

ระบบการประชุมแบบไร้สาย
WIRELESS CONFERENCE

โดย

นางสาวศศิณาด งามละเมียด รหัส 36014229

นางสาวศันสนีย์ กัปปิยบุตร รหัส 36014433

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เลขหมึก.....

เลขทะเบียน.....27858

วัน, เดือน, ปี. 2.6 ส.ย. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสงวนเวลาหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทบริหารศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบการประชุมแบบไร้สาย

WIRELESS CONFERENCE

ผู้จัดทำ

1. นางสาวศศิณาก งามละเมียด 36014229
2. นางสาวศันสนีย์ กัปปิยบุตร 36014433

เป็ติมทอ์ ฉากงโยน อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการประชุมแบบไร้สาย

WIRELESS CONFERENCE

โดย นางสาวศศิณางามละเมียด 36014229

นางสาวคันสนีย์ กัปปิยนุตร 36014433

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน

บทคัดย่อ

โครงการที่จะนำเสนอต่อไปนี้เป็นการศึกษาและสร้างระบบการประชุมแบบไร้สายซึ่งประกอบด้วยไมโครโฟนไร้สาย และเครื่องรับ โดยจะมีส่วนควบคุมการทำงานที่ใช้เทคนิคการเข้ารหัสและถอดรหัสแบบดีทีเอ็มเอฟ โดยการมอดูเลตสัญญาณดีทีเอ็มเอฟนี้ไปกับคลื่นวิทยุที่เป็นพาหะ เพื่อส่งออกไปควบคุมการทำงานของไมโครโฟนไร้สาย โดยที่ตัวไมโครโฟนไร้สายแต่ละตัวจะมีภาคถอดรหัส ถักรหัสที่ได้รับตรงกับรหัสประจำเครื่องของไมโครโฟนไร้สายตัวนั้น ก็จะทำให้มันทำงาน คือ รับสัญญาณเสียงเข้าไปมอดูเลตกับคลื่นพาหะ เพื่อส่งไปที่เครื่องรับให้ทำการแยกสัญญาณเสียงนำออกลำโพงต่อไป

ABSTRACT

This project is a study to improve a wireless conference , it consists of wireless microphones and receiver . In DTMF encoding and decoding by modulating DTMF signal with carrier are used to control this system and send to microphones . Each microphone has a decoder when the code of a decoder is the same as the code of the sending signal of controller , then the microphone works . The voice signal and carrier signal are modulated and is sent to the receiver . The receiver separates the voice signal from the carrier signal .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 หลักการเบื้องต้นของระบบการประชุมแบบไร้สาย	2
2.2 การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation)	4
2.3 การวิเคราะห์สัญญาณเอฟเอ็ม	6
2.4 การดีมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Demodulation)	9
2.5 วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator)	13
2.6 หลักการเลือกความถี่ของสัญญาณ DTMF	14
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	16
3.1 ภาคส่งสัญญาณและภาครับสัญญาณ	16
3.2 ส่วนควบคุม	35
3.3 ส่วนรับสัญญาณจากไมโครโฟนไร้สาย	41
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	44
4.1 การทดสอบส่วนควบคุม	44
4.2 การทดสอบในส่วนของไมโครโฟนไร้สาย	45
4.3 การทดสอบส่วนรับสัญญาณจากไมโครโฟนไร้สาย	47
4.4 การทดสอบวงจรเข้ารหัส DTMF	48
4.5 การทดสอบการรับ - ส่งสัญญาณ	49
4.6 การทดสอบส่วนควบคุมการทำงานของไมโครโฟนไร้สาย	50
บทที่ 5 บทสรุป	52

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรม (block diagram) แสดงส่วนประกอบของระบบการประชุมแบบไร้สาย	2
รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของส่วนควบคุม	3
รูปที่ 2.3 สัญญาณเอฟเอ็ม (FM)	4
รูปที่ 2.4 อัตราการเบี่ยงเบนความถี่	5
รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของสัญญาณเอฟเอ็มและมอดูเลชันอินเด็กซ์	8
รูปที่ 2.6 วงจรควอดราเจอร์ตีเทคเตอร์	10
รูปที่ 2.7 แสดงส่วนของอนาลอกมัลติเพลกซ์เลอร์ ซึ่งถูกแทนด้วยแอนด์เกต	11
รูปที่ 2.8 การทำงานของแอนด์เกต	11
รูปที่ 2.9 แสดงเอาต์พุตของแอนด์เกตเมื่อมีสัญญาณอินพุตต่างๆ กัน	12
รูปที่ 2.10 วงจร LC กำเนิดความถี่ที่มีความถี่เรโซแนนซ์	14
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของภาคส่งสัญญาณและภาครับสัญญาณ	16
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรของภาคส่งสัญญาณและภาครับสัญญาณ	17
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของภาคส่งสัญญาณ	18
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรไมโครโฟนแอมพลิไฟเออร์	18
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ	19
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็ม	20
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของภาครับสัญญาณ	20
รูปที่ 3.8 แสดงเอาต์พุตของวงจรมิกเซอร์	21
รูปที่ 3.9 แสดงขาของไอซี TDA7000	22
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรภาครับสัญญาณเอฟเอ็ม	23
รูปที่ 3.11 แสดงวงจรขยาย	23
รูปที่ 3.12 แสดงรายละเอียดขาของไอซี MT8870	25
รูปที่ 3.13 แสดงโครงสร้างภายในของไอซี MT8870	25
รูปที่ 3.14 แสดงแผนภูมิเวลาการทำงานของไอซี MT8870	27
รูปที่ 3.15 แสดงวงจรตรวจสอบสัญญาณ (Steering) อย่างง่าย	28
รูปที่ 3.16 แสดงวงจรตรวจสอบสัญญาณที่ใช้งานจริง	29
รูปที่ 3.17 แสดงการต่อวงจรภาคอินพุต	29
รูปที่ 3.18 แสดงการต่อวงจรกำเนิดความถี่	30
รูปที่ 3.19 แสดงวงจรใช้งานเบื้องต้นของ MT8870	30
รูปที่ 3.20 แสดงวงจรควบคุมการทำงานของไมค์	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 3:21 แสดงรายละเอียดขาของไอซี 74LS42	32
รูปที่ 3.22 แสดงวงจรสวิตช์โดยใช้ทรานซิสเตอร์	33
รูปที่ 3.23 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของส่วนควบคุม	35
รูปที่ 3.24 แสดงวงจรของส่วนควบคุม	35
รูปที่ 3.25 แสดงขาของไอซี MC145412	36
รูปที่ 3.26 แสดงบล็อกไดอะแกรมของไอซี MC145412	36
รูปที่ 3.27 แสดงไดอะแกรมของเวลาของไอซี MC145412	39
รูปที่ 3.28 แสดงวงจรใช้งานของไอซี MC145412	40
รูปที่ 3.29 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของภาครับสัญญาณ	40
รูปที่ 3.30 แสดงวงจรภาครับสัญญาณจากไมโครโฟนไร้สาย	42
รูปที่ 3.31 แสดงวงจรขยายกำลัง	43
รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์ของวงจรมอดูเลเตอร์	44
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลระหว่างคลื่นพหุกับสัญญาณความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ	45
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์ของวงจรมอดูเลเตอร์	45
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลระหว่างคลื่นพหุกับสัญญาณความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ	46
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากโลกออสซิลเลเตอร์ของภาครับสัญญาณควบคุม	47
รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากโลกออสซิลเลเตอร์ของเครื่องรับ	47
รูปที่ 4.7 แสดงรูปสัญญาณที่ได้จากวงจรเข้ารหัส DTMF เมื่อกดแป้นหมายเลข 1	48
รูปที่ 4.8 แสดงรูปสัญญาณ DTMF ที่ต้องการส่งทางด้านส่ง (รูปด้านบน) เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้รับจากการตีมอดูเลทางด้านรับ (รูปด้านล่าง)	49
รูปที่ 4.9 แสดงรูปสัญญาณที่ต้องการส่งทางภาคส่ง (รูปด้านบน) เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้รับจากการตีมอดูเลทางภาครับ (รูปด้านล่าง)	50
รูปที่ 4,10 แสดงแผนภูมิเวลาการทำงานของวงจรมอดูเลการทำงานจากไมโครโฟนไร้สาย	51

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงเบสเซลฟังก์ชัน (Bessel's Function)	8
ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหมายเลขบนแป้นกดกับความถี่ประจำแถวและหลัก	15
ตารางที่ 3.1 แสดงการทำงานของไอซี MT8870	26
ตารางที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตของไอซี 74LS42	32
ตารางที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขา MS และโหมดทำงาน	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำเอาคลื่นวิทยุมาใช้ในระบบการสื่อสารกันอย่างแพร่หลาย ด้วยเหตุที่คลื่นวิทยุสามารถเดินทางในอากาศได้ และมีการลดทอนของพลังงานน้อยเมื่อเทียบกับพลังงานในรูปแบบอื่น ทำให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ไกลโดยไม่ต้องมีการเดินสายส่งสัญญาณให้ยุ่งยาก จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว เราจึงได้นำการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุมาใช้ในการพัฒนาระบบการประชุมที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งมักจะประกอบไปด้วยไมโครโฟน และลำโพง ซึ่งในการประชุมใหญ่ ๆ ซึ่งมีผู้เข้าประชุมจำนวนมาก ไมโครโฟนและลำโพงที่ใช้มักจะต้องมีสายยาว ทำให้ไม่สะดวกในการใช้งานโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานที่ใหญ่โตกว้างขวาง มีบริเวณมาก มักประสบปัญหาหลายด้าน ทั้งเรื่องของสายพันกัน การจัดผังการวางสายเพื่อความสวยงาม ความสิ้นเปลืองในการใช้สายที่มีความยาว การบำรุงรักษาเมื่อสายเกิดชำรุดเสียหายดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบการประชุมแบบไร้สาย เพื่อให้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้นสามารถใช้ได้ทั้งระยะใกล้ไกล ทำให้ลดปัญหาเกี่ยวกับระบบสายลงได้

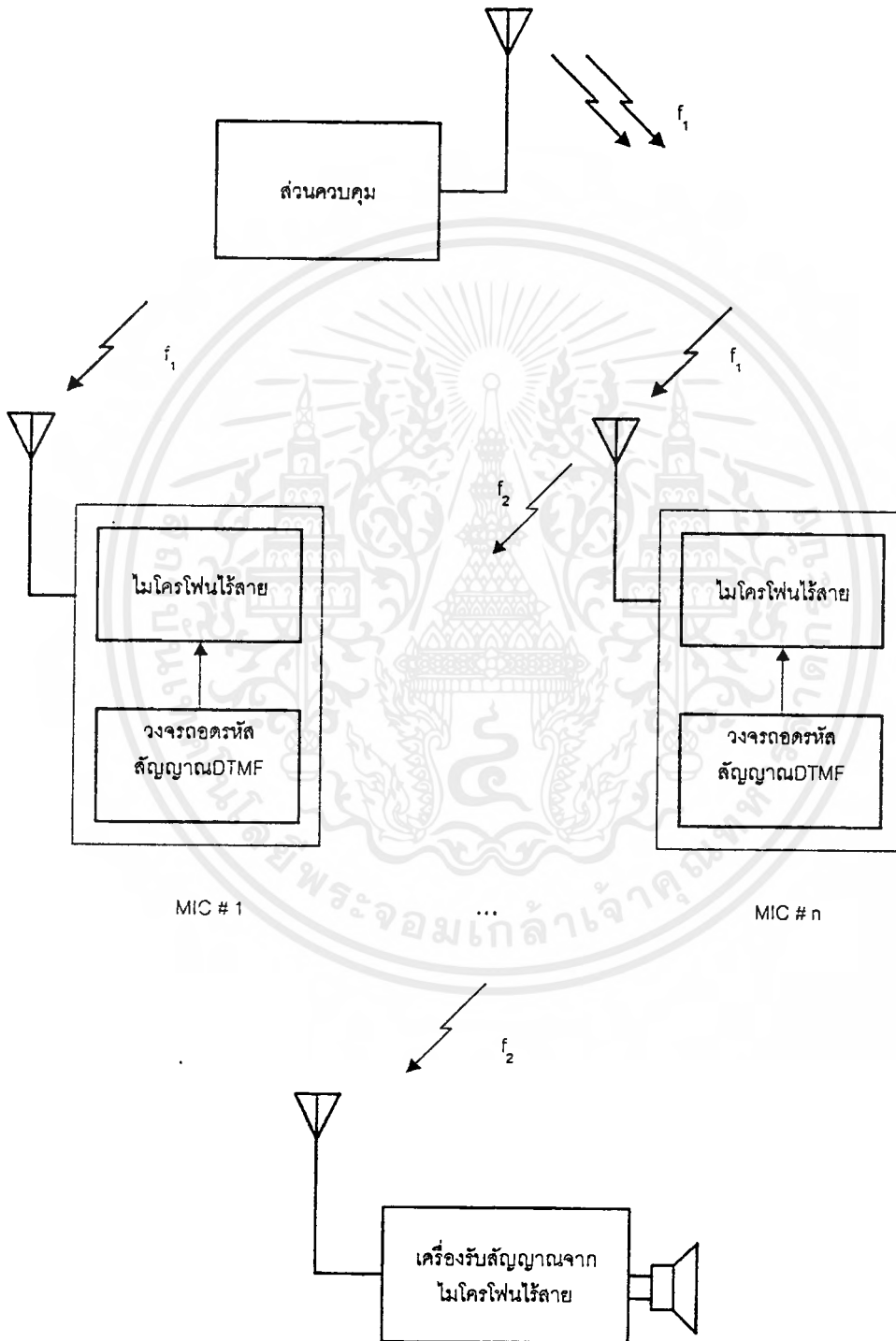
นอกจากนี้ในการประชุมขนาดใหญ่ ซึ่งมีผู้ร่วมประชุมจำนวนมาก อาจเกิดปัญหาการพูดพร้อม ๆ กัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วประธานในการประชุมจะเป็นผู้กำหนดให้ผู้เข้าร่วมประชุมผู้ใดเป็นผู้พูด โดยอาจใช้การเรียกชื่อซึ่งเป็นการไม่สะดวกนัก ดังนั้นจึงควรมีตัวควบคุมการทำงานของไมค์ว่าจะให้ไมค์ตัวใดสามารถทำงานได้แทนการอนุญาตโดยการเรียกชื่อจากประธานการประชุม

สำหรับปฏิญญาพันธนี้เป็นการศึกษาและสร้างระบบการประชุมแบบไร้สาย ซึ่งประกอบด้วยไมโครโฟนไร้สาย (Wireless microphone) และลำโพง นอกจากนี้ในการใช้งานยังมีส่วนควบคุมการทำงานของไมโครโฟนไร้สาย ซึ่งใช้เทคนิคการเข้ารหัส - ถอดรหัสแบบดีทีเอ็มเอฟ (DTMF : Dual Tone Multi Frequency) โดยที่ไมค์ไร้สายแต่ละตัวจะมีรหัสประจำเครื่องในการควบคุมการทำงาน ส่วนควบคุมจะทำการส่งสัญญาณที่มีรหัสประจำเครื่องที่ได้รับอนุญาตออกไป ไมค์ไร้สายที่มีรหัสประจำเครื่องตรงกับรหัสที่ส่งมาจากส่วนควบคุม ก็จะสามารถทำงานได้ คือ จะสามารถส่งสัญญาณวิทยุที่มีสัญญาณเสียงมอดูเลทไปกับคลื่นพาหะไปยังเครื่องรับ ซึ่งเครื่องรับก็จะทำการแยกสัญญาณเสียงออกสู่ลำโพงได้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการเบื้องต้นของระบบการประชุมแบบไร้สาย

ระบบการประชุมไร้สาย ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรม (block diagram) แสดงส่วนประกอบของระบบการประชุมแบบไร้สาย

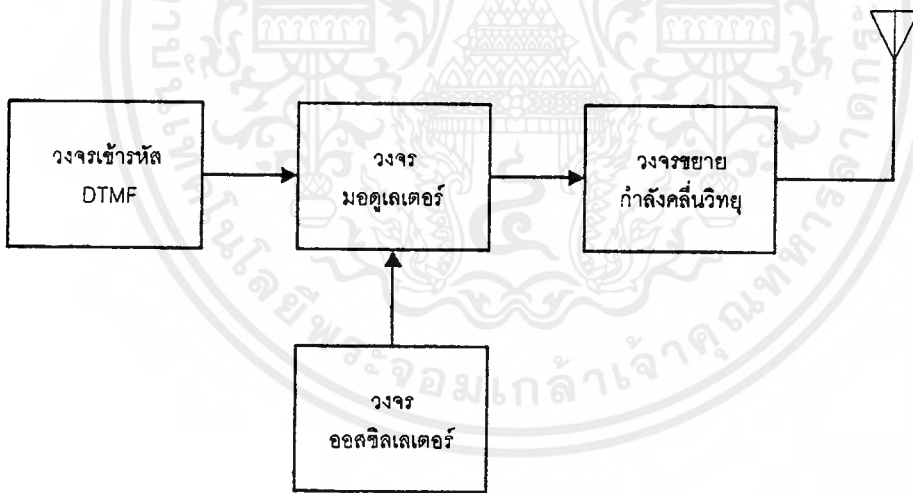
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการเบื้องต้นของระบบการประชุมแบบไร้สายนี้ คือ เราจะกำหนดให้ไมค์แต่ละตัวจะมีรหัสประจำเครื่องอยู่ โดยเมื่อมีผู้เข้าร่วมประชุมคนใดต้องการพูด และประธานในการประชุมอนุญาตก็จะทำการกดรหัสประจำเครื่องของไมค์ของผู้ร่วมประชุมคนนั้นที่ส่วนควบคุม ซึ่งรหัสนั้นจะเป็นสัญญาณ DTMF ที่นำไปมอดูเลทกับคลื่นพาหะ (carrier) f_1 ส่งออกสายอากาศไป ไมค์ทุก ๆ ตัวรับความถี่ f_1 เข้ามาแล้วทำการตีเทกต์ (detect) รหัสสัญญาณ DTMF นั้นออกมาแล้วนำไปเปรียบเทียบกับรหัสประจำเครื่องของตัวเอง ไมค์ตัวอื่น ๆ ที่มีรหัสไม่ตรงกับรหัสที่ส่งมาจากส่วนควบคุมก็จะไม่สามารถทำงานได้ ไมค์ตัวที่มีรหัสตรงกับรหัสที่ส่งมาจากส่วนควบคุมเท่านั้นที่สามารถจะทำงานได้ คือ จะทำการรับเสียงที่พูดเข้ามา นำไปมอดูเลทกับคลื่นพาหะ f_2 แล้วส่งออกสายอากาศไปให้เครื่องรับสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนไร้สายทำการตีเทกต์สัญญาณเสียง และนำออกลำโพงต่อไป

จากบล็อกไดอะแกรม รูปที่ 2.1 มีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

ส่วนควบคุม เป็นส่วนที่ทำการส่งรหัสควบคุมไปควบคุมการทำงานของไมโครโฟนไร้สาย โดยทำการมอดูเลท (modulate) รหัสควบคุมซึ่งอยู่ในรูปของสัญญาณ DTMF เข้ากับคลื่นพาหะแล้วส่งออกอากาศ บล็อกไดอะแกรมของส่วนควบคุมแสดงดังรูปที่ 2.2

ภาคถอดรหัสสัญญาณ DTMF จะทำการถอดรหัสสัญญาณ DTMF ที่ได้รับ โดยถ้ารหัสที่ได้รับตรงกับรหัสประจำเครื่องของไมค์ไร้สายตัวใด ก็จะทำให้ส่งสัญญาณไป " เปิด " ไมค์ไร้สายตัวนั้น



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของส่วนควบคุม

ไมโครโฟนไร้สาย เมื่อไมโครโฟนไร้สายได้รับสัญญาณให้ " เปิด " ก็จะทำงานตามสัญญาณที่ได้รับ โดยวงจรของไมค์ไร้สายก็จะทำการมอดูเลทสัญญาณเสียงที่เข้ามาทางไมค์เข้ากับคลื่นพาหะ โดยเป็นการมอดูเลทแบบเอฟเอ็ม แล้วส่งสัญญาณเสียงที่มอดูเลทแล้วนี้ออกจากสายอากาศส่งไปยังเครื่องรับ

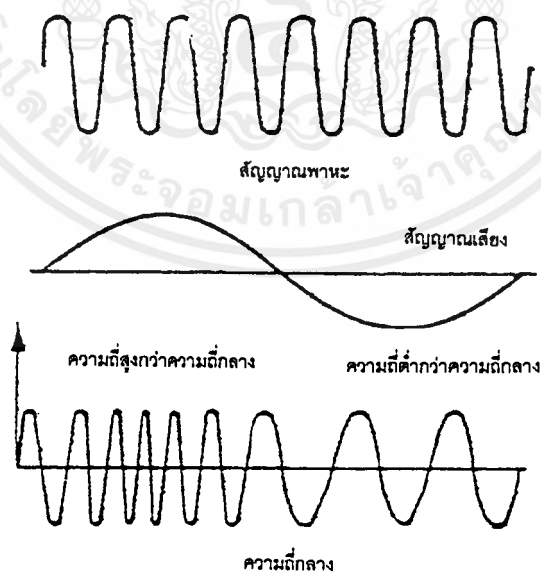
เครื่องรับสัญญาณจากไมโครโฟนไร้สาย จะทำการตีมอดูเลทสัญญาณที่เข้ามาทางสายอากาศ ซึ่งก็คือ สัญญาณเสียงที่มอดูเลทกับคลื่นพาหะ เพื่อทำการแยกเอาสัญญาณเสียงออกสู่ลำโพง

2.2 การมอดูเลททางความถี่ (Frequency Modulation)

การมอดูเลททางความถี่ คือ การทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลง โดยจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามขนาดของสัญญาณเสียงที่นำมามอดูเลท ความถี่ของคลื่นพาหะที่ยังไม่มีการมอดูเลท เรียกว่า ความถี่กลาง (Center frequency)

เมื่อขนาดของสัญญาณเสียงเพิ่มขึ้นทางบวกก็จะทำให้คลื่นพาหะมีความถี่เพิ่มขึ้น ถ้าสัญญาณเสียงมีขนาดลดลง ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะลดลง และถ้าขนาดของสัญญาณเสียงลดลงจนเป็นศูนย์ ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะเป็นความถี่กลางนั่นเอง ในทำนองเดียวกันเมื่อขนาดของสัญญาณเสียงเป็นลบ คลื่นพาหะก็จะมีความถี่น้อยกว่าความถี่กลาง และจะมีความถี่น้อยที่สุดเมื่อขนาดของสัญญาณเสียงลดลงถึงจุดต่ำสุด ดังรูปที่ 2.3

ดังนั้นจะเห็นแล้วว่าความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็มจะเปลี่ยนแปลงไป โดยจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าความถี่กลาง ซึ่งขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณเสียง ความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็มที่มีค่าแตกต่างจากความถี่กลางมากที่สุด เรียกว่า ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของคลื่นพาหะ (Maximum Frequency Deviation of Carrier) ซึ่งค่าความถี่เบี่ยงเบน (Frequency Deviation) นี้จะเป็นตัวบอกแอมพลิจูดของสัญญาณที่เรานำมามอดูเลท คือ ถ้าค่าความถี่เบี่ยงเบนมีค่ามากก็แสดงว่าสัญญาณมีแอมพลิจูดมากนั่นเอง

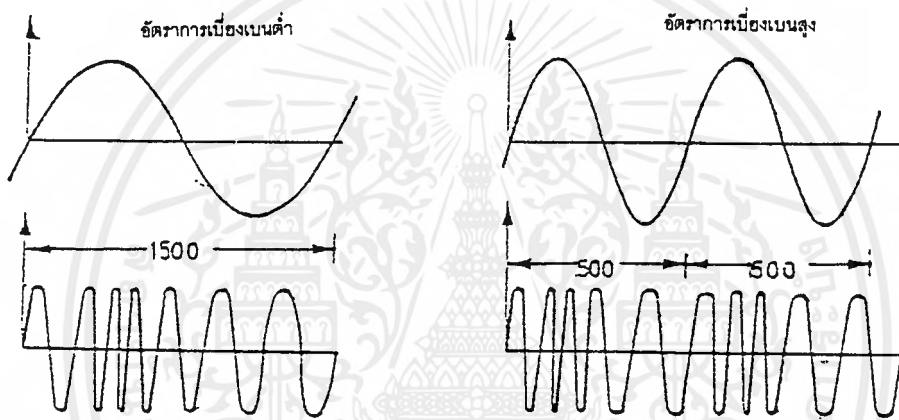


รูปที่ 2.3 สัญญาณเอฟเอ็ม (FM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ สิ่งที่เราจะให้ความสนใจอีกประการหนึ่ง คือ ค่าอัตราการเบี่ยงเบนความถี่ (Rate of Frequency Deviation) ซึ่งเป็นตัวบอกให้เราทราบว่า การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดไปครบ 1 รอบ สัญญาณเอฟเอ็มก็จะเปลี่ยนตามไปครบ 1 รอบด้วย ถ้าค่าอัตราการเบี่ยงเบนสูงก็แสดงว่าความถี่ของสัญญาณเสียงสูง ดังนั้นค่าอัตราการเบี่ยงเบนจึงขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณเสียง

เสียงที่เกิดจากคลื่นเอฟเอ็มนั้น จะมีความดังหรือค่อยก็ขึ้นอยู่กับ ค่าความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม ส่วนระดับเสียงสูงต่ำนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของสัญญาณเสียงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 อัตราการเบี่ยงเบนความถี่

ในการสร้างคลื่นเอฟเอ็มนั้น ผลที่ได้ออกมาจะมีหลาย ๆ ความถี่เช่นเดียวกับการมอดูเลททางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation : AM) แต่จะแตกต่างกันที่ความถี่แถบข้าง (Sideband Frequency) โดยในระบบเอฟเอ็มความถี่แถบข้างจะเกิดขึ้นเพียงสองความถี่เท่านั้น ส่วนในระบบเอฟเอ็มความถี่แถบข้างจะเกิดขึ้นมากมาย โดยจำนวนของความถี่แถบข้างที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับค่าแอมพลิจูด และความถี่ของสัญญาณเสียง ถ้าค่าแอมพลิจูดมากจำนวนของความถี่แถบข้างก็จะปรากฏมีมากด้วย

ช่วงความถี่ระหว่างความถี่แถบข้างด้านบน (Upper Sideband Frequency) และความถี่แถบข้างด้านล่าง (Lower Sideband Frequency) เรียกว่า แบนด์วิดท์ (Bandwidth) สัญญาณเอฟเอ็มมีช่วงแบนด์วิดท์กว้างมาก ๆ เราเรียกว่า สัญญาณเอฟเอ็มที่มีแถบความถี่กว้าง (Wide band FM) ซึ่งสัญญาณชนิดนี้ต้องการคลื่นพาหะที่มีความถี่สูงมาก ๆ มิฉะนั้นจะเกิดการสอดแทรกกับสถานีใกล้เคียงได้ ส่วนสัญญาณเอฟเอ็มที่มีแถบความถี่แคบ (Narrow band FM) นั้น ทำได้โดยการจำกัดค่าการเบี่ยงเบนสูงสุดของสัญญาณเอฟเอ็ม แต่วิธีนี้จะทำให้เกิดการเพี้ยนได้มาก ไม่นอญูตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างสัญญาณ FM

การสร้างสัญญาณ FM นั้นสามารถแบ่งได้กว้าง ๆ เป็น 2 แบบด้วยกันคือ แบบทางตรง (direct method) กับแบบทางอ้อม (indirect method) แบบทางตรงนั้นจะหมายถึงการนำสัญญาณที่เข้ามาอดูเลขไปเปลี่ยนความถี่ของคลื่นพาหโดยตรง สำหรับแบบทางอ้อมนั้น จะเป็นวิธีการที่อาศัยวงจรหลาย ๆ อย่างประกอบกัน

การสร้างสัญญาณ FM แบบทางตรง

การสร้างสัญญาณ FM แบบทางตรงนั้นเป็นการนำเอาสัญญาณที่จะเข้ามาอดูเลขไปเปลี่ยนความถี่ของคลื่นพาหโดยตรง ซึ่งออสซิลเลเตอร์ที่ทำงานในลักษณะนี้ได้ก็มี รีเฟล็กซ์โคลสตรอน (reflex klystron) และกันเน่ไดโอด (Gunn diode) ที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟ เป็นต้น ออสซิลเลเตอร์ทั้งสองแบบนี้ ความถี่ที่ออสซิลเลทออกมาจะเปลี่ยนไปตามแรงดันไบอัสในรูปเชิงเส้น ดังนั้นเมื่อนำสัญญาณที่เข้ามาอดูเลขไปเปลี่ยนแรงดันไบอัสก็จะทำให้ได้สัญญาณ FM ออกมาโดยตรง สำหรับความถี่ในย่านต่ำกว่าไมโครเวฟลงมานั้น มักจะใช้ วาเรคเตอร์ (varactor หรือ variable reactor) ซึ่งจะมีคุณสมบัติเฉพาะ คือ ค่าคาปาซิแตนซ์จะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับของแรงดันที่ตกคร่อมอยู่ ดังนั้นถ้าใช้วาเรคเตอร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของวงจรโชนแนทที่ใช้ในวงจรออสซิลเลเตอร์ ก็จะสามารถสร้างสัญญาณ FM ได้โดยป้อนสัญญาณที่เข้ามาอดูเลขไปเปลี่ยนค่าคาปาซิแตนซ์ของวาเรคเตอร์

วิธีนี้มีข้อดี คือ ทำได้ง่าย และค่าความถี่เบี่ยงเบนที่ได้จะสูงพอสมควร แต่ก็มีข้อเสีย คือ ค่า f_c จะดริฟท์ (drift) ได้ง่าย จึงจำเป็นต้องมีวงจรชดเชยอุณหภูมิและวงจรควบคุมความถี่ f_c ให้คงที่ ซึ่งก็จะทำให้วงจรมีความยุ่งยากมากขึ้น

การสร้างสัญญาณ FM แบบทางอ้อม

โดยทั่วไปจะใช้วงจรอินทิเกรเตอร์ในการอินทิเกรตสัญญาณที่เข้ามาอดูเลข และส่วนที่เป็นบาลานซ์มอดูเลเตอร์ เฟลชีฟเตอร์และวงจรวกจะทำหน้าที่เป็นเฟลมมอดูเลเตอร์ ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่ผ่านวงจรส่วนนี้จะเป็นสัญญาณ FM

การมอดูเลทแบบนี้จะมีข้อจำกัดที่ค่าความถี่เบี่ยงเบนมีค่าต่ำ ซึ่งหมายถึงสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณ FM แบบแบนด์วิดท์แคบ กรณีที่ต้องการสัญญาณ FM แบบแบนด์วิดท์กว้างก็จะต้องมีการออกแบบตั้งแต่ต้น คือ ใช้วงจรคูณความถี่เข้าช่วยซึ่งจะทำให้ความถี่ของคลื่นพาหสูงขึ้นพร้อม ๆ กับทำให้ค่าความถี่เบี่ยงเบนสูงขึ้น

2.3 การวิเคราะห์สัญญาณเอฟเอ็ม

จากสมการทั่วไปของสัญญาณไฟสลับ จะได้สมการของคลื่นพาหะ คือ

$$e_c = V_c \sin [\omega_c t + \phi(t)]$$

ในที่นี้ e_c คือ ขนาดของสัญญาณคลื่นพาหะขณะใดขณะหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_c คือ ขนาดสูงสุดของสัญญาณ

$\phi(t)$ คือ การมอดูเลตเชิงมุม (Angle Modulation)

$\omega_c = 2\pi f_c$ เมื่อ f_c คือ ความถี่ของคลื่นพาหะ

การมอดูเลตแบบเฟมคือ การที่สัญญาณเสียงไปทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะเบี่ยงเบนไปจากความถี่กลางด้วยอัตราการเบี่ยงเบนความถี่ (Frequency deviation sensitivity) $k_f = 2\pi f/V$.

ให้สัญญาณเสียงมีสมการเป็น $e_m = V_m \sin \omega_m t$

จะได้สัญญาณเฟมเป็น

$$e_{FM} = V_c \sin(\omega_c t + 2\pi \Delta f \sin \omega_m t / \omega_m)$$

โดย $m_f =$ มอดูเลชันอินเด็กซ์ (Modulation Index) $= \Delta f / f_m$

$\Delta f =$ ความถี่เบี่ยงเบนของสัญญาณเฟม

$f_m =$ ความถี่ของสัญญาณเสียง

จะได้

$$\begin{aligned} e_{FM} &= V_c \sin(\omega_c t + m_f \sin \omega_m t) \\ &= V_c [\sin \omega_c t \cos(m_f \sin \omega_m t) + \cos \omega_c t \sin(m_f \sin \omega_m t)] \end{aligned}$$

จาก Bessel 's function

$$\cos(m_f \sin \omega_m t) = J_0(m_f) + 2J_2(m_f) \cos 2\omega_m t + 2J_4(m_f) \cos 4\omega_m t + \dots$$

$$\sin(m_f \sin \omega_m t) = 2J_1(m_f) \sin \omega_m t + 2J_3(m_f) \sin 3\omega_m t + \dots$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} e_{FM} &= V_c \{ J_0(m_f) \sin \omega_c t + J_1(m_f) [\sin(\omega_c + \omega_m)t - \sin(\omega_c - \omega_m)t] \\ &\quad + J_2(m_f) [\sin(\omega_c + 2\omega_m)t + \sin(\omega_c - \omega_m)t] \\ &\quad + J_3(m_f) [\sin(\omega_c + 3\omega_m)t - \sin(\omega_c - 3\omega_m)t] + \dots \} \end{aligned}$$

โดย $J_0(m_f)$ คือ แอมพลิจูดของคลื่นพาหะ

$J_1(m_f)$ คือ แอมพลิจูดของความถี่แถบข้างที่ 1

$J_2(m_f)$ คือ แอมพลิจูดของความถี่แถบข้างที่ 2

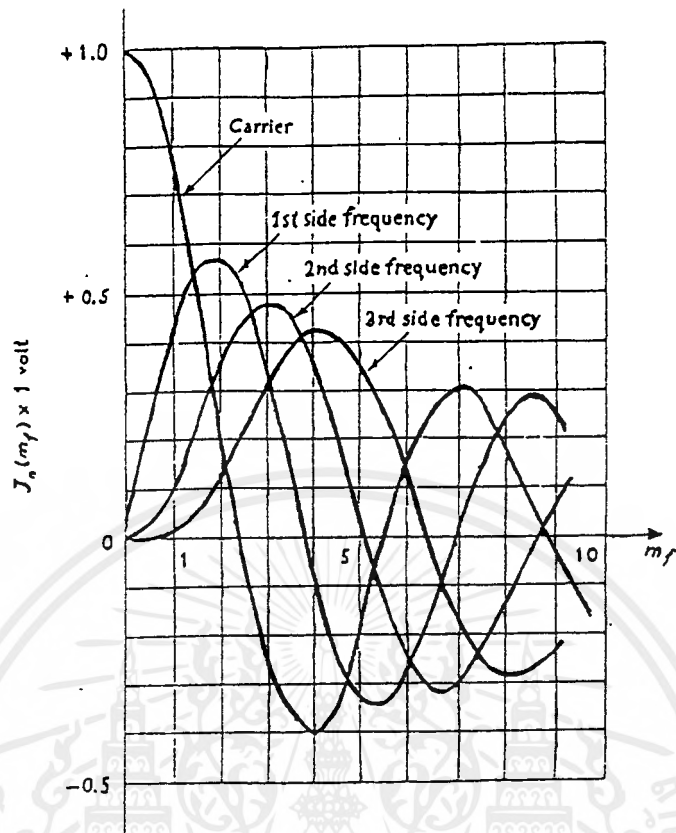
$J_3(m_f)$ คือ แอมพลิจูดของความถี่แถบข้างที่ 3

ตัวอย่างการอ่านค่าจากรูปที่ 2.5 และตารางที่ 2.1 เมื่อ $m_f = 0.5$ จะได้

แอมพลิจูดของคลื่นพาหะ $J_0(0.5) = 0.94$

แอมพลิจูดของความถี่แถบข้างที่ 1 $J_1(0.5) = 0.24$

แอมพลิจูดของความถี่แถบข้างที่ 2 $J_2(0.5) = 0.03$



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของสัญญาณเอฟเอ็มและมอดูเลชันอินเด็กซ์

Table Bessel Functions of the First Kind, $J_n(m)$

m_f	J_0	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{11}	J_{12}	J_{13}	J_{14}
0.00	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.25	0.98	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.5	0.94	0.24	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.4	0	0.52	0.43	0.29	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—
4.0	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—
6.0	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—
7.0	0.30	0.00	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—
8.0	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	—	—	—
9.0	-0.09	0.25	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.31	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	—
10.0	-0.25	0.05	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.32	0.29	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01

ตารางที่ 2.1 แสดงเบสเซลฟังก์ชัน (Bessel's Function)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าถ้าค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์มีค่าน้อย จำนวนของความถี่แถบข้างที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อย ซึ่งลักษณะนี้เรียกว่า สัญญาณเอฟเอ็มที่มีช่วงความถี่แคบ (Narrow band FM) ส่วนลักษณะที่มีความถี่แถบข้างเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก จะเรียกว่า สัญญาณเอฟเอ็มที่มีช่วงความถี่กว้าง (Wide band FM) ซึ่งค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์จะมีค่ามาก

2.4 การดีมอดูเลททางความถี่ (Frequency Demodulation)

การดีมอดูเลทสัญญาณหรือเรียกอีกอย่างว่า การดีเทคชัน (detection) การแยกเอาสัญญาณเสียงหรือสัญญาณข้อมูลข่าวสารกลับคืนมาจากสัญญาณเอฟเอ็ม

ในการแยกสัญญาณเสียงออกจากสัญญาณเอฟเอ็ม ขนาดของสัญญาณเสียงจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเปลี่ยนแปลงตามความเบี่ยงเบนของความถี่เอฟเอ็ม การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณเสียงต่อความถี่ที่เบี่ยงเบนจะต้องถูกต้องตลอดเวลา ขณะที่สัญญาณเอฟเอ็มไม่มีการเบี่ยงเบนความถี่ก็คือความถี่ที่กึ่งกลางของสัญญาณ สัญญาณเสียงก็จะเป็นศูนย์ แต่ถ้าสัญญาณเอฟเอ็มเบี่ยงเบนในทางที่สูงขึ้นขนาดของสัญญาณเสียงจะเปลี่ยนเป็นบวกเพิ่มขึ้น จนกระทั่งสัญญาณเอฟเอ็มเบี่ยงเบนจนมีความถี่สูงสุดขนาดของสัญญาณเสียงก็จะเป็นบวกสูงสุด ความถี่เบี่ยงเบนเริ่มลดลง ขนาดของสัญญาณเสียงก็จะลดลงจนกระทั่งเป็นความถี่กึ่งกลาง สัญญาณเสียงก็จะเป็นศูนย์ ในทำนองเดียวกันเมื่อสัญญาณเอฟเอ็มเบี่ยงเบนทางด้านต่ำ สัญญาณเสียงก็จะเป็นลบ เมื่อสัญญาณเอฟเอ็มมีความถี่ต่ำสุดขนาดของสัญญาณเสียงก็จะเป็นลบมากที่สุด ขนาดของสัญญาณเสียงจะเป็นศูนย์อีกครั้งเมื่อความถี่เอฟเอ็มเป็นความถี่กึ่งกลาง

ในการแยกสัญญาณเสียงออกจากสัญญาณเอฟเอ็มมีความสำคัญอย่างมากในระบบการดีมอดูเลทเอฟเอ็ม เพราะการแยกสัญญาณเสียงที่มีความถูกต้องเหมือนเดิมนั้น การทำงานจะต้องมีความถูกต้องและมีความไวในการเปลี่ยนความถี่เบี่ยงเบนให้เป็นสัญญาณเสียงได้ดี

วงจรถ่ายเอฟเอ็มดีเทคเตอร์ (FM Detector)

ลักษณะของเอฟเอ็มดีเทคเตอร์เป็นวงจรถ่ายที่ซึ่งแรงดันเอาต์พุตจะแปรโดยตรงกับความแตกต่างระหว่าง ความถี่อ้างอิงกับความถี่สัญญาณอินพุตดีเทคเตอร์จะถูกปรับเพื่อให้เอาต์พุตมีขนาดเท่ากัน ลักษณะของดีเทคเตอร์ในทางปฏิบัติจะมีความถี่และแรงดันที่จำกัด และจะไม่เป็นลิเนียร์อย่างสมบูรณ์ สำหรับการแยกสัญญาณข้อมูลออกจากสัญญาณเอฟเอ็มสามารถทำได้หลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวถึงเอฟเอ็มดีเทคเตอร์แบบควอดราเจอร์ดีเทคเตอร์ (Quadrature detector)

ควอดราเจอร์ดีเทคเตอร์ เป็นวงจรถ่ายที่มีหลักการทำงานดังนี้

1. แบ่งสัญญาณไอเอฟออกเป็น 2 ส่วน
2. ให้ส่วนหนึ่งผ่านเข้าไปในวงจรถ่ายที่มีเฟส 90 องศา ออกไปรวมกับค่าเวลาคงที่ของการเบี่ยงเบนความถี่กึ่งกลาง (Constant time if deviation) จากความถี่กึ่งกลาง
3. นำในส่วนที่เลื่อนและไม่ได้เลื่อนมาคูณกัน

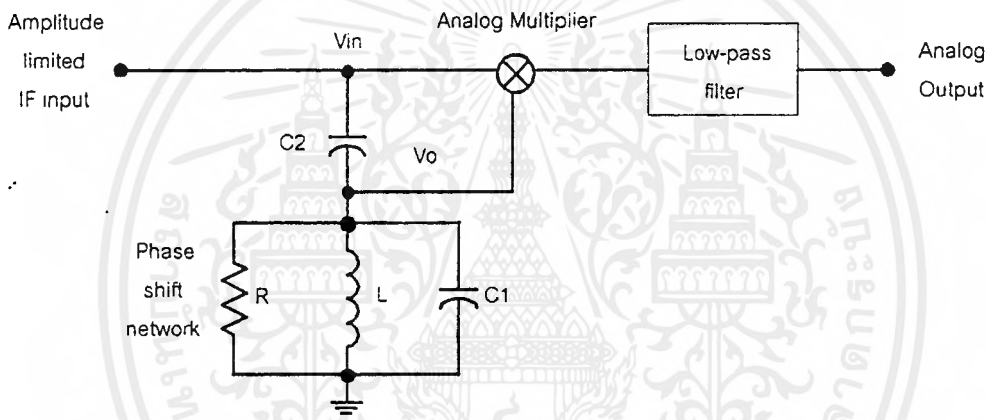
4. เลือกส่วนของความถี่เสียงจากสเปกตรัมของผลคูณ ซึ่งสามารถคำนวณได้ ให้ if center radian frequency ω_0 และเฟสชิฟ $\Delta\theta$

$$\Delta\theta \doteq \pi / 2 - K(\omega - \omega_0) = \pi / 2 - K\Delta\omega \tag{2.1}$$

ให้อินพุทคือ $V_0 \sin \omega$,

$$V_0 \sin\left(\omega, + \frac{\pi}{2} - K\Delta\omega\right) = V_0 \cos(\omega, - K\Delta\omega) \tag{2.2}$$

คูณเข้าด้วยกันจะได้ $V^2 \sin(\omega,) \cos(\omega, - K\Delta\omega)$ องค์ประกอบสัญญาณความถี่สูงจะถูกกรองทิ้งไป คงเหลือแต่สัญญาณความถี่ต่ำ คือ $-[V_0^2 \sin(K\Delta\omega)] / 2$ สำหรับ $K\Delta\omega$ มีค่าน้อย ๆ จะได้ $\sin(K\Delta\omega)$ มีค่าประมาณ $K\Delta\omega$ เทอมนี้จะเป็นลิเนียร์ใน $\Delta\omega$ และจะให้มอดูเลตตั้งเวฟฟอร์มออกมา



รูปที่ 2.6 วงจรควอดราเจอร์ดีเทคเตอร์

จากรูปที่ 2.6 เป็นวงจรของควอดราเจอร์ดีเทคเตอร์ เรโซแนนซ์ที่ ω_0 และเฟสชิฟ ΔQ ระหว่าง V_0 และ V_m กำหนดโดย

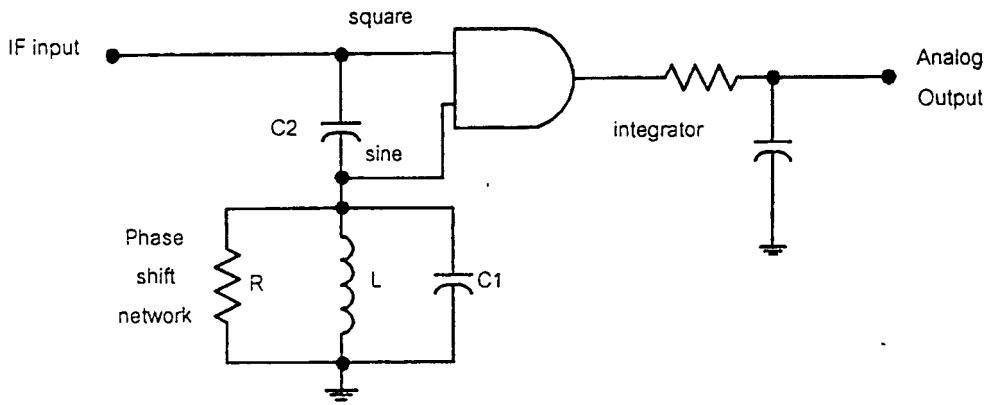
$$\Delta Q = \arg(V_0 / V_m) = (\pi / 2) - \tan^{-1}(Q_0 \delta) \tag{2.3}$$

Q_0 คือ ค่า Q ของวงจรเรโซแนนซ์ที่ ω_0 และ

$$\delta = (\omega / \omega_0) - (\omega_0 / \omega) \tag{2.4}$$

สำหรับความถี่ที่เลื่อนไปเล็กน้อย ΔQ จะเป็นลิเนียร์กับความถี่ สำหรับวงจรที่ให้เสียงที่มีคุณภาพ

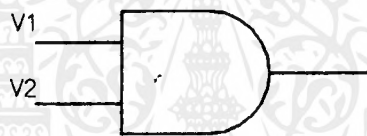
ในควอดราเจอร์ดีเทคเตอร์ จะมีส่วนของอนาลอกมัลติพลายเออร์ที่ถูกแทนด้วยแอนดเกท ซึ่งจะมีวงจรรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนของอนาล็อกมัลติพลายเออร์ ซึ่งถูกแทนด้วยแอนด์เกต

ซึ่งแอนด์เกตจะให้เอาต์พุต +5 โวลต์ ก็ต่อเมื่ออินพุตทั้งสองเป็นบวก นั่นคือมีการทำงานดังรูปที่

2.8



Input - Output Relationship

V1	V2	V3
> 0	> 0	+5
< 0	> 0	0
> 0	< 0	0
< 0	< 0	0

รูปที่ 2.8 การทำงานของแอนด์เกต

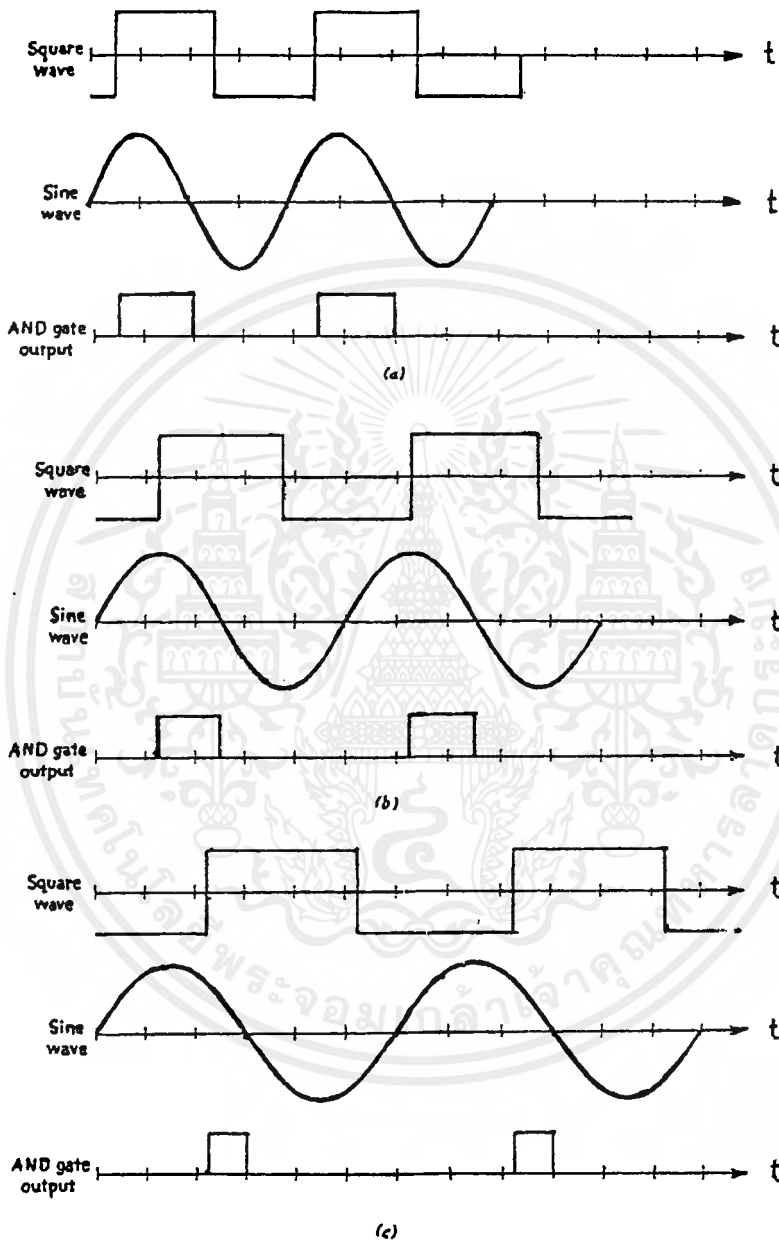
ก่อนเข้าภาคควอดราเจอร์ดิเทคเตอร์ สัญญาณไอเอฟจะถูกทำให้เป็นคลื่นสี่เหลี่ยมด้วยวงจรมิติเตอร์ สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่ได้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

- ส่วนที่ 1 เข้าสู่อินพุตของแอนด์เกตโดยตรง
- ส่วนที่ 2 จะผ่านเข้าสู่วงจรถ่ายเฟส (Phase shifter) ซึ่งเป็นวงจรถ่ายเฟสที่มียูทิลิตี้ Q สูง และมี f_0 ที่ความถี่ไอเอฟ จึงทำให้ได้คลื่นไซน์ที่ความถี่ f_0 ออกมา และนำไปเข้าที่อีกอินพุตหนึ่งของแอนด์เกต

เมื่อสัญญาณคลื่นไซน์และคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นบวก เอาต์พุตของแอนด์เกตจะเป็น +5 โวลต์ และเมื่อสัญญาณอินพุตอันใดอันหนึ่งหรือทั้งสองอันเป็นลบ เอาต์พุตก็จะเป็นศูนย์ซึ่งจะได้รูปคลื่นที่ค่า ω ต่าง ๆ ดังรูปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 เอาท์พุทของแอนด์เกตเป็นขบวนของพัลส์ ซึ่งความกว้างจะขึ้นอยู่กับผลต่างของเฟสระหว่างอินพุทไซน์ และคลื่นสี่เหลี่ยม เมื่ออินพุททั้งสองอินเฟสกัน ความยาวของพัลส์เอาท์พุทจะเป็นครึ่งหนึ่งของ T_0 และเมื่อเฟสต่างกัน 180 องศา เอาท์พุทจะเป็น 0



รูปที่ 2.9 แสดงเอาท์พุทของแอนด์เกตเมื่อมีสัญญาณอินพุทต่าง ๆ กัน

ถ้าเรานำเอาท์พุทของแอนด์เกตไปต่อกับอินทิเกรเตอร์ (integrator) เอาท์พุทโวลต์เดจก็จะได้เป็นค่าเฉลี่ยที่เป็นส่วนของขบวนพัลส์ ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามความถี่อินพุท ดังนั้นเราจะได้อเอาท์พุทที่ถูกตีמודูเลตออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator)

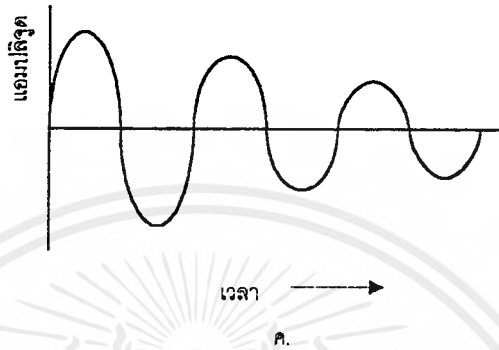
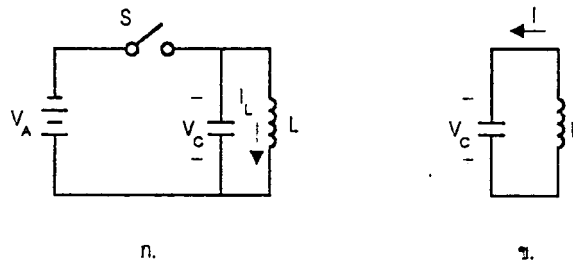
วงจรออสซิลเลเตอร์ก็คือ วงจรขยายสัญญาณชนิดหนึ่งนั่นเอง แต่เป็นวงจรขยายชนิดป้อนกลับและที่สำคัญคือ เป็นการป้อนกลับของสัญญาณแบบบวก (positive feedback) ซึ่งการพิจารณาในรูปของเฟสกับการป้อนกลับ สัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตจะกลับเฟส 180 องศาแล้วป้อนผ่านเข้ามาทางอินพุตใหม่ ดังนั้นสัญญาณที่เข้ามาจะมีทิศทางเสริมกันกับสัญญาณป้อนกลับ ซึ่งถ้าเฟสที่ป้อนกลับเข้ามาไม่ตรงกับวงจขยายก็จะไม่เกิดการออสซิลเลท (โดยปกติในวงจขยายทั่วไปสัญญาณเอาต์พุตจะมีเฟสต่างจากสัญญาณอินพุต 180 องศาอยู่แล้ว) โดยวงจรกำเนิดความถี่สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. วงจรกำเนิดความถี่ที่ใช้ LC
2. วงจรกำเนิดความถี่ที่ใช้ RC
3. วงจรกำเนิดความถี่ที่ใช้คริสตัล (Crystal)

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงวงจรกำเนิดความถี่ที่ใช้ LC หลักการกำเนิดความถี่ของวงจร LC พิจารณาจากรูปที่ 2.10 (ก) แบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้แก่ตัวเก็บประจุ C ซึ่งต่อขนานกับขดลวดเหนี่ยวนำ L ในลักษณะนี้ยังไม่กำเนิดความถี่ แบตเตอรี่จะชาร์จประจุให้แก่ตัวเก็บประจุจนถึงระดับแรงดันไฟฟ้า V_c และเกิดไฟฟ้ากระแสตรง I ไหลภายในขดลวดเหนี่ยวนำขึ้น จากรูปที่ 2.10 (ข) สวิตช์ S ถูกเปิดวงจร ทำให้วงจรของแบตเตอรี่ V_A ถูกตัดขาดออกจากวงจร LC ทันที ในสภาวะเช่นนี้จึงสามารถที่จะพิจารณาการทำงานของวงจร LC ได้เมื่อปราศจากแบตเตอรี่ ระดับของกระแส I_c จะค่อย ๆ ลดลง ดังนั้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า V_L ขึ้น ในขณะที่ขดลวดเหนี่ยวนำ L จึงเสมือนกับเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า LC แต่อย่างไรก็ตามชั่วขณะของแรงดันไฟฟ้า V_L จะต้องอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้ I_c ไหลในทิศทางเดียวกันเพื่อที่ตัวเก็บประจุจะสามารถดิสชาร์จประจุได้ แต่ที่จริงแล้ว V_L จะชาร์จประจุให้แก่ตัวเก็บประจุด้วยชั่วที่ตรงข้าม เมื่อ V_c เปลี่ยนไปจนมีค่ามากกว่า V_L ตัวเก็บประจุจะจ่ายกระแสดิสชาร์จประจุ I_c ออกมา ซึ่งมีทิศทางที่ตรงข้ามกับ I_c ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่าง V กับ I ด้วยความถี่เรโซแนนซ์ธรรมชาติของวงจร LC ขึ้นดังรูปที่ 2.10 (ค) ขณะใดก็ตามที่ I_c มีค่าเปลี่ยนแปลงเป็นศูนย์ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำ V_L ขึ้นและขณะใดก็ตามที่ V_c มีค่าเป็นศูนย์ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นกระแส I_c ขึ้นสลับกันอยู่อย่างนี้เรื่อยไป ทำให้เกิดเป็นคลื่นรูปไซน์ที่มีลักษณะต่อเนื่องตลอดเวลา ซึ่งจะสังเกตได้ว่า V กับ I จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้อย่างทันทีทันใด

แอมพลิจูดของการกำเนิดความถี่ค่า V กับ I จะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากเกิดการสูญเสียพลังงานที่ความต้านทานของวงจร จนกระทั่งแอมพลิจูดของคลื่นรูปไซน์มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ในที่สุดดังรูปที่ 2.10 (ค) การทำงานของวงจร LC ในการกำเนิดความถี่ให้เกิดคลื่นรูปไซน์ จากพลังงานที่สะสมอยู่ในวงจร เราเรียกว่า " ริ่งกิ้ง " (Ringing) ซึ่งที่จริงแล้วขดลวดเหนี่ยวนำในวงจรใดๆ ก็ตามสามารถเกิดริงกิ้งได้จากค่าคาปาซิแตนซ์ตกค้าง (Stray capacitance) ที่ต่อขนานอยู่สำหรับลักษณะของคลื่นที่ค่า I มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วและเกิดขึ้นได้ในขดลวดเหนี่ยวนำที่มีค่า Q สูง ๆ วงจร LC อาจเรียกอีกอย่างว่า วงจรแทงค์ (Tank Circuit) เนื่องจากสามารถเก็บสะสมเพื่อก่อให้เกิดการกำเนิดความถี่ได้ คุณสมบัติของวงจรแทงค์ในการผลิตคลื่นรูปไซน์ซึ่งมีอินพุตเป็นไฟตรงหรือเป็นพัลส์ก็ได้ เรียกว่า ฟลายวีล เอฟเฟ็ค (Flywheel Effect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 วงจร LC กำเนิดความถี่ที่มีความเร็วแน่นอน

- ก. ในขณะที่สวิตช์ปิด วงจรแบตเตอรี่จะชาร์จประจุให้ตัวต้านทาน และผลิตกระแสให้ไหลภายในขดลวดเหนี่ยวนำ
- ข. ในขณะที่สวิตช์เปิดวงจร วงจรแบตเตอรี่จะถูกตัดขาดออกจากวงจร LC ในวงจร LC ขณะนี้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำกับตัวเก็บประจุ
- ค. คลื่นรูปไซน์ (Sinusoidal Wave)

2.6 หลักการเลือกความถี่ของสัญญาณ DTMF

การเลือกความถี่ของสัญญาณ DTMF นั้นไม่ใช่มาจากการลุ่มตัวเลข หรือกำหนดตามใจชอบ แต่มาจากการศึกษาถึงผลดี-ผลเสียอย่างรอบคอบ โดยเราจะเลือกความถี่ที่อยู่ในย่านความถี่ของสัญญาณโทรศัพท์ (300 - 3400 Hz.) และจะต้องไม่มีโทนที่เป็นฮาร์โมนิก (Harmonic) หรือใกล้เคียงฮาร์โมนิกซึ่งกันและกัน และปกติสัญญาณความถี่ DTMF ต้องเป็นสัญญาณรูปไซน์ล้วน ๆ (Pure Sine Wave) จึงมีจุดอ่อน ถ้าฮาร์โมนิกที่ n เกิดไปตรงกับอีกความถี่หนึ่ง ในกรณีที่เกิดความเพี้ยนจากวงจรผลิตความถี่ ไม่ให้ความถี่เป็นสัญญาณรูปไซน์ล้วน ๆ จริง ความถี่ DTMF ที่เรานำมาใช้ ทดลองค้นคว้าโดย ระบบกระดิ่งสัญญาณโทรศัพท์ (Bell Telephone System) เมื่อปี ค.ศ. 1950 ความถี่ต่าง ๆ ที่ใช้งานมีดังตารางที่ 2.2

ตัวอย่าง ให้หาค่าฮาร์โมนิกที่ 2 ของความถี่สัญญาณ DTMF เลข 3

ความถี่ของเลข 3 คือ ความถี่ 697 Hz. & 1477 Hz.

ฮาร์โมนิกที่ 2 คือ ความถี่ 1394 Hz. & 2954 Hz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่า 1394 Hz. มีค่าอยู่ระหว่างหลักที่ 2 และ 3
และ 2954 Hz. มีค่าเกินกว่า 1633 Hz. ซึ่งเกินค่าที่เราใช้งาน

	1209	1366	1477	1633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหมายเลขบนแป้นกดกับความถี่ประจำแถวและหลัก

ตัวอย่าง จงหาค่าความถี่ที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดความผิดพลาดของความถี่สัญญาณ DTMF หาค่าผลบวกและผลต่างของความถี่สัญญาณ DTMF หมายเลข 3

ผลรวม = $697 + 1477 = 2174$ Hz. มีค่าเกิน 1633 Hz. แล้ว

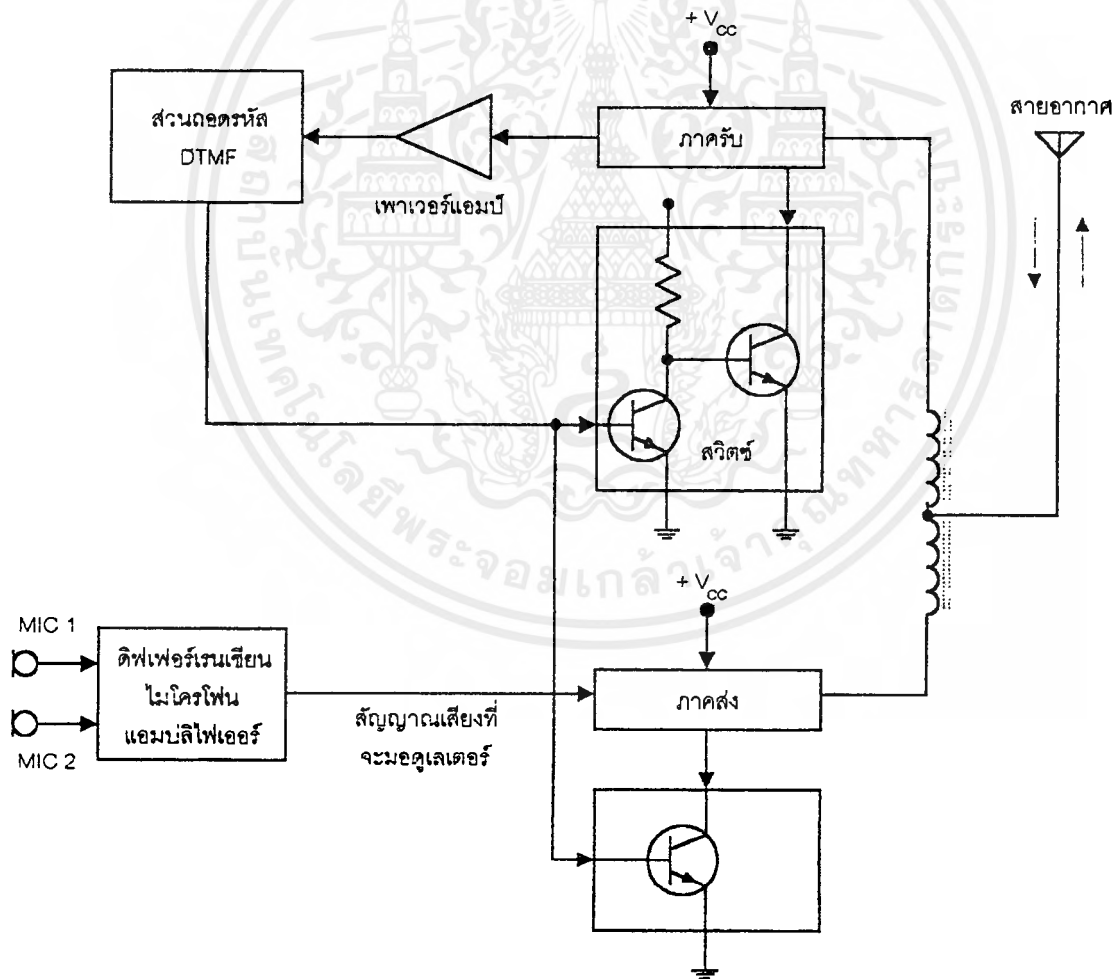
ผลต่าง = $1477 - 697 = 780$ Hz. มีค่าอยู่ระหว่าง 770 Hz. และ 852 Hz.

ในระบบนี้จะมีค่าความถี่แตกต่างกันทั้งหมด 8 ความถี่ ซึ่งอยู่ในระดับของคลื่นเสียง หรือจะเรียกอีกอย่างว่า ระบบ 4*4 การกดปุ่มใดปุ่มหนึ่งนั้นสัญญาณจะถูกส่งออกไป 2 ความถี่ (จากกลุ่มความถี่ต่ำ 1 ความถี่ และกลุ่มความถี่สูง 1 ความถี่) ดังตารางที่ 2.2

บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง

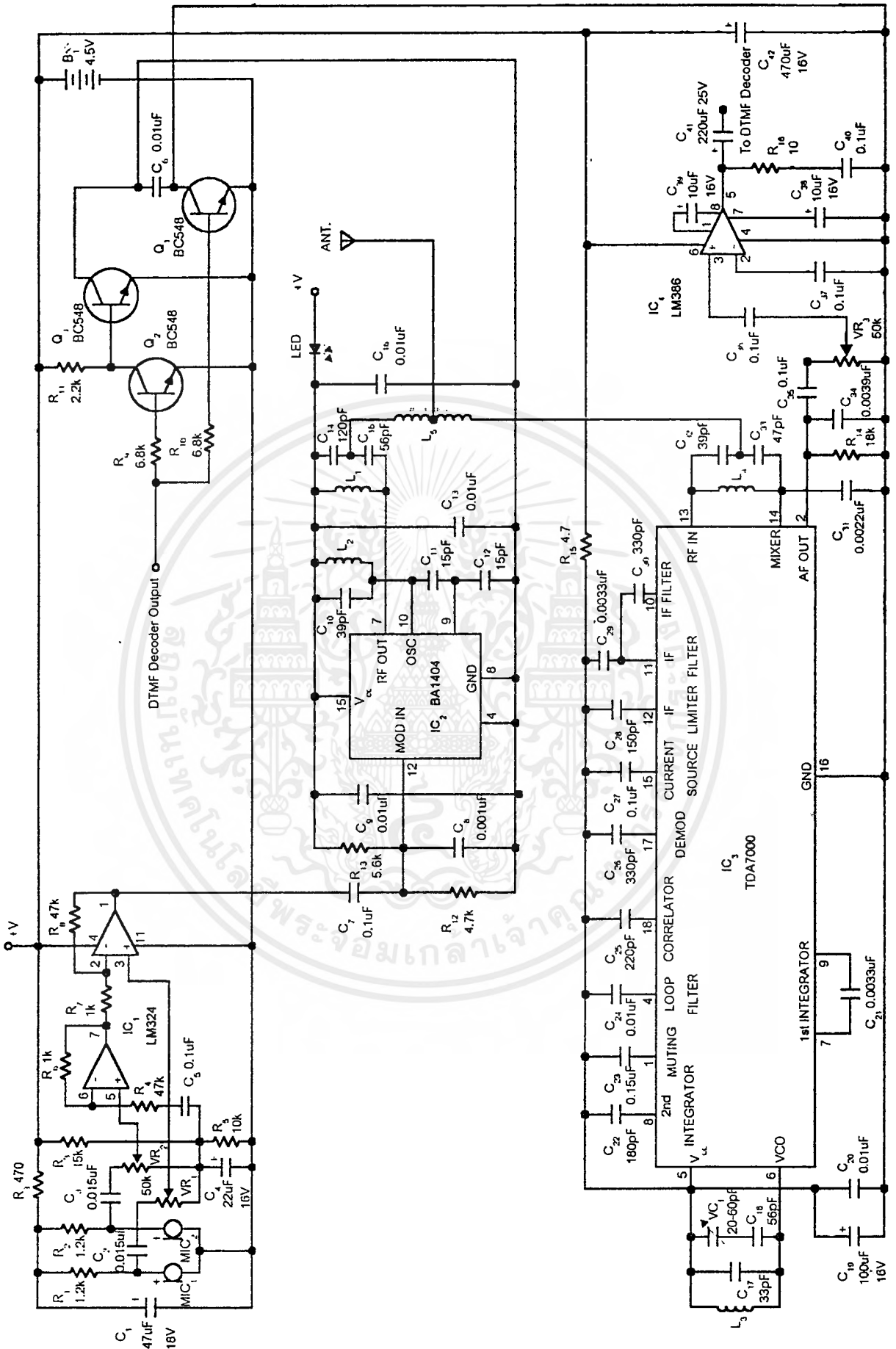
3.1 ภาคส่งสัญญาณและภาครับสัญญาณ

หลักการทํางานของภาคส่งสัญญาณและภาครับสัญญาณ จากความต้องการและประโยชน์ในการใช้งาน ซึ่งต้องใช้ในสถานที่ต่าง ๆ นํ้าหนักจึงต้องเบาและควรมีขนาดเล็ก ดังนั้นอุปกรณ์จึงควรใช้แรงดันต่ำ ๆ และใช้กำลังงานต่ำ เพื่อลดขนาดของแบตเตอรี่ให้มีขนาดเล็กลง ดังนั้นจึงเลือกใช้อุปกรณ์ที่ต้องการขนาดแรงดันและกระแสต่ำ จึงเลือกใช้ไอซีภาครับวิทยุเอฟเอ็มเบอร์ TDA7000 และไอซีภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็มเบอร์ BA1404 ส่วนขยายสัญญาณเสียง (Power Amplifier) ใช้ไอซีเบอร์ LM386 ซึ่งกินกำลังต่ำและใช้งานที่แรงดันต่ำได้ ซึ่งหลักการทํางานของภาคส่งสัญญาณและรับสัญญาณแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และวงจรของภาคส่งสัญญาณและภาครับสัญญาณแสดงดังรูปที่ 3.2



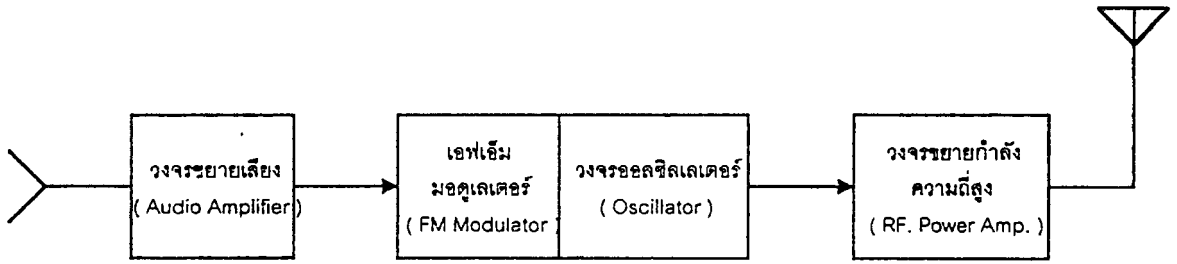
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทํางานของภาคส่งสัญญาณและภาครับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรของภาคส่งสัญญาณและภาครับสัญญาณของไมโครโฟนไร้สาย

3.1.1 ภาคส่งสัญญาณ

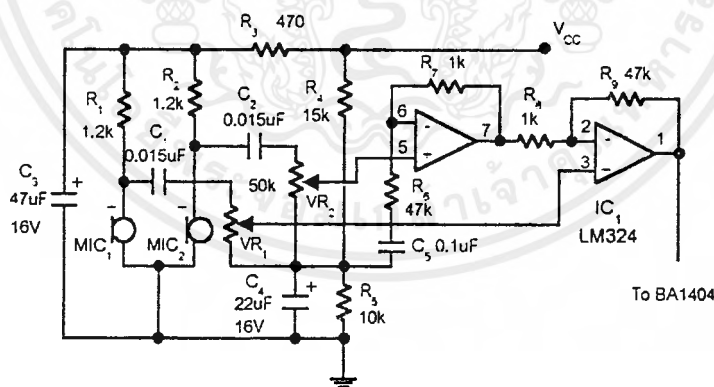


รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการการทำงานของภาคส่งสัญญาณ

จากบล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานในรูปที่ 3.3 สัญญาณเสียงจะถูกส่งเข้าไปที่วงจรขยายสัญญาณเสียง สัญญาณเสียงที่ได้จะถูกส่งเข้าไปมอดูเลทกับสัญญาณคลื่นพาหะ ซึ่งผลิตขึ้นจากภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ หลังจากมอดูเลทกับความถี่เสียงแล้วความถี่ของสัญญาณพาหะจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเสียงที่เข้ามามอดูเลทด้วย ซึ่งเป็นไปตามหลักการมอดูเลทคลื่นสัญญาณในระบบเอฟเอ็ม จากนั้นสัญญาณพาหะที่ผ่านการมอดูเลทกับสัญญาณเสียงแล้วจะถูกส่งไปขยายสัญญาณให้มีแอมพลิจูดสูงขึ้นที่ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ เพื่อให้สัญญาณเอฟเอ็มมีความแข็งแรงเพียงพอ ก่อนที่จะส่งสัญญาณออกไปที่สายอากาศ (Antenna)

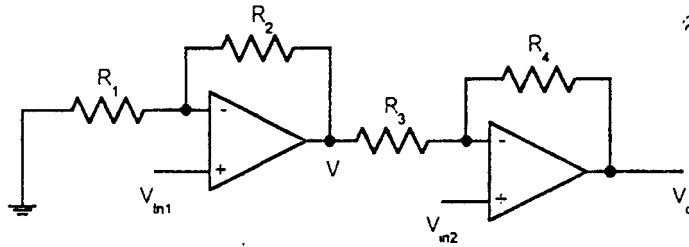
ส่วนขยายสัญญาณเสียง

โดยส่วนนี้จะใช้วงจรไมโครโฟนแอมพลิไฟเออร์ (Microphone Amplifier) ซึ่งมีวงจรตามรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรไมโครโฟนแอมพลิไฟเออร์

หลักการทำงานของวงจรนี้ คือ เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน MIC₁ และ MIC₂ สัญญาณที่ออกจากไมโครโฟนซึ่งเป็นสัญญาณไฟสลับจะดับปลิง (Coupling) ผ่านไปยัง VR₁ และ VR₂ ซึ่งทำหน้าที่ปรับอัตราการผลิตสัญญาณส่งผ่านไปยังขานอนอินเวอร์ติง (non-inverting) ขา 3 และขา 5 ตามลำดับ สัญญาณทั้ง 2 จะถูกนำไปเปรียบเทียบกัน โดยวงจรดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

จากรูปที่ 3.5 เนื่องจากการต่อแบบนอน-อินเวอร์ติ่งแอมพลิไฟเออร์ (Non-inverting Amplifier)
ดังนั้น

$$\frac{V}{V_{in_1}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (3.1)$$

จาก KCL จะได้

$$\frac{1}{R_3}(V_{in_2} - V) + \frac{1}{R_4}(V_{in_2} - V_o) = 0$$

$$\frac{1}{R_3}V_{in_2} - \frac{V}{R_3} + \frac{V_{in_2}}{R_4} - \frac{V_o}{R_4} = 0$$

$$\frac{V_o}{R_4} = V_{in_2} \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) - \frac{V}{R_3}$$

แทน V จากสมการ (3.1)

$$\frac{V_o}{R_4} = V_{in_2} \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) - \frac{V_{in_1}}{R_3} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

เมื่อ $R_2 = R_3$ และ $R_1 = R_4$

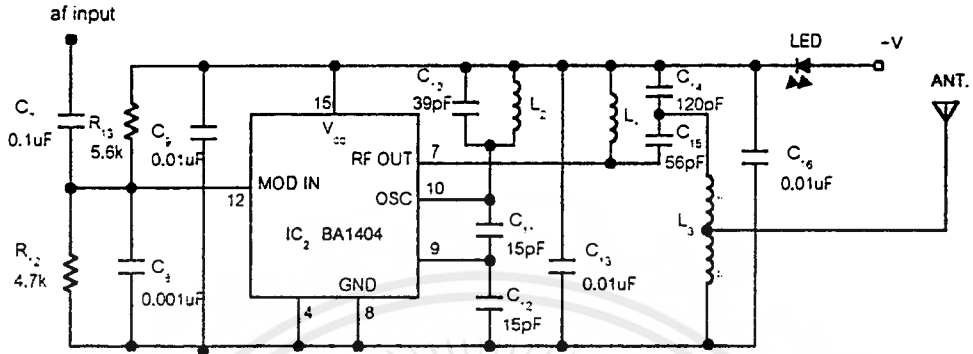
$$\frac{V_o}{R_4} = V_{in_2} \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) - V_{in_1} \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) \quad (3.2)$$

จากสมการ (3.2) จะเห็นว่า เมื่อสัญญาณที่ได้รับจาก MIC₁ และ MIC₂ เหมือนกันและมีค่าเท่ากันแล้ว (คือ $V_{in_1} = V_{in_2}$) จะทำให้ไม่มีสัญญาณออกมาที่ V_o (คือ $V_o = 0$) ซึ่งจะทำให้สัญญาณรบกวนที่เป็นเสียงรบกวนที่ไม่มีสัญญาณเสียงพูดเข้าไปนั้นถูกตัดออกไปได้ แต่เมื่อมีสัญญาณเสียงเข้ามาจากไมโครโฟนที่อยู่ใกล้ผู้พูดมากกว่า ($V_{in_1} \neq V_{in_2}$) ก็จะมีสัญญาณออกมาที่ V_o และส่งผ่านยังส่วนต่อไปได้

ส่วนเอฟเอ็มมอดูเลเตอร์และส่วนออกสเตอริโอ

ในส่วนนี้เป็นการสร้างสัญญาณ FM แบบทางตรง (direct method) ซึ่งทำโดยการนำสัญญาณที่จะเข้ามามอดูเลทไปเปลี่ยนความถี่ของคลื่นพาหะโดยตรง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในโครงการนี้ได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ BA1404 ซึ่งเป็นไอซีที่สามารถนำมาใช้ส่งสัญญาณเอฟเอ็มได้ทั้งแบบโมโนและแบบสเตอริโอมีลติเพล็กซ์ได้ แต่ในโครงการนี้จัดการทำงานให้เป็นการส่งแบบโมโน ดังรูปที่ 3.6

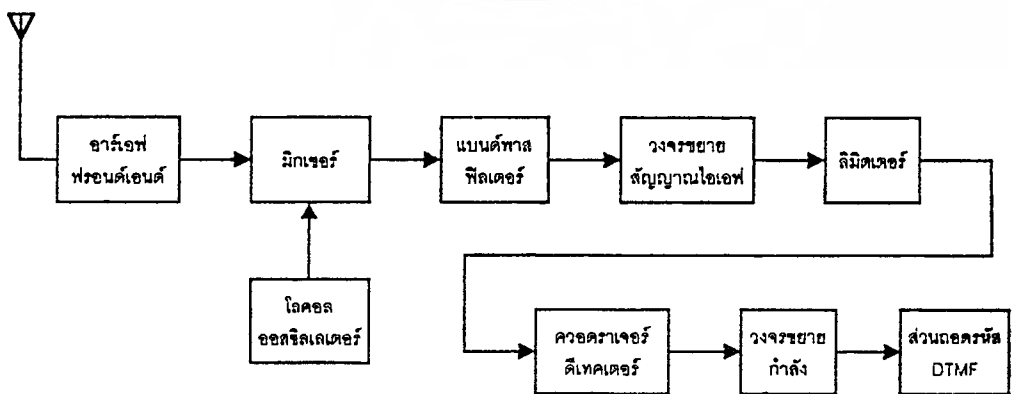


รูปที่ 3.6 แสดงวงจรภาคส่งสัญญาณเอฟเอ็ม

สัญญาณเสียงจะคัปปลิ่งผ่าน C_7 เข้าไปยังขามอดูเลทเพื่อผลมกับความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ขา 12 ของ IC₂ ส่วน C_8 ทำหน้าที่กรองสัญญาณอาร์เอฟอื่น ๆ ที่ปนมากับสัญญาณเสียงลงกราวด์ C_{10} และ L_2 เป็นวงจรจูน ซึ่งกำหนดค่าความถี่ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ขา 10 จะได้สัญญาณเอฟเอ็มที่ได้จากการมอดูเลทออกมาทางขา 7 ซึ่งจะถูกป้อนเข้าวงจรจูน L_1 , C_{14} และ C_{15} และถูกส่งออกไปยังสายอากาศผ่านทาง L_5

ส่วนแรงดันไฟบวกจะผ่าน LED เข้ามายังขา 15 ซึ่งเป็นขาไฟเลี้ยงของไอซี โดยในขณะที่ใช้งานจะมีแรงดันตกคร่อม LED ประมาณ 2 โวลท์

3.1.2 ภาครับสัญญาณ



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของภาครับสัญญาณ

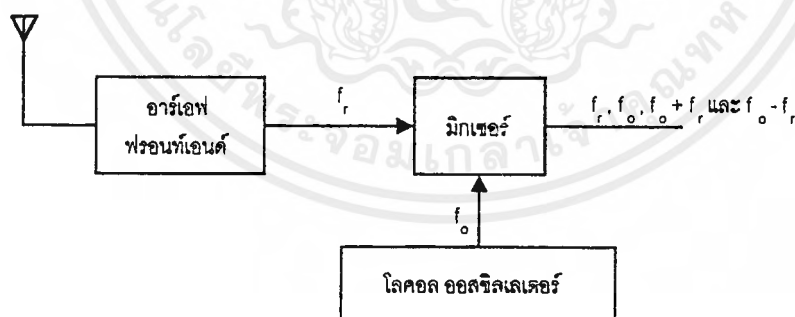
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.7 เป็นเครื่องรับวิทยุระบบซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ (Superheterodyne) ซึ่งใช้หลักการรวมกันของสัญญาณวิทยุที่รับเข้ามากับความถี่ของวงจรโลกอลอสซิลเลเตอร์ ด้วยวงจรมิกเซอร์ (Mixer) โดยอาร์เอฟฟรอนเอนด์ (RF front end) จะทำหน้าที่เลือกรับสัญญาณที่ต้องการและจะถูกนำมาผสมสัญญาณกับความถี่จากโลกอลอสซิลเลเตอร์ที่วงจรมิกเซอร์ จากการผสมสัญญาณจะได้อัตราความถี่ที่เป็นผลบวก ผลต่าง และความถี่ของทั้งสองสัญญาณ แต่ในระบบวิทยุจะเลือกเอาเฉพาะความถี่ที่เป็นผลต่างไว้ ซึ่งความถี่ที่เป็นผลต่างนี้เป็นความถี่ไอเอฟ (IF : Intermediate Frequency) ของสัญญาณเอฟเอ็ม ซึ่งสัญญาณไอเอฟนี้จะผ่านไปยังวงจรมอดูเลเตอร์ (Limiter) และวงจรมอดูเลเตอร์ ซึ่งจะทำการแยกสัญญาณ DTMF ที่ต้องการจากสัญญาณไอเอฟ ซึ่งวงจรมอดูเลเตอร์จะขยายสัญญาณที่ได้ และส่งไปยังส่วนถอดรหัสสัญญาณ DTMF ต่อไป

โลกอลอสซิลเลเตอร์ และมิกเซอร์

การนำสัญญาณมาผ่านวงจรมิกเซอร์เพื่อทำการเปลี่ยนความถี่ให้อยู่ในรูปของความถี่ที่ต้องการก่อนที่จะเข้าสู่วงจรมอดูเลเตอร์ เพื่อจะได้กำหนดอัตราขยายของวงจรได้ถูกต้อง เราเรียกความถี่ที่ต้องการนี้ว่า ความถี่กลาง (Intermediate Frequency) หรือความถี่ไอเอฟ เหตุผลที่เรียกว่าความถี่ไอเอฟ เพราะเป็นความถี่ที่อยู่ระหว่างความถี่วิทยุและความถี่เสียง

วงจรมิกเซอร์จะมี 2 อินพุต คือ มาจากสัญญาณที่ได้จากวงจรรีเฟรอนท์เอนด์ และจากวงจรโลกอลอสซิลเลเตอร์ (Local Oscillator) เอาท์พุทของมิกเซอร์ที่ได้จากการผสมสัญญาณจะได้อัตราความถี่เดิมและอัตราความถี่ผสมดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงเอาต์พุทของวงจรมิกเซอร์

แต่ในระบบวิทยุจะเลือกเอาเฉพาะความถี่ที่เป็นผลต่างไว้ ดังนั้นวงจรโลกอลอสซิลเลเตอร์จึงใช้ในการกำหนดความถี่ที่ต้องการ ซึ่งสามารถกำหนดความถี่ที่ต้องการสร้างได้โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์พาสฟิลเตอร์และวงจรมายสัญญาณไอเอฟ

แบนด์พาสฟิลเตอร์จะยอมให้เฉพาะความถี่ที่เป็นผลต่าง หรือความถี่ไอเอฟที่ได้จากวงจรมิกเซอร์ ผ่านไปได้ สัญญาณไอเอฟนี้จะผ่านไปยังวงจรมายสัญญาณไอเอฟ ซึ่งจะทำงานที่ความถี่คงที่ คือทำหน้าที่ ขยายสัญญาณไอเอฟ โดยคำนึงถึงการเลือกรับสัญญาณ (selectivity)

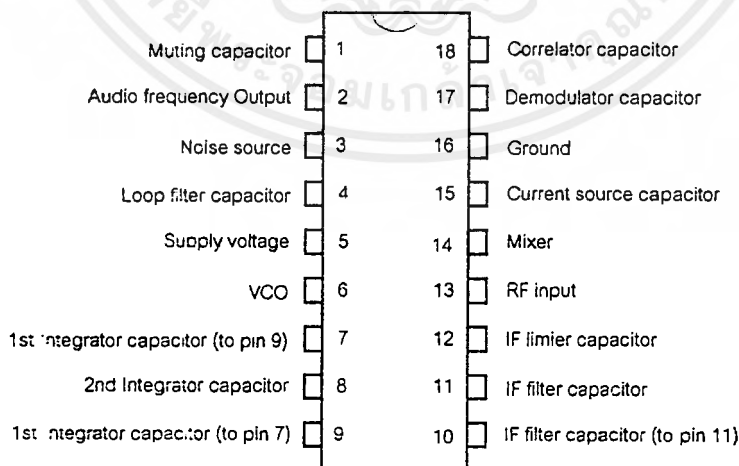
ลิมิตเตอร์ (Limiter)

สัญญาณความถี่ไอเอฟที่ได้อาจจะมียอส์ (noise) ปนมาด้วย วงจรลิมิตเตอร์จะทำหน้าที่ขลิบ สัญญาณทั้งด้านบวกและลบ รวมทั้งนอยส์ก็จะถูกกำจัดทิ้งไปด้วย โดยความถี่ของสัญญาณก่อนและหลัง ลิมิตเตอร์ คือ ป้อนสัญญาณที่มีแอมพลิจูดเกินช่วงทำงานของวงจร (overdrive) จนวงจรมายอิมพัลส์หรือ คัทออฟ (cut off) ถ้าสัญญาณไอเอฟที่ป้อนมามีแอมพลิจูดน้อย เอาท์พุทจากลิมิตเตอร์จะมีนอยส์ปนออก มาทางเอาท์พุท แต่ถ้าป้อนแอมพลิจูดแรง ๆ นอยส์จะเงียบไป โดยการที่จะลดนอยส์ คือ ขยายสัญญาณ ไอเอฟให้มากพอที่จะขับให้วงจรลิมิตเตอร์ขลิบสัญญาณเพื่อกำจัดนอยส์ที่ปนมาบนสัญญาณเอฟเอ็ม

ควอดราเจอร์ทีเทคเตอร์

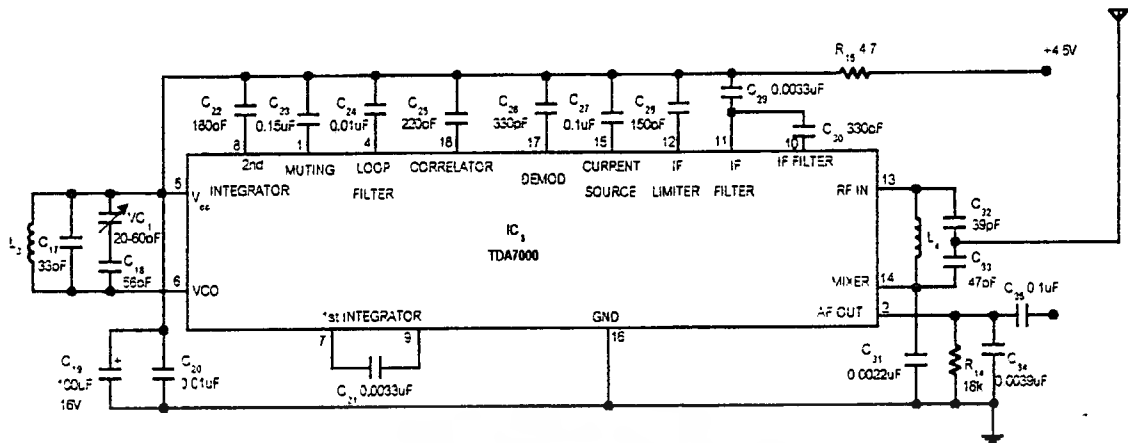
เป็นส่วนที่ใช้ในการแยกเอาสัญญาณที่ต้องการออกจากสัญญาณไอเอฟ โดยวงจรถิเทคเตอร์ชนิดนี้ อาศัยหลักการคูณสัญญาณเอฟเอ็มกับสัญญาณเอฟเอ็มเดิมแต่เลื่อนเฟสไป 90 องศา ซึ่งจะได้สัญญาณที่ ต้องการออกมา

โดยภาครับสัญญาณเอฟเอ็มในโครงงานนี้เลือกใช้ไอซีเบอร์ TDA7000 เป็นภาครับสัญญาณซึ่งเป็น แบบซูปเปอร์เฮเทอโรไดน์ ษาของไอซี TDA7000 แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงขาของไอซี TDA7000

และวงจรของภาครับสัญญาณแสดงดังรูปที่ 3.10

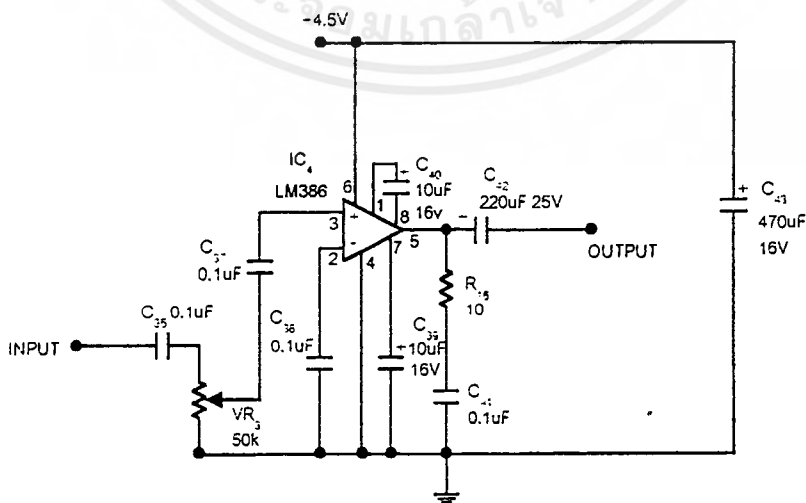


รูปที่ 3.10 แสดงวงจรภาครับสัญญาณเอฟเอ็ม

ความถี่อาร์เอฟที่รับเข้ามาทางสายอากาศจะผ่าน L_5 และเข้าไปยังแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Band Pass Filter) เพื่อเลือกรับความถี่ที่ต้องการ โดย L_4 , C_{32} และ C_{33} สัญญาณความถี่ที่ต้องการจะเข้าที่ขา 13 (RF Input) ของ IC_3 แล้วถูกนำไปผสมกันในวงจรมิกเซอร์ (Mixer) ภายในกับความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ทำการเลือกโดยวงจรแทงก์จูน (tank tune circuit) ซึ่งประกอบด้วย L_3 , C_{17} , VC_1 และ C_{18} โดยผ่าน C_{31} เข้าไปยังขา 14 ซึ่งจะไปยังวงจรมิกเซอร์ในตัวไอซี ความถี่ที่ได้จากวงจรมิกเซอร์จะเข้าสู่ภาคดีมอดูเลเตอร์ (Demodulator) และทำการขยายความถี่ไอเอฟแล้วทำการดีเทคได้สัญญาณที่ต้องการออกมาทางขา 2 ของ IC_3 ส่วนตัวต้านทาน R_{15} จะเป็นตัวจำกัดกระแสที่เข้าตัวไอซี และสัญญาณเอาท์พุทที่ออกมาจากขา 2 จะไปผ่านวงจรดีเอมฟาสซิส (De-emphasis) คือ R_{14} และ C_{34} แล้วคัปปลิ่งผ่าน C_{35} ไปยังส่วนขยายต่อไป

3.1.3 ภาคขยาย

สำหรับภาคขยายเลือกใช้ไอซีเบอร์ LM386 โดยมีวงจрдังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเสียงที่ออกจากขา 2 ของ IC₃ จะผ่านไปยัง VR₃ เพื่อทำการปรับความแรงของสัญญาณที่เข้าไปยังขา 3 ของ IC₄ โดยการคัปปลิ่งผ่าน C₃₅ โดย LM386 ทำหน้าที่เป็นวงจรรขยายกำลังที่สามารถปรับอัตราขยายได้ตั้งแต่ 20-200 เท่า จากการนำตัวเก็บประจุ C₄₀ ซึ่งมีค่า 10 μ F มาต่อกับขา 1 และขา 8 ทำให้ได้อัตราขยายสูงสุด คือ ประมาณ 200 เท่า สัญญาณที่ถูกขยายเรียบร้อยแล้วจะออกมาที่ขา 5 โดยผ่าน C₄₂ เพื่อกันไม่ให้มีไฟกระแสดร่งผ่านออกไปยังลำโพง R₁₆ และ C₄₁ มีหน้าที่ป้องกันการเกิดออสซิลเลชันที่ความถี่สูง โดยมี C₄₃ เป็นตัวกรองไฟเลี้ยงเพื่อช่วยกำจัดสัญญาณรบกวนจากไฟเลี้ยง

3.1.4 ภาคถอดรหัสสัญญาณ DTMF

3.1.4.1 วงจรถอดรหัส DTMF

ในที่นี้ใช้ไอซี MT8870 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ถอดรหัสความถี่ของโทรศัพท์ชนิดกดปุ่ม (DTMF) ให้เป็นเลขฐาน 2 ขนาด 4 บิต โดยใช้งานร่วมกับคริสตัล (Crystal) ความถี่ 3.579 MHz เท่านั้น การถอดรหัสความถี่โทรศัพท์ หมายถึง การแปลงสัญญาณความถี่ที่เกิดจากการกดปุ่มตัวเลขที่แป้นกดของโทรศัพท์ ให้เป็นระบบตัวเลขทางดิจิทัล ซึ่งไอซี MT8870 นี้จะแปลงความถี่โทรศัพท์ให้เป็นเลขฐาน 2 ขนาด 4 บิต

คุณสมบัติของ MT8870 คือ

- เป็นตัวรับและถอดรหัสความถี่ (DTMF Receiver)
- กินไฟน้อย ใช้ไฟเลี้ยงระดับเดียวกับ TTL
- สามารถตั้งอัตราขยายภายในตัวไอซีได้
- สามารถปรับการ์ดไทม์ (Guard Time)
- เป็นไอซีคุณภาพสูง

1) โครงสร้างของ MT8870

ประกอบด้วยวงจรรองความถี่และวงจรถอดรหัสฟังก์ชันทางดิจิทัล เป็นไอซีที่สร้างโดยใช้เทคโนโลยี ISO²-CMOS ในส่วนของวงจรรองความถี่ใช้เทคนิคของลิวทิสคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์ สำหรับรองความถี่สูงและต่ำ ส่วนวงจรถอดรหัสใช้เทคนิคการนับทางดิจิทัลเพื่อตรวจจับและถอดรหัสทั้ง 16 ความถี่ออกเป็นเลขฐาน 2 ขนาด 4 บิต และเช็คช่วงเวลาสัญญาณเข้ามา ส่วนภาคอินพุตเป็นออปแอมป์ซึ่งสามารถปรับอัตราขยายได้โดยต่ออุปกรณ์ภายนอกเอาต์พุตเป็นวงจรถอดรหัส 3 สถานะ รูปที่ 3.12 แสดงขาของ MT8870 และรูปที่ 3.13 แสดงโครงสร้างภายในของ MT8870

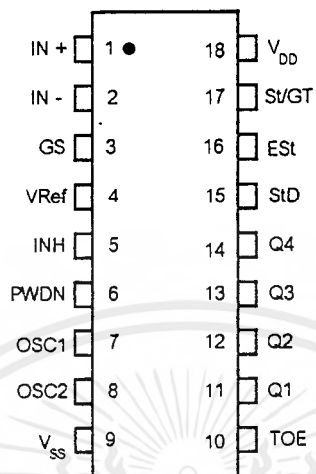
2) ฟังก์ชันการทำงานภายใน MT8870

ภายใน MT8870 ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วน คือ

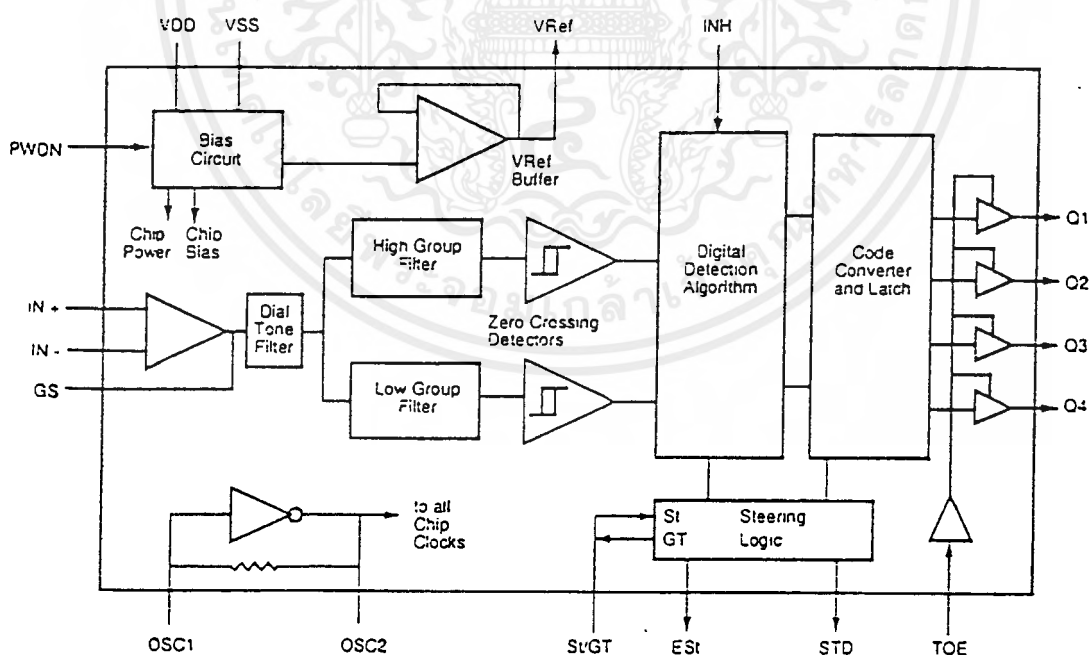
- ภาคกรองความถี่ (Filter Section)
- ภาครองความถี่ (Decoder Section)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ภาคตรวจสอบสัญญาณ (Steering Circuit)
- ภาคขยายสัญญาณความแตกต่าง (Differential Input),
- ภาคกำเนิดความถี่ (Oscillator)



รูปที่ 3.12 แสดงรายละเอียดขาของไอซี MT8870



รูปที่ 3.13 แสดงโครงสร้างภายในของไอซี MT8870

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคกรองสัญญาณความถี่ ในส่วนนี้จะแยกสัญญาณ DTMF ที่เข้ามาออกเป็น 2 กลุ่มความถี่ คือ ช่วงความถี่สูงและช่วงความถี่ต่ำ โดยใช้วงจรกรองความถี่อันดับที่ 6 ชนิดสวิทช์คาปาซิเตอร์ (Six-Order Switched Capacitor Band Pass Filter) ซึ่งความถี่ที่แยกได้มี 2 ช่วง (ความถี่สูงและต่ำ)

ภาคถอดรหัส ความถี่ DTMF ที่ถูกกรองเรียบร้อยแล้วผ่านเข้าวงจรถอดรหัสความถี่ออกเป็นตัวเลข โดยใช้เทคนิคการนับแบบดิจิทัล และมีการตรวจสอบความถี่ที่เข้ามาว่าเป็นความถี่มาตรฐาน DTMF หรือไม่ เพื่อป้องกันความถี่อื่นที่เข้ามาผสม เมื่อตรวจสอบว่าความถี่นั้นถูกต้อง สัญญาณที่ขา EST (Early Steering) ก็จะไปแอกทีฟสำหรับค่าที่ถอดรหัสได้จากความถี่ต่าง ๆ นั้น แสดงได้ดังตารางที่ 3.1

F_{LOW}	F_{HIGH}	NO	TOE	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1
697	1209	1	H	0	0	0	1
697	1336	2	H	0	0	1	0
697	1477	3	H	0	0	1	1
770	1209	4	H	0	1	0	0
770	1336	5	H	0	1	0	1
770	1477	6	H	0	1	1	0
852	1209	7	H	0	1	1	1
852	1336	8	H	1	0	0	0
852	1477	9	H	1	0	0	1
941	1336	0	H	1	0	1	0
941	1209	*	H	1	0	1	1
941	1477	#	H	1	1	0	0
697	1633	A	H	1	1	0	1
770	1633	B	H	1	1	1	0
852	1633	C	H	1	1	1	1
941	1633	D	H	0	0	0	0
-	-	ANY	L	Z	Z	Z	Z

ตารางที่ 3.1 แสดงการทำงานของไอซี MT8870

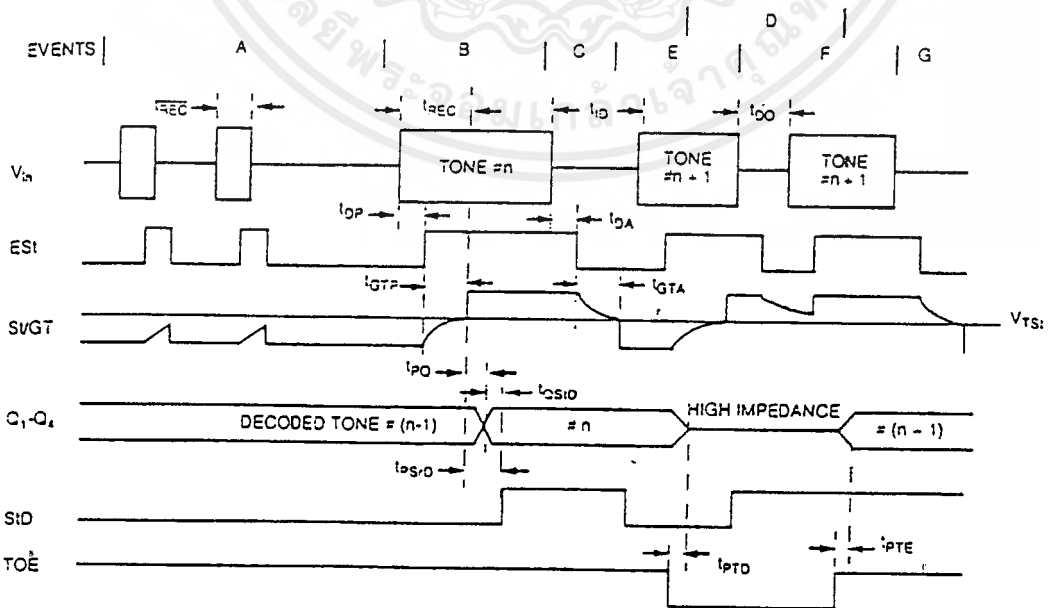
ภาคตรวจสอบสัญญาณ ก่อนที่จะมีการถอดรหัสความถี่ออกไปที่เอาต์พุท จะมีการตรวจสอบช่วงความถี่ที่เข้ามาว่ามีระยะเวลาตามที่กำหนดหรือไม่ โดยสังเกตจากระยะเวลาการกดปุ่มโทรศัพท์ซึ่งต้องกดปุ่มให้มีความถี่ออกมาเป็นช่วงเวลาพอสมควรไม่เช่นนั้นวงจรส่วนนี้จะไม่รับ โดยถือว่าสัญญาณนั้นไม่ถูกต้อง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนช่วงเวลายาวเท่าใดสามารถตั้งได้โดยใช้ RC ต่อภายนอก สัญญาณที่ขา EST จะเป็นลอจิกสูงนานใกล้ เคียงกับระยะเวลาที่มีความถี่ DTMF เข้ามา เมื่อขา EST เป็นลอจิกสูง ทำให้ V_c สูงขึ้น ตัวเก็บประจุจะคาย ประจุทำให้แรงดัน V_c สูงขึ้นจนถึงค่าเทรชโฮลด์ (Thres-hold) วงจรถอดรหัสจึงจะถอดรหัสออกเป็นตัวเลข ฐาน 2 ขนาด 4 บิต รายละเอียดการทำงานดูจากแผนภูมิเวลา (Timing Diagram) ดังรูปที่ 3.14 จะเข้าใจ ได้ง่ายกว่า

อธิบายขั้นตอนการทำงาน

- A - ตรวจพบความถี่ที่เข้ามา แต่คาบเวลาไม่ถูกต้อง เอาท์พุทไม่เปลี่ยน
- B - ความถี่ #n ถูกตรวจพบและมีคาบเวลาที่ถูกต้อง ความถี่ถูกถอดรหัสและแลตซ์ไว้ที่เอาท์พุท
- C - จบความถี่ #n ช่วงห่างถูกต้อง เอาท์พุทยังคงแลตซ์อยู่จนกว่าจะได้รับความถี่ที่ถูกต้อง ใหม่
- D - เอาท์พุทเปลี่ยนเป็นอิมพีแดนซ์สูง (High Impedance)
- E - ความถี่ #(n+1) ถูกตรวจพบ คาบเวลาถูกต้อง ความถี่ถูกถอดรหัสและแลตซ์ไว้
- F - ความถี่ #(n+1) หายไป ช่วงห่างไม่ถูกต้อง เอาท์พุทยังคงแลตซ์อยู่
- G - จบความถี่ #(n+1) ช่วงห่างถูกต้อง เอาท์พุทยังคงแลตซ์อยู่จนถึงความถี่ใหม่ที่ถูกต้อง

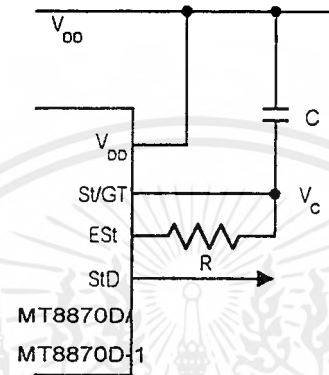
วงจรตรวจสอบสัญญาณ จะทำงานตรงข้าม เพื่อให้ได้ช่วงหยุดระหว่างสัญญาณอิน เทอร์ดิจิต (Inter Digit) ถูกต้อง ดังนั้นจึงเป็นการดี เสมือนว่าเป็นการตัดสัญญาณที่สิ้นเกินไป เพื่อเป็นการ พิจารณาสัญญาณด้วยว่าสัญญาณถูกต้อง ตัวไอซี MT8870 จะมีช่วงผิดพลาดในการขาดหายของสัญญาณ (Drop Out) สั้นด้วย เพื่อที่จะพิจารณาช่วงหยุดที่ถูกต้องของสัญญาณ ประโยชน์อันนี้รวมกับความ สามารถในการเลือกค่าคงที่ในการตรวจสอบสัญญาณ (Steering Time Constant) ภายนอก จะทำให้ผู้ ออกแบบเลือกคุณสมบัติในการใช้งานได้มากมายหลายแบบ



รูปที่ 3.14 แสดงแผนภูมิเวลาการทำงานของไอซี MT8870

การปรับการ์ดไทม์ (Guard Time Adjustment)

สำหรับคำว่า การ์ดไทม์ (Guard time) นั้นหมายถึง ช่วงเวลาของความถี่ที่เข้ามา ซึ่งจะต้องนานกว่าเท่ากับ หรือมากกว่าช่วงเวลาที่เราตั้งไว้ จึงจะได้รับการยอมรับว่าสัญญาณความถี่นั้นถูกต้อง หรือพูดได้ว่าเวลาที่เรที่ตั้งไว้โดย RC ก็คือการ์ดไทม์นั่นเอง เมื่อสัญญาณความถี่เข้ามานานเท่ากับ หรือมากกว่าเวลาที่ตั้งไว้จึงจะสามารถแปลงเป็นตัวเลขได้ ถ้าสัญญาณความถี่เข้ามาสั้นกว่าก็จะมีการถอดรหัสเป็นตัวเลขออกไป การตั้งเวลาและคำนวณเวลาดูได้จากรูปที่ 3.15



$$t_{GTA} = (RC) \ln(V_{DD} / V_{TSI})$$

$$t_{GTP} = (RC) \ln[V_{DD} / (V_{DD} \cdot V_{TSI})]$$

รูปที่ 3.15 แสดงวงจรตรวจสอบสัญญาณ (Steering) อย่างง่าย

วงจรตรวจสอบสัญญาณง่าย ๆ แสดงดังรูปที่ 3.21 ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้งาน ค่าของส่วนอุปกรณ์จะถูกเลือกตามสูตรต่อไปนี้

$$t_{REC} = t_{DP} + t_{GTP}$$

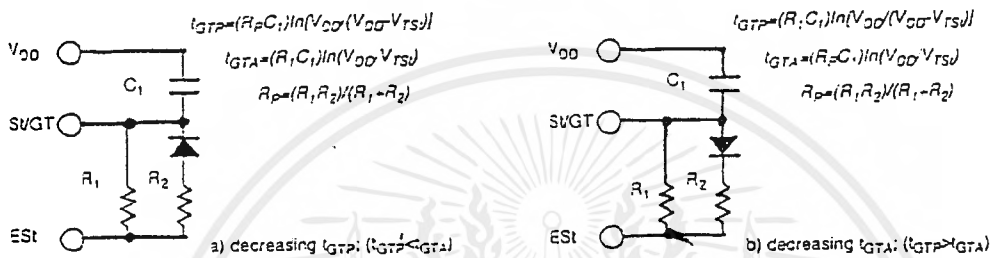
$$t_{ID} = t_{DA} + t_{GTA}$$

- โดย
- t_{REC} - คาบเวลาสั้นที่สุดที่ต้องการเพื่อแสดงว่าสัญญาณถูกต้อง
 - t_{ID} - เวลาสั้นสุดระหว่างสัญญาณ DTMF ที่ถูกต้อง 2 สัญญาณ
 - t_{DO} - เวลารานสุดที่ยอมให้สัญญาณหายไปได้ในคาบเวลาความถี่ที่ถูกต้อง
 - t_{DP} - เวลาที่ใช้ในการตรวจพบสัญญาณความถี่ DTMF ที่ถูกต้อง
 - t_{DA} - เวลาที่ใช้ในการตรวจการหายไปของสัญญาณความถี่ DTMF ที่ถูกต้อง
 - t_{GTP} - การ์ดไทม์ของการปรากฏความถี่ DTMF ที่ถูกต้อง
 - t_{GTA} - การ์ดไทม์ของการหายไปของความถี่ DTMF

ค่าของ t_{DP} เป็นค่าพารามิเตอร์ของตัวไอซีเอง (ดูได้จากตารางแสดงคุณสมบัติ) และค่า t_{REC} เป็นค่าช่วงเวลาต่ำสุดที่ตัวไอซีจะทำการถอดรหัสสัญญาณได้ ค่าของ $C = 0.1 \mu F$ นี้ เป็นค่าที่ใช้ในการใช้งานทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบวงจรตรวจสอบสัญญาณมีให้เลือกแตกต่างกันหลายแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณโหนดที่ตัวไอซีจะทำการถอดรหัส โดยสามารถเลือกช่วงเวลาการรีเซ็ตได้อย่างอิสระสำหรับช่วงเวลาปรากฏ (t_{GTP}) และช่วงสัญญาณหาย (t_{GTA}) ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ เป็นลักษณะสำคัญของการทำงานของไอซี ซึ่งจะทำให้เกิดการถอดรหัสหรือไม่ถอดรหัสต่อช่วงสัญญาณที่เข้ามา การปรับการรีเซ็ตให้ออกแบบจะเป็นคนกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามสภาวะของสัญญาณ ตัวอย่างเช่น สัญญาณที่เข้ามาไม่มีสัญญาณอื่นปนเข้ามา (Talk Off) การออกแบบให้ t_{REC} มาก ๆ จะลดโอกาสที่จะเป็นไปไม่ได้ของโหนดแปลงปลอมที่มีสัญญาณรบกวนอย่างมาก สูตรในการคำนวณแสดงในรูปที่ 3.16

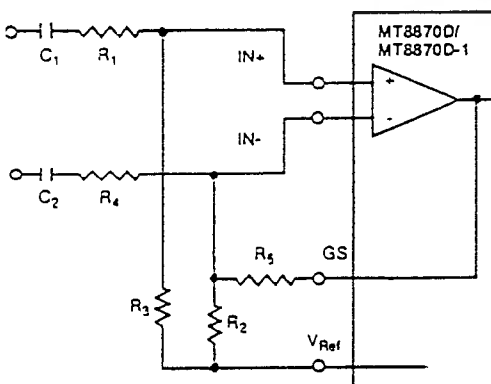


รูปที่ 3.16 แสดงวงจรตรวจสอบสัญญาณที่ใช้งานจริง

ภาคขยายสัญญาณความแตกต่าง วงจรส่วนอินพุทของ MT8870 เป็นภาคขยายออปแอมป์ ที่สามารถปรับอัตราขยาย โดยต่อวงจรภายนอกเข้าไปด้วย รูปที่ 3.17 แสดงการต่อวงจรภายนอกเข้ากับอินพุท ซึ่งสามารถคำนวณอัตราขยายความแตกต่างของอินพุทและอิมพีแดนซ์ได้ดังนี้

$$\text{อัตราขยาย} \quad (A_{diff}) = \frac{R_5}{R_1}$$

$$\text{อินพุทอิมพีแดนซ์} \quad (Z_{in,diff}) = 2 \sqrt{R_1^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$



Differential Input Amplifier

$C_1=C_2=10 \text{ nF}$
 $R_1=R_2=R_5=100 \text{ k}\Omega$
 $R_3=60 \text{ k}\Omega, R_4=37.5 \text{ k}\Omega$
 All resistors are $\pm 1\%$ tolerance.
 All capacitors are $\pm 5\%$ tolerance.

$$R_3 = \frac{R_2 R_5}{R_2 - R_5}$$

$$\text{VOLTAGE GAIN } (A_{diff}) = \frac{R_5}{R_1}$$

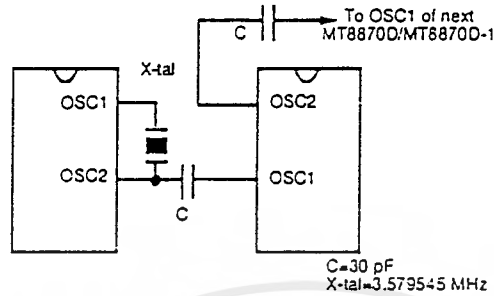
INPUT IMPEDANCE

$$(Z_{in,diff}) = 2 \sqrt{R_1^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

รูปที่ 3.17 แสดงการต่อวงจรภาคอินพุท

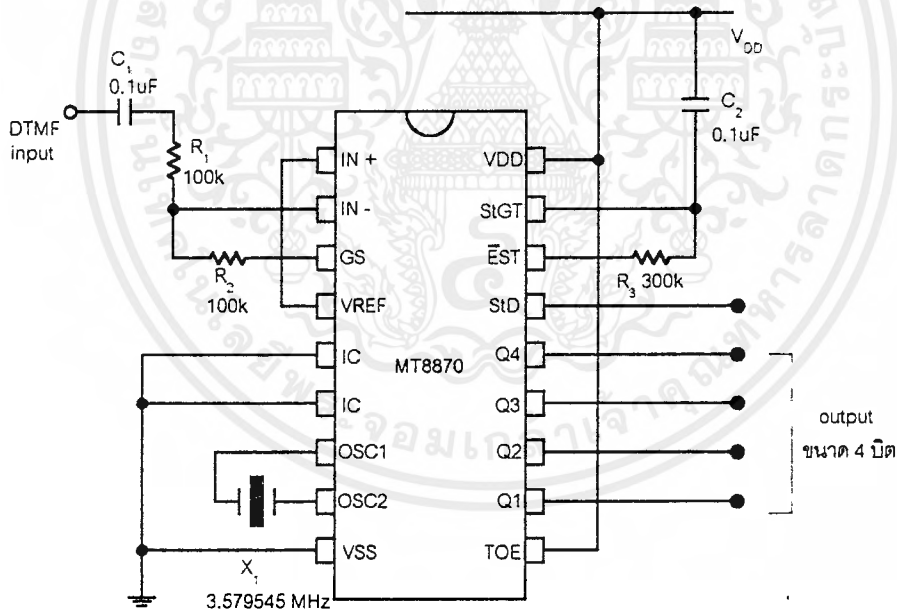
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคกำเนิดความถี่ ในภาคนี้ ภายในไอซีจะมีวงจรเวลาอยู่ภายใน เพียงแต่ต่อคริสตอลขนาด 3.579 MHz. ก็สามารถใช้งานได้ทันที การต่อวงจรกำเนิดความถี่แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงการต่อวงจรกำเนิดความถี่

วงจรใช้งานเบื้องต้นของไอซี MT8870 แสดงดังรูปที่ 3.19

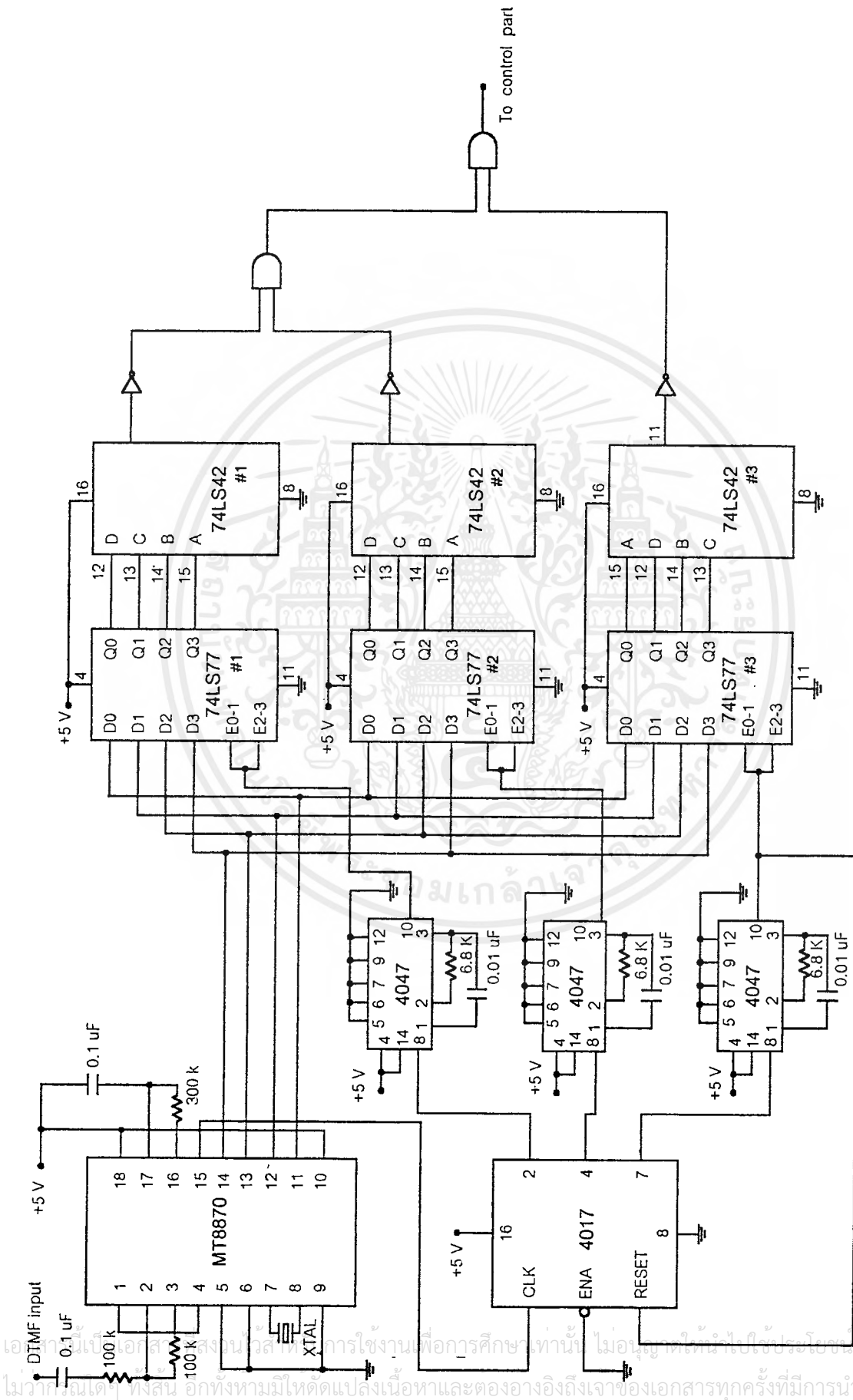


รูปที่ 3.19 แสดงวงจรใช้งานเบื้องต้นของ MT8870

3.1.4.2 วงจรควบคุมการทำงานของไมค์

ค่าตัวเลขที่ได้จากวงจรถอดรหัส DTMF จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับรหัสประจำเครื่อง ถ้ารหัสที่ได้รับไม่ตรงกับรหัสประจำเครื่อง ไมค์ก็จะไม่ทำงาน แต่ถ้ารหัสที่ได้รับตรงกับรหัสประจำเครื่อง ไมค์ก็สามารถทำงานได้ โดยวงจรควบคุมการทำงานของไมค์แสดงดังรูป 3.20

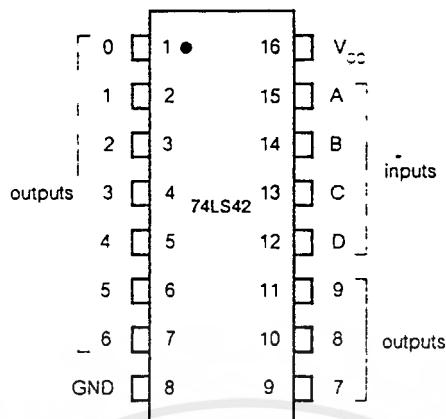
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แสดงวงจรควบคุมการทำงานของไมค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางานของวงจรส่วนนี้ คือ จะทำการตั้งรหัสประจำเครื่องของไมคที่ตองการ โดยการกำหนดที่ขาเอาต์พุทของไอซีเบอร์ 74LS42 ซึ่งรายละเอียดขาของไอซีแสดงดังรูป 3.21



รูปที่ 3.21 แสดงรายละเอียดขาของไอซี 74LS42

โดยที่ไอซี 74LS42 มีการทํางานดังตารางที่ 3.2

No.	BCD INPUT				DECIMAL OUTPUT									
	D	C	B	A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H
1	L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H
2	L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H
3	L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H
4	L	H	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H
5	L	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H
6	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H
7	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H
8	H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H
9	H	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L
-	H	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
-	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
-	H	H	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
-	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
-	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
-	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H

ตารางที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาต์พุทของไอซี 74LS42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

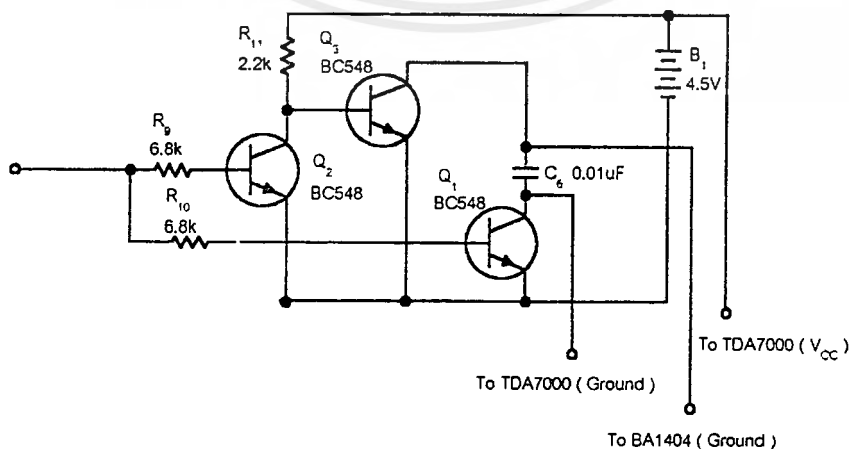
การตั้งรหัสประจำเครื่อง ทำโดยการกำหนดรหัสประจำเครื่องที่ต้องการ ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เป็นเลข 2 หลัก และเลือกใช้ไอซีเบอร์ 74LS42 (BCD to Decimal Decoder) 1 ตัวแทนเลข 1 หลัก เช่น กำหนดรหัสประจำเครื่องเป็น " 12 " จากตารางที่ 3.2 จะได้ว่าต้องเลือกใช้ขา " 2 " ของไอซีตัวที่ 1 และใช้ขา " 3 " ของไอซีตัวที่ 2

หลักการการทำงานของวงจรควบคุมการทำงานของไมค์ดังรูป 3.20

รหัสตัวเลขเป็น BCD ที่ได้จากวงจรถอดรหัส DTMF จะถูกนำไปเก็บไว้ในไอซี 74LS77 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวแลทช์ (latch) ข้อมูลรหัสตัวเลข BCD โดยมีไอซี 4017 เป็นตัวควบคุมการทำงานของไอซี 74LS77 โดยจะกำหนดให้ไอซี 74LS77 แต่ละตัวรับข้อมูลรหัส BCD ตามจังหวะการถอดรหัสสัญญาณ DTMF จาก MT8870 โดยจะทำให้ 74LS77 ตัวที่ 1 ทำงานโดยการแลทช์รหัส BCD ตัวที่ 1 เฉพาะเมื่อมีการถอดรหัสครั้งที่ 1 และ 74LS77 ตัวที่ 2 ทำงานโดยการแลทช์รหัส BCD ตัวที่ 2 เมื่อมีการถอดรหัสครั้งที่ 2 ตามลำดับ รหัส BCD จาก 74LS77 ทั้ง 2 ตัวจะถูกส่งไปยังไอซี 74LS42 ซึ่งเป็นตัวแปลงรหัส BCD ให้เป็นเลขฐานสิบ (Decimal) โดย 74LS42 จะให้เอาต์พุตที่มีระดับสัญญาณเป็น low ออกมา ถ้าเลขฐานสิบที่ได้ตรงกับรหัสประจำเครื่องที่ตั้งไว้ก็จะได้สัญญาณที่เป็น low ออกมาตามขาของ 74LS42 ที่เราเลือกได้ สัญญาณนี้จะผ่านไปยังนอเทท (NOT GATE) เพื่อเปลี่ยนสัญญาณที่เป็น low นี้ให้มีระดับสัญญาณเป็น high ผ่านไปที่ชุดของแอนดเกทที่จะทำการตรวจสอบว่ารหัสที่ได้รับมาเป็นรหัสประจำเครื่องจริง และเมื่อได้รับสัญญาณเปิด (ในที่นี้คือ การกดปุ่ม #) หรือปิด (ในที่นี้คือ การกดปุ่ม *) ที่ตั้งไว้ เอาต์พุตของวงจรควบคุมนี้ก็จะเป็น high (ในกรณีที่เป็นสัญญาณเปิด) หรือ low (ในกรณีที่เป็นสัญญาณปิด) ซึ่งจะถูกส่งไปยังส่วนสวิทช์เพื่อควบคุมการทำงานของไมค์ต่อไป

3.1.5 ส่วนสวิทช์ควบคุมการทำงานของไมค์

สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรควบคุมการทำงานของไมค์ จะเป็นสัญญาณอินพุตให้กับส่วนสวิทช์ โดยใช้ทรานซิสเตอร์ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แสดงวงจรสวิทช์โดยใช้ทรานซิสเตอร์

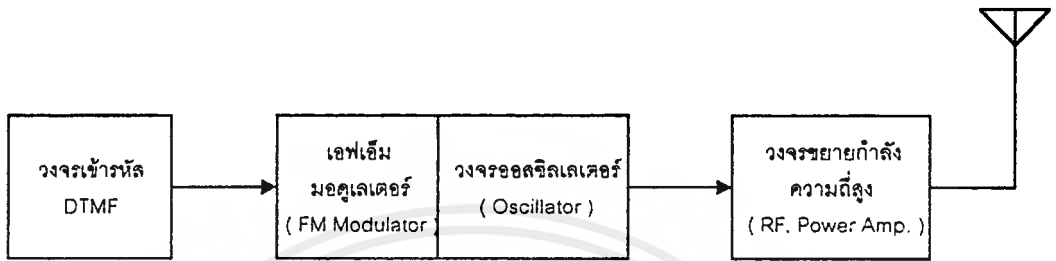
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของวงจรส่วนนี้ คือ เมื่อมีสัญญาณ high จากวงจรควบคุมเข้ามายังส่วนสวิตช์จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ทำงานโดยผ่านทาง R_9 และ R_{10} ตามลำดับ เมื่อ Q_1 ทำงานก็จะเป็นการต่อไฟเลี้ยงให้กับ IC_2 ซึ่งเป็นภาคส่งสัญญาณ โดยต่อกบราวต์ของ IC_2 เข้ากับกราวด์ของแบตเตอรี่ทำให้ครบวงจร ในขณะที่เดียวกัน Q_2 ก็จะทำงานด้วย ทำให้ Q_3 หยุดทำงาน ทำให้ภาครับสัญญาณ IC_3 และภาคขยายเสียง IC_4 ไม่ทำงาน เนื่องจากไม่มีแรงดันไฟไปเลี้ยง ส่วนในกรณีที่ไม่มีสัญญาณเสียงเข้ามา Q_1 และ Q_2 จะหยุดทำงานเนื่องจากไม่มีสัญญาณป้อนเข้ามาขับ ซึ่งทำให้ IC_2 หยุดทำงานด้วย ส่วน Q_3 จะทำงาน ทำให้ IC_3 และ IC_4 ซึ่งเป็นภาครับสัญญาณและภาคขยายสัญญาณเสียงทำงานได้



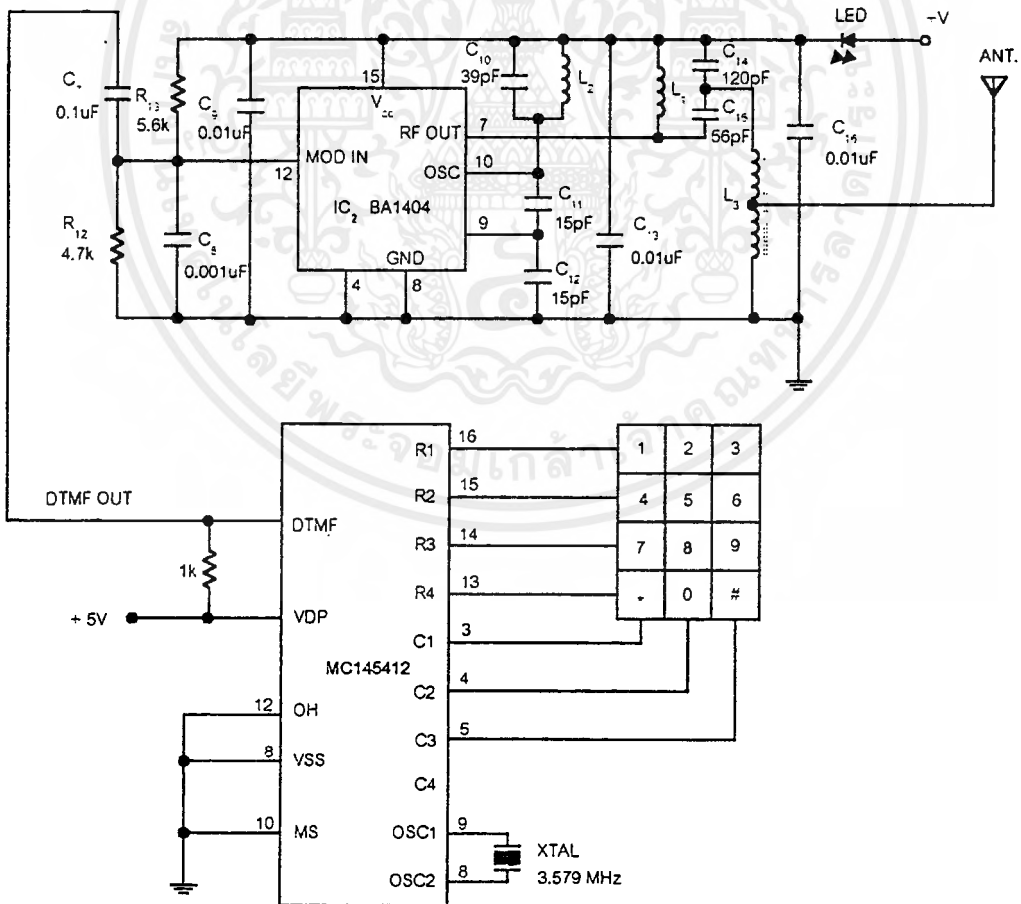
3.2 ส่วนควบคุม

หลักการทำงานของส่วนควบคุมใช้การมอดูเลทสัญญาณรหัสควบคุม (รหัสประจำเครื่องของไมค์) ซึ่งอยู่ในรูปของสัญญาณ DTMF เข้ากับคลื่นพาหะแล้วส่งออกไป ซึ่งหลักการทำงานของส่วนควบคุมแสดงได้ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของส่วนควบคุม

วงจรของส่วนควบคุมแสดงดังรูปที่ 3.24

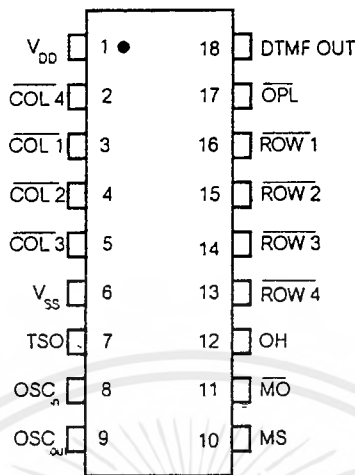


รูปที่ 3.24 แสดงวงจรของส่วนควบคุม

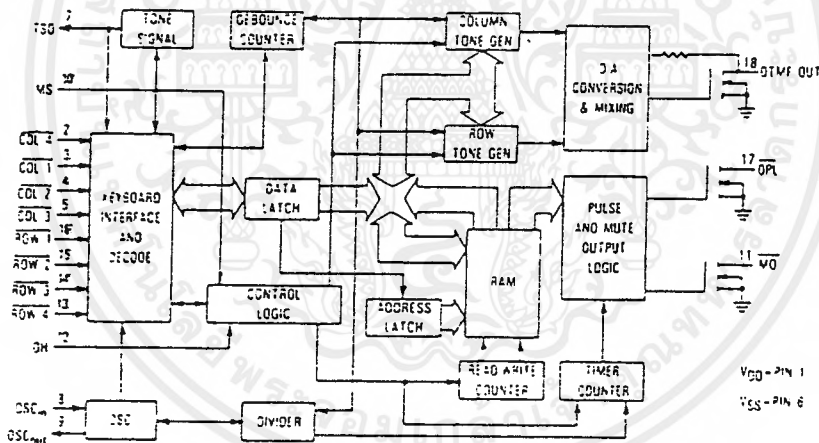
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 วงจรเข้ารหัส DTMF

ในการทำโครงงานนี้ได้นำเอาไอซีเบอร์ MC145412 มาใช้เป็นวงจรเข้ารหัส DTMF ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 แสดงขาของไอซี MC145412



รูปที่ 3.26 แสดงบล็อกไดอะแกรมของไอซี MC145412

1) ข้อมูลทั่วไป

ไอซีเบอร์ MC145412 สามารถที่จะทำงานได้ทั้งแบบพัลส์ (Pulse) และแบบโทน (Tone) โดยการเลือกที่ขา MS มีหน่วยความจำ 10 ช่อง แต่ละช่องมี 18 หลัก มีการรีดอรัล (redial) หมายเลขสุดท้ายที่โทรออก

เมื่อให้พลังงานแก่ไอซี จะมีการใช้เวลา 64 ms ในการตรวจสอบวงจรกำเนิดความถี่และแบบของแป้นกด หากขา COL_n มีอิมพีแดนซ์เป็น 1 จะเป็นการบอกให้ไอซีรู้ว่าใช้แป้นกดแบบ 3*4 หากขา COL_n มีอิมพีแดนซ์เป็น 0 จะเป็นการบอกให้ไอซีรู้ว่าใช้แป้นกดแบบ 4*4

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในเอกสารนี้เท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งสัญญาณหมายเลข วงจรกำเนิดความถี่จะทำงานหลังจากการกดปุ่มแรก 32 ms ภายในเวลา 32 ms นี้ จะไม่มีการทำงานของหน่วยความจำแบบแรม (RAM) และวงจรภายในไอซีทั้งหมด หลังจากนั้นขา MS จะถูกตรวจสอบหมวดการทำงาน (ว่าเป็น 10 pps , 20 pps หรือ DTMF) หลังจากนั้น การกดปุ่มใด ๆ ก็จะถูกตรวจสอบ และเก็บไว้ในรีดออัลหมายเลขสุดท้าย (Last Number Redial : LNR) ตามด้วยรหัสหยุด (stop code) กระบวนการนี้จะดำเนินไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งครบ 18 หลัก หากมีการใส่ หลักที่ 19 ตามไป มันจะไปเขียนทับหลักที่ 1 แล้วตามด้วยรหัสหยุด เมื่อมีการส่งสัญญาณหมายเลขไอซีจะ ส่งข้อมูลที่มาจากหน่วยความจำออกไป จนกระทั่งเจอรหัสหยุดหรือครบ 18 หลัก

ในระหว่างการส่งสัญญาณ DTMF โดยใช้มือกดแป้นจะมีสัญญาณ DTMF ที่น้อยที่สุดที่ส่ง ออกมาคือ 60 ms จากนั้นจะส่งออกมาเรื่อย ๆ ทีละ 32 ms จนกว่าจะยกมือขึ้นจากแป้นกด ขา DTMF OUT ได้ถูกออกแบบมาให้สามารถไปขับทรานซิสเตอร์แบบ PNP ได้ ซึ่งทรานซิสเตอร์นี้จะสามารถนำไปมอดูเลท แรงดันทิพ (tip) และริง (ring) ที่ความถี่ DTMF ได้

ถ้าปุ่มแรกที่เกิดเป็นปุ่มรีดออัล หรือรีคอล (recall) ไอซีจะดึงข้อมูลตามที่ต้องการออกมา จากหน่วยความจำ

ไอซีเบอร์นี้สามารถที่จะต่อกับแหล่งจ่ายไฟภายนอกได้ แหล่งจ่ายไฟนี้ใช้สำหรับการเก็บ รักษาหน่วยความจำ และการโปรแกรมในขณะที่ยังไม่ได้ยกหูโทรศัพท์ หากมีส่วนนี้ในวงจร และทำการกด ปุ่มในขณะที่ยังไม่ได้มีการยกหูโทรศัพท์ วงจรกำเนิดความถี่ก็จะเริ่มทำงาน เลขหมายที่ถูกกดก็จะถูกเก็บไว้ในรีดออัลหมายเลขสุดท้ายเช่นเดียวกันกับการโปรแกรมขณะยกหูโทรศัพท์

2) คุณสมบัติของขาต่าง ๆ ของ MC145412

- V_{DD} , V_{SS} (ขา 1 และขา 6) ~ แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

กระแสไฟตรงจะถูกป้อนเข้ามายัง 2 ขานี้ โดยที่ขา 1 จะเป็นค่าบวก มีค่าตั้งแต่ 1.7 - 5.5 โวลท์ ส่วนขา 6 นิยมต่อลงกราวด์

- MS (ขา 10) ~ Mode Select

เป็นขาที่ใช้เลือกโหมดการทำงานของไอซีว่าจะเป็นการส่งสัญญาณแบบไหน ความสัมพันธ์ ระหว่างแรงดันที่ขา MS และโหมดการทำงาน แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

MS	Dialing Mode
V_{DD}	20 pps Pulse Dialing
Open	10 pps Pulse Dialing
V_{SS}	DTMF Dialing

ตารางที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ขา MS และโหมดการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- OH (ขา 12) ~ On Hook

ป้อนแรงดัน V_{DD} หรือปล่อยลอยไว้ เป็นการเลือกการทำงานของไอซีให้อยู่ในโหมด On-Hook หากต่อกับ V_{SS} เป็นการเลือกโหมด Off-Hook

- TSO (ขา 7) ~ Tone Signal Output

TSO กำเนิดสัญญาณความถี่ 500 MHz. หลังจากที่มีการกดหมายเลข เพื่อให้ได้ทราบว่ามีการกดหมายเลข ยกเว้นเมื่อมีการกำเนิดสัญญาณ DTMF

- DTMF OUT (ขา 18) ~ Dual Tone Multifrequency Output

เมื่อขา MS ถูกกำหนดแรงดันเป็น V_{SS} ขา DTMF OUT จะกำเนิดสัญญาณ DTMF ตามแถวและแนวของแป้นกดที่ถูกกด ขานี้มีค่าเป็นอิมพีแดนซ์สภาวะสูงในโหมดพัลส์และการโปรแกรมในขณะ On-Hook

- OPL (ขา 17) ~ Outpulsing

กำเนิดสัญญาณพัลส์ 10 pps เมื่อขา MS ถูกปล่อยลอย หรือกำเนิดสัญญาณพัลส์ 20 pps เมื่อขา MS ถูกป้อนด้วยแรงดัน V_{DD} มีอัตราการเปิดปิดเป็น 60/40 ในโหมด DTMF เอาท์พุทเป็นอิมพีแดนซ์สภาวะสูง ในระหว่างการโปรแกรมขณะ On-Hook จะไม่มีเอาท์พุทออกมา

- MO (ขา 11) ~ Mute Output

ขานี้จะเปลี่ยนสถานะเป็น 0 เมื่อขา OPL ทำงาน หรือระหว่างการกดปุ่ม Off-Hook หรือการหมุนเบอร์โทรศัพท์จากหน่วยความจำในโหมด DTMF

- Keyboard Input (ขา 2,3,4,5,13,14,15,16)

การกดปุ่มที่ใช้ได้ คือ การที่แถวหนึ่งแถวถูกต่อเข้ากับแนวหนึ่งแนว หรือแถวหนึ่งแถวและแนวหนึ่งแนวถูกต่อเข้ากับกราวด์ การต่อขา 2 เข้ากับ V_{DD} เป็นการบอกให้ไอซีรู้ว่ามีการใช้แป้นกดแบบ 3*4 การเลือกแบบของแป้นกดจะถูกเลือกเมื่อมีการป้อนแรงดันให้ไอซี

- OSC_{in} , OSC_{out} (ขา 8 และขา 9)

วงจรกำเนิดความถี่ภายในชิปต้องการคริสตัลขนาด 3.579545 MHz. เพื่อการอ้างอิงความถี่ คริสตัลถูกไบอัสโดยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุภายใน

3) การใช้งาน MC145412

- การส่งเลขหมายโดยการกดแป้น

สามารถทำได้โดยการกดเลขหมายโทรศัพท์ที่ต้องการได้เลย

- การเก็บหมายเลขไว้ในหน่วยความจำ

ทำได้โดยการกดเลขหมายที่ต้องการแล้วตามด้วย [*] และ [A] โดยที่ A คือ หมายเลขของช่องหน่วยความจำ

- การส่งเลขหมายจากหน่วยความจำ

ทำได้โดยการกด [*] แล้วตามด้วย [A] โดยที่ A คือ หมายเลขของช่องหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การส่งหมายเลขสุดท้ายที่โทรออกจากหน่วยความจำ

ทำได้โดยการกด [*] แล้วตามด้วย [0]

- การเปลี่ยนระบบการส่งจากพัลส์เป็นโทน หรือโทนเป็นพัลส์

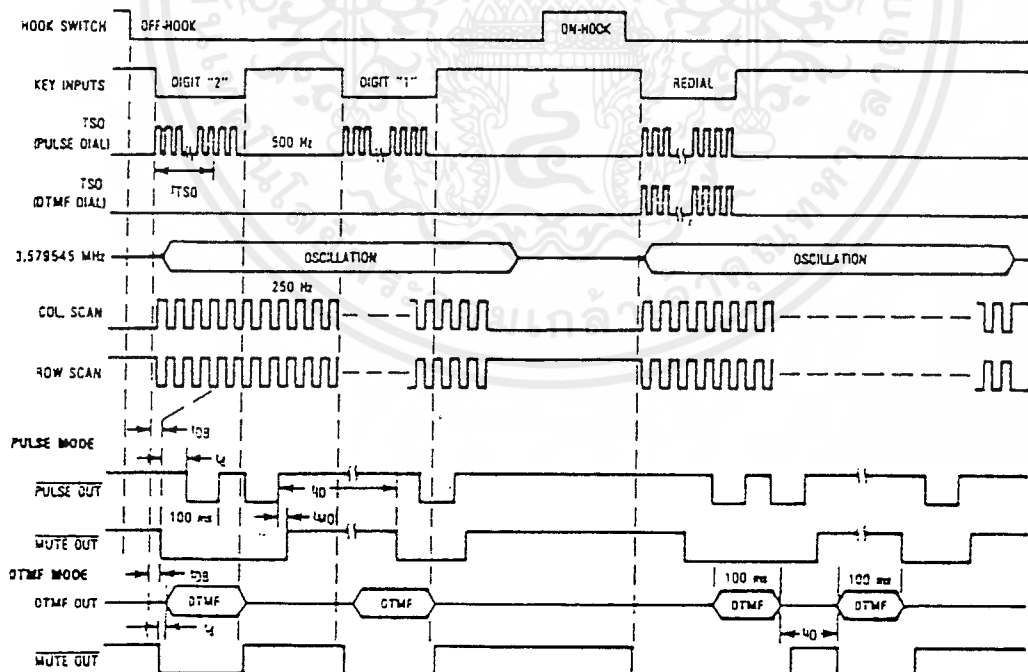
ในระหว่างการส่งสัญญาณออกไป สามารถกดปุ่ม MS เพื่อที่จะเปลี่ยนระบบการส่งได้เสีย แต่หากว่าเลขหมายหลังจากที่เปลี่ยนระบบการส่งจะไม่สามารถเข้าไปเก็บในรีไดอัลหมายเลขสุดท้าย

- การส่งสัญญาณ * และ # (สามารถทำได้เฉพาะในการทำงานแบบโทนเท่านั้น)

สามารถทำได้โดยการกดปุ่มที่ต้องการส่งซ้ำ 2 ครั้ง เช่น [*][*] หรือ [#][#]

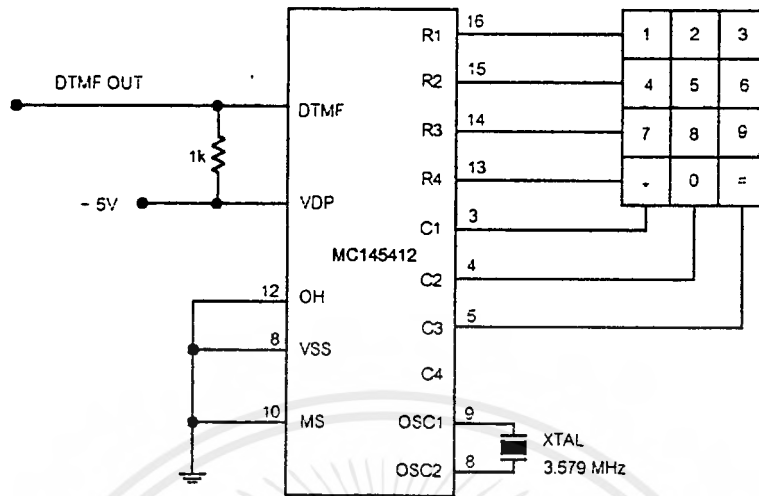
- การเรียกซ้ำอัตโนมัติ

การโทรออกจากหน่วยความจำไม่ว่าจะเป็นโทรจากช่องที่เก็บหมายเลขไว้ หรือการโทรจากหมายเลขสุดท้ายที่โทรออก จะเป็นการเรียกซ้ำอัตโนมัติ คือ เป็นการเรียกซ้ำต่อไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะมีคนมารับสาย เพื่อประโยชน์ในกรณีที่ต้องการติดต่อให้เร็วที่สุด แต่คู่สายยังไม่ว่างและไม่ต้องการที่จะเรียกซ้ำครั้งแล้วครั้งเล่า หากไม่ต้องการที่จะให้เครื่องเรียกซ้ำอัตโนมัติก็สามารถทำได้โดยการวางหูโทรศัพท์ (hand set) เข้าที่เดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สง รูปที่ 3.27 แสดงไดอะแกรมของเวลาของไอซี MC145412 นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวงจรใช้งานของไอซี MC 145412 แสดงดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 แสดงวงจรใช้งานของไอซี MC 145412

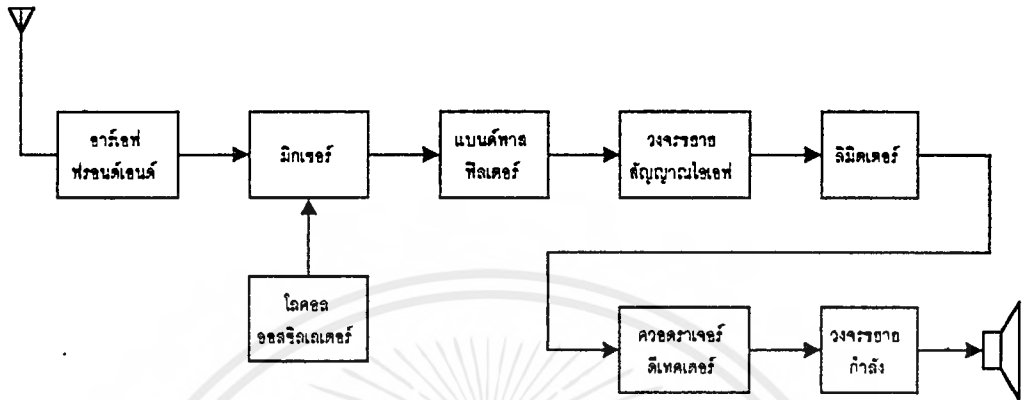
3.2.2 วงจรภาคส่งสัญญาณ

สำหรับในส่วนนี้เลือกใช้ไอซีเบอร์ BA1404 เช่นเดียวกับภาคส่งสัญญาณของส่วนไมโครโฟนไร้สาย ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.1.1

3.3 ส่วนรับสัญญาณจากไมโครโฟนไร้สาย

3.3.1 ภาครับสัญญาณ

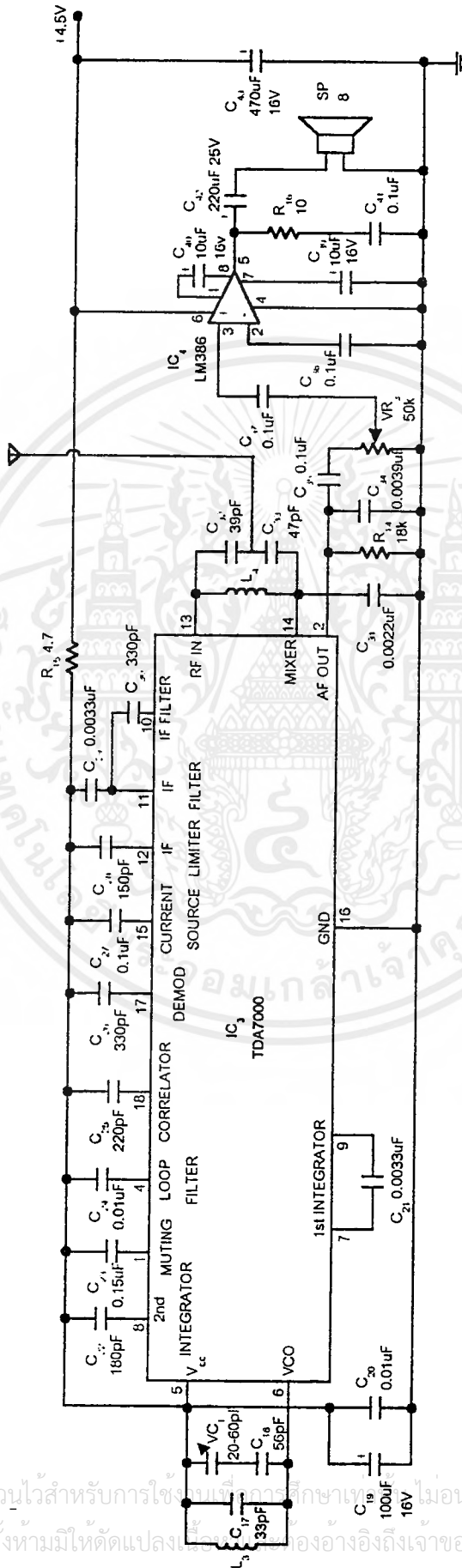
สำหรับส่วนรับสัญญาณจากไมโครโฟนไร้สายใช้หลักการของภาครับสัญญาณดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของภาครับสัญญาณ

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.29 เป็นเครื่องรับวิทยุระบบซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ (Superheterodyne) ซึ่งใช้หลักการรวมกันของสัญญาณวิทยุที่รับเข้ามา กับความถี่ของวงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ ด้วยวงจรมิกเซอร์ (Mixer) โดยอาร์เอฟฟรอนเอนด์ (RF, front end) จะทำหน้าที่เลือกรับสัญญาณที่ต้องการและจะถูกนำมาผสมสัญญาณกับความถี่จากโลคอลออสซิลเลเตอร์ที่วงจรมิกเซอร์ จากการผสมสัญญาณจะได้ความถี่ที่เป็นผลบวก ผลต่าง และความถี่ของทั้งสองสัญญาณ แต่ในระบบวิทยุจะเลือกเอาเฉพาะความถี่ที่เป็นผลต่างไว้ ซึ่งความถี่ที่เป็นผลต่างนี้เป็นความถี่ไอเอฟ (IF : Intermediate Frequency) ของสัญญาณเอเอ็ม ซึ่งสัญญาณไอเอฟนี้จะผ่านไปยังวงจรลิมิตเตอร์ (Limiter) และวงจรดีมอดูเลเตอร์ ซึ่งจะทำการแยกสัญญาณเสียงที่ต้องการจากสัญญาณไอเอฟ ซึ่งวงจรขยายสัญญาณเสียงจะขยายสัญญาณที่ได้ และส่งไปยังลำโพงต่อไป

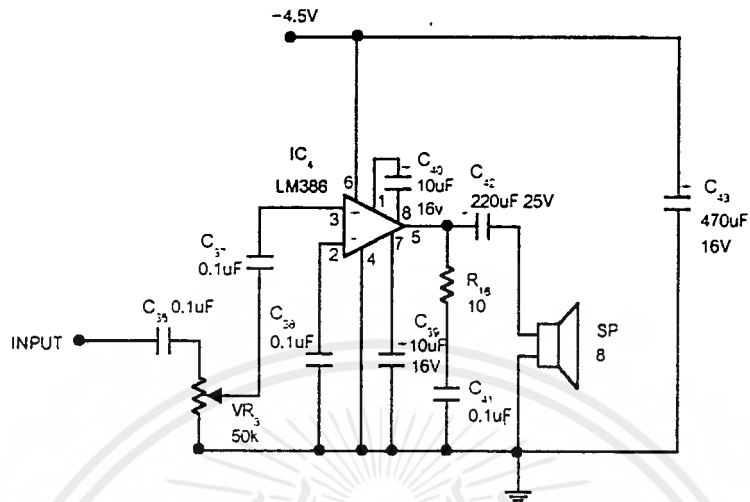
ในส่วนนี้เลือกใช้ไอซีเบอร์ TDA7000 เป็นภาครับสัญญาณเช่นเดียวกับภาครับสัญญาณของส่วนถอดรหัส DTMF ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยมีวงจรแสดงดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 แสดงวงจรภาครับสัญญาณจากไมโครโฟนไร้สาย

3.3.2 ภาคขยายกำลัง

สำหรับภาคขยายกำลังเลือกใช้ไอซีเบอร์ LM386 โดยมีวงจรดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 แสดงวงจรขยายกำลัง

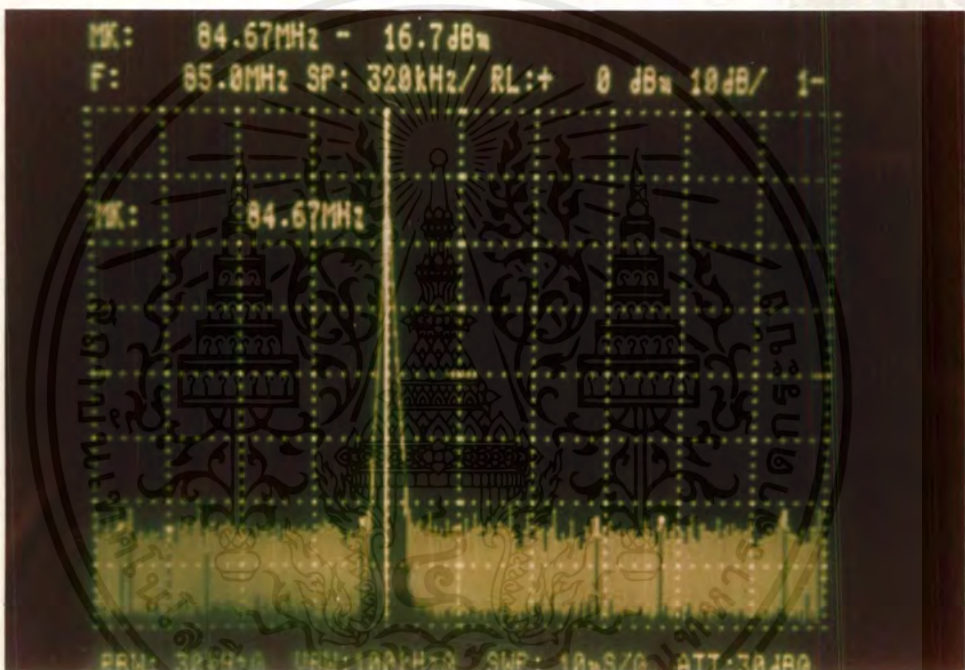
สัญญาณเสียงที่ออกจากขา 2 ของ IC₃ จะผ่านไปยัง VR₃ เพื่อทำการปรับความแรงของสัญญาณที่เข้าไปยังขา 3 ของ IC₄ โดยการคัปปลิ่งผ่าน C₃₅ โดย LM386 ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายกำลังที่สามารถปรับอัตราขยายได้ตั้งแต่ 20-200 เท่า จากการนำตัวเก็บประจุ C₄₀ ซึ่งมีค่า 10 μ F มาต่อกับขา 1 และขา 8 ทำให้ได้อัตราขยายสูงสุด คือ ประมาณ 200 เท่า สัญญาณที่ถูกขยายเรียบร้อยแล้วจะออกมาที่ขา 5 โดยผ่าน C₄₂ เพื่อกันไม่ให้มีไฟกระชากตรงผ่านออกไปยังลำโพง R₁₆ และ C₄₁ มีหน้าที่ป้องกันการเกิดออสซิลเลตที่ความถี่สูง โดยมี C₂₃ เป็นตัวกรองไฟเลี้ยงเพื่อช่วยกำจัดสัญญาณรบกวนจากไฟเลี้ยง

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดสอบส่วนควบคุม

ในการทดสอบส่วนควบคุมได้ทำการทดสอบวงจรมอดูเลเตอร์ ซึ่งในการทดสอบจำเป็นจะต้องใช้เครื่องสเปคตรัมอะนาไลเซอร์ในการวัดสัญญาณที่ได้จากวงจร เนื่องจากความถี่ที่ได้จากการมอดูเลชันมีค่าสูงมาก ซึ่งออสซิลโลสโคปไม่สามารถวัดได้ โดยขณะที่ยังไม่มีการมอดูเลชันจะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณความถี่ที่เกิดจากส่วนของวงจรออสซิลเลเตอร์ของวงจรมอดูเลเตอร์



รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์ของวงจรมอดูเลเตอร์

จากรูปที่ 4.1 จะอ่านได้ว่าที่ความถี่ 84.67 MHz. เครื่องส่งมีกำลังส่ง (power) -16.7 dBm และเนื่องจากการวัดใช้แอทเทนนูเอเตอร์ (attenuator) 30 dB ดังนั้นจะได้ว่ากำลังของภาคส่งสัญญาณควบคุมเป็น

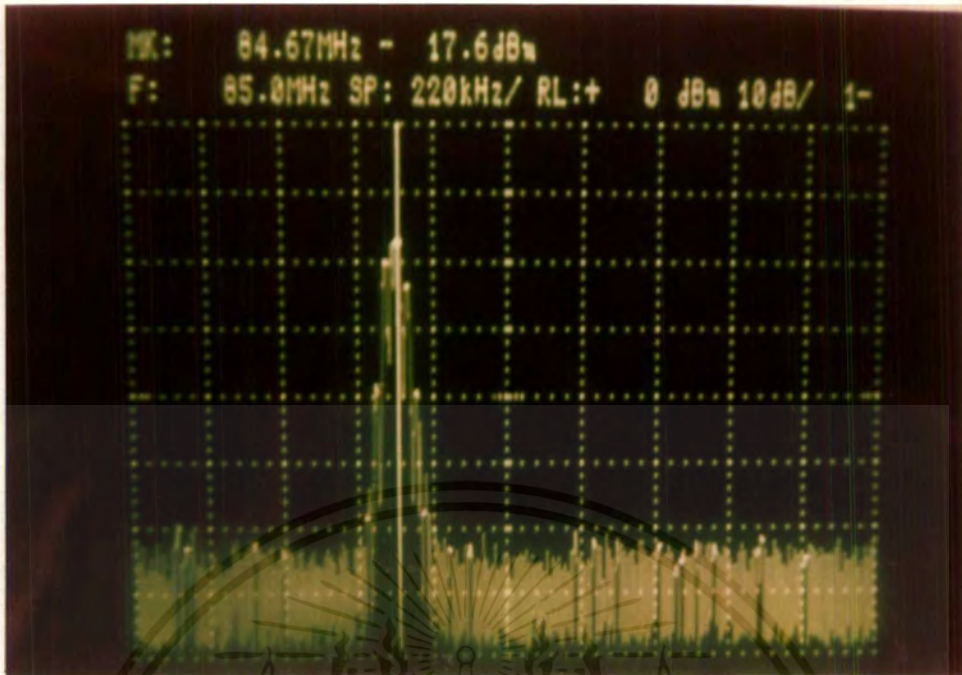
$$-16.7 \text{ dBm} + 30 \text{ dB} = 13.3 \text{ dBm}$$

$$13.3 \text{ dBm} = 10 \log P/1\text{mW.}$$

$$P = 21.38 \text{ mW.}$$

จากนั้นทำการทดสอบวงจรมอดูเลเตอร์ของส่วนควบคุม โดยใช้สัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function Generator) ซึ่งในการทดสอบใช้สัญญาณรูปไซน์ (Sine wave) ความถี่ 836 kHz. จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.2 โดยจะแสดงให้เห็นลักษณะของสัญญาณที่เกิดจากการมอดูเลชันระหว่างคลื่นพาหะกับสัญญาณความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

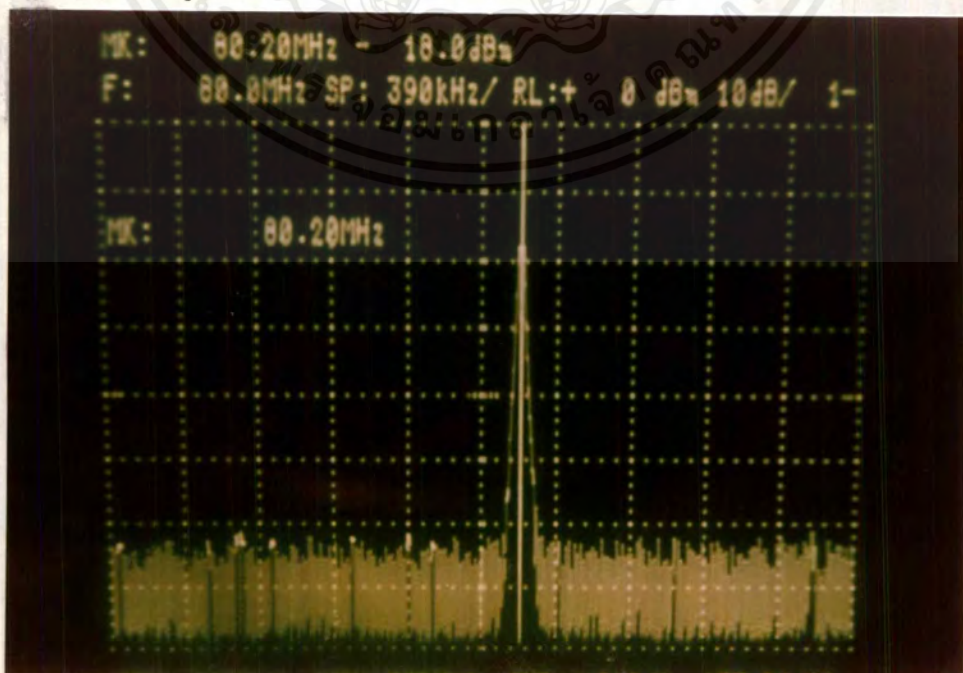


รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลทระหว่างคลื่นพาหะ กับสัญญาณความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ

4.2 การทดสอบในส่วนของไมโครโฟนไร้สาย

4.2.1 การทดสอบภาคส่งสัญญาณเสียง

ในการทดสอบภาคส่งสัญญาณ ได้ทำการทดสอบวงจรมอดูเลเตอร์ โดยขณะที่ยังไม่มีการมอดูเลท สัญญาณจะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์ของวงจรมอดูเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของทางโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เนื้อหาเว็บไซต์นี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

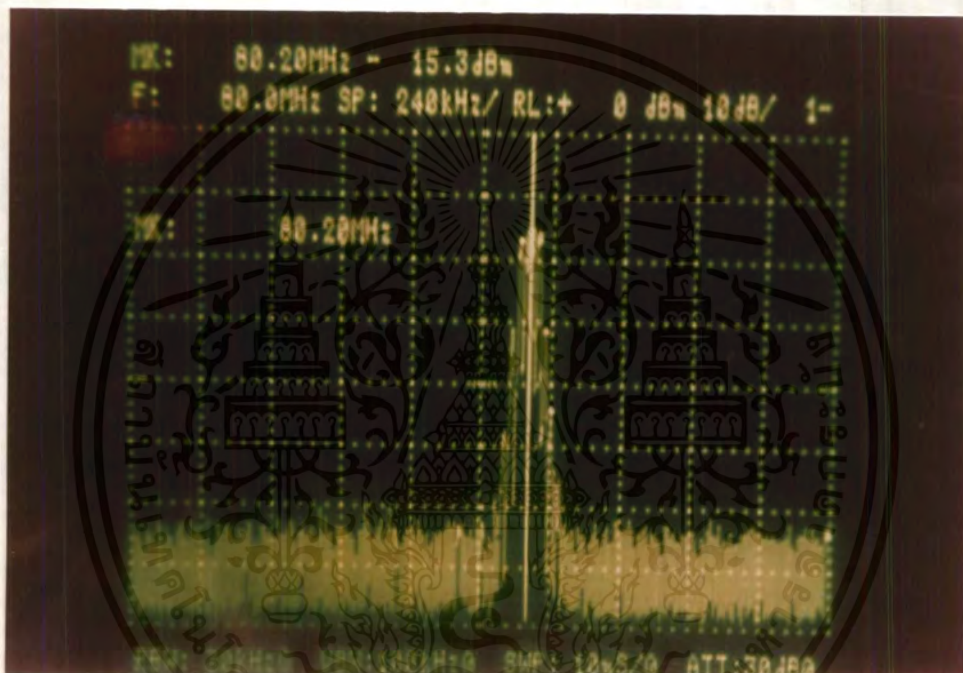
จากรูปที่ 4.3 จะอ่านได้ว่าที่ความถี่ 80.20 MHz. มีกำลัง -18 dBm และเนื่องจากการวัดใช้ แอทเทนนูเอเตอร์ 30 dB ดังนั้นจะได้ว่ากำลังของภาคส่งสัญญาณเสียงเป็น

$$-18 \text{ dBm} + 30 \text{ dB} = 12 \text{ dBm}$$

$$12 \text{ dBm} = 10 \log P/1 \text{ mW.}$$

$$P = 15.85 \text{ mW.}$$

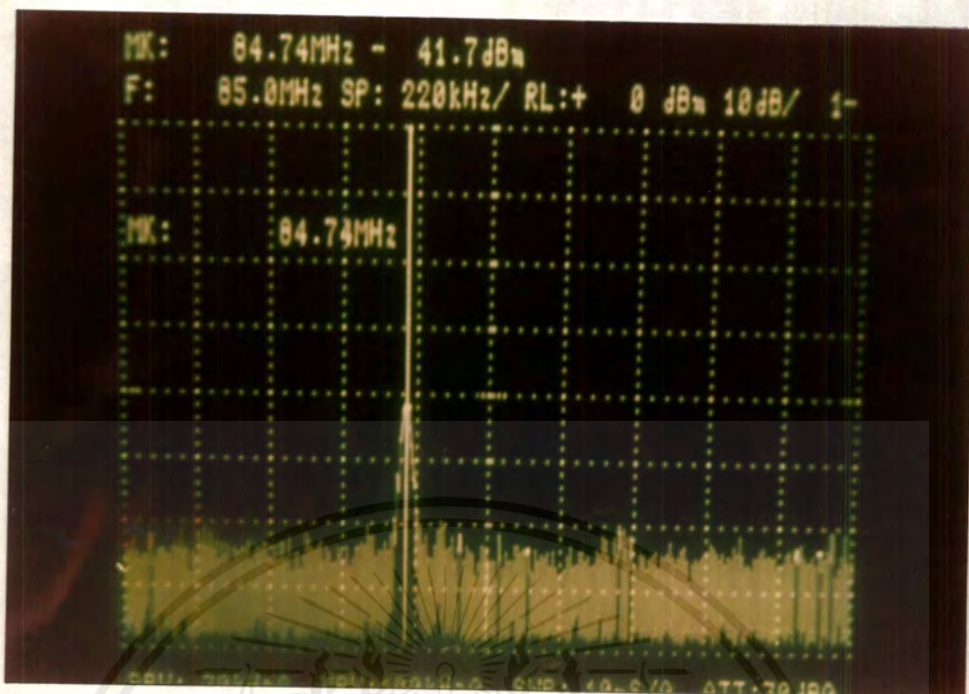
จากนั้นทำการทดสอบวงจรมอดูเลเตอร์ โดยใช้สัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ ซึ่งในการทดสอบใช้สัญญาณรูปไซน์ ความถี่ 950 kHz. จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลทระหว่างคลื่นพาหะ กับสัญญาณความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ

4.2.2 การทดสอบภาครับสัญญาณควบคุม

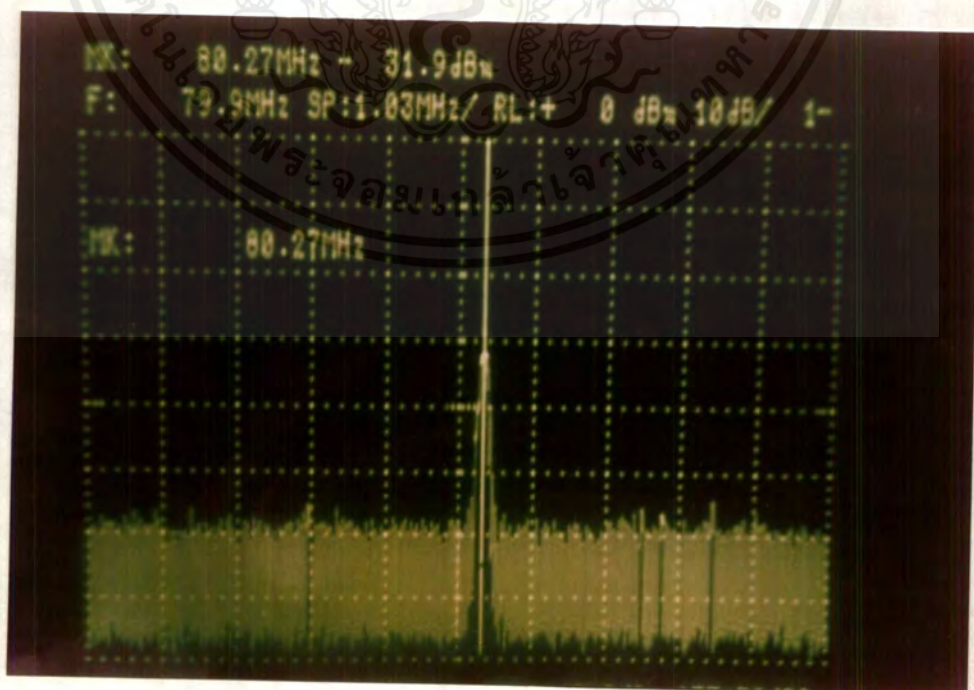
ในการทดสอบส่วนรับสัญญาณจากไมโครโฟนไร้สาย โดยการวัดสัญญาณความถี่ที่ได้จากวงจรโลกอลอสซิลเลเตอร์ของภาครับสัญญาณควบคุม จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากโลกอลออสซิลเลเตอร์ของภาครับสัญญาณควบคุม

4.3 การทดสอบส่วนรับสัญญาณจากไมโครโฟนไร้สาย

ในการทดสอบส่วนรับสัญญาณจากไมโครโฟนไร้สาย โดยการวัดสัญญาณความถี่ที่ได้จาก วงจรโลกอลออสซิลเลเตอร์ของเครื่องรับ จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.6

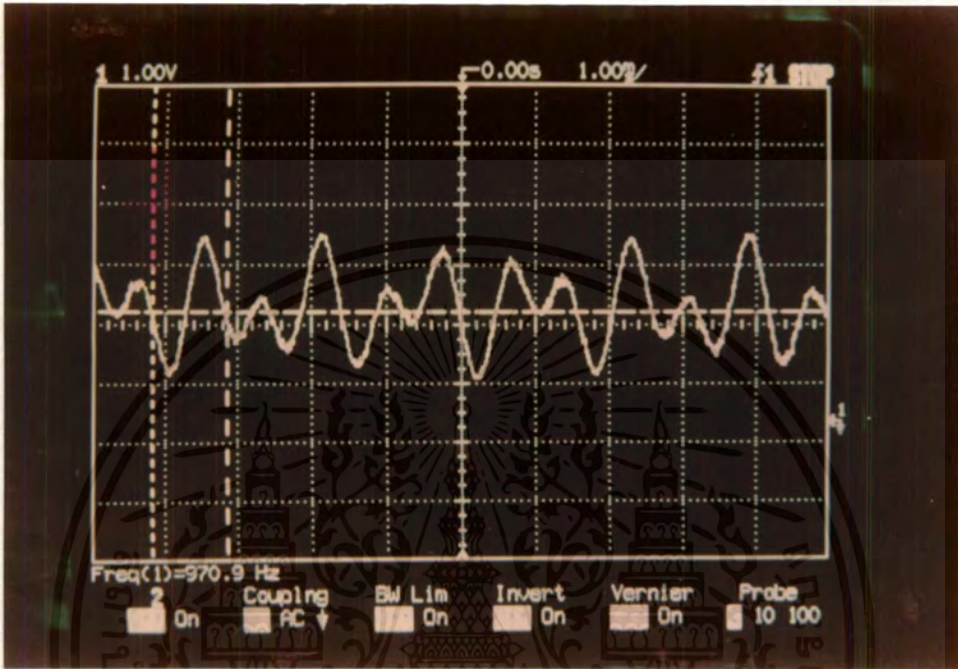


รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากโลกอลออสซิลเลเตอร์ของเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบวงจรเข้ารหัส DTMF

เมื่อทำการต่อขาของไอซี MC145412 เข้ากับแป้นกดแบบ 3*4 และทำการจ่ายไฟให้แก่ตัวไอซีแล้ว ทำการวัดสัญญาณที่ขา 18 ซึ่งเป็นขาเอาต์พุตของสัญญาณ DTMF เมื่อทดลองกดแป้นหมายเลข 1 จะได้สัญญาณจากเครื่องออสซิลโลสโคปดังรูปที่ 4.7

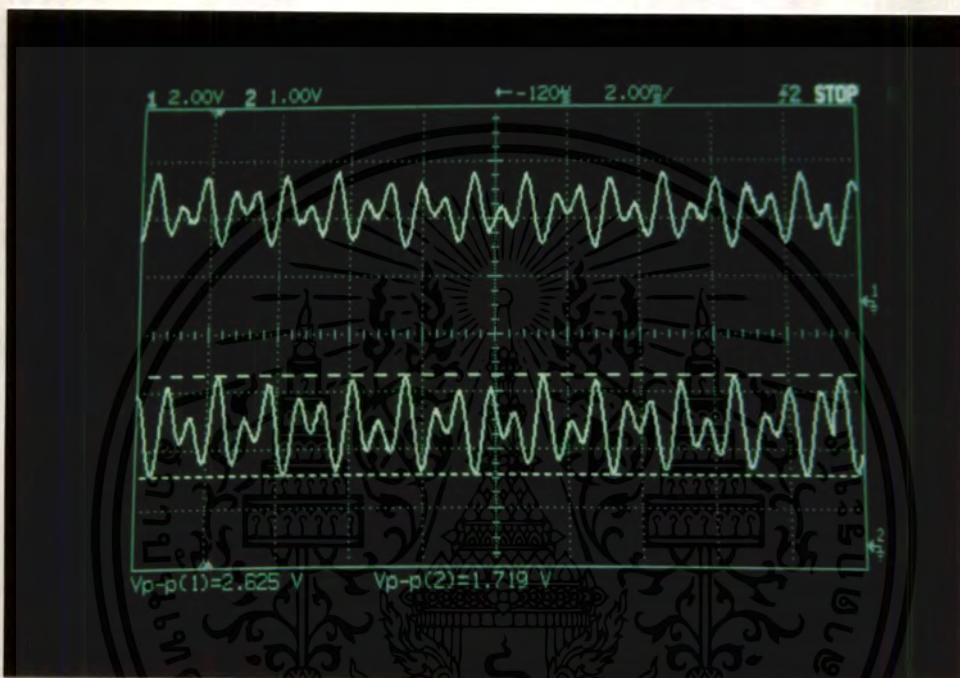


รูปที่ 4.7 แสดงรูปสัญญาณที่ได้จากวงจรเข้ารหัส DTMF เมื่อกดแป้นหมายเลข 1

4.5. การทดสอบการรับ-ส่งสัญญาณ

4.5.1 การทดสอบการรับ-ส่งสัญญาณ DTMF

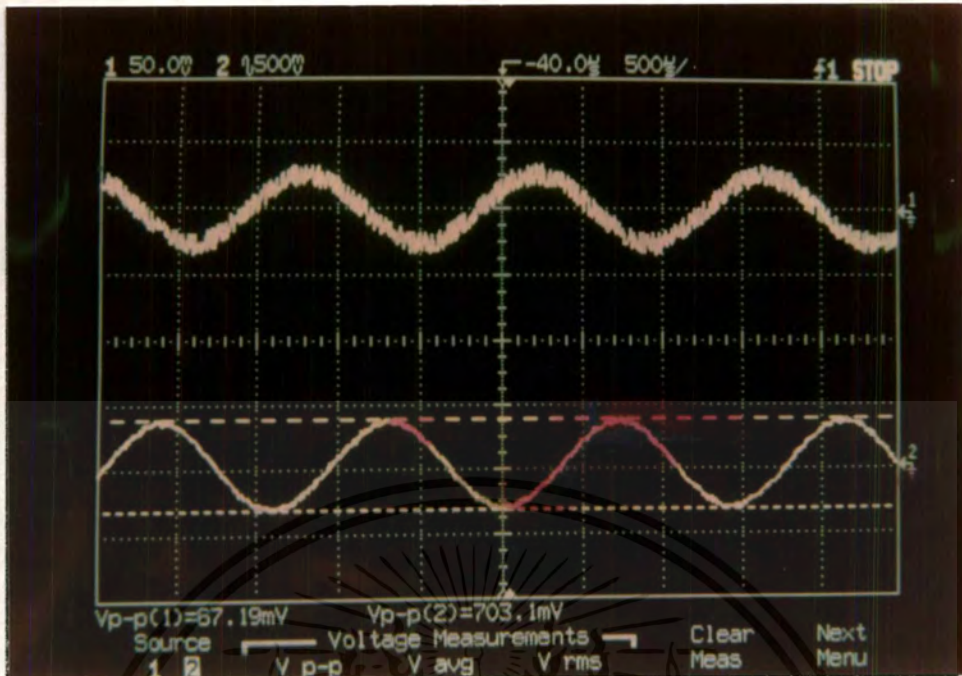
ในการทดสอบการส่งสัญญาณระหว่างภาคส่งสัญญาณควบคุม และภาครับสัญญาณควบคุมที่ ส่วนไมโครโฟนไร้สาย โดยการทดลองใช้สัญญาณ DTMF ของหมายเลข 5 มอดูเลทเข้ากับภาคส่งสัญญาณควบคุม รูปที่ 4.8 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณที่ส่งจากภาคส่งสัญญาณของส่วนควบคุม กับสัญญาณที่รับได้ที่ภาครับสัญญาณของส่วนไมโครโฟนไร้สาย



รูปที่ 4.8 แสดงรูปสัญญาณ DTMF ที่ต้องการส่งทางด้านส่ง (รูปด้านบน) เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้รับจากการติมอดูเลททางด้านรับ (รูปด้านล่าง)

4.5.2 การทดสอบการรับ-ส่งสัญญาณเสียง

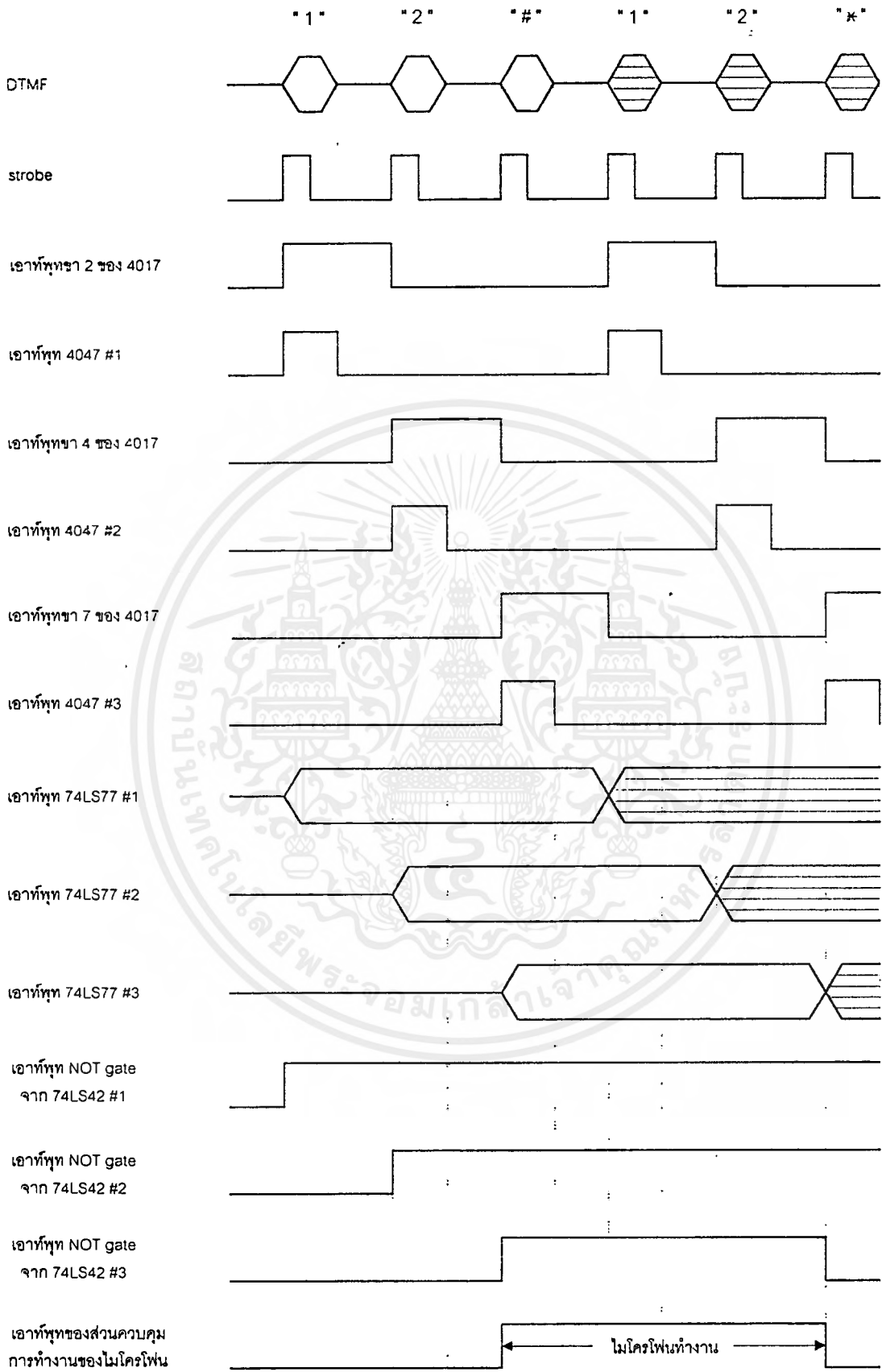
ในการทดสอบการส่งสัญญาณระหว่างภาคส่งสัญญาณเสียงของไมโครโฟนไร้สาย กับภาครับสัญญาณเสียง โดยการทดลองใช้สัญญาณรูปไซน์ความถี่ 700 kHz. จากเครื่องกำเนิดสัญญาณมอดูเลทเข้ากับภาคส่งสัญญาณเสียงที่ไมโครโฟนไร้สาย รูปที่ 4.9 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณที่ส่งจากภาคส่งสัญญาณของไมโครโฟนไร้สาย กับสัญญาณที่ได้รับที่ภาครับสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนไร้สาย



รูปที่ 4.9 แสดงรูปสัญญาณที่ต้องการส่งทางภาคส่ง (รูปด้านบน) เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้รับจากการตียอดูเลททางภาครับ (รูปด้านล่าง)

4.6 การทดสอบส่วนควบคุมการทำงานของไมโครโฟนไร้สาย

จากการทดสอบส่วนควบคุมการทำงานของไมโครโฟนไร้สาย พบว่าสามารถทำการควบคุมได้ตามที่ต้องการ โดยลำดับการทำงานของวงจรแสดงตามแผนภูมิเวลาดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงแผนภูมิเวลาการทำงานของวงจรควบคุมการทำงานของไมโครโฟนไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

ปริญญาานิพนธ์ที่จัดทำขึ้นครอบคลุมเนื้อหาของระบบการประชุมแบบไร้สาย โดยการใช้หลักการของการรับและส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ และหลักการของการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณ DTMF ซึ่งถูกนำมาใช้ในส่วนควบคุมการทำงานของไมโครโฟนไร้สาย จากการทดลองพบว่าภาคส่งสัญญาณเสียงของไมโครโฟนไร้สายสามารถส่งสัญญาณเสียง และเครื่องรับสัญญาณเสียงสามารถทำการดีเทกต์สัญญาณเสียงนำออกลำโพงได้ และในส่วนควบคุมสามารถส่งสัญญาณ DTMF และภาครับสามารถทำการดีเทกต์สัญญาณ DTMF เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมการเปิด-ปิดไมโครโฟนไร้สายได้ แต่เนื่องจากสัญญาณที่ส่งออกมามีความแรงของสัญญาณน้อย เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศ สัญญาณจะถูกลดทอนลง จึงทำให้สามารถทำการรับ-ส่งได้ในระยะใกล้ ๆ

แนวทางในการพัฒนาต่อไป คือ ควรมีการปรับปรุงให้สามารถทำการรับ-ส่งสัญญาณได้ในระยะที่ไกลมากขึ้น





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET



TDA7000 FM radio circuit

Product specification
File under Integrated Circuits, IC01

May 1992

FM radio circuit

TDA7000

GENERAL DESCRIPTION

The TDA7000 is a monolithic integrated circuit for mono FM portable radios, where a minimum on peripheral components is important (small dimensions and low costs).

The IC has an FLL (Frequency-Locked-Loop) system with an intermediate frequency of 70 kHz. The i.f. selectivity is obtained by active RC filters. The only function which needs alignment is the resonant circuit for the oscillator, thus selecting the reception frequency. Spurious reception is avoided by means of a mute circuit, which also eliminates too noisy input signals. Special precautions are taken to meet the radiation requirements.

The TDA7000 includes the following functions:

- R.F. input stage
- Mixer
- Local oscillator
- I.F. amplifier/limiter
- Phase demodulator
- Mute detector
- Mute switch

QUICK REFERENCE DATA

Supply voltage range (pin 5)	V_P	2,7 to 10 V
Supply current at $V_P = 4,5$ V	I_P	typ. 8 mA
R.F. input frequency range	f_{rf}	1,5 to 110 MHz
Sensitivity for -3 dB limiting (e.m.f. voltage) (source impedance: 75 Ω ; mute disabled)	EMF	typ. 1,5 μ V
Signal handling (e.m.f. voltage) (source impedance: 75 Ω)	EMF	typ. 200 mV
A.F. output voltage at $R_L = 22$ k Ω	V_o	typ. 75 mV

PACKAGE OUTLINE

18-lead DIL; plastic (SOT102HE); SOT102-1; 1996 July 24.

FM radio circuit

TDA7000

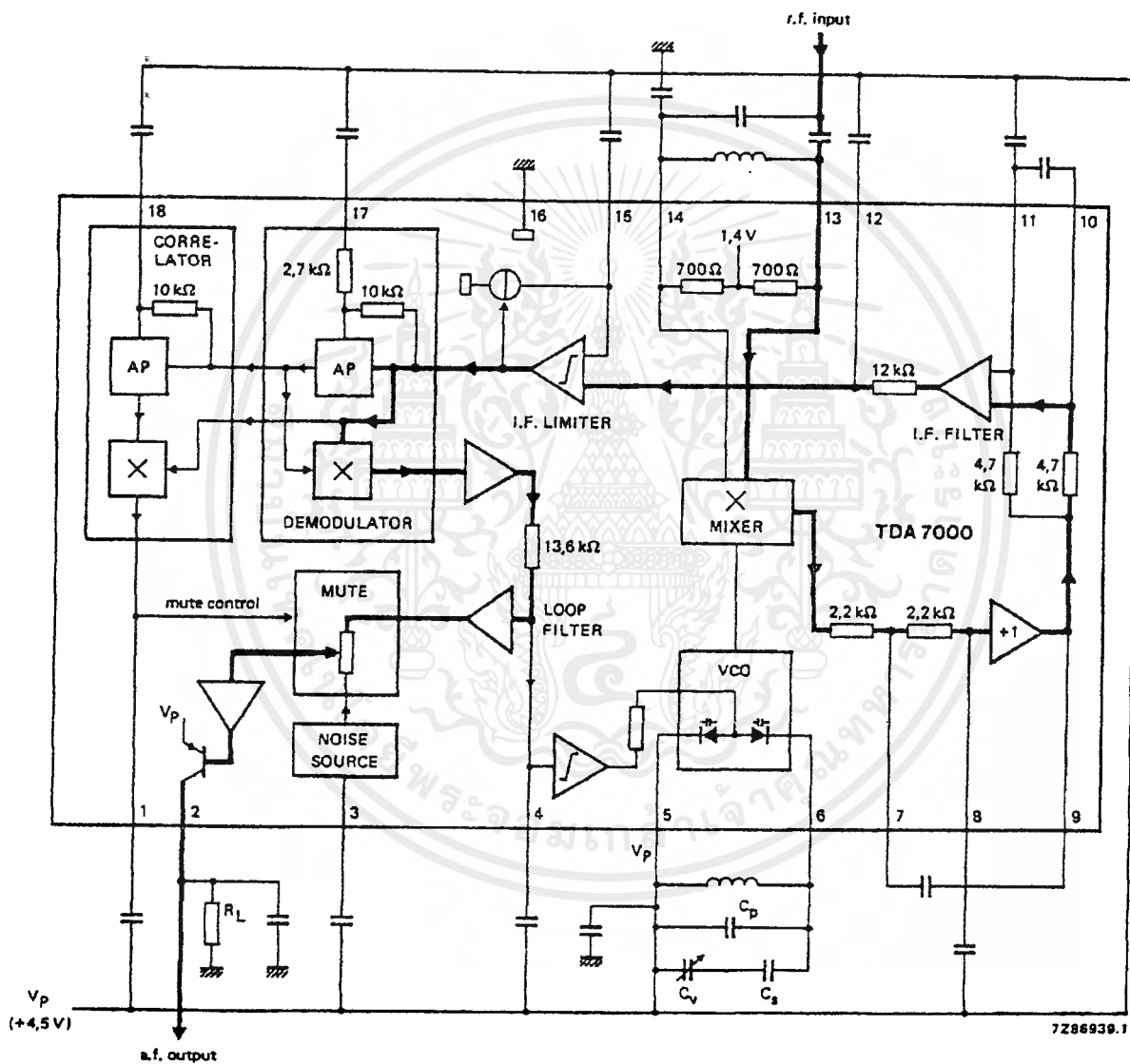


Fig.1 Block diagram.

FM radio circuit

TDA7000

RATINGS

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

Supply voltage (pin 5)	V_P	max.	12 V
Oscillator voltage (pin 6)	V_{6-5}	$V_P - 0,5$ to $V_P + 0,5$ V	
Total power dissipation		see derating curve Fig.2	
Storage temperature range	T_{stg}		-55 to +150 °C
Operating ambient temperature range	T_{amb}		0 to + 60 °C

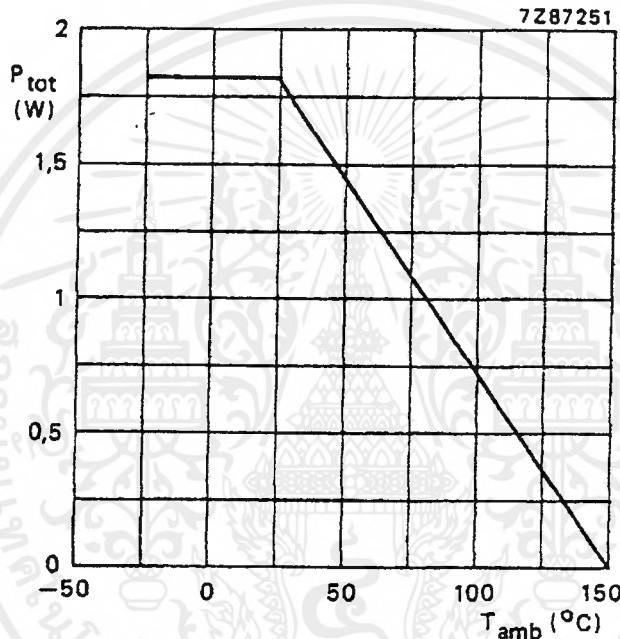


Fig.2 Power derating curve.

D.C. CHARACTERISTICS

$V_P = 4,5$ V; $T_{amb} = 25$ °C; measured in Fig.4; unless otherwise specified

PARAMETER	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply voltage (pin 5)	V_P	2,7	4,5	10	V
Supply current at $V_P = 4,5$ V	I_P	-	8	-	mA
Oscillator current (pin 6)	I_6	-	280	-	μ A
Voltage at pin 14	V_{14-16}	-	1,35	-	V
Output current at pin 2	I_2	-	60	-	μ A
Voltage at pin 2; $R_L = 22$ k Ω	V_{2-16}	-	1,3	-	V

FM radio circuit

TDA7000

A.C. CHARACTERISTICS

$V_P = 4,5 \text{ V}$; $T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$; measured in Fig.4 (mute switch open, enabled); $f_{rf} = 96 \text{ MHz}$ (tuned to max. signal at $5 \text{ } \mu\text{V}$ e.m.f.) modulated with $\Delta f = \pm 22,5 \text{ kHz}$; $f_m = 1 \text{ kHz}$; EMF = $0,2 \text{ mV}$ (e.m.f. voltage at a source impedance of $75 \text{ } \Omega$); r.m.s. noise voltage measured unweighted ($f = 300 \text{ Hz}$ to 20 kHz); unless otherwise specified.

PARAMETER	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Sensitivity (see Fig.3) (e.m.f. voltage) for -3 dB limiting; muting disabled	EMF	—	1,5	—	μV
for -3 dB muting	EMF	—	6	—	μV
for $S/N = 26 \text{ dB}$	EMF	—	5,5	—	μV
Signal handling (e.m.f. voltage) for $\text{THD} < 10\%$; $\Delta f = \pm 75 \text{ kHz}$	EMF	—	200	—	mV
Signal-to-noise ratio	S/N	—	60	—	dB
Total harmonic distortion at $\Delta f = \pm 22,5 \text{ kHz}$	THD	—	0,7	—	%
at $\Delta f = \pm 75 \text{ kHz}$	THD	—	2,3	—	%
AM suppression of output voltage (ratio of the AM output signal referred to the FM output signal) FM signal: $f_m = 1 \text{ kHz}$; $\Delta f = \pm 75 \text{ kHz}$ AM signal: $f_m = 1 \text{ kHz}$; $m = 80\%$	AMS	—	50	—	dB
Ripple rejection ($\Delta V_P = 100 \text{ mV}$; $f = 1 \text{ kHz}$)	RR	—	10	—	dB
Oscillator voltage (r.m.s. value) at pin 6	$V_{6-5(\text{rms})}$	—	250	—	mV
Variation of oscillator frequency with supply voltage ($\Delta V_P = 1 \text{ V}$)	Δf_{osc}	—	60	—	kHz/V
Selectivity	S_{+300}	—	45	—	dB
	S_{-300}	—	35	—	dB
A.F.C. range	Δf_{rf}	—	± 300	—	kHz
Audio bandwidth at $\Delta V_o = 3 \text{ dB}$ measured with pre-emphasis ($t = 50 \text{ } \mu\text{s}$)	B	—	10	—	kHz
A.F. output voltage (r.m.s. value) at $R_L = 22 \text{ k}\Omega$	$V_{o(\text{rms})}$	—	75	—	mV
Load resistance at $V_P = 4,5 \text{ V}$	R_L	—	—	22	$\text{k}\Omega$
at $V_P = 9,0 \text{ V}$	R_L	—	—	47	$\text{k}\Omega$

FM radio circuit

TDA7000

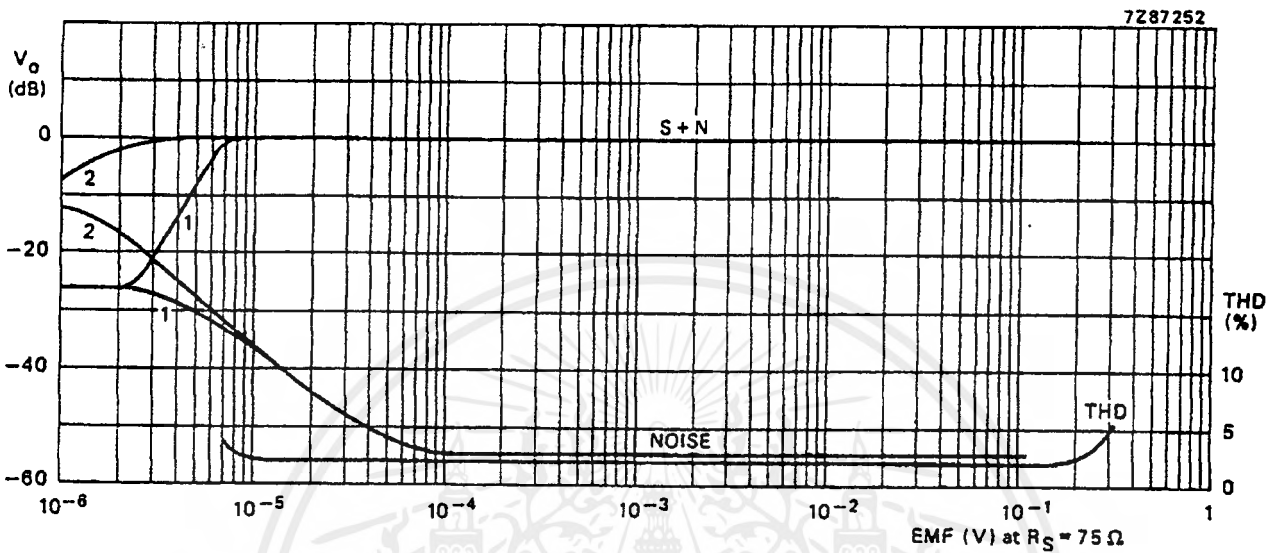


Fig.3 A.F output voltage (V_o) and total harmonic distortion (THD) as a function of the e.m.f. input voltage (EMF) with a source impedance (R_S) of 75Ω : (1) muting system enabled; (2) muting system disabled.

Conditions: 0 dB = 75 mV; $f_{rf} = 96$ MHz.
 for S + N curve: $\Delta f = \pm 22,5$ kHz; $f_m = 1$ kHz.
 for THD curve; $\Delta f = \pm 75$ kHz; $f_m = 1$ kHz.

Notes

1. The muting system can be disabled by feeding a current of about $20 \mu A$ into pin 1.
2. The interstation noise level can be decreased by choosing a low-value capacitor at pin 3. Silent tuning can be achieved by omitting this capacitor.

FM radio circuit

TDA7000

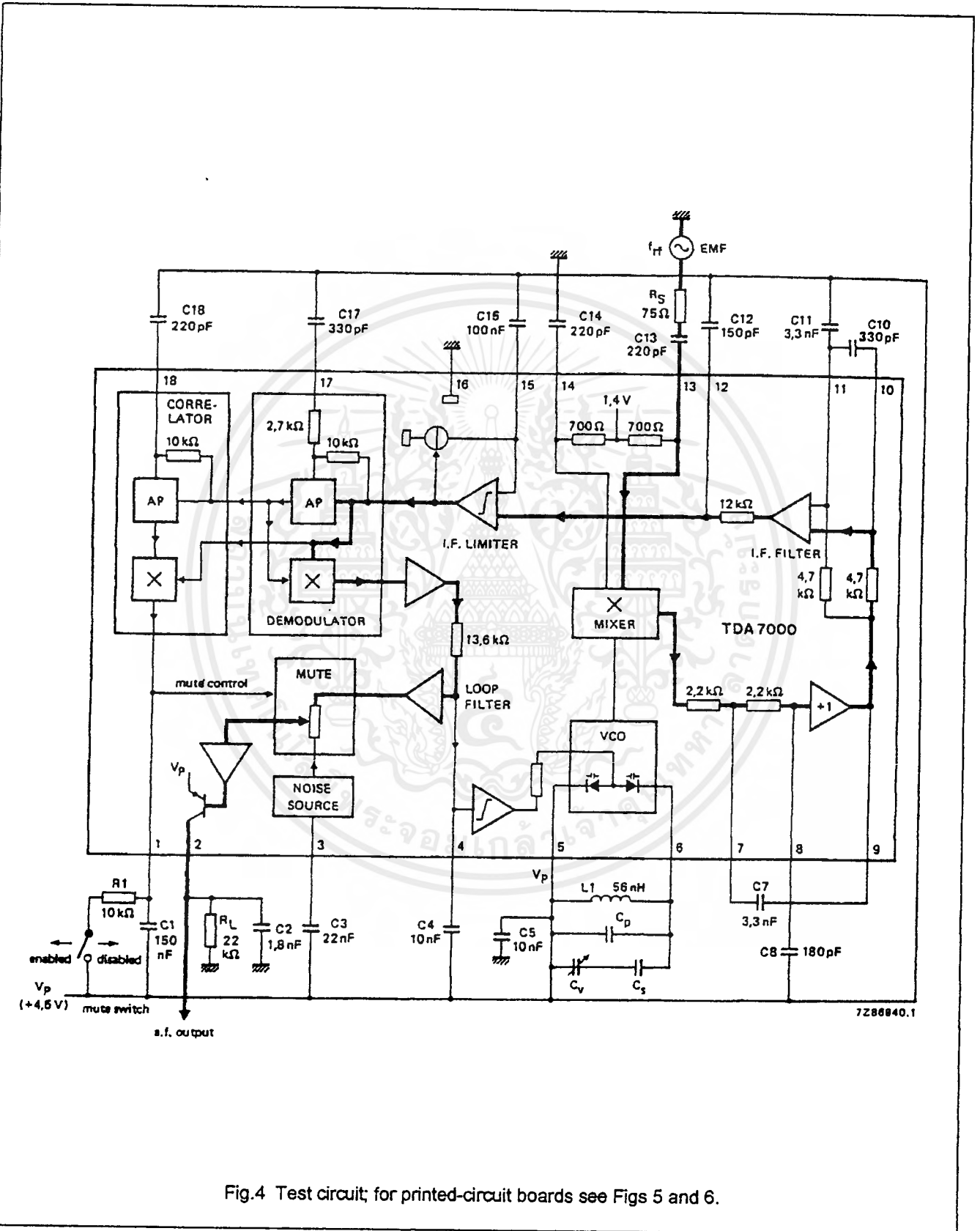


Fig.4 Test circuit; for printed-circuit boards see Figs 5 and 6.

FM radio circuit

TDA7000

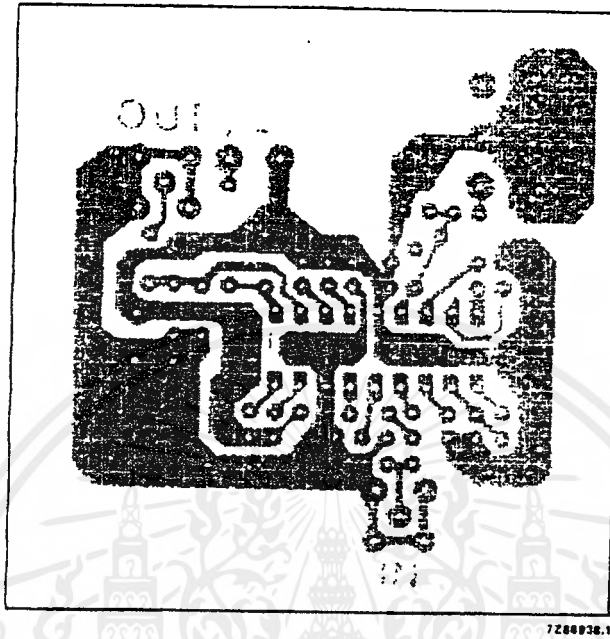


Fig.5 Track side of printed-circuit board used for the circuit of Fig.4.

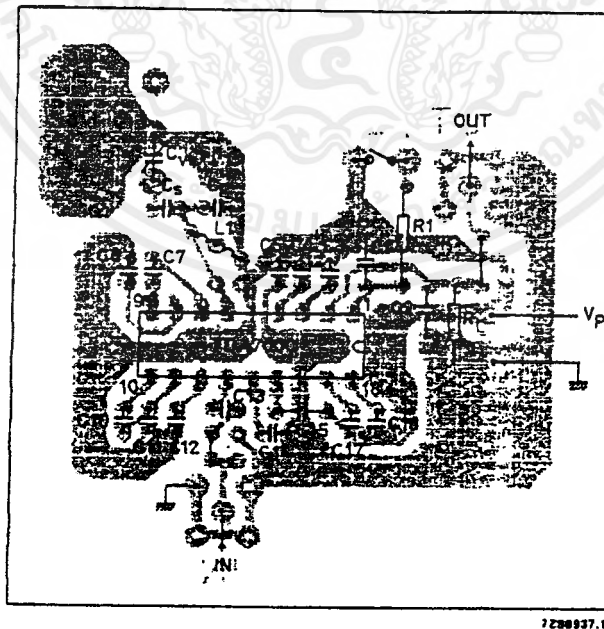


Fig.6 Component side of printed-circuit board showing component layout used for the circuit of Fig.4.

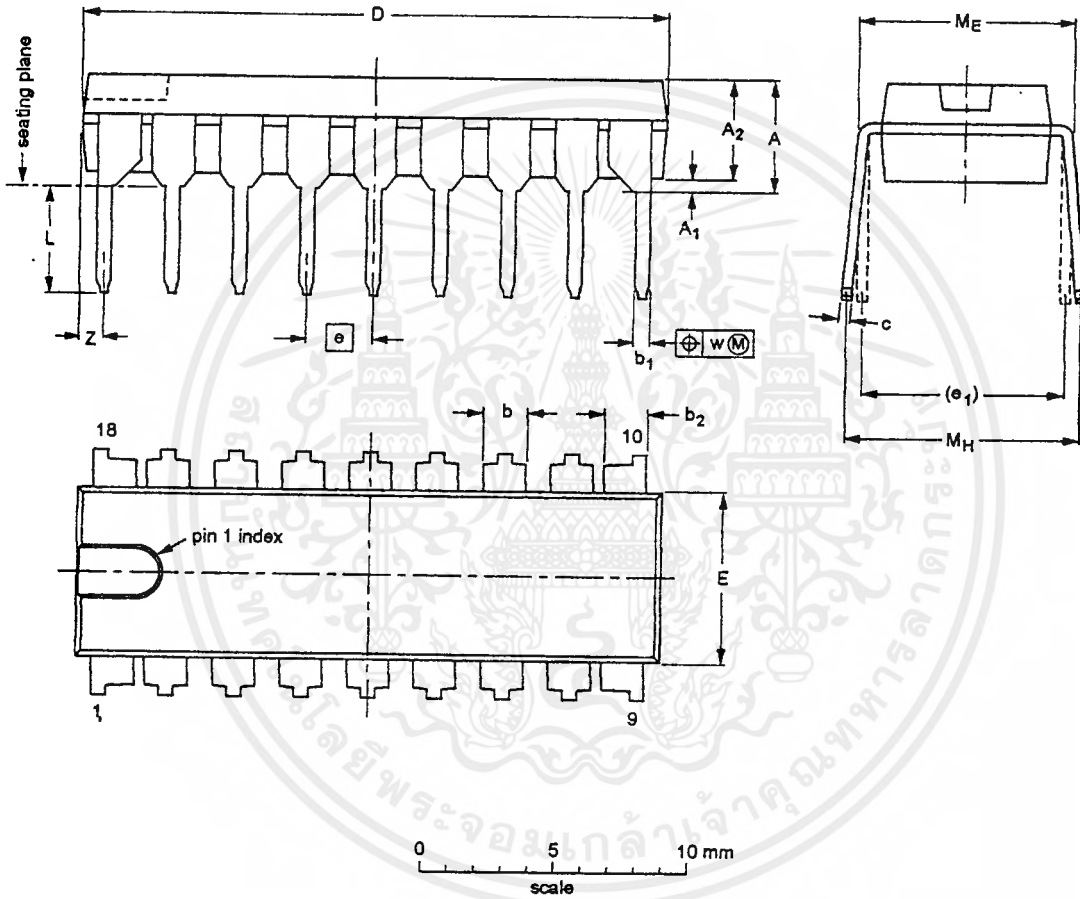
FM radio circuit

TDA7000

PACKAGE OUTLINE

DIP18: plastic dual in-line package; 18 leads (300 mil)

SOT102-1



DIMENSIONS (Inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A ₁ min.	A ₂ max.	b	b ₁	b ₂	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	e ₁	L	M _E	M _H	w	z ⁽¹⁾ max.
mm	4.7	0.51	3.7	1.40 1.14	0.53 0.38	1.40 1.14	0.32 0.23	21.8 21.4	6.48 6.20	2.54	7.62	3.9 3.4	8.25 7.80	9.5 8.3	0.254	0.85
inches	0.19	0.020	0.15	0.055 0.044	0.021 0.015	0.055 0.044	0.013 0.009	0.86 0.84	0.26 0.24	0.10	0.30	0.15 0.13	0.32 0.31	0.37 0.33	0.01	0.033

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT102-1					93-10-14 95-01-23

FM radio circuit

TDA7000

SOLDERING**Introduction**

There is no soldering method that is ideal for all IC packages. Wave soldering is often preferred when through-hole and surface mounted components are mixed on one printed-circuit board. However, wave soldering is not always suitable for surface mounted ICs, or for printed-circuits with high population densities. In these situations reflow soldering is often used.

This text gives a very brief insight to a complex technology. A more in-depth account of soldering ICs can be found in our "IC Package Databook" (order code 9398 652 90011).

Soldering by dipping or by wave

The maximum permissible temperature of the solder is 260 °C; solder at this temperature must not be in contact with the joint for more than 5 seconds. The total contact time of successive solder waves must not exceed 5 seconds.

The device may be mounted up to the seating plane, but the temperature of the plastic body must not exceed the specified maximum storage temperature ($T_{stg\ max}$). If the printed-circuit board has been pre-heated, forced cooling may be necessary immediately after soldering to keep the temperature within the permissible limit.

Repairing soldered joints

Apply a low voltage soldering iron (less than 24 V) to the lead(s) of the package, below the seating plane or not more than 2 mm above it. If the temperature of the soldering iron bit is less than 300 °C it may remain in contact for up to 10 seconds. If the bit temperature is between 300 and 400 °C, contact may be up to 5 seconds.

DEFINITIONS**Data sheet status**

Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.

Limiting values

Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

Application information

Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.

LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

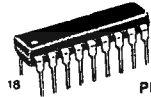
Advance Information

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

MC145412
MC145413
MC145512

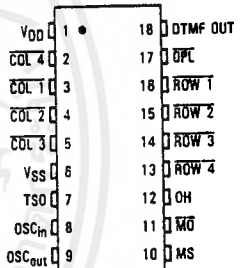


PLASTIC CASE 707

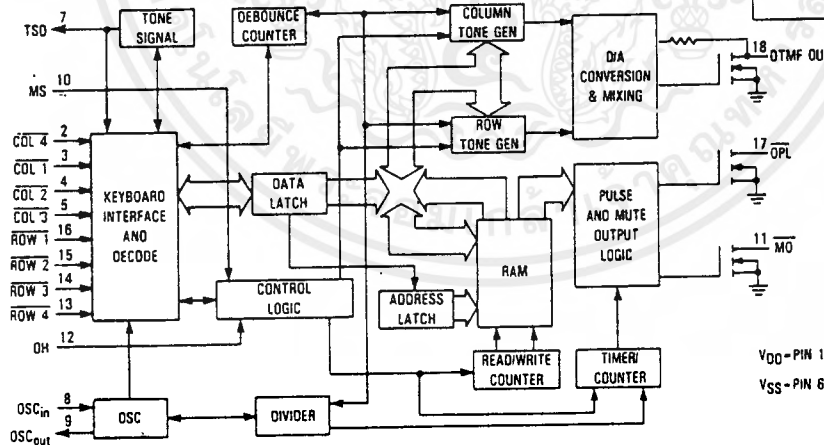
Ordering Information

MC145 X X X X
 P Plastic
 4 40/80 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC145412, MC145413, MC145512

2

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 +80	°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}	V _{in1}	-0.5	V
On Any Pin Relative to V _{DD}	V _{in2}	+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	V _{DD}	2.0	—	5.5	V	
Operating Current	Pulse Mode	2.5	—	5.5	mA	
	DTMF Mode	—	0.25	0.7		
Memory Retention Voltage	Pulse Mode (MS = V _{DD})	—	1.0	2.0	V	
	DTMF Mode (MS = V _{SS})	—	—	—		
Memory Retention Current	V _{stby}	1.7	—	—	μA	
Input Voltage, Row/Column/OH	(V _{DD} = 1.7 V)	I _{stby}	—	1.0	2.0	V
	(V _{DD} = 2.5 V)	—	—	1.2	2.5	
Row/Column Input Impedance	"0" Level	V _{IL}	—	—	0.2 V _{DD}	kΩ
	"1" Level	V _{IH}	0.8 V _{DD}	—	—	
OH Pull-Up Resistance	To V _{DD}	Z _{in}	—	100	—	kΩ
	To V _{SS}	—	—	2	—	
Input Capacitance (All Inputs)	R	—	—	50	—	kΩ
MS Pin Input Impedance	C _{in}	—	—	10	—	pF
Output Sink Current	Z _{in}	50	200	—	—	kΩ
TSO Output Source Current (V _{out} = 2.0 V)	(V _{DD} = 2.5 V) TSO Pin	I _{OL}	0.5	0.7	—	mA
	M _O Pin	—	1.0	2.0	—	
	O _{PL} Pin	—	1.0	2.0	—	
	(V _{DD} = 4.0 V) M _O Pin	—	3.0	—	—	
	O _{PL} Pin	—	4.5	—	—	
	—	—	—	—	—	
Output Leakage Current	I _{OH}	0.5	0.7	—	—	μA
DTMF Output Level Referenced to V _{DD} /2 (V _{DD} = 2.5 to 4.0 V, R _L = 600 Ω to V _{DD})	M _O , O _{PL} Pins	I _{lk}	—	—	1.0	mV RMS
	Row Tone	V _{out}	260	310	370	
DTMF Output Tone Leakage (V _{DD} = 3.5, R _L = 600 Ω, 300 to 4000 Hz)	Column Tone	—	330	390	460	dBm
	—	—	—	—	-80	
DTMF Output Tone Distortion (V _{DD} = 3.5, R _L = 600 Ω, 300 to 4000 Hz)	—	—	—	—	5	%
Pre-Emphasis	—	—	—	—	—	—
DTMF Output Leakage Current While Not Dialing Tones (V _{DD} = 2.5 V)	—	1	2	2.5	—	dB
DTMF Output Sink Current While Dialing Tones	—	—	—	—	1.0	μA
—	—	20	—	—	—	μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWITCHING CHARACTERISTICS (T_A = 25°C, V_{DD} = 2.5 V, Osc. Freq. = 3.579545 MHz, Unless Otherwise Noted)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	
Row/Column Scan Frequency	f	—	250	—	Hz	
Key Debounce Time	t _{DB}	16	—	20	ms	
DTMF Tone Duration for Keyped Dialing	t _{w1}	60	78	—	ms	
DTMF Tone Duration for Memory Dialing	t _{w2}	90	102	110	ms	
Inter-Digit Pause Time	DTMF (Memory Dialing) t _{ID}	90	96	110	ms	
		Pulse 10 pps 20 pps	0.8 0.4	1.0 0.5	1.2 0.6	s
MS Pin Scan Rate	t _{rms}	—	1	—	kHz	
Make/Break Ratio (MS = Open or V _{DD})	MC145412/13 MC145512	MBR	—	40/60 32/68	—	%
		MS = Open MS = V _{DD}	f _{OPL}	—	10 20	—
MUTE Output (M _O) Overlap Time	t _{MO}	—	2	—	ms	
TSO Output Frequency	f _{TSO}	—	500	—	Hz	
TSO Output Duration	t _{TSO}	35	—	40	ms	
DTMF Cycle Time	(Memory Dialing)	—	5	—	tones/s	
	(Keyped Dialing)	—	10	—		
DTMF Frequency Deviation		—	—	+1.0	%	
Predigit Mute	MC145412/13 Pulse 10 pps 20 pps	t _d	—	40 20	—	ms
		MC145512 Pulse 10 pps 20 pps	—	32 16	—	
	DTMF	—	1	—		

PIN DESCRIPTIONS

V_{DD}, V_{SS}—POWER SUPPLY (PIN 1, PIN 6)

DC power is supplied to the part on these two pins, with V_{DD} being the most positive. Permissible ranges are from 1.7 to 5.5 V.

MS—MODE SELECT (PIN 10)

The MS pin is a three state input for switching between DTMF, 10 pps, and 20 pps dialing modes. Mode selection is done during the first key entry debounce period after the dialer has completed a dialing sequence or has just come off hook. When this pin is not scanned it is high impedance.

This pin is a combination input and weak output. The input circuitry has the capability to determine each of these three states. When the pin is open the weak driver will be able to clock the pin at 1 kHz. The relationship between pin input voltage and operating mode is shown in Table 1 below.

Table 1. Mode Select Options

MS	Dialing Mode
V _{DD}	20 pps Pulse Dialing
Open	10 pps Pulse Dialing
V _{SS}	DTMF Dialing

OH-ON-HOOK (PIN 12)

Connecting the OH pin to V_{DD}, or allowing it to float sets the device in the on-hook mode. Connecting this pin to V_{SS} selects the off-hook mode. When in the on-hook mode, repository memory can be programmed without a dialing output.

TSO—TONE SIGNAL OUTPUT (PIN 7)

TSO emits 500 Hz tone signals after valid key inputs are accepted providing audio feedback for key depressions, except when DTMF tones are generated. This pin also outputs a tone during on-hook programming.

DTMF OUT—DUAL TONE MULTIFREQUENCY OUTPUT (PIN 18)

When the MS pin is set to V_{SS} the DTMF OUT pin outputs tones corresponding to the row and column of the key depressed. Simultaneously depressing two or more keys in a single row (or column) will generate the corresponding row (or column) tone on 4 x 4 keypad mode only.

In pulse dialing mode (MS = V_{DD} or float) and during on-hook programming this pin is high impedance. While outputting tones, this pin has a dc bias at (V_{DD} - V_{SS})/2. DTMF OUT is an open drain output requiring an external pull-up to V_{DD}. This pull-up resistor must satisfy the instantaneous current requirements of the internal feedback network in addition to the load applied to the pin.

OPL—OUTPULSING (PIN 17)

This pin outputs pulses at 10 pps (MS is open) or 20 pps (MS = V_{DD}). The MC145412/13 have a make/break ratio of 40/60, while the MC145512 has a make/break ratio of 32/68. In the DTMF dialing mode (MS = V_{SS}), this output is high impedance. During on-hook programming this pin will not outpulse. This pin is an open drain N-channel output which pulls low to break the loop current.

M_O—MUTE OUTPUT (PIN 11)

The Mute Output is an open drain N-channel output that pulls to V_{SS} during OPL outpulsing and during off-hook key depressions and memory dialing in DTMF mode.

KEYBOARD INPUTS—(PINS 2, 3, 4, 5, 13, 14, 15, 16)

The keyboard inputs allow either a single contact (Class A) keyboard, or a standard 2-of-8 or 2-of-7 keyboard with V_{SS} tied to common. A valid key entry occurs when either a single row is tied to a single column, or a single row and column are simultaneously connected to V_{SS} . Connecting pin 2, COL 4, to V_{DD} sets the part to 3 × 4 keyboard mode. Keyboard mode selection is performed during application of power.

Typical keyboard configurations are shown in Figure 1.

OSC_{in}, OSC_{out} (PIN 8, PIN 9)

A 3.579545 MHz crystal is required as the frequency reference for the on-chip oscillator. Crystal biasing is accomplished by an internal resistor and capacitors.

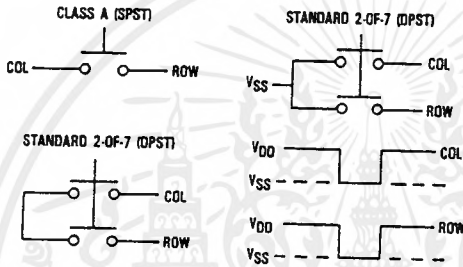


Figure 1. Keyboard Configurations

GENERAL DEVICE DESCRIPTION

The MC145412/MC145512 and the MC145413 provide users with switchable pulse and DTMF dialing functions. The MC145412/MC145512 change dialing modes via the MS pin. The MC145413 allows users to switch dialing modes via the keyboard in addition to the MS pin. All devices have 10 memories, LNR (last number redial) inclusive, each 18 digits long.

On application of power, there is a 64 ms initialization period during which the oscillator is enabled and the keyboard inputs are disabled. During initialization COL 4 is scanned to set the keyboard mode. If the COL 4 input is high (V_{DD}) the dialer is set to the 3 × 4 keypad mode, otherwise the 4 × 4 keypad mode is selected. Changing modes is not possible after this initialization period.

During normal dialing, the oscillator starts when a key is depressed. The key input is debounced for 32 ms. During this debounce period the RAM and dialing circuits are disabled, the mode select pin is scanned to determine the dialing mode

(either 10 pps, 20 pps, or DTMF). After debounce, the keypad entry is checked and the input is latched into LNR memory followed by a stop code. This process continues until 18 digits have been entered. If a 19th digit is entered, it will over-write the first digit and will be followed by a stop code. When dialing, the device fetches data from memory until a stop code is encountered or 18 digits have been dialed.

During manual DTMF dialing, a minimum tone duration of 60 ms DTMF is output and will continuously output in 32 ms increments as long as the key is depressed. The DTMF OUT pin is designed to drive an external PNP transistor which can be used to modulate tip and ring voltage at the DTMF frequencies.

If the first key is for redial or recall, the device will respond accordingly, either redialing the last number entered, or recalling and dialing the number selected by a subsequent key depression. Responses to dialing sequences for 4 × 4 keyboards are shown in Figure 2, and 3 × 4 keyboard responses are shown in Figure 3.

The MC145412 series can be configured with an external battery to provide memory retention power and allow on-hook programming of the repertory memory. If the part is in the on-hook mode and a key is depressed, the oscillator will start and the key entry will be stored in the last number redial memory. Dialing outputs will not be activated while the device is in the on-hook condition. Dialing inputs will be stored in last number redial memory, as during off-hook operation. After the number has been entered in the on-hook mode, it can be stored in repertory memory. For the 4 × 4 keyboard, pressing the STORE key (* for 3 × 4 keyboard), followed by a digit (1 through 9) will store the number in the repertory memory location specified by the digit.

The RECALL key for the 4 × 4 keypad is used to recall and dial numbers stored in the repertory memory. The digit immediately following the RECALL key designates the memory location of the number to be auto-dialed. For the 4 × 4 keyboard, a last number redial can be accomplished if the RED/P key (COL 4, ROW 1) is the first key depressed after an on-hook to off-hook transition. Otherwise the RED/P key will effect a 4 second pause. If the pulse mode is selected, redial can be accomplished if the first key depressed on a transition to off-hook is #. For the 3 × 4 keyboard, redial occurs if the first key depressed is *,0.

The PAUSE key (COL 4, ROW 2) for the MC145412/MC145512 will cause a 4 second pause. The PAUSE/S key (COL 4, ROW 2) is a feature offered on the MC145413. Depressing this key will cause a 4 second delay, and will switch dialing modes. PAUSE (and PAUSE/S) is stored in memory for pauses (and mode switching) during auto-dialing.

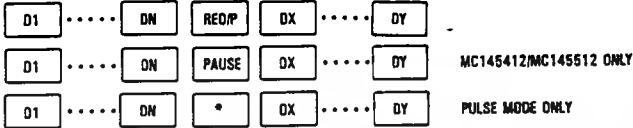
MC145412, MC145413, MC145512

1. MANUAL DIALING-OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)



ALL DIGITS ENTERED WILL BE STORED IN THE LAST NUMBER REDIAL REGISTER. PRESSING * OR # WILL DIAL OUT THE DTMF SIGNAL IN TONE MODE ONLY.

2. MANUAL DIALING WITH AUTO ACCESS PAUSE-OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)



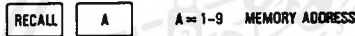
THE AUTO ACCESS PAUSE WILL NOT OCCUR DURING MANUAL DIALING IN DTMF MODE. IT IS RETRIEVED DURING RECALL OR REDIAL.

3. STORING NUMBERS INTO MEMORY-ON-HOOK/OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)

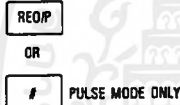


THIS OPERATION TRANSFERS THE DIGITS D1 TO DN FROM THE LAST NUMBER REDIAL REGISTER TO AN ADDRESS SPACE SPECIFIED BY "A". DIALING OUTPUTS ARE NOT ACTIVATED DURING ON-HOOK PROGRAMMING.

4. MEMORY REDIAL-OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)



5. LAST NUMBER REDIAL-OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)

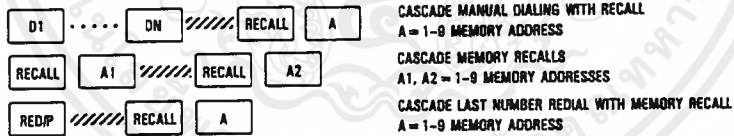


REDIALS THE NUMBER THAT WAS PREVIOUSLY ENTERED INTO THE LAST NUMBER REDIAL REGISTER.

6. PULSE-TO-TONE MODE SWITCH-OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)



7. CASCADDED DIALING-OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)



////// WAIT UNTIL PREVIOUS REDIAL OR RECALL SIGNALS HAVE BEEN SENT BEFORE SUBSEQUENT ENTRIES ARE MADE.

8. SIGNALING * AND # TONES-OFF-HOOK (DTMF MODE ONLY)



4x4 KEY MATRIX

COL 1	COL 2	COL 3	COL 4	
1	2	3	RED/P	ROW 1
4	5	6	PAUSE	ROW 2 MC145413 PAUSE/S KEY FOR PAUSE & SWITCHING DIALING MODES
7	8	9	STORE	ROW 3
*	0	#	RECALL	ROW 4

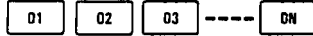
Figure 2. 4x4 Keyboard Dialing Sequences

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC145412, MC145413, MC145512

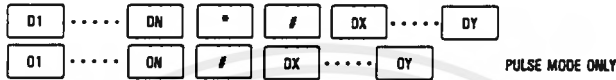
2

1. MANUAL DIALING—OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)



ALL KEY ENTRIES, EXCEPT * AND #, WILL BE STORED IN THE LAST NUMBER REDIAL REGISTER. PRESSING * OR # WILL NOT DIAL OUT THE DTMF SIGNAL IN TONE MODE. FOR SIGNALING, * OR # SHOULD BE PRESSED TWICE.

2. MANUAL DIALING WITH AUTO ACCESS PAUSE—OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)



THE AUTO ACCESS PAUSE WILL NOT OCCUR ON MANUAL DIALING IN DTMF MODE. IT CAN ONLY BE RETRIEVED DURING RECALL OR REDIAL.

3. STORING NUMBERS INTO MEMORY—ON-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)



THIS OPERATION TRANSFERS THE DIGITS D1 TO DN FROM THE LAST NUMBER REDIAL REGISTER TO AN ADDRESS SPACE SPECIFIED BY "A".

4. MEMORY REDIAL—OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)

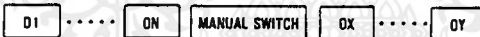


5. LAST NUMBER REDIAL—OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)



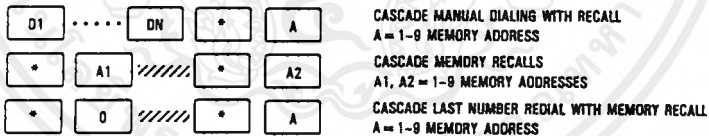
THIS OPERATION REDIALS THE LAST NUMBER ENTERED OFF-HOOK AND RETRIEVES DATA FROM MEMORY ADDRESS 0.

6. PULSE-TO-TONE AND TONE-TO-PULSE SWITCHING—OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)



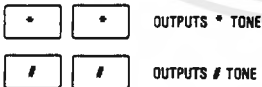
MODE SELECT (MS) PIN HAS TO BE MANUALLY SWITCHED TO DETERMINE THE DIALING MODE. DIALING MODE SELECTION WITH MANUAL SWITCH IS NOT PROGRAMMED INTO THE LAST NUMBER REDIAL MEMORY.

7. CASCADED DIALING—OFF-HOOK (PULSE OR DTMF MODE)



////// WAIT UNTIL PREVIOUS REDIAL OR RECALL SIGNALS HAVE BEEN SENT BEFORE SUBSEQUENT ENTRIES ARE MADE.

8. SIGNALING * AND # TONES—OFF-HOOK (DTMF MODE ONLY)



3 x 4 KEY MATRIX

COL 1	COL 2	COL 3	
1	2	3	ROW 1
4	5	6	ROW 2
7	8	9	ROW 3
*	0	#	ROW 4

Figure 3. 3 x 4 Keyboard Dialing Sequences

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC145412, MC145413, MC145512

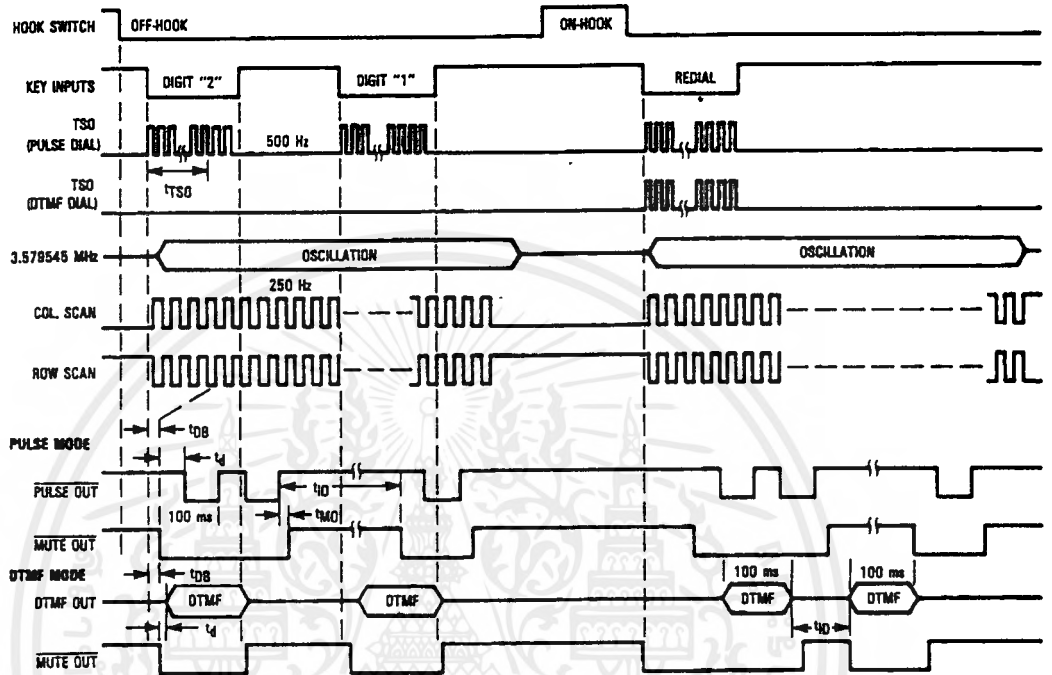


Figure 4. Timing Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ISSUE 4

August 1996

Ordering Information

MT8870DE/DE-1	18 Pin Plastic DIP
MT8870DC/DC-1	18 Pin Ceramic 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.

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

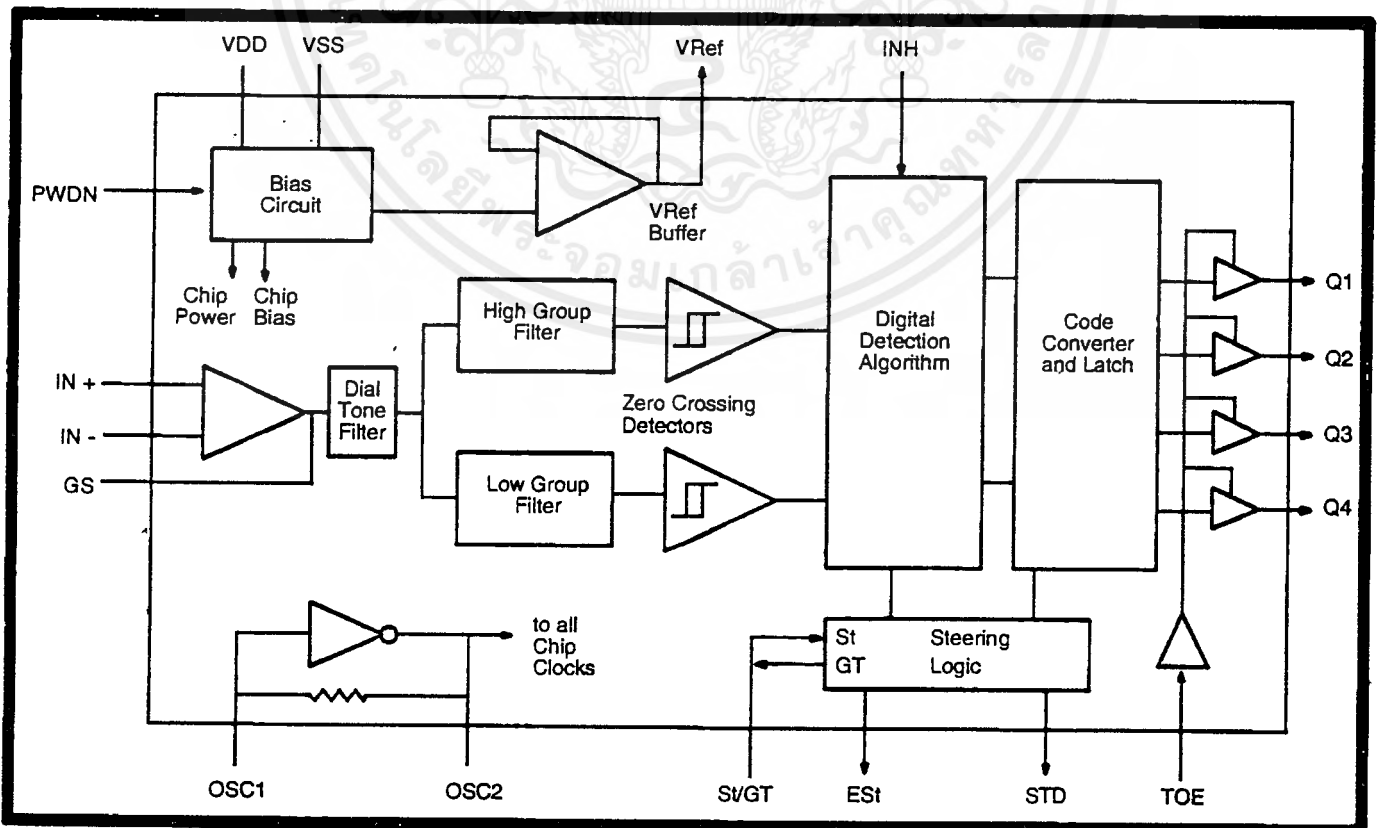


Figure 1 - Functional Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปภายนอก การค้า
 ไม่ควรกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

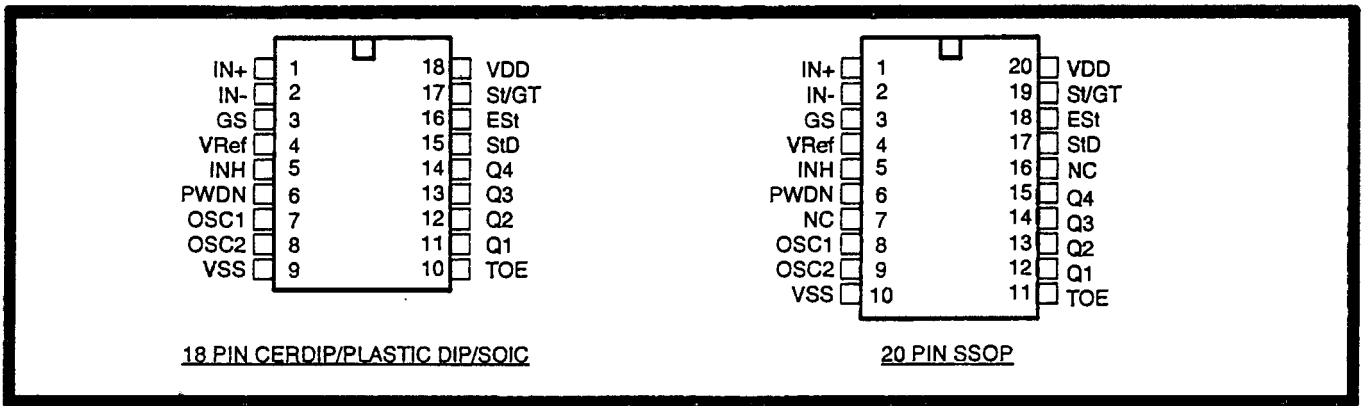


Figure 2 - Pin Connections

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 _{TSI} .
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 _{TSI} detected at St causes the device to register the detected tone pair and update the output latch. A voltage less than V _{TSI} 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.

Functional Description

The MT8870D/MT8870D-1 monolithic DTMF receiver offers small size, low power consumption and high performance. Its architecture consists of a bandsplit filter section, which separates the high and low group tones, followed by a digital counting section which verifies the frequency and duration of the received tones before passing the corresponding code to the output bus.

Filter Section

Separation of the low-group and high group tones is achieved by applying the DTMF signal to the inputs of two sixth-order switched capacitor bandpass filters, the bandwidths of which correspond to the low and high group frequencies. The filter section also incorporates notches at 350 and 440 Hz for exceptional dial tone rejection (see Figure 3). Each filter output is followed by a single order switched capacitor filter section which smooths the signals prior to limiting. Limiting is performed by high-gain comparators which are provided with hysteresis to prevent detection of unwanted low-level signals. The outputs of the comparators provide full rail logic swings at the frequencies of the incoming DTMF signals.

Decoder Section

Following the filter section is a decoder employing digital counting techniques to determine the frequencies of the incoming tones and to verify that they correspond to standard DTMF frequencies. A complex averaging algorithm protects against tone simulation by extraneous signals such as voice while

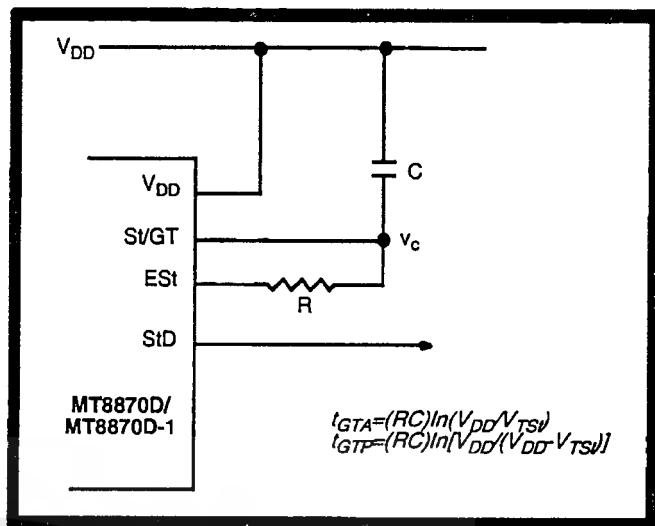


Figure 4 - Basic Steering Circuit

providing tolerance to small frequency deviations and variations. This averaging algorithm has been developed to ensure an optimum combination of immunity to talk-off and tolerance to the presence of interfering frequencies (third tones) and noise. When the detector recognizes the presence of two valid tones (this is referred to as the "signal condition" in some industry specifications) the "Early Steering" (EST) output will go to an active state. Any subsequent loss of signal condition will cause EST to assume an inactive state (see "Steering Circuit").

Steering Circuit

Before registration of a decoded tone pair, the receiver checks for a valid signal duration (referred to as character recognition condition). This check is performed by an external RC time constant driven by EST. A logic high on EST causes v_c (see Figure 4) to rise as the capacitor discharges. Provided signal

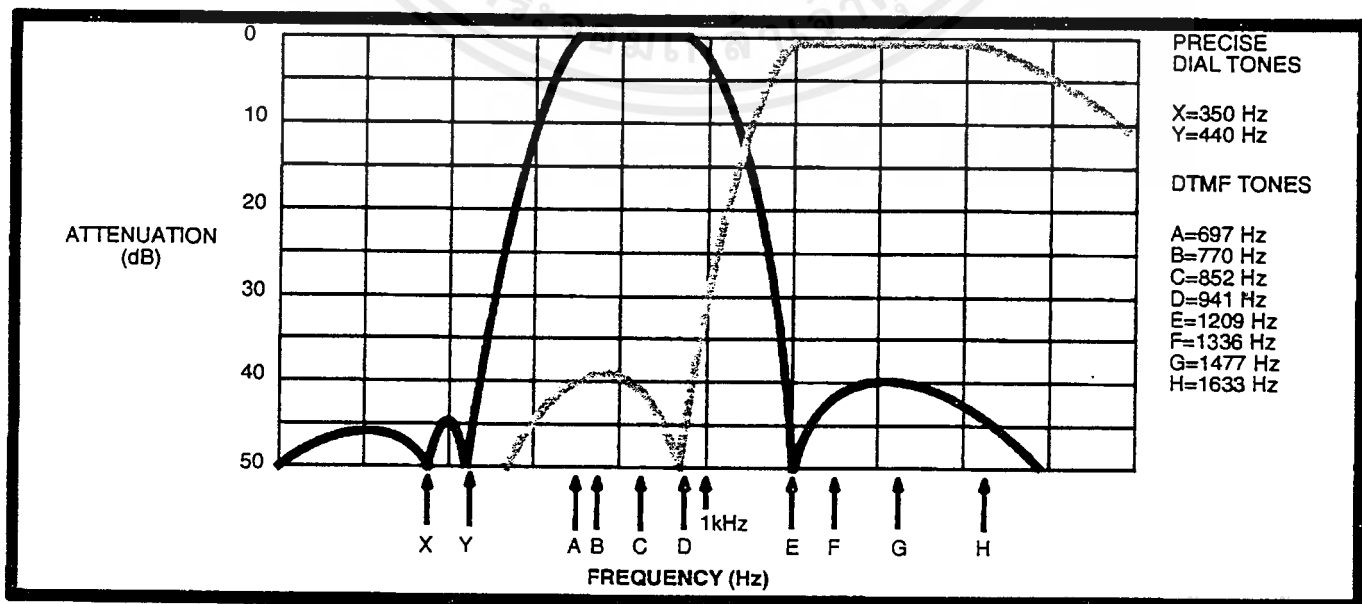


Figure 3 - Filter Response

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ควรแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

condition is maintained (EST remains high) for the validation period (t_{GTP}), v_c reaches the threshold (V_{TS1}) of the steering logic to register the tone pair, latching its corresponding 4-bit code (see Table 1) into the output latch. At this point the GT output is activated and drives v_c to V_{DD} . GT continues to drive high as long as EST remains high. Finally, after a short delay to allow the output latch to settle, the delayed steering output flag (StD) goes high, signalling that a received tone pair has been registered. The contents of the output latch are made available on the 4-bit output bus by raising the three state control input (TOE) to a logic high. The steering circuit works in reverse to validate the interdigit pause between signals. Thus, as well as rejecting signals too short to be considered valid, the receiver will tolerate signal interruptions (dropout) too short to be considered a valid pause. This facility, together with the capability of selecting the steering time constants externally, allows the designer to tailor performance to meet a wide variety of system requirements.

Guard Time Adjustment

In many situations not requiring selection of tone duration and interdigital pause, the simple steering circuit shown in Figure 4 is applicable. Component values are chosen according to the formula:

$$t_{REC} = t_{DP} + t_{GTP}$$

$$t_{ID} = t_{DA} + t_{GTA}$$

The value of t_{DP} is a device parameter (see Figure 11) and t_{REC} is the minimum signal duration to be recognized by the receiver. A value for C of 0.1 μ F is

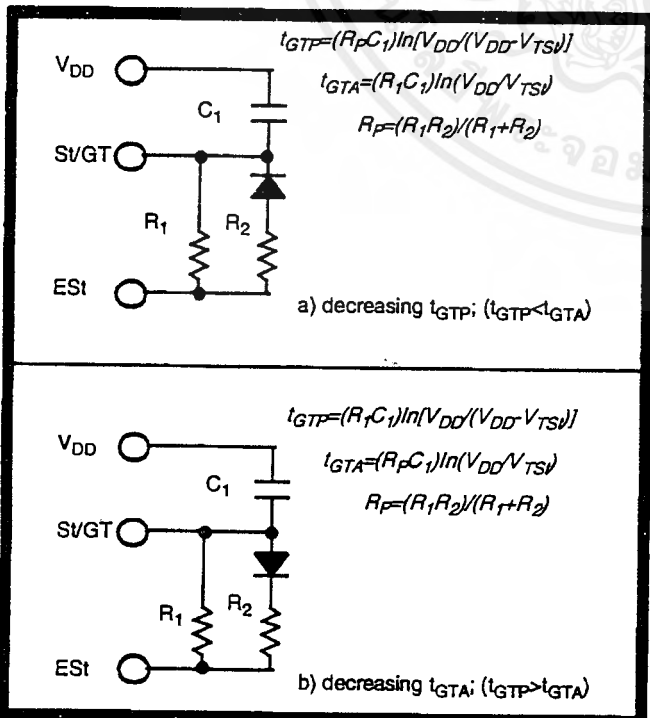


Figure 5 - Guard Time Adjustment

Digit	TOE	INH	ES _t	Q ₄	Q ₃	Q ₂	Q ₁
ANY	L	X	H	Z	Z	Z	Z
1	H	X	H	0	0	0	1
2	H	X	H	0	0	1	0
3	H	X	H	0	0	1	1
4	H	X	H	0	1	0	0
5	H	X	H	0	1	0	1
6	H	X	H	0	1	1	0
7	H	X	H	0	1	1	1
8	H	X	H	1	0	0	0
9	H	X	H	1	0	0	1
0	H	X	H	1	0	1	0
*	H	X	H	1	0	1	1
#	H	X	H	1	1	0	0
A	H	L	H	1	1	0	1
B	H	L	H	1	1	1	0
C	H	L	H	1	1	1	1
D	H	L	H	0	0	0	0
A	H	H	L	undetected, the output code will remain the same as the previous detected code			
B	H	H	L				
C	H	H	L				
D	H	H	L				

Table 1. Functional Decode Table

L=LOGIC LOW, H=LOGIC HIGH, Z=HIGH IMPEDANCE
X = DON'T CARE

recommended for most applications, leaving R to be selected by the designer.

Different steering arrangements may be used to select independently the guard times for tone present (t_{GTP}) and tone absent (t_{GTA}). This may be necessary to meet system specifications which place both accept and reject limits on both tone duration and interdigital pause. Guard time adjustment also allows the designer to tailor system parameters such as talk off and noise immunity. Increasing t_{REC} improves talk-off performance since it reduces the probability that tones simulated by speech will maintain signal condition long enough to be registered. Alternatively, a relatively short t_{REC} with a long t_{DO} would be appropriate for extremely noisy environments where fast acquisition time and immunity to tone drop-outs are required. Design information for guard time adjustment is shown in Figure 5.

Power-down and Inhibit Mode

A logic high applied to pin 6 (PWDN) will power down the device to minimize the power consumption in a standby mode. It stops the oscillator and the functions of the filters.

Inhibit mode is enabled by a logic high input to the pin 5 (INH). It inhibits the detection of tones representing characters A, B, C, and D. The output code will remain the same as the previous detected code (see Table 1).

Differential Input Configuration

The input arrangement of the MT8870D/MT8870D-1 provides a differential-input operational amplifier as well as a bias source (V_{Ref}) which is used to bias the inputs at mid-rail. Provision is made for connection of a feedback resistor to the op-amp output (GS) for adjustment of gain. In a single-ended configuration, the input pins are connected as shown in Figure 10 with the op-amp connected for unity gain and V_{Ref} biasing the input at $1/2V_{DD}$. Figure 6 shows the differential configuration, which permits the adjustment of gain with the feedback resistor R_5 .

Crystal Oscillator

The internal clock circuit is completed with the addition of an external 3.579545 MHz crystal and is normally connected as shown in Figure 10 (Single-Ended Input Configuration). However, it is possible to configure several MT8870D/MT8870D-1 devices employing only a single oscillator crystal. The oscillator output of the first device in the chain is coupled through a 30 pF capacitor to the oscillator input (OSC1) of the next device. Subsequent devices are connected in a similar fashion. Refer to Figure 7 for details. The problems associated with unbalanced loading are not a concern with the arrangement shown, i.e., precision balancing capacitors are not required.

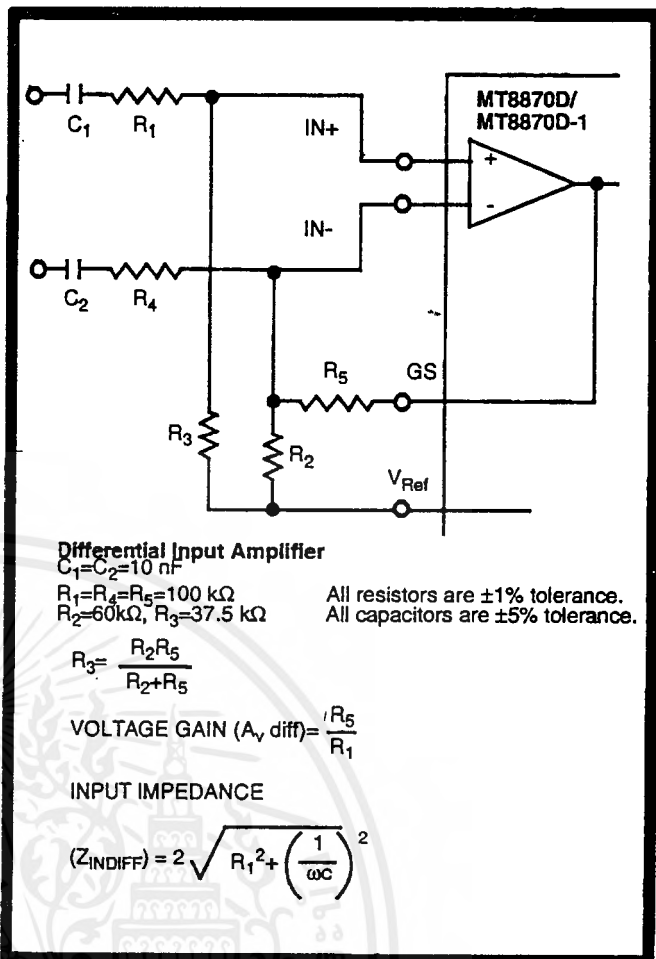


Figure 6 - Differential Input Configuration

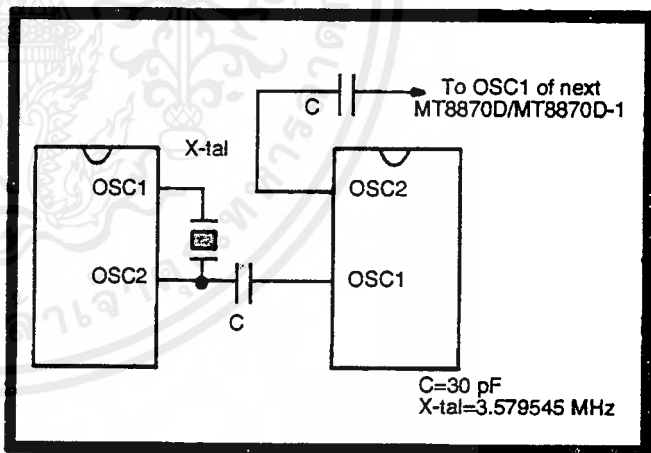


Figure 7 - Oscillator Connection

Parameter	Unit	Resonator
R1	Ohms	10.752
L1	mH	.432
C1	pF	4.984
C0	pF	37.915
Qm	-	896.37
Δf	%	$\pm 0.2\%$

Table 2. Recommended Resonator Specifications

Note: Q_m =quality factor of RLC model, i.e., $1/2\pi fR_1C_1$.

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.

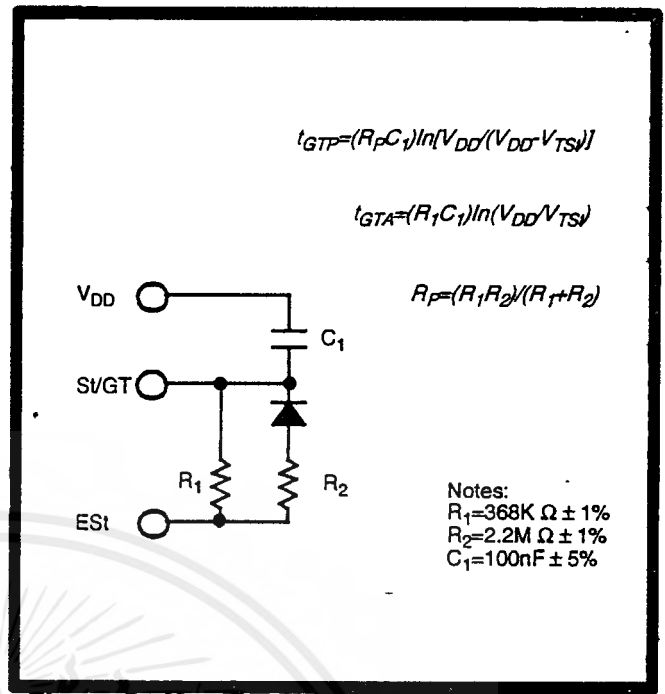


Figure 8 - Non-Symmetric Guard Time Circuit

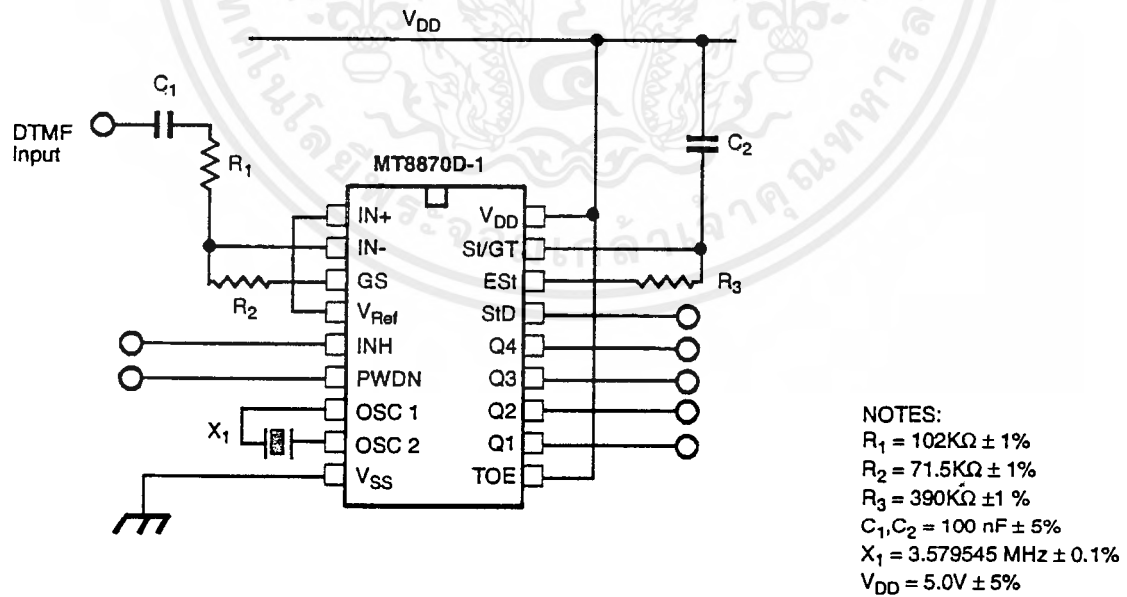


Figure 9 - Single-Ended Input Configuration for BT or CEPT Spec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings[†]

	Parameter	Symbol	Min	Max	Units
1	DC Power Supply Voltage	V _{DD}		7	V
2	Voltage on any pin	V _I	V _{SS} -0.3	V _{DD} +0.3	V
3	Current at any pin (other than supply)	I _I		10	mA
4	Storage temperature	T _{STG}	-65	+150	°C
5	Package power dissipation	P _D		500	mW

[†] Exceeding these values may cause permanent damage. Functional operation under these conditions is not implied. Derate above 75 °C at 16 mW / °C. All leads soldered to board.

Recommended Operating Conditions - Voltages are with respect to ground (V_{SS}) unless otherwise stated.

	Parameter	Sym	Min	Typ [‡]	Max	Units	Test Conditions
1	DC Power Supply Voltage	V _{DD}	4.75	5.0	5.25	V	
2	Operating Temperature	T _O	-40		+85	°C	
3	Crystal/Clock Frequency	f _c		3.579545		MHz	
4	Crystal/Clock Freq. Tolerance	Δf _c		±0.1		%	

[‡] Typical figures are at 25°C and are for design aid only: not guaranteed and not subject to production testing.

DC Electrical Characteristics - V_{DD}=5.0V±5%, V_{SS}=0V, -40°C ≤ T_O ≤ +85°C, unless otherwise stated.

	Characteristics	Sym	Min	Typ [‡]	Max	Units	Test Conditions	
1 2 3	S U P P L Y	Standby supply current	I _{DDQ}	10	25	μA	PWDN=V _{DD}	
		Operating supply current	I _{DD}	3.0	9.0	mA		
		Power consumption	P _O	15		mW	f _c =3.579545 MHz	
4 5 6 7 8 9 10	I N P U T S	High level input	V _{IH}	3.5		V	V _{DD} =5.0V	
		Low level input voltage	V _{IL}		1.5	V	V _{DD} =5.0V	
		Input leakage current	I _{IH} /I _{IL}		0.1	μA	V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	
		Pull up (source) current	I _{SO}	7.5	20	μA	TOE (pin 10)=0, V _{DD} =5.0V	
		Pull down (sink) current	I _{SI}	15	45	μA	INH=5.0V, PWDN=5.0V, V _{DD} =5.0V	
		Input impedance (IN+, IN-)	R _{IN}	10		MΩ	@ 1 kHz	
10	Steering threshold voltage	V _{TSt}	2.2	2.4	2.5	V	V _{DD} = 5.0V	
11 12 13 14 15 16	O U T P U T S	Low level output voltage	V _{OL}		V _{SS} +0.03	V	No load	
		High level output voltage	V _{OH}	V _{DD} -0.03		V	No load	
		Output low (sink) current	I _{OL}	1.0	2.5	mA	V _{OUT} =0.4 V	
		Output high (source) current	I _{OH}	0.4	0.8	mA	V _{OUT} =4.6 V	
		V _{Ref} output voltage	V _{Ref}	2.3	2.5	2.7	V	No load, V _{DD} = 5.0V
		V _{Ref} output resistance	R _{OR}		1		kΩ	

[‡] Typical figures are at 25°C and are for design aid only: not guaranteed and not subject to production testing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operating Characteristics - $V_{DD}=5.0V\pm 5\%$, $V_{SS}=0V$, $-40^{\circ}C \leq T_O \leq +85^{\circ}C$, unless otherwise stated. Gain Setting Amplifier

	Characteristics	Sym	Min	Typ [‡]	Max	Units	Test Conditions
1	Input leakage current	I_{IN}			100	nA	$V_{SS} \leq V_{IN} \leq V_{DD}$
2	Input resistance	R_{IN}	10			M Ω	
3	Input offset voltage	V_{OS}			25	mV	
4	Power supply rejection	PSRR	50			dB	1 kHz
5	Common mode rejection	CMRR	40			dB	$0.75 V \leq V_{IN} \leq 4.25 V$ biased at $V_{Ref}=2.5 V$
6	DC open loop voltage gain	A_{VOL}	32			dB	
7	Unity gain bandwidth	f_C	0.30			MHz	
8	Output voltage swing	V_O	4.0			V_{pp}	Load $\geq 100 k\Omega$ to V_{SS} @ GS
9	Maximum capacitive load (GS)	C_L			100	pF	
10	Resistive load (GS)	R_L			50	k Ω	
11	Common mode range	V_{CM}	2.5			V_{pp}	No Load

MT8870D AC Electrical Characteristics - $V_{DD}=5.0V \pm 5\%$, $V_{SS}=0V$, $-40^{\circ}C \leq T_O \leq +85^{\circ}C$, using Test Circuit shown in Figure 10.

	Characteristics	Sym	Min	Typ [‡]	Max	Units	Notes*
1	Valid input signal levels (each tone of composite signal)		-29		+1	dBm	1,2,3,5,6,9
			27.5		869	mV _{RMS}	1,2,3,5,6,9
2	Negative twist accept				8	dB	2,3,6,9,12
3	Positive twist accept				8	dB	2,3,6,9,12
4	Frequency deviation accept		$\pm 1.5\% \pm 2 Hz$				2,3,5,9
5	Frequency deviation reject		$\pm 3.5\%$				2,3,5,9
6	Third tone tolerance			-16		dB	2,3,4,5,9,10
7	Noise tolerance			-12		dB	2,3,4,5,7,9,10
8	Dial tone tolerance			+22		dB	2,3,4,5,8,9,11

‡ Typical figures are at 25 °C and are for design aid only: not guaranteed and not subject to production testing.

*NOTES

1. dBm= decibels above or below a reference power of 1 mW into a 600 ohm load.
2. Digit sequence consists of all DTMF tones.
3. Tone duration= 40 ms, tone pause= 40 ms.
4. Signal condition consists of nominal DTMF frequencies.
5. Both tones in composite signal have an equal amplitude.
6. Tone pair is deviated by $\pm 1.5\% \pm 2 Hz$.
7. Bandwidth limited (3 kHz) Gaussian noise.
8. The precise dial tone frequencies are (350 Hz and 440 Hz) $\pm 2\%$.
9. For an error rate of better than 1 in 10,000.
10. Referenced to lowest level frequency component in DTMF signal.
11. Referenced to the minimum valid accept level.
12. Guaranteed by design and characterization.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MT8870D-1 AC Electrical Characteristics - $V_{DD}=5.0V\pm 5\%$, $V_{SS}=0V$, $-40^{\circ}C \leq T_O \leq +85^{\circ}C$, using Test Circuit shown in Figure 10.

	Characteristics	Sym	Min	Typ [‡]	Max	Units	Notes*
1	Valid input signal levels (each tone of composite signal)		-31		+1	dBm	Tested at $V_{DD}=5.0V$ 1,2,3,5,6,9
			21.8		869	mV _{RMS}	
2	Input Signal Level Reject		-37			dBm	Tested at $V_{DD}=5.0V$ 1,2,3,5,6,9
			10.9			mV _{RMS}	
3	Negative twist accept				8	dB	2,3,6,9,13
4	Positive twist accept				8	dB	2,3,6,9,13
5	Frequency deviation accept		$\pm 1.5\% \pm 2$ Hz				2,3,5,9
6	Frequency deviation reject		$\pm 3.5\%$				2,3,5,9
7	Third zone tolerance			-18.5		dB	2,3,4,5,9,12
8	Noise tolerance			-12		dB	2,3,4,5,7,9,10
9	Dial tone tolerance			+22		dB	2,3,4,5,8,9,11

‡ Typical figures are at 25 °C and are for design aid only: not guaranteed and not subject to production testing.

***NOTES**

1. dBm= decibels above or below a reference power of 1 mW into a 600 ohm load.
2. Digit sequence consists of all DTMF tones.
3. Tone duration= 40 ms, tone pause= 40 ms.
4. Signal condition consists of nominal DTMF frequencies.
5. Both tones in composite signal have an equal amplitude.
6. Tone pair is deviated by $\pm 1.5\% \pm 2$ Hz.
7. Bandwidth limited (3 kHz) Gaussian noise.
8. The precise dial tone frequencies are (350 Hz and 440 Hz) $\pm 2\%$.
9. For an error rate of better than 1 in 10,000.
10. Referenced to lowest level frequency component in DTMF signal.
11. Referenced to the minimum valid accept level.
12. Referenced to Fig. 10 input DTMF tone level at -25dBm (-28dBm at GS Pin) interference frequency range between 480-3400Hz.
13. Guaranteed by design and characterization.

AC Electrical Characteristics - $V_{DD}=5.0V\pm 5\%$, $V_{SS}=0V$, $-40^{\circ}C \leq T_o \leq +85^{\circ}C$, using Test Circuit shown in Figure 10.

		Characteristics	Sym	Min	Typ [‡]	Max	Units	Conditions
1	T I M I N G	Tone present detect time	t_{DP}	5	11	14	ms	Note 1
2		Tone absent detect time	t_{DA}	0.5	4	8.5	ms	Note 1
3		Tone duration accept	t_{REC}			40	ms	Note 2
4		Tone duration reject	t_{REC}	20			ms	Note 2
5		Interdigit pause accept	t_{ID}			40	ms	Note 2
6		Interdigit pause reject	t_{DO}	20			ms	Note 2
7	O U T P U T S	Propagation delay (St to Q)	t_{PQ}		8	11	μs	TOE= V_{DD}
8		Propagation delay (St to StD)	t_{PSID}		12	16	μs	TOE= V_{DD}
9		Output data set up (Q to StD)	t_{QSID}		3.4		μs	TOE= V_{DD}
10		Propagation delay (TOE to Q ENABLE)	t_{PTE}		50	-	ns	load of 10 k Ω , 50 pF
11		Propagation delay (TOE to Q DISABLE)	t_{PTD}		300		ns	load of 10 k Ω , 50 pF
12	P D W N	Power-up time	t_{PU}		30		ms	Note 3
13		Power-down time	t_{PD}		20		ms	
14	C L O C K	Crystal/clock frequency	f_C	3.5759	3.5795	3.5831	MHz	
15		Clock input rise time	t_{LHCL}			110	ns	Ext. clock
16		Clock input fall time	t_{HLCL}			110	ns	Ext. clock
17		Clock input duty cycle	DC _{CL}	40	50	60	%	Ext. clock
18		Capacitive load (OSC2)	C_{LO}			30	pF	

‡ Typical figures are at 25°C and are for design aid only: not guaranteed and not subject to production testing.

- *NOTES:**
- Used for guard-time calculation purposes only.
 - These, user adjustable parameters, are not device specifications. The adjustable settings of these minimums and maximums are recommendations based upon network requirements.
 - With valid tone present at input, t_{PU} equals time from PDWN going low until EST going high.

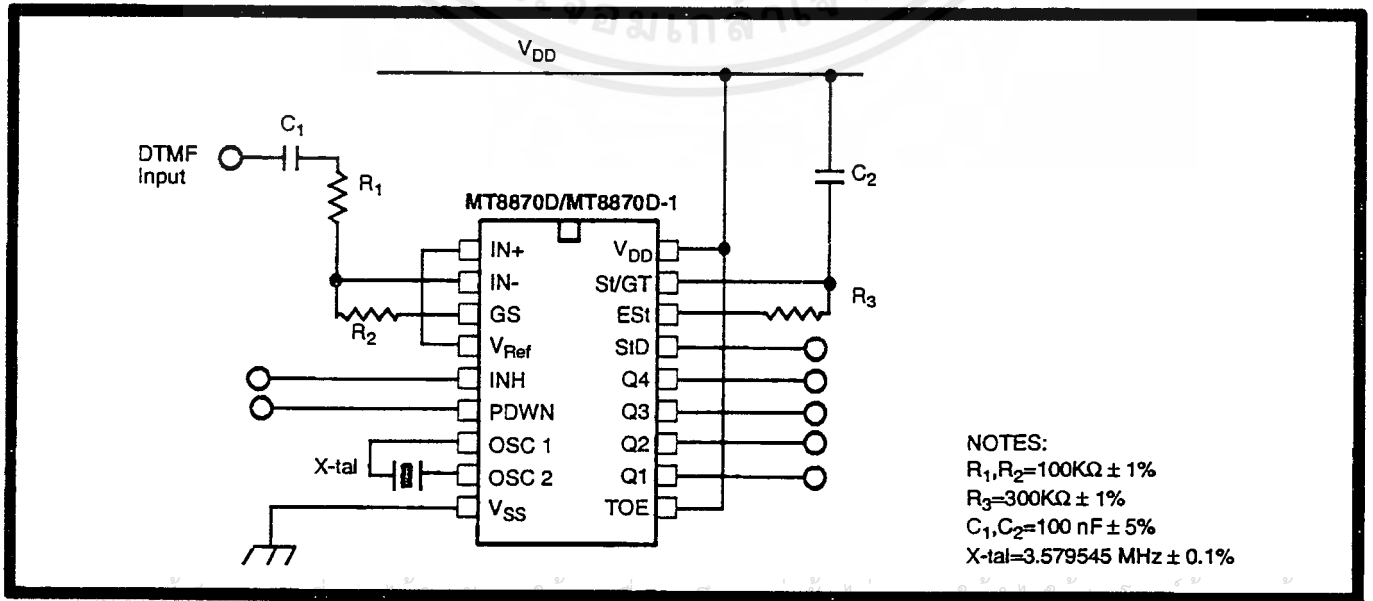
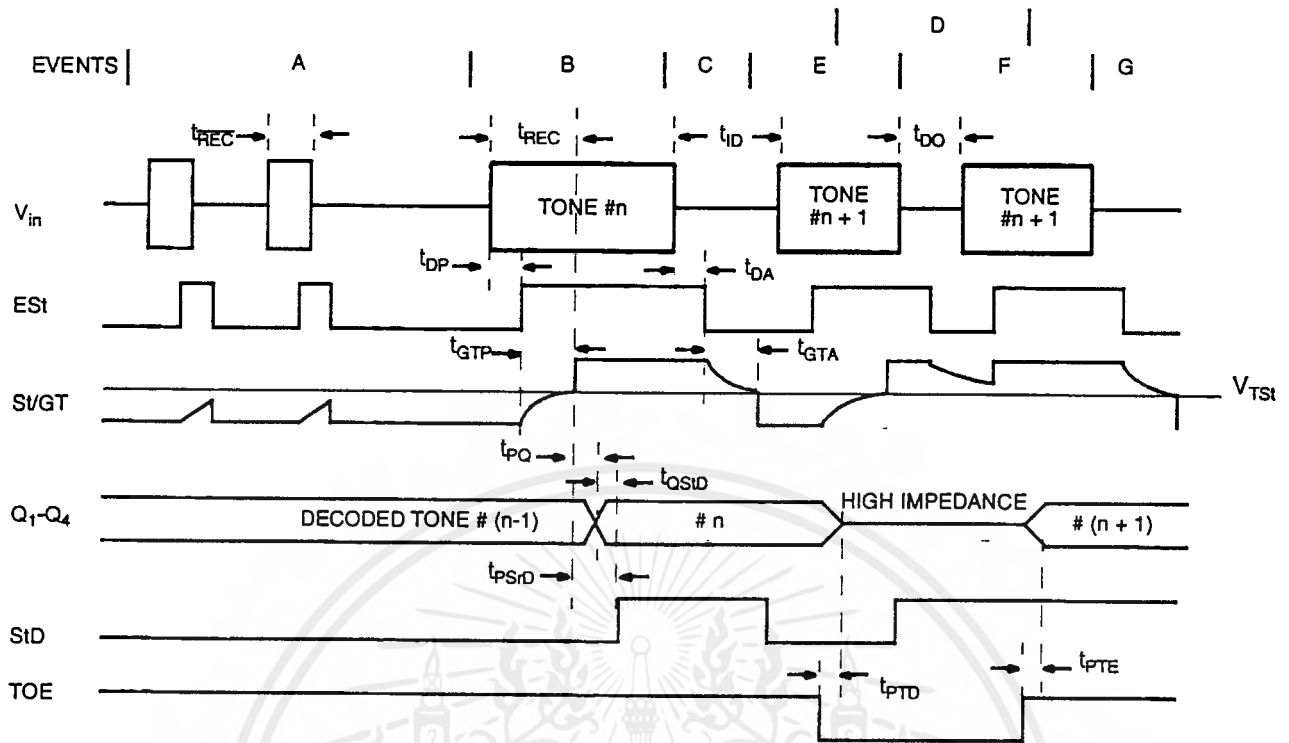


Figure 10 - Single-Ended Input Configuration



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.
- S/VT STEERING INPUT/GUARD TIME OUTPUT. DRIVES EXTERNAL RC TIMING CIRCUIT.
- Q_1-Q_4 4-BIT DECODED TONE OUTPUT.
- SID DELAYED STEERING OUTPUT. INDICATES THAT VALID FREQUENCIES HAVE BEEN PRESENT/ABSENT FOR THE REQUIRED GUARD TIME THUS CONSTITUTING A VALID SIGNAL.
- TOE TONE OUTPUT ENÁBLE (INPUT). A LOW LEVEL SHIFTS Q_1-Q_4 TO ITS HIGH IMPEDANCE STATE.
- t_{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

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานและโครงการนี้คงจะสำเร็จลงไม่ได้หากไม่ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างยิ่งจากบุคคล
หลายๆ ท่าน ตั้งแต่ช่วงการทำโครงการ ตลอดจนการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ปราโมทย์ วาดเขียน อาจารย์ที่ปรึกษา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ณรงค์ เหมกรณ์ และ อาจารย์นิภา สิลารุจิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใน
การใช้เครื่องสเปคตรัมอะนาไลซ์เซอร์ ในการทำโครงการครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณนพรัตน์ สิงห์โตโรจน์ ที่ให้คำปรึกษา

ขอขอบคุณ คุณเสกสรรค์ เสรีขจรจารุ และ คุณจรรยา ทิพนาค ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้
เครื่องคอมพิวเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- [1] ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ, “วิทยุเอฟเอ็ม อินเทอร์เน็ต” : เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ เล่มที่ 128 หน้าที่ 35-43 , มิถุนายน 2536
- [2] บัณฑิต ไรจน์อารยานนท์, “หลักการไฟฟ้าสื่อสาร” กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [3] สุชาติ กังวารจิตต์, “เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร” กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้