input of the transmit gain–adjust operational amplifier.

VF_RO
Voice–Frequency Receive Output

This receive analog output is capable of driving a 600 Ω load to 2.5 V peak.

VPI
Voltage Power Input (MC145564/67 Only)

This is the inverting input to the first receive power amplifier. Both of the receive power amplifiers can be powered down by connecting this input to V_{BB}.

VPO–
Voltage Power Output (Inverted) (MC145564/67 Only)

This inverted output of the receive push–pull power amplifiers can drive 300 Ω to 3.3 V peak.

VPO+
Voltage Power Output (Non–Inverted) (MC145554/67 Only)

This non–inverted output of the receive push–pull power amplifier pair can drive 300 Ω to 3.3 V peak.

POWER SUPPLY

GNDA
Analog Ground

This terminal is the reference level for all signals, both analog and digital. It is 0 V.

V_{CC}
Positive Power Supply

V_{CC} is typically 5 V.

V_{BB}
Negative Power Supply

V_{BB} is typically – 5 V.

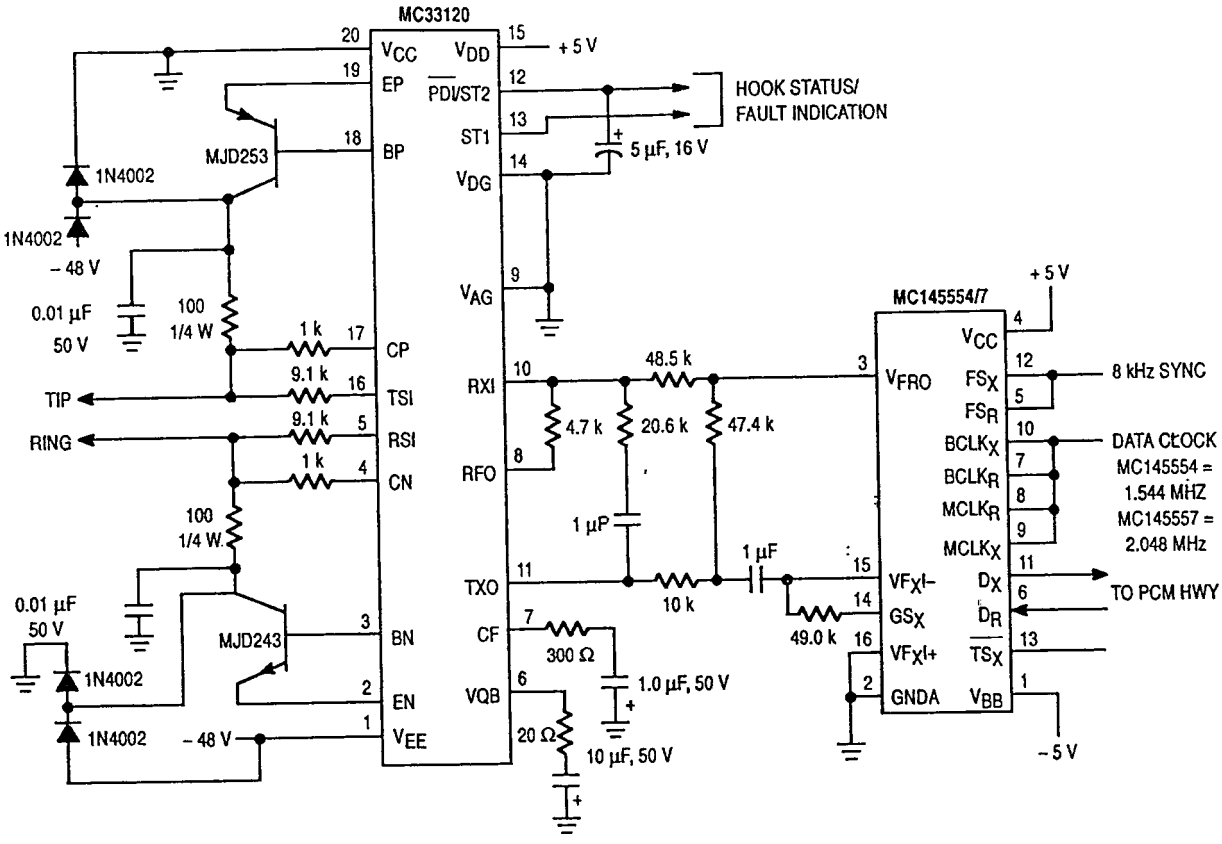
FUNCTIONAL DESCRIPTION

ANALOG INTERFACE AND SIGNAL PATH

The transmit portion of these codec–filters includes a low–noise gain setting amplifier capable of driving a 600 Ω load. Its output is fed to a three–pole anti–aliasing pre–filter. This pre–filter incorporates a two–pole Butterworth active low–pass filter, and a single passive pole. This pre–filter is followed by a single ended–to–differential converter that is clocked at 256 kHz. All subsequent analog processing utilizes fully differential circuitry. The next section is a fully–differential, five–pole switched capacitor low–pass filter with a 3.4 kHz passband. After this filter is a 3–pole switched–capacitor high–pass filter having a cutoff frequency of about 200 Hz. This high–pass stage has a transmission zero at dc that eliminates any dc coming from the analog input or from accumulated operational amplifier offsets in the preceding filter stages. The last stage of the high–pass filter is an autozeroed sample and hold amplifier.

One bandgap voltage reference generator and digital–to–analog converter (DAC) are shared by the transmit and receive sections. The autozeroed, switched–capacitor bandgap reference generates precise positive and negative reference voltages that are independent of temperature and power supply voltage. A binary–weighted capacitor array (CDAC) forms the chords of the companding structure, while a resistor string (RDAC) implements the linear steps within each chord. The encode process uses the DAC, the voltage reference, and a frame–by–frame autozeroed comparator to implement a successive–approximation conversion algorithm. All of the analog circuitry involved in the data conversion — the voltage reference, RDAC, CDAC, and comparator — are implemented with a differential architecture.

The receive section includes the DAC described above, a sample and hold amplifier, a five–pole 3400 Hz switched capacitor low–pass filter with sinX/X correction, and a two–pole active smoothing filter to reduce the spectral components of the switched capacitor filter. The output of the smoothing filter is a power amplifier that is capable of driving a 600 Ω load. The MC145564 and MC145567 add a pair of power amplifiers that are connected in a push–pull configuration; two external resistors set the gain of both of the



NOTE: Six resistors and two capacitors on the two–wire side can be 5% tolerance.

Figure 4. A Complete Single Party Channel Unit Using MC145554/57 PCM Codec–Filter and MC33120 SLIC

ISSUE 5 March 1997

Features

- Complete DTMF Receiver
- Low power consumption
- Internal gain setting amplifier
- Adjustable guard time
- Central office quality
- Power-down mode
- Inhibit mode
- Backward compatible with MT8870C/MT8870C-1

Applications

- Receiver system for British Telecom (BT) or CEPT Spec (MT8870D-1)
- Paging systems
- Repeater systems/mobile radio
- Credit card systems
- Remote control
- Personal computers
- Telephone answering machine

Ordering Information

MT8870DE/DE-1	18 Pin Plastic DIP
MT8870DS/DS-1	18 Pin SOIC
MT8870DN/DN-1	20 Pin SSOP

-40 °C to +85 °C

Description

The MT8870D/MT8870D-1 is a complete DTMF receiver integrating both the bandsplit filter and digital decoder functions. The filter section uses switched capacitor techniques for high and low group filters; the decoder uses digital counting techniques to detect and decode all 16 DTMF tone-pairs into a 4-bit code. External component count is minimized by on chip provision of a differential input amplifier, clock oscillator and latched three-state bus interface.

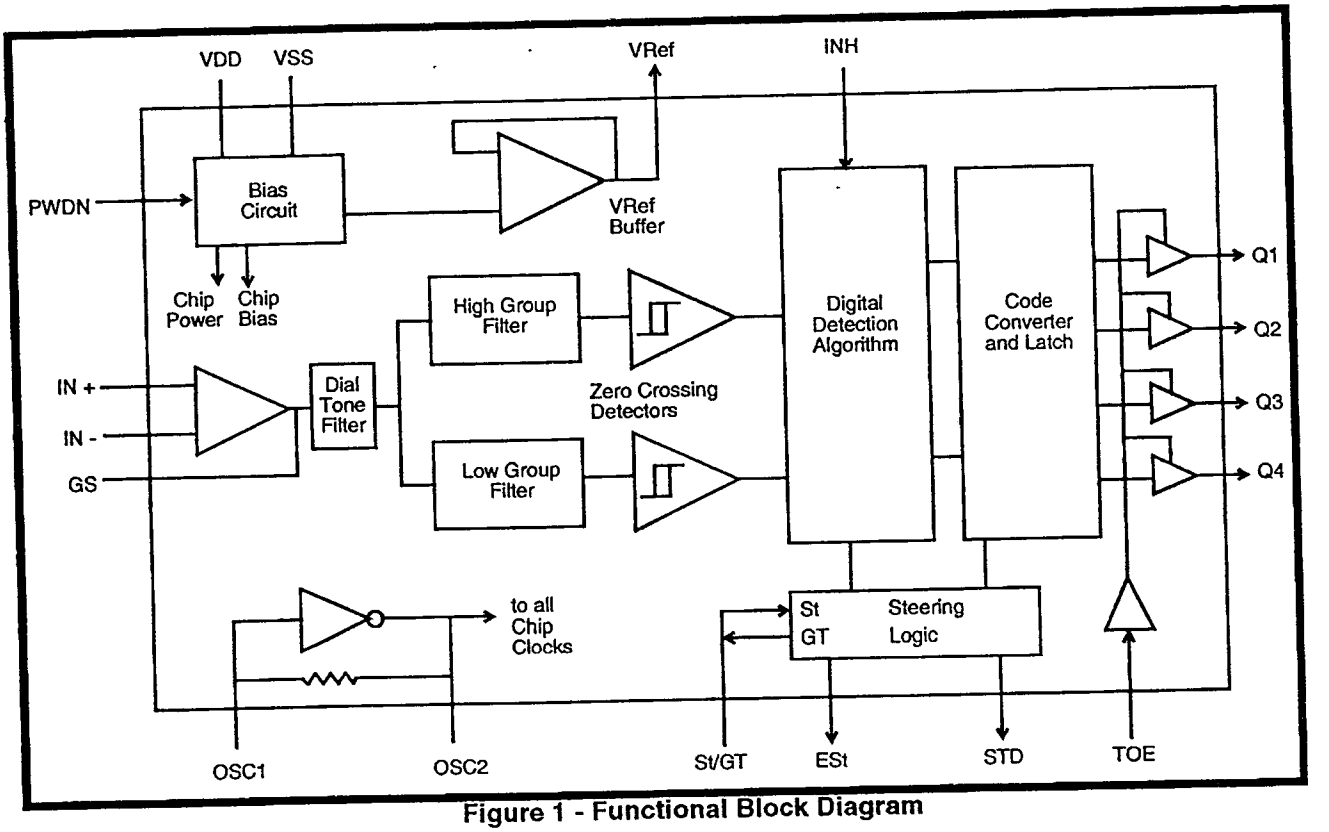


Figure 1 - Functional Block Diagram

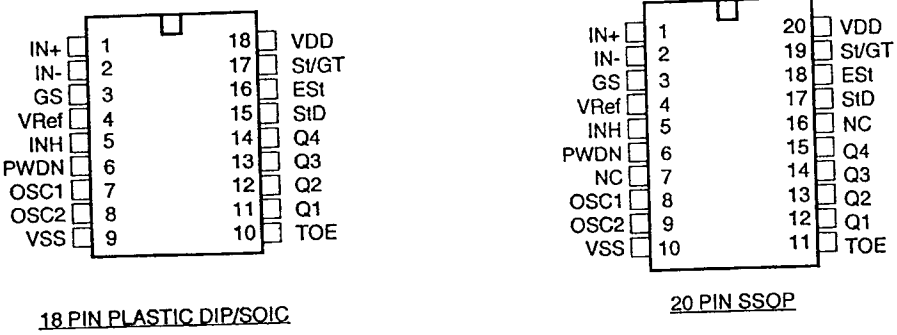


Figure 2 - Pin Connections

Pin Description

Pin #		Name	Description
18	20		
1	1	IN+	**Non-Inverting Op-Amp (Input).**
2	2	IN-	**Inverting Op-Amp (Input).**
3	3	GS	**Gain Select.** Gives access to output of front end differential amplifier for connection of feedback resistor.
4	4	V_{Ref}	**Reference Voltage (Output).** Nominally $V_{DD}/2$ is used to bias inputs at mid-rail (see Fig. 6 and Fig. 10).
5	5	INH	**Inhibit (Input).** Logic high inhibits the detection of tones representing characters A, B, C and D. This pin input is internally pulled down.
6	6	PWDN	**Power Down (Input).** Active high. Powers down the device and inhibits the oscillator. This pin input is internally pulled down.
7	8	OSC1	**Clock (Input).**
8	9	OSC2	**Clock (Output).** A 3.579545 MHz crystal connected between pins OSC1 and OSC2 completes the internal oscillator circuit.
9	10	V_{SS}	**Ground (Input).** 0V typical.
10	11	TOE	**Three State Output Enable (Input).** Logic high enables the outputs Q1-Q4. This pin is pulled up internally.
11-14	12-15	Q1-Q4	**Three State Data (Output).** When enabled by TOE, provide the code corresponding to the last valid tone-pair received (see Table 1). When TOE is logic low, the data outputs are high impedance.
15	17	StD	**Delayed Steering (Output).** Presents a logic high when a received tone-pair has been registered and the output latch updated; returns to logic low when the voltage on St/GT falls below V_{TSt}.
16	18	ESt	**Early Steering (Output).** Presents a logic high once the digital algorithm has detected a valid tone pair (signal condition). Any momentary loss of signal condition will cause ESt to return to a logic low.
17	19	St/GT	**Steering Input/Guard time (Output) Bidirectional.** A voltage greater than V_{TSt} detected at St causes the device to register the detected tone pair and update the output latch. A voltage less than V_{TSt} frees the device to accept a new tone pair. The GT output acts to reset the external steering time-constant; its state is a function of ESt and the voltage on St.
18	20	V_{DD}	**Positive power supply (Input).** +5V typical.
	7, 16	NC	No Connection.

Applications

RECEIVER SYSTEM FOR BRITISH TELECOM SPEC POR 1151

The circuit shown in Fig. 9 illustrates the use of MT8870D-1 device in a typical receiver system. BT Spec defines the input signals less than -34 dBm as the non-operate level. This condition can be attained by choosing a suitable values of R_1 and R_2 to provide 3 dB attenuation, such that -34 dBm input signal will correspond to -37 dBm at the gain setting pin GS of MT8870D-1. As shown in the diagram, the component values of R_3 and C_2 are the guard time requirements when the total component tolerance is 6%. For better performance, it is recommended to use the non-symmetric guard time circuit in Fig. 8.

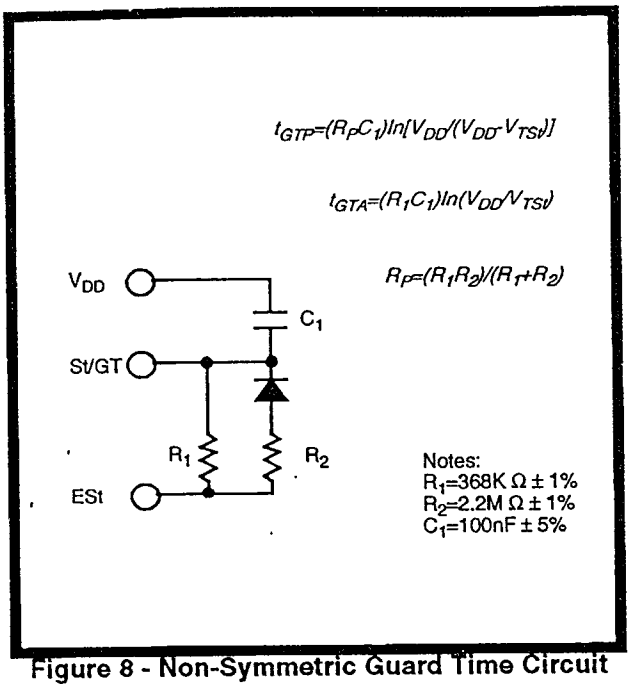


Figure 8 - Non-Symmetric Guard Time Circuit

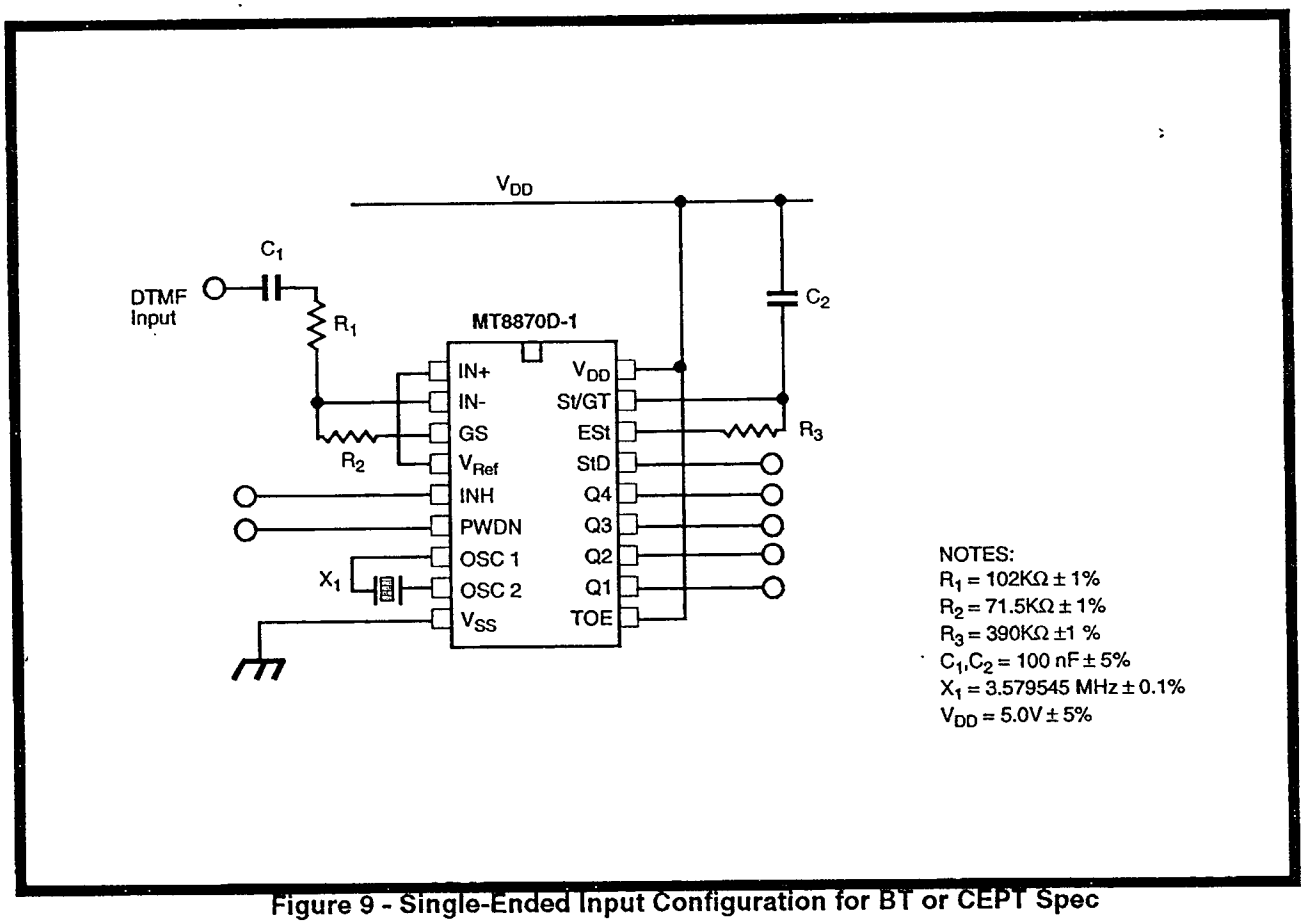
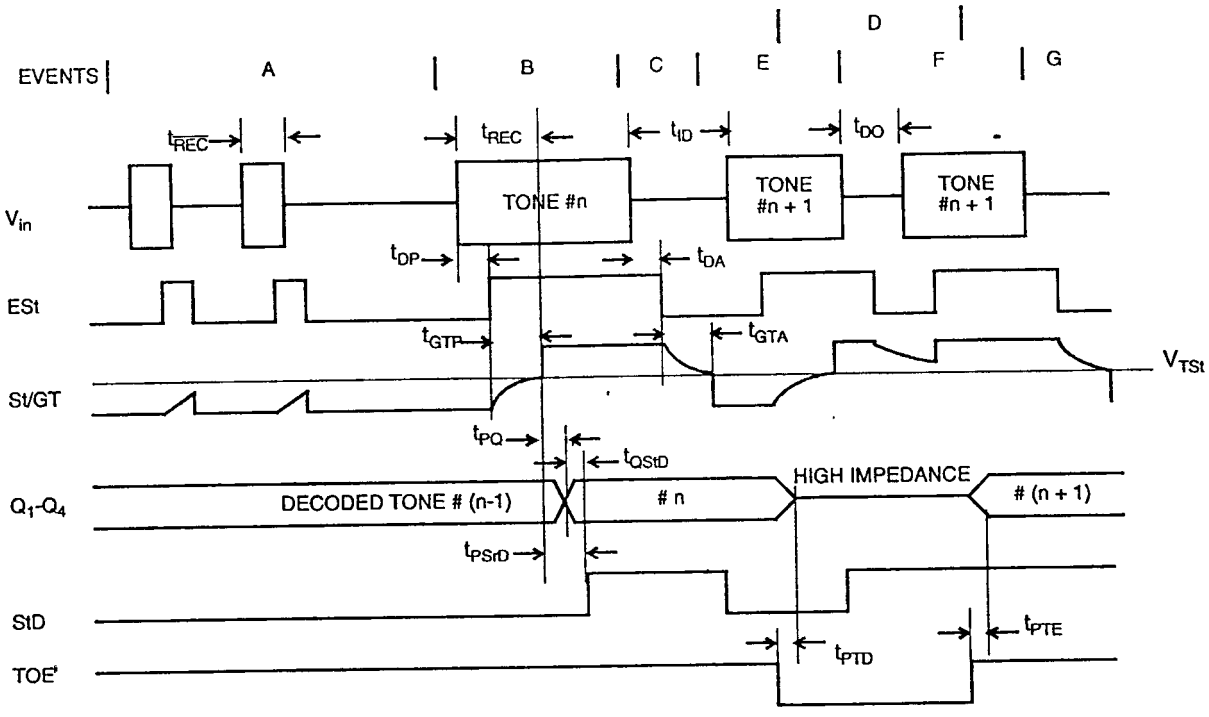


Figure 9 - Single-Ended Input Configuration for BT or CEPT Spec



EXPLANATION OF EVENTS

A) TONE BURSTS DETECTED, TONE DURATION INVALID, OUTPUTS NOT UPDATED.

B) TONE #n DETECTED, TONE DURATION VALID, TONE DECODED AND LATCHED IN OUTPUTS

C) END OF TONE #n DETECTED, TONE ABSENT DURATION VALID, OUTPUTS REMIAN LATCHED UNTIL NEXT VALID TONE.

D) OUTPUTS SWITCHED TO HIGH IMPEDANCE STATE.

E) TONE #n + 1 DETECTED, TONE DURATION VALID, TONE DECODED AND LATCHED IN OUTPUTS (CURRENTLY HIGH IMPEDANCE).

F) ACCEPTABLE DROPOUT OF TONE #n + 1, TONE ABSENT DURATION INVALID, OUTPUTS REMAIN LATCHED.

G) END OF TONE #n + 1 DETECTED, TONE ABSENT DURATION VALID, OUTPUTS REMAIN LATCHED UNTIL NEXT VALID TONE.

EXPLANATION OF SYMBOLS

V_{in}	DTMF COMPOSITE INPUT SIGNAL.
ESt	EARLY STEERING OUTPUT. INDICATES DETECTION OF VALID TONE FREQUENCIES.
St/GT	STEERING INPUT/GUARD TIME OUTPUT. DRIVES EXTERNAL RC TIMING CIRCUIT.
Q_1-Q_4	4-BIT DECODED TONE OUTPUT.
StD	DELAYED STEERING OUTPUT. INDICATES THAT VALID FREQUENCIES HAVE BEEN PRESENT/ABSENT FOR THE REQUIRED GUARD TIME THUS CONSTITUTING A VALID SIGNAL.
TOE	TONE OUTPUT ENABLE (INPUT). A LOW LEVEL SHIFTS Q_1-Q_4 TO ITS HIGH IMPEDANCE STATE.
$t_{\overline{REC}}$	MAXIMUM DTMF SIGNAL DURATION NOT DETECED AS VALID
t_{REC}	MINIMUM DTMF SIGNAL DURATION REQUIRED FOR VALID RECOGNITION
t_{ID}	MAXIMUM TIME BETWEEN VALID DTMF SIGNALS.
t_{DO}	MAXIMUM ALLOWABLE DROP OUT DURING VALID DTMF SIGNAL.
t_{DP}	TIME TO DETECT THE PRESENCE OF VALID DTMF SIGNALS.
t_{DA}	TIME TO DETECT THE ABSENCE OF VALID DTMF SIGNALS.
t_{GTP}	GUARD TIME, TONE PRESENT.
t_{GTA}	GUARD TIME, TONE ABSENT.

Figure 11 - Timing Diagram

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

MC145412
MC145413
MC145512

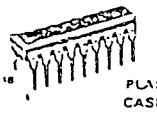
Advance Information

Pulse/Tone Repertory Dialer

Low Power Silicon-Gate CMOS

The MC145412/13 and MC145512 are silicon gate, monolithic CMOS integrated circuits which convert keyboard inputs into either pulse or DTMF outputs. They are packaged in a standard 18 pin (0.3" wide) plastic DIP.

- 3 x 4 or 4 x 4 Keyboard Compatibility Which Allows the Use of 2-of-7, 2-of-8, or Form A Type Keyboards
- MC145413 Adds Keyboard Selectable Pause Switch Function
- Single Pin Switchable Between DTMF, 10 pps and 20 pps
- 500 Hz Tone Signal Output in the Pulse Dialing Mode
- Memory Storage for Ten 18 Digit Numbers, Including Last Number Redial
- Uses 3.579545 MHz Colorburst Crystal
- Telephone Line Powered
- Silicon Gate CMOS Technology for 1.7-5.5 V Low Power Operation
- Stand Alone DTMF Dialer/Stand Alone Pulse Dialer
- Mute Output Used to Isolate Receiver from Dialing Output
- Memory Programming Options by Keyboard Configuration



PLASTIC
CASE 707

Ordering Information

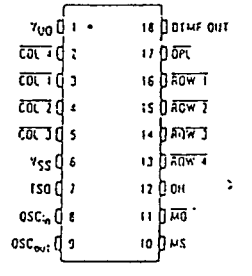
MC145 X X X X

P Plastic

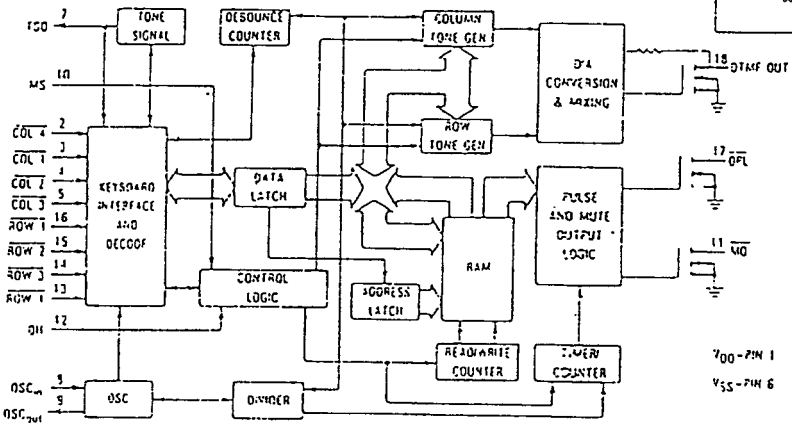
4 40/60 M/B Ratio

5 32/68 M/B Ratio

PIN ASSIGNMENT



BLOCK DIAGRAM



This document contains information on a new product. Specifications and information herein are subject to change without notice.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (V_{SS} = 0 V)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
DC Supply Voltage	V_{DD}	−0.5 to +8.0	V
Operating Temperature	T_A	−30 to +60	°C
Storage Temperature	T_{stg}	−65 to +150	°C
DC Current Drain Per Pin	I	10	mA
Maximum Voltage On Any Pin Relative to V_{SS} On Any Pin Relative to V_{DD}	 V_{in1} V_{in2}	 −0.5 +0.5	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = −30 to 60°C, V_{DD} = 2.5 V, V_{SS} = 0 V, Unless Otherwise Noted)

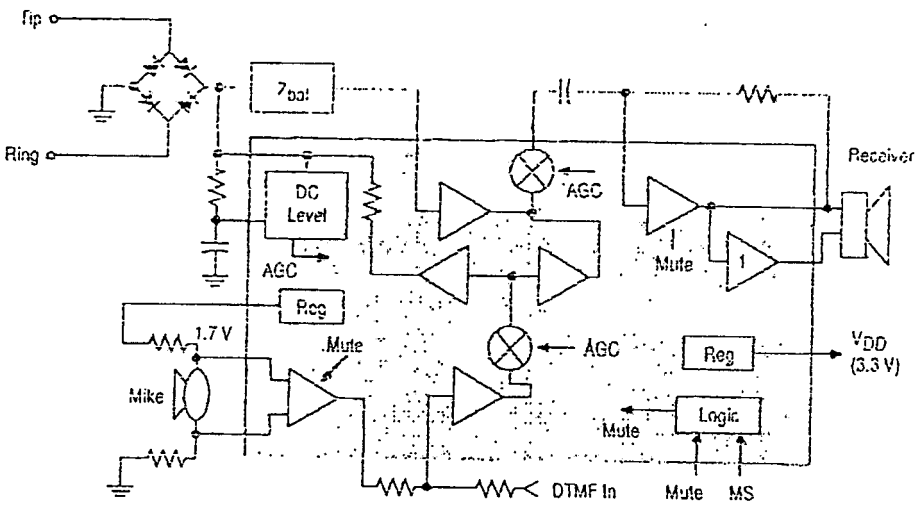
Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
DC Supply Voltage — Pulse Mode	V_{DD}	2.0	–	5.5	V
DC Supply Voltage — DTMF Mode	V_{DD}	2.5	–	5.5	V
Operating Current — Pulse Mode (MS = V_{DD})	I_{DD}	–	0.35	0.7	mA
Operating Current — DTMF Mode (MS = V_{SS})	I_{DD}	–	1.0	2.0	mA
Memory Retention Voltage	V_{stby}	1.7	–	–	V
Memory Retention Current (V_{DD} = 1.7 V)	I_{stby}	–	1.0	2.0	µA
Memory Retention Current (V_{DD} = 2.5 V)	I_{stby}	–	1.2	2.5	µA
Input Voltage, Row/Column/OH — "0" Level	V_{IL}	–	–	0.2 V_{DD}	V
Input Voltage, Row/Column/OH — "1" Level	V_{IH}	0.8 V_{DD}	–	–	V
Row/Column Input Impedance — To V_{DD}	Z_{in}	–	100	–	kΩ
Row/Column Input Impedance — To V_{SS}	Z_{in}	–	2	–	kΩ
OH Pull-Up Resistance	R	–	50	–	kΩ
Input Capacitance (All Inputs)	C_{in}	–	10	–	pF
MS Pin Input Impedance	Z_{in}	50	200	–	kΩ
Output Sink Current (V_{DD} = 2.5 V) TSO Pin	I_{OL}	0.5	0.7	–	mA
Output Sink Current (V_{DD} = 2.5 V) $\overline{MO}$ Pin	I_{OL}	1.0	2.0	–	mA
Output Sink Current (V_{DD} = 2.5 V) $\overline{OPL}$ Pin	I_{OL}	1.0	2.0	–	mA
Output Sink Current (V_{DD} = 4.0 V) $\overline{MO}$ Pin	I_{OL}	3.0	–	–	mA
Output Sink Current (V_{DD} = 4.0 V) $\overline{OPL}$ Pin	I_{OL}	4.5	–	–	mA
TSO Output Source Current (V_{out} = 2.0 V)	I_{OH}	0.5	0.7	–	mA
Output Leakage Current — $\overline{MO}$, $\overline{OPL}$ Pins	I_{lkg}	–	–	1.0	µA
DTMF Output Level Referenced to $V_{DD}/2$ (V_{DD} = 2.5 to 4.0 V, RL = 600 Ω to V_{DD}) — Row Tone	V_{out}	250	310	370	mV RMS
DTMF Output Level Referenced to $V_{DD}/2$ (V_{DD} = 2.5 to 4.0 V, RL = 600 Ω to V_{DD}) — Column Tone	V_{out}	330	390	450	mV RMS
DTMF Output Tone Leakage (V_{DD} = 3.5, RL = 600 Ω, 300 to 4000 Hz)		–	–	−80	dBm
DTMF Output Tone Distortion (V_{DD} = 3.5, RL = 600 Ω, 300 to 4000 Hz)		–	–	5	%
Pre-Emphasis		1	2	2.5	dB
DTMF Output Leakage Current While Not Dialing Tones (V_{DD} = 2.5 V)		–	–	1.0	µA
DTMF Output Sink Current While Dialing Tones		20	–	–	µA

Telephone Speech Network with Dialer Interface

MC34114P, DW

T_A = –20° to +70°C, Case 707, 751D

- Operation Down to 1.2 V
- Adjustable Transmit, Receive, and Sidetone Gains by External Resistors
- Differential Microphone Amplifier Input Minimizes RFI
- Transmit, Receive, and Sidetone Equalization on both Voice and DTMF Signals
- Regulated 1.7 V Output for Biasing Microphone
- Regulated 3.3 V Output for Powering External Dialer
- Microphone and Receive Amplifiers Muted During Dialing
- Differential Receive Amplifier Output Eliminates Coupling Capacitor
- Operates with Receiver Impedances of 150 Ω and Higher



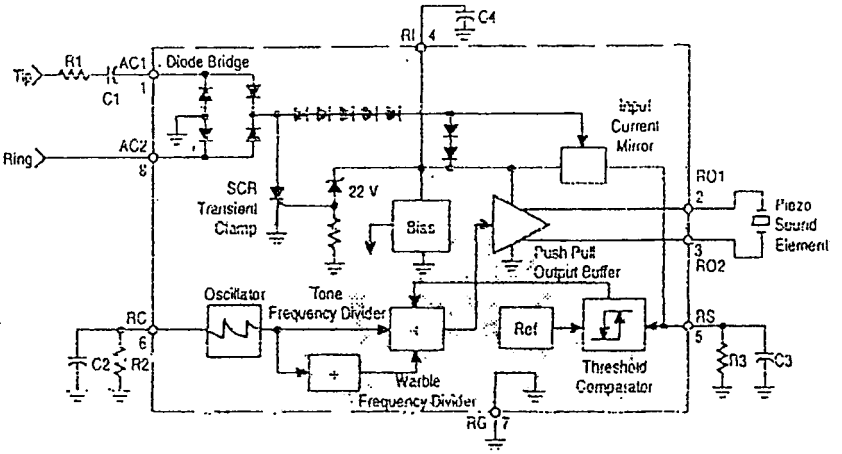
Tone Ringers

The MC34017 Tone Ringer is designed to replace the bulky bell assembly of a telephone, while providing the same function and performance under a variety of conditions. The operational requirements spelled out by the FCC and EIA–470, simply stated, are that a ringer circuit MUST function when a ringing signal is provided, and MUST NOT ring when other signals (speech, dialing, noise) are on the line. The tone ringers described below were designed to meet those requirements with a minimum of external components.

MC34017P, D

T_A = –20° to +60°C, Case 626, 751

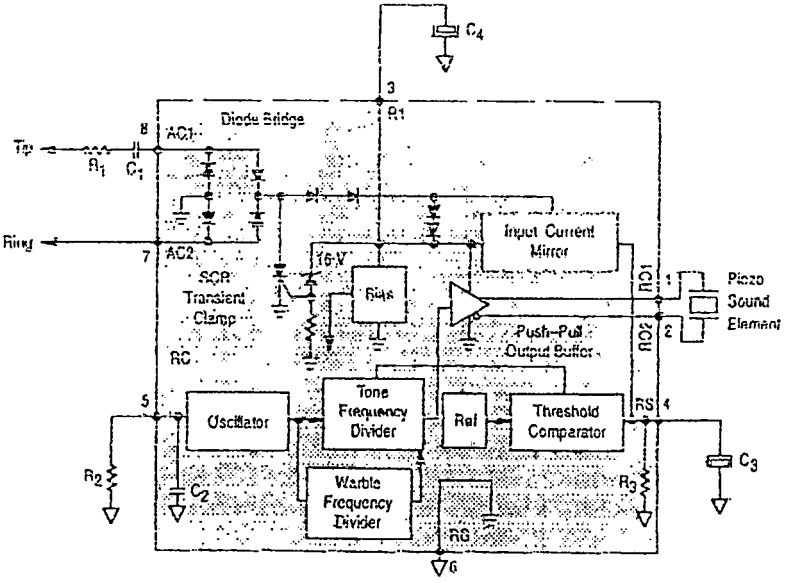
- Complete Telephone Bell Replacement Circuit with Minimum External Components
- On–Chip Diode Bridge and Transient Protection
- Direct Drive for Piezoelectric Transducers
- Push Pull Output Stage for Greater Output Power Capability
- Base Frequency Options
  - MC34017–1: 1.0 kHz
  - MC34017–2: 2.0 kHz
  - MC34017–3: 500 Hz
- Input Impedance Signature Meets Bell and EIA Standards
- Rejects Rotary Dial Transients



MC34217P, D

T_A = –20° to +60°C, Case 626, 751

- Complete Telephone Bell Replacement
- On–Chip Diode Bridge
- Internal Transient Protection
- Differential Output to Piezo Transducer for Louder Sound
- Input Impedance Signature Meets Bell and EIA Standards
- Rejects Rotary Dial and Hook Switch Transients
- Base Frequency and Warble Frequencies are Independently Adjustable
- Adjustable Base Frequency
- Reduced Number of Externals



FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

October 1987
Revised January 1999

CD4020BC • CD4040BC • CD4060BC
14-Stage Ripple Carry Binary Counters • 12-Stage Ripple Carry Binary Counters • 14-Stage Ripple Carry Binary Counters

General Description

The CD4020BC, CD4060BC are 14-stage ripple carry binary counters, and the CD4040BC is a 12-stage ripple carry binary counter. The counters are advanced one count on the negative transition of each clock pulse. The counters are reset to the zero state by a logical "1" at the reset input independent of clock.

Features

- Wide supply voltage range: 1.0V to 15V
- High noise immunity: 0.45 V_{DD} (typ.)
- Low power TTL compatibility: Fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS
- Medium speed operation: 8 MHz typ. at V_{DD} = 10V
- Schmitt trigger clock input

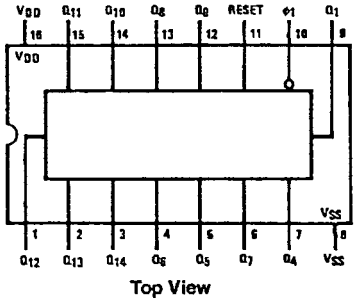
Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
CD4020BCM	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
CD4020BCN	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide
CD4040BCM	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
CD4040BCSJ	M16D	16-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
CD4040BCN	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide
CD4060BCM	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
CD4060BCN	N16E	16-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.

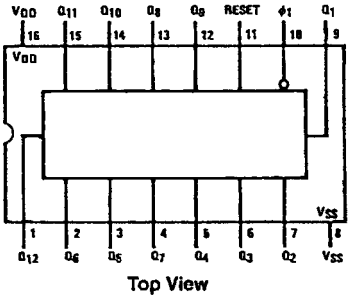
Connection Diagrams

Pin Assignments for DIP and SOIC
CD4020BC



Top View

Pin Assignments for DIP, SOIC and SOP
CD4040BC



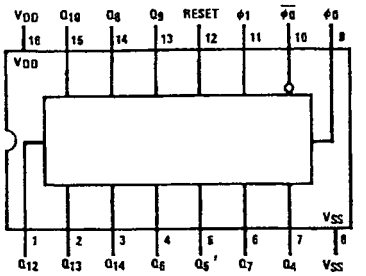
Top View

© 1999 Fairchild Semiconductor Corporation

Connection Diagrams (Continued)

Pin Assignments for DIP and SOIC

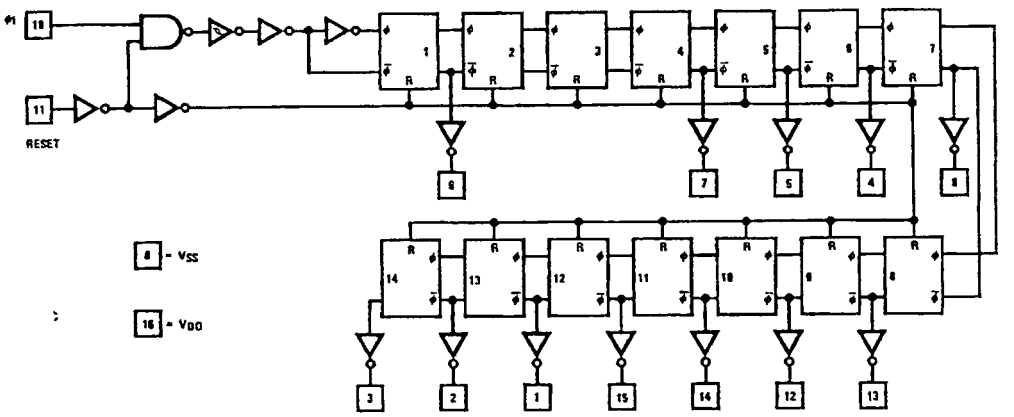
CD4060BC



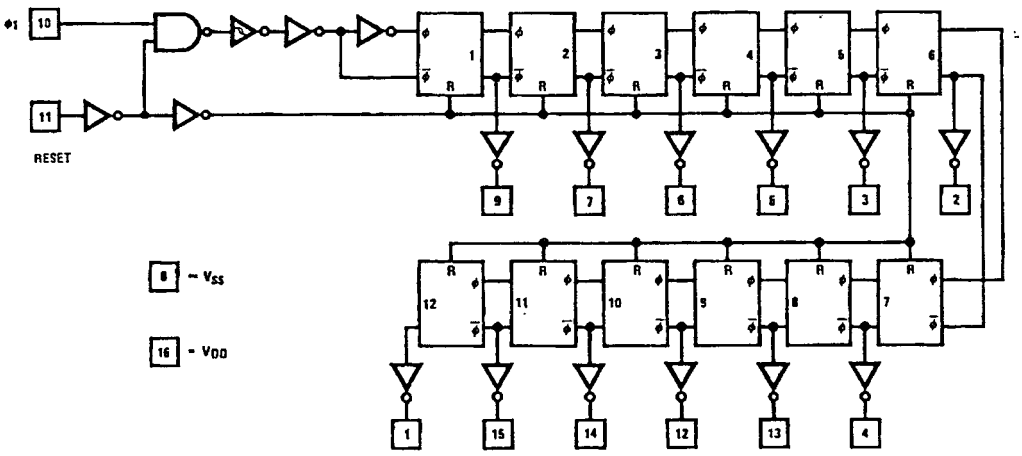
Top View

Schematic Diagrams

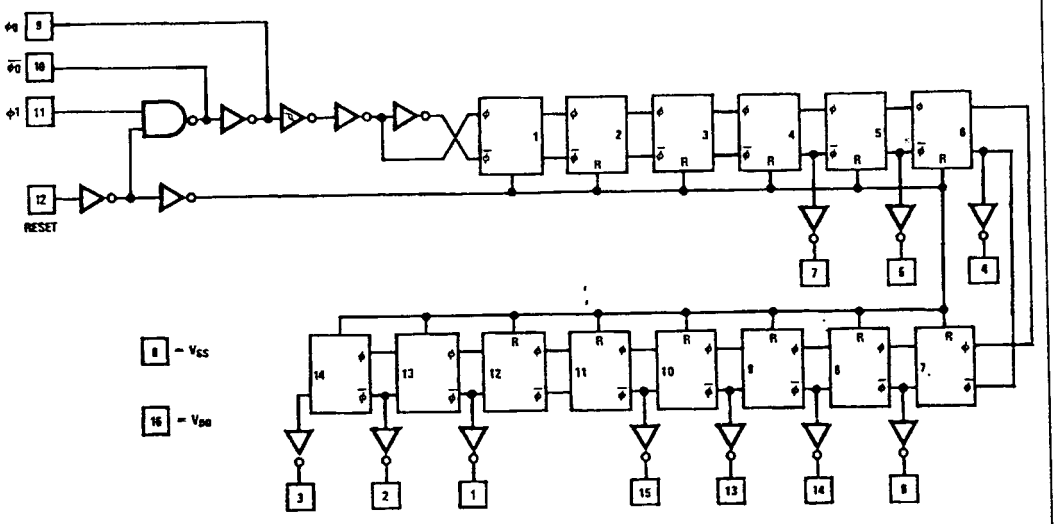
CD4020BC



CD4040BC

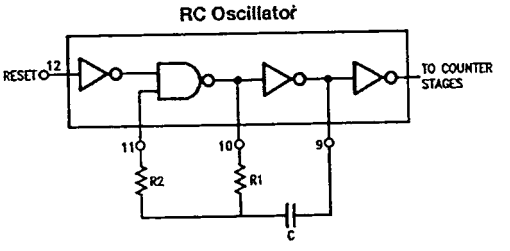


CD4060BC

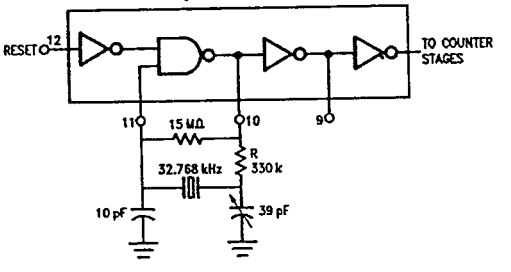


CD4060B Typical Oscillator Connections

RC Oscillator



Crystal Oscillator



Absolute Maximum Ratings(Note 1)

(Note 2)

Supply Voltage (V_{DD})	−0.5V to +18V
Input Voltage (V_{IN})	−0.5V to V_{DD} +0.5V
Storage Temperature Range (T_S)	−65°C to +150°C
Package Dissipation (P_D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering, 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions

Supply Voltage (V_{DD})	+3V to +15V
Input Voltage (V_{IN})	0V to V_{DD}
Operating Temperature Range (T_A)	−40°C to +85°C

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

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

DC Electrical Characteristics (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	−40°C		+25°C			+85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	V_{DD} = 5V, V_{IN} = V_{DD} or V_{SS}		20			20		150	µA
		V_{DD} = 10V, V_{IN} = V_{DD} or V_{SS}		40			40		300	µA
		V_{DD} = 15V, V_{IN} = V_{DD} or V_{SS}		80			80		600	µA
V_{OL}	LOW Level Output Voltage	V_{DD} = 5V		0.05		0	0.05		0.05	V
		V_{DD} = 10V		0.05		0	0.05		0.05	V
		V_{DD} = 15V		0.05		0	0.05		0.05	V
V_{OH}	HIGH Level Output Voltage	V_{DD} = 5V	4.95		4.95	5		4.95		V
		V_{DD} = 10V	9.95		9.95	10		9.95		V
		V_{DD} = 15V	14.95		14.95	15		14.95		V
V_{IL}	LOW Level Input Voltage	V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V or 4.5V		1.5		2	1.5		1.5	V
		V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V or 9.0V		3.0		4	3.0		3.0	V
		V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V or 13.5V		4.0		6	4.0		4.0	V
V_{IH}	HIGH Level Input Voltage	V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V or 4.5V	3.5		3.5	3		3.5		V
		V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V or 9.0V	7.0		7.0	6		7.0		V
		V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V or 13.5V	11.0		11.0	9		11.0		V
I_{OL}	LOW Level Output Current (Note 3)	V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V	0.52		0.44	0.88		0.36		mA
		V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V	1.3		1.1	2.25		0.9		mA
		V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V	3.6		3.0	8.8		2.4		mA
I_{OH}	HIGH Level Output Current (Note 3)	V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V	−0.52		−0.44	−0.88		−0.36		mA
		V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V	−1.3		−1.1	−2.25		−0.9		mA
		V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V	−3.6		−3.0	−8.8		−2.4		mA
I_{IN}	Input Current	V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V		−0.30		-10^{-5}	−0.30		−1.0	µA
		V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V		0.30		10^{-5}	0.30		1.0	µA

Note 3: Data does not apply to oscillator points ϕ_0 and $\bar{\phi}_0$ of CD4060BC. I_{OH} and I_{OL} are tested one output at a time.

AC Electrical Characteristics (Note 4)

CD4020BC, CD4040BC $T_A = 25°C$, $C_L = 50$ pF, $R_L = 200k$, $t_r = t_f = 20$ ns, unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{PHL1}, t_{PLH1}	Propagation Delay Time to Q_1	$V_{DD} = 5V$		250	550	ns
		$V_{DD} = 10V$		100	210	ns
		$V_{DD} = 15V$		75	150	ns
t_{PHL}, t_{PLH}	Interstage Propagation Delay Time from Q_n to Q_{n+1}	$V_{DD} = 5V$		150	330	ns
		$V_{DD} = 10V$		60	125	ns
		$V_{DD} = 15V$		45	90	ns
t_{THL}, t_{TLH}	Transition Time	$V_{DD} = 5V$		100	200	ns
		$V_{DD} = 10V$		50	100	ns
		$V_{DD} = 15V$		40	80	ns
t_{WL}, t_{WH}	Minimum Clock Pulse Width	$V_{DD} = 5V$		125	335	ns
		$V_{DD} = 10V$		50	125	ns
		$V_{DD} = 15V$		40	100	ns
t_{rCL}, t_{fCL}	Maximum Clock Rise and Fall Time	$V_{DD} = 5V$			No Limit	ns
		$V_{DD} = 10V$			No Limit	ns
		$V_{DD} = 15V$			No Limit	ns
f_{CL}	Maximum Clock Frequency	$V_{DD} = 5V$	1.5	4		MHz
		$V_{DD} = 10V$	4	10		MHz
		$V_{DD} = 15V$	5	12		MHz
$t_{PHL(R)}$	Reset Propagation Delay	$V_{DD} = 5V$		200	450	ns
		$V_{DD} = 10V$		100	210	ns
		$V_{DD} = 15V$		80	170	ns
$t_{WH(R)}$	Minimum Reset Pulse Width	$V_{DD} = 5V$		200	450	ns
		$V_{DD} = 10V$		100	210	ns
		$V_{DD} = 15V$		80	170	ns
C_{IN}	Average Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF
C_{PD}	Power Dissipation Capacitance			50		pF

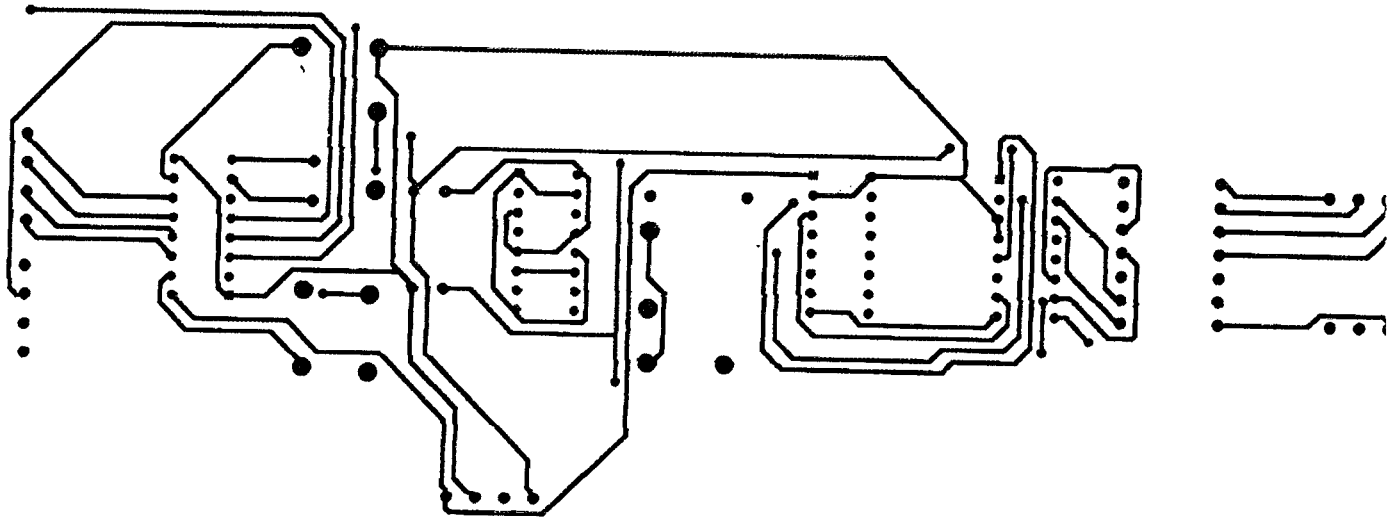
Note 4: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

AC Electrical Characteristics (Note 5)

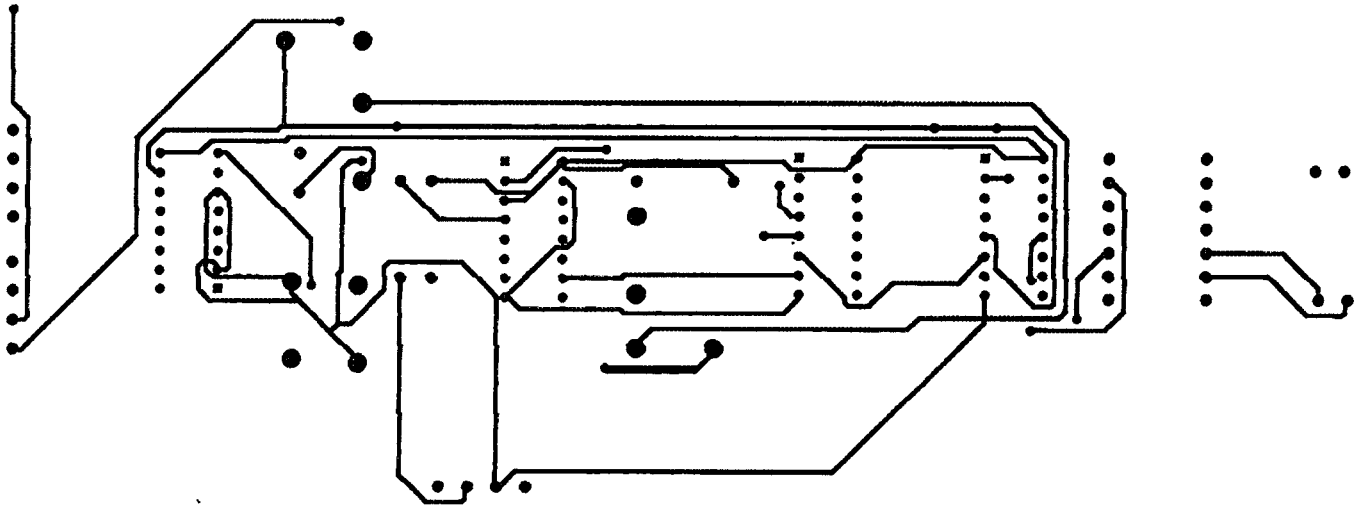
CD4060BC $T_A = 25°C$, $C_L = 50$ pF, $R_L = 200k$, $t_r = t_f = 20$ ns, unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{PHL4}, t_{PLH4}	Propagation Delay Time to Q_4	$V_{DD} = 5V$		550	1300	ns
		$V_{DD} = 10V$		250	525	ns
		$V_{DD} = 15V$		200	400	ns
t_{PHL}, t_{PLH}	Interstage Propagation Delay Time from Q_n to Q_{n+1}	$V_{DD} = 5V$		150	330	ns
		$V_{DD} = 10V$		60	125	ns
		$V_{DD} = 15V$		45	90	ns
t_{THL}, t_{TLH}	Transition Time	$V_{DD} = 5V$		100	200	ns
		$V_{DD} = 10V$		50	100	ns
		$V_{DD} = 15V$		40	80	ns
t_{WL}, t_{WH}	Minimum Clock Pulse Width	$V_{DD} = 5V$		170	500	ns
		$V_{DD} = 10V$		65	170	ns
		$V_{DD} = 15V$		50	125	ns
t_{rCL}, t_{fCL}	Maximum Clock Rise and Fall Time	$V_{DD} = 5V$			No Limit	ns
		$V_{DD} = 10V$			No Limit	ns
		$V_{DD} = 15V$			No Limit	ns
f_{CL}	Maximum Clock Frequency	$V_{DD} = 5V$	1	3		MHz
		$V_{DD} = 10V$	3	8		MHz
		$V_{DD} = 15V$	4	10		MHz
$t_{PHL(R)}$	Reset Propagation Delay	$V_{DD} = 5V$		200	450	ns
		$V_{DD} = 10V$		100	210	ns
		$V_{DD} = 15V$		80	170	ns
$t_{WH(R)}$	Minimum Reset Pulse Width	$V_{DD} = 5V$		200	450	ns
		$V_{DD} = 10V$		100	210	ns
		$V_{DD} = 15V$		80	170	ns
C_{IN}	Average Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF
C_{PD}	Power Dissipation Capacitance			50		pF

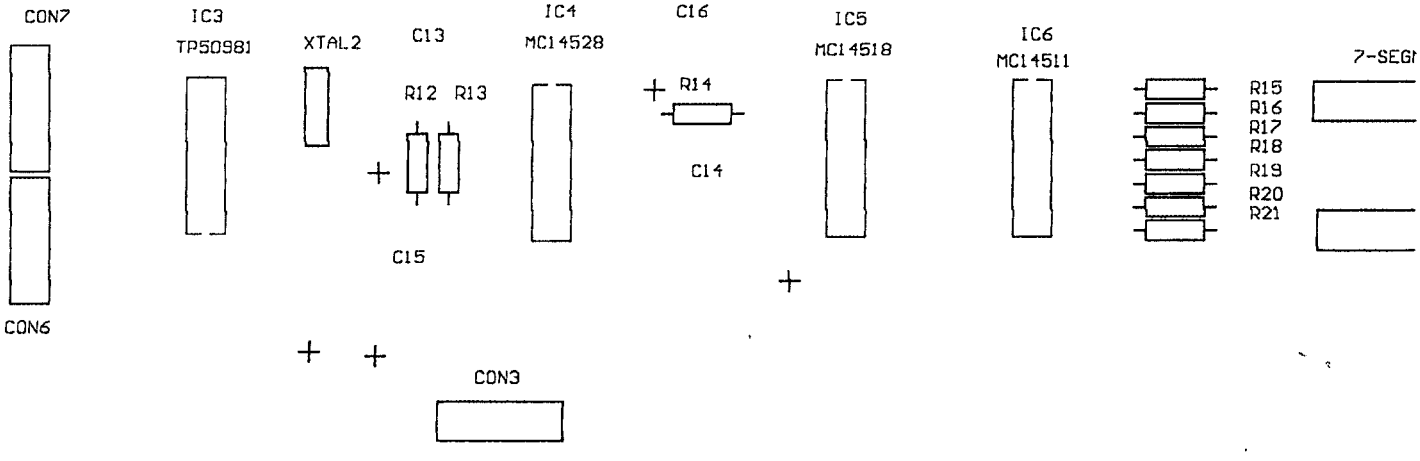
Note 5: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.



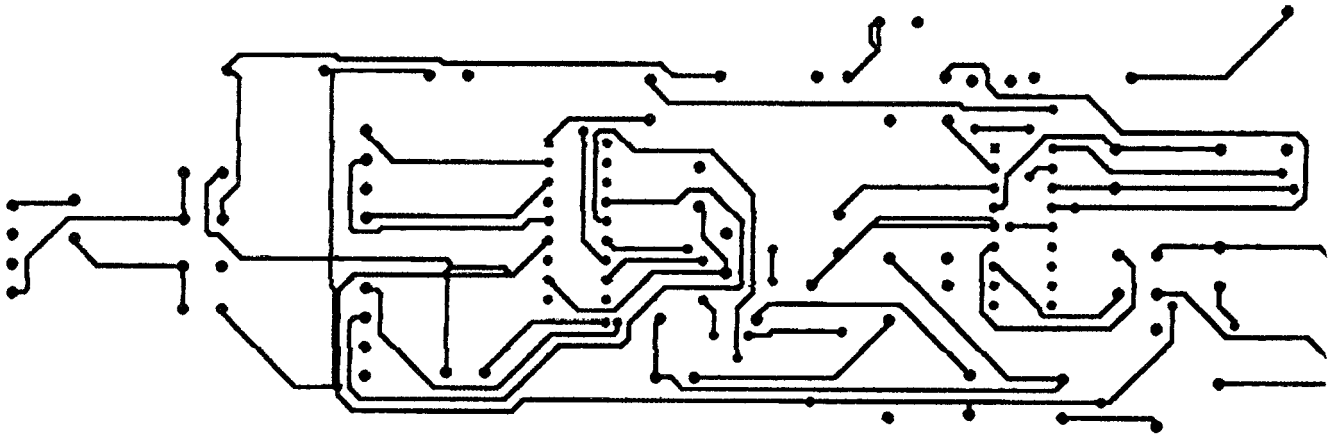
รูปที่ 1 ลายทองแดงด้านบนของวงจร Pulse Dialer



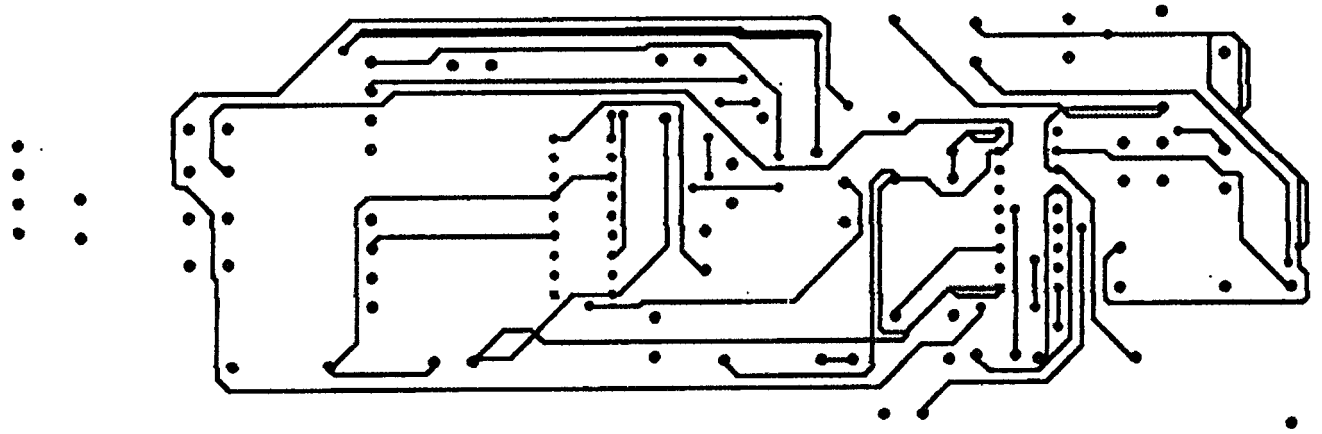
รูปที่ 2 ลายทองแดงด้านล่างของวงจร Pulse Dialer



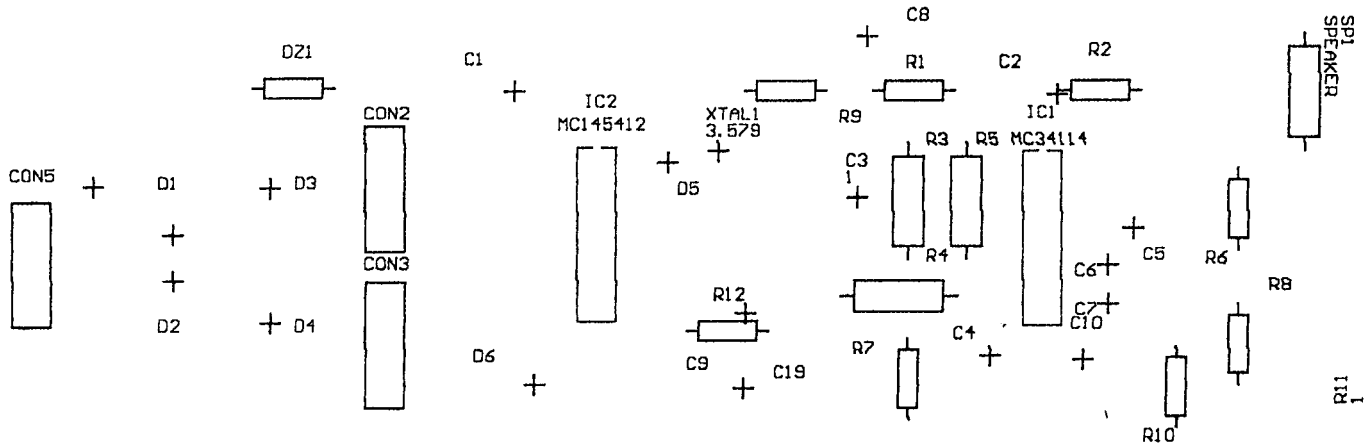
รูปที่ 3 ผังวางอุปกรณ์ของวงจร Pulse Dialer



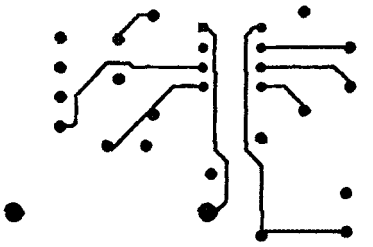
รูปที่ 4 ลายทองแดงด้านบนของวงจร DTMF



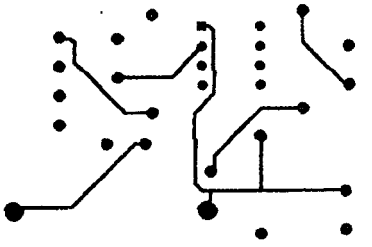
รูปที่ 5 ลายทองแดงด้านล่างของวงจร DTMF



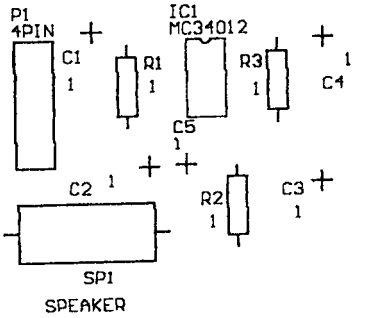
รูปที่ 6 ผังวางอุปกรณ์ของวงจร DTMF



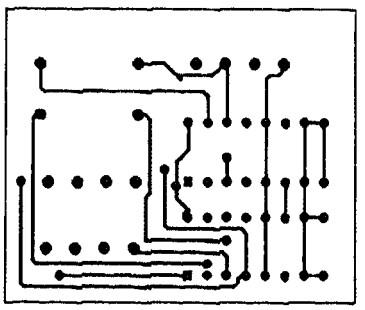
รูปที่ 7 ลายทองแดงด้านบนของวงจร Ringing



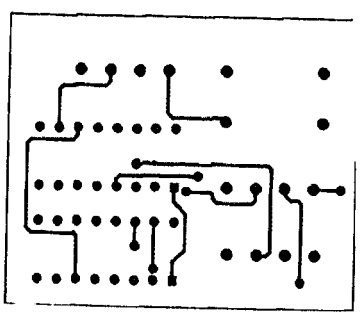
รูปที่ 8 ลายทองแดงด้านล่างของวงจร Ringing



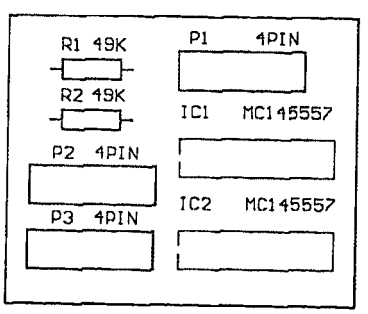
รูปที่ 9 ผังวางอุปกรณ์ของวงจร Ringing



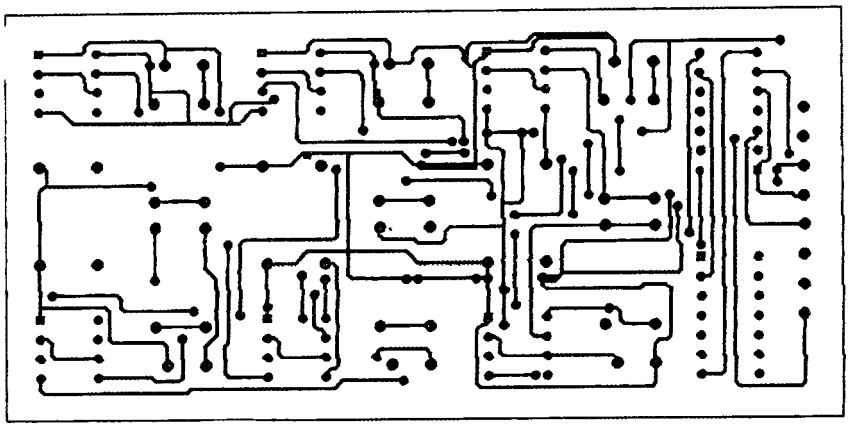
รูปที่ 10 ลายทองแดงด้านบนของวงจร CODEC



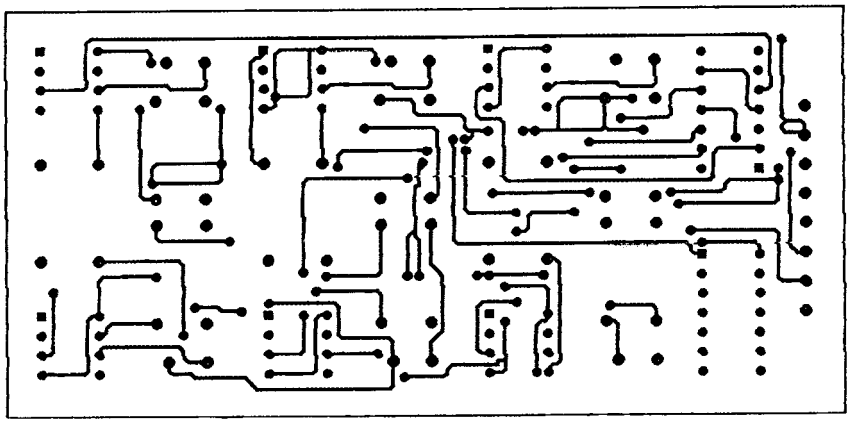
รูปที่ 11 ลายทองแดงด้านล่างของวงจร CODEC



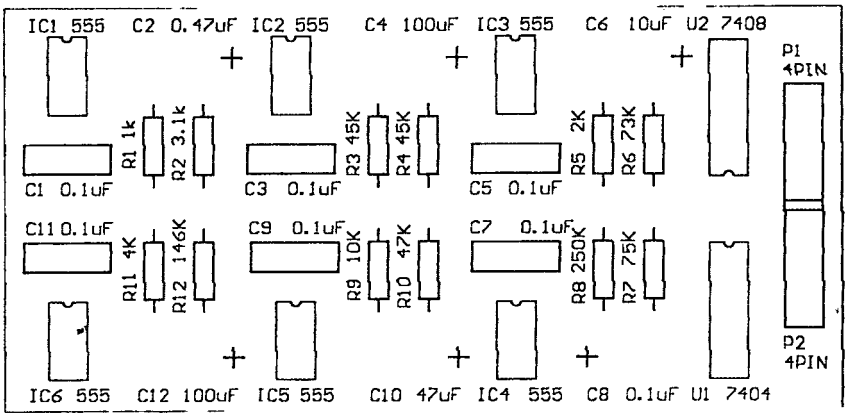
รูปที่ 12 ผังวางอุปกรณ์ของวงจร CODEC



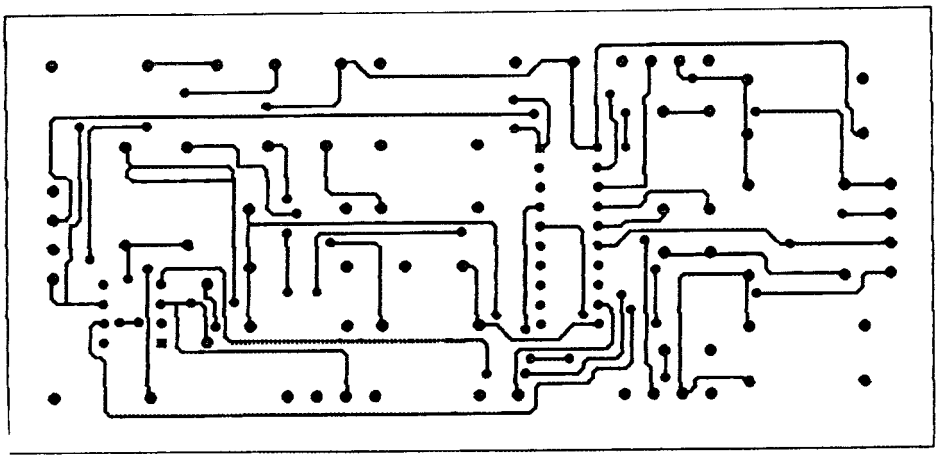
รูปที่ 13 ลายทองแดงด้านบนของวงจร Tone Generator



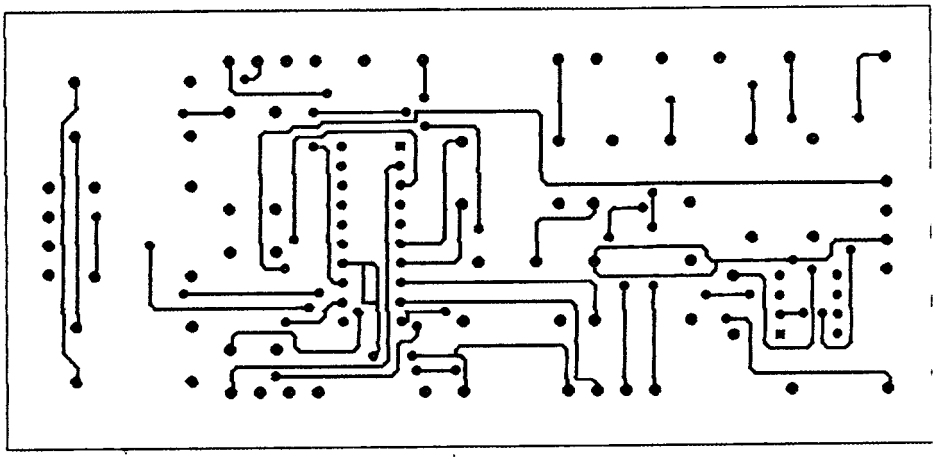
รูปที่ 14 ลายทองแดงด้านล่างของวงจร Tone Generator



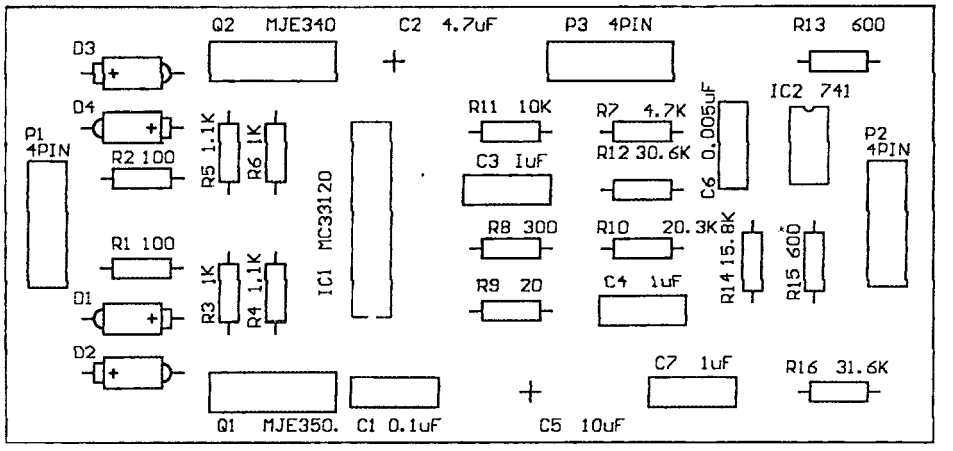
รูปที่ 15 ผังวางอุปกรณ์ของวงจร Tone Generator



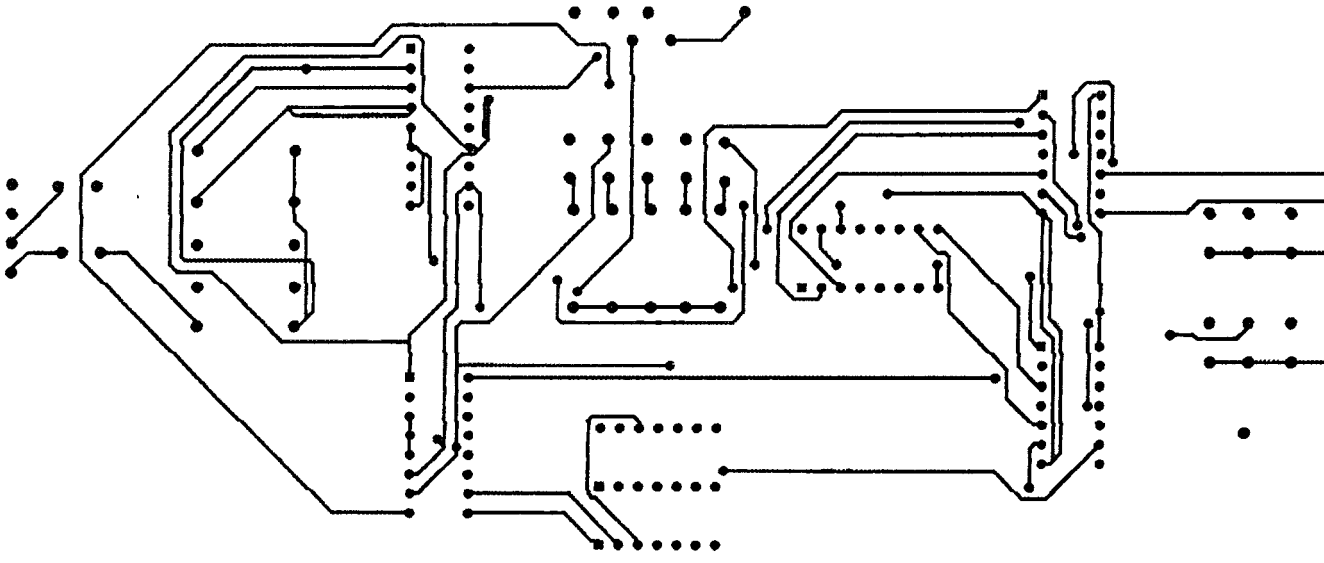
รูปที่ 16 ลายทองแดงด้านบนของวงจร Subscriber Loop



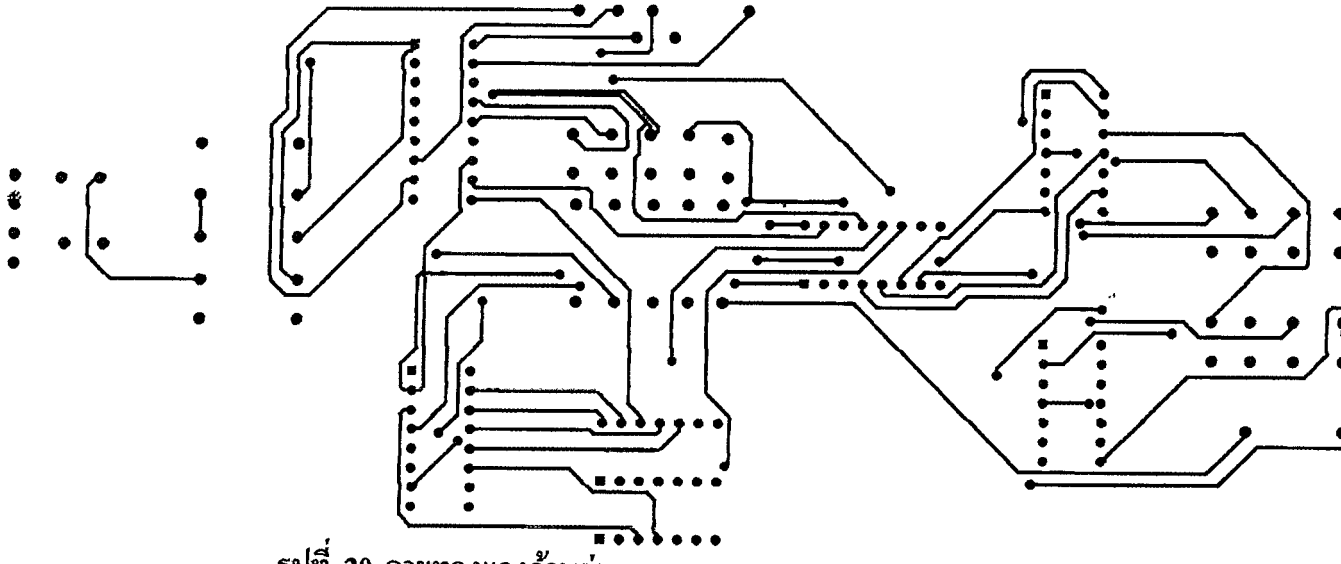
รูปที่ 17 ลายทองแดงด้านล่างของวงจร Subscriber Loop



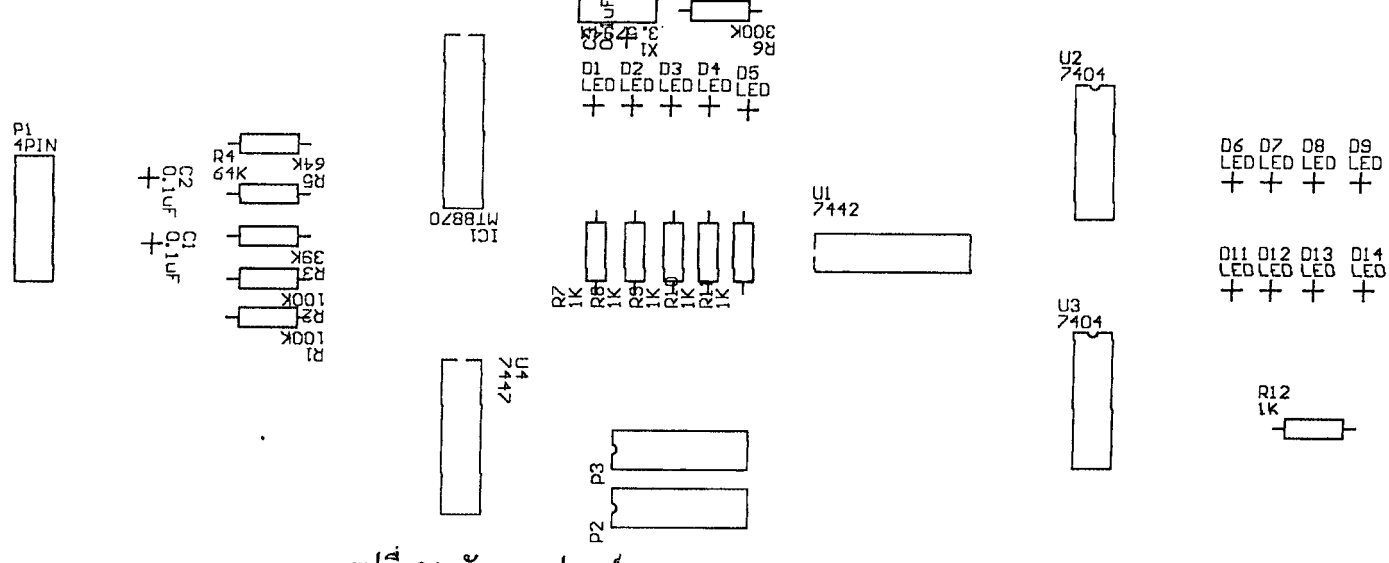
รูปที่ 18 ผังวางอุปกรณ์ของวงจร Subscriber Loop



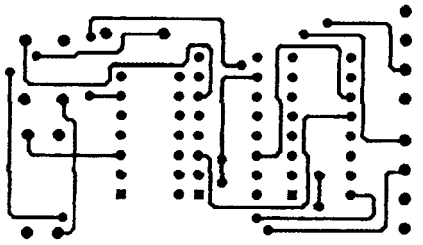
รูปที่ 19 ลายทองแดงด้านบนของวงจร DTMF Decoder



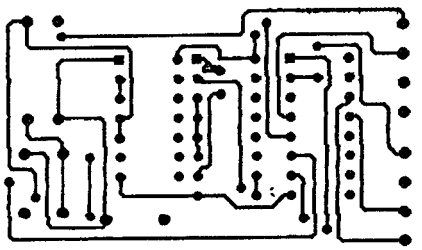
รูปที่ 20 ลายทองแดงด้านล่างของวงจร DTMF Decoder



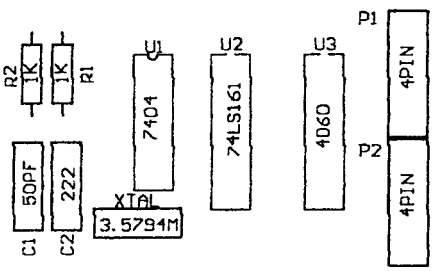
รูปที่ 21 ผังวางอุปกรณ์ของวงจร DTMF Decoder



รูปที่ 22 ลายทองแดงด้านบนของวงจร Ckock



รูปที่ 23 ลายทองแดงด้านล่างของวงจร Ckock



รูปที่ 24 ผังวางอุปกรณ์ของวงจร Ckock

บรรณนานุกรม

รวมโครงงานโทรศัพท์, บริษัท ซีเอ็ด จำกัด, หน้า 109 MC 34114 หัวใจของเครื่องโทรศัพท์

รวมโครงงานโทรศัพท์, บริษัท ซีเอ็ด จำกัด, หน้า 74 เพิ่มเสียงกริ่งโทรศัพท์

WWW.Questlink.com

WWW.mot.com

WWW.MITEL.com