

เครื่องทวนสัญญาณวิทยุรับ-ส่งความถี่เดียว
SINGLE FREQUENCY REPEATER

โดย

นางสาวกนิษฐา เตือนดาว รหัส 36014001

นางสาวเขมิกา แสนมหาชัย รหัส 36014052

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....27868

วัน, เดือน, ปี 2.6.ค.ย. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทบริหารการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องทวนสัญญาณวิทยุรับ-ส่งความถี่เดียว

Single Frequency Repeater

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกนิษฐา เตือนดาว 36014001
2. นางสาววิเชมิกา แสนมหาชัย 36014052



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทวนสัญญาณวิทยุรับ - ส่งความถี่เดียว

Single Frequency Repeater

โดย นางสาวกนิษฐา เตือนดาว 36014001

นางสาวเขมิกา แสนมหาชัย 36014052

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์
อ.วิภา แสงพิสิทธิ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้คือสถานีทวนสัญญาณที่ใช้ความถี่เดียว เพื่อใช้ในระบบ VHF / FM ของวิทยุรับ - ส่ง ย่านความถี่ 144 MHz เป็นสถานีตัวกลางที่ช่วยถ่ายทอดสัญญาณให้ระหว่างสถานี 2 สถานีที่ไม่สามารถติดต่อกันได้โดยตรง และสามารถบันทึกข้อมูลให้ทวนสัญญาณซ้ำได้ เพื่อข้อมูลที่ถูกต้องในการติดต่อสื่อสาร เครื่องนี้จะถูกควบคุมการทำงานด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ 8051

ABSTRACT

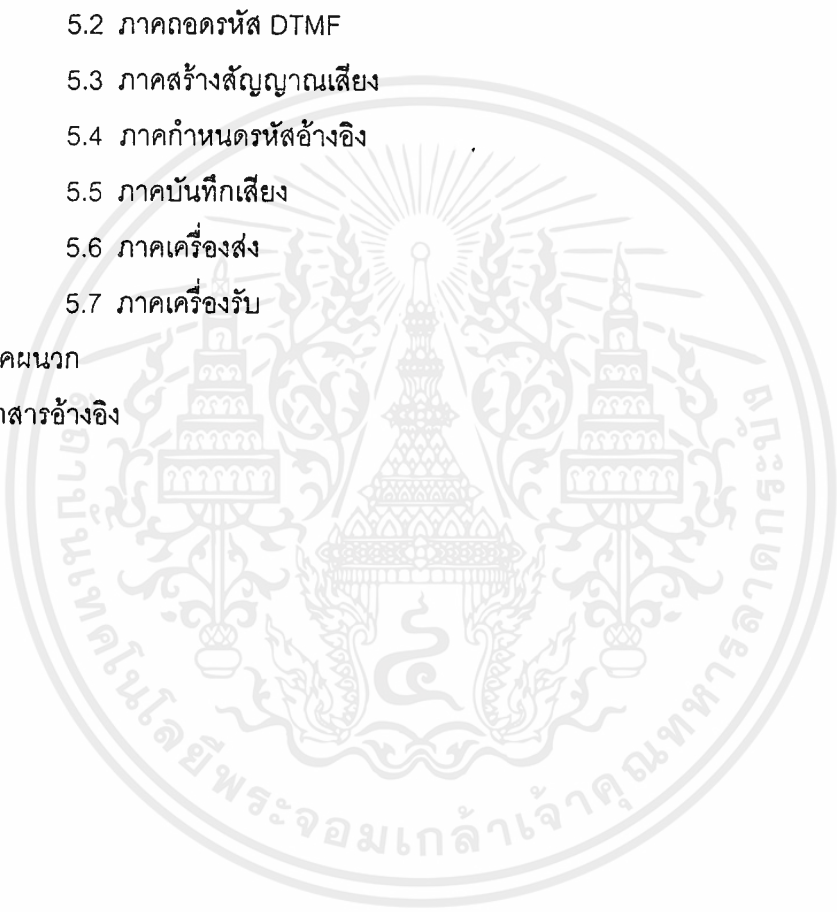
This project presents about a single frequency repeater in VHF / FM system for 144 MHz transceiver . It uses to communicate between two transceivers that can't contact directly by themselves, and it can repeat the messages for correct information in communication. This project uses 8051 as a processor unit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 การทำงานของเครื่องรีพีทเตอร์ที่ใช้ความถี่เดียว	2
2.2 วงจรอะอสเตเบิลล์มัลติไวเบรเตอร์	4
2.3 วงจรถอดรหัส DTMF	6
2.4 ไอซีที่ใช้บันทึกเสียง ISD 1420	11
2.5 มอดูเลตความถี่	13
2.6 เครื่องส่ง FM	14
2.7 เครื่องรับชนิดซูเปอร์เฮต	16
2.8 เครื่องรับ FM	17
2.9 ลิมิเตอร์	18
2.10 การควบคุมความถี่อัตโนมัติ	19
2.11 วงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตติ้ง	20
2.12 วงจรออสซิลเลเตอร์	22
2.13 มอดูเลเตอร์ใช้วาแรกเตอร์	31
2.14 แอมพลิฟายเออร์แบบคลาสซี	32
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	39
3.1 ภาคเข็มนาฬิกา	39
3.2 ภาคถอดรหัส DTMF	39
3.3 ภาคสร้างสัญญาณเสียง (TONE)	40
3.4 ภาคกำหนดรหัสอ้างอิง (CODE REF)	41
3.5 ภาคบันทึกเสียง (REC/PLAY)	43
3.6 ภาคเครื่องส่ง	45
3.7 ภาคเครื่องรับ	52
3.8 การออกแบบวงจรควบคุมไฟ 220 โวลต์	55
3.9 การออกแบบส่วนควบคุม	56
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	59
4.1 ภาคเข็มนาฬิกา	59
4.2 ภาคถอดรหัส DTMF	60
4.3 ภาคสร้างสัญญาณเสียง	61

4.4	ภาคกำหนดรหัสอ้างอิง	62
4.5	ภาคบันทึกเสียง	64
4.6	ภาคเครื่องส่ง	66
4.7	ภาคเครื่องรับ	74
4.8	การทดลองรวมวงจร	76
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง	79
5.1	ภาคเข็มนาฬิกา	79
5.2	ภาคถอดรหัส DTMF	79
5.3	ภาคสร้างสัญญาณเสียง	80
5.4	ภาคกำหนดรหัสอ้างอิง	80
5.5	ภาคบันทึกเสียง	80
5.6	ภาคเครื่องส่ง	80
5.7	ภาคเครื่องรับ	81
ภาคผนวก		
เอกสารอ้างอิง		



บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวความคิด

ในปัจจุบันเครื่องรับส่งวิทยุในระบบ VHF ย่านความถี่ 140 - 150 MHz นับว่าเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมาก เพราะใช้งานง่ายมีความคล่องตัวสูง อีกทั้งราคาไม่แพง และง่ายต่อการบำรุงรักษา จึงเป็นที่นิยมใช้ในหน่วยราชการต่างๆ ทั้งทหาร ตำรวจและหน่วยงานของรัฐ ตลอดจนหน่วยงานของเอกชนบางแห่ง

โดยทั่วไปคลื่นวิทยุความถี่ย่าน VHF นี้ คลื่นสัญญาณจะวิ่งเป็นเส้นตรง หรือที่เรียกว่า คลื่นวิทยุแบบ Line of sight ถ้ามีสิ่งกีดขวางทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นวิทยุจะทำให้คลื่นวิทยุเกิดการบ่ายเบนและจางหายไปมากที่สุด ดังนั้นระยะทางหรือรัศมีการติดต่อของวิทยุรับส่ง VHF / FM นี้ จึงถูกจำกัดให้ขึ้นอยู่กับระยะทาง , ภูมิประเทศ, ความสูงของสายอากาศ , กำลังของเครื่องส่ง หรือ ความไวของเครื่องรับ เมื่อพิจารณาจะเห็นว่าการติดต่อทางคลื่นวิทยุระหว่างเครื่องรับส่งประเภทมือถือหรือติดรถยนต์ จะถูกจำกัดระยะทางลงมา เนื่องจากความสูงของสายอากาศน้อยมาก และโดยเฉพาะเครื่องมือถือซึ่งเป็นเครื่องขนาดเล็กมีกำลังส่งต่ำ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพในการติดต่อกันให้สูงขึ้น

และสำหรับโครงการนี้จะใช้ระบบสถานีทวนสัญญาณที่ใช้ความถี่เดียว ทำให้ใช้สายอากาศเพียงต้นเดียวและใช้ความถี่เดียวในการติดต่อ ทำให้ประหยัดความถี่ไปได้หนึ่งความถี่ จะได้มีช่องเหลือไว้ใช้งานได้มากขึ้นและยังสะดวกต่อการติดตั้ง เพราะจะไม่เกิดการรบกวนเหมือนระบบ repeater ที่ใช้สองความถี่

ระบบสถานีทวนสัญญาณโดยทั่วไปก็คือสถานีตัวกลางที่ช่วยถ่ายทอดสัญญาณให้ระหว่างสถานีสองสถานีที่ไม่สามารถติดต่อกันได้โดยตรง ซึ่งโดยมากจะเป็นระบบอัตโนมัติ เช่น คู่สถานีที่ใช้เครื่องรับส่งแบบมือถือหรือแบบติดรถยนต์ สามารถเพิ่มขีดความสามารถในการติดต่อโดยใช้ repeater เป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. สร้างขึ้นเพื่อให้ติดต่อสัญญาณได้ไกลขึ้นเมื่อไม่สามารถรับถึงกันโดยตรงได้
2. ประหยัดช่องสัญญาณความถี่ใช้งานไปหนึ่งช่องเพราะระบบรีพีตเตอร์นี้ใช้ความถี่เดียว
3. สะดวกต่อการติดตั้งในที่สูง เพราะเราใช้เครื่องส่งเพียงเครื่องเดียวและใช้สายอากาศเพียงอันเดียว

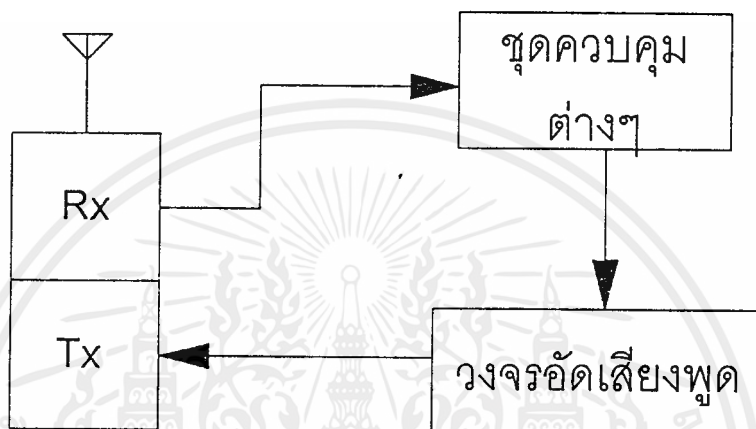
1.3 ขอบเขตและคุณสมบัติของโครงการ

1. ควบคุมการทำงานของระบบด้วย Microprocessor 8051
2. สามารถบันทึกข้อมูลให้ทวนสัญญาณซ้ำได้
3. ปิด - เปิด ระบบรีพีตเตอร์ด้วยรหัส DTMF ของวิทยุมือถือ
4. รหัส ปิด - เปิด ของระบบรีพีตเตอร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้
5. การบันทึกสัญญาณเสียงพูดจะใช้ไอซีสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การทำงานของเครื่องรีพีทเตอร์ที่ใช้ความถี่เดียว

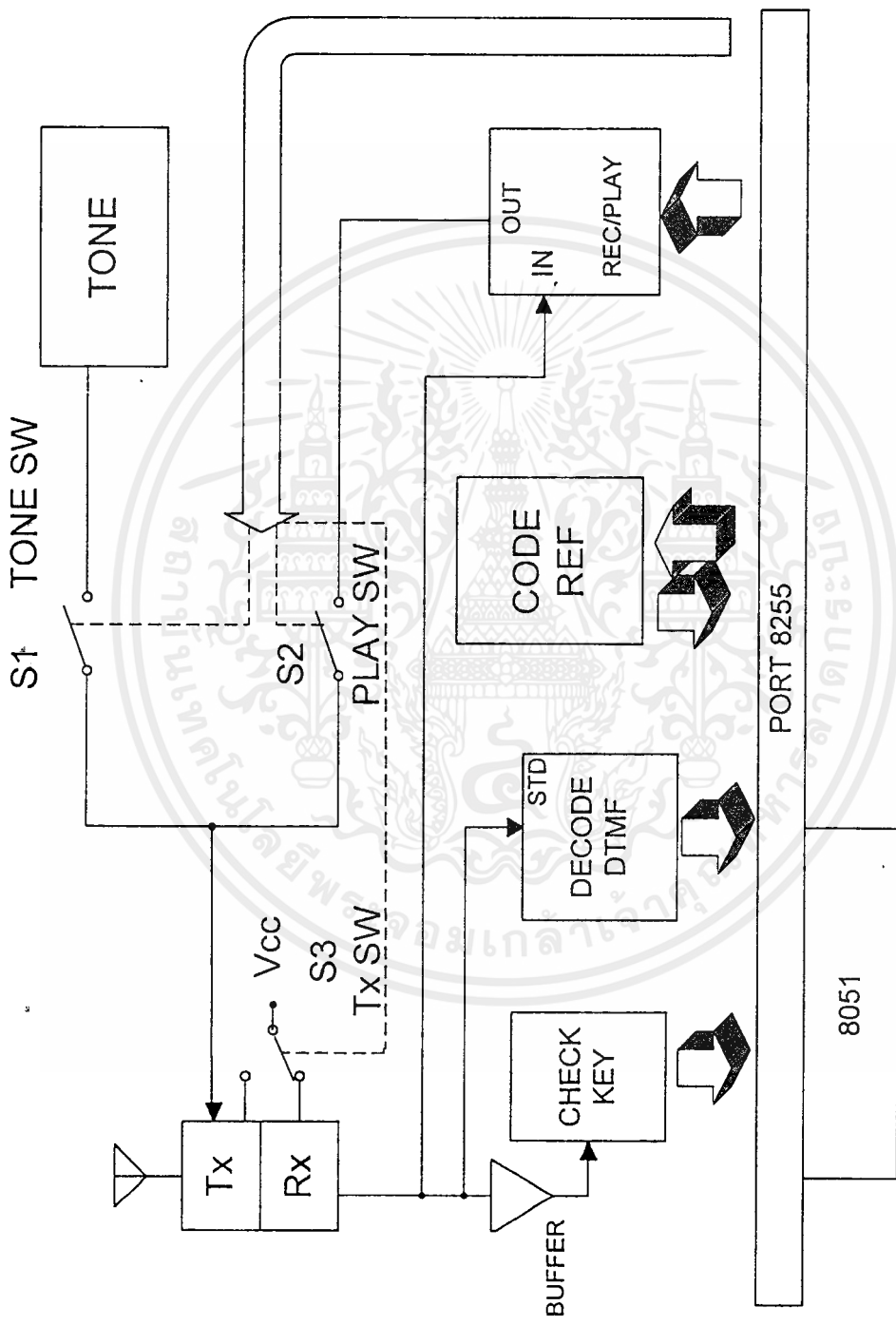


รูปที่ 2.1 การทำงานเบื้องต้นของเครื่องรีพีทเตอร์ที่ใช้ความถี่เดียว

จากรูปที่ 2.1 เป็นการทำงานเบื้องต้นของเครื่องรีพีทเตอร์ที่ใช้ความถี่เดียว ซึ่งจะใช้เครื่องรับเครื่องส่งตัวเดียวกัน

กรณีที่มีสัญญาณเข้ามาที่เครื่องรับ - ส่ง สัญญาณเสียงที่ได้ก็จะไปควบคุมชุดต่างๆให้ทำงานและทำการอัดเสียงลงในวงจรอัดเสียงพูด จากนั้นก็ทำการส่งเสียงพูดที่อัดไว้ ออกอากาศไปโดยใช้เครื่องรับ - ส่งตัวเดิม และจะส่งออกความถี่เดิมด้วย นอกจากนั้นแล้วยังมีการทวนข้อความซ้ำๆแบบเดิมได้ ขึ้นอยู่กับว่าจะให้ทวนซ้ำกี่ครั้ง

บล็อกไดอะแกรมของเครื่อง Single Frequency Repeater ได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของเครื่อง Single Frequency Repeater

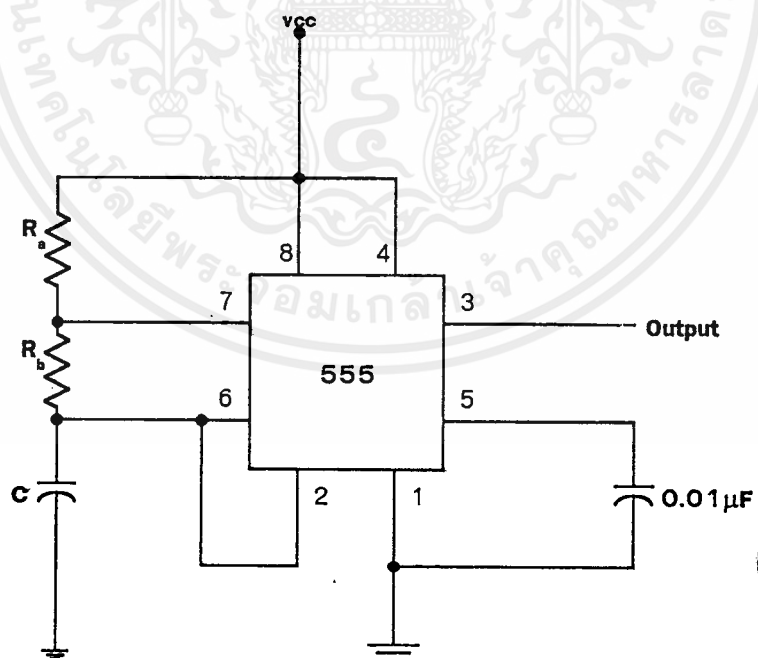
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายหน้าที่ของแต่ละบล็อก ดังนี้

- Rx และ Tx - เป็นเครื่องรับส่งวิทยุมือถือทั่วไปที่ใช้กันในย่านสมัครเล่นโดยใช้ช่อง MIC และ SP ของเครื่องเป็นทางติดต่อควบคุมเครื่องส่งและรับ
- CHECK KEY - ตรวจสอบการกดคีย์และปล่อยคีย์ของลูกข่าย
- DTMF - ให้เป็นตัว DECODE สัญญาณโทรศัพท์ให้ออกมาเป็นโลจิกรหัส BCD ใช้ร่วมการอ้างอิงปิดเปิดของเครื่องรีพีทีเตอร์
- TONE - สร้างสัญญาณเสียง TONE ใช้บอกการปิดเปิดระบบของเครื่องรีพีทีเตอร์
- CODE REF - เป็นตัวตั้งรหัสปิดเปิดเครื่องของระบบรีพีทีเตอร์ความถี่เดียว
- REC / PLAY - เป็นชุดบันทึกและเล่นกลับสัญญาณเสียง
- PORT - ใช้เป็นตัวต่อสัญญาณควบคุมโดยส่งออกทางพอร์ทของ 8255 ที่ได้จาก CPU
- POWER SUPPLY - แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง

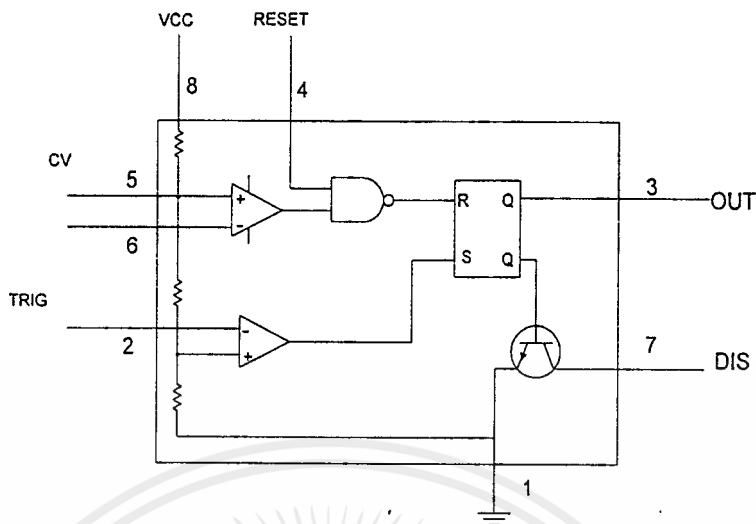
2.2 วงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Astable multivibrator)

วงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์หรือวงจร square - wave clock จะประกอบขึ้นมาจากไทม์เมอร์เบอร์ 555 ดังแสดงในวงจรรูปที่ 2.3 ซึ่งลักษณะภายในของไอซี 555 จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 แสดงวงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งประกอบขึ้นจากไอซีเบอร์ 555

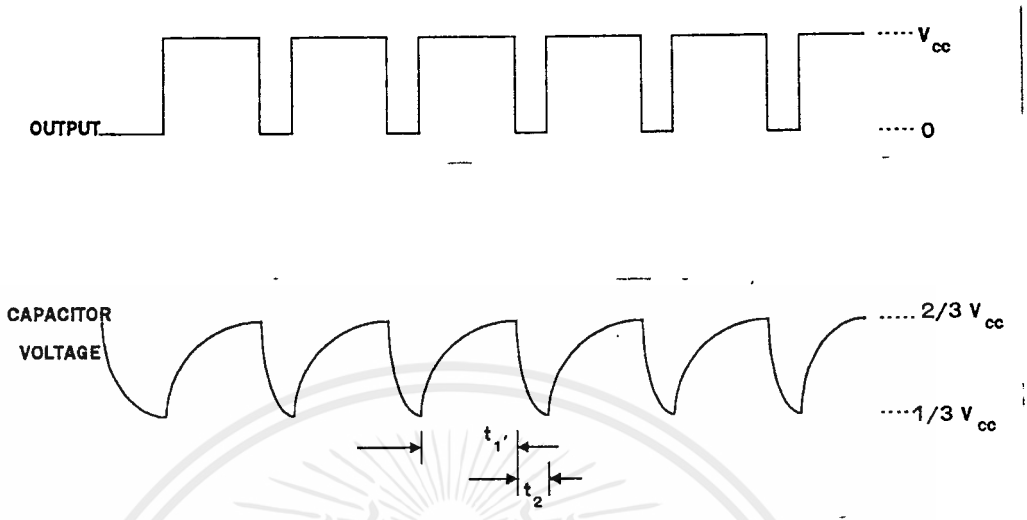
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงแผนผังส่วนต่างๆ ของไทม์เมอร์ไอซีเบอร์ 555 อย่างง่าย ๆ

การทำงานของวงจรสแตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์

จากรูปที่ 2.3 ตัวต้านทาน R_1 และ R_2 ทำหน้าที่เป็น timing register เมื่อวงจรได้รับแรงดันไบอัสจากแหล่งจ่ายกำลัง ตัวเก็บประจุ C จะทำหน้าที่เป็น timing capacitor เมื่อต่อวงจรตามรูป เปิดเครื่องครั้งแรก จะมีกระแสไหลผ่าน R_1, R_2 เข้าซาร์จประจุที่คาปาซิเตอร์ไทม์เมอร์ที่ต่อไว้กับขา 2 ตอนนี้อคาปาซิเตอร์ยังไม่มีประจุจึงเริ่มซาร์จประจุจาก 0 โวลต์ขึ้นมา สถานะนี้มีผลทำให้วงจรถูกกระตุ้นจ่ายกระแสออกทางเอาต์พุตขา 3 ทันที และตอนนี้ทรานซิสเตอร์ดิสซาร์จที่ขา 7 จะถูกออฟ (off) ไว้ คาปาซิเตอร์ไทม์เมอร์จึงซาร์จประจุไปเรื่อยๆ จนถึงค่า 2 ใน 3 ของแหล่งจ่าย จึงเข้าสู่สถานะเทรชโฮลด์ เอาต์พุตตกลงมาเป็น 0 ตอนนีฟลิปฟลอปซึ่งจะมีเอาต์พุตตรงกันข้ามกับขา 3 จะเริ่มทำการต่อเอาขา 7 ของไอซีลงกราวด์ คาปาซิเตอร์ไทม์เมอร์จึงดิสซาร์จแรงดันที่ซาร์จไว้ 2 ใน 3 ผ่าน R_2 ลงกราวด์ เมื่อคาปาซิเตอร์ดังกล่าวดิสซาร์จหรือคายประจุไฟฟ้าลดต่ำลงมาถึงค่า 1 ใน 3 ของแหล่งจ่าย จะทำให้วงจรทริกเกอร์รับรู้สถานะของการกระตุ้นวงจร มีการกระตุ้นวงจรออกไปยังฟลิปฟลอป และส่งจ่ายกระแสออกทางเอาต์พุตอีกครั้ง ระบบดิสซาร์จสิ้นสุดลง ทำให้คาปาซิเตอร์ไปเมอริซาร์จประจุจาก 1 ใน 3 จนกระทั่งได้โวลต์ถึง 2 ใน 3 ของแหล่งจ่าย เทรชโฮลด์รับรู้การทำงานจะตัดกระแสเอาต์พุตออก และขา 7 ทำการดิสซาร์จคาปาซิเตอร์อีกครั้ง วงเวียนอยู่อย่างนี้ตลอดเวลา ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบแรงดันที่เอาต์พุตกับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C

ตัวเก็บประจุ C จะทำการประจุและคายประจุสลับกันไปอย่างสม่ำเสมอ ทำให้แรงดันตกคร่อมตัว C มีค่าระหว่าง V_{cc} และ V_{cc} ตามลำดับ ศักย์ค่าที่เอาต์พุตของวงจรจะมีค่าสูงในขณะที่ตัว C ทำการเก็บประจุ ซึ่งถ้าให้ t_1 คือช่วงเวลาที่มีเอาต์พุตมีศักย์ค่าสูงดังนั้น

$$t_1 = (R_a + R_b) C \cdot \log_e [(V_{cc} - 2/3 V_{cc}) / (V_{cc} - 1/3 V_{cc})]$$

หรือ $t_1 = 0.693 (R_a + R_b) C$ วินาที (2.1)

และศักย์ค่าที่เอาต์พุตจะมีค่าต่ำในขณะที่ตัว C ทำการคายประจุ ซึ่งถ้าให้ t_2 คือช่วงเวลาที่มีเอาต์พุตมีศักย์ค่าต่ำ ดังนั้น $t_2 = 0.693 R_b C$ วินาที

2.3 วงจรถอดรหัส DTMF

DTMF ย่อมาจาก Dual Tone Multiplex Frequency นั่นคือการส่งรหัสโดยแทนด้วยความถี่ 2 ความถี่ มัลติเพล็กซ์กัน ตัวอย่างของ DTMF ได้แก่ แป้นกดของโทรศัพท์ที่เราพบเห็นโดยทั่วไป แป้นกดจะมี 12 แป้น โดยในแต่ละแถวแนวนอน แถวตั้งจะมีความถี่ประจำแถว ดังรูปที่ 2.6

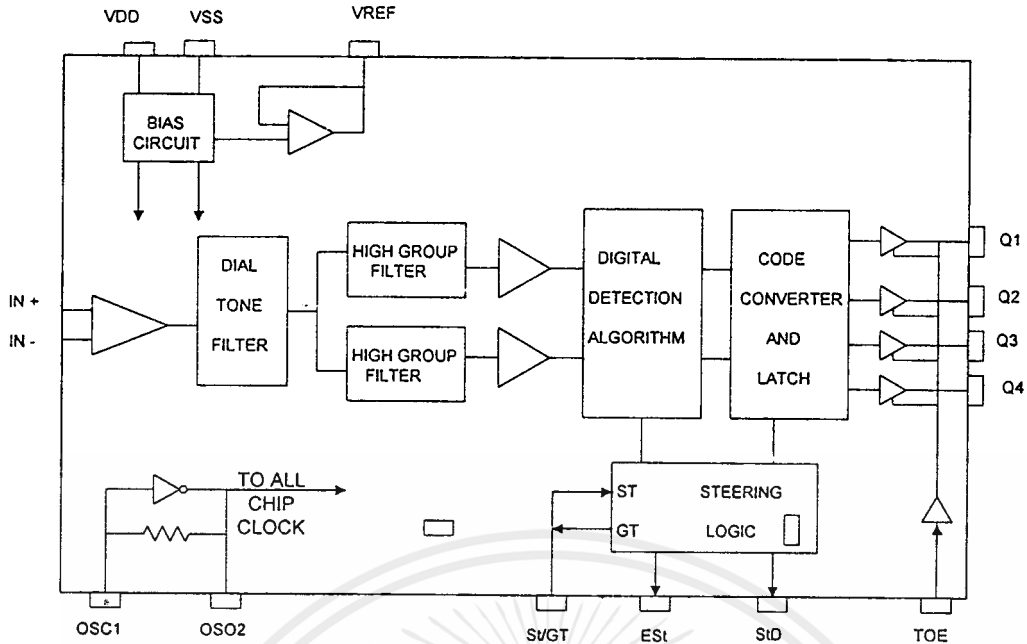
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1209	1336	1447(เฮิร်ซ)
697	1	2	3
770	4	5	6
852	7	8	9
941	*	0	#
(เฮิร်ซ)			

รูปที่ 2.6 แสดงค่าความถี่ประจำหมายเลข

เมื่อกดปุ่มหมายเลขใดหมายเลขหนึ่งจะประกอบไปด้วยโทนเสียง 2 ความถี่ด้วยกัน ซึ่งแต่ละหมายเลขจะให้ค่าความถี่คู่ต่าง ๆ กัน ตัวอย่างเช่น เมื่อกดปุ่มเลข 5 สัญญาณที่ส่งออกไปจะประกอบด้วยความถี่ 770 Hz และ 1336 Hz เป็นต้น

ส่วนในการถอดรหัสของสัญญาณ DTMF ดังกล่าวนั้นก็คือการนำความถี่ของ 2 สัญญาณที่เข้ามาแปลงกลับให้เป็นตัวเลขดั้งเดิม ในปัจจุบันมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่โดยเฉพาะคือไอซีเบอร์ MT8870 ของบริษัท INTEL ซึ่งจะทำหน้าที่รับสัญญาณ DTMF มาแปลงให้เป็นค่าตัวเลขฐานสองขนาด 4 บิต แสดงโครงสร้างภายในของ MT8870 ดังรูป 2.7 ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรกรองความถี่และวงจรถอดรหัสทางดิจิทัล ในส่วนของวงจรกรองความถี่ใช้เพื่อแยกความถี่ 2 ความถี่ที่มีลติเพิล็กซ์กันมา ส่วนวงจรถอดรหัสใช้เทคนิคการนับทางดิจิทัลเพื่อตรวจจับและถอดรหัสทั้ง 16 ความถี่ออกเป็นเลขฐานสองขนาด 4 บิต และตรวจสอบช่วงเวลาที่สัญญาณเข้ามา ส่วนภาคอินพุตเป็นออปแอมป์ที่สามารถปรับอัตราขยายได้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างภายในของ MT8870

ฟังก์ชันการทำงานภายใน MT8870 ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วน ดังนี้

2.3.1 ภาคกรองความถี่ (filter section)

ส่วนนี้จะแยกสัญญาณ DTMF ที่เข้ามาออกเป็น 2 กลุ่มความถี่คือช่วงความถี่สูง และ ความถี่ต่ำ โดยใช้วงจรกรองแถบความถี่อันดับ 6 ชนิดสวิตช์คาปาซิเตอร์ (six-order switched capacitor band pass filter)

2.3.2 ภาคถอดรหัส (decoder section)

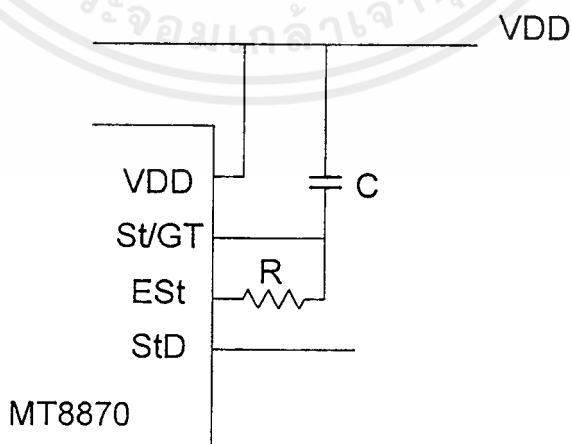
นำความถี่ 2 ความถี่ที่ได้จากส่วนกรองความถี่มาทำการถอดรหัสโดยผ่านส่วนของดิจิตอลดีเทคชั่นอัลกอริทึม(digital detection algorithm) และส่วนแปลงรหัส(code converter and latch) รหัส 4 บิตที่ได้จะถูกส่งออกที่ขา Q1,Q2,Q3 และ Q4 แสดงการถอดรหัสดังตารางที่ 2.1 นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบความถี่ที่เข้ามาว่าเป็นความถี่มาตรฐาน DTMF หรือไม่ เพื่อป้องกันความถี่อื่นเข้ามาผสม เมื่อตรวจสอบว่าความถี่นั้นถูกต้องสัญญาณที่ขา EST (early steering) ก็จะแอกทีฟ

F_{low} (Hz)	F_{high} (Hz)	number	TOE	Q	Q ₁	Q ₂	Q ₃
697	1209	1	H	0	0	0	1
697	1336	2	H	0	0	1	0
697	1447	3	H	0	0	1	1
770	1209	4	H	0	1	0	0

F _{LOW}	F _{HIGH}	NO.	TOE	Q ₄	Q ₃	Q ₂	Q ₁
770	1336	5	H	0	1	0	1
770	1447	6	H	0	1	1	0
852	1209	7	H	0	1	1	1
852	1336	8	H	1	0	0	0
852	1447	9	H	1	0	0	1
941	1336	0	H	1	0	1	0
941	1209	*	H	1	0	1	1
941	1447	#	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

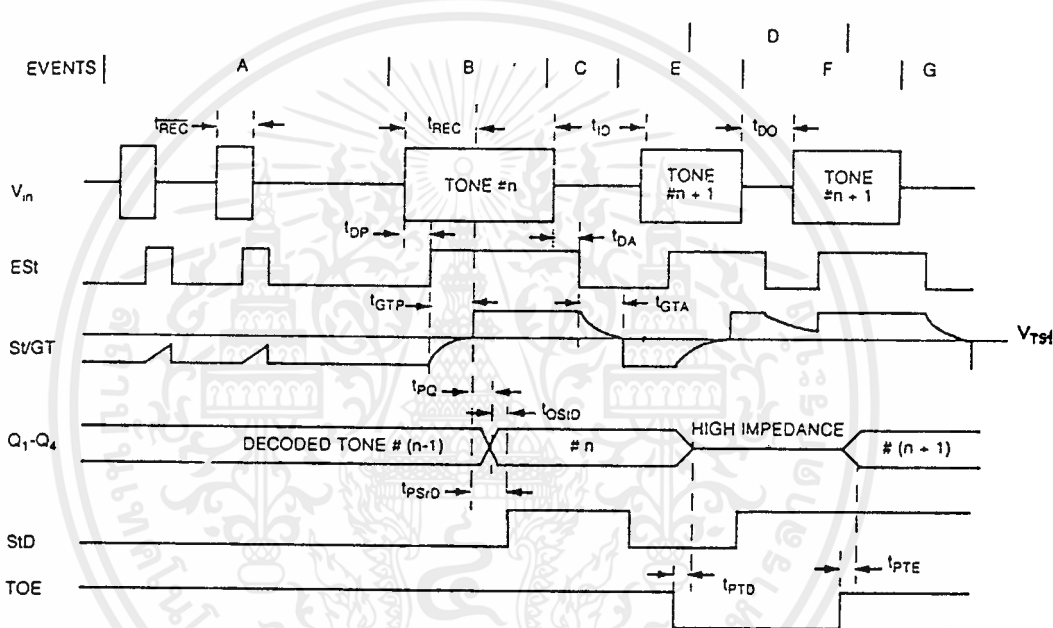
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าที่ถอดรหัสได้จากความถี่ต่างๆ

2.3.3 ภาคตรวจสอบสัญญาณ (steering circuit) ก่อนที่จะมีการถอดรหัสความถี่ออกไปที่เอาต์พุตจะมีการตรวจสอบช่วงความถี่ที่เข้ามาว่ามีระยะเวลาตามที่กำหนดหรือไม่โดยสังเกตจากระยะเวลาการกดปุ่มให้มีความถี่ออกมาเป็นช่วงเวลาพอสมควร มิฉะนั้นวงจรส่วนนี้จะไม่รับโดยถือว่าสัญญาณนั้นไม่ถูกต้องส่วนช่วงเวลายาวเท่าใดสามารถตั้งได้โดยใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุต่อภายนอก ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 แสดงการต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุภายนอกเพื่อกำหนดการ์ดใหม่

โดยสัญญาณที่ขา Est จะเป็น "high" นานใกล้เคียงกับระยะเวลาที่มีความถี่ DTMF เข้ามา จากรูปที่ 2.8 เมื่อขา Est เป็น "high" ทำให้ Vc สูงขึ้น ตัวเก็บประจุ C จะคายประจุทำให้แรงดัน Vc สูงขึ้นจนถึงค่าเทรชโฮลด์ วงจรถอดรหัสจึงจะถอดรหัสออกเป็นตัวเลขขนาด 4 บิต ซึ่งรายละเอียดของการทำงานขอให้ได้จากแผนภูมิเวลา (timing diagram) ดังในรูปที่ 2.9 จะเข้าใจได้ง่ายกว่า สำหรับค่าการกีดกัน (guard time) นั้นหมายถึงช่วงคาบเวลาของความถี่ที่เข้ามา ซึ่งจะต้องนานเท่ากับหรือมากกว่าช่วงเวลาที่เราตั้งไว้จึงจะได้การยอมรับว่าสัญญาณความถี่นั้นถูกต้องหรือพูดได้ว่าเวลาที่สั่งไว้คือการกีดกันนั่นเอง เมื่อสัญญาณความถี่เข้ามาเท่ากันหรือมากกว่าเวลาที่ตั้งเอาไว้ จึงจะสามารถแปลงเป็นตัวเลขได้ แต่ถ้าหากสัญญาณความถี่เข้ามาสั้นกว่าก็จะไม่มีการถอดรหัสเป็นตัวเลขออกไป



รูปที่ 2.9 แผนภูมิเวลาของ MT8870

จากแผนภูมิเวลา อธิบายได้ดังนี้

ช่วงเวลาที่ 1 สัญญาณที่ขา Est เป็นลอจิกสูง เนื่องจากตรวจพบที่มีความถี่เข้ามาแต่คาบเวลาหรือระยะเวลาที่เข้ามาไม่ถูกต้อง (คาบเวลาสั้นไป) จึงไม่ทำการถอดรหัสความถี่นี้ ดังนั้นเอาท์พุทไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ช่วงเวลาที่ 2 มีความถี่เข้ามาใหม่อีกครั้งหนึ่ง (ความถี่ #n) ซึ่งมีคาบเวลาที่ถูกต้อง (คือเท่ากับหรือมากกว่าค่าเวลาการกีดกันที่กำหนดไว้) ดังนั้นความถี่ที่เข้ามาใหม่นี้จะถูกถอดรหัสและแลตช์ (latch) ไว้ที่เอาท์พุท

ช่วงเวลาที่ 3 หมดความถี่ #n ตรวจจอสอบช่วงห่างว่าถูกต้องหรือไม่ เอาท์พุทยังคงถูกแลตช์ไว้จนกว่าจะได้รับความถี่ที่ถูกต้องใหม่

ช่วงเวลาที่ 4 ความถี่ #n+1 เข้ามาใหม่ สัญญาณที่ขา Est เปลี่ยนเป็นลอจิกสูงอีกครั้งหนึ่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเวลาที 5 เอาร์ทพุทเปลี่ยนเป็นอยู่ในสภาพความต้านทานสูง เนื่องจากการดิสเอเบิลเอาร์ทพุท (สัญญาณที่ขา TOE เป็นลอจิกต่ำ)

ช่วงเวลาที 6 ความถี่ #n+1 เข้ามาใหม่อย่างถูกต้องและอีนาเบิลเอาร์ทพุทแล้วจึงทำการถอดรหัสและแลตซ์ไว้

ช่วงเวลาที 7 หมดความถี่ #n+1 ช่วงห่างถูกต้อง เอาร์ทพุทยังแลตซ์อยู่จนกว่าจะมีความถี่ใหม่เข้ามา

อธิบายความหมายของตัวแปรต่างๆ ในรูปที่ 2.9

V_{in} : สัญญาณความถี่ DTMF ที่เข้ามา

ES_t : Early Steering Output ใช้แสดงว่าความถี่ที่เข้ามาเป็นย่านความถี่ของสัญญาณจาก DTMF

St/GT : Steering Input/Guard Time Output สำหรับต่อกับ RC ภายนอก

$Q_1 - Q_4$: เอาร์ทพุท BCD ขนาด 4 บิต

StD : Delay Steering Output ใช้แสดงว่าได้รับความถี่ของสัญญาณ DTMF ที่มีคาบเวลาถูกต้อง

TOE : Tone Output Enable ใช้ควบคุม $Q_1 - Q_4$ ให้เป็นไฮอิมพีแดนซ์

T_{REC} : คาบเวลานานที่สุดที่ตรวจพบความถี่ DTMF แล้วอย่างน้อยกว่าการรีดไทม์

T_{REC} : คาบเวลาที่ต้องการ เพื่อแสดงว่าสัญญาณถูกต้อง

t_{D} : เวลาสั้นที่สุดระหว่างสัญญาณ DTMF ที่ถูกต้อง 2 สัญญาณ

t_{DO} : เวลานานสุดที่ยอมให้สัญญาณหายไปได้ในคาบเวลาความถี่ที่ถูกต้อง

t_{DP} : เวลาที่ใช้ในการตรวจสัญญาณความถี่ DTMF ที่ถูกต้อง

t_{DA} : เวลาที่ใช้ในการตรวจการหายไปของสัญญาณความถี่ที่ถูกต้อง

t_{GTP} : ช่วงเวลาในการชาร์จของตัวเก็บประจุจนถึงค่าเทรสโวลต์

t_{GTA} : ช่วงเวลาในการดิสชาร์จของตัวเก็บประจุจนถึงค่าเทรสโวลต์

2.3.4 ภาคขยายสัญญาณความแตกต่าง

วงจรรส่วนอินพุทของ MT8870 เป็นภาคขยายออปแอมป์ที่สามารถปรับอัตราขยาย โดยต่อวงจรรภายนอกเพิ่มเข้าไป ซึ่งสามารถคำนวณอัตราขยายความแตกต่างของอินพุทได้

2.3.5 ภาคกำเนิดความถี่ (Oscillator)

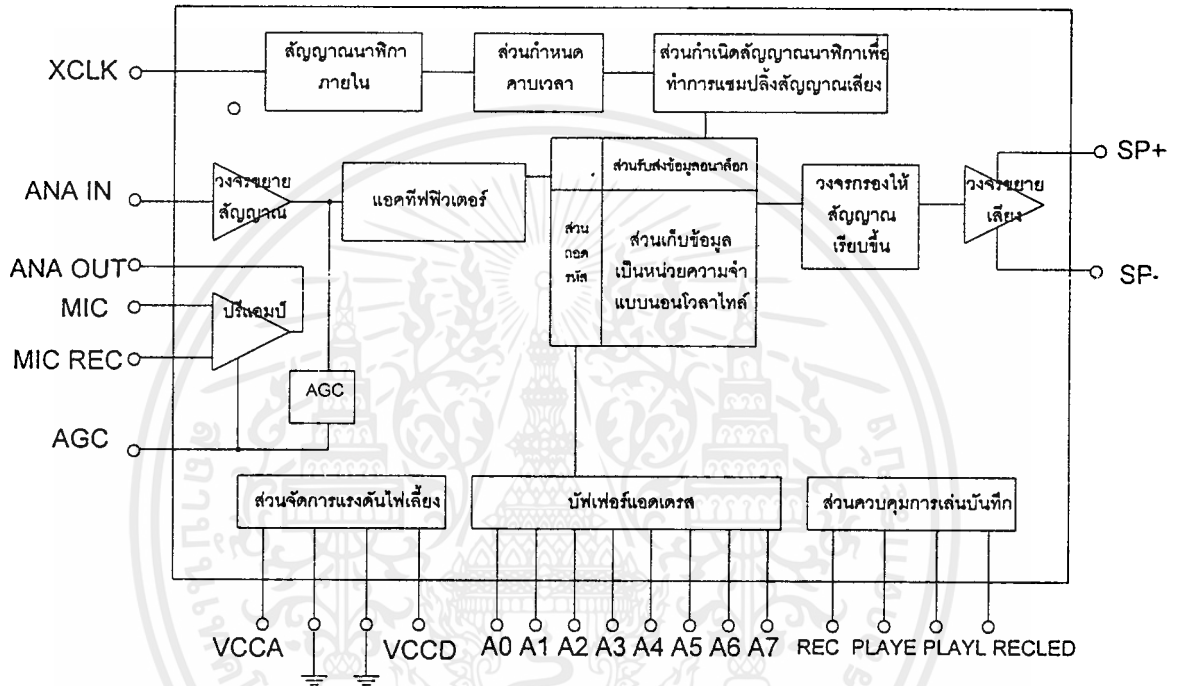
ในภาคนี้ภายในไอซีมีวงจรรเวลาอยู่ภายใน เพียงแต่ต่อ X - TAL ขนาด 3.579545 MHz เข้าที่ขา OSC1 กับขาของ OSC2 ก็สามารถใช้งานได้ทันที

2.4 ไอซีที่ใช้บันทึกเสียง ISD 1420

เป็นไอซีบันทึกเสียงไว้ได้ในตัว ไม่ต้องมี RAM มาต่อภายนอก เนื่องจากมีหน่วยความจำสำรองภายในอยู่แล้ว โดยเป็นหน่วยความจำสำรองที่ไม่ต้องใช้ไฟเลี้ยงในการรักษาความจำ เป็นหน่วยความจำอนโวลตาเอกสารันเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไพล์ อีอีพรอม (Nonvolatile EEPROM) หรือ NV EEPROM ซึ่งไม่ต้องการแบตเตอรี่สำรอง ตัวไอซีสามารถบันทึกเสียงได้นาน 20 วินาที

ISD 1420 ได้ถูกปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้น คือมีวงจรสำหรับควบคุมการทำงานให้มีความแน่นอนมากขึ้น และมีส่วนควบคุมให้กลับเข้าสู่โหมดสแตนด์บาย หรือการปิดตัวเองโดยอัตโนมัติ เมื่อไม่มีการบันทึกหรือเล่นกลับ เป็นการประหยัดพลังงานจากแบตเตอรี่มากกว่าไอซีบันทึกเสียงชนิดอื่นๆ บล็อกไดอะแกรมภายในของ ISD 1420 จะเป็นตามรูปที่ 2.10

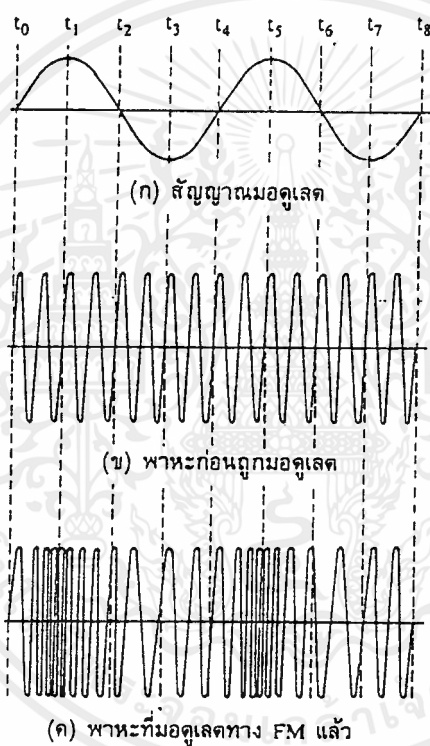


รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมภายในของไอซี ISD 1420

จากรูปที่ 2.10 เป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานภายในของ ISD 1420 จะเห็นส่วนประกอบภายในว่า มันสามารถบันทึกสัญญาณเสียงไปเก็บไว้ได้อย่างไร สัญญาณอนาล็อกที่ทำการบันทึกจะถูกนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำขนาดความจุ 128,000 เซลล์ การบันทึกไม่ได้ใช้หลักการทำงานแปลงสัญญาณอนาล็อกเข้าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำได้โดยตรงเลย โดยสัญญาณจะถูกเก็บอยู่ในรูปของแรงดันระดับต่างๆภายในเซลล์ สัญญาณเอาต์พุตสามารถที่จะขับออกลำโพงขนาดเล็กได้โดยตรง หรือต่อเข้ากับวงจรมายายสัญญาณภายนอกก็ได้

2.5 มอดูเลตทางความถี่

รูปคลื่นของสัญญาณ FM เกิดจากสัญญาณมอดูเลต ดังรูปที่ 2.11 (ก) เช่น สัญญาณเสียงซึ่งเป็นข่าวสารเข้าไปมอดูเลตลงบนสัญญาณพาหะดังรูปที่ 2.11 (ข) สัญญาณพาหะหลังจากมอดูเลตแล้วในรูปที่ 2.11 (ค) เป็นสัญญาณ FM จะเห็นว่าที่เวลา t_0 สัญญาณ FM อยู่ที่ความถี่กลาง เมื่อสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตมีค่าทางบวกสูงสุด ความถี่ของพาหะจะเพิ่มขึ้นสูงสุด นั่นคือสัญญาณมอดูเลตถึงจุดยอดสุด (สัญญาณมอดูเลตมีขนาดสูงสุดนั่นเอง) ที่เวลา t_1



รูปที่ 2.11 การมอดูเลตทางความถี่

ที่เวลา t_2 สัญญาณมอดูเลตลดลงเป็นศูนย์ ความถี่ของพาหะก็จะลดลงมาที่ความถี่กลางดั้งเดิม หลังจากเวลาสัญญาณมอดูเลตที่ค่าตกลงต่ำกว่าศูนย์กลายเป็นลบ พาหะจะมีความถี่ลดลงต่ำกว่าความถี่กลางและเมื่อเวลาสัญญาณมอดูเลตกลับเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่ง ความถี่ของพาหะก็จะกลับมาถึงความถี่กลางดั้งเดิมเช่นกัน ในช่วงเวลา t_4 ถึง t_8 ก็จะมีซ้ำแบบเดิมเรื่อยๆ ไป สรุปแล้วความถี่ของพาหะจะเปลี่ยนแปลงไปตามแอมพลิจูดของสัญญาณมอดูเลต และพาหะยังคงอยู่ที่ความถี่กลางเมื่อสัญญาณมอดูเลตเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงความถี่ที่พาหะเบี่ยงเบนไปจากความถี่กลางเรียกว่า ความถี่เบี่ยงเบน (frequency deviation) หรือ ดีวีเอชเอ็น ตัวอย่างเช่น พาหะมีความถี่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ ลดลงต่ำสุดเป็น 99.9 เมกะเฮิร์ตซ์ และเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 100.1 เมกะเฮิร์ตซ์ สลับไปมาเช่นนี้ หมายความว่าช่วงความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ ± 0.1 เมกะเฮิร์ตซ์ หรือ ± 100 กิโลเฮิร์ตซ์

อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณ FM ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามาออดูเลต ตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณที่เข้ามาออดูเลตเป็นโตน (สัญญาณเสียง) ความถี่ 1000 เฮิร์ตซ์ อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณ FM จะเท่ากับ 1000 ครั้งต่อวินาที ถ้าสัญญาณที่เข้ามาออดูเลตเพิ่มความถี่เป็น 10 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยคงว่าแอมพลิจูดเท่าเดิม ช่วงความถี่เบี่ยงเบนก็ยังเท่าเดิม คือเท่ากับ ± 100 กิโลเฮิร์ตซ์ แต่อัตราการเบี่ยงเบนจะเพิ่มเป็น 10,000 ครั้งต่อวินาที นั่นคือ ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามาออดูเลตเป็นตัวกำหนดอัตราการเบี่ยงเบนความถี่

สำหรับแอมพลิจูดของสัญญาณมอดูเลตจะเป็นตัวกำหนดช่วงความถี่เบี่ยงเบน ตัวอย่างเช่น สัญญาณโตนที่มีแอมพลิจูดสูงจะทำให้ความถี่เบี่ยงเบนไป ± 100 กิโลเฮิร์ตซ์ สัญญาณโตนที่มีแอมพลิจูดน้อยลงจะทำให้ความถี่เบี่ยงเบนไป ± 50 กิโลเฮิร์ตซ์

กล่าวโดยสรุป สัญญาณ FM มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

1. มีแอมพลิจูดคงที่ตลอด แต่ความถี่เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่เข้ามาออดูเลต
2. อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณพาหะมีค่าเท่ากับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามาออดูเลต
3. ช่วงความถี่เบี่ยงเบน (หรือดีวีเอชเอ็น) เป็นสัดส่วนกับแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามาออดูเลต

2.6 เครื่องส่ง FM

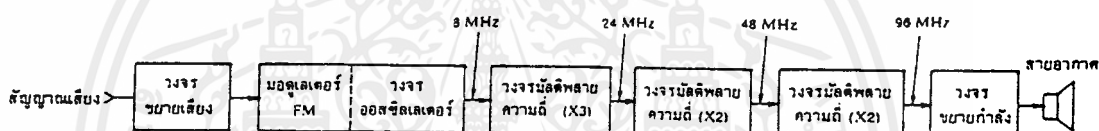
จากแผนผังของเครื่องส่ง FM ในรูปที่ 2.12 สัญญาณเสียงผ่านการขยายแล้วป้อนสู่มอดูเลเตอร์ วงจรมอดูเลเตอร์นี้จะทำการเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณเสียงตามลำดับ พาหะ FM ที่ถูกมอดูเลตแล้วจะถูกขยายโดยภาควงจรขยายกำลังสูงสุดท้ายป้อนสู่สายอากาศเพื่อส่งออกอากาศต่อไป



รูปที่ 2.12 แผนผังเครื่องส่ง FM อย่างง่าย

เครื่องส่งที่กล่าวมาข้างต้นอาจเกิดปัญหาเมื่อเราต้องการส่งออกอากาศที่มีความถี่สูงๆ เช่น เครื่องส่งกระจายเสียง FM (ซึ่งมีความถี่อยู่ระหว่าง 88 ถึง 108 เมกะเฮิร์ตซ์) ทำงานที่ความถี่สูง ทำให้ยากต่อการควบคุมให้ความถี่คงที่ นอกจากนี้การควบคุมการเบี่ยงเบนความถี่ก็ทำได้ยากขึ้นด้วย วิธแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้หลายวิธีแตกต่างกันออกไป

ในรูปที่ 2.13 แสดงการใช้ความถี่ของออสซิลเลเตอร์ 8 เมกะเฮิร์ตซ์ และมัลติพลาย (หรือคูณ) ความถี่ขึ้นไปเป็น 96 เมกะเฮิร์ตซ์ การคูณความถี่นี้ทำได้โดยใช้วงจรมัลติพลาย หลักการของวงจรมัลติพลายก็คือ ใช้คุณสมบัติ ความไม่ลิเนียร์ของวงจรรขยาย ซึ่งจะทำการกำเนิดสัญญาณฮาร์มอนิกออกมาจำนวนมาก จากนั้นวงจรแพคเกจที่เอาท์พุทจะจับเอาเฉพาะความถี่ฮาร์มอนิกที่ต้องการไปใช้ประโยชน์ โดยทั่วไปมัลติพลายมักเป็นชนิดคูณ 2 (เรียกดับเบิลหรือ doubler) หรือชนิดคูณ 3 (เรียกทริเปิลหรือ tripler) ในที่นี้เราใช้วงจรคูณ 3 จำนวน 1 วงจร และวงจรคูณ 2 จำนวน 2 วงจร นั่นคือ $3 \times 2 \times 2 = 12$ เท่า ฉะนั้นความถี่เอาท์พุทจะเป็น $8 \text{ เมกะเฮิร์ตซ์} \times 12 \text{ เท่า} = 96 \text{ เมกะเฮิร์ตซ์}$



รูปที่ 2.13 แผนผังเครื่องส่งกระจายเสียง FM แบบคูณความถี่ (มัลติพลาย)

ช่วงความถี่เบี่ยงเบนของสัญญาณวิทยุกระจายเสียง FM เท่ากับ ± 75 เฮิร์ตซ์ ฉะนั้นเอาท์พุทจะต้องมีความถี่เบี่ยงเบนไปเท่ากับค่านี้นี้เมื่อสัญญาณเสียงมอดูเลต (แบบ FM) อย่างไรก็ตามการมัลติพลายความถี่จะทำให้ปริมาณความถี่เบี่ยงเบนถูกคูณให้กว้างขึ้นไปด้วย เช่น ออสซิลเลเตอร์ 8 เมกะเฮิร์ตซ์เบี่ยงเบนอยู่ระหว่าง 7.9 ถึง 8.1 เมกะเฮิร์ตซ์ (± 0.1 เมกะเฮิร์ตซ์) เมื่อคูณ 12 เท่า พาหะมีความถี่กลางเป็น 96 เมกะเฮิร์ตซ์และเบี่ยงเบนอยู่ระหว่าง 94.8 ถึง 97.2 เมกะเฮิร์ตซ์ (± 1.2 เมกะเฮิร์ตซ์) ดังนั้นถ้าหากเราต้องการให้ความถี่เบี่ยงเบนเป็น ± 75 กิโลเฮิร์ตซ์ที่เอาท์พุท ความถี่ออสซิลเลเตอร์จะต้องเบี่ยงเบนไปเท่ากับ $75 \div 12 = 6.25$ กิโลเฮิร์ตซ์

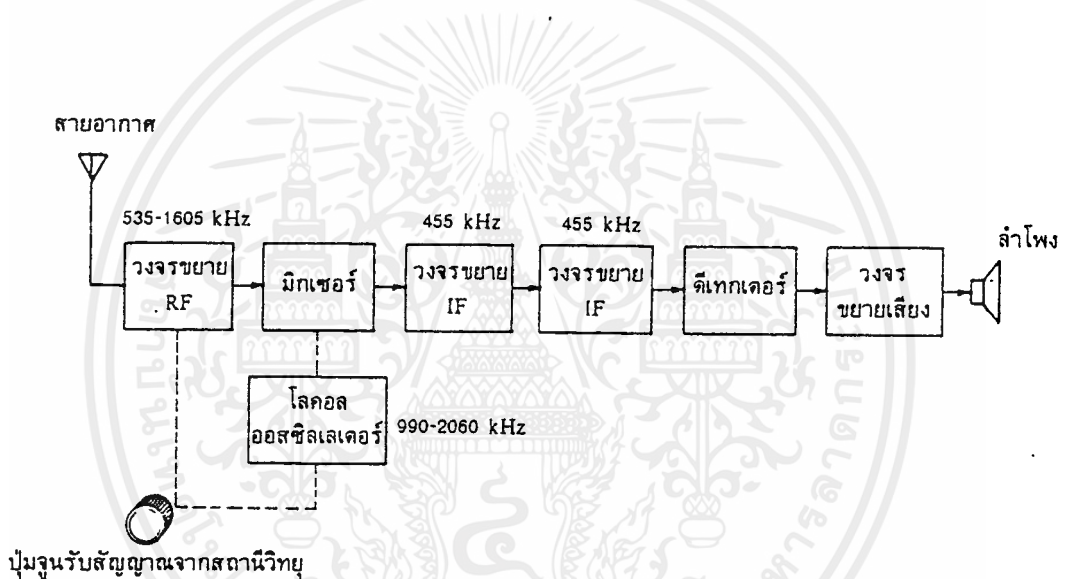
ข้อดีอีกประการหนึ่งของระบบ FM ก็คือวงจรรขยายกำลัง (power amplifier หรือ PA) สามารถทำงานในคลาสน์ C ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งนี้เพราะแอมพลิจูดของสัญญาณ FM คงที่ไม่มีผลทำให้ชาวสรวเพี้ยน (แม้จะเกิดการขลิบยอดสัญญาณ) ชาวสรวนั้นอยู่ในช่วงความเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณ FM เท่านั้น

2.7 เครื่องรับชนิดซูเปอร์เฮต

เครื่องรับชนิดซูเปอร์เฮตหรือซูเปอร์เฮตเทอโรไดนามนั้นอาศัยหลักการแปลงความถี่ของสัญญาณ RF ให้กลายเป็นความถี่คงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งช่วยให้การออกแบบวงจรเครื่องรับทำได้สะดวกขึ้น

จากแผนผังของเครื่องรับ AM ชนิดซูเปอร์เฮต ในรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าเราใช้วงจรขยาย RF เหมือนกับเครื่องรับชนิด TRF แต่วงจรขยาย RF ในที่นี่จะให้อัตราขยายพอสสมควรและแบนด์วิดท์พอเหมาะ (ไม่แคบไม่กว้าง) โดยเราเน้นออกแบบวงจรภาคต่อจากวงจรขยาย RF ให้มีอัตราขยายสูงๆ และมีค่าซีเลกติวิตีดี

วงจรสำคัญในขบวนการซูเปอร์เฮตเทอโรไดนามนั้นก็คือ วงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ (local oscillator) และวงจรมิกเซอร์ สัญญาณ RF จากสายอากาศถูกแปลงความถี่ลงเป็นความถี่ IF ค่าตายตัวค่าหนึ่ง ความถี่ IF ในที่นี่เป็น ความถี่ปานกลาง (intermediate frequency) มีค่าอยู่ระหว่างความถี่ RF กับความถี่เสียง (AF) โดยทั่วไปนิยมใช้ค่า IF เท่ากับ 455 กิโลเฮิร์ตซ์



รูปที่ 2.14 แผนผังเครื่องรับชนิดซูเปอร์เฮต

วิธีการแปลงความถี่ในวงจรมิกเซอร์เกิดขึ้นเนื่องจากการผสมคลื่น RF กับคลื่นออสซิลเลเตอร์ซึ่งมีความถี่ห่างจากความถี่ RF เท่ากับ 455 กิโลเฮิร์ตซ์ ความถี่ของออสซิลเลเตอร์นี้อาจสูงกว่าหรือต่ำกว่าความถี่ RF ก็ได้ ในรูปที่ 2.14 เราป้อนความถี่ของโลคอลออสซิลเลเตอร์สูงกว่าความถี่ RF การป้อนแบบนี้เรียกว่า ป้อนด้านสูง (high side injection) สมมติว่าเราต้องการรับสัญญาณ 1000 กิโลเฮิร์ตซ์ (เราต้องหมุนลูกบิดจูนหน้าปิดเครื่องรับไปที่ตัวเลข 1000 กิโลเฮิร์ตซ์) วงจรขยาย RF จะถูกจูนไว้ที่ความถี่ 1000 กิโลเฮิร์ตซ์ และยอมให้ความถี่แคบๆ บริเวณ 1000 กิโลเฮิร์ตซ์ผ่านเข้ามาแล้วขยายป้อนไปให้มิกเซอร์ การหมุนลูกบิดหน้าปิดนั้น นอกจากจะจูนวงจรขยาย RF แล้วยังต้องจูนวงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ไปพร้อมๆ กันด้วย การจูนพร้อมๆ กันนี้เรียกว่า แทร็ก (track) ตามกัน ความถี่ของออสซิลเลเตอร์ต้องเท่ากับ $1000 \text{ กิโลเฮิร์ตซ์} + 455 \text{ กิโลเฮิร์ตซ์} = 1455 \text{ กิโลเฮิร์ตซ์}$

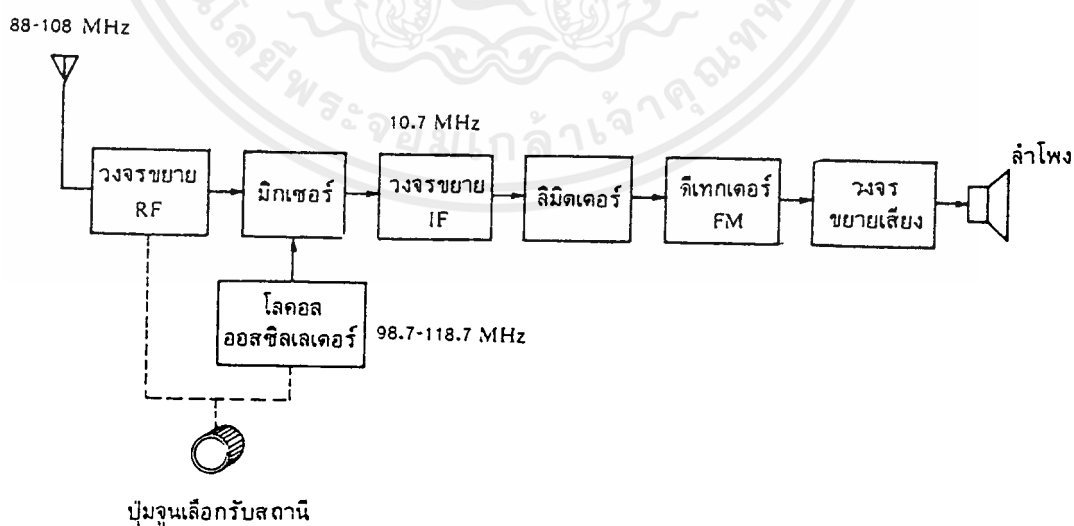
เมื่อสัญญาณทั้ง RF และโลคอลออสซิลเลเตอร์ป้อนเข้ามาให้ที่วงจรมิกเซอร์ซึ่งเป็นวงจรที่ทำงานแบบนอนลิเนียร์ เอาต์พุตที่ได้จากมิกเซอร์จะประกอบด้วยสัญญาณความถี่ผลรวมและความถี่ผลต่าง เมื่อป้อนในวงจร IF ซึ่งจูนไว้ที่ความถี่ 455 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังนั้นสัญญาณความถี่ผลรวมจะถูกกำจัดทิ้งไป คงเหลือแต่สัญญาณความถี่ผลต่าง (1455 กิโลเฮิร์ตซ์ - 1000 กิโลเฮิร์ตซ์ = 455 กิโลเฮิร์ตซ์) ผ่านการขยายที่วงจรขยาย IF

วงจรขยาย IF ก็คือวงจรขยาย RF ที่จูน ณ ความถี่ ค่าคงที่ (455 กิโลเฮิร์ตซ์) วงจร IF นี้จะมีวงจรเทกต์ทั้งด้านอินพุตและด้านเอาต์พุตและมักมีหลายสเตจ ทั้งนี้เพื่อให้มีอัตราขยายสัญญาณที่รับได้สูงๆ และซีเลคตีวิตดี เนื่องจากวงจรขยาย IF ซึ่งจูนไว้ที่ความถี่คงที่ซึ่งไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการออกแบบวงจรจึงค่อนข้างสะดวกและไม่ต้องมีการปรับจูนยุ่งยากในวงจรภาค IF แต่อย่างใด

ฉะนั้นสัญญาณ AM ขณะนี้มีความถี่ขนาดปานกลางเป็น IF 455 กิโลเฮิร์ตซ์ เมื่อผ่านการขยายจากวงจรขยาย IF แล้วก็จะผ่านการดีมอดที่วงจรถีกเทกเตอร์ ถ้าเป็นเครื่องรับ AM เรามักใช้วงจรถีกเทกอย่างง่ายคือมีไดโอดตัวเดียว (แต่ถ้าเป็นเครื่องรับสัญญาณ SSB เราต้องใช้วงจรโปรดัคต์ดีเทกเตอร์ร่วมกับ BOF ด้วย) สัญญาณเสียงหลังจากการดีมอดก็จะถูกขยายกำลังป้อนสู่ลำโพงต่อไป

2.8 เครื่องรับ FM

แผนผังของเครื่องรับ FM มีความคล้ายคลึงกับเครื่องรับ AM มาก จะแตกต่างกันก็แต่เฉพาะขบวนการดีเทกเท่านั้น สำหรับความถี่ IF มักใช้ 10.7 เมกะเฮิร์ตซ์ เพื่อกำจัดสัญญาณเงาและเพื่อให้แบนด์วิดท์ของวงจรวงกว้างพอที่จะรับสัญญาณ FM ได้ ความถี่เบี่ยงเบนของสัญญาณ FM ที่ส่งมาจากเครื่องส่งมีค่า + 75 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังนั้นแบนด์วิดท์ของเครื่องรับต้องมีค่า 150 กิโลเฮิร์ตซ์เป็นอย่างน้อย ปกติมักจะเผื่อให้กว้างอีกเล็กน้อยเป็น 180 ถึง 200 กิโลเฮิร์ตซ์



รูปที่ 2.15 แผนผังของเครื่องรับ FM

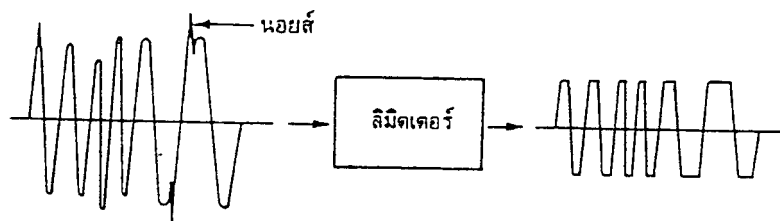
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติว่าเราจูนเครื่องรับไว้ที่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ ลูกบิดหน้าปัดจะเลื่อนในตรงกับความถี่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ (บนหน้าปัด) วงจรขยาย RF จะจูนไว้ที่ความถี่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อผ่านกรรมวิธีเฮตเทอโรไดนาในวงจรมิกเซอร์ ผลต่าง ความถี่ จะปรากฏที่ อินพุตของวงจรขยาย IF เท่ากับ $110.7 \text{ เมกะเฮิร์ตซ์} - 100 \text{ เมกะเฮิร์ตซ์} = 10.7 \text{ เมกะเฮิร์ตซ์}$ สัญญาณที่ความถี่ IF นี้จะถูกขยายและกำจัดแบนด์วิดท์ให้กว้างเพียงพอที่จะรับสัญญาณ FM และแคบเพียงพอที่จะกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการอื่นๆทิ้งไป

ถ้าพาหะ FM ที่ส่งจากเครื่องส่งมีความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ $+50 \text{ กิโลเฮิร์ตซ์}$ (โดยความถี่ FM เท่ากับ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ คงเดิม โลกคอลลอซซซิลเลเตอร์คงเดิม และ IF คงเดิม) สัญญาณ IF จะมีความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ 50 กิโลเฮิร์ตซ์ ด้วย ฉะนั้นสัญญาณที่มอดูเลตมาบนพาหะจะยังอยู่ในสัญญาณ IF โดยไม่มีความเพี้ยน แม้ว่าความถี่สัญญาณ FM จะลดทอนจาก 100 เมกะเฮิร์ตซ์ เหลือ $10.7 \text{ เมกะเฮิร์ตซ์}$

2.9 ลิ้มิตเตอร์

สัญญาณ FM (มีความถี่เท่ากับ IF) อาจจะมีนอยส์ปะปนมาด้วย วงจรลิ้มิตเตอร์จะทำหน้าที่ขลิบสัญญาณทั้งด้านบวกและลบ รวมทั้งนอยส์ก็จะถูกกำจัดทิ้งไปด้วย (ดูรูปที่ 2.16) สังเกตว่าความถี่ของสัญญาณ FM ก่อนและหลังลิ้มิตเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลง หลักการของวงจรลิ้มิตเตอร์นี้ก็คือป้อนสัญญาณที่มีแอมพลิจูดเกินช่วงการทำงานของวงจร (overdrive) จนกระทั่งวงจรขยายอิ่มตัวหรือคัตออฟ ถ้าสัญญาณ IF ที่ป้อนมา มีแอมพลิจูดน้อย เอาต์พุตจากลิ้มิตเตอร์จะมีนอยส์ปนออกมาทางออกดีไอเอาต์พุต ถ้าป้อนแอมพลิจูดมาแรงๆ นอยส์จะเงียบไป ปรากฏการณ์นี้มีความสัมพันธ์กับคำ "quieting" ของภาคออกดีไอเอาต์พุต (ความดังเสียงและค่าความไวของเครื่องรับ FM ด้วย เช่น สเปกระบุว่าสัญญาณที่ไม่ได้มอดูเลตมีแต่พาหะอย่างเดียว) ป้อนเข้าอินพุตของเครื่องรับทำให้นอยส์จากวงจรขยายเสียงลดลงไป 20 เดซิเบล การที่จะลดนอยส์ให้ได้ก็คือขยายสัญญาณอินพุต (IF) ให้มากๆพอที่จะขับให้วงจรลิ้มิตเตอร์ขลิบสัญญาณเพื่อกำจัดนอยส์ที่เข้ามาบนสัญญาณ FM ตามหลักการของวงจรลิ้มิตเตอร์

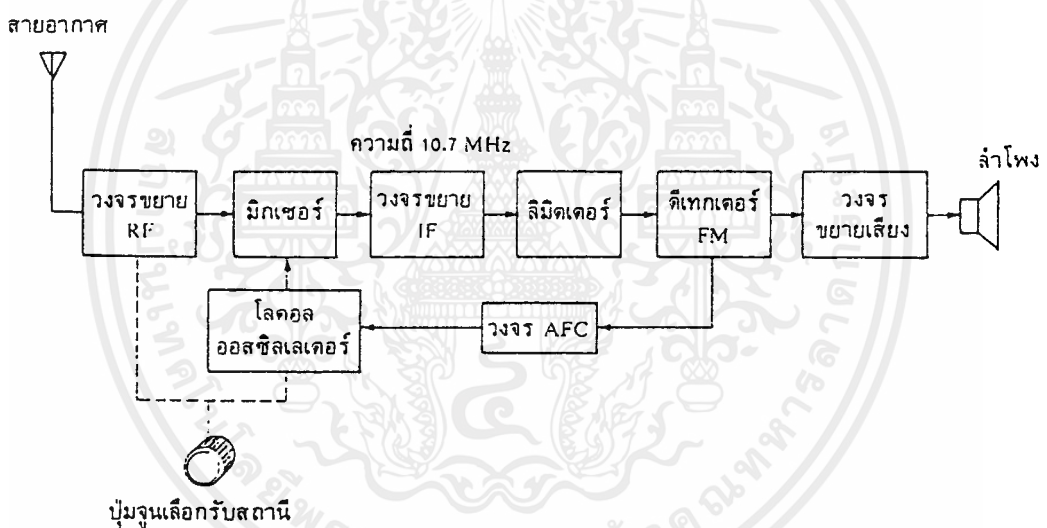


รูปที่ 2.16 วงจรลิ้มิตเตอร์จะขจัดนอยส์และการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดของสัญญาณ FM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การควบคุมความถี่อัตโนมัติ

เมื่อเครื่องรับ FM ทำงานในย่านความถี่ VHF (เช่น 88-108 เมกะเฮิร์ตซ์) ความถี่ของวงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์จะต้องมีเสถียรภาพสูง มิฉะนั้นจะเกิดความเพี้ยนในตอนตีมอด เช่น สมมติว่าเครื่องรับทำงานที่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ ความถี่เกิดเปลี่ยนไป (drift) 0.1 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ความถี่ IF เปลี่ยนไป 100 กิโลเฮิร์ตซ์ สัญญาณ FM จะตกเลยนอกแบนด์วิดท์ไปเลย วิธีการรักษาเสถียรภาพความถี่ก็คือใช้แรงบังคับความถี่ อย่างไรก็ตามการใช้แรงบังคับความถี่ไม่ค่อยสะดวกนักในเครื่องรับวิทยุกระจายเสียง FM เพราะเราจำเป็นต้องปรับจูน (เลือกสถานี) ความถี่อยู่บ่อยๆโดยไม่ต้องเปลี่ยนแรงบังคับความถี่ใหม่ แต่สำหรับเครื่องรับส่งวิทยุ (สื่อสาร) เราใช้แรงได้เพราะช่องความถี่ใช้งานไม่มาก สำหรับการควบคุมให้ความถี่ของโลคอลออสซิลเลเตอร์ของเครื่องรับกระจายเสียง FM ให้มีเสถียรภาพ เราต้องใช้วิธีพิเศษเพื่อให้ออสซิลเลเตอร์ล็อกกับความถี่ของสัญญาณอินพุต วิธีการนี้เรียกว่า การควบคุมความถี่อัตโนมัติ (automatic frequency control หรือ AFC)



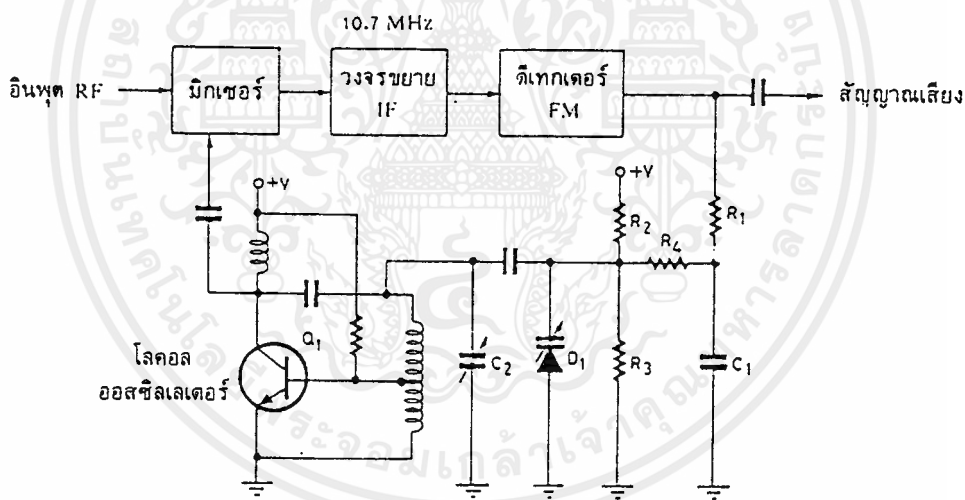
รูปที่ 2.17 วิธีการควบคุมความถี่ AFC ของเครื่องรับ FM

หลักการของ AFC ก็คือใช้วาแรกเตอร์เป็นส่วนหนึ่งในวงจรแทงค์ของโลคอลออสซิลเลเตอร์ ค่าความจุของวาแรกเตอร์จะควบคุมโดยการไบแอสจากแรงดันคลาดเคลื่อน เนื่องจากการที่ออสซิลเลเตอร์มีความถี่เลื่อนไป แรงดันคลาดเคลื่อนนี้ต่อเอามาจากเอาต์พุตของวงจรดิสคริมีเนเตอร์ (หรือวงจรเรโซเนเตอร์) เมื่อออสซิลเลเตอร์มีความถี่ถูกต้อง เอาต์พุตจากดิสคริมีเนเตอร์จะเป็นศูนย์ เมื่อความถี่ของออสซิลเลเตอร์เลื่อนสูงขึ้นหรือต่ำลง แรงดันคลาดเคลื่อนจะมีค่าเป็นบวกหรือลบ การเป็นบวกหรือลบนี้อาจแสดงถึงความคลาดเคลื่อนทางความถี่ของออสซิลเลเตอร์ว่ามากหรือน้อย

อย่างไรก็ตามเอาต์พุตจากวงจรดิสคริมิเนเตอร์จะมีสัญญาณเสียงปนอยู่ด้วย ดังนั้นก่อนที่จะป้อนมาให้ ออสซิลเลเตอร์ เราจะต้องเอาส่วนสัญญาณเสียงออกไปเสียก่อน สัญญาณเสียงนี้เรากรองทิ้งไปโดยใช้ฟิลเตอร์ ชนิดโลพาส เพื่อให้เฉพาะแรงดัน DC และความถี่ต่ำๆ ใกล้เคียงกับ DC มาป้อนให้วาแรกเตอร์

ดูตัวอย่างวงจร AFC ในรูปที่ 2.18 Q₁ เป็นโลคอลออสซิลเลเตอร์ C₂ เป็นวงจรรูนซึ่งมี D₁ เป็นวาแรกเตอร์ต่อขนานเป็นส่วนหนึ่งของวงจรรูนด้วย เอาต์พุตจากวงจรมอด FM ป้อนสัญญาณไปให้วงจรของเสียงและ ป้อนให้วงจร AFC ด้วย สัญญาณเสียงจะถูกกรองด้วยฟิลเตอร์ R₁C₁ เหลือแต่เฉพาะแรงดันคลาดเคลื่อนที่มีความถี่ต่ำมากๆ มาเสริมหรือลดแรงดันไบแอสให้แก่วาแรกเตอร์ วงจรที่ไบแอสให้แก่วาแรกเตอร์ประกอบด้วย R₂R₃ สำหรับ R₄ ทำหน้าที่กั้นระหว่างวงจรฟิลเตอร์กับออสซิลเลเตอร์ เมื่อวาแรกเตอร์มีความจุเปลี่ยน ความถี่ ออสซิลเลเตอร์จะเปลี่ยนด้วย

สังเกตว่าการทำงานของวงจรในรูปที่ 2.18 นี้ก็เหมือนกับวงจรเฟสล็อกกลุ่ปนั่นเอง แต่ในกรณีนี้วงจรติ มอด FM ทำหน้าที่เป็นเฟสดีเทกเตอร์ R₁ C₁ ทำหน้าที่เป็นลูปฟิลเตอร์ ส่วน Q₁ และ D₁ เป็น VCO และวงจร มิกเซอร์ทำหน้าที่แปลงและลดทอนความถี่ RF กับออสซิลเลเตอร์ให้มีความถี่ต่ำลงเป็น 10.7 MHz



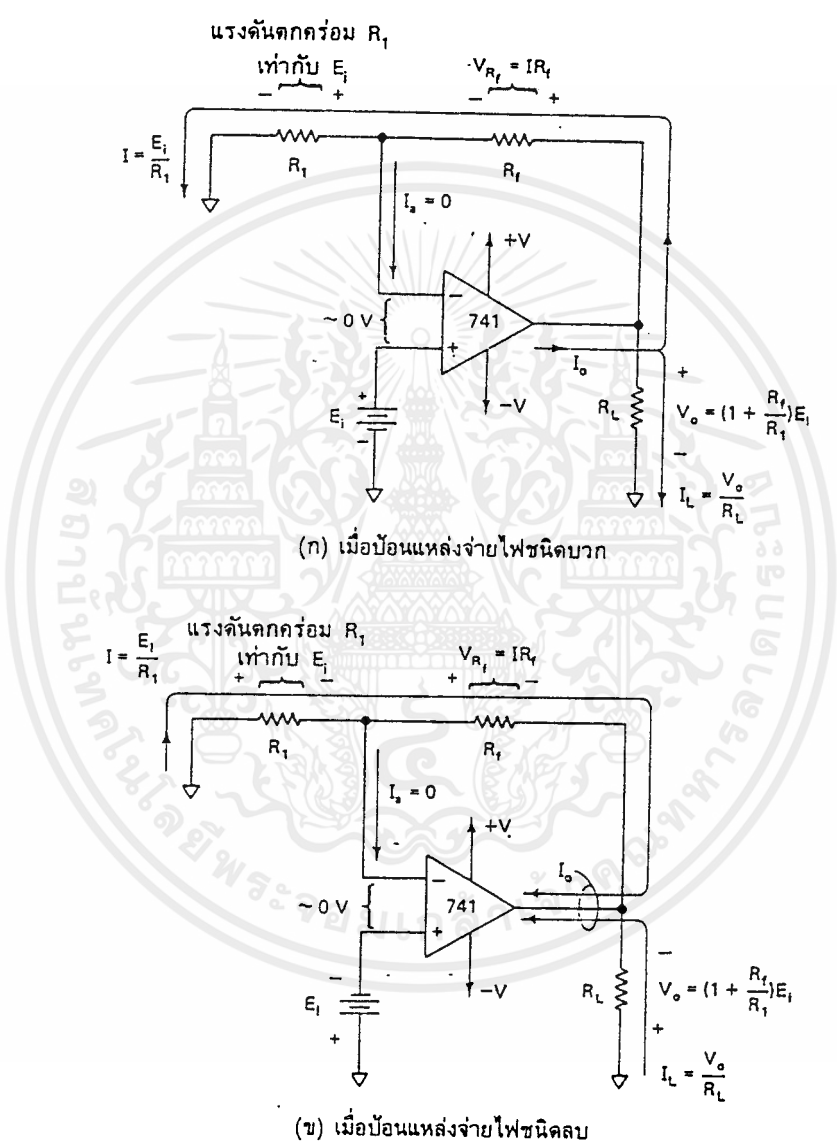
รูปที่ 2.18 วงจร AFC อย่างง่าย

2.11 วงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตติง

วงจรรขยายแบบนอนอินเวอร์ตติง (รูปที่ 2.19) เป็นวงจรที่ให้แรงดันเอาต์พุต V_O มีเครื่องหมายหรือมี ขั้วเหมือนกับแรงดันทางด้านอินพุต E_iในการวิเคราะห์ห้วงจรจะใช้ข้อแนะนำเหมือนกับการวิเคราะห์ห้วงจรขยาย แบบอินเวอร์ตติง โดยให้ถือว่าความต้านทานด้านอินพุตของออปแอมป์มีขนาดค่ามากเกิน 100 เมกะโอห์ม

เมื่อไม่มีความต่างศักย์ระหว่างขาอินพุตบวกและอินพุตลบ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อม R_1 คือ E_i ดังนั้น กระแสที่ไหลผ่าน R_1 และ R_2 (ไม่มีกระแสไหลเข้าขาอินพุตลบ)หาได้จาก

$$I = E_i / R_1 \dots\dots\dots(2.2)$$



รูปที่ 2.19 แสดงทิศทางการไหลของกระแส และขั้วของแรงดันเมื่อป้อนแหล่งจ่ายไฟชนิดต่างๆ

โดยที่ทิศทางของกระแสขึ้นอยู่กับแรงดัน E_i ซึ่งเสมือนตกรวม R_1 สำหรับวงจรรูปที่ 2.19 (ก) ที่ขาอินพุตลบจะเสมือนมีแรงดันบวก E_i อยู่ ดังนั้นกระแสจึงไหลจากด้านขวาของ R_1 ผ่าน R_1 ลงกราวด์ การไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นนี้ทำให้เกิดทิศทางของ I ซึ่งจะกลับกับ I ในรูปที่ 2.19 (ข) เมื่อทราบ I แล้วจึงสามารถหาความต่างศักย์ตกคร่อม R_f ได้

$$V_{Rf} = I_{Rf} = (R_f / R_1) \times E_i \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

จะสามารถหา V_o ได้

$$\begin{aligned} V_o &= V_{Rf} + E_i \\ &= E_i \times (R_f / R_1) + E_i \\ &= [1 + (R_f / R_1)] E_i \quad \dots\dots\dots(2.4) \end{aligned}$$

เมื่อได้ V_{Rf} และ V_{Ri} ซึ่งเท่ากับ E_i แล้ว
 ทุกค่า V_o ที่หาได้ นำมาใช้ในการหาอัตราขยายของวงจรนี้ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} A_{CL} &= V_o / E_i \\ &= [1 + (R_f / R_1)] E_i / E_i \\ &= 1 + (R_f / R_1) \\ &= (R_i + R_f) / R_i \quad \dots\dots\dots(2.5) \end{aligned}$$

อัตราขยายของวงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตหรือแบบไม่กลับเฟส จะมีค่ามากกว่า 1 เสมอ กระแสที่จ่ายให้โหลด (I_L) เท่ากับ V_o / R_L ส่วนกระแส $I_o = I + I_L$

2.12 วงจรออสซิลเลเตอร์

ออสซิลเลเตอร์ มีความหมายในตัวเองแปลว่าสิ่งที่แกว่งไปแกว่งมา สำหรับกรณีของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ออสซิลเลเตอร์มีความหมายถึงการเปลี่ยนไปมาของแรงดันหรือกระแสระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด หรืออาจกล่าวได้ง่ายๆก็คือเป็นวงจรถูกกำเนิดสัญญาณนั่นเอง

วงจรออสซิลเลเตอร์ส่วนใหญ่จะให้สัญญาณรูปไซน์ ดังนั้นวงจรออสซิลเลเตอร์จึงถูกนำมาใช้งานใน วงจรเครื่องส่ง วงจรสร้างสัญญาณเสียงดนตรี วงจรในเครื่องมือพวกสร้างสัญญาณเสียงและเป็นวงจรต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำเนิดสัญญาณความถี่ต่างๆ นอกจากนี้วงจรออสซิลเลเตอร์ยังเป็นวงจรในส่วนประกอบย่อยของวงจรอื่นๆ อีกเป็นจำนวนมาก

การกำเนิดสัญญาณด้วยวงจรออสซิลเลเตอร์มีได้หลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบก็จะมีลักษณะสำคัญพิเศษอื่นๆ ประกอบด้วย เช่นให้ความถี่ต่ำๆดี หรือ ให้ความถี่สูงๆดี เสถียรภาพทางความถี่ดี การปรับปรุงเป็นไปได้อย่างหรือง่าย เป็นต้น

2.12.1 หลักการของวงจรออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ก็คือวงจรขยายชนิดหนึ่งนั่นเอง แต่เป็นวงจรขยายชนิดป้อนกลับและที่สำคัญคือ การป้อนกลับของสัญญาณจะมีได้ป้อนกลับในลักษณะลบเหมือนกับวงจรขยายป้อนกลับ พิจารณาอัตราขยายแรงดันจากสมการการป้อนกลับของวงจรขยาย

$$A_v = A_v / 1 - \beta A_v \dots\dots\dots(2.6)$$

ถ้าสัญญาณป้อนกลับมาที่อินพุตมีเพียง 5% และเป็น การป้อนกลับในลักษณะนำมาหักล้างกับสัญญาณอินพุตหรือป้อนกลับแบบลบ นั่นคือถ้า อัตราขยายแรงดันขณะไม่มีการป้อนกลับเป็น 100 อัตราขยายหลังการป้อนกลับจะมีค่า เท่ากับ 16.7

จะเห็นได้ว่าอัตราขยายหลังการป้อนกลับแล้วลดลงไปและถ้าเราลองมาพิจารณาในส่วนของเทอม ถ้าหากว่าเทอม มีค่าเป็นบวก นั่นก็หมายความว่า เป็นการป้อนกลับแบบบวก อัตราขยายวงจรจะมีค่าเพิ่มขึ้นและจะทำให้เสถียรภาพของวงจรเลวลงมาก ครั้นถ้าพิจารณาดูให้ดีจะเห็นว่าถ้าเทอม มีค่าเป็น 1 จะเป็นผลทำให้ อัตราขยายของวงจรเพิ่มขึ้นจนเป็นอนันต์ (อินฟินิตี้) ซึ่งหมายความว่าแม้เพียงใส่อินพุตมาเพียงเล็กน้อย เอาท์พุทที่ได้จะมากมายมหาศาลแต่ในทางเป็นจริงแล้วเอาท์พุทที่ได้จะเกิดขึ้นเองถึงแม้ว่าจะไม่ใส่อินพุทก็ตาม นั่นหมายความว่าวงจรเกิดการออสซิลเลชันนั่นเอง

สิ่งหนึ่งที่จะอธิบายในเรื่องของการป้อนกลับแบบบวกให้เข้าใจก็คือ การพิจารณาในรูปของเฟสกับการป้อนกลับ สัญญาณป้อนกลับจากเอาท์พุทจะกลับเฟส 180 องศา แล้วป้อนกลับเข้ามาทางอินพุทใหม่ ดังนั้นสัญญาณที่เข้ามาจะมีทิศทางเสริมกับสัญญาณป้อนกลับ ซึ่งถ้าเฟสที่ป้อนกลับเข้ามาไม่ตรงกับวงจรขยายก็จะไม่ออสซิลเลท (โดยปกติในวงจรขยายทั่วไปสัญญาณเอาท์พุทจะมีเฟสต่างจากอินพุท 180 อยู่แล้ว)

เพื่อให้เข้าใจว่าวงจรออสซิลเลเตอร์ทำงานได้อย่างไร ลองมาดูกันว่าถ้าให้สัญญาณขนาดเล็กๆ ป้อนเข้ามาทางอินพุทของวงจรขยาย สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จะกลับเฟสแล้วมาเสริมกับอินพุทของวงจรขยายทำให้ อินพุทมีขนาดเพิ่มขึ้นซึ่งจะทำให้เอาท์พุทที่ได้มีขนาดใหญ่อขึ้นด้วย เมื่อป้อนกลับเข้ามาเสริมอีกก็จะให้เอาท์พุทได้ใหญ่ขึ้นอย่างไม่มีที่สิ้นสุด โดยปกติการเพิ่มขึ้นของสัญญาณจะถูกจำกัดที่ค่าแรงดันค่าหนึ่ง ดังนั้นเมื่อกลับมาแล้วก็เสมือนกับการป้อนกลับด้วยค่าแรงดันคงที่ วงจรจึงให้เอาท์พุทได้ที่ระดับแรงดันเสมือนกับคงที่คือการออสซิลเลทนั่นเอง

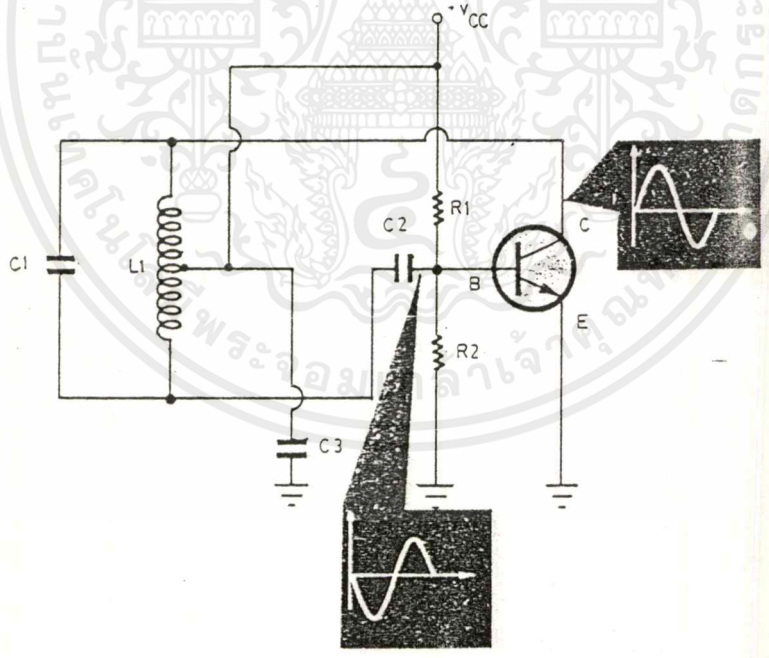
การออสซิลเลทหรือการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันเอาต์พุตจากค่าต่ำสุดจนถึงค่าสูงสุด มักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะคลื่นรูปซายน์ ความถี่ของลูกคลื่นสามารถคำนวณได้จากค่าคงตัวของอุปกรณ์ต่างๆภายในวงจร

ในวงจรออสซิลเลเตอร์ทั่วไปที่ใช้งานกันอยู่จะมีการออสซิลเลทได้ด้วยตัวเองโดยไม่ต้องมีการป้อนสัญญาณอินพุตเข้าไปเลยแม้แต่น้อย ทั้งนี้เพราะสัญญาณที่ช่วยกระตุ้นให้เกิดการออสซิลเลทในขณะเริ่มต้นนั้นคือสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ภายในอุปกรณ์นั้นแล้ว และการออสซิลเลทจะเกิดขึ้นตลอดเวลาเมื่อมีการป้อนแรงดันไฟตรงเลี้ยงวงจร

วงจรออสซิลเลเตอร์ทั่วไปมักจะมีการออสซิลเลทที่มีความถี่เดียว ทั้งนี้เพราะวงจรป้อนกลับที่สัญญาณจากเอาต์พุตมักจะเป็นวงจรที่ประกอบด้วยอุปกรณ์จำพวก R,L และ C ซึ่งก็เป็นที่น่าอนว่าอุปกรณ์ L และ C ย่อมให้ผลทางด้านเฟส นั่นคือจะมีความถี่ที่เป็นผลทำให้เฟสที่ได้กลับมาเสริมกับอินพุตเกิดการออสซิลเลทหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือสัญญาณเอาต์พุตเมื่อผ่านวงจรป้อนกลับแล้วจะเป็นผลทำให้ผลคูณของ A_v เดิมกับค่าของวงจรป้อนกลับมีค่าเป็น 1 พอดี

2.12.2 วงจรออสซิลเลเตอร์เบื้องต้น

วงจรออสซิลเลเตอร์เบื้องต้นที่ใช้ทรานซิสเตอร์แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 วงจรออสซิลเลเตอร์เบื้องต้น

วงจรออสซิลเลเตอร์ตามรูปที่ 2.20 นี้ มีชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า วงจรฮาร์ทลีย์ออสซิลเลเตอร์ การทำงานของวงจรอาศัยหลักการป้อนกลับด้วยวงจรรีโซแนนซ์ที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ C1 และตัวเหนี่ยวนำ L1 สัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตทางขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะป้อนกลับผ่านวงจรจูนเมื่อกลับเฟสเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

180 องศาป้อนเข้ามาทางเบสของทรานซิสเตอร์

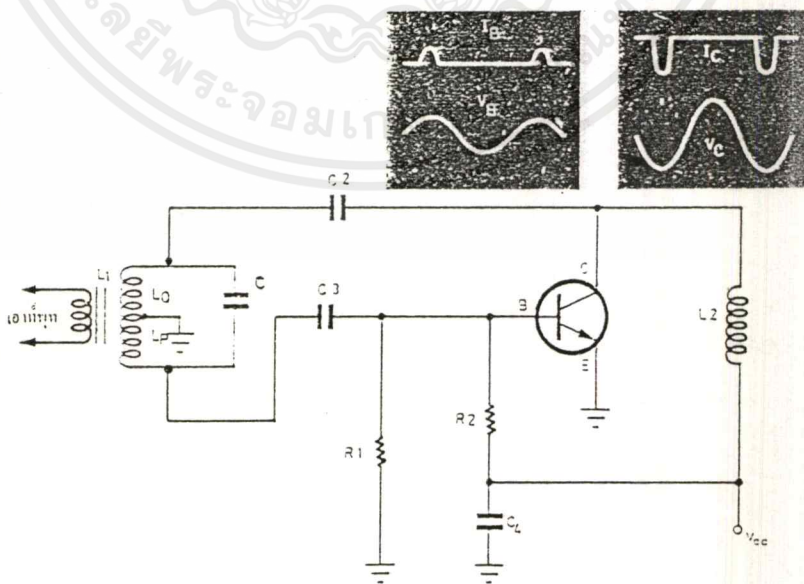
สำหรับทรานซิสเตอร์ตัวด้านทาน R1 และ R2 จะเป็นตัวไบแอสทรานซิสเตอร์ให้ทำงานในลักษณะของวงจรขยายสัญญาณ ส่วนตัวเก็บประจุ C2 เปรียบเสมือนเป็นตัวคัปปลิงสัญญาณเข้ามาทางอินพุท โดยปกติวงจรขยายชนิดขาคีมิตเตอร์ร่วมนั้นสัญญาณเอาต์พุทที่ได้ทางขาคอลเลคเตอร์ จะมีทิศเฟสตรงข้ามกับสัญญาณทางอินพุทอยู่แล้วคือมีทิศทางเฟสต่างกัน 180 องศา ผลของสัญญาณป้อนกลับจะมีทิศทางในทางเสริมกับสัญญาณอินพุททันที วงจรก็จะออสซิลเลทได้

การทำงานในแต่ละรอบของการออสซิลเลเตอร์พอจะอธิบายได้ดังนี้ ในขณะที่เริ่มแรกของการออสซิลเลทจะมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสคอลเลคเตอร์ซึ่งเป็นผลป้อนกลับมาจากด้านอินพุททางเบส กระตุ้นที่เบส โดยถ้ากระแสคอลเลคเตอร์เพิ่มขึ้นทางค่ามากขึ้นทำให้แรงดันที่คอลเลคเตอร์ลดลง การป้อนกลับจะกระตุ้นเข้ามาที่เบสด้วยค่าแรงดันน้อยลงเป็นผลทำให้กระแสลดลงและแรงดันคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะสูงขึ้นเป็นเช่นนี้เรื่อยไป

ตัวเก็บประจุ C3 ของวงจรตามรูปที่ 2.20 เป็นทางผ่าน (bypass) ของสัญญาณไฟสลับและทำนองเดียวกันก็จะเป็นตัวกันแรงดันไฟตรงเพื่อไม่ให้ลดลงกราวด์ ความถี่ของวงจรได้จากความถี่เรโซแนนซ์ของ L1 และ C1 ซึ่งเราสามารถปรับค่าความถี่เรโซแนนซ์ได้ด้วยการปรับค่าของ L1 และ C1 นั้นเอง

2.12.3 วงจรออสซิลเลเตอร์ย่านความถี่สัญญาณวิทยุ

วงจรออสซิลเลเตอร์ทรานซิสเตอร์ วงจรออสซิลเลเตอร์ทั่วไปสามารถออสซิลเลทได้ที่ความถี่ไม่สูงมากนัก แต่ถ้าเราเลือกค่าอุปกรณ์และวงจรออสซิลเลเตอร์ให้ถูกต้องแล้ววงจรสามารถออสซิลเลทได้ถึงย่านความถี่วิทยุ



รูปที่ 2.21 วงจรฮาร์ทเลย์ออสซิลเลเตอร์ที่แสดงลักษณะลูกคลื่นของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.20 เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ ย่านความถี่วิทยุวงจรหนึ่งมีชื่อว่า วงจร ฮาร์ทลีย์ออสซิลเลเตอร์ อาศัยหลักการตอบ้อนกลับโดยนำสัญญาณที่คอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ต่อเข้าอนุกรมกับวงจรรีโซแนนซ์ในบางครั้งเราจึงเรียกวงจรนี้ว่าวงจรป้อนอนุกรมฮาร์ทลีย์(Series Feed Hartley) แต่เราสามารถจัดวงจรเสียใหม่ได้ดังวงจรรูปที่ 2.21

การป้อนกลับของสัญญาณจะผ่านวงจรจูนหรือรีโซแนนซ์ ในกรณีนี้คอลเลคเตอร์ของ ทรานซิสเตอร์ต่อกับวงจรรีโซแนนซ์โดยการผ่านตัวเก็บประจุ C2 แรงดันไฟเลี้ยงป้อนเลี้ยงทรานซิสเตอร์ ทางขาคอลเลคเตอร์โดยผ่านตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำ L2 จะต้องมีค่ารีแอคแตนซ์สูงมากที่ความถี่ของการออสซิลเลท การต่อตัว เหนี่ยวนำเข้าที่ขาคอลเลคเตอร์ก็เพื่อจุดมุ่งหมาย 2 ประการ ประการแรกเป็นความต้องการให้กระแส ไฟตรงผ่านเข้าทางคอลเลคเตอร์ได้โดยตรง เพราะที่แรงดันไฟตรงตัวเหนี่ยวนำจะมีค่ารีแอคแตนซ์เป็น 0 อีกประการหนึ่งคือตัวเหนี่ยวนำจะเสมือนมีค่ารีแอคแตนซ์สูงมาก ที่ความถี่ของการออสซิลเลทจึง เสมือนเป็นการกั้นสัญญาณทางด้านไฟเลี้ยงไว้ปล่อยสัญญาณให้ผ่านตัวเก็บประจุ C2 แทน ส่วนตัว เก็บประจุ C2 จะเป็นตัวกั้นไฟตรงที่จะผ่านเข้าไปยังวงจรรีโซแนนซ์ลงกราวด์ทางจุดกึ่งกลางของขด ลวดL₀ และ L_p

ระดับการป้อนกลับและแรงดันไฟเลี้ยงมีผลอย่างมากต่อวงจรออสซิลเลเตอร์ดังตัวอย่าง เช่น ในวงจรโลคัลออสซิลเลเตอร์ของเครื่องรับวิทยุ เราต้องการระดับสัญญาณเอาต์พุทของวงจรออสซิ ลเลเตอร์ต่ำๆ ดังนั้นการป้อนกลับจะมีข้อจำกัดและแรงดันไฟเลี้ยงจะต้องมีค่าน้อย นั่นคือเราจะต้องให้ วงจรทำงานอยู่ในช่วงที่เป็นเชิงเส้นค่าเล็กๆบนกราฟลักษณะสมบัติ

วงจรออสซิลเลเตอร์ส่วนใหญ่สร้างสัญญาณที่มีขนาดใหญ่เพื่อที่จะใช้กับวงจรทรานซิสเตอร์ หรือวงจรหลอดสุญญากาศ การทำงานของวงจรอาจจะต้องเลยออกนอกช่วงที่เป็นเชิงเส้นของกราฟ ลักษณะสมบัติ สำหรับในกรณีนี้เราต้องใช้แรงดันไฟตรงเลี้ยงวงจรมีขนาดสูงได้ และการเลือกแท็ปก็ สามารถเลื่อนให้มีการป้อนสัญญาณมากๆได้ ซึ่งสามารถเลื่อนจนกระทั่งวงจรทำงานอยู่ในระดับคลา สซีดังรูปสัญญาณที่เขียนไว้ในรูปที่ สังเกตดูว่าจะมีลักษณะสัญญาณทางด้านกระแสคอลเลคเตอร์และ กระแสเบสเป็นพัลส์ ดังนั้นเราสามารถจัดวงจรไบแอสด้วยค่า R2 และ R1 ใหม่ให้วงจรทำงานในวงจ ร์คลาซีได้

ความถี่ของการออสซิลเลทของวงจรสามารถคำนวณได้จากค่ารีโซแนนซ์ของ L₀ , L_p และ C ที่ต่อป้อนกลับ เพื่อสะดวกต่อการวิเคราะห์หาค่าความถี่ สมการของการหาค่าความถี่จะเป็นดังนี้

$$f_{osc} = 1 / 2\pi [(L_p + L_0) C]^{1/2} \dots\dots\dots(2.7)$$

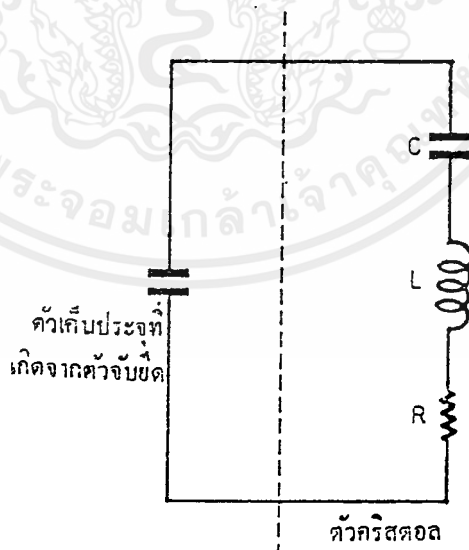
2.12.4 วงจรออสซิลเลเตอร์ใช้ผลึกควอตซ์หรือคริสตอล

ในวงจรเครื่องส่งส่วนใหญ่ที่ต้องการให้เสถียรภาพทางความถี่ของการส่งมีค่าสูง หรือความถี่มีค่าคงที่ตลอดเวลาเพื่อให้เครื่องรับสามารถจูนรับสถานีได้ถูกต้องและตลอดไป วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ให้คุณสมบัติเด่นในเรื่องเสถียรภาพทางความถี่ได้แก่วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์ นอกจากนี้วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์ยังใช้เป็นตัวสร้างสัญญาณที่มีความถี่มาตรฐานไว้สำหรับตรวจสอบเครื่องมือบางชนิดและยังใช้เป็นตัวสร้างแรงดันฐานเวลามาตรฐานให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการความเที่ยงตรง เช่น นาฬิกาอิเล็กทรอนิกส์

คริสตอลเป็นศัพท์ภาษาอังกฤษแปลว่าผลึก โดยความหมายของตัวมันเองก็คือผลึกของวัสดุบางชนิด เช่น ผลึกควอตซ์ แกลเลียมโรเซอแลต์ และทัวร์มาลีน วัสดุเหล่านี้รวมเรียกว่าไพโซอิเล็กตริก ซึ่งมีคุณสมบัติคือมันจะก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเมื่อบิดงอหรือ กดผลึกเหล่านี้ด้วยแรง และในทำนองเดียวกัน ถ้าหากเราสร้างแรงดันไฟฟ้าให้กับมัน แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวผลึกเหล่านี้จะมีผลทำให้ผลึกของวัสดุเหล่านั้นมีรูปร่างบิดเบี้ยวผิดออกไปจากเดิม

คริสตอลที่ใช้งานอยู่ทั่วไปทำมาจากผลึกควอตซ์ เมื่อมีแรงดันตกคร่อมผลึกควอตซ์ทุกที่จะเกิดการสั่น ความถี่ที่สั่นได้จะมีค่าเกือบคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของผลึกนั้น ความถี่ที่เกิดขึ้นจะยังคงเปลี่ยนแปลงได้อีกเล็กน้อยเนื่องจากอุณหภูมิ

โดยหลักการแล้วลักษณะสมบัติของคริสตอล มีลักษณะคล้ายคลึงกับวงจรรีโซแนนซ์ที่สามารถเขียนวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 2.22

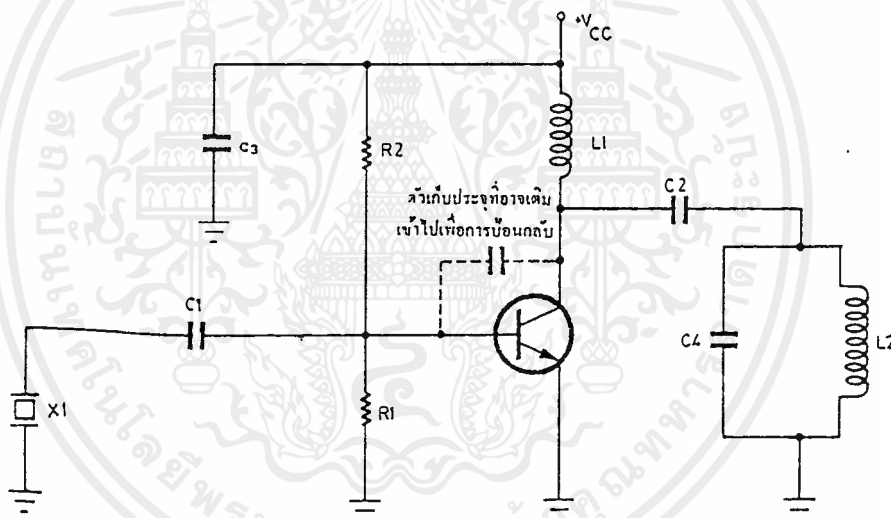


รูปที่ 2.22 วงจรสมมูลของผลึกคริสตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าตัวเหนี่ยวนำในวงจรสมมูลย์ของตัวคริสตอลจะมีค่าสูงแต่มีค่าตัวเก็บประจุต่ำมาก ตัวคริสตอลเป็นเพียงผลึกของควออร์ตซ์ที่ยังต้องอาศัยตัวจับยึดเข้ากับกระป๋องโลหะดังนั้นในส่วนของตัวจับยึดคริสตอลจึงเกิดมีลักษณะเหมือนเป็นตัวเก็บประจุที่ขนาดอยู่อีก 1 ตัวดังวงจรสมมูลย์รูปที่ 2.22 แต่เนื่องจากตัวเก็บประจุในตัวผลึกของคริสตอลที่ต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำมีค่าต่ำ ดังนั้นตัวเก็บประจุที่ต่อขนานอยู่ภายนอกจึงมีอิทธิพลต่อการออสซิลเลทของสัญญาณน้อยมากและในขณะรีโซแนนซ์นั้นส่วนของวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรมและแบบขนานเกือบจะให้ความถี่รีโซแนนซ์เป็นความถี่เดียวกัน

วงจรรอสซิลเลเตอร์ที่ใช้คริสตอลประกอบอยู่แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.23 วงจรนี้จะมีลักษณะเหมือนวงจรรอสซิลเลเตอร์ชนิดจูนอินพุท-จูนเอาต์พุทดังที่ได้กล่าวไว้แล้วแต่มีข้อแตกต่างกันตรงส่วนอินพุทตรงส่วนของตัวอุปกรณ์ที่เพิ่มแทนจูนอินพุทคือตัวคริสตอลนั่นเอง



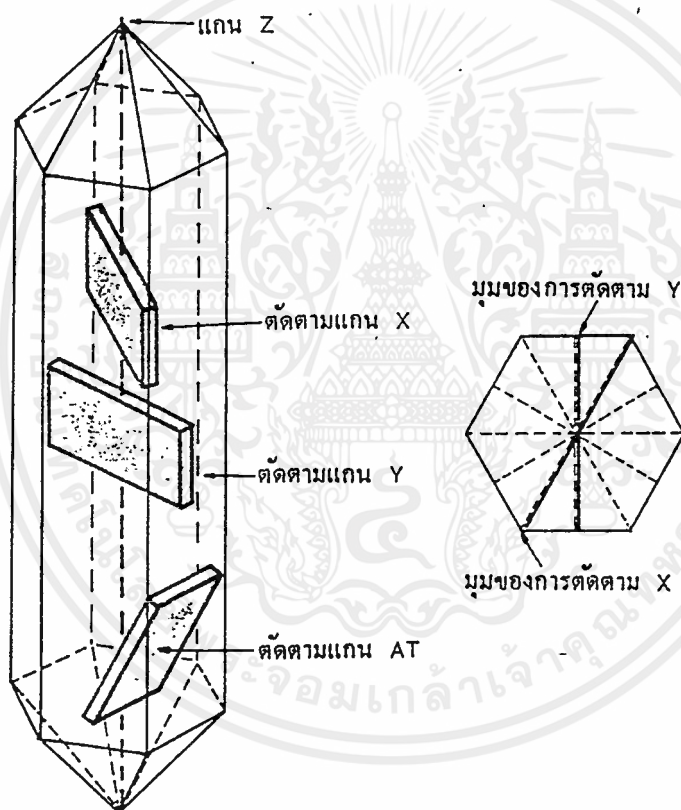
รูปที่ 2.23 วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์

วงจรรอสซิลเลเตอร์ให้เสถียรภาพทางความถี่สูงและจากวงจรรูปที่ 2.23 ส่วนของเอาต์พุทก็ยังคงเป็นวงจรรูน โดยวงจรรออาศัยตัวคริสตอลเป็นตัวกระตุ้นให้เบสทำงาน ในบางวงจรรอค่าตัวเก็บประจุระหว่างเบส-คอลเลคเตอร์ที่อยู่ภายในตัวทรานซิสเตอร์มิได้มีผลต่อการออสซิลเลทเลย

ผลึกควออร์ตซ์ที่ได้เป็นวัสดุจำพวกซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีลักษณะเหมือนแก้วในส่วนของผลึกจะมีรูปร่างเป็น 6 ด้านเหมือนปริซึม โดยผลึกควออร์ตซ์ที่ใช้งานจะได้รับการตัดด้วยลักษณะของแกน 3 แกนดังแสดงในรูปที่ 2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกน X เป็นแกนที่ลากระหว่างมุมสองมุมของแท่งปริซึม ส่วนแกน Y จะเป็นแกนที่ลากตั้งฉากกับผิวหน้าของตัวคริสตอล นั่นคือถ้าหากตัดคริสตอลตามแนวผลึกจากมุมหนึ่งไปยังอีกมุมหนึ่งที่อยู่ตรงข้ามก็เรียกว่าการตัดแบบ X (X-cut) ซึ่งผลของการตัดแบบนี้จะทำให้ความถี่ที่ได้เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ ในลักษณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่าความถี่จะลดลง แต่ถ้าตัดในแนวแกน Y ก็จะเป็นผลให้ความถี่ของการสั่นสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 2.24 แสดงผลึกควอartzและการตัดผลึก

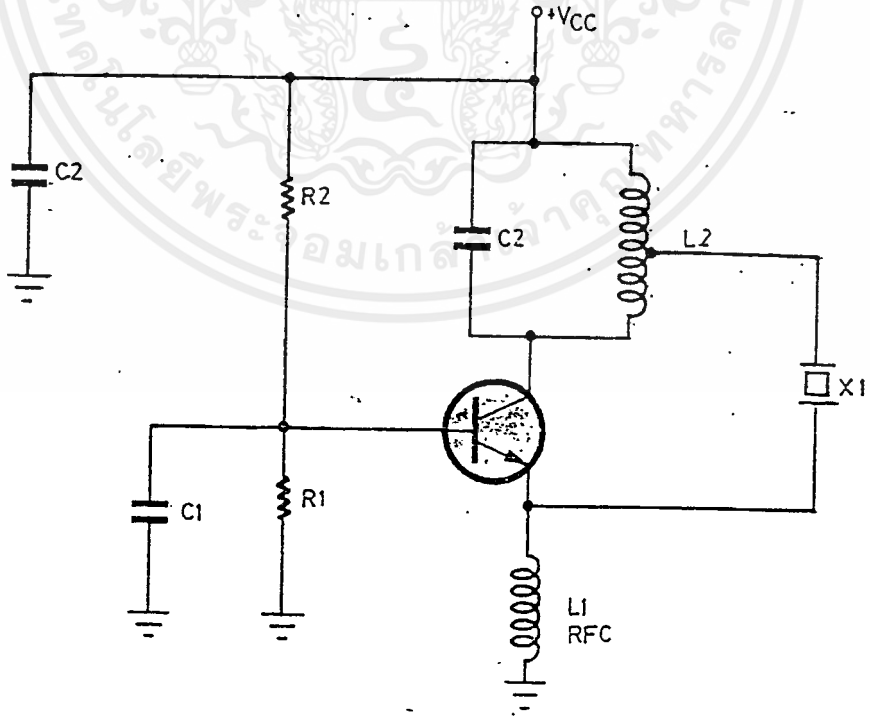
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าไม่ว่าจะตัดในแกน X หรือ Y จะเป็นผลทำให้ความถี่ของการสั่นของคริสตอลขณะรีโซแนนซ์เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิได้มาก ดังนั้นเราจึงต้องหาทางตัดแกนใดแกนหนึ่งเพื่อให้การเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิน้อยที่สุดหรือกล่าวได้ว่าไม่มีผลเลย แกนที่ใช้ในการตัดคือแกน AT ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.24

เราอาจจะตัดคริสตอลให้อยู่ในแกนอื่นๆก็ได้ในแต่ละระนาบของการตัดจะให้ผลการเปลี่ยนแปลงช่วงความถี่ต่ออุณหภูมิตลอดจนความถี่ฮาร์โมนิคที่ใช้งานแตกต่างกัน ส่วนความหนาของแผ่นคริสตอล จะเป็นตัวกำหนดความถี่ของการรีโซแนนซ์ถ้าแผ่นคริสตอลยิ่งบางก็หมายความว่าความถี่ของการรีโซแนนซ์มีค่าสูงขึ้น แผ่นคริสตอลที่ทำความถี่ได้สูงประมาณ 15 MHz ไม่เกิน 50 MHz แต่ถ้าต้องการความถี่สูงกว่านี้อีกมักใช้ฮาร์โมนิคของสัญญาณนั่นเอง

อุปกรณ์จำพวกคริสตอลเป็นอุปกรณ์ที่ค่อนข้างจะบอบบาง ดังนั้นคริสตอลจึงต้องทำงานที่ระดับพลังงานต่ำๆหรือในขณะที่ใช้งานเป็นตัวกระตุ้น ในขณะที่ป้อนกลับระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตจะต้องไม่ให้ระดับแรงดันตกคร่อมตัวมันมากเกินไป ซึ่งจะทำให้คริสตอลทำงานผิดความถี่ และเกิดความร้อนกับตัวมันมากเกินไป ซึ่งจะเป็นผลทำให้คริสตอลทำงานผิดความถี่ และถ้าเกิดความร้อนกับตัวมันสูงสุดจนมันเสียหายได้

จากที่กล่าวแล้วว่าเราใช้คริสตอลกระตุ้นวงจรออสซิลเลเตอร์ ก็เพื่อเหตุผลในเรื่องต้องการให้ได้ความถี่ที่มีค่าเสถียรภาพสูง ค่าเสถียรภาพของวงจรออสซิลเลเตอร์สามารถหาได้จากการกำหนดค่า Q ของตัวคริสตอล และสัมประสิทธิ์การผันแปรทางความถี่กับอุณหภูมิ ค่า Q ของคริสตอลมักจะมีค่าสูงกว่าค่า Q ของวงจรจูนที่ประกอบด้วย RLC ถึง 100 เท่า 1000 เท่า คริสตอลที่มีขายกันในปัจจุบันมีค่า Q ประมาณ 5000 ถึง 30000 เราจึงพอจะเห็นได้ว่าวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้คริสตอลจึงมีเสถียรภาพทางความถี่สูงกว่าวงจร LC ออสซิลเลเตอร์มาก



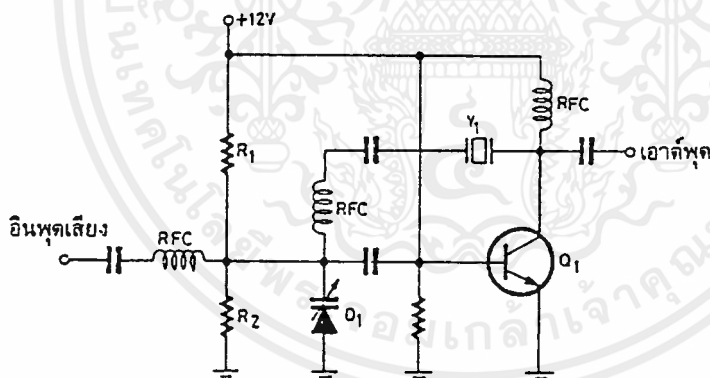
รูปที่ 2.25 วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์ จากวงจรรูปที่ 2.23 เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบหนึ่งที่ทำงานในลักษณะวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน ตัวคริสตอลจะต่อระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ตัวคริสตอลที่ใช้มีหน้าที่ควบคุมความถี่ แต่สำหรับวงจรในรูปที่ 2.25 ตัวคริสตอลทำงานในลักษณะต่ออนุกรม ดังนั้นการรีโซแนนซ์จึงเกิดในสภาวะรีโซแนนซ์แบบอนุกรม โดยให้ความถี่รีโซแนนซ์ผ่านตัวคริสตอลกลับป้อนเข้าไปยังวงจรทางด้านอินพุต (วงจรด้านเบสอิมิตเตอร์) ที่ความถี่อื่นที่ไม่ใช่ความถี่รีโซแนนซ์ ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวคริสตอลจะมีค่าสูงมาก ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตจึงไม่สามารถป้อนกลับเข้ามายังอินพุตได้ แต่ครั้งสัญญาณที่ความถี่รีโซแนนซ์เกิดขึ้น ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวคริสตอลจะลดลงต่ำมาก ทำให้สัญญาณที่ความถี่นี้สามารถป้อนกลับเข้ามาได้

2.13 มอดูเลเตอร์ใช้วาแรกเตอร์

วงจรในรูปที่ 2.26 เป็นวงจรมอดูเลเตอร์ชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยวงจรรวมตัวไดโอด ในวงจรเพียซออสซิลเลเตอร์ (Pierce oscillator) แร้งบังคับความถี่ (Y_1) สำหรับ R_1 กับ R_2 เป็นวงจรไบแอสให้แก่วงจรรวมตัวไดโอดเพื่อให้มีค่าความจุ ให้ออสซิลเลเตอร์อยู่ตรงความถี่กลางๆ เมื่อป้อนสัญญาณเสียงให้แก่วงจรรวมตัวไดโอด แรงดันเสียงก็จะบวกและลบกับไฟไบแอสทำให้ความจุเปลี่ยนแปลง และความถี่ของออสซิลเลเตอร์ก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย



รูปที่ 2.26 วงจรมอดูเลเตอร์ใช้วาแรกเตอร์

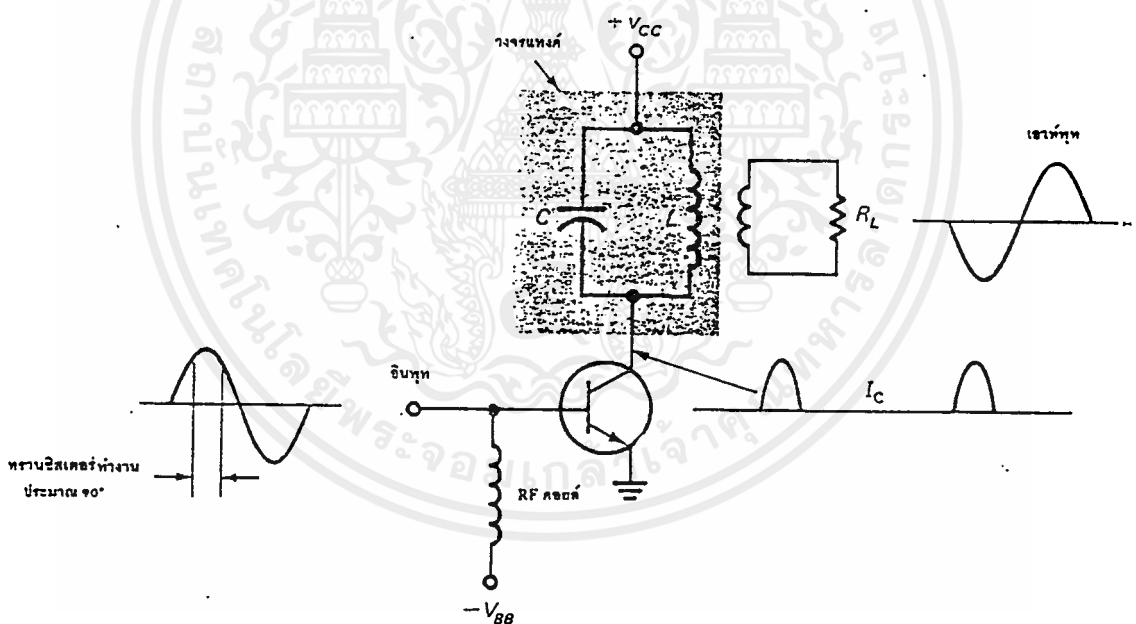
เมื่อสัญญาณเสียงแกว่ง (swing) หรือเปลี่ยนค่าไปทางบวก แรงดันไบแอสแบบกลับทางที่คร่อมวงจรรวมตัวไดโอดก็จะเพิ่มขึ้น ความจุจะลดลง ทำให้ความถี่ของออสซิลเลเตอร์สูงขึ้น เมื่อสัญญาณเสียงแกว่งไปทางลบ ไฟไบแอสกลับทางคร่อม วาแรกเตอร์ก็จะลดลง ความจุของวาแรกเตอร์จะมากขึ้น ทำให้ความถี่ของออสซิลเลเตอร์ลดลง

ถ้าสัญญาณเสียงเป็นโทน(เสียง) 1000 เฮิรตซ์ ความถี่ออสซิลเลเตอร์จะแกว่งไปมาระหว่างความถี่กลางด้วยอัตรา 1000 ครั้งต่อวินาที (อัตราเบี่ยงเบนนั่นเอง) อัตราการเบี่ยงเบนความถี่จะเท่ากับความถี่ของสัญญาณเสียง ถ้าแอมพลิจูดของสัญญาณเสียงเพิ่มขึ้น ช่วงเปลี่ยนแปลงความถี่ของวาแรกเตอร์จะกว้างมากขึ้น นั่นคือช่วงความถี่เบี่ยงเบนกว้างขึ้น

มอดูเลเตอร์ที่ใช้วาแรกเตอร์นี้ ได้รับความนิยมแพร่หลายมากเพราะสะดวกและมีเสถียรภาพดี(เพราะใช้แร่บังคับความถี่)

2.14 แอมพลิฟายเออร์แบบคลาส C

แอมพลิฟายเออร์แบบคลาส C การไบอัสขึ้นอยู่กับคัทออฟ รูปที่ 2.27 แสดงแอมพลิฟายเออร์แบบคลาส C กับขั้วพลายโวลต์เดจที่เป็นลบ (V_{BB}) ที่ต่อเข้ากับวงจรเบส แรงดันลบนี้เป็นการไบอัสกลับที่รอยต่อเบส-อิมิตเตอร์ ทราจิสเตอร์จะนำไฟฟ้าเมื่อสัญญาณอินพุตมีค่ามากกว่าการไบอัสกลับ เกิดขึ้นสำหรับรอบของสัญญาณอินพุตส่วนเล็กๆเท่านั้น และทราจิสเตอร์นำไฟฟ้าในส่วนของอินพุตเล็กๆ (90 องศาหรือน้อยกว่านี้)

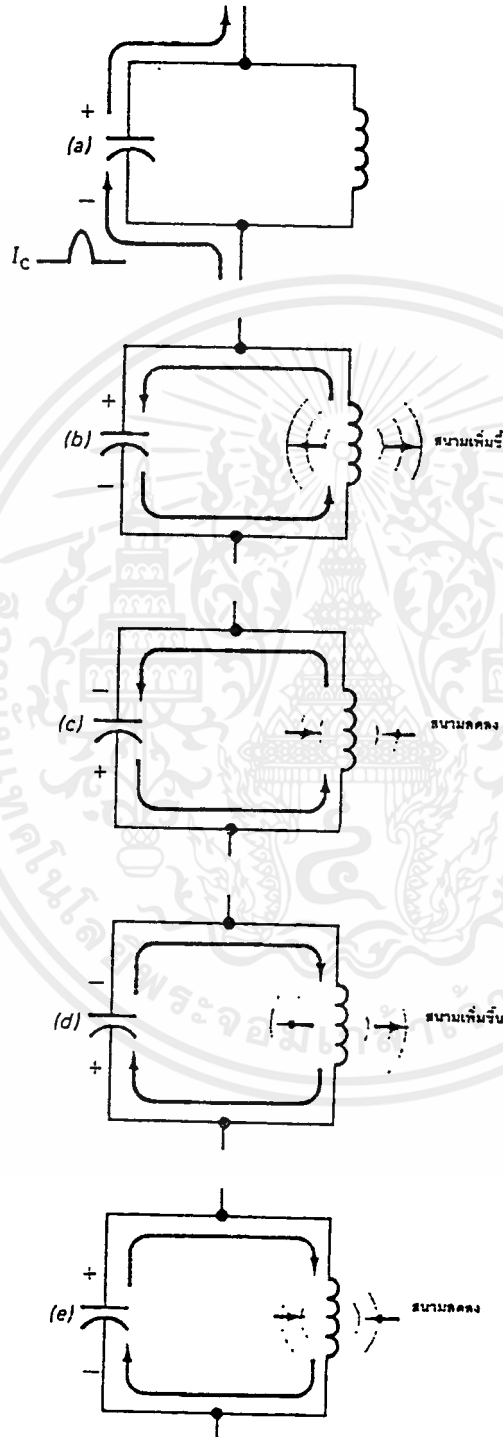


รูปที่ 2.27 แอมพลิฟายเออร์คลาส C

ในรูปที่ 2.27 รูปของกระแสคอลเลคเตอร์ไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ตลอดและไม่เป็นรูปครึ่งคลื่นไซน์ ดังนั้นความผิดเพี้ยนมากนี้ทำให้แอมพลิฟายเออร์สคลาส C ไม่สามารถนำไปใช้ในงานออดิโอได้ แต่แอมพลิฟายเออร์นี้นำไปใช้ที่ความถี่วิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.27 แสดงวงจรแท็งค์ (tank) ที่อยู่ในวงจรคอลเลคเตอร์ของแอมป์ไฟเออร์แบบคลาส C วงจรแท็งค์สร้างสัญญาณอินพุทรูปไซน์และสัญญาณนี้ตกคร่อม RL วงจรแท็งค์สร้างสัญญาณรูปไซน์แต่ไม่สามารถสร้างคลื่นรูปสี่เหลี่ยมหรือคลื่นออกดิโอที่ซับซ้อน

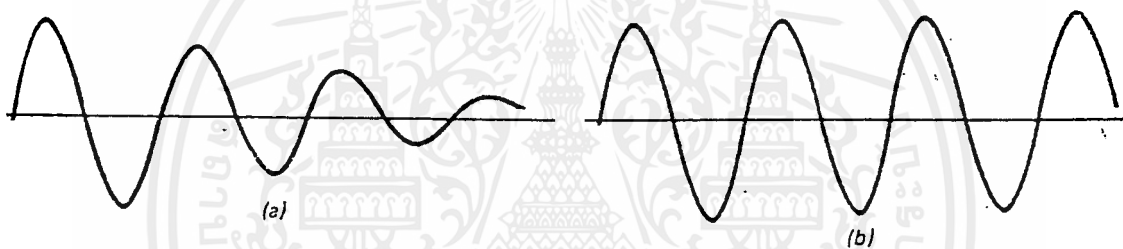


รูปที่ 2.28 การทำงานของวงจรแท็งค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.28 เป็นการอธิบายการทำงานของวงจรถึงค์พัลส์ (pulse) ของกระแสคอลเลคเตอร์ขาร์จตัวเก็บประจุ (รูป 2.28 a) หลังจากพัลส์ ตัวเก็บประจุดีสชาร์จผ่านตัวเหนี่ยวนำ (รูป 8.25 b) และพลังงานถูกสะสมในสนามรอบตัวเหนี่ยวนำเมื่อตัวเก็บประจุดีสชาร์จจนถึงศูนย์ สนาม (field) ลดลงและรักษาการไหลของกระแส (รูป 2.28 c) หลังจากที่สนามลดลง ตัวเก็บประจุเริ่มดีสชาร์จอีกครั้งไปยังขดลวดเหนี่ยวนำ สังเกตได้ว่ากระแสในตอนนี้ไหลในทิศทางตรงข้ามและสนามรอบตัวเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น ในตอนสุดท้ายสนามรอบตัวเหนี่ยวนำเริ่มลดลงและตัวเก็บประจุถูกขาร์จอีกครั้ง (รูป 2.28 e)

การทำงานของวงจรถึงค์เกิดจากการดีสชาร์จของตัวเก็บประจุไปยังตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งต่อมาดีสชาร์จไปยังตัวเก็บประจุ (เป็นเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ) ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์สะสมพลังงาน ในขณะที่พลังงานเคลื่อนย้ายจากตัวหนึ่งไปอีกตัวหนึ่ง จะทำให้เกิดคลื่นไซน์ การสูญเสียในวงจร (ความต้านทาน) จะทำให้เกิดคลื่นไซน์ลดลง ซึ่งแสดงในรูป 2.29 a และเรียกว่า damped sine wave โดยการพัลส์วงจรถึงค์ทุกรอบทำให้เกิดคลื่นไซน์เกิดขึ้นครั้งที่ ซึ่งแสดงในรูป 2.29 b ในแอมพลิฟายเออร์แบบคลาส C วงจรถึงค์จะถูกขาร์จโดยพัลส์ของกระแสคอลเลคเตอร์ทุกรอบ ซึ่งทำให้เอาท์พุทรูปไซน์มีแอมพลิจูดคงที่

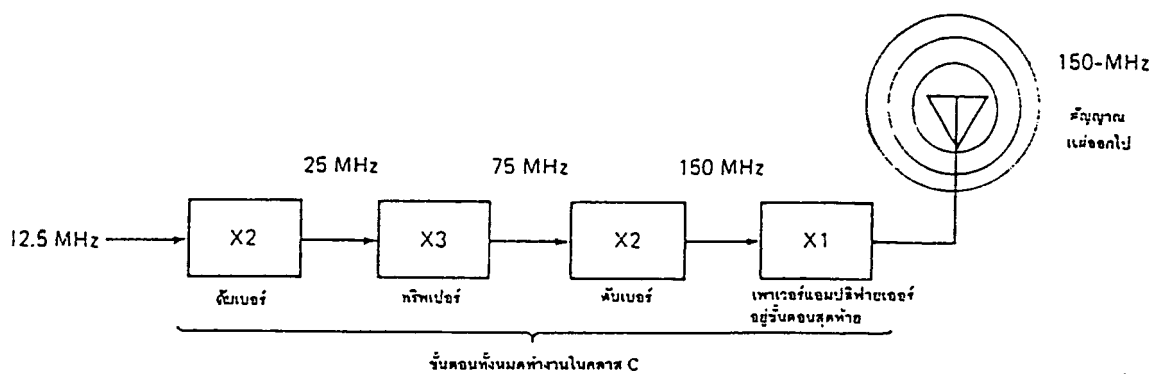


รูปที่ 2.29 รูปคลื่นของวงจรถึงค์

ค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance) และค่าความจุไฟฟ้านั้นมีความสำคัญต่อวงจรถึงค์ในแอมพลิฟายเออร์แบบคลาส C โดยที่ค่านี้ต้องวิโซแนนซ์กันที่ความถี่ของสัญญาณอินพุท สมการของวิโซแนนซ์คือ

$$f_r = 1 / 2\pi (LC)^{1/2} \dots\dots\dots(2.8)$$

ในบางกรณี วงจรถึงค์จะถูกจูนเพื่อให้วิโซแนนซ์ 2 ถึง 3 ครั้ง ที่ความถี่ของสัญญาณอินพุท และวงจรถึงค์นี้ถูกเรียกว่ามีความถี่เป็น doubler ($\times 2$) , tripler ($\times 3$) ซึ่งวงจรถึงค์นี้ใช้ที่สัญญาณความถี่สูง ตัวอย่างเช่น เครื่องส่งแบบสองทาง 150-MHz โดยการออกแบบในขั้นตอนแรก มีความถี่ต่ำกว่านี้ ต่อจากนั้นก็ทำการคูณความถี่ซึ่งทำให้ความถี่สูงขึ้นและแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมในรูป 2.30

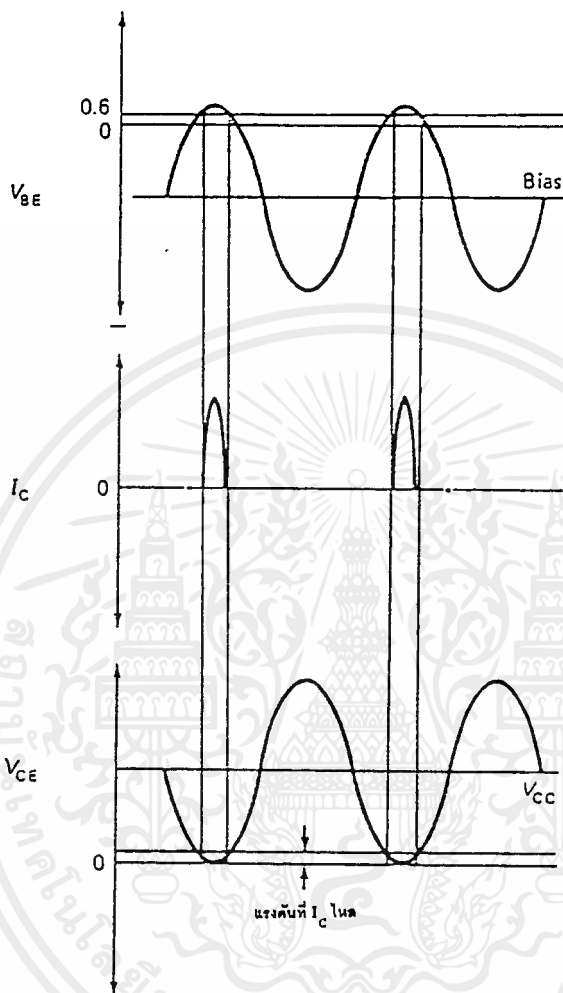


รูปที่ 2.30 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งความถี่สูง

แอมพลิฟายเออร์แบบคลาส C มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งแสดงโดยรูปคลื่นในรูป 2.31 รูปคลื่นด้านบนเป็นสัญญาณอินพุตโดยที่ยอดของสัญญาณอินพุตทางด้านบนถูกไบอัสตรงให้กับรอยต่อเบส-อิมิตเตอร์ และในซีกคอนทราซันซิสเตอร์เกิดขึ้นที่ 0.6 V สัญญาณอินพุตส่วนมากต่ำกว่านี้เพราะการไบอัสที่ค่าลบ (V_{BE}) รูปคลื่นตรงกลางของรูป 2.31 คือกระแสคอลเลคเตอร์ (IC) โดยที่มีรูปแบบเป็นพัลส์แคบๆ รูปคลื่นล่างสุดเป็นสัญญาณเอาต์พุตซึ่งเป็นรูปไซน์เนื่องจากการทำงานของวงจรแท็งค์ สังเกตได้ว่าพัลส์ของกระแสคอลเลคเตอร์เกิดขึ้นเมื่อรูปคลื่นเอาต์พุตมีค่าใกล้ศูนย์ ซึ่งหมายความว่ามีการจ่ายพลังงานเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกิดขึ้นบนทรานซิสเตอร์

$$P_c = V_{ce} \times I_c = 0 \times I_c = 0\text{ W} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

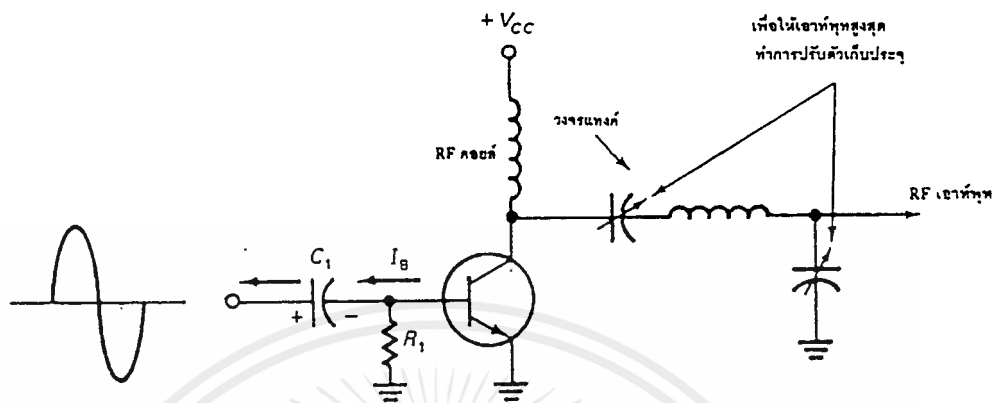
ถ้าไม่มีกำลังสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นกำลังทั้งหมดกลายเป็นกำลังของสัญญาณและสรุปได้ว่าแอมพลิฟายเออร์แบบคลาส C มีประสิทธิภาพ 100 % ในความเป็นจริงมีการสูญเสียในทรานซิสเตอร์เนื่องจาก V_{ce} ไม่เป็นศูนย์ และวงจรแท็งค์จะทำให้เกิดการสูญเสียเล็กน้อย แอมพลิฟายเออร์แบบคลาส C ที่ใช้ในทางปฏิบัติมีประสิทธิภาพ 85 % ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมใช้ที่ความถี่วิทยุที่ซึ่งวงจรแท็งค์สามารถสร้างสัญญาณไซน์ได้



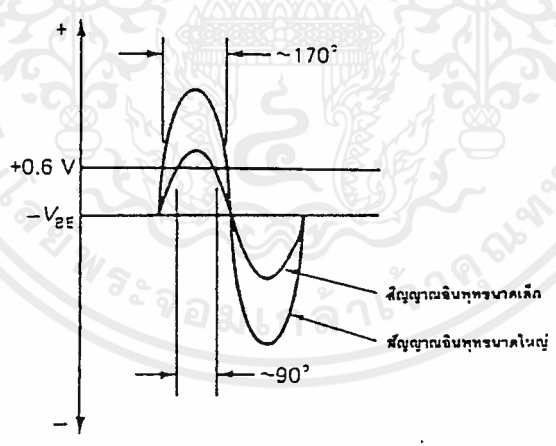
รูปที่ 2.31 รูปคลื่นของแอมพลิฟายเออร์แบบคลาส C

เพาเวอร์แอมพลิฟายเออร์แบบคลาส C ในทางปฏิบัตินั้น นานๆ ครั้งถึงจะใช้ไบอัสที่พลายที่แน่นอน (fixed bias supply) ให้กับวงจรเบสซึ่งเป็นวิธีที่ดีกว่าการไบอัสด้วยสัญญาณ (signal bias) และแสดงในรูป 2.32 ขณะที่สัญญาณอินพุตไปทางบวก (เกิดจากการไบอัสตรงที่รอยต่อเบส-อิมิตเตอร์) กระแสเบส I_B ไหลตามรูปและกระแสนี้ชาร์จ C1 ตัวด้านทาน R1 ดิสชาร์จ C1 ระหว่างยอดบวกของสัญญาณอินพุต ตัวด้านทาน R1 ไม่สามารถดิสชาร์จ C1 ได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงยังคงเหลือแรงดันตกคร่อม C₁ ซึ่งเป็นไบอัสที่พลายและขีดของ C₁ ไบอัสกลับที่รอยต่อเบส-อิมิตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 แอมพลิฟายเออร์แบบคลาส C โดยการไบอัสด้วยสัญญาณ



รูปที่ 2.33 มุมการนำไฟฟ้าเปลี่ยนกับระดับสัญญาณ

ข้อดีของการไบอัสด้วยสัญญาณคือสามารถปรับค่าได้ตามระดับของสัญญาณอินพุตแอมพลิฟายเออร์แบบคลาส C ถูกออกแบบให้มีมุมการนำไฟฟ้าเล็กเพื่อทำให้มีประสิทธิภาพสูง ถ้าแอมพลิฟายเออร์ใช้การไบอัสแบบแน่นอน มุมของการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตเพิ่มขึ้น (รูป 2.33 แสดงเหตุผลของสิ่งนี้) มุมของการนำไฟฟ้า 2 มุมในการไบอัสแบบคงที่ของ $-V_{BE}$ แสดงบนกราฟ สำหรับสัญญาณขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูมมีค่าประมาณ 90 องศา และสำหรับสัญญาณขนาดใหญ่มูมมีค่า 170 องศา ซึ่งมีขนาดใหญ่มาก จึงทำให้ประสิทธิภาพของการแอมพลิฟายเออร์แย่ง แอมพลิฟายเออร์อาจจะร้อนมากเนื่องจากกระแสเฉลี่ยไหลมากขึ้น การไบอัสด้วยสัญญาณมีข้อดีกว่าในปัญหานี้ เนื่องจากมูมการนำไฟฟ้ามีค่าคงที่ ตัวอย่างเช่นสัญญาณอินพุท ในรูป มีขนาดใหญ่ขึ้น ประจุเฉลี่ยบน C_c จะเพิ่มขึ้นและทำให้การไบอัสกลับ(-V_{BE}) เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่ามูมของการนำไฟฟ้าเล็กน้อย วงจรของการไบอัสด้วยสัญญาณมีการปรับอย่างอัตโนมัติเพื่อเปลี่ยนแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุทและรักษามูมของการนำไฟฟ้าให้คงที่

รูป 2.32 แสดงวงจรแท็งค์อีกชนิดและเรียกว่า L network ซึ่งแมทช์กับอิมพีแดนซ์ของทรานซิสเตอร์ และโหลด เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในความถี่วิทยุปกติมีเอาต์พุทอิมพีแดนซ์ 2 โอห์ม และโหลดอิมพีแดนซ์มาตรฐานในงาน R_f คือ 50 โอห์ม ดังนั้น L network จำเป็นต้องแมทช์กับทรานซิสเตอร์และ 50 โอห์ม



บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง

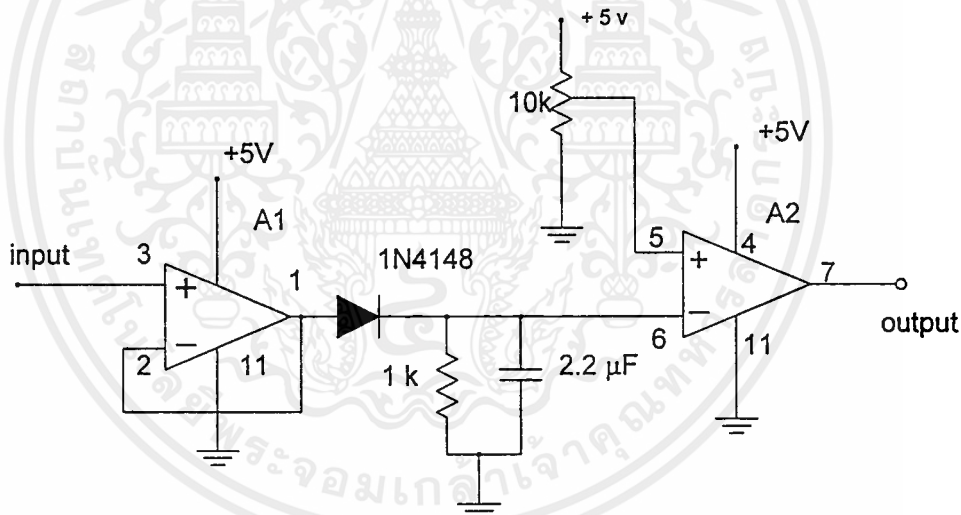
ในบทที่ 2 นั้น เราได้กล่าวถึงบล็อกไดอะแกรมของเครื่อง Single Frequency Repeater ไปแล้ว สำหรับในบทนี้ เราจะกล่าวถึงรายละเอียดของวงจร การคำนวณและการสร้างวงจรในแต่ละภาคดังนี้

3.1 ภาคเช็คการกดคีย์

ภาคนี้จะมีหน้าที่ตรวจสอบการกดคีย์และปล่อยคีย์ของลูกข่าย โดยอินพุตที่เข้ามาในวงจรนี้จะเป็นสัญญาณ noise detect ที่ได้มาจากเครื่องรับของระบบรีพีทเตอร์ ลูกข่ายที่จะใช้รีพีทเตอร์จะกดคีย์ส่งมาทำให้วงจรรับรู้ว่ามีการกดคีย์

ปกติเมื่อยังไม่กดคีย์สัญญาณ noise detect จะเป็น low แต่เมื่อลูกข่ายกดคีย์ สัญญาณ noise detect ที่ได้จะเป็น high

การสร้างวงจรในภาคนี้ เราจะใช้วงจรตรวจจับระดับแรงดัน โดยจะเลือกใช้วงจรตรวจจับระดับแรงดันที่เป็นบวกแบบกลับเฟสหรืออินเวอร์ตติ้ง (A_2) และจะใช้วงจรบัฟเฟอร์ (A_1) ตรงส่วนหน้าของภาคนี้ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรภาคเช็คการกดคีย์ของเครื่องส่ง

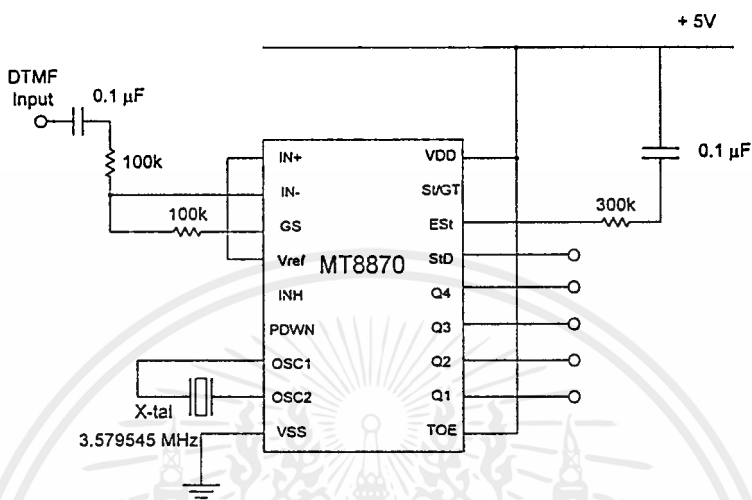
การทำงานของวงจร

ปกติเมื่อยังไม่กดคีย์ที่อินพุตของ A_1 ขาววก ซึ่งทำงานเป็นบัฟเฟอร์จะมีระดับแรงดันต่ำ ทำให้ไดโอด 1N4148 ไม่ทำงาน ทำให้โวลต์เตจที่ขาบวกของ A_2 สูงกว่าขาลบ ดังนั้นเอาต์พุตของ A_2 จึงออกมาเป็น high แต่เมื่อกดคีย์จะทำให้ระดับแรงดันที่ขาบวกของ A_1 สูง ส่งผลให้ไดโอดทำงาน ก็จะมีประจุมาชาร์จที่คาปาซิเตอร์ ทำให้โวลต์เตจที่ขาลบ A_2 สูงกว่าขาบวก ดังนั้นเอาต์พุตที่ออกมาจึงเป็น low

ดังนั้นถ้ากดคีย์จะทำให้เอาต์พุตของภาคนี้เป็น low และถ้าไม่กดคีย์จะทำให้เอาต์พุตของภาคนี้เป็น high

3.2 ภาค DECODE DTMF

ใช้ MT8870 แปลงสัญญาณ DTMF ให้เป็นรหัส BCD 4 บิต โดยต่อ MT8870 กับอุปกรณ์ภายนอกตามรูปแบบมาตรฐานเฉพาะ(specification)ของไอซีดังรูปที่ 3.2 จะได้ค่าคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ (electronic characteritics) ต่างๆดังตารางในภาคผนวก



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรใช้งานของ MT8870

และสามารถคำนวณหาการรีดไทม์ได้จากสูตร

$$t_{REC} = t_{OP} + t_{GTP} \dots\dots\dots(3.1)$$

เมื่อ $t_{GTP} = (RC) \ln (V_{DD}/V_{DD} - V_{TSL}) \dots\dots\dots(3.2)$

โดยค่าของตัวแปรบางตัวหาได้จากตารางแสดงคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ในภาคผนวก

3.3 ภาค TONE

ภาคนี้จะทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณ TONE เพื่อบอกสถานะของการปิด-เปิด เครื่องรีพีทีเตอร์ โดยเราจะใช้ไอซี 555 ทำงานในสถานะอะอสเตเบิลล์มัลติไวเบเรเตอร์ ให้ผลิตความถี่ออกมาประมาณ 1 KHz

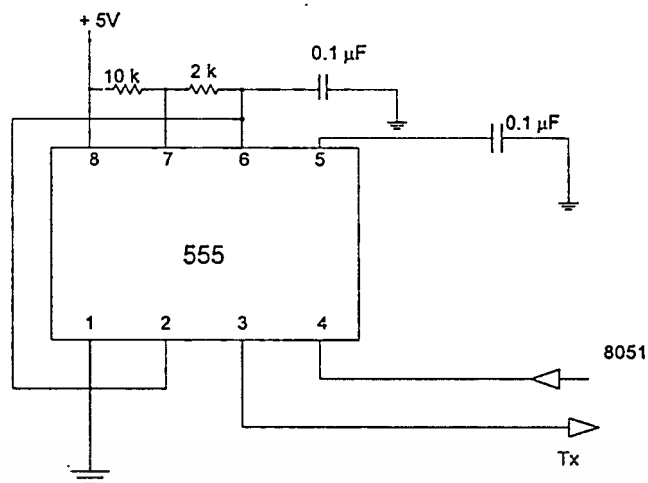
จากสูตร $f = 1.44 / (R_a + 2R_b) C \dots\dots\dots(3.3)$

ถ้าเราเลือกใช้ $R_a = 10 K\Omega$, $R_b = 2 K\Omega$ และ $C = 0.1 \mu F$

เราจะได้ $f = 1.44 / \{ 10 K\Omega + 2 (2 K\Omega) \} 0.1 \mu F$
 $= 1.028 KHz$

ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความถี่ที่เรากำหนดไว้ ดังนั้นวงจรของภาค TONE จึงเป็นตามรูปที่ 3.6

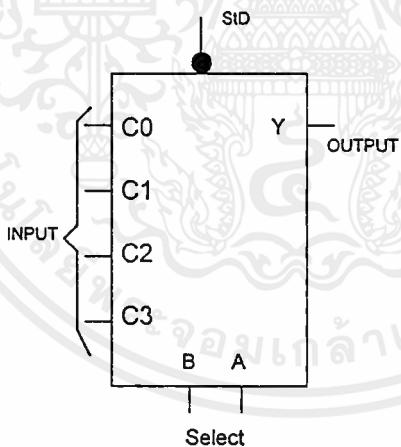
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรภาค TONE

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่า เาท์พุทที่ขา 3 ของไอซี 555 จะผลิตความถี่ออกมาประมาณ 1 KHz การควบคุมการทำงานจะใช้ขา 4 ของไอซี 555 โดยสั่งการควบคุมมาจาก TONE SW ให้ทำการ enable และ disable ความถี่ที่ผลิตออกมา เพื่อใช้เป็นสัญญาณ TONE บอกสถานะของการ on หรือ off ของเครื่องรีพิตเตอร์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการกำหนดความถี่ออกมาคือ R_a , R_b และ C ที่ประกอบอยู่ในวงจร

3.4 ภาค CODE REF



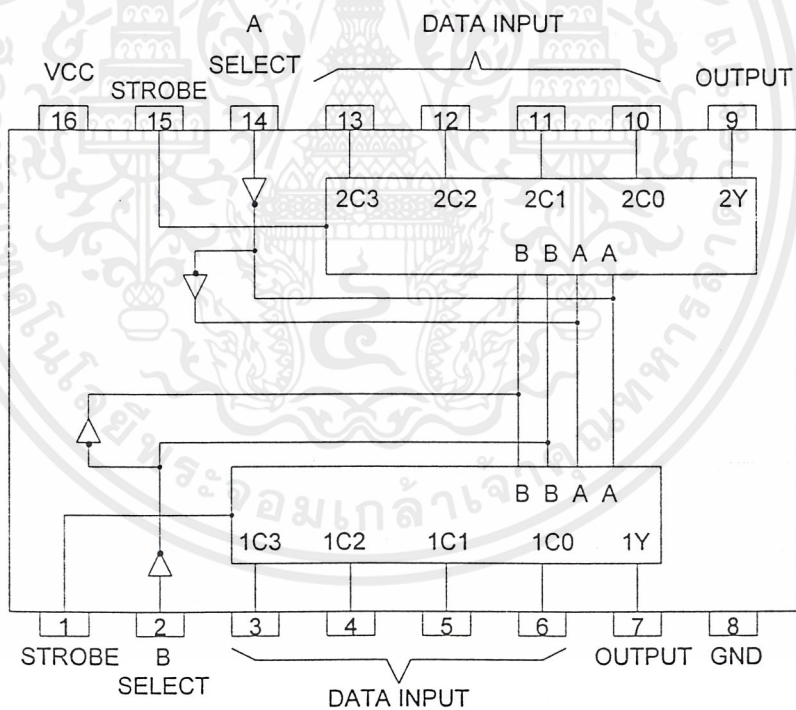
รูปที่ 3.4 แสดง 4 to 1 line data selector/multiplexer

การทำงานของวงจรภาค CODE REF ย่อมาจาก code reference จะใช้ไอซี 74153 ซึ่งเป็นไอซีมัลติเพล็กซ์ ชนิด dual 4 to line data selector/multiplexer จะทำการเลือกข้อมูลจากดิปสวิทซ์เพียง 1 เส้น จาก 4 เส้นออกไปยังเอาต์พุทโดยควบคุมผ่าน Data Select ดังตารางที่ 3.1

SELECT INPUT		DATA INPUTS				STROBE	OUTPUT
B	A	C0	C1	C2	C3	G	Y
X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	X	X	X	L	L
L	L	H	X	X	X	L	H
L	H	X	L	X	X	L	L
L	H	X	H	X	X	L	H
H	L	X	X	L	X	L	L
H	L	X	X	H	X	L	H
H	H	X	X	X	L	L	L
H	H	X	X	X	H	L	H

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

ตารางที่ 3.1 Function Table ของไอซี 74153

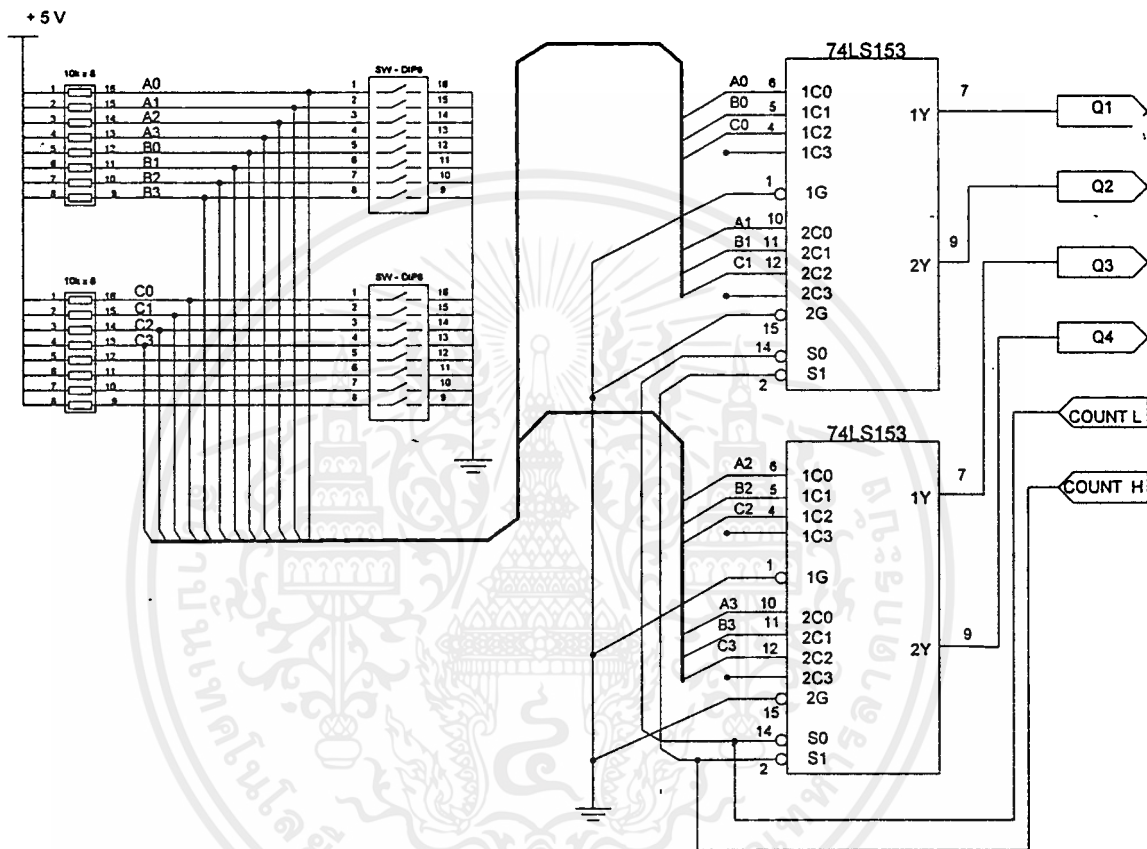


รูปที่ 3.5 แสดงวงจรภายในของไอซี 74153

ในตัว 74153 หนึ่งตัวจะมีมัลติเพล็กซ์อยู่สองตัว ดังนั้นในการเลือก(select) 1 ครั้งจะได้เอาต์พุต 2 ตัว ตัวอย่างเช่นหากเราเลือกด้วยรหัส "00" จะได้อินพุตของขา 6 ออกมาที่ขา 7 และอินพุตขา 10 ออกมาที่เอาต์พุตขา 9 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น หากเราต้องการให้ได้รหัสไบนารี 4 บิต จึงต้องใช้ไอซี 74153 จำนวน 2 ตัว แสดงการต่อวงจร
 สมบูรณ์ร่วมกับดิปสวิทช์เพื่อใช้ในการกำหนดรหัส ดังรูปที่ 3.6 โดยกำหนดให้
 ดิปสวิทช์ตัวที่ 1 (1 - 4) เก็บรหัสตัวที่ 1 select ด้วยรหัส "00"
 ดิปสวิทช์ตัวที่ 1 (5 - 8) เก็บรหัสตัวที่ 2 select ด้วยรหัส "01"
 ดิปสวิทช์ตัวที่ 2 (1 - 4) เก็บรหัสตัวที่ 3 select ด้วยรหัส "10"



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรสมบูรณ์ของภาค CODE REF

3.5 ภาค REC / PLAY

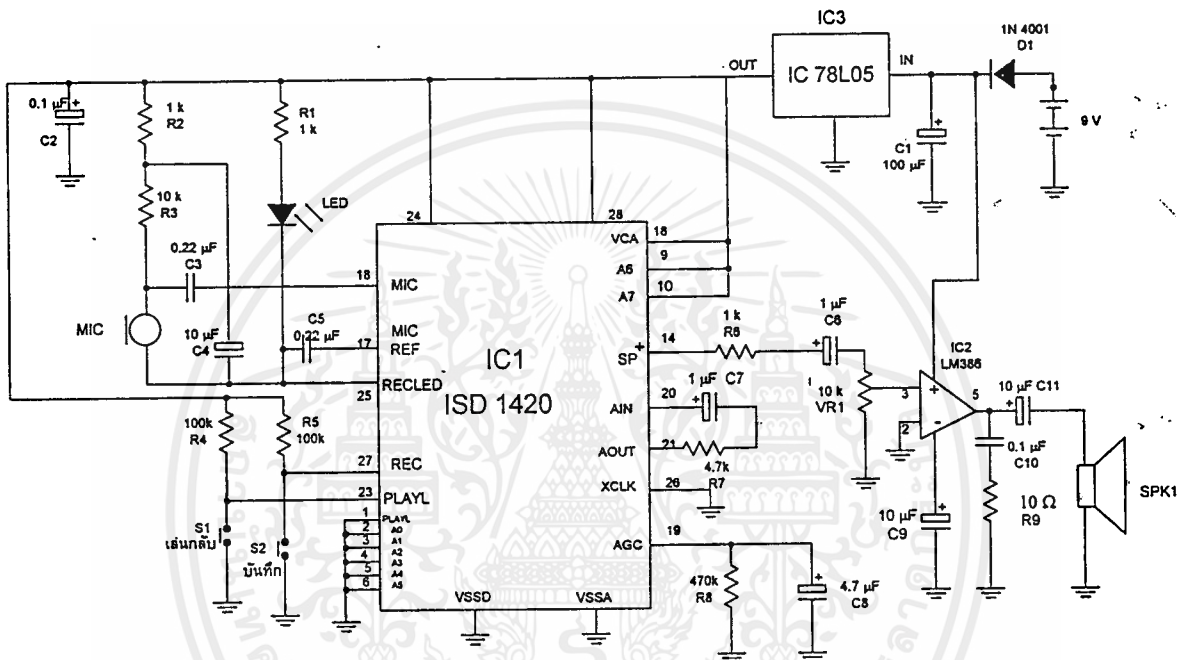
ภาคนี้เป็นวงจรอัดเสียงพูด โดยอาศัยแนวความคิดเหล่านี้

- ต้องปราศจากกลไก
- สามารถทวนข้อความซ้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถเรียกข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว
- สามารถใช้ร่วมกับ CPU ได้

เราจึงเลือกใช้ ISD 1420 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้บันทึกเสียงที่ปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้น คือมีวงจรสำหรับควบคุมการทำงานให้มีความแน่นอนมากขึ้นและมีส่วนควบคุมให้กลับเข้าสู่โหมดสแตนด์บาย หรือปิดตัวเองโดยอัตโนมัติ เมื่อไม่มีการบันทึกหรือเล่นกลับ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานจากแบตเตอรี่ อีกทั้งไอซีเบอร์นี้ต้องการอุปกรณ์ต่อร่วมภายนอกน้อยมาก และมีคุณสมบัติตรงตามแนวความคิดของเรา ซึ่งวงจรมบูรณของเครื่องบันทึกเสียงถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรต่อร่วมภายนอกของไอซี 1420

การทำงานของวงจร

วงจรมบูรณของเครื่องบันทึกเสียงไร้เส้นเทปนี้แสดงดังรูปที่ 3.7 เป็นวงจรที่ง่ายและใช้อุปกรณ์น้อยชิ้น การทำงานเริ่มต้นโดย เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงจากแบตเตอรี่ 9 โวลท์ให้วงจร IC, เบอร์ ISD 1420 ก็พร้อมที่จะรับข้อมูลเพื่อทำการบันทึก โดยเมื่อสวิตช์ S₂ ถูกกดให้ต่อวงจร ทำให้ขาที่ควบคุมการบันทึก (REC) มีสถานะเป็น 0 ในขณะนี้ก็จะเกิดการบันทึกเสียงเข้าไปใน IC, โดยมีคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (MIC₁) ทำหน้าที่รับสัญญาณเสียงและ R₂, R₃ เป็นตัวจำกัดไบโอดสให้กับไมค์ สัญญาณจะถูกคัปปลิ่งผ่าน C₃ มาเข้าที่ขา 18 เพื่อทำการขยายสัญญาณให้แรงขึ้น สัญญาณที่ผ่านการขยายโดยวงจรปริแอมป์จะออกมาทางขา 21 ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุท และคัปปลิ่งผ่าน R₇ และ C₇ เข้าขา 20 ซึ่งเป็นวงจรขยายสัญญาณภายในไอซีเช่นกัน สัญญาณที่ถูกขยายจะถูกบันทึกลงในหน่วยความจำภายในไอซีที่ขา 25 (RECLEAD) เป็นขาขับชุดแสดงสถานะขณะทำการบันทึก ซึ่งแสดงผลโดย LED1 ที่ขา 19 มีตัวต้านทาน R₈ และ C₈ จัดเป็นวงจรรักษาระดับ

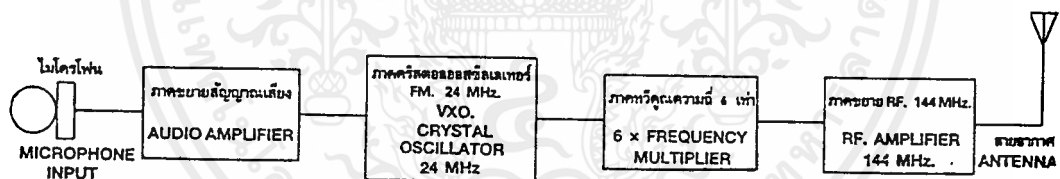
สัญญาณการบันทึกให้คงที่หรือ AGC (Automatic Gain Control) เพื่อให้สัญญาณของการบันทึกมีความเหมาะสม เมื่อเล่นกลับสัญญาณจะได้ไม่เกิดความผิดเพี้ยน

เมื่อทำการบันทึกไปจนครบเวลาที่กำหนดไว้คือ 20 วินาที วงจรบันทึกจะหยุดทำงานทันที หากต้องการเล่นกลับก็ต้องควบคุมที่ขา 23 (PLAY) ด้วยระดับลอจิก ' 0 ' โดยการกด S₁ กระบวนการเล่นกลับก็จะทำงานขึ้นภายในตัวไอซีและให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาทางขา 14 ถึงแม้ว่าเอาต์พุตนี้จะสามารถขับลำโพงเล็กๆ ได้โดยตรง แต่อาจมีระดับความดังของเสียงค่อยไปอีก ดังนั้นจึงเพิ่มภาคขยายเสียงเข้าไปอีก โดยสัญญาณจะถูกขับปลั่งผ่าน R₆ และ C₆ มาเข้าโวลุ่ม VR₁ สัญญาณจะถูกส่งเข้าสู่ขา 3 ของ IC₂ เบอร์ LM 386 ซึ่งเป็นไอซีขยายเสียงที่รู้จักกันดี สัญญาณที่ผ่านการขยายแล้วจะออกมาทางขา 5 ของ IC₂ ผ่าน C₁₁ ขับออกสู่ลำโพง SPK₁ โดยมี C₁₀ และ R₉ ทำหน้าที่ชดเชยย่านความถี่สูงและป้องกันการออสซิลเลตทางเอาต์พุตของวงจขยายแรงดันไฟเลี้ยงวงจรได้จากแบตเตอรี่ 9 โวลท์ ซึ่งแรงดันนี้สามารถจ่ายให้กับ IC₂ ได้โดยตรง แต่สำหรับ IC₁ ต้องการแรงดันไฟตรง +5 โวลท์ จึงต้องเพิ่มชุดเรกูเรเตอร์ IC₃ เพื่อควบคุมแรงดันให้คงที่ โดยมี D₁ เป็นตัวป้องกันการต่อแรงดันแบตเตอรี่ผิดขั้ว

วงจรตามรูปที่ 3.7 นี้ จะใช้สวิตช์ S₁ , S₂ แทนการสั่งงานจาก CPU ให้วงจรทำการเล่นหรืออัดเสียงตามคำสั่ง

3.6 ภาคเครื่องส่ง

จากหลักการการทำงานของเครื่องส่ง สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ตามรูปที่ 3.8

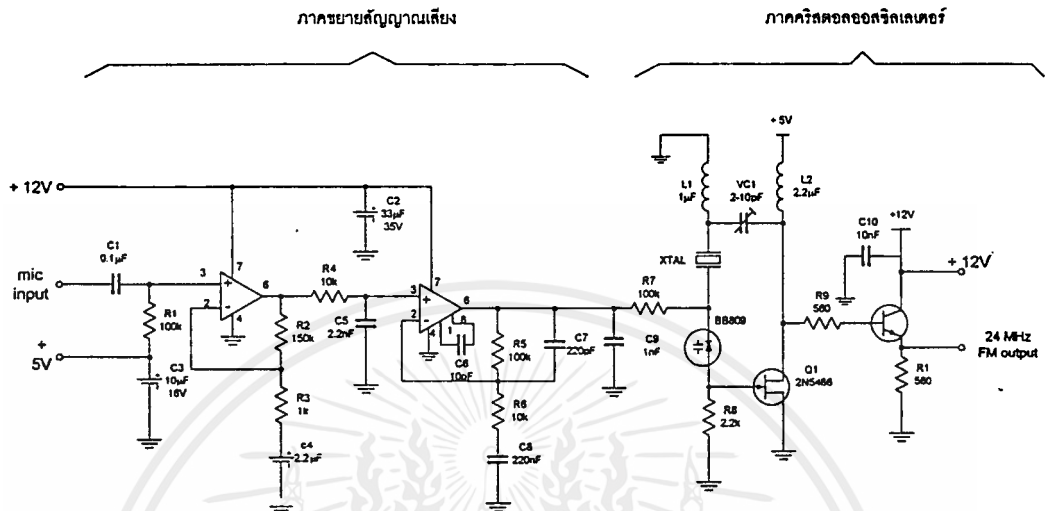


รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องส่ง

จากบล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานในรูปที่ 3.8 ไมโครโฟนจะส่งสัญญาณเสียงเข้าไปขยายที่ภาคขยายสัญญาณเสียง (AUDIO AMPLIFIER) สัญญาณเสียงที่ออกจากภาคขยายสัญญาณจะถูกส่งต่อไปมอดดูเลท(modulate)กับสัญญาณความถี่วิทยุ 24 MHz ซึ่งผลิตขึ้นจากภาคออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมความถี่ด้วยแร่คริสตัล 24 MHz (CRYSTAL OSCILLATOR 24 MHz) หลังจากมอดดูเลทกับความถี่เสียงแล้วความถี่ 24 MHz จะเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเสียงที่เข้ามามอดดูเลทด้วยซึ่งเป็นไปตามหลักการมอดดูเลทคลื่นสัญญาณในระบบ FM จากนั้นสัญญาณความถี่ 24 MHz ที่ผ่านมอดดูเลทกับสัญญาณเสียงแล้วจะถูกส่งไปยังภาคทวีคูณความถี่ (FREQUENCY MULTIPLIER) เพื่อทวีคูณความถี่ขึ้นไปอีก 6 เท่าจากความถี่ 24 MHz เป็น 144 MHz (24x6=144) สัญญาณความถี่วิทยุ 144 MHz ที่ได้จะถูกส่งไปขยายสัญญาณให้มีกำลังแรงขึ้น

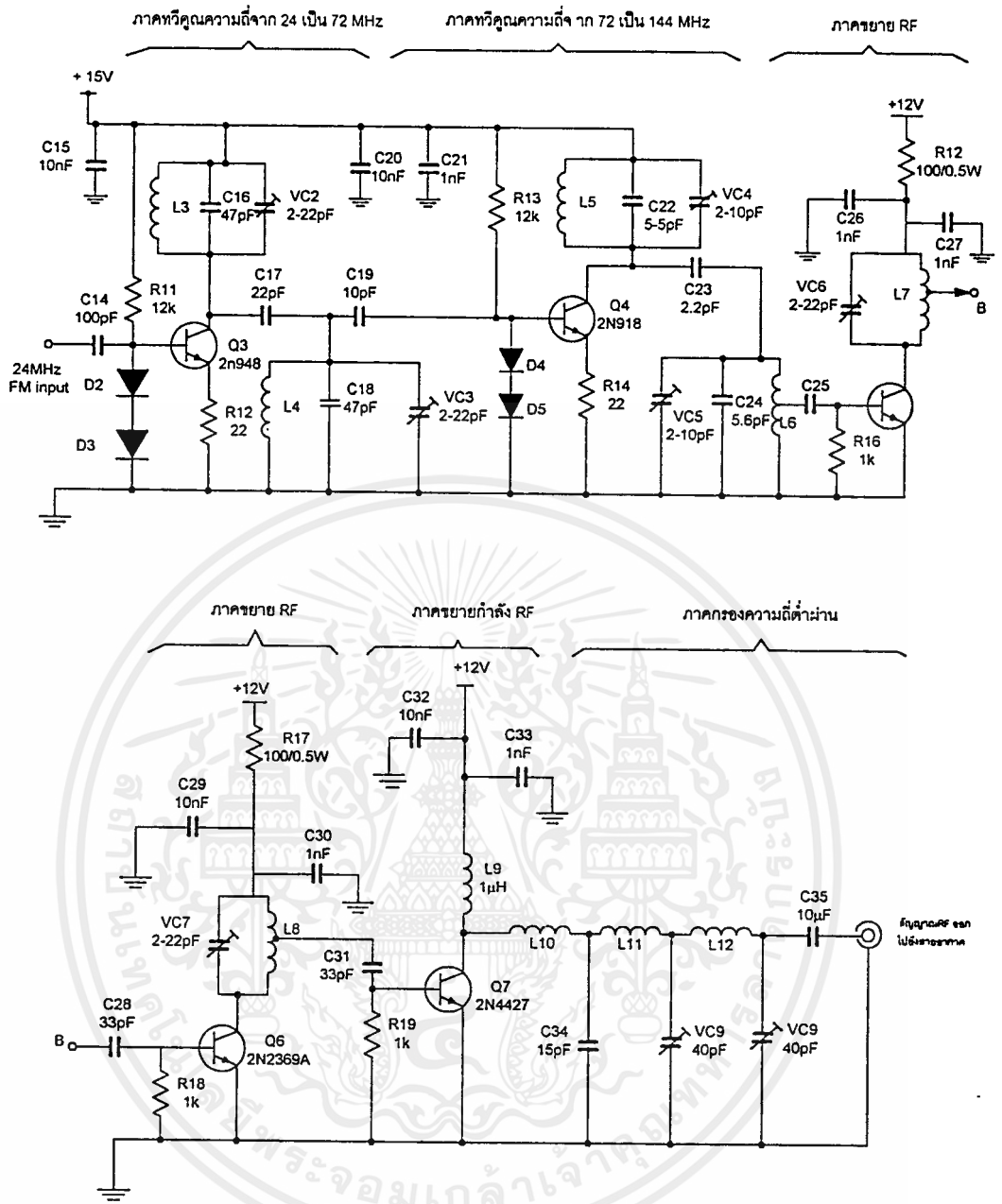
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ภาคขยายกำลังความถี่วิทยุ 144 MHz (144 MHz. RF. AMPLIFIER) ก่อนส่งสัญญาณไปออกอากาศที่สายอากาศ (ANTENNA) จากบล็อกไดอะแกรมเราจะเลือกใช้งานจรมรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9.2

รูปที่ 3.9 วงจรเครื่องส่ง 144 MHz

3.9.1 วงจรภาคขยายสัญญาณเสียงและวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์

3.9.2 วงจรภาคทวีคูณความถี่, ภาคขยายกำลัง RF และภาคกรองสัญญาณออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

ในรูปที่ 3.9.1 เป็นวงจรขยายสัญญาณเสียง (AUDIO AMPLIFIER) และวงจรออสซิลเลเตอร์ซึ่งควบคุมความถี่ด้วยแร่คริสตอล วงจรออสซิลเลเตอร์ดังกล่าวนี้ถึงแม้จะมีการควบคุมความถี่ด้วยแร่คริสตอลแต่ก็เป็นวงจรที่ออกแบบมาให้ความถี่เปลี่ยนแปลงได้บ้างเล็กน้อยเมื่อมีสัญญาณเสียงเข้ามามอดด้วย เพื่อต้องการให้มีผลในการมอดสัญญาณแบบ FM. วงจรออสซิลเลเตอร์ในลักษณะที่นี้มีชื่อย่อว่า VXO (Variable Frequency Crystal Oscillator)

สัญญาณเสียงจากไมโครโฟนจะถูกขยายด้วย IC1 และ IC2 เพื่อต้องการให้ได้ระดับสัญญาณสูงมากพอที่จะเป็นไบอัสให้กับวาริแคปไดโอด (Varicap diode) D1 เกนการขยายสัญญาณของวงจรขยายเสียงนี้หาได้จากอัตราส่วนของ R2 กับ R3 และ R5 กับ R6 จากค่าที่ใช้ในวงจรแทนที่ได้มีค่าประมาณ 1,660 ซึ่งมากเพียงพอต่อการใช้งานกับไดนามิคไมโครโฟน (dynamic microphone) โดยเฉลี่ยทั่วไป

ไฟจ่าย +5 V ที่ผ่านตัวต้านทาน R1 เข้าไปยังขา 3 ซึ่งเป็นขาอินพุตสัญญาณบวกของ IC1 เพื่อเป็นการจัดค่าแรงไฟเฉลี่ยที่ตกคร่อมวาริแคปไดโอด D1 โดยไอซีออฟแอมป์ (IC1,IC2) ทั้งสองตัวในวงจรจะร่วมกันทำหน้าที่ในการรักษาระดับแรงไฟนี้

การตอบสนองความถี่ของวงจรขยายสัญญาณเสียงจะถูกจำกัดด้วยวงจรกรองผ่านความถี่ (bandpass filter) มี R3 กับ C4 และ R5 กับ C7 ทำหน้าที่ผ่านความถี่ต่ำ (low-pass) ลงกราวด์โดยมีจุดตัด (cut off) ที่ความถี่ 110Hz ในขณะที่ R4 กับ C5 และ R5 กับ C7 จะเป็นตัวผ่านความถี่สูงลงกราวด์โดยเริ่มตัดที่ความถี่ 4.6 KHz

การจำกัดการตอบสนองความถี่ของภาคขยายสัญญาณเสียงจะช่วยลดสัญญาณเสียงรบกวนที่นอกเหนือไปจากช่วงความถี่สัญญาณเสียงพูดไปด้วยในตัวและเป็นการสอดคล้องกับมาตรฐานของเครื่องส่งในระบบ NBFM. ที่จำกัดการเบี่ยงเบน (diviation) ของคลื่น FM ที่ส่งออกอากาศไม่ให้เกินกว่า ± 5 KHz เป็นที่ทราบกันว่า การส่งการกระจายคลื่น FM ด้วยการเบี่ยงเบน (diviation) ขนาดนี้ไม่สามารถถ่ายทอดสัญญาณเสียงได้ครบตลอดช่วงความถี่เสียง 20-20,000Hz. และในความเป็นจริงแล้วการใช้วิทยุรับส่งมีจุดประสงค์เพื่อติดต่อสื่อสารกันเพียงต้องการให้ได้ข้อความที่ชัดเจนพอสมควรเท่านั้น ดังนั้นการตอบสนองความถี่ได้ดีที่ความถี่ 110 Hz-4.6KHz ของวงจรภาคขยายเสียงในเครื่องส่งนี้จึงเพียงพอต่อการใช้งานได้เป็นอย่างดี

วงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมความถี่ด้วยแร่คริสตอลทำงานด้วย FET.Q1 ซึ่งต่อวงจรแบบฮาร์เลย์ออสซิลเลเตอร์ (Harley oscillator) โดยมี L1,VC1 และ L2 ต่อร่วมกันเป็นวงจรจูนที่ความถี่ 24 MHz วาริแคปไดโอด D1 ทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนค่าความจุ (Capacitance) ซึ่งต่ออนุกรมกับแร่คริสตอลเพื่อต้องการให้เกิดผลการมอดดูเลตทางด้านความถี่ตามจุดประสงค์และค่าความถี่ที่เบี่ยงเบนไปจากความถี่กลาง (Centre frequency) เนื่องมาจากการมอดดูเลตนี้เรียกว่าพีค ดิวิเอชัน (peak diviation)

วงจรออสซิลเลเตอร์ในที่นี้ไม่สามารถทำงานกับแร่คริสตอลที่ใช้ความถี่โอเวอร์โทนที่ 3 (third overtone) ได้ เนื่องจากความถี่โอเวอร์โทนที่ 3 ของแร่คริสตอลจะทำให้ได้ค่าพีคดิวิเอชันที่จำกัดซึ่งมีค่าน้อยเกินไป และ

การต่อสวิทช์เลือกเพื่อต้องการใช้เลือกค่าความถี่จากคริสตอลหลายๆตัวในการเปลี่ยนช่องความถี่นั้นไม่สามารถใช้กับวงจรนี้ได้เนื่องจากค่ารีแอคแตนซ์สะสมระหว่างสาย (stray reactances) จะเป็นตัวการทำให้ระดับค่าพีคดิวิเอนซ์ต่ำลงมากได้เช่นกัน

ทรานซิสเตอร์ Q2 ถูกต่อวงจรแบบคอมมอนคอลเลคเตอร์ (common collector) เพื่อต้องการให้เป็นโหลดอิมพีแดนซ์สูง (High impedance load) แก่วงจรออสซิลเลเตอร์สำหรับทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์หรือเป็นตัวกันชนในการดึงสัญญาณซึ่งจะมีผลทำให้ภาคออสซิลเลเตอร์มีเสถียรภาพมากขึ้น

สัญญาณจากภาคออสซิลเลเตอร์มีค่าความถี่ประมาณ 24 MHz (ขึ้นอยู่กัค่าความถี่ของแร่คริสตอล) จะถูกส่งต่อไปยังภาควิคุณความถี่ (วงจรในรูปที่ 3.9.2) ซึ่งมีทรานซิสเตอร์ Q3 ทำหน้าที่เป็นตัวทวีความถี่ขึ้นไป 3 เท่าจากความถี่ 24 MHz เป็น 72 MHz และทรานซิสเตอร์ Q4 จะเป็นตัวทวีความถี่ 72 MHz ขึ้นไปอีก 2 เท่าเป็น 144 MHz

การทวีคุณความถี่ของวงจรมีเกิดขึ้นได้โดยใช้หลักการส่งพัลส์สั้นๆ (short pulse) เข้าไปในวงจรรุน ในขณะที่เป็นช่วงเว้นสัญญาณของขบวนพัลส์ช่วงสั้น วงจรจุนก็จะออสซิลเลทในตัวเองต่อเนื่องกันไปจนครบรอบจนถึงพัลส์ลูกใหม่เข้ามา ปฏิกริยานี้จะมีผลทำให้เกิดการออสซิลเลทอย่างต่อเนื่องขึ้นในวงจรรุนด้วยความถี่เรโซแนนซ์ของตัวเองมันเอง จากวงจรทวีคุณความถี่ในที่นี้มี Q3 เป็นตัวสร้างขบวนพัลส์สั้นๆ จากความถี่ที่ส่งเข้ามาทางอินพุท ทำให้เกิดการออสซิลเลทขึ้นในวงจรรุน L3,C16 และ VC2 เป็นสัญญาณออกต่อเนื่องสม่ำเสมอที่ความถี่ 72MHz ซึ่งเป็นความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรรุนนี้

ไดโอด D2 และ D3 เป็นตัวควบคุมแรงดันสัญญาณอินพุท ให้มีค่าพีค 1.2V โดยสม่ำเสมอ ในขณะที่เดียวกันที่ตามปกติจะมีแรงดันตกคร่อมตรงขาเบส-อิมิตเตอร์เท่ากับ 0.6V ดังนั้นจึงมีแรงดันพีค(peak voltage) 0.6 V ตกคร่อมที่ R12 และจะทำให้ค่ากระแสคอลเลคเตอร์สูงสุดที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q3 ค่อนข้างคงที่ จึงเป็นผลทำให้ได้ส่วนสูง (amplitude) ของสัญญาณออกมีความแน่นอนมากขึ้น แม้ระดับสัญญาณที่เข้ามาทางอินพุทจะมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างก็ตาม

วงจรรุนซึ่งประกอบด้วย L4,C18 และ VC3 ทำหน้าที่เป็นวงจรรุนที่สอง (second tune circuit) เพื่อต้องการจุนให้ในความถี่ฮาร์โมนิค (harmonic) ที่บริสุทธิ์ยิ่งขึ้น ทรานซิสเตอร์ Q4 ทำหน้าที่ในการทวีความถี่ 72MHz ขึ้นไปเป็นความถี่ 144MHzซึ่งใช้หลักการทำนองเดียวกันที่ได้อธิบายมาแล้ว โดยมีการจัดค่าของวงจรรุนซึ่งประกอบด้วย L5,C22,VC4 ให้มีความถี่เรโซแนนซ์ที่ 144MHz และใช้วงจรรุน VC5,C24,L6 ทำหน้าที่เป็นวงจรรุนที่ 2 เพื่อจุนซ้ำอีกครั้งเพื่อให้ได้ความถี่ฮาร์โมนิคบริสุทธิ์ที่ 144 MHz

ตามปกติของวงจรรุนทั่วไปที่ประกอบด้วยคอยล์และทริมเมอร์จะสามารถจุนเอาความถี่ฮาร์โมนิคอันดับใดๆจากความถี่ฐานได้ แต่สำหรับวงจรรุนที่ใช้ในการทวีความถี่ตามวงจรมีต้องการให้จุนได้เฉพาะความถี่ฮาร์โมนิคที่ต้องการเท่านั้น ดังนั้นที่ VC2,VC3,VC4,VC5 ซึ่งเป็นทริมเมอร์สำหรับใช้ปรับจูนความถี่ จึงต้องมีตัวเก็บประจุค่าคงที่(C16,C18,C22,C24) ต่อคร่อมขนานอยู่ด้วย

สุดท้ายสัญญาณ RF ความถี่ 144 MHz จะถูกขยายกำลังขึ้นด้วย Q5,Q6 และ Q7 ซึ่งถูกจัดเป็นวงจรรขยายแบบคลาสซี(class C) เนื่องจากธรรมชาติของการขยายแบบคลาสซีจะทำให้เกิดเป็นพัลส์ความถี่ขึ้นทาง

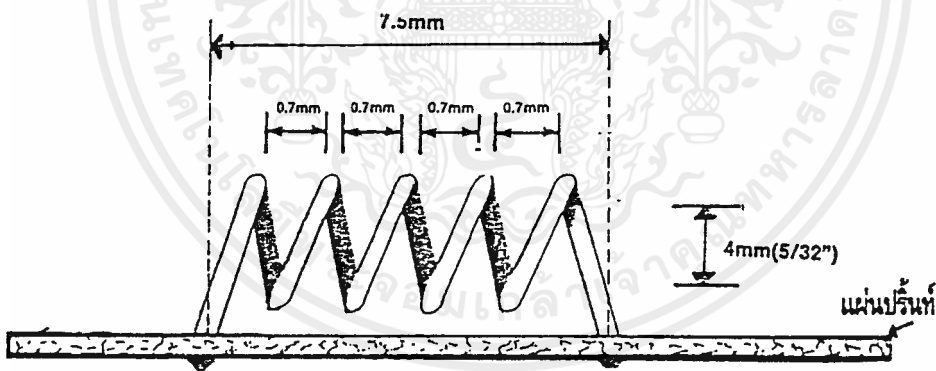
เอาที่พูด ดั่งนั้นจึงต้องมีวงจรจูน(VC6/L7,VC7/L8,L9) ที่ขาดคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ เพื่อให้ได้สัญญาณออกเป็นคลื่น RFรูปไซน์(sinusoidal)อย่างแท้จริง

ตัวต้านทาน R15 และ R15 ที่ต่อจากแหล่งจ่ายไฟมาเข้า Q5 และ Q6 ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันไม่ให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวนี้ตั้งกระแสมากเกินไป ในขณะที่มีการปรับจูนความถี่

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (low pass filter)ที่ประกอบด้วย L10,C34,L11,VC9,L12,VC9 และ C35 จะทำหน้าที่เป็นตัวกรองความถี่ 288 MHz ที่มีความถี่ฮาร์โมนิคที่ 2 ของความถี่ 144 MHz และในขณะเดียวกันก็จะทำหน้าที่เป็นตัวแมทซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ของวงจรให้เข้ากับอิมพีแดนซ์ของโหลด 50 โอห์มด้วย

การพันคอยล์

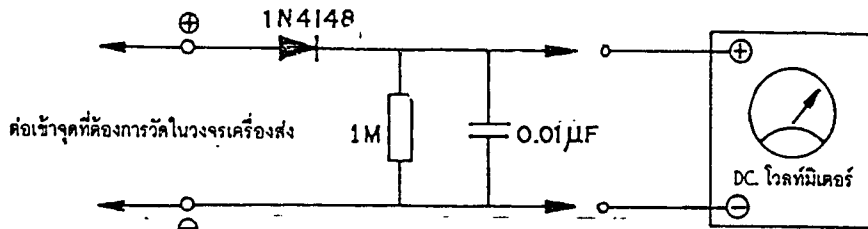
มีคอยล์จำนวน 9 ตัวที่ต้องพันเองได้แก่ L3,L4,L5,L6,L7,L8 และ L10,L11,L12 คอยล์ทั้งเก้าตัวนี้พันเหมือนกันหมด โดยพันด้วยลวดเบอร์ 22 SWG จำนวน 5 รอบ เส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ประมาณ 4 mm. (แกนอากาศหรือไม่มีแกน) เมื่อพันเสร็จ ถ่างคอยล์ออกให้มีช่องว่างระหว่างคอยล์เท่ากับความหนาของเส้นลวดที่ใช้พันคอยล์ มีการแท็ปคอยล์ที่ L6,L7 และ L8 โดยการบัดกรีต่อแท็ปสายเข้าทางด้านบนของขดคอยล์ คอยล์ L6 แท็ปที่ 4.5 รอบ (หรือรอบที่ 4 เมื่อนับโดยมองจากด้านบนของคอยล์) ในการนับให้เริ่มจากปลายขาของคอยล์ด้านที่ต่อลงกราวด์ ส่วนคอยล์ L7 และ L8 แท็ปที่ 1.35 รอบ (หรือรอบที่ 2 เมื่อนับจากด้านบนของขดคอยล์) โดยเริ่มนับจากขาของคอยล์ด้านที่ต่อเข้ากับไฟบวก ในกรณีที่ใช้ลวดอบน้ำยามาพันเป็นขดคอยล์เมื่อต้องการบัดกรีแท็ปคอยล์ หรือบัดกรีติดตั้งคอยล์ลงบนแผ่นปริ้นท์จะต้องชุบขาขดคอยล์ก่อนการบัดกรี มิฉะนั้นจะบัดกรีไม่ติด



รูปที่ 3.10 รูปแสดงการพันคอยล์

การปรับแต่ง

การปรับแต่งดังอธิบายในที่นี่ใช้วงจร RF. โพรบที่สร้างขึ้นง่ายๆ ด้วยอุปกรณ์ราคาถูกไม่กี่ตัวนำมาต่อร่วมกับมัลติมิเตอร์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือทดสอบการทำงานของวงจรแต่ละภาคในระหว่างการปรับแต่ง



รูปที่ 3.11 วงจร RF โพรบและการต่อร่วมกับมิเตอร์

เริ่มต้นการปรับแต่งด้วยการใช้เครื่องวัดกำลัง RF. ที่มีดัมมี่โหลด (dummy load) 50 โอห์มต่ออยู่ด้วยมาต่อไว้ทางเอาต์พุตของเครื่องส่ง ถ้าไม่มีเครื่องวัดกำลัง RF. อาจจะใช้ดัมมี่โหลดเพียงตัวเดียวต่อไว้ทางเข้าที่พุทของเครื่องส่ง ถ้าไม่มีดัมมี่โหลดสำเร็จรูปอยู่ก่อนให้ใช้ตัวต้านทานแบบคาร์บอนค่า 50 โอห์ม 5 วัตต์เป็นดัมมี่โหลดแทนต่อคร่อมไว้ทางเข้าที่พุทของเครื่องส่ง หรืออาจใช้ตัวต้านทานแบบคาร์บอนค่าอื่นๆ หลายตัวต่อขนานกันแต่ค่าความต้านทานรวมต้องให้ได้ค่า 50 โอห์ม เช่นตัวต้านทาน 100 โอห์มต่อขนานกัน

ขั้นแรกของการปรับแต่งเริ่มต้นด้วยการทดสอบการทำงานของวงจรรักษาขยายสัญญาณเสียงโดยการให้วงจร RF. โพรบวัดที่ขา 6 ของ IC1 และ IC2 ตามลำดับ (จุดบวกของ RF. โพรบต่อเข้าขา 6, จุดลบต่อลงกราวด์ และตั้งย่านการวัดของมัลติมิเตอร์ไว้ที่ย่านการวัดแรงดัน DC) แรงดันที่จุดนี้วัดได้ประมาณ 4.5V เมื่อลองพูดส่งสัญญาณเสียงเข้าทางไมโครโฟนเข็มมิเตอร์จะกระดิกตีสั้นสูงเล็กน้อยตามสัญญาณเสียง (ขั้นตอนนี้ถ้าใช้มิเตอร์วัดแรงดันโดยตรงโดยไม่ผ่านวงจร RF. โพรบ แรงดันไฟตรงที่วัดได้จะมีค่าประมาณ 5V แต่เมื่อพูดส่งสัญญาณเสียงเข้าทางไมโครโฟนเข็มมิเตอร์จะกระดิกตีสั้นขึ้น น้อยกว่าเมื่อวัดผ่านวงจร RF. โพรบ) ในขณะที่พูดส่งสัญญาณเสียงเข้าทางไมโครโฟนถ้าเข็มมิเตอร์คงที่ไม่กระดิกตีสั้นเลย ให้ลองตรวจสอบที่ภาคขยายสัญญาณเสียง

ต่อไปเป็นการทดสอบการทำงานของภาคคริสตอลออสซิลเลเตอร์ ให้ใช้วงจร RF. โพรบวัดแรงดันที่ขา E ของทรานซิสเตอร์ Q2 แล้วปรับแต่งที่ทริมเมอร์ VC1 จนได้ค่าแรงดันที่จุดนี้สูงสุด (ประมาณ 5.2V ถึง 6.5V) ถ้าปรับแต่งที่ VC1 แล้วค่าแรงดันที่วัดได้ยังคงที่ (ประมาณ 4.2V) แสดงว่าภาคคริสตอลออสซิลเลเตอร์ไม่ทำงาน ให้ลองตรวจสอบที่ภาคนี้อีกครั้ง

ต่อไปเป็นการปรับแต่งและทดสอบภาคทวีคูณความถี่และขยายกำลัง RF. โดยใช้วงจร RF. โพรบวัดคร่อม L3,L4,L5,L6,L7,L8 แล้วปรับแต่งที่ทริมเมอร์ VC2,VC3,VC4,VC5,VC6 และ VC7 จนได้ค่าแรงดันคร่อมคอยล์แต่ละตัวสูงสุดตามลำดับ ในขณะที่ปรับแต่งที่ทริมเมอร์ของภาคต่างๆ ถ้าแรงดันที่วัดคร่อมคอยล์ภาคนั้นคงที่ไม่ขึ้นแสดงว่าภาคนั้นมีข้อบกพร่องไม่ทำงานตามหน้าที่

ขั้นต่อไปเป็นการปรับแต่งภาคขยายกำลัง RF. ภาคสุดท้าย ให้ย้ายวงจร RF. โพรบมาวัดคร่อมเข้าที่พุทซึ่งเป็นจุดต่อสายอากาศของเครื่องส่ง (ในขณะที่ยังคงมีดัมมี่โหลดต่อคร่อมอยู่ทางเข้าที่พุท) แล้วปรับแต่งที่ทริมเมอร์ VC8,VC9 ให้ได้ค่าแรงดันสูงสุด

จากนั้นให้ลองปรับแต่งที่ทริมเมอร์ภาคต่างๆ อีกครั้งตั้งแต่ VC2 ถึง VC9 (ทริมเมอร์ VC1 หลังจากปรับแต่งได้ที่ครั้งแรกแล้วไม่จำเป็นต้องปรับซ้ำ) ปรับแต่งที่ทริมเมอร์เหล่านี้ย้อนกลับไปกลับมาหลายๆ ครั้ง (ในขณะที่

ที่ใช้วงจร RF. โพรบวัดคร่อมที่จุดเข้าที่พุทของเครื่องส่งเพียงจุดเดียว) จนกระทั่งได้ค่าแรงดันวัดคร่อมดัมมีโพลต์สูงสุด (ประมาณ 11-13)

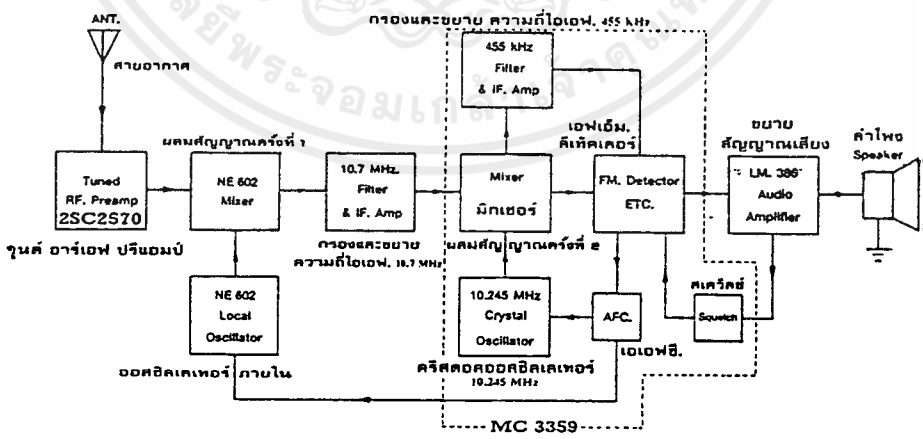
ในขั้นตอนปรับแต่งภาคขยายกำลัง RF. ภาคสุดท้าย ถ้าใช้เครื่องวัดกำลัง RF. ต่อไว้ทางเข้าที่พุทของเครื่องส่งไม่จำเป็นต้องใช้วงจร RF. โพรบวัดคร่อมเข้าที่พุทของเครื่องส่ง ให้ปรับแต่งจนกระทั่งเครื่องวัดกำลัง RF. แสดงผลค่ากำลัง RF. ออกสูงสุดเป็นอันใช้ได้ (ค่ากำลัง RF. ออกอยู่ในระหว่าง 1-1.5 วัตต์)

หลังจากนั้นให้ทดสอบเครื่องส่งในขั้นสุดท้ายด้วยการทดสอบส่งสัญญาณเสียงเข้าทางไมโครโฟนอีกครั้ง ถ้าการปรับแต่งทำได้ถูกต้องในขณะที่ทดสอบส่งสัญญาณเสียงเข้าทางไมโครโฟน กำลัง RF. ที่ออกทางเข้าที่พุทของเครื่องส่งจะต้องคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณเสียง (ค่าแรงดันที่วัดด้วยวงจร RF. โพรบคร่อมดัมมีโพลต์ทางเข้าที่พุทของเครื่องส่งต้องไม่เปลี่ยนแปลง) และเมื่อทดสอบด้วยการรับฟังสัญญาณที่ออกอากาศด้วยเครื่องรับ เสียงที่รับฟังได้จะต้องดัง และชัดเจนเช่นเดียวกับที่ฟังเปรียบเทียบกับเครื่องส่งที่ได้มาตรฐานเครื่องอื่นๆ

เมื่อผ่านขั้นตอนการแต่งและทดสอบจนได้ดีแล้วให้ปลดดัมมีโพลต์, เครื่องวัดกำลัง RF., หรือ วงจร RF. โพรบออกจากเครื่องส่ง และต่อสายอากาศตัวจริงเข้าไปแทนเครื่องส่งของเราก็พร้อมที่จะส่งสัญญาณออกอากาศไปยังเครื่องรับ ที่กำลังรับสัญญาณในความถี่ออกอากาศของเครื่องส่ง

3.7 ภาคเครื่องรับ

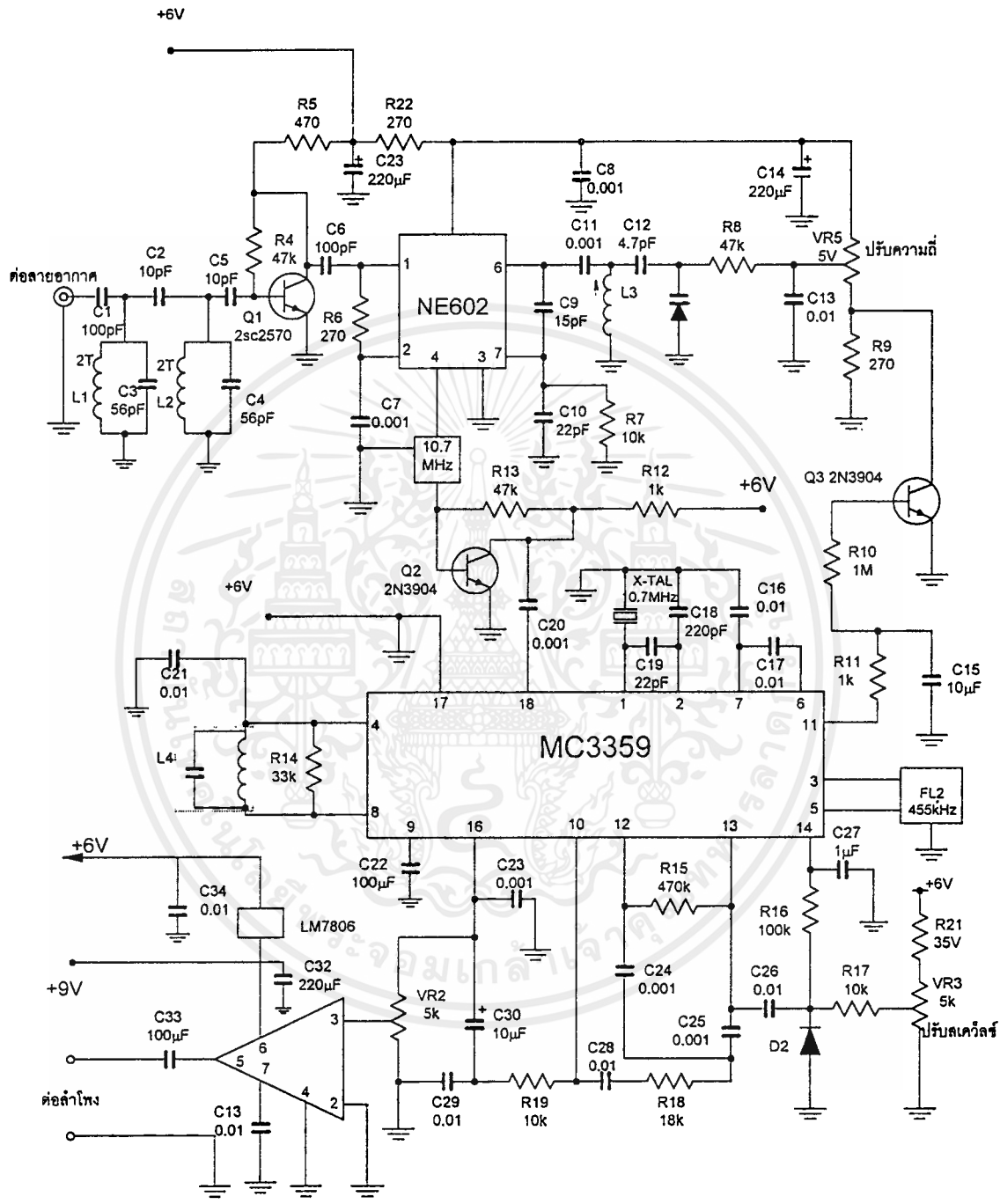
จากหลักการทำงานของเครื่องรับ สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.12 ซึ่งเราจะเลือกใช้ไอซี NE 602 , MC 3359 และ LM 386



รูปที่ 3.12 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของเครื่องรับวิทยุ 144 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของเครื่องรับวิทยุ 144 MHz เราสามารถเขียนวงจรภาคเครื่องรับได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วงจรภาคเครื่องรับวิทยุความถี่ 144 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

สัญญาณความถี่ VHF จากสายอากาศผ่านวงจรจูนอินพุท (L1,C3 และ L2,C4) เข้ามาขยายสัญญาณให้แรงขึ้นที่ Q1 ซึ่งเป็นไมโครเวฟ ไบโพลาร์ ทรานซิสเตอร์ (microwave bipolar transistor) เข้าที่พู่ของ Q1 ถูกต่อเข้ากับอินพุทของไอซี U1 (NE 602) ซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้งมิกเซอร์ (mixer) และออสซิลเลเตอร์ (oscillator) ในตัวเดียวกัน ในส่วนออสซิลเลเตอร์ปรับจูนความถี่ได้ของ NE 602 จะทำงานกำเนิดความถี่ที่สูงกว่าความถี่ของสัญญาณที่ต้องการรับเข้ามา 10.7 MHz ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการรับสัญญาณจากสถานีความถี่ 144 MHz จะต้องปรับจูนให้ออสซิลเลเตอร์ของไอซี NE 602 ทำงานสร้างความถี่ที่ 154.7 MHz จากสัญญาณที่รับเข้ามาและสัญญาณความถี่ที่ออสซิลเลเตอร์สร้างขึ้นจะผสมกันเหลือเป็นสัญญาณความถี่ 10.7 MHz ออกทางเข้าที่พู่ที่ขา 4 ของไอซี NE 602

ความถี่ออสซิลเลเตอร์ของไอซี NE 602 เกิดจากค่าของ L3,C12 และค่าเก็บประจุไฟฟ้า (capacitance) ที่อยู่ภายในตัว D1 ที่ต่อร่วมด้วย D1 เป็นวารีแคปที่ต่ออนุกรมกับ C12 ทำหน้าที่จูนความถี่ของออสซิลเลเตอร์โดยอาศัยแรงดันไฟเข้ามาควบคุมค่าเก็บประจุที่อยู่ภายใน D1 แรงดันไฟตรงควบคุมค่าเก็บประจุของ D1 ได้มาจากการปรับค่า VR1 ซึ่งเป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อกับแรงดันไฟจ่ายในลักษณะวงจรแบ่งแรงดัน ตรงกลางของ VR1 ซึ่งเป็นจุดต่อเข้ากับ R8 และ C13 จะมีค่าโวลท์เต็มเปลี่ยนไปตามการปรับค่าของ VR1

สัญญาณเข้าที่พู่ความถี่ 10.7 MHz ออกจากขา 4 ของไอซี NE 602 ผ่านตัวกรองความถี่เซรามิกฟิลเตอร์ 10.7 MHz เข้ามาขยายที่ทรานซิสเตอร์ Q2(2N 3904) ก่อนส่งเข้าไปที่อินพุท (ขา 18) ของไอซี U2 (MC3359) ทรานซิสเตอร์ Q3 ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความถี่อัตโนมัติ AFC (automatic frequency control) ให้กับออสซิลเลเตอร์ภายใน (local oscillator) ของไอซี U1 เพื่อควบคุมไม่ให้ออสซิลเลเตอร์ทำงานคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากสัญญาณที่รับเข้ามามีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ โดย Q3 จะทำงานเกี่ยวเนื่องกับการจูนที่วงจรวารีแคปในทิศทางตรงกันข้ามกับความถี่ออสซิลเลทที่คลาดเคลื่อนไป

ไอซี U2 (MC 3359) มีวงจรออสซิลเลเตอร์ภายในที่ควบคุมความถี่ด้วยแร่คริสตอล 10.254MHz สัญญาณความถี่ 10.245 MHz จากออสซิลเลเตอร์ของ U2 จะถูกผสมเข้ากับความถี่ 10.7 MHz ที่ผ่าน C20 เข้ามาทางขา 18 ของ U2 ผลจากการผสมสัญญาณทั้งสองทำให้ได้สัญญาณใหม่ที่เปลี่ยนลดค่าความถี่ลงมาเป็น 455 KHz โดยมีคอยล์ไอเอฟ [IF. (coil) L4] เป็นตัวจูนที่ความถี่ 455 KHz ความถี่ไอเอฟ 455 KHz ที่ได้จะถูกกรองด้วย FL2 ซึ่งเป็นเซรามิก ฟิลเตอร์ 455 KHz อีกชั้นก่อนถูกส่งเข้าไปขยายที่วงจขยายลิมิตเตอร์ใน U2 อีกครั้ง

สัญญาณไอเอฟจากภาคลิมิตเตอร์จะถูกดีเท็คให้เป็นสัญญาณเสียงที่วงจเร็ฟเอ็ม ดีเท็คเตอร์ (FM. detector) และวงจรมอดูเลชันจะทำหน้าที่ตัดพื้นสัญญาณเสียงรบกวนในขณะที่ไม่มีสัญญาณจากสถานีใดๆ เข้ามาโดยการปรับระดับควบคุมสแควร์ที่ VR3 ไอซี U3 (LM 386) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงที่ออกจากขา 10 ของไอซี U2 ให้มีกำลังสูงขึ้นก่อนส่งไปขับลำโพง ในขณะที่สแควร์ปิด,ที่ขา 16 ของไอซี U2 จะต่อกราวด์ให้กับอินพุทสัญญาณเข้าของไอซี U3 ส่วน VR2 ใช้สำหรับปรับระดับความแรงสัญญาณ AF ที่ส่งเข้าไปยัง U3

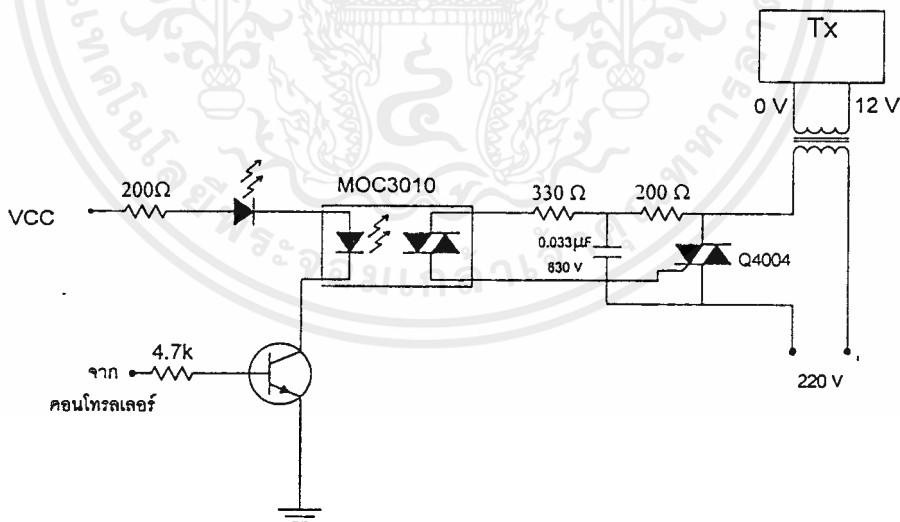
การสร้าง-การปรับแต่ง

ในขณะที่ทำการปรับแต่งเครื่องรับนี้ไม่ควรวางแผงปรีนทิงวงจรบนพื้นโต๊ะโดยตรง เพราะจะมีผลให้การทำงานของวงจรไม่แน่นอน และประสิทธิภาพทางด้านความไวของเครื่องไม่ดีเท่าที่ควร จะต้องหาหนังสือหนาๆ ประมาณ 2 นิ้วหรือฉนวนอื่นๆ ที่ไม่มีความชื้นวางรองใต้แผงปรีนทิงก่อนวางลงพื้นโต๊ะ

ลำดับขั้นในการปรับแต่งเริ่มจากหมุนปรับ VR 1 (tuning) ของเครื่องรับไว้ที่จุดกึ่งกลาง แล้วป้อนสัญญาณจากเครื่อง FM ซิกแนลเจนเนอเรเตอร์ตามความถี่ที่ต้องการเข้าที่จุดต่อสายอากาศของเครื่องรับ ในกรณีที่ไม่มีเครื่องซิกแนลเจนเนอเรเตอร์สามารถใช้เครื่องรับส่งมือถือเป็นแหล่งป้อนสัญญาณแทนได้ โดยการต่อสายอากาศให้กับเครื่องรับแล้วกดคีย์เครื่องรับส่งมือถือให้ส่งสัญญาณออกอากาศในตำแหน่งที่สายอากาศเครื่องมือถืออยู่ใกล้กับสายอากาศเครื่องรับที่เราสร้างขึ้น ในขณะที่ป้อนสัญญาณเข้าเครื่องรับให้หมุนปรับ L3 จนรับสัญญาณได้ การปรับแต่งที่คอยล์ L3 จะต้องใช้ไขควงจูนที่ทำด้วยฉนวนเท่านั้นและในการหมุนปรับแต่ง L3 จะต้องค่อยๆ หมุนปรับอย่างละเอียด เพราะเพียงหมุนปรับแกนสลักจูนของ L3 ไปเพียงครึ่งเสี้ยวรอบ, ความถี่ในการรับสัญญาณก็เปลี่ยนไปได้มากแล้ว จากนั้นจึงย้ายมาปรับแต่งที่ VR1 และคอยล์ L4 อีกครั้งให้ได้ยินสัญญาณดังแรงและชัดเจนที่สุด สุดท้ายมาปรับแต่งด้วยการบีบหรือถ่างที่คอยล์ L1, L2 ตามปกติเมื่อปรับแต่งได้ที่ดีแล้ว คอยล์ L1, L2 จะถ่างออกกว้างประมาณ 1/4 นิ้ว

3.8 การออกแบบวงจรควบคุมไฟ 220 โวลต์ให้กับเครื่องส่ง

เนื่องจากต้องการให้ตัดไฟ 220 โวลต์ ที่จ่ายให้กับเครื่องส่งขณะไม่มีการใช้งานเครื่องทวนสัญญาณ เพื่อให้หม้อแปลงไม่ทำงานหนักเกินไป เลือกวงจรใช้งานดังรูป 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงวงจรควบคุมการจ่ายไฟ 220 โวลต์

วงจรมีใช้วิธีการของโซลิดสเตตรีเลย์ (solid state relay) นั่นคืออาศัยอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานโดยอาศัยการเชื่อมโยงทางแสง (opto coupler) ในที่นี้ใช้ MOC3010 คือส่วนอินพุตและเอาต์พุต เมื่อมีไฟ

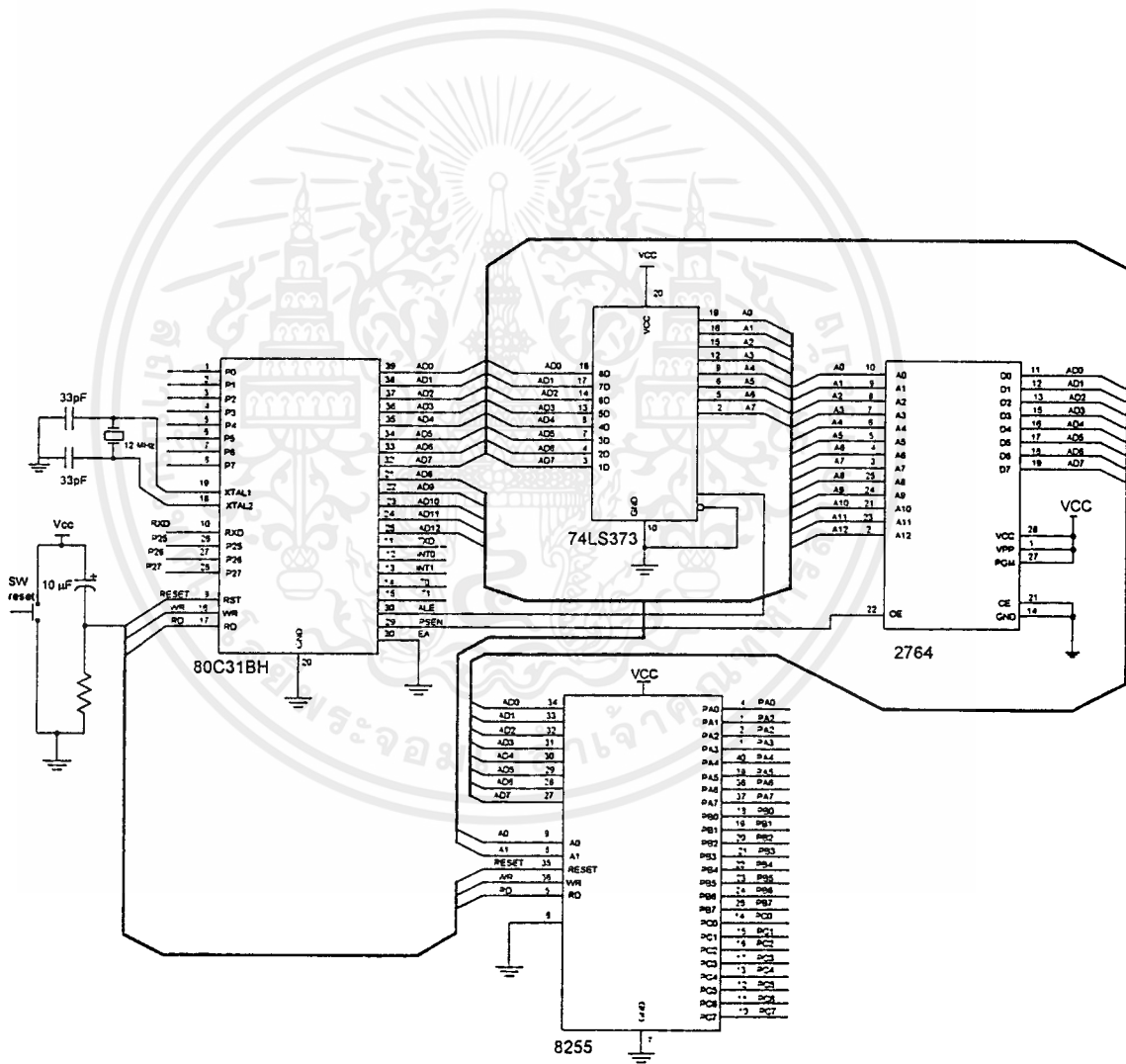
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลี้ยงเข้ามาทางด้านอินพุท จะทำให้เกิดแสงไปควบคุมด้านเอาท์พุท ทางเอาท์พุทเมื่อได้รับแสงจะทำการเชื่อมต่อวงจรทำให้โหลด (load) ที่ต่อไว้ทางด้านเอาท์พุททำงานได้ จะเห็นได้ว่าส่วนอินพุทและเอาท์พุทจะไม่มีการเชื่อมโยงทางไฟฟ้ากันเลย

3.9 การออกแบบส่วนควบคุม

สำหรับส่วนควบคุมหรือส่วนคอนโทรลเลอร์ (controller) ของเครื่องทวนสัญญาณวิทยุรับส่งนี้เราใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิปเดี่ยวตระกูล 51 คือใช้ไอซีเบอร์ 8031 ต่อกับพอร์ต 8255 ได้ดังรูป

3.15



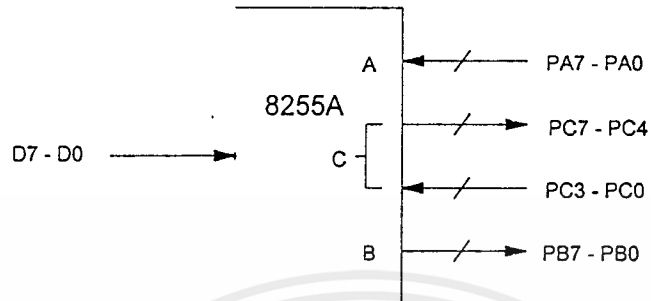
รูปที่ 3.15 แสดงวงจรส่วนควบคุมโดยใช้ไอซีเบอร์ 8031 ร่วมกับพอร์ต 8255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.1 การเซตพอร์ต 8255

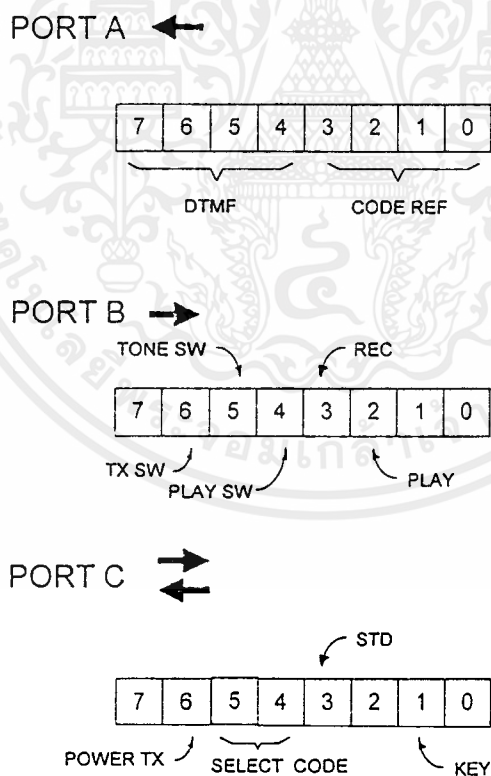
control word

1	0	0	1	0	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---



รูปที่ 3.16 แสดงการเซตพอร์ตของ 8255

พอร์ตต่าง ๆ มีการใช้งานดังนี้



รูปที่ 3.17 แสดงการใช้งานของพอร์ตต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.2 ออกแบบการใช้งานเครื่องทวนสัญญาณวิทยุรับส่ง

ได้ออกแบบการใช้งานต่างๆ ดังนี้

1. เริ่มต้นด้วยการกดคีย์ส่งสัญญาณ DTMF เพื่อเปิดเครื่อง จำนวน 3 ตัว ให้ตรงกับที่ตั้งไว้ที่ภาค

CODEREF

2. เมื่อรหัสถูกต้องจะมีเสียงสัญญาณบอกให้ผู้ใช้กดหมายเลข เพื่อเลือกฟังก์ชันการใช้งาน โดยแบ่งเป็น 2 โหมด ดังนี้

โหมด 0

- กด "0" เพื่อเลือกการทำงานในโหมด 0 ทำงานเป็นรีพีทเตอร์คือทำการบันทึกเสียงแล้วส่งออกอากาศ เมื่อได้ยินเสียงข้อความที่ส่งออกอากาศสิ้นสุด จึงกดคีย์พูดต่อไป

- หากต้องการปิดเครื่องกด "#" จะได้ยินเสียงสัญญาณยาวประมาณ 1.5 วินาที ก่อนเครื่อง ปิด

- หากต้องการเข้าสู่โหมด 1 กด "1" จะได้ยินเสียงสัญญาณยาว 1 วินาที 2 ครั้ง แสดงว่าได้เข้าสู่โหมด 1 ซึ่งเป็นโหมดของการฝากข้อความแล้ว

- หากกดเลขอื่นนอกเหนือจากนี้ เครื่องจะส่งสัญญาณเสียงสั้น 2 ครั้งแสดงว่ากดเลขผิด (ไม่มีฟังก์ชันการทำงานเลขนั้นให้เลือก) แล้วปิดเครื่องเองโดยอัตโนมัติ

- หากไม่มีการกดคีย์ใด ๆ ขณะเปิดเครื่องใช้งาน ภายใน 40 วินาที เครื่องจะปิดตัวเองโดยอัตโนมัติ

โหมด 1

- กด "1" เพื่อเลือกการทำงานในโหมด 1 ทำงานเป็นสถานีฝากข้อความ เมื่อได้ยินเสียงสัญญาณยาว 1 วินาที 2 ครั้ง ให้ทำการกดคีย์เพื่อฝากข้อความได้เลย (ฝากได้ไม่เกิน 20 วินาที) จากนั้นเครื่องจะส่งข้อความออกอากาศ 1 ครั้ง

- กด "#" หากต้องการปิดเครื่อง หลังจากนั้นหากมีใครเปิดเครื่องเข้ามาจะได้ยินข้อความที่ฝากไว้ นั้น ออกอากาศทันทีและจะกดคีย์ใด ๆ เพื่อพูดทับหรือใช้งานในโหมด 0 ไม่ได้

- กด "9". หากต้องการแก้ไขข้อความที่เพิ่งฝากไป (ต้องยังไม่ปิดเครื่องเมื่อฝากข้อความเสร็จ) เพื่อทำการฝากข้อความใหม่

- กด "" หากต้องการฟังข้อความซ้ำ

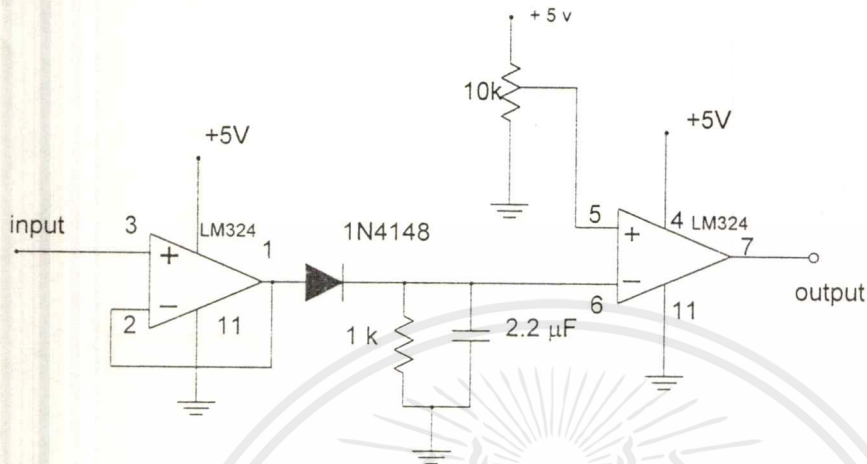
- กด "5" เมื่อต้องการยกเลิกข้อความที่ฝากไว้ แล้วสามารถไปเลือกโหมด 0 ,โหมด1 หรือปิดเครื่องเลยก็ได้ อาจใช้ในกรณีที่มีคนฝากข้อความไว้ แต่เราต้องการใช้เครื่องจริง ๆ จะขอใช้เครื่องก่อน หลังจากใช้งานแล้วจึงฝากข้อความได้ตามเดิม

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ภาคเชิงการกคดีย

การทดลอง 1) ต่อดวงจรมตามรูปที่ 4



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรมภาคเชิงการกคดีย

- 2) ป้อนพัลส์เข้าไปที่ขา 3 ของไอซี LM 324 แล้ววัดสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากขา 7 ของไอซี LM 324
- 3) วัดสัญญาณเปรียบเทียบระหว่างขา 5 กับขา 6 ของไอซี LM 324

ผลการทดลอง

1)

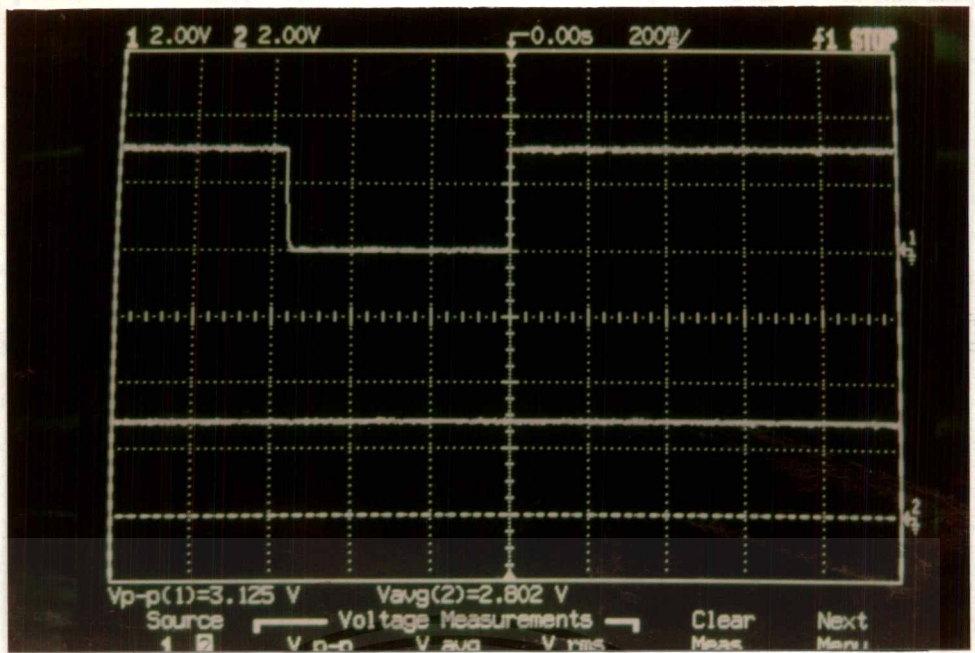


รูปที่ 4.2 ช่องสัญญาณที่ 1 สัญญาณอินพุตที่เข้าที่ขา 3 ของ LM 324

ช่องสัญญาณที่ 2 สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากขา 7 ของ LM 324

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

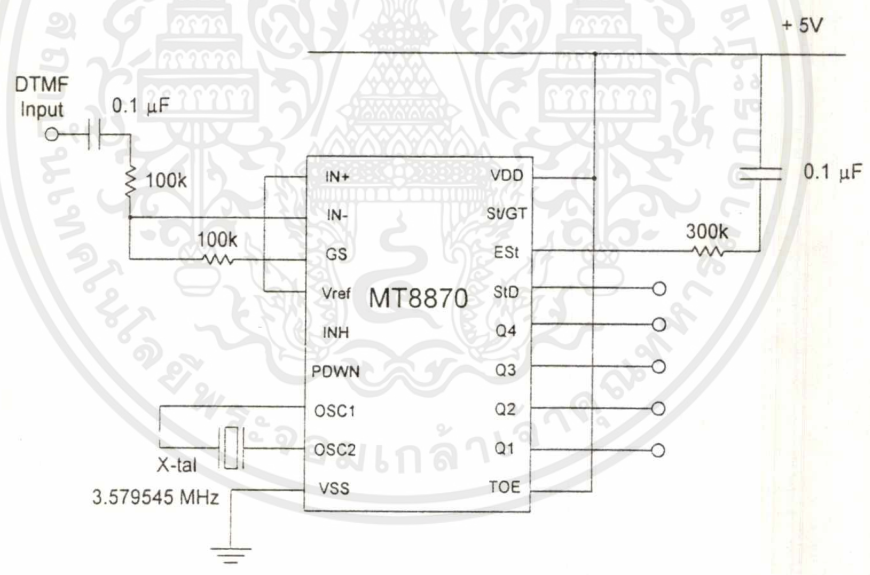
2)



รูปที่ 4.3 ช่องสัญญาณที่ 1 สัญญาณที่เข้าที่ขา 6 ของไอซี LM 324
 ช่องสัญญาณที่ 2 สัญญาณที่ขา 5 ของไอซี LM 324

4.2 ภาค DECODE DTMF

การทดลอง 1) ต่อดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงวงจรภาคถอดรหัส DTMF

- 2) กดส่งสัญญาณ DTMF ปุ่มใดปุ่มหนึ่ง สังเกตสัญญาณไฟที่ขา StD
- 3) กดส่งสัญญาณ DTMF ของทุกปุ่ม แล้วบันทึกผลลงตาราง สังเกตสัญญาณไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

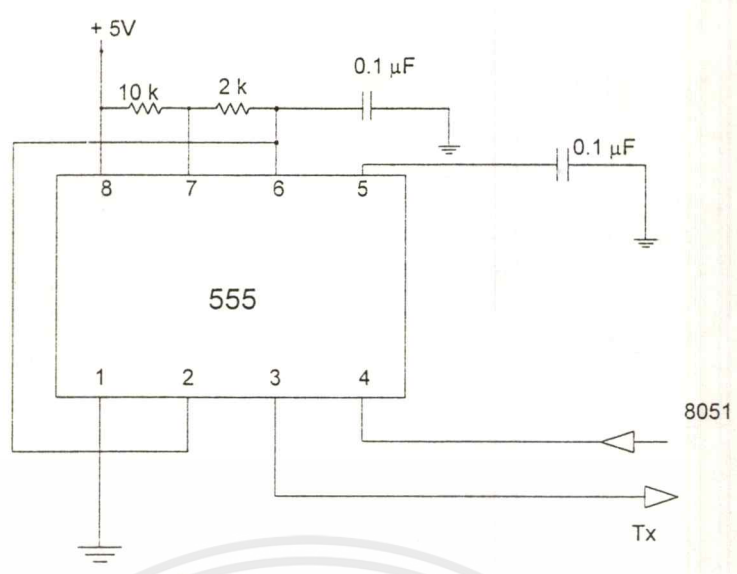
NUMBER	O/P			
	Q ₄	Q ₃	Q ₂	Q ₁
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
0	1	0	1	0
*	1	0	1	1
#	1	1	0	0

ตารางที่ 4.1 แสดงรหัสที่ถอดออกมาได้

เมื่อมีการกดปุ่มส่งสัญญาณ DTMF สถานะของขา StD จะเป็น " high " นานเท่ากับเวลาที่เราใช้ในการกดปุ่ม ยิ่งกดปุ่ม DTMF เช่นานเท่าใด LED ที่ขา StD ก็ติดนานเท่านั้น ส่วน LED ที่ติดอยู่กับเอาต์พุต Q₁ - Q₄ เมื่อกดปุ่ม DTMF สัญญาณไฟจะติดและดับแตกต่างกันไปตามที่บันทึกไว้ โดยสัญญาณไฟที่ขา Q₁ - Q₄ จะคงสถานะเดิมจนกว่าจะมีการกดปุ่ม DTMF ตัวใหม่เข้ามา แม้ไม่ได้กดซ้ำไว้ก็ตาม

4.3 ภาค TONE

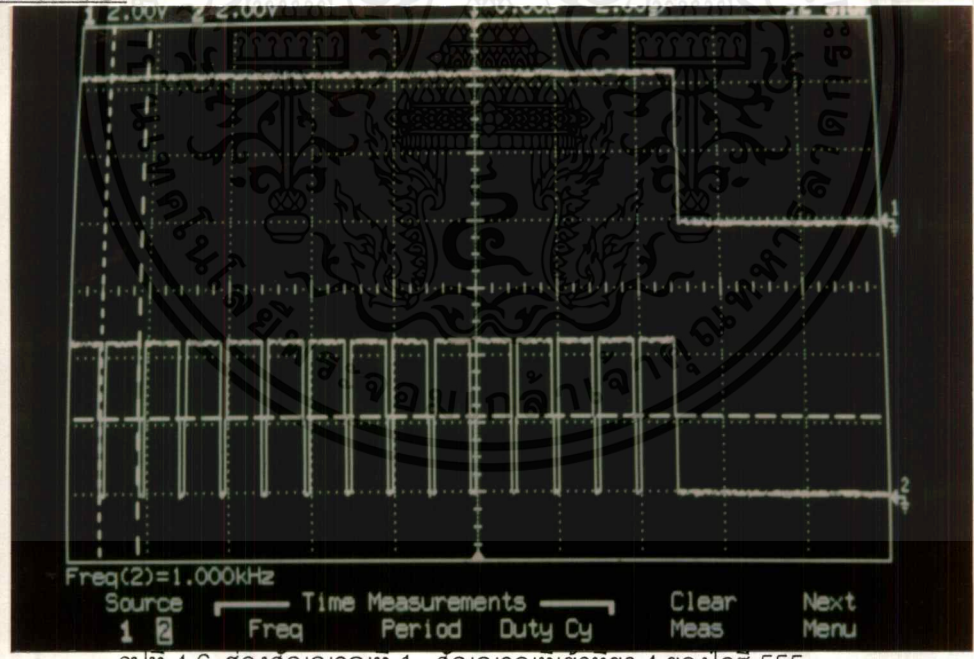
การทดลอง 1) ต่วงจรตามรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงวงจรภาค TONE

2) วัดสัญญาณที่ออกจากขา 3 ของไอซี 555 โดยให้ขา 4 ของไอซี 555 ตอนแรกเป็น high แล้วเปลี่ยนเป็น low

ผลการทดลอง

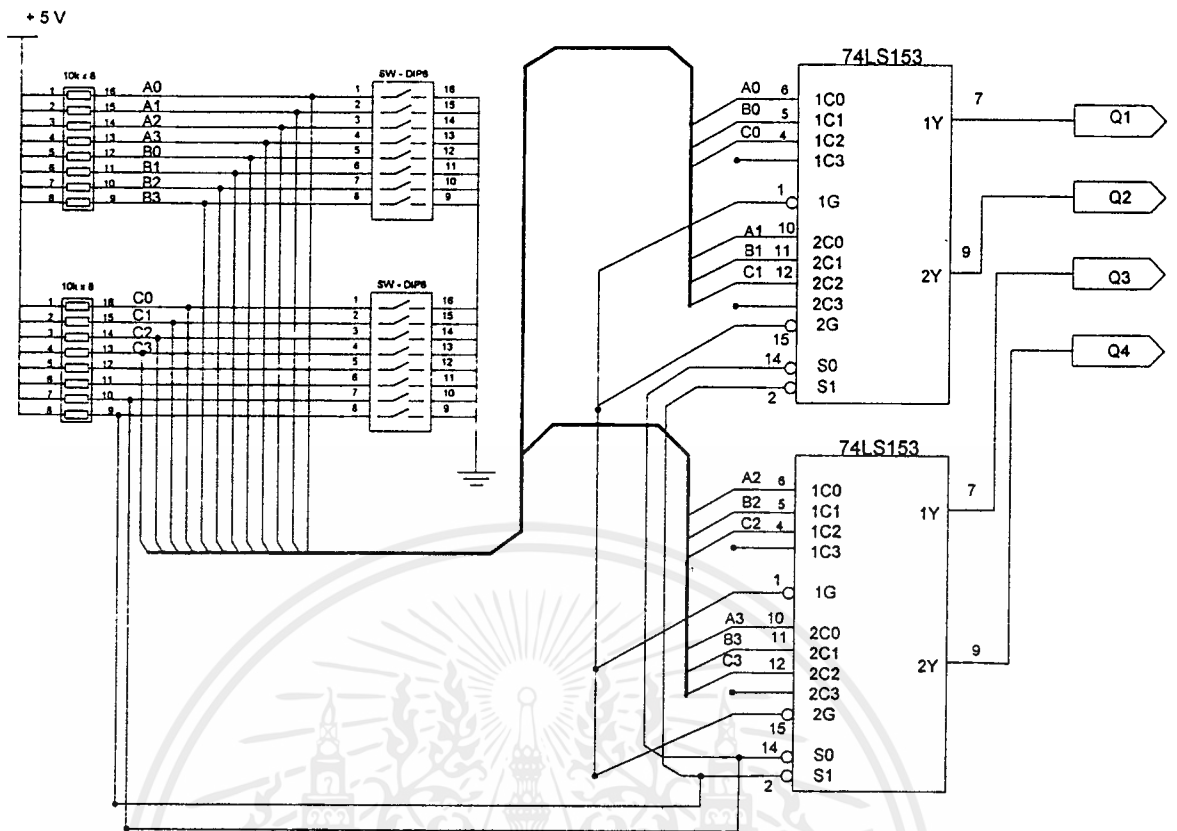


รูปที่ 4.6 ช่องสัญญาณที่ 1 สัญญาณที่ขาขา 4 ของไอซี 555
ช่องสัญญาณที่ 2 สัญญาณที่ออกมาจากขา 3 ของไอซี 555

4.4 ภาค CODE REF

การทดลอง 1) ต่วงจรตามรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงวงจรรหัส CODE REF

- 2) ทดลองตั้งรหัสโดยรหัสตัวแรกตั้งในบิตที่ 1 - 4 รหัสตัวที่ 2 ตั้งที่บิตที่ 5 - 8 และรหัสตัวที่ 3 ตั้งที่ดิปสวิทช์ตัวที่ 2 ในบิตที่ 1 - 4
- 3) เช็ดบิตเลือกรหัสด้วย code 00 , 01 และ 10 จากดิปสวิทช์ตัวที่ 2 บิตที่ 7 - 8 ทีละค่า แล้วบันทึกผลค่าเอาท์พุทจากขา 7,9 ของไอซี 74153 ทั้งสองตัว จนครบ 3 ค่า

ผลการทดลอง

เมื่อทดลองตั้งรหัสด้วยรหัส 365 โดย

DIP SW1 ; 4 บิตแรก = $0011_2 = 3_{10}$ (บิต $A_3 \rightarrow A_0$)

4 บิตหลัง = $0110_2 = 6_{10}$ (บิต $B_3 \rightarrow B_0$)

DIP SW2 ; 4 บิตแรก = $0101_2 = 5_{10}$ (บิต $C_3 \rightarrow C_0$)

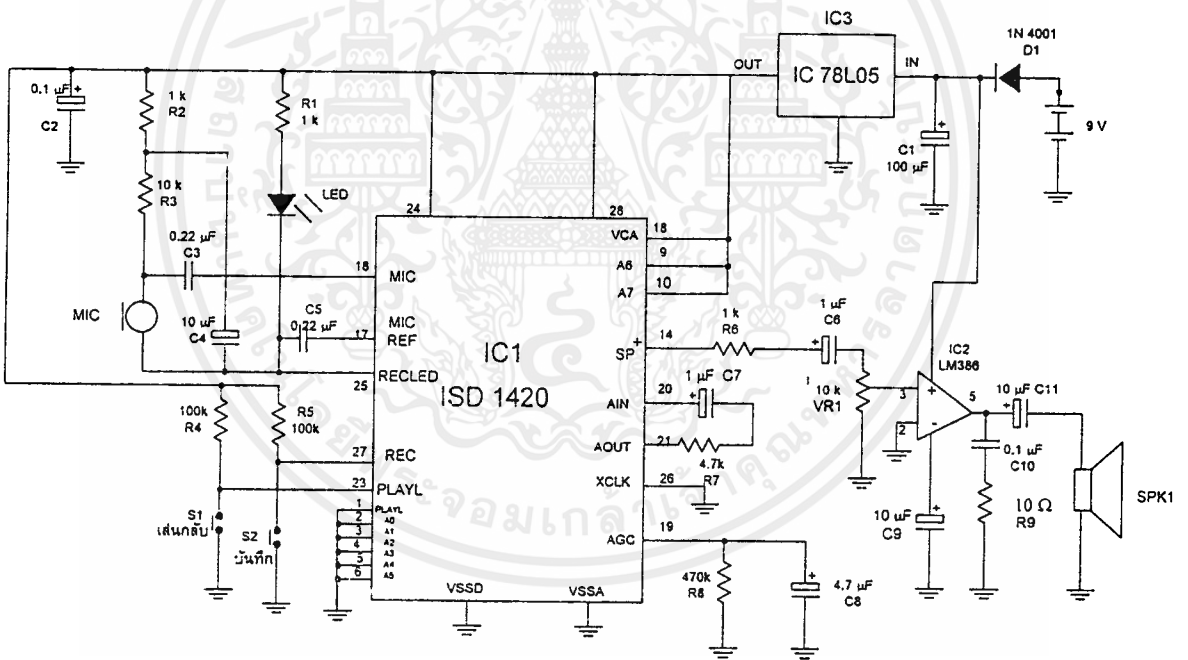
จะได้ผลการทดลองดังนี้

SELECT	O/P			
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄
0 0	0	0	1	1
0 1	0	1	1	0
1 0	0	1	0	1

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองที่ได้

4.5 ภาค REC / PLAY

การทดลอง 1) ต่อดังตามรูปที่ 4.8



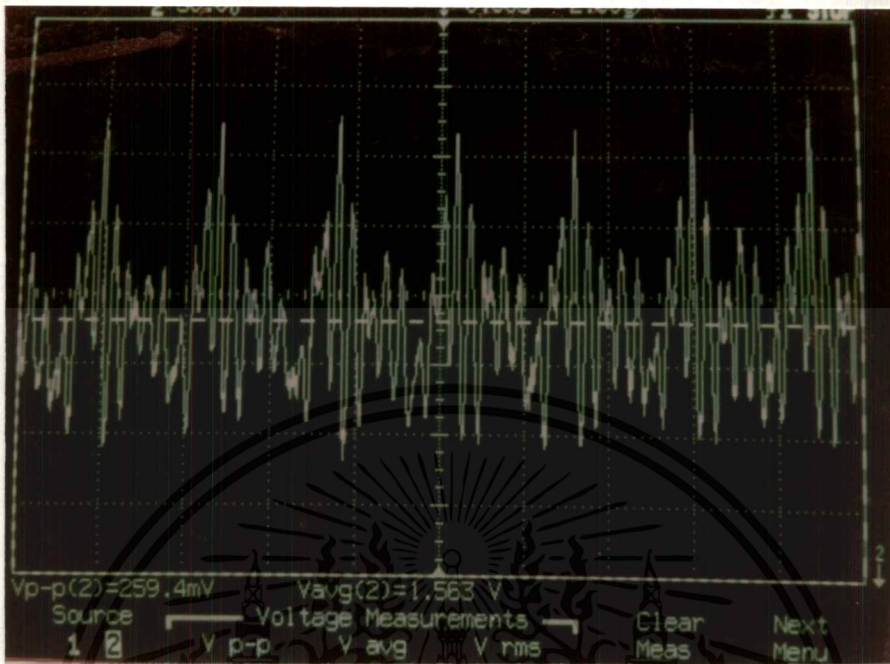
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรภาค REC / PLAY

2) ทดลองใช้เสียงพูดไล่มิค วัดสัญญาณที่เข้าไปในวงจรและสัญญาณที่ออกจากลำโพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

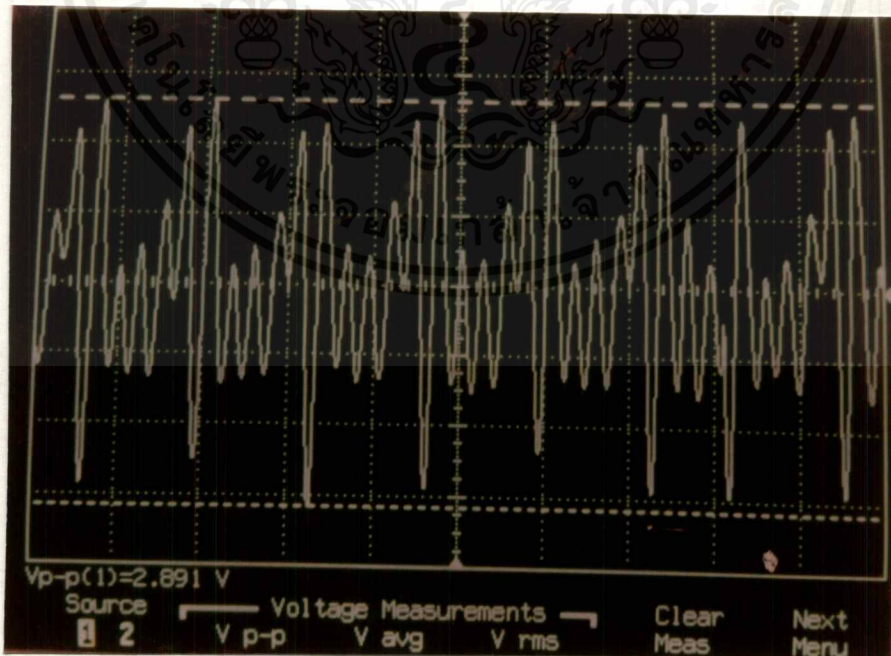
ผลการทดลอง

1)



รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณอินพุทของเสียง คำว่า "ให้" ที่เข้าไปในวงจรและถูกอัดไว้

2)



รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณเอาต์พุทของเสียง คำว่า "ให้" ที่ออกมาจากวงจร

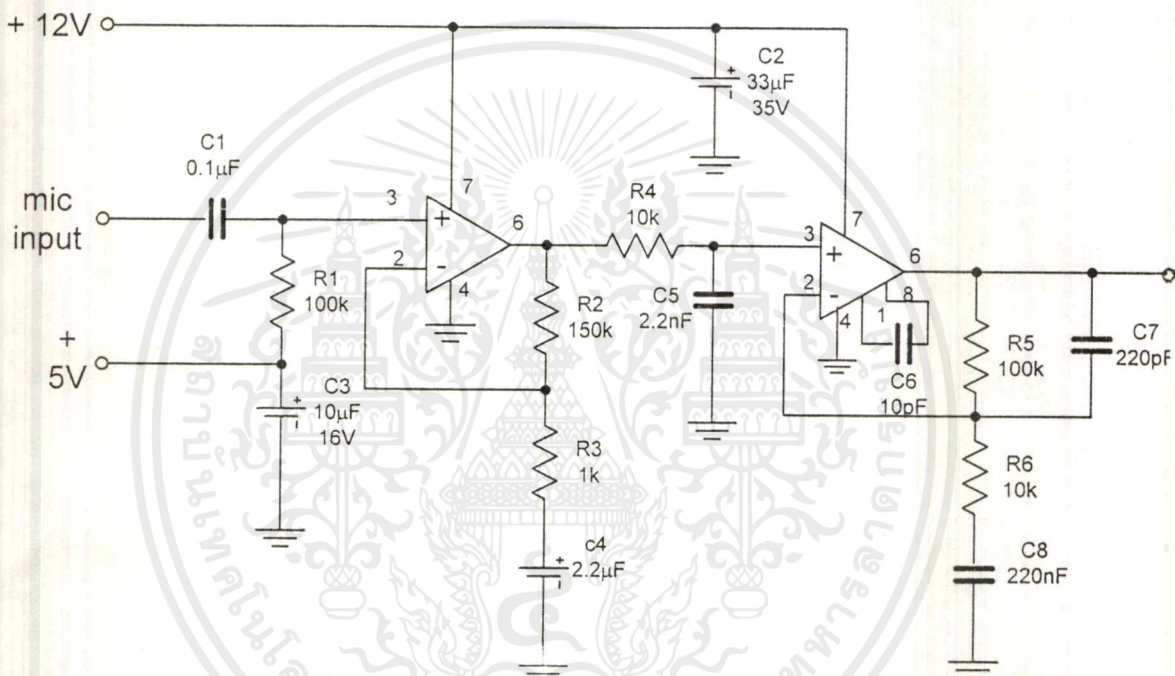
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ภาคเครื่องส่ง

สำหรับภาคเครื่องส่งนี้ จะมีส่วนประกอบอยู่ทั้งหมด 4 ส่วน เราจึงแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ทดลองดังนี้

4.6.1 ภาคขยายสัญญาณเสียง

การทดลอง 1) ต่อยวงจรตามรูปที่ 4.11

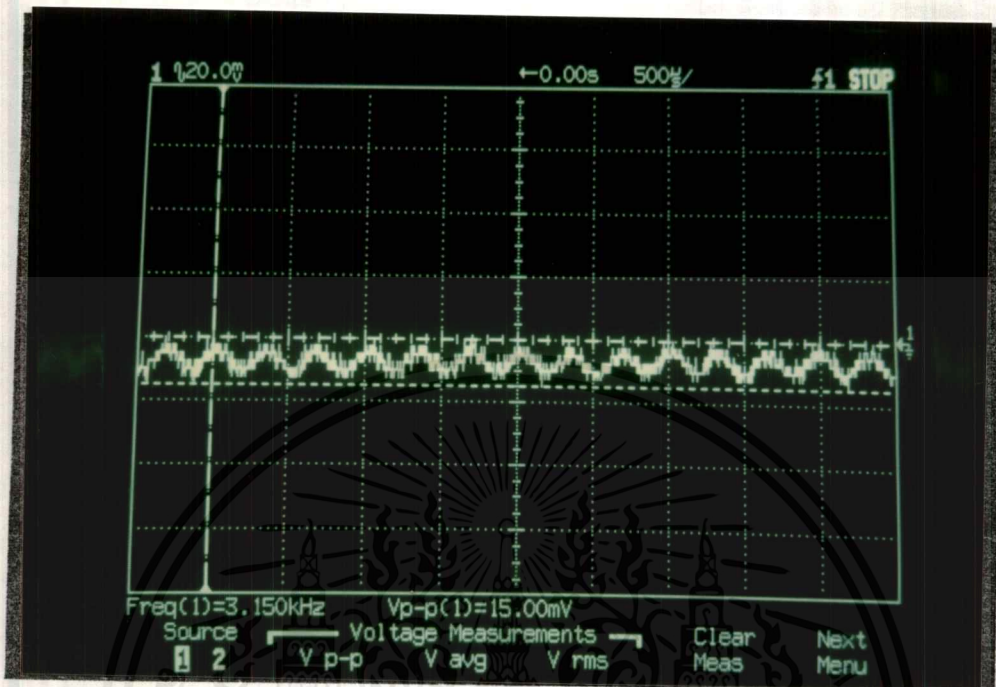


รูปที่ 4.11 แสดงวงจรภาคขยายเสียง

- 2) ป้อนสัญญาณรูปคลื่นเข้าทางขา 3 ของไอซี 1
- 3) วัดสัญญาณเอาท์พุทที่ออกมาทางขา 6 ของไอซี 2

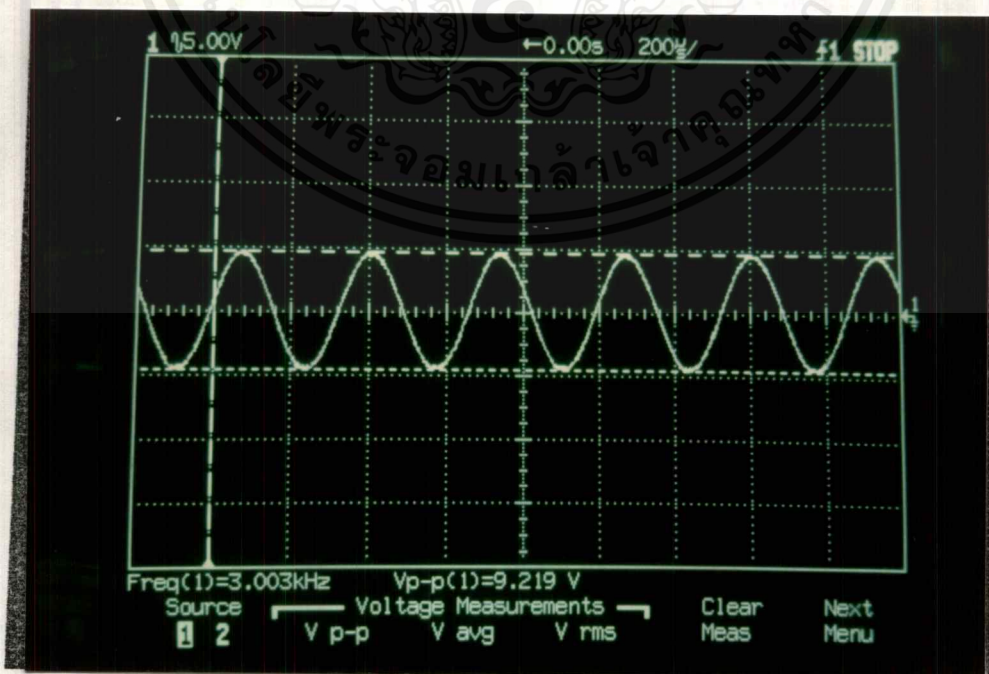
ผลการทดลอง

1)



รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าทางขา 3 ของไอซี 1

2)

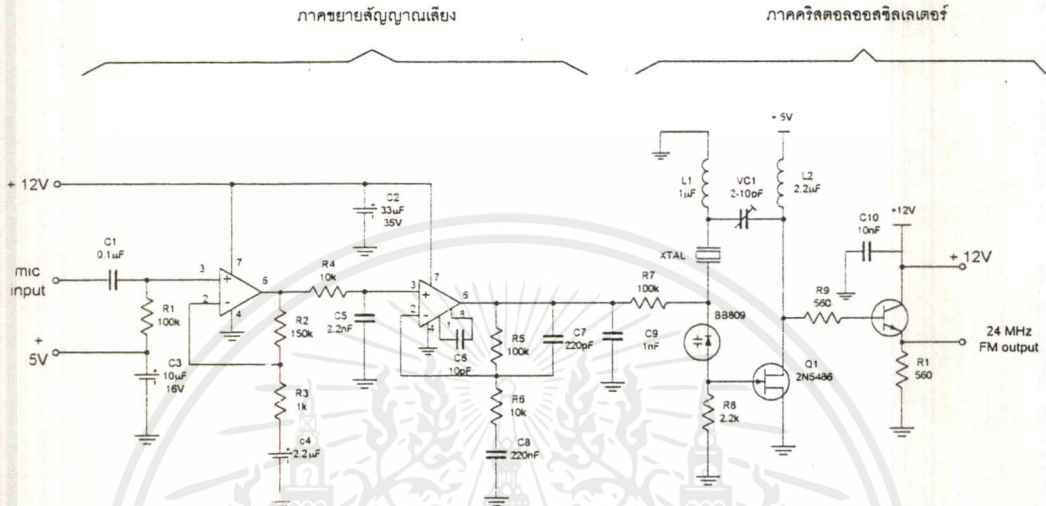


รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาทางขา 6 ของไอซี 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 ภาคคริสตอลออสซิลเลเตอร์

การทดลอง 1) ต่อดังรูปที่ 4.14

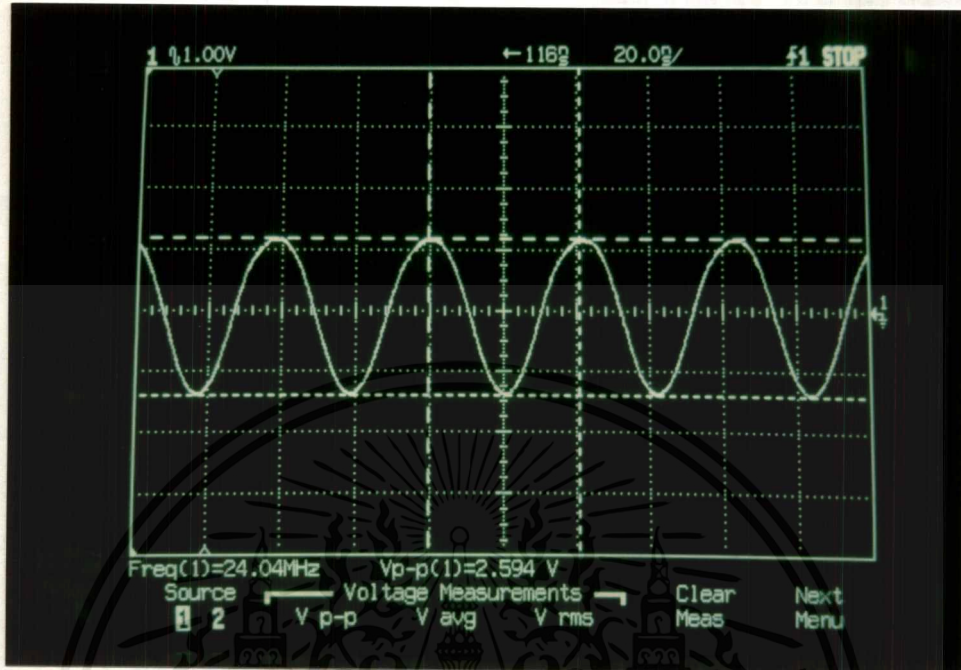


รูปที่ 4.14 แสดงวงจรภาคขยายสัญญาณเสียงและวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์

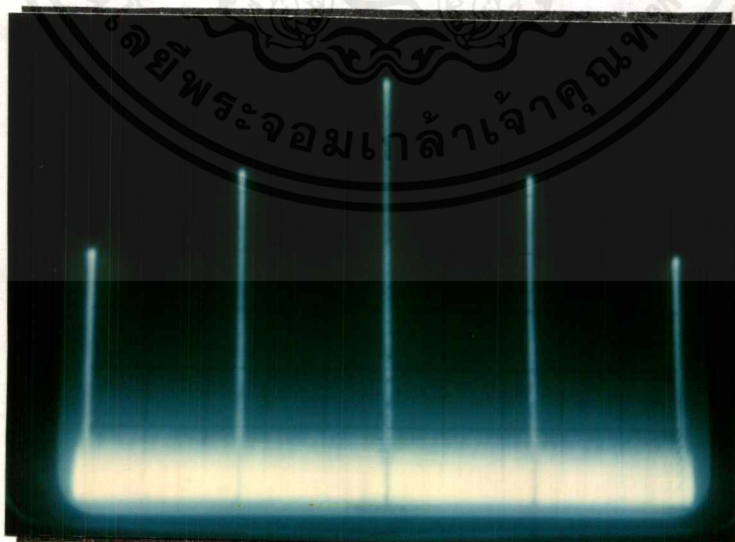
- 2) วัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา E ของทรานซิสเตอร์ Q₂
- 3) ป้อนสัญญาณรูปคลื่นเข้าทางขา 3 ของไอซี 1 แล้ววัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา E ของ Q₂

ผลการทดลอง

1)



รูปที่ 4.15 สัญญาณเอาต์พุตที่ขา E ของ Q₂ โดยใช้ออสซิลโลสโคปวัด

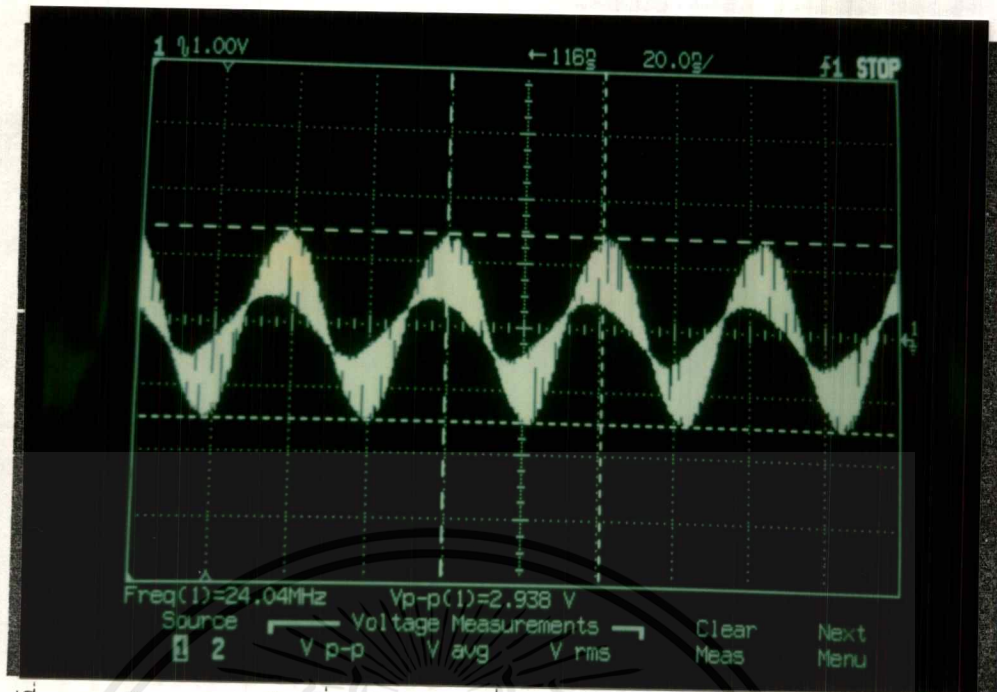


รูปที่ 4.16 สัญญาณเอาต์พุตที่ขา E ของ Q₂ โดยใช้สเปกตรัมอานาไลเซอร์วัด

ใช้สเกลช่องละ 10 MHz ฮาร์โมนิกที่มีขนาดอยู่ที่ 24 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

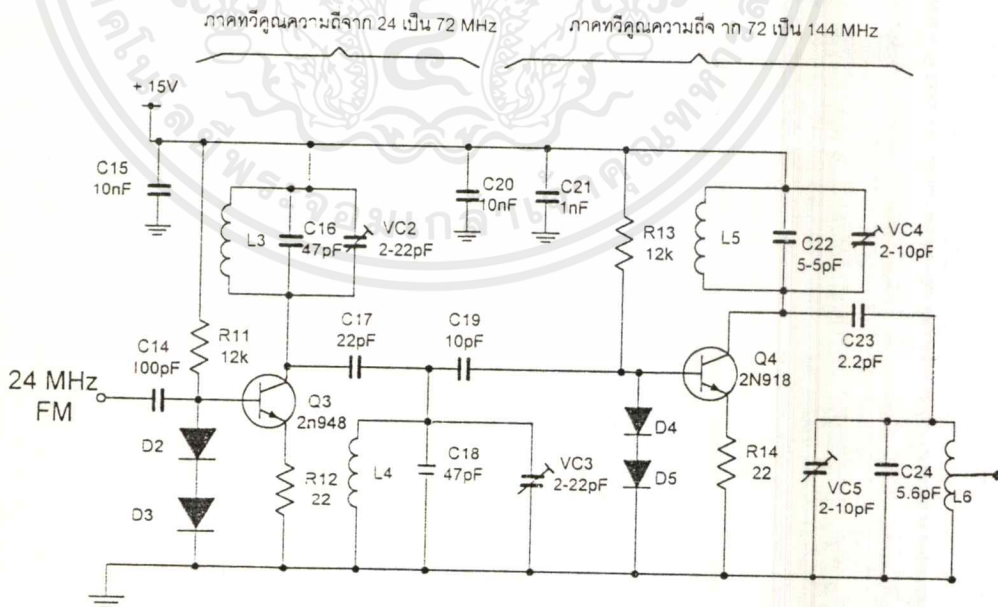
2)



รูปที่ 4.17 สัญญาณเอาต์พุตที่ขา E ของ Q₂ เมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นเข้าทางขา 3 ของไอซี 1 โดยใช้ฮอสซิลเลเตอร์วัด

4.6.3 ภาคทวีคูณความถี่

การทดลอง 1) ต่อดวงจรมตามรูปที่ 4.18



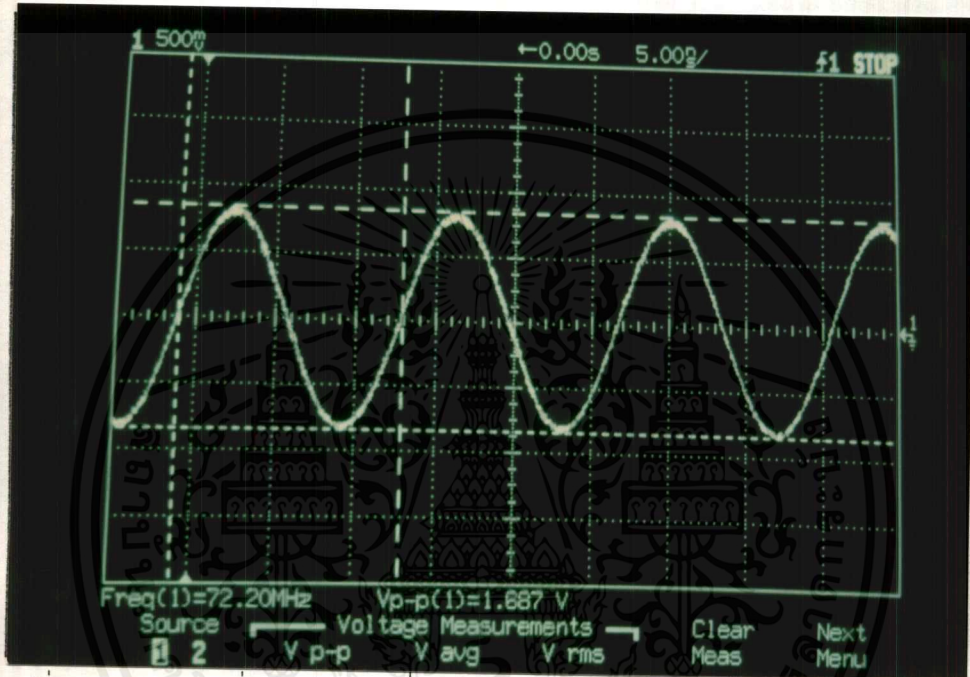
รูปที่ 4.19 แสดงวงจรมหาทวีคูณความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

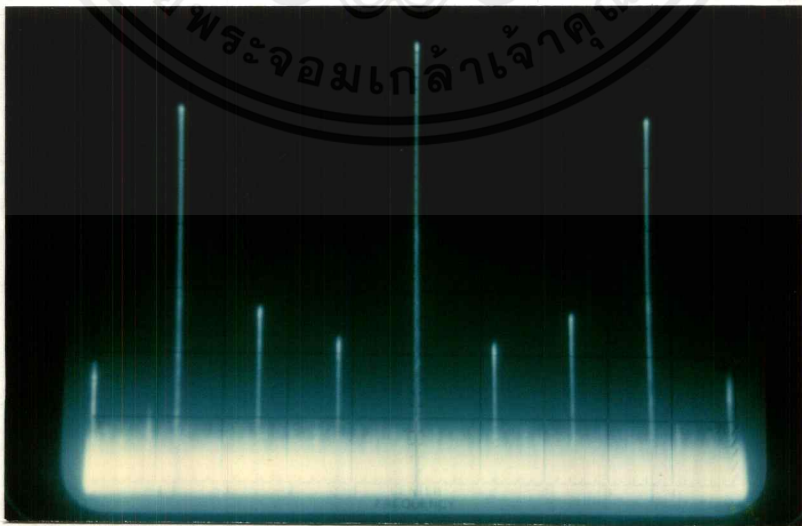
- 2) ป้อนสัญญาณ 24 MHz ที่ได้จากวงจรการทดลองที่ 4.8.2 เข้าทาง C_{14} โดยยังไม่ต้องป้อนสัญญาณรูปคลื่นที่ขา 3 ของไอซี 1
- 3) วัดสัญญาณที่ออกทาง C_{17}
- 4) ป้อนสัญญาณรูปคลื่นที่ขา 3 ของไอซี 1 แล้ววัดสัญญาณที่ออกทาง C_{17}
- 5) หยุดป้อนสัญญาณรูปคลื่นที่ขา 3 ของไอซี 1 แล้ววัดสัญญาณที่ออกทาง C_{23}

ผลการทดลอง

1)



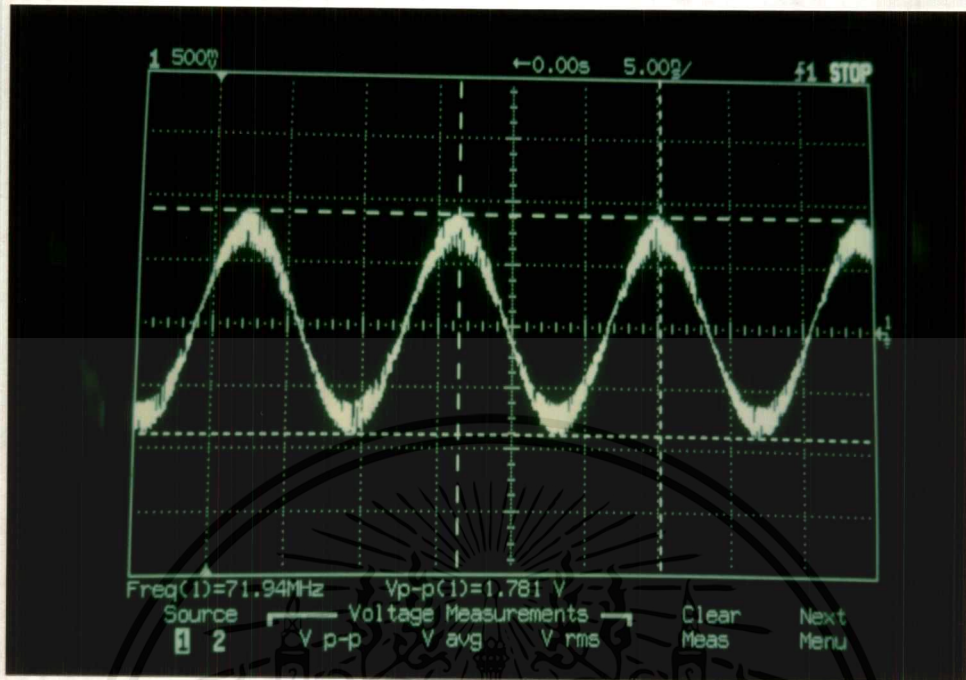
รูปที่ 4.20 สัญญาณที่ออกทาง C_{17} เมื่อยังไม่ป้อนสัญญาณรูปคลื่นที่ขา 3 ของไอซี 1 โดยใช้ข้อสวิตช์โลสโคปวัด



รูปที่ 4.21 สัญญาณที่ออกทาง C_{17} เมื่อยังไม่ป้อนสัญญาณรูปคลื่นที่ขา 3 ของไอซี 1 โดยใช้

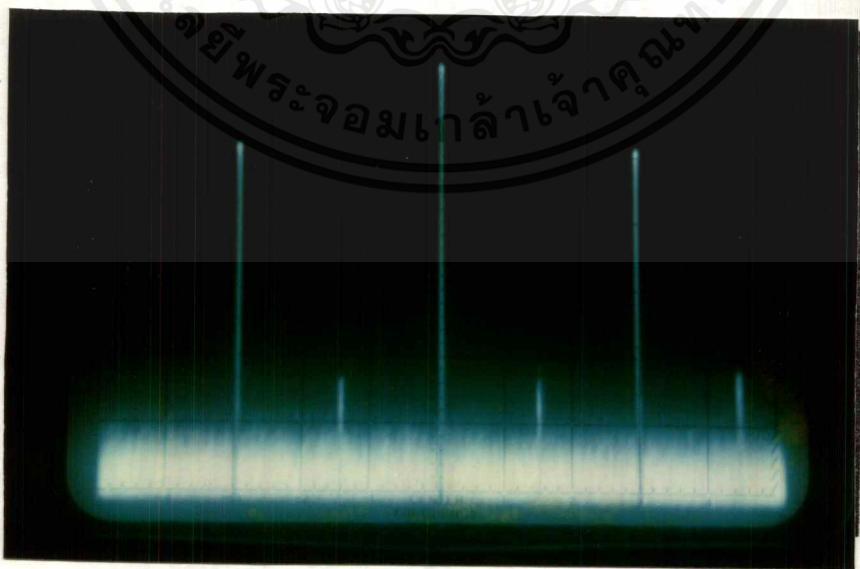
สเปกตรัมอนาล็อกเซอร์วิค สเกลช่องละ 20 MHz ฮาร์โมนิกขนาดสูงสุดอยู่ที่ 72 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 สัญญาณที่ออกทาง C_{17} เมื่อป้อนสัญญาณรูปคลื่นที่ขา 3 ของไอซี 1 โดยใช้ฮอสซิลโลสโคปวัด

2)

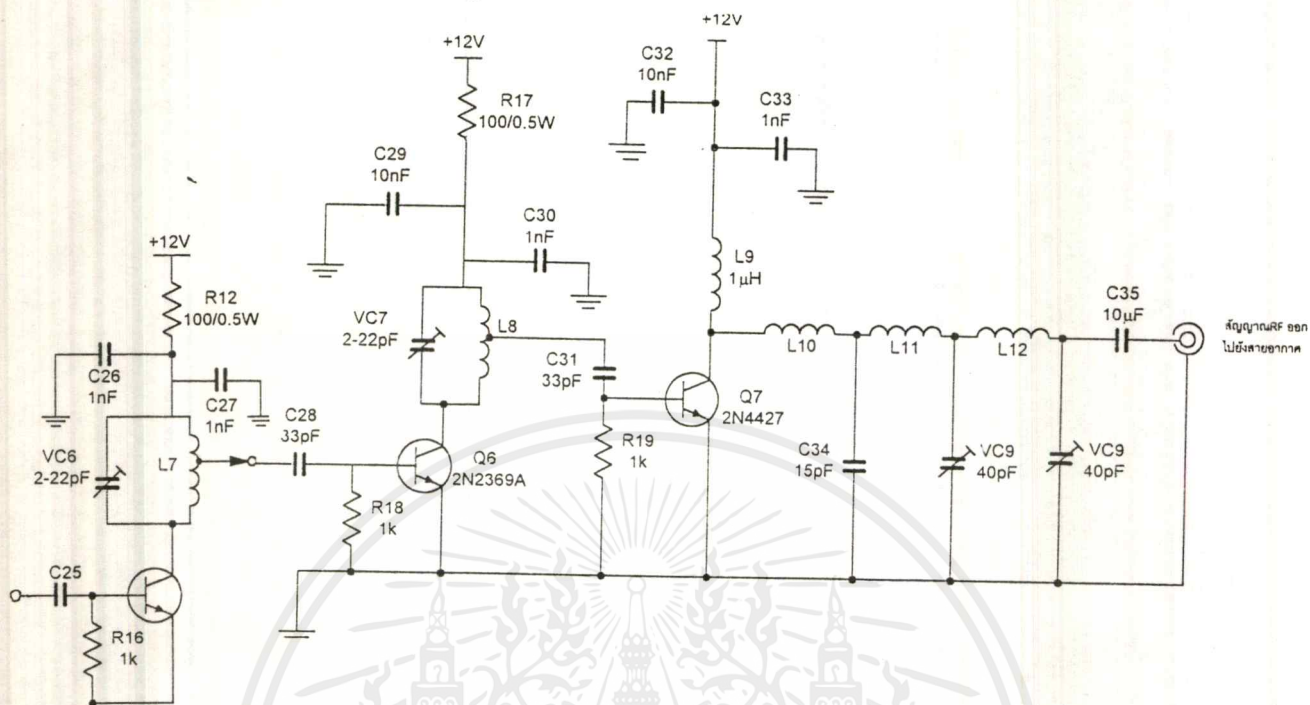


รูปที่ 4.23 สัญญาณที่ออกทาง C_{25} เมื่อยังไม่ป้อนสัญญาณรูปคลื่นที่ขา 3 ของไอซี 1 โดยใช้

สเปกตรัมอานาไลเซอร์วัด สัญญาณของละ 50 MHz ฮาร์โมนิกขนาดสูงสุดอยู่ที่ 144 MHz เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.4 ภาคขยายกำลังคลื่นวิทยุและภาคกรองสัญญาณ

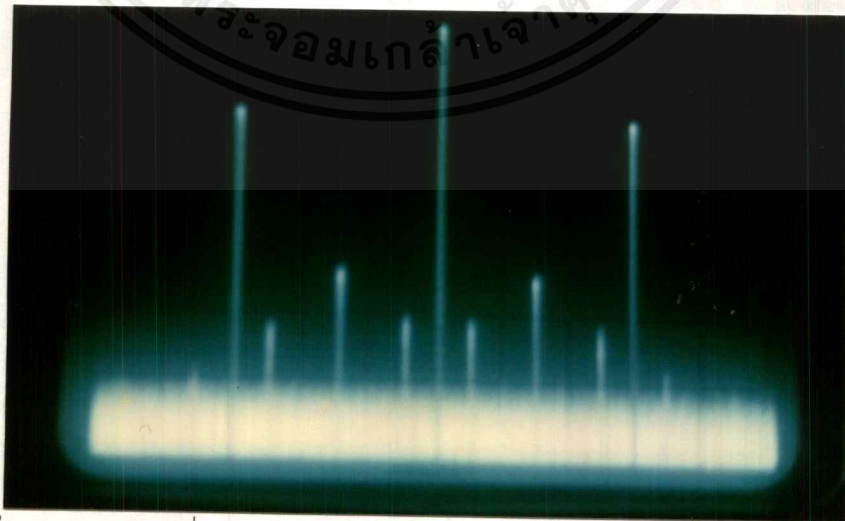
การทดลอง 1) ต่อบวงจรตามรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แสดงวงจรภาคขยายกำลัง RF และภาคกรองสัญญาณออก

- 2) นำวงจรตามรูปที่ 4.24 ต่อเข้ากับวงจรภาคขยายเสียง ภาคคริสตอล ออสซิลเลเตอร์ ภาคทวีคูณความถี่ โดยต่อเข้าทางแท็ป L_6
- 3) วัดสัญญาณที่ได้ทาง C_{35}

ผลการทดลอง



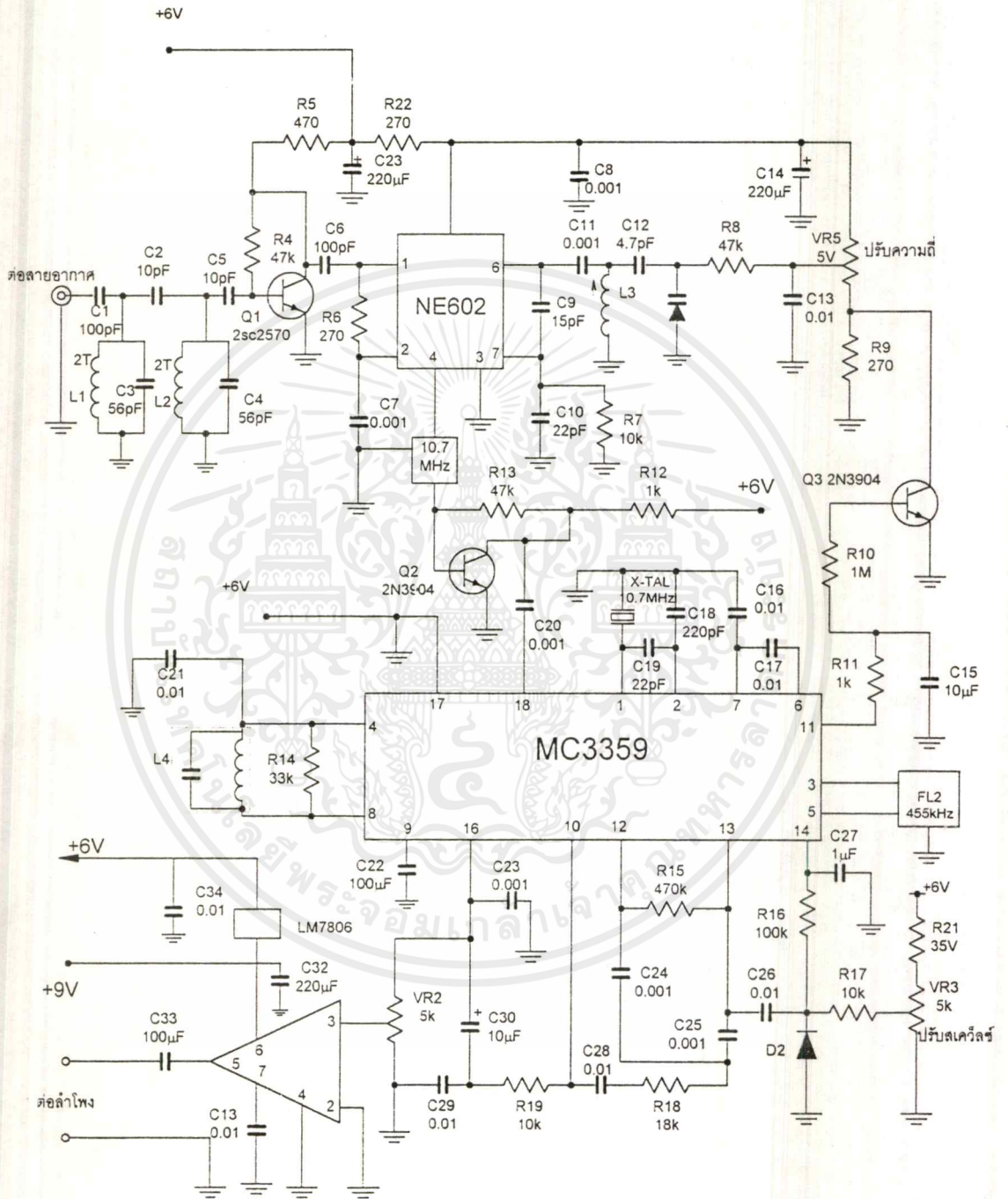
รูปที่ 4.25 สัญญาณที่วัดได้ทาง C_{35} โดยใช้สเปกตรัมอานาไลเซอร์ สเกลช่องละ 50 MHz

ฮาร์โมนิกขนาดสูงสุดอยู่ที่ 144 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ภาคเครื่องรับ

การทดลอง 1) ต่อดังตามรูป 4.26



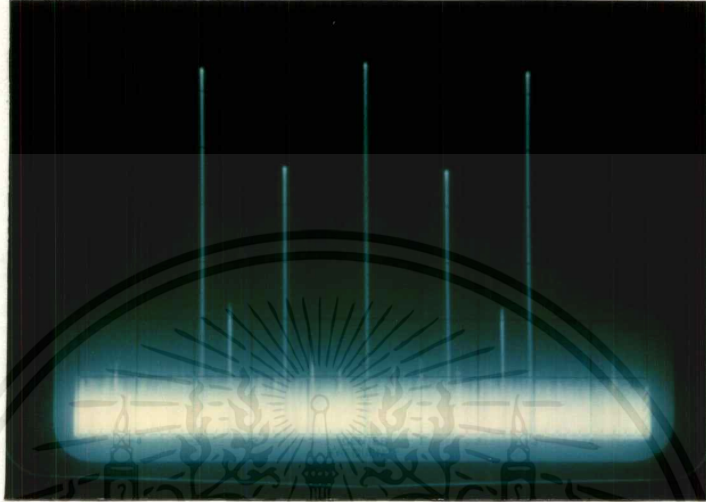
รูปที่ 4.26 แสดงวงจรเครื่องรับ 144 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) วัดสัญญาณที่ออกจาก C_5
- 3) ทดลองป้อนเสียงใส่ไมค์เข้าวงจรเครื่องส่งที่ได้จากการทดลองที่ 4.6 แล้ววัดสัญญาณที่ออกทางลำโพงของเครื่องรับ

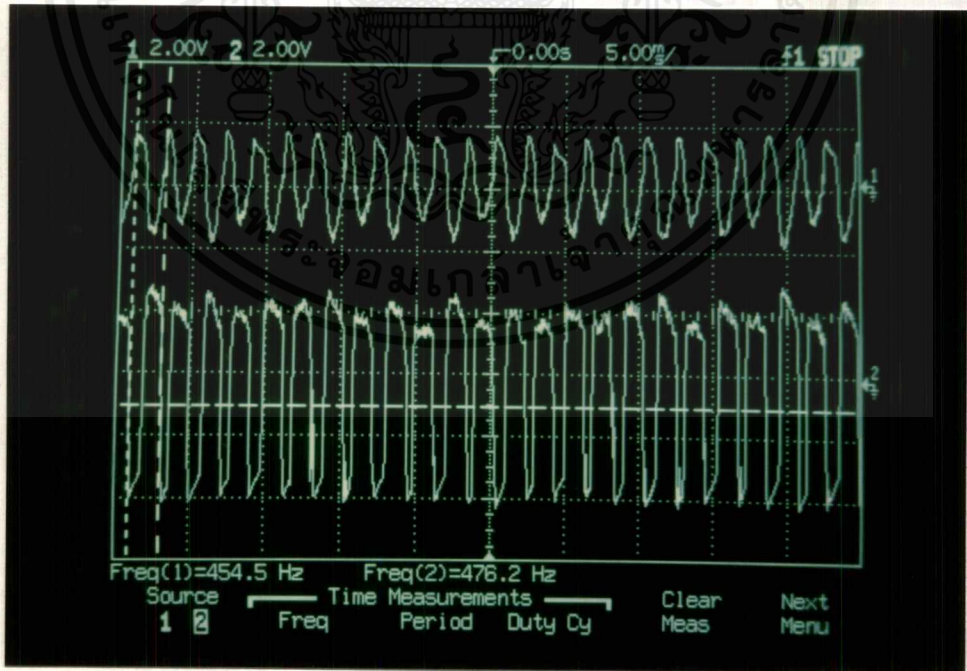
ผลการทดลอง

1)



รูปที่ 4.27 สัญญาณที่ออกจาก C_5 โดยใช้สเปกตรัมอนาลิเซอร์
สเกลช่องละ 50 MHz ฮาร์โมนิกที่มีขนาดสูงสุดอยู่ที่ 144 MHz

2)



รูปที่ 4.28 บน สัญญาณเสียงอินพุตที่ป้อนเข้าไมค์ของเครื่องส่ง
ล่าง สัญญาณเสียงเอาต์พุตที่ออกจกลำโพงของเครื่องรับ

หมายเหตุ ในรูปเป็นสัญญาณของคำว่า " อื่น "

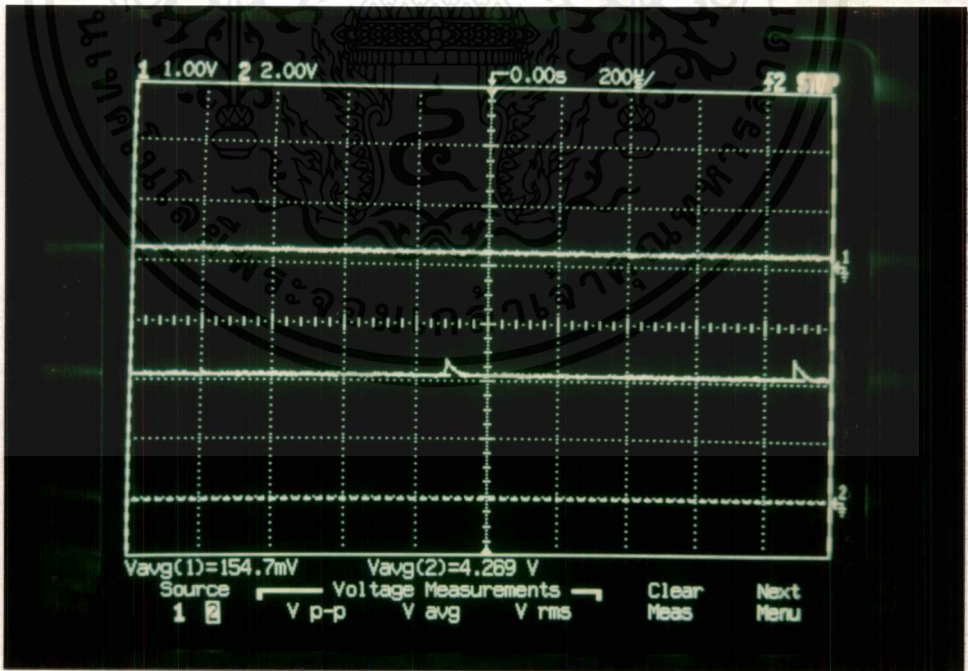
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การทดลองรวมวงจร

- การทดลอง 1) ต่อดวงจรถูกส่วนรวมกันทั้งหมดตามรูปที่ 4.31 โดยในการต่อนั้นจะต้องค่อยๆต่อเข้าและทดสอบการทำงานแต่ละส่วน
- 2) ทดสอบการทำงานของเครื่องรีพีเทออร์กับโปรแกรมที่เขียนไว้ (แสดงไว้ในภาคผนวก)

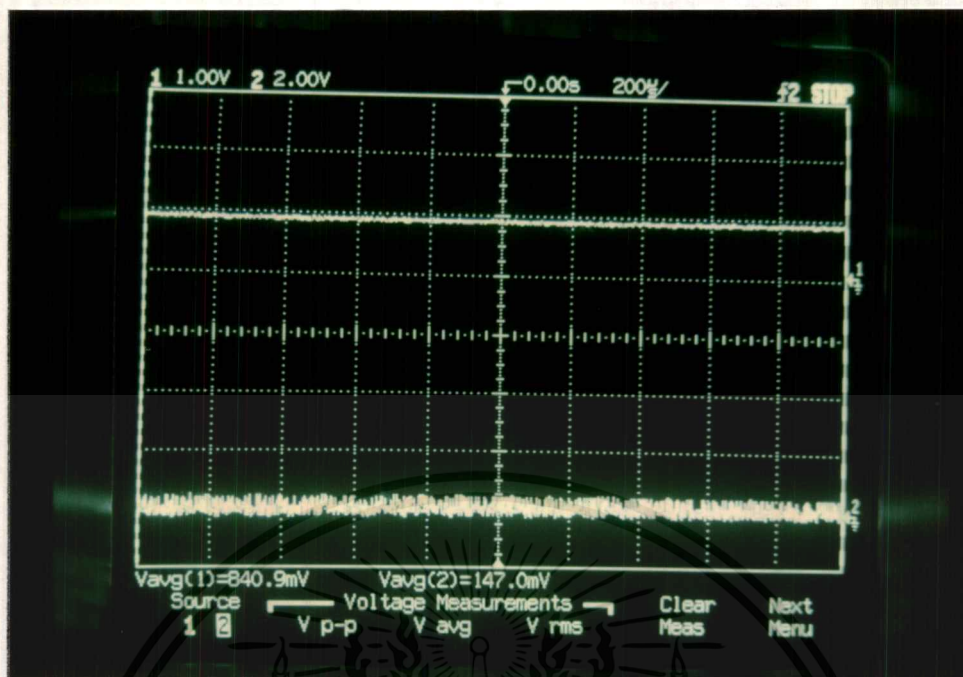
ผลการทดลอง

- 1) ขั้นแรกเราจะรวมวงจรเครื่องรับ เครื่องส่ง และวงจรอัดเสียงพูดเข้าด้วยกัน เมื่อเปิดสวิตซ์ให้เครื่องรับทำงาน แล้วพูดส่งสัญญาณออกจากวิทยุรับส่ง พร้อมกับกดสวิตซ์อัดเสียงพูด เราจะได้ยินเสียงออกจากลำโพงของเครื่องรับ แสดงว่าวงจรเครื่องรับกับวงจรอัดเสียงพูดทำงานได้
- 2) ปิดสวิตซ์เครื่องรับ แล้วเปิดสวิตซ์ให้เครื่องส่งทำงาน จากนั้นกดสวิตซ์เล่นกลับของวงจรอัดเสียงพูดในขณะที่เปิดเครื่องวิทยุรับส่งไว้ เราจะได้ยินเสียงจากวิทยุรับส่ง และจากลำโพงของวงจรอัดเสียงพูด แสดงว่าวงจรเครื่องรับ เครื่องส่ง และวงจรอัดเสียงพูด สามารถทำงานร่วมกันได้
- 3) ต่อดวงจรมอดูเลชันการมอดูเลชัน โดยนำสัญญาณอินพุตมาจากขา 15 ของ MC3359 ในภาคเครื่องรับ ป้อนให้กับขา 3 ของ LM324 ผลก็คือถ้ามีการมอดูเลชันของวิทยุรับส่ง จะทำให้เอาท์พุทของภาคเช็คการมอดูเลชันจากที่เคยมีระดับแรงดันสูง จะกลายเป็นระดับแรงดันต่ำ แต่เมื่อปล่อยคีย์ก็จะเป็นระดับแรงดันสูงเช่นเดิม



รูปที่ 4.29 ช่องสัญญาณที่ 1 สัญญาณที่ขา 3 ของ LM324 เมื่อยังไม่กดคีย์
 ช่องสัญญาณที่ 2 สัญญาณที่ขา 7 ของ LM 324 เมื่อยังไม่กดคีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 ช่องสัญญาณที่ 1 สัญญาณที่ขา 3 ของ LM324 เมื่อกดคีย์
ช่องสัญญาณที่ 2 สัญญาณที่ขา 7 ของ LM324 เมื่อกดคีย์

- 4) ต่อมานำวงจรภาค DTMF ต่อเข้าไป เปิดเครื่องรับ แล้วส่งสัญญาณ DTMF จากวิทยุรับส่ง สังเกตดู LED ของภาค DTMF จะได้สัญญาณเหมือนที่ส่งมา แสดงว่าภาคนี้สามารถทำงานได้
- 5) ต่อส่วนที่เหลือทั้งหมดเข้าเป็นวงจรรวม แล้วทำการทดสอบการทำงานของวงจรร่วมกับโปรแกรมที่เขียนไว้ ดังนี้

- เริ่มต้นด้วยการกดคีย์ส่งสัญญาณ DTMF เพื่อเปิดเครื่อง จำนวน 3 ตัว ให้ตรงกับที่ตั้งไว้ที่ภาค CODEREF
- เมื่อรหัสถูกต้องจะมีเสียงสัญญาณบอกให้ผู้ใช้กดหมายเลข เพื่อเลือกฟังก์ชันการใช้งาน โดยแบ่งเป็น 2 โหมด ดังนี้

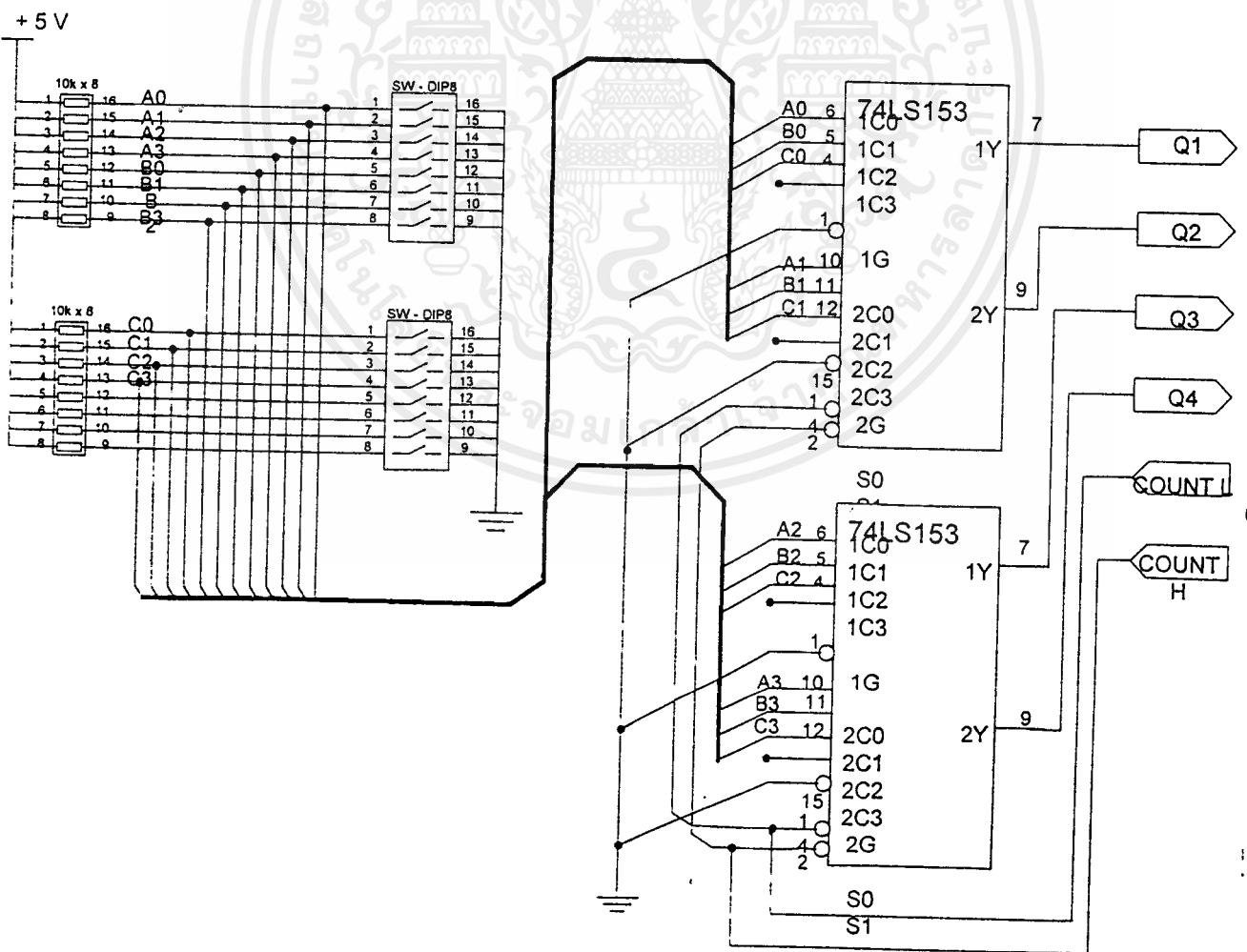
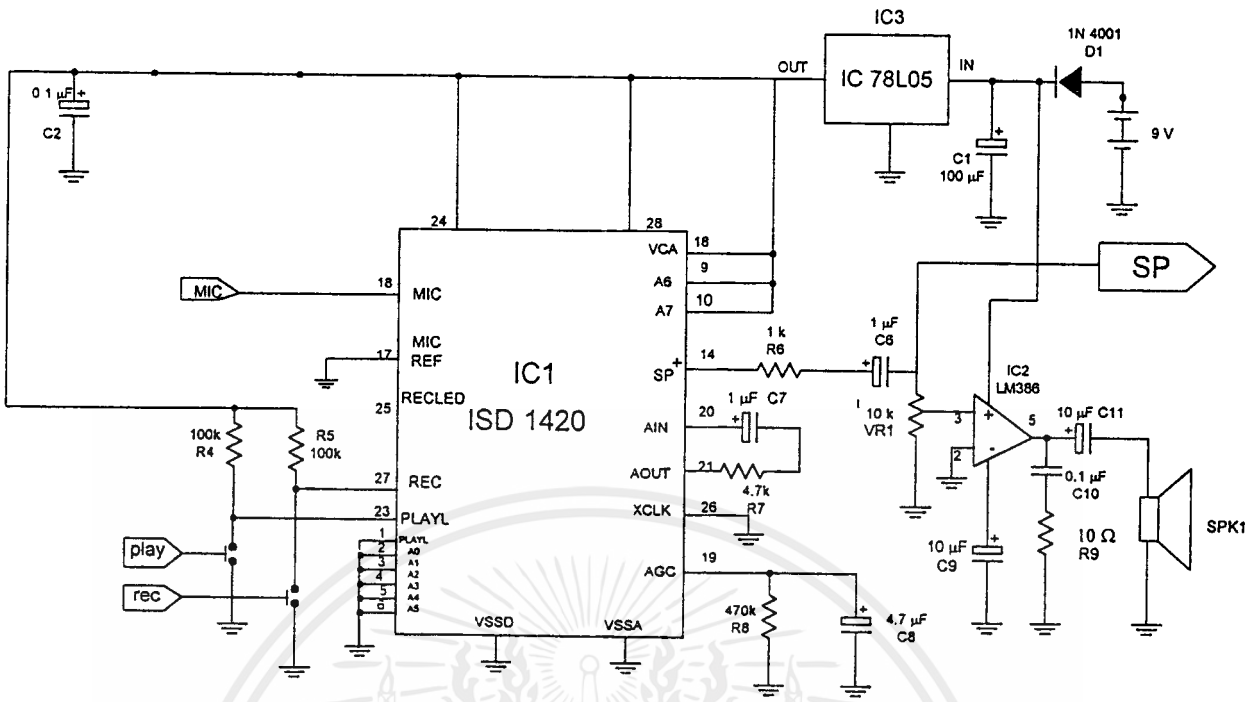
โหมด 0

- กด "0" เพื่อเลือกการทำงานในโหมด 0 ทำงานเป็นรีพีทเตอร์คือทำการบันทึกเสียงแล้วส่งออกอากาศ เมื่อได้ยินเสียงข้อความที่ส่งออกอากาศสิ้นสุด จึงกดคีย์หยุดต่อไป
 - หากต้องการปิดเครื่องกด "#" จะได้ยินเสียงสัญญาณยาวประมาณ 1.5 วินาที ก่อนเครื่อง ปิด
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

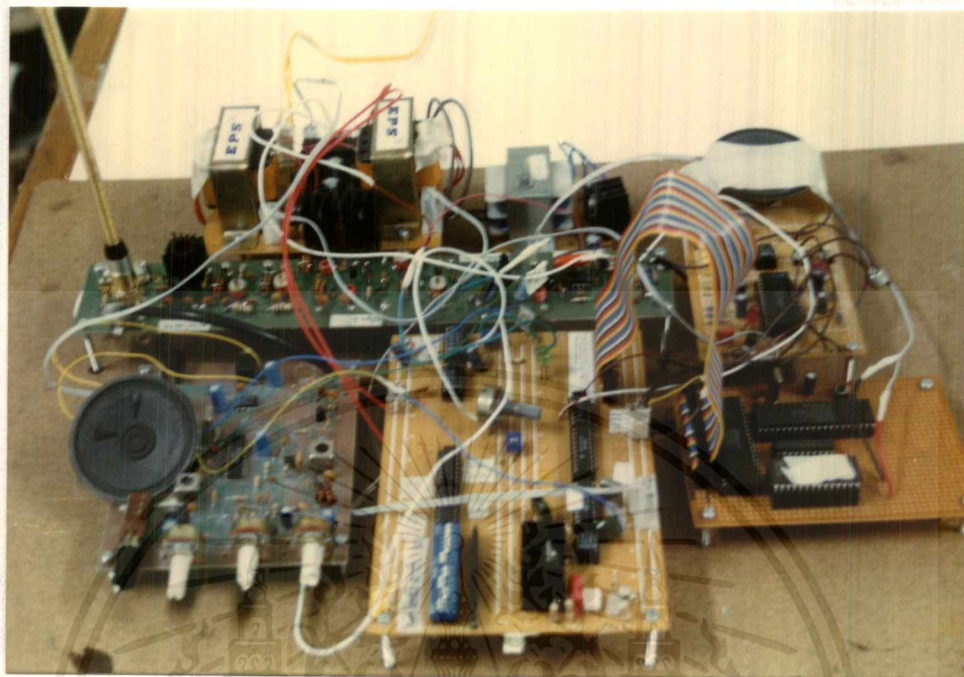
- หากต้องการเข้าสู่โหมด 1 กด "1" จะได้ยินเสียงสัญญาณยาว 0.5 วินาที 2 ครั้ง แสดงว่าได้เข้าสู่โหมด 1 ซึ่งเป็นโหมดของการฝากข้อความแล้ว
- หากกดเลขอื่นนอกเหนือจากนี้ เครื่องจะส่งสัญญาณเสียงสั้น 2 ครั้งแสดงว่ากดเลขผิด (ไม่มีฟังก์ชันการทำงานเลขนั้นให้เลือก) แล้วปิดเครื่องเองโดยอัตโนมัติ
- หากไม่มีการกดคีย์ใด ๆ ขณะเปิดเครื่องใช้งาน ภายใน 40 วินาที เครื่องจะปิดตัวเองโดยอัตโนมัติ

โหมด 1

- กด "1" เพื่อเลือกการทำงานในโหมด 1 ทำงานเป็นสถานีฝากข้อความ เมื่อได้ยินเสียงสัญญาณยาว 1 วินาที 2 ครั้ง ให้ทำการกดคีย์เพื่อฝากข้อความได้เลย (ฝากได้ไม่เกิน 20 วินาที) จากนั้นเครื่องจะส่งข้อความออกอากาศ 1 ครั้ง
- กด "#" หากต้องการปิดเครื่อง หลังจากนั้นหากมีใครเปิดเครื่องเข้ามาจะได้ยินข้อความที่ฝากไว้ที่นั้น ออกอากาศทันทีและจะกดคีย์ใด ๆ เพื่อพูดทับหรือใช้งานในโหมด 0 ไม่ได้
- กด "9" หากต้องการแก้ไขข้อความที่เพิ่งฝากไป (ต้องยังไม่ปิดเครื่องเมื่อฝากข้อความเสร็จ) เพื่อทำการฝากข้อความใหม่
- กด "*" หากต้องการฟังข้อความซ้ำ
- กด "5" เมื่อต้องการยกเลิกข้อความที่ฝากไว้ แล้วสามารถไปเลือกโหมด 0 ,โหมด1 หรือปิดเครื่องเลยก็ได้ อาจใช้ในกรณีที่มีคนฝากข้อความไว้ แต่เราต้องการใช้เครื่องจริง ๆ จะขอใช้เครื่องก่อน หลังจากใช้งานแล้วจึงฝากข้อความไว้ตามเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.31 รูปวงจรรวมของเครื่องทวนสัญญาณวิทยุรับส่งความถี่เดียว ย่านความถี่ 144 MHz
 ไม่ว่าจะกรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 แสดงชิ้นงานวงจรรวมทั้งหมด

- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1 ภาคเช็คการกดยึด

การทำงานในภาคนี้จะใช้วงจรตรวจจกระดับแรงดันที่เป็นบวกแบบกลับเฟส หรืออินอินเวอร์ติ่ง โดยมีแรงดันอ้างอิงที่ขา 5 ของไอซี LM 324 มีค่าเท่ากับ 2.802 โวลท์ ถ้าหากว่าแรงดันอินพุทที่ขา 6 ของ LM 324 มีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิง เอาท์พุทที่ออกมาจะเป็น low แต่ถ้าแรงดันอินพุทที่ขา 6 ของ LM 324 มีค่าน้อยกว่าแรงดันอ้างอิง เอาท์พุทที่ออกมาจะเป็น high

จากรูปผลการทดลองในหัวข้อ 4.1 จะเห็นว่า แรงดันอินพุทที่เข้ามาที่ขา 6 ของ LM 324 จะมีลักษณะเป็นพัลส์ โดยมีค่าแรงดันสูงสุด 3.125 โวลท์ และค่าแรงดันต่ำสุด 0 โวลท์ ดังนั้นช่วงที่มีค่าแรงดันสูงสุด (high) เอาท์พุทที่ออกมาจะเป็น 0 โวลท์ (low) เพราะแรงดัน $3.125\text{ v} > 2.802\text{ v}$. ช่วงที่มีค่าแรงดันต่ำสุด (low) เอาท์พุทที่ออกมาจะเป็น 3.313 โวลท์ (high) เพราะแรงดัน $0\text{ v} < 2.802\text{ v}$

ตรงส่วนหน้าของวงจรในภาคนี้ จะมีการใช้บัฟเฟอร์ เพื่อประโยชน์ในการใช้เป็นตัวกันชนระหว่าง 2 วงจรที่ต้องการจะต่อเชื่อมถึงกัน วงจรบัฟเฟอร์นี้จะให้ค่าความต้านทานอินพุทสูงมาก ดังนั้นเมื่อต่อเป็นโหลดของวงจรอื่น ก็ไม่ทำให้แรงดันเอาท์พุทของวงจรที่จ่ายแรงดันนั้นตกลงได้ และในทำนองเดียวกัน เมื่อนำไปขับวงจรอื่น ก็สามารถจ่ายกระแสไปให้วงจรอื่นได้โดยไม่ทำให้ระดับแรงดันเอาท์พุทของออปแอมป์ตก เนื่องจากออปแอมป์มีค่าความต้านทานเอาท์พุทต่ำมาก

สรุปได้ว่า วงจรในภาคนี้มีหน้าที่ในการตรวจสอบการกดยึดและปล่อยคีย์ของลูกข่าย ที่ต้องการจะติดต่อผ่านเครื่องรีพีเทอรันี้ โดยถ้ามีการกดยึด อินพุทที่เข้ามาจะเป็น high เอาท์พุทที่ออกจากวงจรมีจะเป็น low แต่ถ้าอยู่ในช่วงปล่อยคีย์ อินพุทที่เข้ามาจะเป็น low เอาท์พุทที่ออกจากวงจรมีจะเป็น high

5.2 ภาค DECODE DTMF

ในภาคนี้อาศัยการทำงานของ MT 8870 ซึ่งมีความสมบูรณ์ในตัว คือ ได้รหัสที่แตกต่างกัน เมื่อกดปุ่ม DTMF ที่ต่างกัน โดยรหัสที่ได้ เมื่อกด DTMF 1 - 9 จะได้เป็นค่าที่ตรงกับเลขไปนารี 4 บิต (เลขฐานสอง) ส่วนเมื่อกด 0 รหัสจะเป็น 1010 , * รหัสคือ 1011 และ # รหัสคือ 1100 ซึ่งไม่ซ้ำกับเลขฐานสองของ 1 - 9 เลย โดยในโครงงานนี้ เราจะให้รหัสหลัก 3 ตัว ส่วนตัวที่ 4 ใช้เพื่อเลือกฟังก์ชันการทำงานว่าจะปิดหรือเปิดเครื่อง นอกจากนี้ยังมีสัญญาณสโตรป (StD) ซึ่งเป็นเสมือนสัญญาณแจ้งให้ทราบว่ามี DTMF เข้ามา จึงนำไปใช้สร้างสัญญาณอินเตอร์รัปท์ให้กับส่วนประมวลผล และใช้เป็นอินพุทในการสร้างสัญญาณในภาค MONO ด้วย

5.3 ภาค TONE

จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.3 จะเห็นว่า เราจะใช้ไอซี 555 ทำงานในสภาวะอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งจะผลิตความถี่ออกมา 1 KHz ที่ขา 3 ของไอซี 555 โดยเอาท์พุทที่ได้จะถูกควบคุมด้วยแรงดันที่ขา 4 อีกทีหนึ่ง คือถ้าแรงดันที่ขา 4 เป็น low เอาท์พุทก็จะเป็น low ด้วย

สัญญาณที่ออกมาจากขา 3 ซึ่งถูกควบคุมด้วยขา 4 นี้ จะใช้เป็นสัญญาณ TONE บอกสภาวะการปิด - เปิดของเครื่องรีพิตเตอร์ โดยสภาวะที่ขา 4 จะถูกสั่งมาจาก CPU

5.4 ภาค CODE REF

ในภาคนี้ใช้เป็นส่วนกำหนดรหัสในการปิด - เปิดเครื่อง โดยสามารถเรียกรหัสเหล่านั้น (ที่ตั้งค่าไว้ที่ ดิปลิวท์) เพื่อไปเปรียบเทียบกับรหัสของ DTMF ได้โดยใช้คำสั่งจากส่วนประมวลผลเลือกที่ขา select (S_0, S_1) ของไอซี 74153 ทั้งสองตัว โดยที่เมื่อ $S_1 = 0, S_0 = 0$ จะได้ code ตัวแรก

$S_1 = 0, S_0 = 1$ จะได้ code ตัวที่สอง

$S_1 = 1, S_0 = 0$ จะได้ code ตัวที่สาม

จะดึงรหัสเข้าไปเปรียบเทียบกับ DTMF ทีละตัวจนครบ 3 ตัว

การกำหนดรหัสโดยใช้ดิปลิวท์จะช่วยให้เราเปลี่ยนแปลงรหัสในการเปิดปิดเครื่องได้สะดวก เมื่อพบว่ามิบุคคลภายนอกกลุ่มมาใช้เครื่องรีพิตเตอร์โดยไม่ได้รับอนุญาต

5.5 ภาค REC / PLAY

ในภาคนี้จะเป็นวงจรอัดเสียงพูด โดยใช้ไอซี ISD 1420 เพื่อทำการอัดข้อความเก็บไว้ และสามารถทวนข้อความซ้ำได้ ซึ่งปราศจากกลไกต่างๆในการทำงาน อีกทั้งใช้ร่วมกับ CPU ได้ด้วย

ไอซี ISD 1420 นี้เป็นไอซีสำเร็จรูป สามารถบันทึกเสียงได้โดยการเก็บไว้เป็นระดับแรงดันต่างๆภายในเซล มีหน่วยความจำแบบ EEPROM ทำงานได้สะดวกสบาย ไม่ต้องต่อกับแรมภายนอก

จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.5 จะเห็นว่า การให้สัญญาณอินพุทรูปไซน์เวฟเข้าไปเก็บบันทึกไว้ แล้ววัดสัญญาณเอาท์พุทที่ออกมาก็จะได้สัญญาณไซน์เวฟเช่นกัน สามารถปรับแอมพลิจูดของสัญญาณเอาท์พุทได้ โดยการปรับโวลุ่ม

5.6 ภาคเครื่องส่ง

จากการทดลองในหัวข้อ 4.6 จะเห็นว่า ภาคเครื่องส่งจะมีส่วนประกอบ 4 ส่วนด้วยกัน คือ

- ภาคขยายสัญญาณเสียง
- ภาคคริสตอลออสซิลเลเตอร์
- ภาคทวีคูณความถี่ 6 เท่า
- ภาคขยายคลื่นวิทยุและกรองสัญญาณ

ไมโครโฟนจะส่งสัญญาณเสียงเข้าไปขยายที่ภาคขยายสัญญาณเสียง (AUDIO AMPLIFIER) สัญญาณเสียงที่ออกจากภาคขยายสัญญาณจะถูกส่งต่อเข้าไปมอดูเลท (modulate) กับสัญญาณความถี่วิทยุ 24 MHz ซึ่งผลิตขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาคออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมความถี่ด้วยแร่คริสตอล 24 MHz (CRYSTAL OSCILLATOR 24 MHz) หลังจากมอดกับความถี่เสียงแล้วความถี่ 24 MHz จะเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเสียงที่เข้ามามอดด้วยซึ่งเป็นไปตามหลักการมอดดูเลทคลื่นสัญญาณในระบบ FM จากนั้นสัญญาณความถี่ 24 MHz ที่ผ่านมอดกับสัญญาณเสียงแล้วจะถูกส่งไปยังภาคทวีคูณความถี่ (FREQUENCY MULTIPLIER) เพื่อทวีความถี่ขึ้นไปอีก 6 เท่า จากความถี่ 24 MHz เป็น 144 MHz ($24 \times 6 = 144$) สัญญาณความถี่วิทยุ 144 MHz ที่ได้จะถูกส่งไปขยายสัญญาณให้มีกำลังแรงขึ้นที่ภาคขยายกำลังความถี่วิทยุ 144 MHz (144 MHz. RF. AMPLIFIER) ก่อนส่งสัญญาณไปออกอากาศที่สายอากาศ (ANTENNA)

สำหรับภาคขยายกำลัง RF นั้น เราจะหาเกณฑ์การขยายของวงจรถัดจาก อัตราส่วนของแรงดันเอาต์พุตต่อด้วยแรงดันอินพุต ซึ่งจากการทดลอง แรงดันอินพุตก่อนเข้าภาคนี้มีค่าประมาณ 6.3 โวลท์ ส่วนแรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 11 โวลท์

ดังนั้นเกณฑ์การขยายของภาคนี้มีค่าเท่ากับ $11 \div 6.3 = 1.74$

5.7 ภาคเครื่องรับ

เครื่องรับที่ใช้ในการทดลองที่ 4.7 นั้นเป็นชนิดซูเปอร์เฮต ซึ่งจะมีการผสมสัญญาณ 2 ครั้ง โดยการผสมสัญญาณครั้งที่ 1 จะแปลงสัญญาณจาก 144 MHz เป็น 10.7 MHz ที่ไอซี NE 602 ส่วนการผสมสัญญาณครั้งที่ 2 นั้นจะแปลงสัญญาณจาก 10.7 MHz เป็น 455 KHz ที่ไอซี MC 3359 ซึ่งการผสมสัญญาณทั้งสองครั้งนั้นต้องใช้สัญญาณจากวงจรรออสซิลเลเตอร์ สัญญาณที่ผ่านการผสมครั้งที่ 2 แล้วจะผ่านส่วนลิ้มิตเตอร์ และจะถูกดีเทคให้เป็นสัญญาณเสียงที่วงจรถ่วงเฟม ดีเทคเตอร์ และวงจรถ่วงควบคุมสควีลซ์จะทำหน้าที่ตัดพื้นสัญญาณเสียงรบกวนในขณะที่ไม่มีสัญญาณจากสถานีใดๆเข้ามา จากนั้นสัญญาณเสียงที่ได้จะผ่านไอซี LM 386 ซึ่งเป็นไอซีขยายสัญญาณเสียง และส่งออกลำโพงต่อไป

นอกจากนั้นแล้วเครื่องรับนี้จะมีวงจร AFC (automatic frequency control) ให้กับวงจรรออสซิลเลเตอร์ เพื่อให้ไม่ให้ออสซิลเลเตอร์ทำงานคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากสัญญาณที่รับเข้ามาที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ

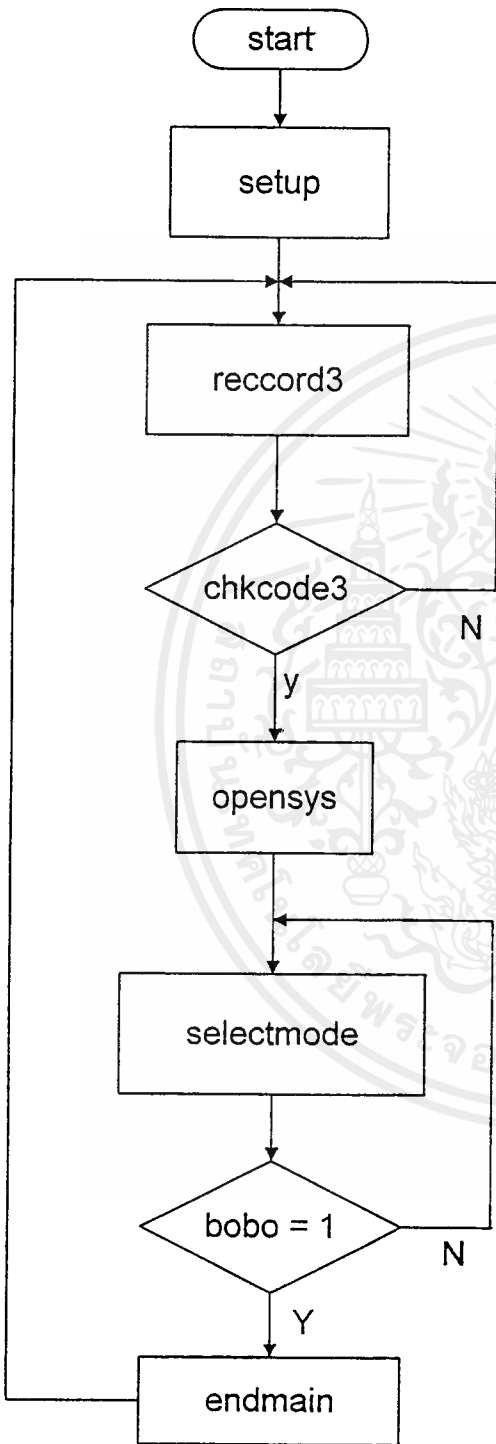
บทสรุปวิจารณ์

จากการทดลองในหัวข้อ 4.8 ซึ่งเป็นการต่อวงจรทุกส่วนรวมกัน เพื่อให้เป็นเครื่องทวนสัญญาณความถี่เดียว (144 MHz) นั้น วงจรนี้สามารถทำงานได้ดีในระดับหนึ่ง แต่ก็ยังมีข้อบกพร่องคือ ที่วงจรเครื่องรับจะมีปัญหาในการรับสัญญาณ เมื่อมีมือหรือวัตถุที่เป็นโลหะเข้าไปใกล้แผงเครื่องหรือเมื่อย้ายแผงเครื่องจากที่หนึ่งไปยังที่หนึ่งแล้วการรับความถี่ของคลื่นจะเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ต้องปรับจูนความถี่อยู่บ่อยครั้ง ซึ่งเป็นข้อเสียของวงจรเครื่องรีพีทเตอร์นี้

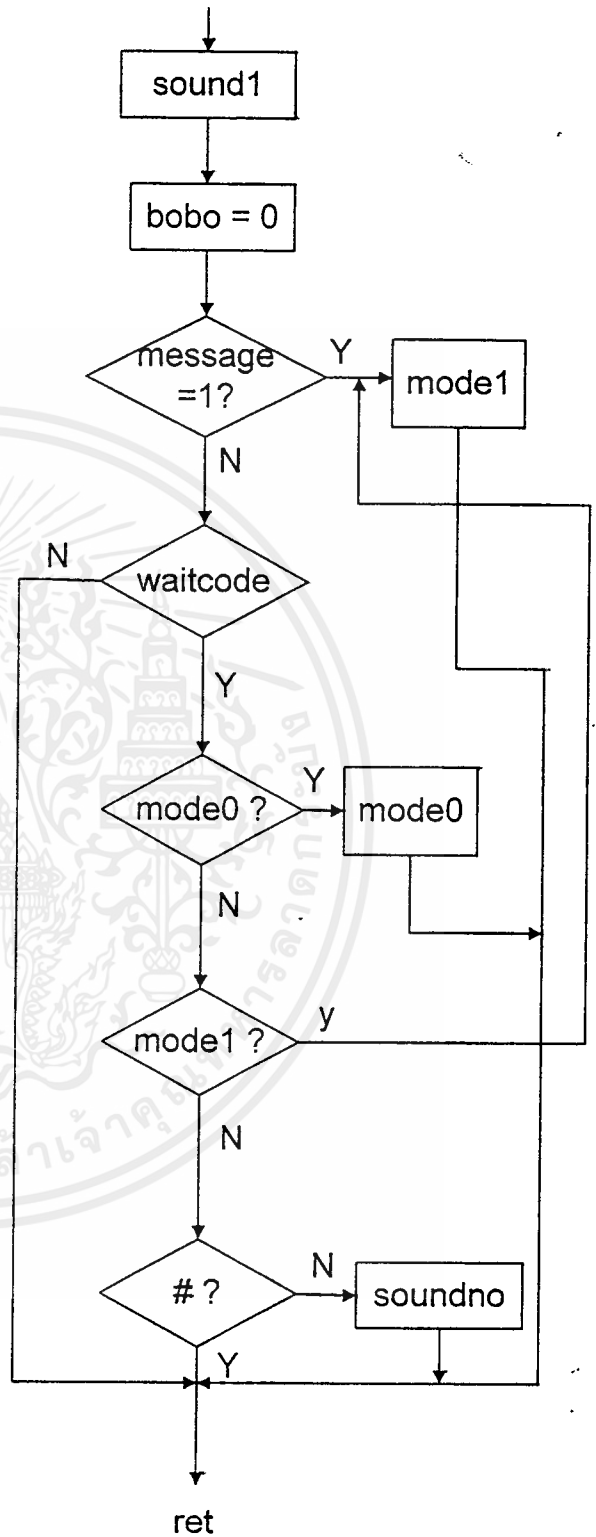


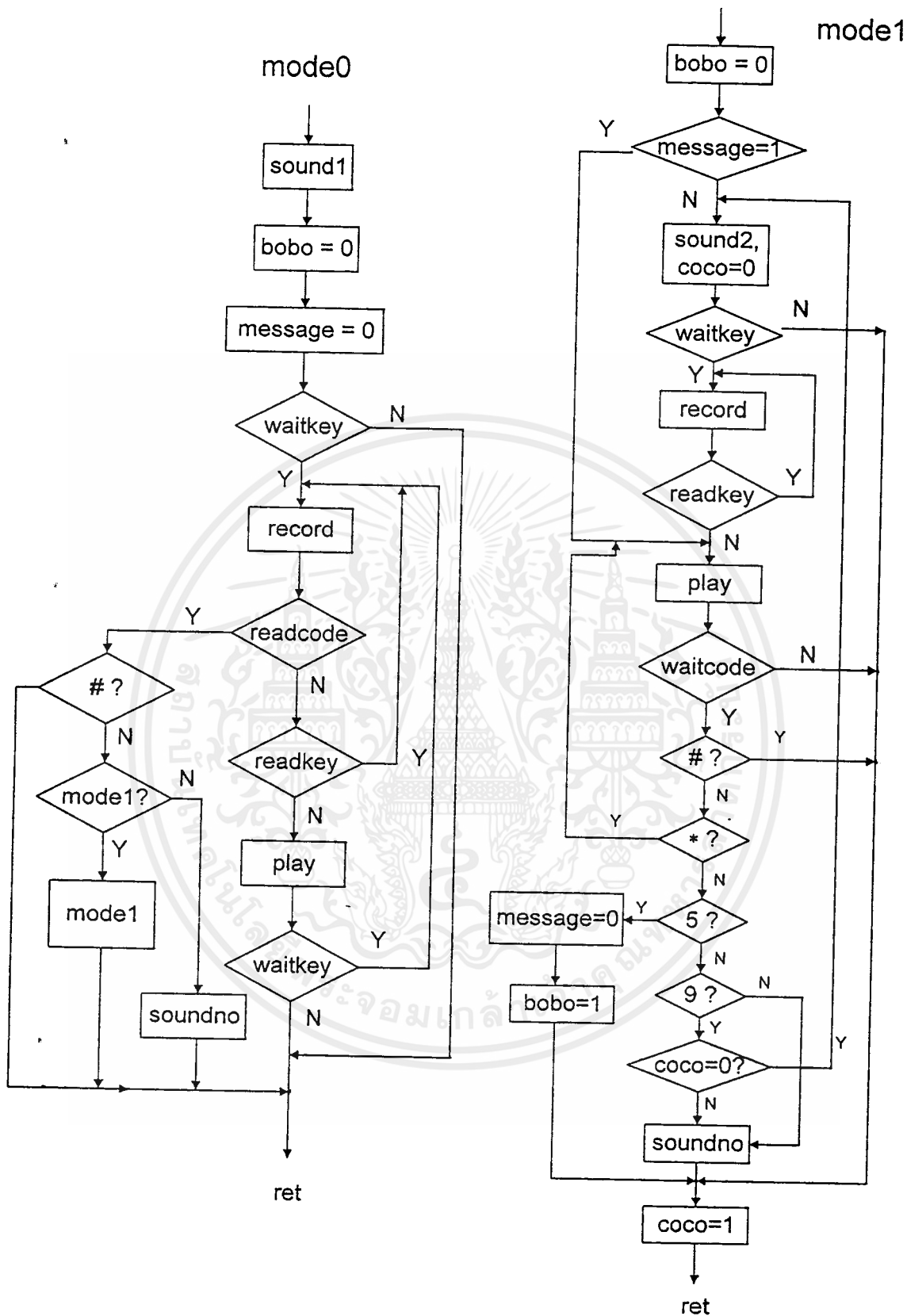
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

main



selectmode





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

porta      equ 0fc00h
portb     equ 0fc01h
portc     equ 0fc02h
control   equ 0fc03h
setport   equ 91h      ;control word 8255
code0     equ 30h     ;thing read in DTMF
code1     equ 31h
code2     equ 32h
refcode0  equ 33h     ;code read in code compare
refcode1  equ 34h
refcode2  equ 35h
coco      equ 36h
bobo      equ 37h
select    equ 3fh     ;code read from mode or reload or quit
cheloop   equ 40h
message   equ 41h
reload    equ 44h
quit      equ 45h
dlytime0  equ 46h
dlytime1  equ 47h
dlytime2  equ 48h
dlytime3  equ 49h
dlytime5  equ 63h
settime   equ 4ah
chkloop   equ 4ch
dataread  equ 4dh
begsound  equ 4eh
runsound  equ 4fh
endsound  equ 50h
counttime equ 51h
countkey  equ 52h
keyreturn equ 53h
keymode0  equ 54h
keymode1  equ 55h
period    equ 57h
readcode0 equ 58h
readcode1 equ 59h
readcode2 equ 5ah
loopmain1 equ 5bh
dlytime4  equ 5dh
countkey0 equ 5fh
countkey1 equ 60h
countkey2 equ 61h
erase     equ 62h

```

```

;-----
org      0000h      ;time reset is run at this

```

```

;-----MAIN PROGRAM-----

```

```

main:      lcall     setup
remain:    lcall     reccode3
           lcall     chkcode3
           jb       acc.0,open
           sjmp     remain
open:      lcall     opensys
sel:       lcall     selectmode
           mov      a,bobo
           jb       acc.0,sel
           lcall     endmain
           sjmp     remain

```

```

;-----SETUP SYSTEM-----

```

```

setup:     mov      dptr,#control      ;control 8255 port

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov      a,#setport
movx     @dptr,a

mov      a,#00000000b      ;off all in system tx
mov      dptr,#portb
movx     @dptr,a

mov      r0,#refcode0
mov      r1,#00000000b
loopcode:
mov      chkloop,#03h
mov      a,r1
mov      dptr,#portc
movx     @dptr,a
mov      settime,#02h
lcall   dly20ms
mov      dptr,#porta
movx     a,@dptr
swap     a
anl      a,#0f0h
mov      @r0,a
mov      a,r1
swap     a
inc      a
swap     a
mov      r1,a
inc      r0
djnz     chkloop,loopcode

mov      reload,#10110000b      ;repeat sound -*
mov      quit,#11000000b      ;exit system -#
mov      keyreturn,#10010000b      ;return to rec -9
mov      erase,#01010000b      ;erase,select 0,1 -5
mov      counttime,#00h
mov      keymode0,#10100000b
mov      keymode1,#00010000b
mov      message,#00h
ret

;-----reccode3-----;record code 3 code
reccode3:
mov      cheloop,#03h
mov      r0,#readcode0
lcall   waitkey
jnb      acc.0,reccode3
loopchk:
lcall   readkey
jnb      acc.0,reccode3
lcall   waitcode
jnb      acc.0,reccode3
mov      settime,#10h
lcall   dlyms
ystd:
lcall   readcode
lcall   dlyms
jnb      acc.3,ystd
mov      @r0,dataread
inc      r0
djnz     cheloop,loopchk
ret

;-----chkcode3-----
chkcode3:
mov      a,readcode0
cjne     a,refcode0,nocode      ;acc.0=0 is not code
mov      a,readcode1
cjne     a,refcode1,nocode      ;acc.0=1 is yes code

```

เอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ภายใน ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามตัดต่อเปลี่ยนแปลง หรือแจกจ่ายเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        mov     a,readcode2
        cjne   a,refcode2,nocode
        mov     a,#01h
        sjmp   chkret
nocode:  mov     a,#00h
chkret:  ret

;-----readcode-----;read code 1 code
readcode:  mov     dataread,#00h           ;clear dataread-old
           mov     dptr,#porta         ;if yes acc.1=1
           movx    a,@dptr
           mov     settime,#01h
           lcall   dly20ms
           anl     a,#0f0h             ; chkcode
           mov     dataread,a
           mov     dptr,#portc
           movx    a,@dptr
           ret

;-----opensys-----
opensys:   mov     a,#00000000b
           mov     dptr,#portc
           movx    @dptr,a
           lcall   readkey
           jb     acc.0,opensys
           mov     a,#01000000b
           mov     dptr,#portc
           movx    @dptr,a
           mov     settime,#01h
           lcall   dly500ms
           ret

;-----selectmode-----
selectmode:  lcall   sound
            mov     a,message
            mov     bobo,#00h
            jb     acc.0,gosmode1
            lcall   waitkey
            jnb   acc.0,endselect
            lcall   waitcode
            jnb   acc.0,endselect
            mov     settime,#20h
            lcall   dlyms
            lcall   readcode
            mov     a,dataread
            cjne   a,keymode0,gomode1
            lcall   mode0
            sjmp   endselect
gomode1:   cjne   a,keymode1,qu
gosmode1:  lcall   mode1
            sjmp   endselect
qu:        cjne   a,quit,noanyy
            sjmp   endselect
noanyy:   lcall   soundno
endselect: ret

;-----mode0-----
mode0:    lcall   sound
            mov     bobo,#00h
            mov     message,#00h
            lcall   waitkey
            jnb   acc.0,exitmode0
            mov     counttime,#00h

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในของมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
recal: ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิให้ดัดแปลงเนื้อหาสาระของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

reca0:      lcall    record
            lcall    readkey
            jb      acc.1,testdtmf0
            jb      acc.0,reca0
            lcall    stoprec
            lcall    play1
            lcall    waitkey
            jb      acc.0,reca1
            sjmp    exitmode0
testdtmf0:  lcall    testmode0
exitmode0:  ret

;-----testmode0-----
testmode0:  mov     settime,#20h
            lcall    dlyms
            lcall    readcode
            mov     a,dataread
            cjne   a,quit,noquit1
            sjmp    endtest1
noquit1:   cjne   a,keymodel,endtest0
            lcall    model
            sjmp    endtest1
endtest0:  lcall    soundno
endtest1:  ret

;-----model-----
model:     mov     bobo,#00h
            mov     a,message
            jnb    acc.0,norm
            lcall    soundno
            lcall    sound
            sjmp    againp
norm:     lcall    sound
            lcall    sound
return:   lcall    waitkey
rec1:    jnb    acc.0,exitmodel1
rec0:    mov     counttime,#00h
            mov     coco,#00h
            lcall    record
            lcall    readkey
            jb      acc.0,rec0
            lcall    stoprec
            mov     message,#01h
againp:   lcall    play1
            lcall    waitkey
            jnb    acc.0,exitmodel1
            lcall    waitcode
            jnb    acc.0,exitmodel1
            mov     settime,#20h
            lcall    dlyms
            lcall    readcode
            mov     a,dataread
            cjne   a,quit,noquit      ;"#"..quit
            sjmp    exitmodel1
noquit:   cjne   a,reload,noreload    ;"*"..repeat
            sjmp    againp
noreload: cjne   a,erase,noerase      ;"5"..repeal and go
            mov     message,#00h      ; selectmode again.
            mov     bobo,#01h
            sjmp    exitmodel1
noerase:  cjne   a,keyreturn,noany    ;"9"..give message
            mov     a,coco             ;
            jb      acc.0,noany       ;
            lcall    sound

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งผู้จัดทำเอกสารนี้และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

noany:      sjmp      return
exitmodel1: lcall     soundno
            mov      coco,#01h
            ret

;-----waitkey-----
waitkey:    mov      chkloop,#0bh
            mov      settime,#01h
loopkey3:   mov      countkey2,#02h
loopkey2:   mov      countkey1,#02h
loopkey1:   mov      countkey0,#03h
loopkey0:   mov      countkey,#0f1h
loopkey:    mov      dptr,#portc
            movx     a,@dptr                ;acc.0=1 have key
            lcall    dlyms
            jb      acc.1,keyyes
            djnz    countkey,loopkey
            djnz    countkey0,loopkey0
            djnz    countkey1,loopkey1
            djnz    countkey2,loopkey2
            djnz    chkloop,loopkey3
            mov     a,#00h
keyyes:     sjmp     keyend
keyend:     mov     a,#01h
            ret

;-----waitcode-----
waitcode:   mov      chkloop,#09h
            mov      settime,#01h          ;acc.0=0 is timeout
loopdtmf2:  mov      countkey1,#02h
loopdtmf1:  mov      countkey0,#02h
loopdtmf0:  mov      countkey,#0f6h
loopdtmf:   mov      dptr,#portc
            movx     a,@dptr                ;acc.0=1 have dtmf
            jb      acc.3,dtmfyes
            lcall    dlyms
            djnz    countkey,loopdtmf
            djnz    countkey0,loopdtmf0
            djnz    countkey1,loopdtmf1
            djnz    chkloop,loopdtmf2
            mov     a,#00h
dtmfyes:    sjmp     dtmfend
dtmfend:    mov     a,#01h
            ret

;-----readkey-----
readkey:    mov      dptr,#portc          ;input key hardware
            movx     a,@dptr                ;acc.0=0 is no key
            lcall    dly20ms
            jb      acc.1,havekey          ;acc.0=1 is have key
            mov     a,#00h
havekey:    sjmp     endreadkey
            jb      acc.3,havedtmf
            mov     a,#01h
havedtmf:   sjmp     endreadkey
endreadkey: mov     a,#00000011b
            ret

;-----endmain-----
endmain:    lcall     soundend
            mov     a,#00000000b
            mov     dptr,#portc
            movx     @dptr,a               ;ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีห้ามนำไปเผยแพร่หรือแจกจ่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

```

mov     settime,#02h
lcall  dly20ms
mov     dptr,#portb
movx   @dptr,a
ret

;-----play-----
play1:  mov     a,counttime
        mov     period,a
        mov     dptr,#portb
        mov     a,#01000000b           ;on tx & play sw
        movx   @dptr,a
        mov     settime,#02h
        lcall  dly20ms
        mov     a,#01010100b           ;on all of play
        movx   @dptr,a
loopplay: mov    settime,#14h
        lcall  dly20ms
        djnz   counttime,loopplay
        mov    counttime,period
        mov    a,#00000000b
        mov    dptr,#portb
        movx   @dptr,a
        ret

;-----record-----
record: mov    a,#00001000b
        mov    dptr,#portb
        movx   @dptr,a
        mov    settime,#0ah
        lcall  dly20ms
        inc   counttime
        ret

;-----stoprec-----
stoprec: mov    a,#00000000b
        mov    dptr,#portb
        movx   @dptr,a
        mov    settime,#03h
        lcall  dly20ms
        ret

;-----soundend-----
soundend: mov    begsound,#05h
        mov    runsound,#03h
        mov    endsound,#05h
        lcall  setsound
        ret

;-----soundno-----
soundno: mov    chkloop,#02h
        mov    begsound,#02h
        mov    runsound,#01h
        mov    endsound,#02h
soundloop: lcall  setsound
        djnz   chkloop,soundloop
        ret

;-----sound-----
sound:  mov    chkloop,#01h
        mov    begsound,#02h
        mov    runsound,#02h
        mov    endsound,#0ah
soundloop1: lcall  setsound

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายใน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังให้ตัดแบบเอกสารนี้ส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                djnz    chkloop,soundloop1
                ret

;-----setsound-----
setsound:      mov     a,#01000000b
                mov     dptr,#portb                ;on tx sw
                movx   @dptr,a
                mov     settime,begsound
                lcall  dly20ms
setso:         lcall  readkey
                jb     acc.0,setso
                mov     a,#11100000b
                mov     dptr,#portb
                movx   @dptr,a
                mov     settime,runsound
                lcall  dly500ms
                mov     a,#00000000b
                mov     dptr,#portb
                movx   @dptr,a
                mov     settime,endsound
                lcall  dly20ms
                ret

;-----setdelay500msec-----
dly500ms:     mov     dlytime0,#01h
                mov     dlytime1,setttime
                mov     dlytime2,#02h
                mov     dlytime3,#0fah
                mov     dlytime4,#02h
                mov     dlytime5,0f8h
                lcall  delay
                ret

;-----dlyms-----
dlyms:        mov     dlytime0,#01h
                mov     dlytime1,#01h
                mov     dlytime2,#01h
                mov     dlytime3,setttime
                mov     dlytime4,#02h
                mov     dlytime5,#0f8h
                lcall  delay
                ret

;-----dly20ms-----
dly20ms:      mov     dlytime0,setttime
                mov     dlytime1,#01h
                mov     dlytime2,#01h
                mov     dlytime3,#14h
                mov     dlytime4,#02h
                mov     dlytime5,#0f8h
                lcall  delay
                ret

;-----delay-----;
delay:        setb    psw.4                ;select bank at 3
                setb    psw.3
                mov     r0,dlytime0
dly0:         mov     r1,dlytime1
dly1:         mov     r2,dlytime2
dly2:         mov     r3,dlytime3
dly3:         mov     r4,dlytime4
dly4:         mov     r5,dlytime5
dly5:         djnz    r5,dly5
                djnz    r4,dly4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ในกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังห้ามนำไปเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
djnz    r3,dly3
djnz    r2,dly2
djnz    r1,dly1
djnz    r0,dly0
clr     psw.4           ;return bank at 0
clr     psw.3
ret
```

end



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM124/LM224/LM324, LM124A/LM224A/LM324A, LM2902 low power quad operational amplifiers

general description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard +5 V_{DC} power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional ±15 V_{DC} power supplies.

unique characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

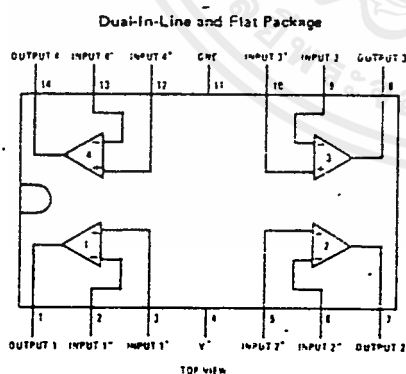
advantages

- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows directly sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large dc voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
 - Single supply 3 V_{DC} to 30 V_{DC}
 - or dual supplies ±1.5 V_{DC} to ±15 V_{DC}
- Very low supply current drain (800 μA) — essentially independent of supply voltage (1 mW/op amp at +5 V_{DC})
- Low input biasing current 45 nA_{DC} (temperature compensated)
- Low input offset voltage 2 mV_{DC} and offset current 5 nA_{DC}
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0 V_{DC} to V₊ - 1.5 V_{DC}

connection diagram



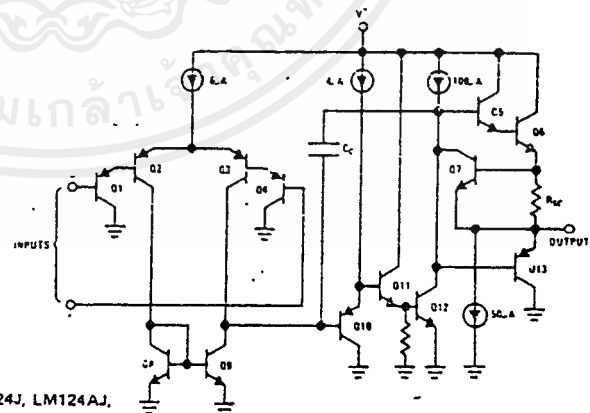
Order Number LM124D, LM124AD,
LM224D or LM224AD
See Package 1

Order Number LM124F, LM124AF,
LM224F or LM224AF
See Package 4

Order Number LM124J, LM124AJ,
LM224J, LM224AJ, LM324J,
LM324AJ or LM2902J
See Package 16

Order Number LM324N, LM324AN
or LM2902N
See Package 22

schematic diagram (Each Amplifier)



absolute maximum ratings

Supply Voltage, V^+	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	28 VDC or +1.6 VDC 32 VDC	LM2902	26 VDC or +1.3 VDC 26 VDC	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	50 mA	LM2902	-40°C to +85°C
Differential Input Voltage		-0.3 VDC to +32 VDC		-0.3 VDC to +32 VDC				
Power Dissipation (Note 1)		570 mW 800 mW 800 mW Continuous		570 mW Continuous				
Mounted DIP								
Carrier DIP								
Flat Pack								
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2)								
$V^+ \leq 15$ VDC and $T_A = 25^\circ\text{C}$								

electrical characteristics ($V^+ = +5.0$ VDC, Note 4)

PARAMETER	CONDITIONS	LM124A	LM224A	LM324A	LM124/LM224	LM324	LM2902	UNITS
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$, (Note 5)	1	1	2	12	12	12	mVDC
Input Bias Current (Note 6)	$I_{IN(1)}$ or $I_{IN(-)}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	20	40	45	45	45	45	nADC
Input Offset Current	$I_{IN(1)} - I_{IN(-)}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	2	2	5	3	3	3	nADC
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = 30$ VDC, $T_A = 25^\circ\text{C}$	0	0	0	0	0	0	VDC
Supply Current	$R_L = \infty$, $V_{DC} = 30$ V, (LM2902 $V_{DC} = 26$ V) $R_L = \infty$ On All Op Amps Over Full Temperature Range $T_A = 25^\circ\text{C}$	1.5 0.7	1.5 0.7	1.5 0.7	1.5 0.7	1.5 0.7	1.5 0.7	mADC
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15$ VDC (For Large V_O Swing) $R_L \geq 2$ k Ω , $T_A = 25^\circ\text{C}$	50	50	75	50	50	100	V/mV
Output Voltage Swing	$R_L = 2$ k Ω , $T_A = 25^\circ\text{C}$ (LM2902 $R_L \geq 10$ k Ω)	70	70	65	70	65	70	VDC
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $T_A = 25^\circ\text{C}$	70	65	65	65	65	50	dB
Power Supply Rejection Ratio	DC, $T_A = 25^\circ\text{C}$	65	65	65	65	65	50	dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 8)	$f = 1$ kHz to 20 kHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Input Referred)	-120	-120	-120	-120	-120	-120	dB
Output Current Source	$V_{IN}^+ = 1$ VDC, $V_{IN}^- = 0$ VDC, $V^+ = 15$ VDC, $T_A = 25^\circ\text{C}$	20	20	20	20	20	20	mADC
Sink	$V_{IN}^- = 1$ VDC, $V_{IN}^+ = 0$ VDC, $V^+ = 15$ VDC, $T_A = 25^\circ\text{C}$	10	10	10	10	10	10	mADC
Short Circuit to Ground	$V_{IN}^- = 1$ VDC, $V_{IN}^+ = 0$ VDC, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_O = 200$ mVDC $T_A = 25^\circ\text{C}$, (Note 2)	12	12	12	12	12	12	mADC

electrical characteristics (cont.)

PARAMETER	CONDITIONS	LM324A		LM224A		LM324A		LM124/LM224		LM324		LM2902		UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	(Note 5)			4										mV/DC
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$	7	20	7	20	7	30	7	10	7	19	7	110	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	$ I_{IN}(+) - I_{IN}(-) $		30		30		75		1100		1150	45	1200	nA/DC
Input Offset Current Drift			10		10		10		10		10		10	nA/DC/°C
Input Bias Current	$ I_{IN}(+) \text{ or } I_{IN}(-) $		40		100		0		40		500		500	nA/DC
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = 30\text{VDC}$	0		0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	V/DC
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15\text{VDC}$ (For Large V_O Swing) $R_L \geq 2\text{k}\Omega$	25		25		15		25		15		15		V/mV
Output Voltage Swing	$V^+ = +30\text{VDC}$; $R_L = 2\text{k}\Omega$ $R_L \geq 10\text{k}\Omega$	26	27	28	25	26	27	28	26	27	28	26	27	V/DC
V_{OH}	$V^+ = 5\text{VDC}$; $R_L \leq 10\text{k}\Omega$	5	5	20	5	20	5	20	5	20	5	20	5	V/DC
V_{OL}														mV/DC
Output Current														mA
Source	$V_{IN}^+ = +1\text{VDC}$; $V_{IN}^- = 0\text{VDC}$; $V^+ = 15\text{VDC}$	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	mA
Sink	$V_{IN}^- = +1\text{VDC}$; $V_{IN}^+ = 0\text{VDC}$; $V^+ = 15\text{VDC}$	10	15	5	8	5	8	5	8	5	8	5	8	mA
Differential Input Voltage	(Note 7)			V^+		V^+		V^+		V^+		V^+		V/DC

Note 1: For operating at high temperatures, the LM324/LM324A, LM2902 must be derated based on a $+125^\circ\text{C}$ maximum junction temperature and a thermal resistance of $175^\circ\text{C}/\text{W}$ which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224/LM224A and LM124/LM124A can be derated based on a 1150°C maximum junction temperature. The dissipation in the total of all four amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

Note 2: Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. The maximum output current is approximately 40 mA, independent of the magnitude of V^+ . All values of supply voltage in excess of $+15\text{VDC}$; continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Note 3: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input NPN transistor becoming forward biased and thereby acting as input diode clamp. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amp to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3VDC .

Note 4: These specifications apply for $V^+ = +5\text{VDC}$ and $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$, unless otherwise stated. With the LM224/LM224A, all-temperature specifications are limited to $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$.

Note 5: LM324A temperature specifications are limited to $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$, and the LM2902 specifications are limited to $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$.

Note 6: $V_O = 1.4\text{VDC}$; $R_S = 0\Omega$ with V^+ from 5VDC to 30VDC ; and over the full input common-mode range (0 V/DC to $V^+ - 1.5\text{VDC}$).

Note 7: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input line. Input can go to $+32\text{VDC}$ without damage ($+36\text{VDC}$ for LM2902).

Note 8: Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitive increases at higher frequencies.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MT8870D/MT8870D-1 ISO²-CMOS

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_{ID}	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_{PStD}		12	16	μs	TOE= V_{DD}
9		Output data set up (Q to StD)	t_{QStD}		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.

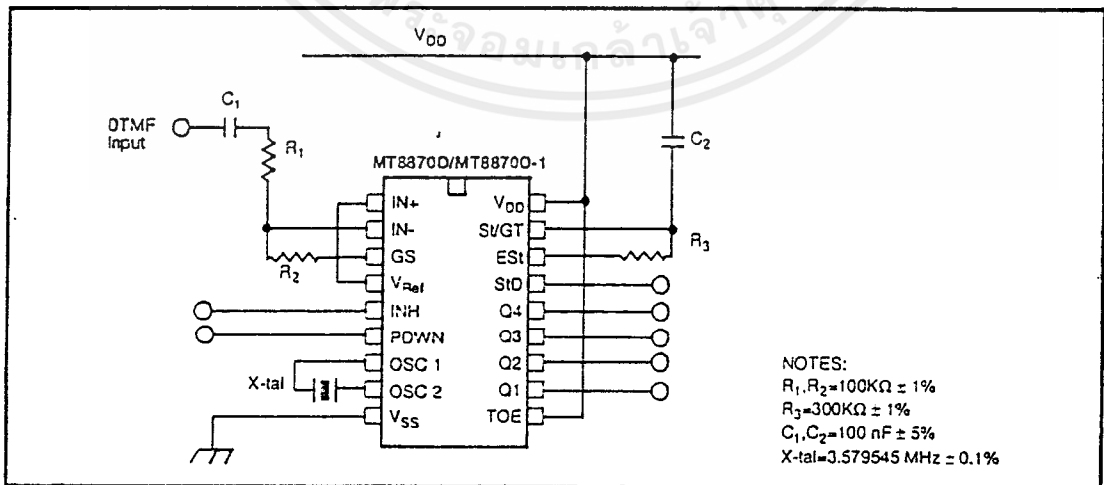


Figure 10 - Single-Ended Input Configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISO²-CMOS MT8870D/MT8870D-1

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISO²-CMOS MT8870D/MT8870D-1

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 _{DDO}		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 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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MT8870D/MT8870D-1 ISO²-CMOS

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

54153/74153 Dual 4-Line-to-1-Line Data Selector/Multiplexer

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL				
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	
T.I.	SN54LS153	J							SN54LS153	J							SN54LS153	J			
FAIRCHILD	SN74LS153	J							SN74LS153	J							SN74LS153	J			
MOTOROLA	MC74LS153	J							MC74LS153	J							MC74LS153	J			
N.S.C.	DM54LS153	J							DM54LS153	J							DM54LS153	J			
PHILIPS	N74LS153	J							N74LS153	J							N74LS153	J			
SIGNETICS	SS4LS153	J							SS4LS153	J							SS4LS153	J			
SIEMENS	N74LS153	J							N74LS153	J							N74LS153	J			
FUJITSU									74LS153	J											
HTACHI	HD74LS153	J							HD74LS153	J							HD74LS153/HD2564	J			
MITSUBISHI	M54LS153	J							M54LS153	J							M53153	J			
NEC																					
AMD	Am54LS153	J							Am54LS153	J							Am54LS153	J			
	Am74LS153	J							Am74LS153	J											

Electrical Characteristics SN54LS153/SN74LS153

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

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

recommended operating conditions

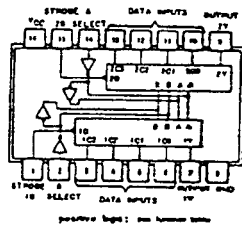
	SN54LS153			SN74LS153			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I _{OH}			-400			-400	μA
Low-level output current, I _{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T _A	-55	125	0	70			°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER*	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V _{IH} High-level input voltage			2		V
V _{IL} Low-level input voltage				0.8	V
V _I Input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = -18 mA			-1.5	V
V _{OH} High-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, V _{IL} = 0.8V, I _{OH} = -400 μA	2.7	3.4		V
V _{OL} Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, V _{IL} = 0.8V, I _{OL} = 8 mA		0.35	0.5	V
I _I Input current at maximum input voltage	V _{CC} = MAX, V _I = 7V			0.1	mA
I _{IH} High-level input current	V _{CC} = MAX, V _I = 2.7V			20	μA
I _{IL} Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _I = 0.4V			-0.4	mA
I _{OS} Short-circuit output current*	V _{CC} = MAX	SN54LS	-20	-100	mA
		SN74LS	-20	-100	mA
I _{OCL} Supply current, output low	V _{CC} = MAX, See Note	SN54LS	6.2	10	mA
		SN74LS	6.2	10	mA
t _{PLH} Propagation delay time, from Data to output Y	V _{CC} = 5V, T _A = 25°C, C _L = 30 pF, R _L = 2kΩ			19	ns
t _{PHL} Propagation delay time, from Select to output Y				17	ns
t _{PLH} Propagation delay time, from Strobe to output Y				25	ns
t _{PHL} Propagation delay time, from Strobe to output Y				16	ns
				21	ns

Pin Assignment (Top View)

①



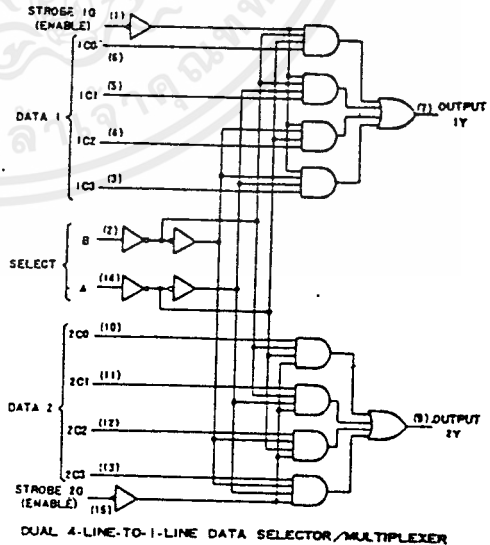
Function Table

*153, *153, *LS153, *L153

SELECT INPUTS	DATA INPUTS					STROBE	OUTPUT
B A	C0	C1	C2	C3	G	Y	
X X	X	X	X	X	H	L	
L L	L	X	X	X	L	L	
L L	H	X	X	X	L	H	
L H	X	L	X	X	L	H	
L H	X	H	X	X	L	H	
H L	X	X	L	X	L	H	
H L	X	X	H	X	L	H	
H H	X	X	X	L	L	H	
H H	X	X	X	H	L	H	

Select inputs A and B are common to both sections.
H = high level, L = low level, X = irrelevant

Functional Block Diagram



NOTE: I_{OCL} is measured with the outputs open and all inputs grounded.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable type.

‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

* Not more than one output should be shorted at a time.

t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output

t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมยศ โลหะวิทยวิกรานต์, "เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์", ฉบับที่ 88, หน้า 210-213, กันยายน, 2531.
- [2] สุชาติ กังวารจิตต์, "เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร", กรุงเทพฯ:บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2536.
- [3] วิโรจน์ อัครวงษ์, ชัชวาลย์ เต็มฤทธิรงค์ และ กรชูลี ไข่สฤติย์, "การใช้งานออปแอมป์และสัญญาณไอซี", กรุงเทพฯ:บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2536.
- [4] โคทม อารียา, "วงจรอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 2,3", กรุงเทพฯ:บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2533.
- [5] เสกสิทธิ์ คำชมภู, "เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์", ฉบับที่ 146, หน้า 58-61, กุมภาพันธ์-มีนาคม, 2538.
- [6] ก้องเกียรติ ณ สีมา, "ทฤษฎีการใช้งานไอซี 555", กรุงเทพฯ:ดวงกมล, 2528.
- [7] ดร.สิทธิชัย โภไคยอุดม, ดร.พีรศักดิ์ วรสุนทรโรด และ โตมิโอะ อิวะสะกิ "ทฤษฎีและการคำนวณวงจรอิเล็กทรอนิกส์", บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2521
- [8] ประโยชน์ อยู่คงพันธ์, "คู่มือตรวจสอบวิทยุทรานซิสเตอร์ AM - FM MPX, สำนักพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ 79, ธันวาคม 2519
- [9] บรรเจิด ตันติกัลยาภรณ์, "เครื่องรับส่ง เล่ม 7,8"
- [10] Advance Engineering Group, "อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น", หจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
- [11] สุเจตน์ จันทพงษ์, "ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว 8051", วิทยาลัยมหานคร, 2521
- [12] ดร.มงคล เดชนครินทร์ และดร.ชาติศรี ศรีไพพรรณ, "อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน", บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2521
- [13] แผนกหนังสือพิเศษด้านอิเล็กทรอนิกส์, "รวมโครงการอิเล็กทรอนิกส์วิทยุและเครื่องรับส่ง" บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2539