สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องโทรศัพท์เตือนภัยอัตโนมัติ

AUTOMATIC EMERGENCY TELEPHONE

T042145

โดย

นายดนัย อดุลธีรโสภณ

นางสาวดวงใจ จันทร์อ่อน

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42145
วัน, เดือน, ปี 4 พ.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

b11900027

เครื่องโทรศัพท์เตือนภัยอัตโนมัติ

AUTOMATIC EMERGENCY TELEPHONE

โดย

นายดนัย	อดุลธีรโสภณ	40010240
นางสาวดวงใจ	จันทร์อ่อน	40010241

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

โทรศัพท์เตือนภัยอัตโนมัติ

AUTOMATIC EMERGENCY TELEPHONE

โดย นายคนัย อดุลธีรโสภณ รหัสประจำตัว 40010240
นางสาวดวงใจ จันทร์อ่อน รหัสประจำตัว 40010241

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาและทดลองสร้างอุปกรณ์เตือนภัยทางโทรศัพท์เมื่อมีขโมยเข้าบ้าน โดยมีการนำคลื่นวิทยุ(Radio Frequency) มาช่วยในการส่งสัญญาณจากชุดเซนเซอร์ด้วยแสงอินฟราเรด ไปยังชุดโทรออกอัตโนมัติ

อุปกรณ์เตือนภัยนี้มีระบบการทำงานคือ เมื่อเกิดการบังลำแสงอินฟราเรดจากภาคส่ง วงจรตรวจจับสัญญาณอินฟราเรดภาครับจะส่งสัญญาณเข้าไปยังวงจรเครื่องส่งวิทยุ เพื่อส่งสัญญาณในรูปคลื่นความถี่วิทยุผ่านอากาศเข้ามายังวงจรเครื่องรับวิทยุ จากนั้นสัญญาณเตือนภัยจะถูกส่งเข้าไปยังวงจรเรียกอัตโนมัติ เพื่อทำการเรียกไปยังเลขหมายปลายทางที่กำหนดไว้ เมื่อมีผู้รับสายปลายทางแล้ว วงจรตรวจสอบการรับสายจะส่งสัญญาณไปยังวงจรบันทึกเสียง ให้ทำการส่งสัญญาณเสียงที่บันทึกไว้ไปยังผู้รับสายปลายทาง แต่ถ้าไม่มีผู้รับสายหรือสายไม่ว่างจะมีสัญญาณเรียกกลับ(Ring Back Tone)หรือสัญญาณไม่ว่าง(Busy Tone) ส่งกลับมา วงจรเรียกซ้ำจะทำการส่งสัญญาณไปยังวงจรเรียกอัตโนมัติ ให้ทำการเรียกใหม่เป็นเช่นนี้เรื่อยๆ จนกว่าจะมีผู้รับสาย

ABSTRACT

This project is wireless emergency telephone system that use infrared sensors to signal emergency system to call number of destination automatically by combining several circuits. Step of system is that if there's intruder passes infrared ray, Infrared detector circuit will signal to RF sender circuit to send RF through air to RF receiver circuit. RF receiver circuit will signal automatic circuit call the number of destination. If there's someone receives that, system will send Ring Back Tone signal backward and then receive detect circuit will detect that signal and it will signal sound record circuit to send sound information to receiver of destination to know that there's intruder.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **โทรศัพท์เตือนภัยอัตโนมัติ**

(AUTOMATIC EMERGENCY TELEPHONE)

ผู้จัดทำ

1. นายคนัย อดุลธีรโสภณ 40010240
2. นางสาวดวงใจ จันทร์อ่อน 40010241

ปราโมทย์ ..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน)



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ไดโอดเปล่งแสง	3
2.2 แถบสเปคตรัมความถี่	9
2.3 ระบบโทรศัพท์	11
2.4 ออสซิเลเตอร์	16
2.5 วงจรรวมชนิดตั้งเวลาเบอร์ 555	21
2.6 การมอดูเลตเชิงมุม	29
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	46
3.1 โครงสร้างโดยรวม	46
3.2 วงจรอินฟราเรดรีโมท	47
3.3 ภาครับส่ง-คลื่นวิทยุ	49
3.4 ภาคโทรออกอัตโนมัติ	51
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	63
4.1 วงจรอินฟาเรดภาคส่ง	63
4.2 วงจรอินฟาเรดด้านรับ	63
4.3 วงจรภาคส่งคลื่นวิทยุ	65
4.4 วงจรภาครับ คลื่นวิทยุ	67
4.5 วงจรเรียกอัตโนมัติ	68
4.6 วงจรเรียกซ้ำ	71
4.7 วงจรตรวจสอบการรับสาย	72
4.8 วงจรบันทึกเสียง	75
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	76
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
บรรณานุกรม	

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 อธิบายขั้นตอนการทำงานการเตือนภัย	2
2.1 สัญลักษณ์และไดโอดเปล่งแสงแบบต่างๆ	3
2.2 โครงสร้างสัญลักษณ์ และรูปร่างของไดโอดเปล่งแสง	4
2.3 ลักษณะการเกิดแสงของไดโอดเปล่งแสง	4
2.4 ความยาวคลื่นของแสงสีต่างๆที่เกิดขึ้นจากไดโอดเปล่งแสง	5
2.5 โครงสร้างและลักษณะ ไดโอดเปล่งแสงแบบมีเลนส์รวมแสง	6
2.6 วงจรไบอัสตรงให้ไดโอดเปล่งแสงทำงาน	6
2.7 กราฟแสดงคุณสมบัติของไดโอดเปล่งแสง	7
2.8 การต่อไดโอดเปล่งแสงร่วมกับตัวต้านทานจำกัดกระแส	8
2.9 แสดงการจัดแถบสเปคตรัม	9
2.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโทรศัพท์	12
2.11 แสดงแป้นกดหมายเลขและค่าความถี่ในแนวตั้งและแนวนอนของหมายเลขนั้นๆ	14
2.12 แสดงสัญญาณพื้นฐาน	14
2.13 วงจรออสซิเลเตอร์เบื้องต้น	16
2.14 วงจรออสซิเลเตอร์ชนิดเลื่อนเฟส	18
2.15 วงจรออสซิเลเตอร์ชนิดป้อนกลับด้วยทวินาม	19
2.16 วงจรออสซิเลเตอร์ชนิดวินบริดจ์	19
2.17 บล็อกไดอะแกรมของ ไอซี 555	20
2.18 ไอซี 555 อะสเตเบิ้ล	20
2.19 แสดงตารางกำหนดค่าของ R และ C	21
2.20 แสดงโครงสร้างภายในและลักษณะภายนอกของไอ.ซี.เบอร์555 แบบต่างๆ	22
2.21 แสดงวงจรโมโนสเตเบิลเบื้องต้นที่ใช้ไอ.ซี. 555	23
2.22 แสดงวงจรโมโนสเตเบิ้ลที่ใช้ไอ.ซี. 555 ที่ปรับปรุงใหม่	25
2.23 แสดงวงจรหน่วงเวลาของพัลซ์สี่เหลี่ยม	26
2.24 แสดงวงจร ซีเควนไทม์เมอร์	27
2.25 วงจรพัลซ์-โทน ออสซิสเลเตอร์ที่ใช้ไอวี 555แสดงการจัดวางขาไอซี 555	28
2.26 แสดงการจัดวางขาไอ.ซี.เบอร์555	28
2.27 การสร้างสัญญาณเอฟเอ็มและพีเอ็มโดยอาศัยวงจรมอดูเลเตอร์แบบพีเอ็มและเอฟเอ็ม	30
2.28 เฟเซอร์ของสัญญาณเอฟเอ็มเทียบกับสัญญาณเอเอ็ม	32
2.29 แผนผังระบบการสร้างสัญญาณเอฟเอ็มและพีเอ็มชนิดแบนด์แคบ	33

รูปที่ หน้า

2.30 ฟังก์ชั่นของเบสเลสชนิดที่หนึ่ง $J_n(\beta)$ 34
2.31 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า β และค่า n/β 35
2.32 ภาพสเปกตรัมชนิดเส้นของสัญญาณเอฟเอ็ม 36
2.33 ระบบการผลิตสัญญาณเอฟเอ็มโดยอ้อมตามวิธีการอาร์มสตรอง 38
2.34 แผนผังของวงจรเพิ่มความถี่และวงจรย้ายความถี่ 39
2.35 การดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็ม 41
2.36 ค่าพีเอสดีของสัญญาณรบกวนในระบบเอฟเอ็ม 42
2.37 วงจรพรีเอ็มฟาซีส-ดีเอ็มฟาซีสที่ใช้ RC และภาพวาดของโบด 43
2.38 การเขียนเวกเตอร์หมุนและเฟเซอร์แสดงผลที่เกิดจากการแทรกสอดของสัญญาณระบบเอฟเอ็ม 44
3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบการทำงาน 46
3.2 บล็อกไดอะแกรมวงจรรวม 46
3.3 วงจรอินฟราเรดด้านส่ง 47
3.4 วงจรอินฟราเรดทางด้านรับ 48
3.5 แสดงวงจรเอฟเอ็มมอดูเลเตอร์ 49
3.6 แสดงวงจรเอฟเอ็มดีมอดูเลเตอร์โดย ไอซี TDA7000 50
3.7 วงจรขับรีเลย์และวงจรเรียกอัตโนมัติ 54
3.8 วงจรเรียกซ้ำ 56
3.9 วงจรดีเทคเมื่อมีผู้รับสายปลายทาง 58
3.10 วงจรบันทึกเสียง 62
4.1 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรเครื่องส่งอินฟาเรด 63
4.2 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรอินฟาเรดด้านรับ 64
4.3 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรเอฟเอ็มมอดูเลเตอร์ 65-66
4.4 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรเอฟเอ็มดีมอดูเลเตอร์ 67-68
4.5 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรเรียกอัตโนมัติ 69-70
4.6 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรเรียกซ้ำ 71
4.7 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรดีเทคสัญญาณ 72-74
4.8 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรบันทึกเสียง 76

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของตัวไดโอดเปล่งแสงแต่ละสีต่างๆ	5
2.2 แสดงคำเรียกแถบความถี่แต่ละย่านที่ใช้กันโดยทั่วไป	9
2.3 แสดงคำเรียกแถบความถี่ย่านไมโครเวฟ	10
2.4 แสดงความถี่ระบบ DTMF	15
3.1 การกำหนดค่าความถี่ของโทนความถี่เสียง	53
3.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ ISD25xxx	61

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันโลกเทคโนโลยีมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว มีการคิดค้นสิ่งประดิษฐ์ใหม่ๆ เกิดขึ้นมากมายเพื่อใช้เป็นเครื่องมืออำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน และสนองความต้องการของมนุษย์ แต่ในทางตรงกันข้ามยิ่งเทคโนโลยีมีการพัฒนามากขึ้นเท่าใด สภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติและสภาพสังคมมีแนวโน้มเสื่อมโทรมลงไปเรื่อยๆ ตามกาลเวลา และยังส่งผลต่อสภาพจิตใจของมนุษย์ให้เสื่อมลงอีกด้วย เนื่องจากสังคมปัจจุบันนี้มีภัยอันตรายเกิดขึ้นมากมาย จึงควรมีการพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ให้เกิดประโยชน์ ดันนั้นโครงงานนี้จึงมีการประดิษฐ์คิดค้นอุปกรณ์ที่จะช่วยป้องกันภัยภายในบ้าน โดยการทดลองสร้างอุปกรณ์เตือนภัยทางโทรศัพท์ขึ้น เพื่อส่งสัญญาณเตือนหากมีขโมยเข้าบ้านหรือมีผู้ยุกรุกเข้าเขตหวงห้าม

วัตถุประสงค์ของการจัดทำโครงงาน

- เพื่อให้ได้อุปกรณ์เตือนภัยทางโทรศัพท์ที่ง่ายต่อการใช้งาน
- เพื่อศึกษาพื้นฐานการทำงานของระบบโทรศัพท์ทั่วไป
- เพื่อศึกษาและออกแบบระบบตรวจจับอินฟราเรด
- เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรรับ-ส่งคลื่นความถี่วิทยุ(Redio Frequency)
- เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรบันทึกเสียงที่นำมาประยุกต์ใช้ในโครงงาน
- อุปกรณ์ที่สร้างสามารถใช้งานร่วมกับโทรศัพท์บ้านได้

ขอบเขตของโครงงาน

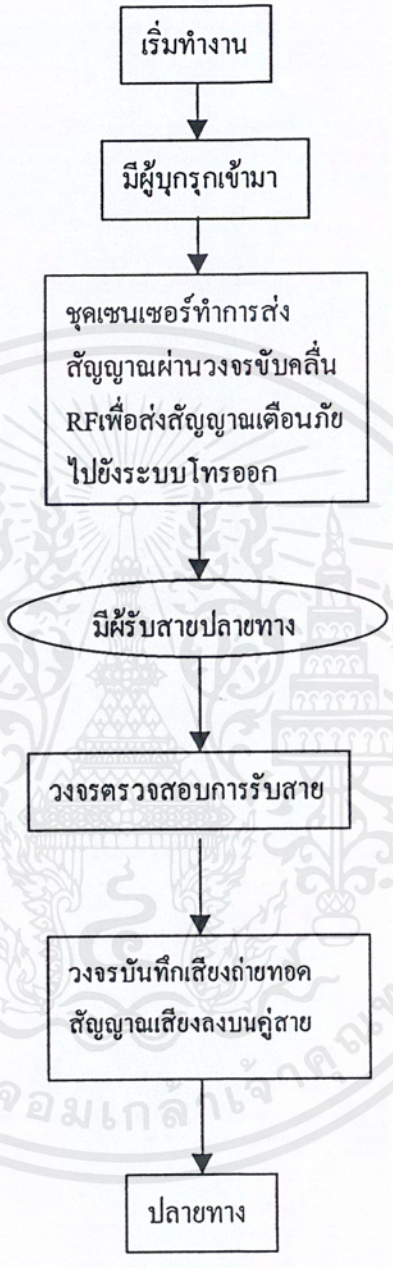
- ศึกษาระบบการทำงานของโทรศัพท์และสร้างอุปกรณ์เตือนภัยทางโทรศัพท์แบบไร้สาย
- สร้างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ(sensor)โดยใช้แสงอินฟราเรด
- สร้างชุดรับ-ส่งสัญญาณจากชุดเซนเซอร์ไปยังชุดโทรออกอัตโนมัติโดยใช้คลื่นวิทยุ

ในโครงงานนี้นักศึกษาได้จัดค้นคว้าและจัดอุปกรณ์ป้องกันภัยภายในที่อยู่อาศัยหรือสถานที่ที่เป็นเขตห่วงห้ามไม่ให้มีผู้บุกรุกเข้าไป มีการทำงานโดยใช้ไดโอดอินฟราเรด ซึ่งเปล่งแสงที่ตาคนมองไม่เห็น และใช้อินฟราเรดโฟโตไดโอดเป็นตัวรับสัญญาณเพื่อส่งสัญญาณเข้าสู่ระบบเตือนภัยทางโทรศัพท์ต่อไป อุปกรณ์เตือนภัยจะทำงานโดยการโทรออกไปยังเลขหมายปลายทางที่เราตั้งไว้อัตโนมัติ โดยอุปกรณ์ตรวจจับขโมยนี้จะสามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้ตามต้องการ เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณทำการส่งสัญญาณเตือนภัยแบบไร้สายคือส่งสัญญาณในรูปคลื่นไปยังชุดโทรออกอัตโนมัติที่ต่อพ่วงอยู่กับโทรศัพท์บ้าน

ภาคเรียนที่ 1 จะทำการศึกษาค้นคว้าและออกแบบวงจรในส่วนของภาครับ-ส่งอินฟราเรดที่ประกอบด้วยวงจรส่งอินฟราเรด,วงจรรับสัญญาณอินฟราเรด และภาคโทรออกอัตโนมัติไปยังผู้รับสายปลายทางที่ประกอบด้วยวงจรเรียกอัตโนมัติ,วงจรเรียกซ้ำ,วงจรตรวจจับสัญญาณ

ภาคเรียนที่ 2 จะทำการสร้างวงจรในส่วนที่เหลือคือ วงจรรับส่งคลื่นความถี่วิทยุ,วงจรบันทึกเสียง และจะทำการบรรจุวงจรลงกล่องเพื่อจัดสร้างอุปกรณ์เป็นชิ้นงานที่สมบูรณ์

อธิบายขั้นตอนการทำงานการเตือนภัยดังแผนภูมิต่อไปนี้

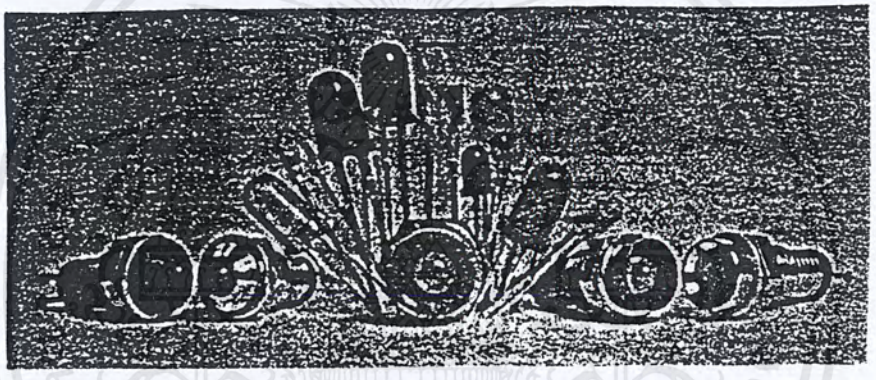


รูปที่ 1.1 อธิบายขั้นตอนการทำงานของระบบเตือนภัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงหรือไลท์อิมิตติ้งไดโอด(Light Emitting Diode) ใช้ตัวย่อคือ แอล.อี.ดี.หรือ LED เป็นตัวไดโอดชนิดหนึ่ง ผลิตมาจากสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N ต่อชนกัน เช่นเดียวกับไดโอดธรรมดา มีขาต่อออกมาใช้งาน 2 ขา คือ ขาแอโนด (A) และขาแคโทด (K) เหมือนกัน ใช้งานเป็นวงจรเร็กติไฟเออร์และดีเทคเตอร์เหมือนไดโอดธรรมดาแต่แตกต่างกันตรงที่ไดโอดเปล่งแสง เมื่อมีกระแสไหลผ่านจะสามารถเปล่งแสงออกมาได้ แสงที่เปล่งออกมาประกอบด้วยคลื่นความถี่เดียว และมีเฟสต่อเนื่องกัน ซึ่งต่างไปจากแสงธรรมดาที่ตาคนมองไม่เห็น เพราะแสงธรรมดาประกอบไปด้วยคลื่นที่มีความถี่และเฟสต่างกันมารวมกัน ไดโอดเปล่งแสงสามารถผลิตขึ้นมาได้จากสสารหลายชนิด ทั้งของเข็ง ของเหลวและก๊าซ ที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือสสารที่เป็นของแข็งซึ่งจะอธิบายดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์และไดโอดเปล่งแสง แบบต่างๆ

แสงที่ออกมาจากไดโอดเปล่งแสงแบ่งออกเป็น 2 ชนิดดังนี้

1) แสงที่ตาคนมองเห็น

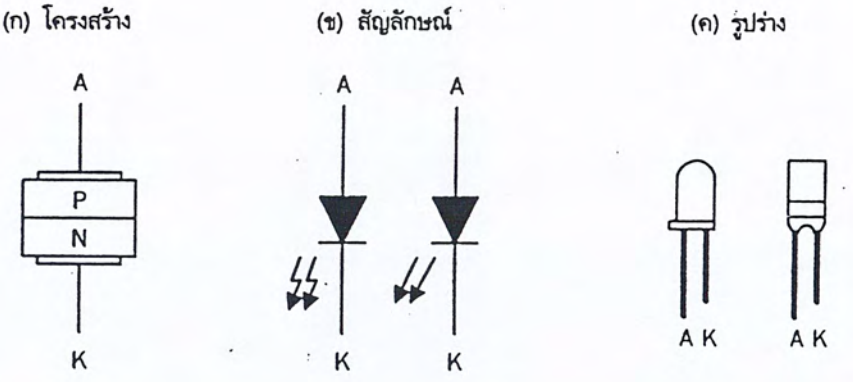
ไดโอดเปล่งแสงชนิดที่ตาคนมองเห็นมี 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีเหลือง บางครั้งอาจออกสีส้ม ซึ่งก็คือสีเหลืองเข้ม ไดโอดเปล่งแสงชนิดนี้เรียกว่า ไลท์อิมิตติ้งไดโอด (Light Emitting Diode) หรือไดโอดเปล่งแสง

2) แสงที่ตาคนมองไม่เห็น

แสงชนิดที่ตาคนมองไม่เห็นนั้นเป็นแสงที่อยู่ในย่านแสงอินฟราเรด (Infrared Light) ซึ่งขณะเปล่งแสงออกมาตาตาคนจะมองไม่เห็น ไดโอดเปล่งแสงชนิดนี้จะเรียกว่า อินฟราเรดอิมิตติ้งไดโอด (Infrared Emitting Diode)แต่สามารถเรียกชื่อแบบรวมๆกันว่า ไดโอดเปล่งแสงหรือเหลด

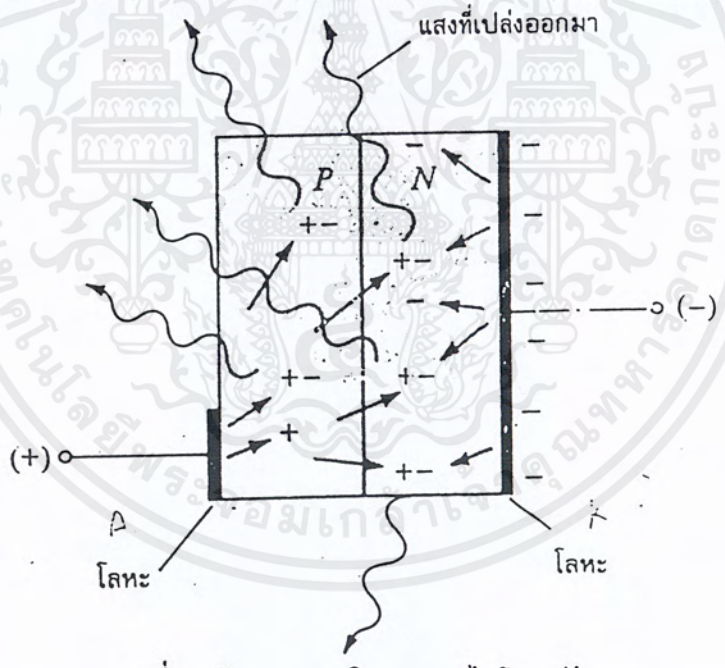
2.1.1 ลักษณะและโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงประกอบขึ้นจากสารกึ่งตัวนำ 2 ตอนต่อชนกัน คือสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N มีขาต่อใช้งาน 2 ขาเหมือนไดโอดธรรมดา การเปล่งแสงของไดโอดเปล่งแสงเกิดขึ้นขณะจ่ายแรงดันไบอัส ตรงค่าต่ำๆให้ ไดโอดเปล่งแสงลักษณะรูปร่างและโครงสร้างเบื้องต้นแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างสัญลักษณ์ และรูปร่างของไดโอดเปล่งแสง

แสงที่เปล่งออกมาจากไดโอดเปล่งแสงเกิดขึ้นเนื่องจากการจ่ายไบอัสตรงไดโอดเปล่งแสง ทำให้เกิดกระแส (I) ไหลผ่านตัวไดโอดเปล่งแสง อิเล็กตรอนอิสระเกิดการเคลื่อนที่จากสารชนิด N ผ่านรอยต่อไปยังสารชนิด P การที่อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อ PN เป็นผลให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนอิสระเกิดการเปลี่ยนแปลง อิเล็กตรอนอิสระจะคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแสงและความร้อน ในไดโอดเปล่งแสงอิเล็กตรอนอิสระจะคายพลังงานออกมาเป็นคลื่นแสงลักษณะการเกิดแสงแสดงดังรูปที่ 2.3



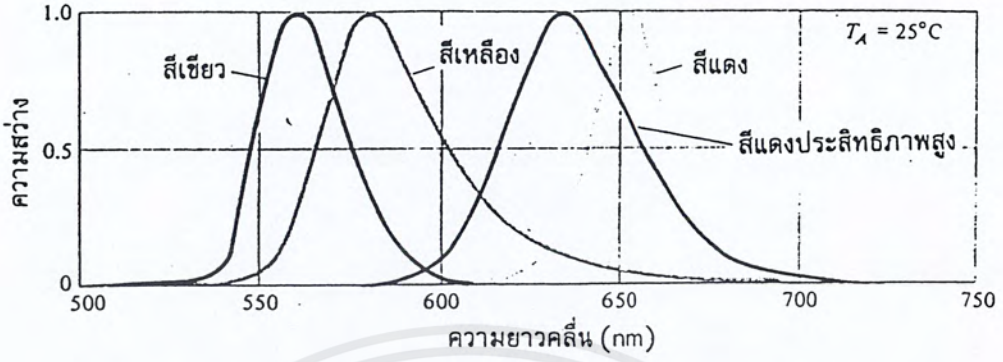
รูปที่ 2.3 ลักษณะการเกิดแสงของไดโอดเปล่งแสง

แสงที่ถูกเปล่งออกมาจากไดโอดเปล่งแสงที่มีสีต่างกันนั้น ขึ้นอยู่กับสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้ผลิต เมื่อใช้เนื้อสารกึ่งตัวนำต่างกันทำให้แสงที่เปล่งออกมาแตกต่างกัน เนื้อสารที่ใช้และสีที่ได้มีความแตกต่างกันดังนี้

- ใช้สารแกลเลี่ยมอาร์ซีไนด์ (Gallium Arsenide) ใช้ตัวย่อ GaAs ไดโอดเปล่งแสงจะเปล่งแสงอินฟราเรดออกมา

- ใช้สารแกลเลี่ยมอาร์ซีไนด์ ฟอสไฟด์ (Gallium Arsenide Phosphide) ใช้ตัวย่อ GaAsP ไดโอดเปล่งแสงจะเปล่งแสงสีแดง หรือสีเหลืองออกมา

- ใช้สารแกลเลี่ยมฟอสไฟด์ (Gallium Phosphide) ใช้ตัวย่อ GaP ไดโอดเปล่งแสงจะเปล่งแสงสีเขียวออกมา



รูปที่ 2.4 ความยาวคลื่นของแสงสีต่างๆที่เกิดขึ้นจากไดโอดเปล่งแสง

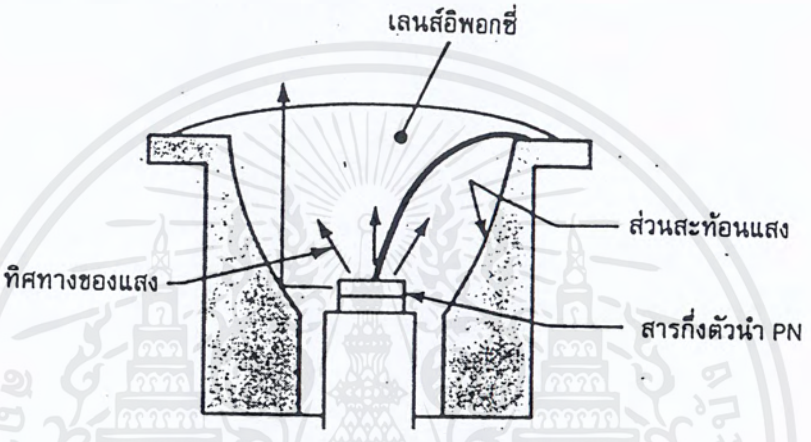
แสงที่เกิดขึ้นจากไดโอดเปล่งแสงที่มีสีต่างกันเกิดจากการผลิตโดยใช้สารต่างชนิดกัน ทำให้เกิดคุณสมบัติต่างๆของตัวไดโอดเปล่งแสงแต่ละสีแตกต่างกันออกไป สามารถเปรียบเทียบให้เห็นได้ตามตารางที่ 2.1

คุณสมบัติ	สีแดงเบอร์ 4100/4101	สีแดงประสิทธิภาพสูง เบอร์ 4160	สีเหลือง เบอร์ 4150	สีเขียวเบอร์ 4190	หน่วย
การสูญเสียกำลังงาน	100	120	120	120	มิลลิวัตต์
กระแสไบอัสตรงเฉลี่ย	50	20	20	30	มิลลิแอมป์
กระแสไบอัสตรงสูงสุด	1000	60	60	60	มิลลิแอมป์
ย่านอุณหภูมิทำงานและสะสม	-	- 55องศา ถึง 100 องศาทุกตัว	-	-	องศาเซลเซียล
ความยาวคลื่นแสงสูงสุด	655	635	583	565	นาโนเมตร
แรงดันไบอัสตรง	1.6	2.2	2.2	2.4	โวลย์
แรงดันไบอัสกลับเบรคดาวน์	10	5	5	5	โวลย์
ความสามารถในการส่องสว่าง	55	147	570	665	ลูเมนต์ /วัตต์

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของตัวไดโอดเปล่งแสงแต่ละสีต่างๆ

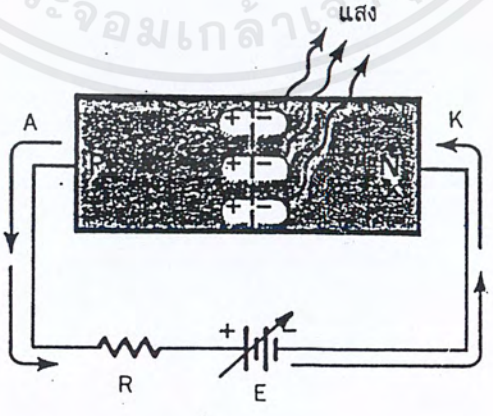
2.1.2 ลักษณะไดโอดเปล่งแสงแบบอินฟราเรด

แสงที่เปล่งออกมาจากตัวไดโอดเปล่งแสงเกิดขึ้นตรงบริเวณรอยต่อของสารชนิด P และชนิด N เกิดการกระจัดกระจายออกรอบตัว ทำให้ความเข้มของแสงลดลง การใช้ไดโอดเปล่งแสงจำเป็นต้องใช้ความเข้มของแสงรวมไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งเฉพาะ ยิ่งถ้าเป็นไดโอดเปล่งแสงที่เปล่งแสงอินฟราเรดออกมา ยิ่งมีความจำเป็นเพราะนิยมนำไปใช้ในระบบการควบคุมระยะไกล(Remote Control) ต้องให้แสงเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียว ดังนั้นในส่วนตัวถังของไดโอดเปล่งแสงจึงต้องมีส่วนสะท้อนแสงและมีเลนส์รวมแสงเพิ่มเข้าไป ลักษณะโครงสร้างแสดงดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างและลักษณะไดโอดเปล่งแสงแบบมีเลนส์รวมแสง

ไดโอดเปล่งแสงมีการทำงานเหมือนไดโอดธรรมดาคือ เมื่อจากไฟไบอัสตรงนำกระแสพร้อมเปล่งแสงสว่างออกมา เมื่อจ่ายไบอัสกลับไม่นำกระแสมีกระแสรั่วซึมไหลกลับเล็กน้อย ถ้าจ่ายไลอัสกลับให้มากเกินไปจนถึงจุดแรงดันพังไดโอดเปล่งแสงก็ชำรุดเสียหาย วงจรใช้ทดสอบการทำงานของไดโอดเปล่งแสงแสดงดังรูปที่ 2.6



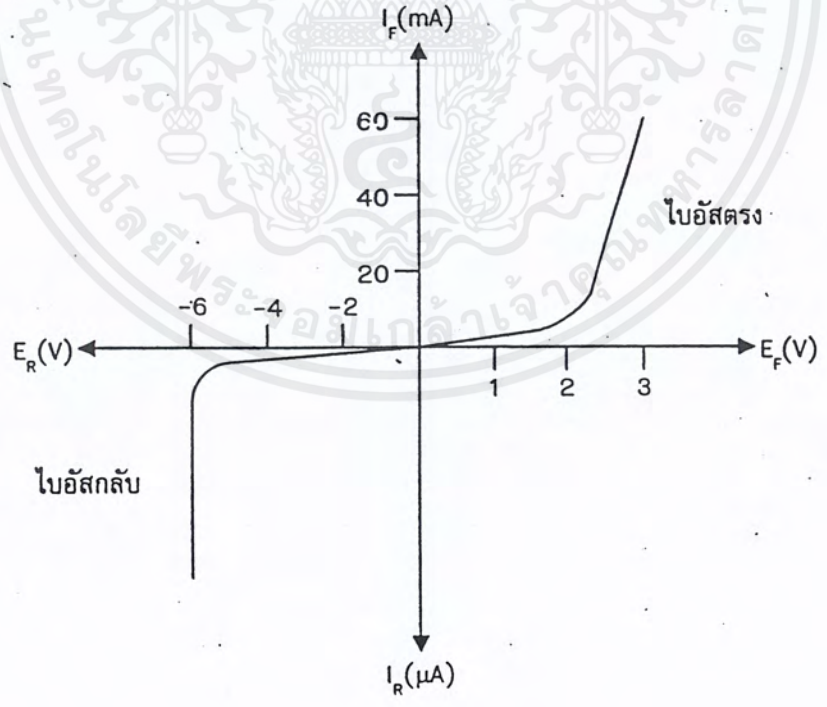
รูปที่ 2.6 วงจรไบอัสตรงให้ไดโอดเปล่งแสงทำงาน

จากรูปที่ 2.6 เป็นวงจรจ่ายไบอัสตรงให้ไดโอดเปล่งแสงทำงาน การจ่ายแรงดันไบอัสครั้งแรกค่าต่ำ ไดโอดเปล่งแสงยังไม่นำกระแสไม่มีแสงเปล่งออกมา เมื่อปรับแรงดันไบอัสให้เพิ่มขึ้นถึงค่าประมาณ 1.5 โวลต์ไดโอดเปล่งแสงจึงเริ่มนำกระแสและเริ่มกำเนิดแสงขึ้นมายิ่งเพิ่มแรงดันไบอัสตรงให้ไดโอดเปล่งแสงมากขึ้น กระแสจะไหลผ่านตัวไดโอดเปล่งแสงมากขึ้น แสงที่กำเนิดขึ้นมาสว่างมากขึ้นถ้าจ่ายด้วยไบอัสตรงให้ไดโอดเปล่งแสงมากเกินกว่าค่ากระแสที่ไดโอดเปล่งแสงทนได้ ไดโอดเปล่งแสงจะชำรุดเสียหายทันที ไดโอดเปล่งแสงแต่ละแบบมีค่าทนกระแสสูงสุดแตกต่างกัน

การใช้งานของตัวไดโอดเปล่งแสง ควรเลือกย่านกระแสใช้งานเฉลี่ยที่ไดโอดเปล่งแสงต้องการทำให้ได้แสงที่เปล่งออกมามีความสว่างพอเหมาะ ค่ากระแสนั้นมีค่าประมาณ 20 มิลลิแอป ถึง 50 มิลลิแอป ส่วนค่ากระแสสูงสุดของไดโอดเปล่งแสงมีค่าประมาณ 60 มิลลิแอป ถึง 100 มิลลิแอป ส่วนค่าแรงดันไบอัสตรงที่พอเหมาะในการจ่ายให้ตัวไดโอดเปล่งแสงมีค่าประมาณประมาณ1.6 โวลต์ ถึง 3 โวลต์

การจ่ายไบอัสกลับให้ตัวไดโอดเปล่งแสง ไม่มีกระแสไหลในตัวไดโอดเปล่งแสง แต่ถ้าจ่ายแรงดันไบอัสกลับมากเกินกว่าที่ตัวไดโอดเปล่งแสงทนได้ คือที่แรงดันพังไดโอดเปล่งแสงจะชำรุดเสียหายทันที ค่าแรงดันพังของไดโอดเปล่งแสงมีค่าประมาณ 3 โวลต์ ถึง 10 โวลต์

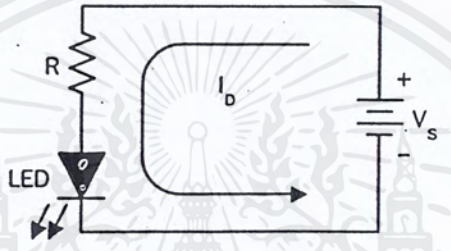
เมื่อนำสภาวะการทดสอบไดโอดเปล่งแสง ทั้งช่วงไบอัสตรงและช่วงไบอัสกลับไปกำหนดค่าลงในกราฟสามารถเขียนกราฟคุณสมบัติของไดโอดเปล่งแสงออกมาได้คล้ายกราฟคุณสมบัติของไดโอดธรรมดา กราฟคุณสมบัติของไดโอดเปล่งแสงแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงคุณสมบัติของไดโอดเปล่งแสง

2.1.3 การใส่ตัวต้านทานจำกัดกระแสให้ไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสง สีต่างๆ ต้องการแรงดันและกระแสในการทำงานต่ำๆ จากตารางคุณสมบัติและกราฟคุณสมบัติของไดโอดเปล่งแสงบอกได้ว่าแรงดันไบอัสตรงต้องไม่เกิน 3 โวลต์ และกระแสที่ไหลผ่านต้องไม่เกิน 20 มิลลิแอมป์ ถึง 50 มิลลิแอมป์ ค่าดังกล่าวเป็นค่าที่พอเหมาะในการทำงานของไดโอดเปล่งแสง ซึ่งหากจ่ายเกินอาจทำให้ไดโอดเปล่งแสงชำรุดเสียหายทันที แต่ในการนำไดโอดเปล่งแสงไปใช้งานมักต้องรับแรงดันและกระแสเกินกว่ากำหนดดังกล่าว ดังนั้นจึงต้องเพิ่มตัวต้านทานต่ออันดับกับไดโอดเปล่งแสงช่วยทำหน้าที่จำกัดกระแสที่ไหลผ่านให้พอเหมาะตามต้องการและรับแรงดันส่วนเกินให้ตกคร่อมตัวมันลักษณะวงจรแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การต่อไดโอดเปล่งแสงร่วมกับตัวต้านทาน จำกัดกระแส

จากรูปที่ 2.8 เป็นการต่อ ไดโอดเปล่งแสงร่วมกับตัวต้านทานจำกัดกระแส เข้ากับแรงดันที่มีค่ามากเกินกำหนด ตัวต้านทาน R ทำหน้าที่จำกัดกระแสและให้แรงดันส่วนเกินตกคร่อม ทำให้มีแรงดันค่าพอเหมาะไปตกคร่อม ตัวไดโอดเปล่งแสงประมาณ 1.5 โวลต์ ถึง 2.5โวลต์ เลือกค่าปานกลางที่พอเหมาะใช้งานประมาณ 2 โวลต์ ส่วนกระแสที่พอเหมาะไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงมีค่าประมาณ 20 มิลลิแอมป์ ถึง 50 มิลลิแอมป์ เลือกค่าปานกลางที่พอเหมาะใช้งานประมาณ 25 มิลลิแอมป์ นำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาค่าความต้านทาน R ที่เหมาะโดยใช้กฎของโอห์มเขียนสมการออกมาได้ดังนี้

$$R = (V_s - V_D) / I_D$$

เมื่อ R = ความต้านทานจำกัดกระแส (หน่วย Ω)

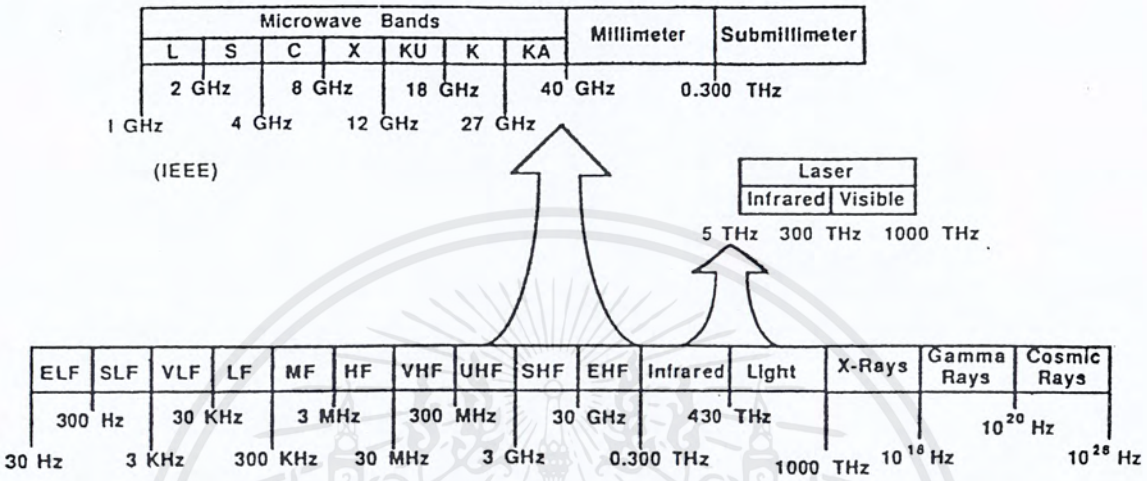
V_s = แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (หน่วย โวลต์)

V_D = แรงดันตกคร่อมตัว ไดโอดเปล่งแสง (หน่วย V = 2 โวลต์)

I_D = กระแสไหลผ่านตัว ไดโอดเปล่งแสง (หน่วย A = 25 มิลลิแอมป์)

2.2 แถบสเปคตรัมความถี่

แถบสเปคตรัมความถี่เริ่มตั้งแต่ 30 Hz ในย่านต่ำกว่า ความถี่เสียง ขึ้นไปถึงหนึ่งคูณสิบยกกำลังยี่สิบแปดเฮิรตซ์ในย่านรังสีคอสมิก ซึ่งได้แสดงให้เห็นการจัดแถบสเปคตรัมความถี่ดังรูปที่ 2.9 แสดงการจัดแถบสเปคตรัมความถี่



รูปที่ 2.9 แสดงการจัดแถบสเปคตรัม

ส่วนตารางด้านล่างแสดงการจัดแบ่งแถบสเปคตรัมความถี่โดยมีชื่อเรียกย่านหรือแถบความถี่มาตรฐานและใช้เป็นคำเรียกทั่วไป

แถบความถี่	ชื่อที่เรียกแถบความถี่
3-30 Hz	VLF (Very Low Frequencies)
30-300 kHz	LF (Low Frequencies)
300 kHz-3 MHz	MF (Medium Frequencies)
3-30 MHz	HF (High Frequencies)
30-300 MHz	VHF (Very High Frequencies)
300 MHz-3 GHz	UHF (Ultra High Frequencies)
3-30 GHz	SHF (Super High Frequencies)
30-300 GHz	EHF (Extremely High Frequencies)

ตารางที่ 2.2 แสดงคำเรียกแถบความถี่แต่ละย่านที่ใช้กันโดยทั่วไป

กรณีแรงดันไฟฟ้าที่ใช้กันตามบ้านเรือนทั่วไป ซึ่งส่งมาจากโรงจักรผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่ระหว่าง 50 - 60 เฮิรตซ์ ตามสภาพความเหมาะสมของแต่ละประเทศ จัดอยู่ในแถบความถี่เสียง(AF) ซึ่งกำหนดช่วงความถี่ตั้งแต่ 15 เฮิรตซ์ ถึง 20 กิโลเฮิรตซ์ สำหรับระบบวิทยุ เอ.เอ็ม.(A.M.) ที่เรารับฟังกันอยู่มีความถี่อยู่ในช่วง 550 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 1.6 เมกกะเฮิรตซ์ นั้นจัดอยู่ในความถี่ปานกลาง (MF) แต่ความถี่วิทยุ เอฟ.เอม (FM) อยู่ในช่วงตั้งแต่ 88 ถึง 108 เมกกะเฮิรตซ์ และความถี่วิทยุโทรทัศน์ที่ใช้ความถี่

ตั้งแต่ 54 - 210 เมกกะเฮิรตซ์ จัดอยู่ในย่านความสูงมาก(VHF) ส่วนความถี่วิทยุโทรทัศน์ที่ใช้ความถี่ตั้งแต่ 470 – 880 เมกกะเฮิรตซ์ จัดอยู่ในย่านความถี่สูงยิ่ง(UHF) ตารางด้านล่างแสดงแถบความถี่ที่เราเรียกกันว่าย่านไมโครเวฟ(MICROWAVE) ซึ่งแต่เดิมกำหนดให้เริ่มตั้งแต่ 1.12 – 40 กิกะเฮิรตซ์ แบ่งออกเป็น 12 แถบย่านความถี่ย่อยจากซ้ายไปขวา หรือจากความถี่ต่ำสุดไปจนถึงความถี่สูงสุดของย่านไมโครเวฟ โดยมีการกำหนดชื่อเรียกแต่ละแถบจากความถี่ย่อยนี้ด้วย แต่ปัจจุบันนี้ได้มีการกำหนดย่านความถี่ไมโครเวฟขึ้นมาใหม่ เพื่อให้เห็นขอบเขตได้ชัดเจน และจะสะดวกต่อการอ้างอิงมากขึ้น โดยกำหนดขึ้นมาใหม่ เพื่อให้เห็นขอบเขตชัดเจน และจะสะดวกต่อการอ้างอิงมากขึ้น โดยกำหนดให้เริ่มจาก 1 ไปจนถึง 100 กิกะเฮิรตซ์ หรือมากกว่า 100 กิกะเฮิรตซ์ ขึ้นไป สรุปเป็นความยาวคลื่นคือ ตั้งแต่ความยาวคลื่นเป็นเซนติเมตรลงไปถึงมิลลิเมตร

ชื่อเรียกแถบความถี่	ความถี่อยู่ระหว่าง, GHz
L	1.12-2.7
S	2.6-3.95
G	3.95-5.85
C	4.9-7.05
J	5.85-8.2
H	7.05-10.0
X	8.2-12.4
M	10.0-15.0
P	12.4-18.0
N	15.0-22.0
K	18.0-26.5
R	26.5-40.0

ตารางที่ 2.3 แสดงคำเรียกแถบความถี่ย่านไมโครเวฟ

จากตารางข้างบนแสดงให้เห็นถึงการจัดแถบสเปคตรัมตามความถี่มาตรฐาน IEEE ซึ่งใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีชื่อเรียกแถบความถี่ย่อยจาก L ถึง K สำหรับความถี่ตั้งแต่ 300 เมกกะเฮิรตซ์ - 40 กิกะเฮิรตซ์

ความถี่อื่นที่อยู่เหนือขึ้นไปจากย่านไมโครเวฟมีชื่อเรียกว่าแถบรังสีความร้อน หรือที่เราคุ้นเคยในชื่อแถบบย่านอินฟาเรด มีแถบสเปคตรัมความถี่ตั้งแต่ 0.3-0.4 THz

2.3 ระบบโทรศัพท์

ระบบโทรศัพท์คือ ระบบสื่อสารที่มีโครงข่ายชุมสายบริการสมาชิกและผู้รู้เลขหมายสมาชิกให้สามารถเรียกสลับคู่สนทนาต่างๆ โดยลดการเดินทางที่ไม่จำเป็นลงได้

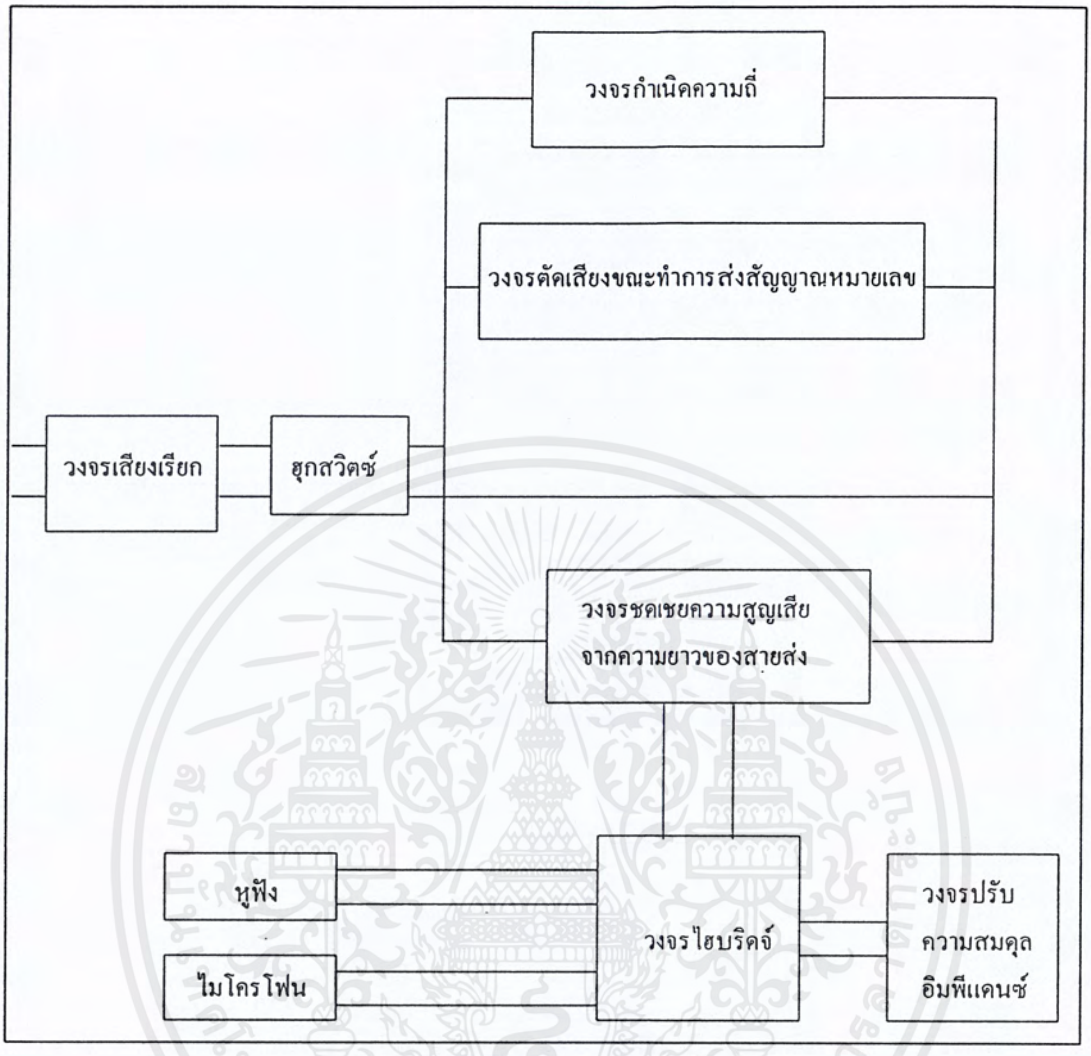
โทรศัพท์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมี 2 ระบบคือ ระบบหน้าปัดแบบหมุน(Cross bar) ซึ่งเป็นระบบเดิมที่ใช้เต่แรก กับระบบหน้าปัดแบบกดปุ่ม(Dual Tone Multi Frequency) ส่วน DMTF นั้นเป็นระบบใหม่ที่นำมาใช้แทนที่สำหรับข้อดีกว่าจะนำเสนอต่อไปและในที่นี้จะเน้นเฉพาะระบบ DMTF ซึ่งเป็นระบบที่ใช้มากในปัจจุบัน

ในระบบโทรศัพท์จะประกอบไปด้วย

1) การเรียกทางโทรศัพท์ (TELEPHONE CALL) คือการเรียกผ่านระบบโทรศัพท์ระหว่างสมาชิกผู้เรียกและผู้รับ
2) เครื่องโทรศัพท์ (TELEPHONE SET) คืออุปกรณ์สำหรับสมาชิกใช้พูดและฟังในการสนทนาผ่านโครงข่ายโทรศัพท์ เมื่อต้องการเรียกก็หมุนหรือกดเลขหมายผู้รับที่หน้าปัด
3) ผู้เรียก (CALLING SUBSCRIBER) หรือสมาชิกผู้เรียก คือผู้เริ่มต้นการเรียกจะด้วยการแจ้งให้พนักงานช่วยต่อกับผู้รับ หมุนหรือกดหมายเลขของผู้รับเมื่อเครื่องโทรศัพท์นั้นเป็นคู่สายของเครื่องชุมสายอัตโนมัติ
4) ผู้รับ (CALLED SUBSCRIBER) หรือสมาชิกผู้ถูกเรียก คือผู้ตอบรับการเรียกทางโทรศัพท์เมื่อได้ยินสัญญาณกริ่งเรียก (RINGING SIGNAL)
5) คู่สายสมาชิก (SUBSCRIBER LINE) คือคู่ตัวนำกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนมาจากเสียงพูดแจกจ่ายออกมาจากสถานีที่ติดตั้งเครื่องชุมสายท้องถิ่นไปยังบ้านของผู้เช่าหรือสมาชิกแต่ละรายอย่างอิสระ
6) เครื่องชุมสายโทรศัพท์(อัตโนมัติ) (AUTOMATIC TELEPHONE SWITCHING) คือ เครื่องที่ทำหน้าที่ต่อสลับคู่สายระหว่างสมาชิกผู้เรียกกับผู้รับโดยอัตโนมัติ

2.3.1 การทำงานของโทรศัพท์

โทรศัพท์จะมีบล็อกไดอะแกรมการทำงานดังรูปที่...ซึ่งแสดงส่วนต่างๆที่จะเป็นในเครื่องโทรศัพท์ โดยจะเชื่อมต่อด้วยสาย T(tip) และสาย R(ring) วงจรแรกที่เชื่อมต่อระหว่างวงจรภายในเครื่องโทรศัพท์กับอุปกรณ์ของชุมสายก็คือ วงจรกำเนิดสัญญาณเรียก (ringer) ซึ่งจะส่งสัญญาณเรียก (ringing signal) เมื่อมีการติดต่อมาจากผู้อื่น เหตุผลประการสำคัญที่ต้อนำวงจรส่วนนี้มาเชื่อมต่อกับชุมสายโดยตรงคือ เมื่อวางหูโทรศัพท์ไว้กับที่วางตามปกติ ฮุกสวิตช์ (switch hook) จะถูกเปิดวงจรออกทำให้ไม่มีแรงดันจากชุมสายผ่านไปยังวงจรส่วนที่อยู่หลังฮุกสวิตช์ได้ ดังนั้นถ้าวงจรกำเนิดสัญญาณเรียกอยู่หลังจากฮุกสวิตช์ก็จะไม่สามารถสร้างสัญญาณเรียกได้ในเวลาที่มีผู้ติดต่อเข้ามา



รูปที่ 2.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโทรศัพท์

เมื่อมีการยกหูโทรศัพท์ขึ้น ฮุกสวิตช์ก็จะเปิดวงจรทำให้มีกระแสจากชุมสายไหลครบวงจรผ่านเครื่องโทรศัพท์ได้ ในขณะเดียวกันกระแสค่าเดียวกันนี้ก็จะไหลผ่านขดลวดรีเลย์ที่ชุมสายด้วยก็จะทำให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ที่ชุมสายถูกปิดลง เพื่อที่จะให้อุปกรณ์ต่างๆ ในชุมสายพร้อมที่จะทำการติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์ได้ จากนั้นชุมสายก็จะส่งสัญญาณหมุน (dial tone) ไปยังผู้ที่ยกหูโทรศัพท์เพื่อให้ผู้นั้นส่งหมายเลขโทรศัพท์ของผู้ที่ต้องการติดต่อด้วยมายังชุมสาย หลังจากที่ชุมสายได้รับหมายเลขที่ถูกส่งออกมาแล้ว ชุมสายก็จะเลิกส่งสัญญาณหมุนซึ่งกระบวนการตอนนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

2.3.2 สัญญาณพื้นฐาน

คือสัญญาณที่เครื่องชุมสายโทรศัพท์จะแจ้งสภาวะต่างๆว่าควรทำอย่างไรซึ่งประกอบไปด้วย

1) สัญญาณให้หมุน (Dial Tone) ใช้เพื่อแสดงให้สมาชิกผู้เรียกให้หมุนหมายเลขผู้รับมาได้ ซึ่งเป็นเสียงที่ได้ยินเมื่อเวลายกหู เป็นสัญญาณเสียงที่มีความถี่ 350 กับ 440 เฮิรตซ์ มอดูเลตรวมกัน

2) สัญญาณไม่ว่าง (Busy Tone) ใช้เพื่อเตือนสมาชิกผู้เรียกว่า ผู้รับไม่ว่างควรวางหูก่อนระยะหนึ่งก่อนแล้วจึงเริ่มต่อใหม่ เป็นสัญญาณ 480 กับ 620 เฮิรตซ์ มอดูเลตกัน ดัง 0.5 วินาที เงียบ 0.5 วินาที

3) สัญญาณกริ่งเรียก (Ringing Tone Signal) ใช้เมื่อการต่อทุกขั้นตอนตามความประสงค์ของผู้เรียกมายังผู้รับสำเร็จ นั่นคือเครื่องชุมสายโทรศัพท์ดำเนินการต่อกับทางด้านผู้รับสำเร็จ ผู้รับจะได้ยินกริ่งเรียกเป็นสัญญาณ 16 Hz กรำกับ 400 Hz แบบ AM ส่ง 0.67-1.5 วินาที เงียบ 2-4 วินาที

4) สัญญาณเรียกกลับ (Ring Back Tone) ใช้เมื่อการต่อทุกขั้นตอนสำเร็จ เป็นการแจ้งให้ผู้เรียกรู้ว่าการเรียกสำเร็จ เป็นสัญญาณความถี่ 440 กับ 480 เฮิรตซ์ มอดูเลตกัน ช่วงเวลาส่งและเงียบเช่นเดียวกับสัญญาณกริ่งเรียก

2.3.3 การติดต่อกันระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับโทรศัพท์

เครื่องส่ง

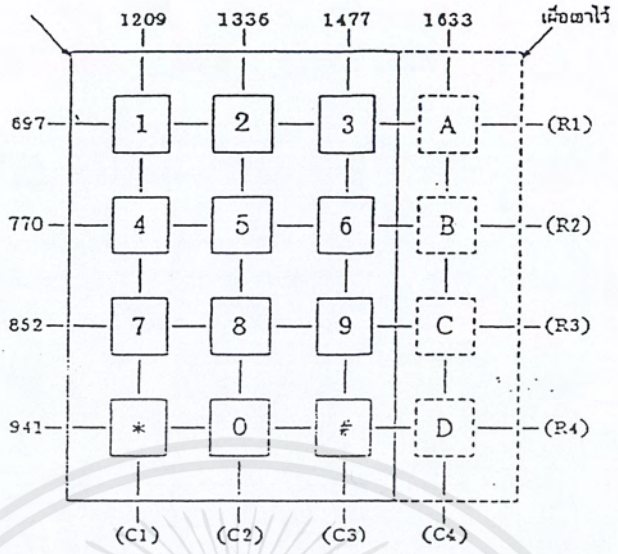
- ขณะที่ไม่ได้มีการยกหูโทรศัพท์ จะมีศักดาตกคร่อมสายโทรศัพท์เป็นสัญญาณกระแสตรง 48 V กระแสสลับขนาด 250 mV ความถี่ 400 Hz กรำความถี่ประมาณ 50 Hz แล้ว สัญญาณให้หมุนนี้จะหายไป
- กดรหัส (Code) เบอร์โทรศัพท์ทั้งหมด 7 หลัก รหัสความถี่ที่ส่งจะเป็นสัญญาณผสมสองความถี่เป็นความถี่สูงและต่ำผสมกัน แต่ละหมายเลขจะมี DTMF อยู่หนึ่งคู่
- ขณะที่รอรับจะมีสัญญาณตอบกลับสองแบบ เพื่อจะบอกว่าสายว่างหรือไม่คือสัญญาณเรียกกลับหรือสัญญาณไม่ว่าง ตามลำดับ
- เมื่อมีการรับสายแล้ว สัญญาณจะขึ้นกับความดังของเสียงพูดตามสาย
- เมื่อวางหูโทรศัพท์เลิกการติดต่อ ขนาดศักดาจะกลับไปที่ 48 V ดังเดิม

เครื่องรับ

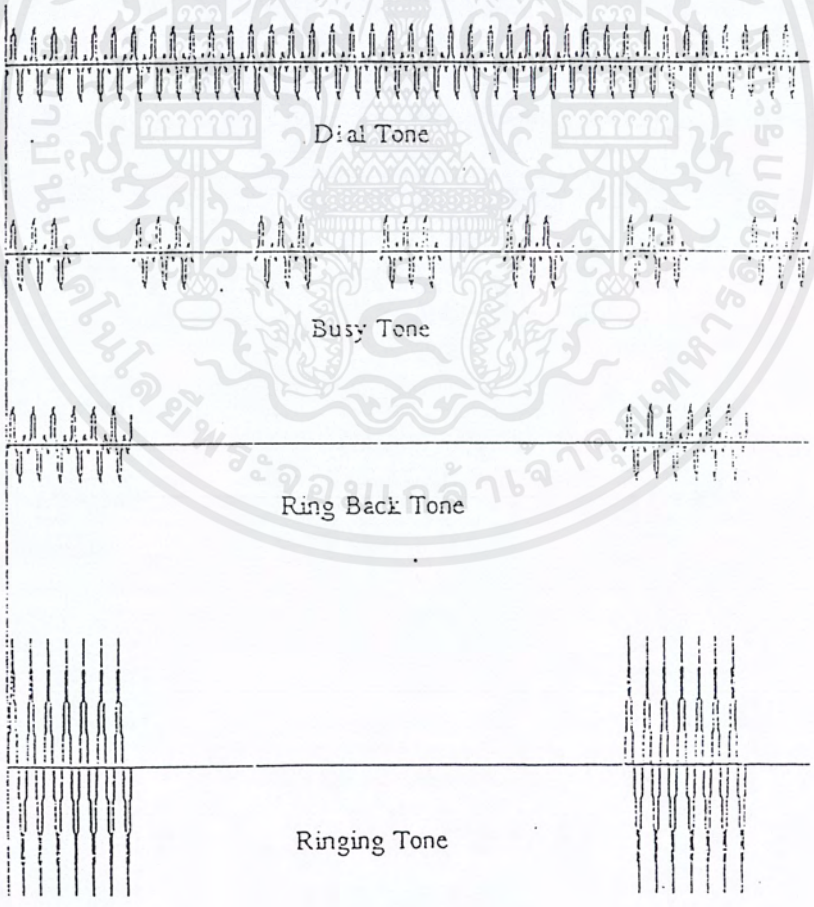
- ขณะที่วางหูอยู่จะมีศักดากระแสตกคร่อมสายอยู่ที่ 48 V
- เมื่อมีสัญญาณกริ่งเรียกจะมีขนาดประมาณ 100 V จังหวะดัง 1 วินาที หยุด 4 วินาที ซึ่งจะตรงกับสัญญาณเรียกกลับที่เครื่องส่ง
- จากนั้นเมื่อผู้รับยกหูโทรศัพท์ ขนาดศักดากระแสตรงจะเหลือ 8 V และมีการกระเพื่อมตามขนาดและความถี่ของเสียงพูด
- เมื่อสิ้นสุดการสนทนา วางหูโทรศัพท์ ขนาดศักดาจะกลับไปที่ 48 V ตามเดิม

2.3.4. ระบบโทรศัพท์แบบส่งความถี่สูง (Dual Tone Multi Frequency Type)

ระบบนี้มีวิธีการส่งหมายเลขของผู้ที่ต้องการจะติดต่อด้วย โดยการส่งสัญญาณความถี่ 2 ความถี่มอดูเลตกันไป ซึ่งจะเป็นตัวแทนหมายเลขที่กด ซึ่งความถี่ที่ถูกส่งออกไปจะอยู่ในย่านความถี่เสียงพูด (0-4 กิโลเฮิรตซ์) ซึ่งค่าความถี่ที่ต่ำกว่าจะเป็นความถี่ที่แสดงในแนวนอน และอีกค่าหนึ่งก็จะเป็นความถี่ในแนวตั้ง ซึ่งค่าต่างๆ จะแสดงไว้ในรูป 2.11 ตัวอย่างเช่น เมื่อมีการกดหมายเลข 5 ก็จะมีความถี่ 770 เฮิรตซ์ และ 1336 เฮิรตซ์ มอดูเลตกันออกมา



รูปที่ 2.11 แสดงแป้นกดหมายเลขและค่าความถี่ในแนวตั้งและแนวนอนของหมายเลขนั้นๆ



รูปที่ 2.12 แสดงสัญญาณพื้นฐาน

2.3.5 ข้อดีของการใช้โทรศัพท์แบบกดปุ่ม (DTMF)

1) สามารถลดเวลาในการหมุนหมายเลขลงได้ ทำให้มีผลคือเวลาเฉลี่ยที่ใช้โทรศัพท์แต่ละครั้งลดลง ซึ่งทำให้ชุมสายโทรศัพท์สามารถรับการจราจรได้มากขึ้น
2) สามารถใช้วงจรทางโซหลิดสเตทอิเลคทรอนิค แทนอุปกรณ์ทางด้านเมคคานิค จึงทำให้มีความรวดเร็วและแม่นยำในการส่งหมายเลขมากขึ้น
3) สามารถเพิ่มปุ่มกดขึ้นได้อีก 4 ปุ่ม (Column ที่ 4) เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณการบริการประเภทอื่นๆ
4) มีความเหมาะสมที่จะใช้กับชุมสายระบบ Stored Program Control

2.3.6 การเข้ารหัสและการถอดรหัสความถี่ของระบบโทรศัพท์ DTMF

- การเข้ารหัสความถี่ระบบ DTMF (Dual Tone Multi Frequency encoder)

ระบบโทรศัพท์แบบ DMTF นี้จะใช้การส่งสัญญาณไปบนสายส่งของระบบโทรศัพท์ โดยจะมีข้อดีเหนือระบบพัลซ์หลายอย่าง เช่นหมุนโทรศัพท์ได้รวดเร็วกว่า และสามารถที่จะส่งสัญญาณไปบนสายส่งเสียงระดับใดๆก็ได้ วิธีนี้เป็นการส่งสัญญาณแถบความถี่เสียงที่แตกต่างกัน 16 ค่า โดยแต่ละค่าจะเป็นสัญญาณคลื่นรูปซายน์ 2 แบบ แบ่งเป็น กลุ่มความถี่ต่ำ และกลุ่มความถี่สูง และจะมีลักษณะแสดงดังตารางข้างล่างนี้

กลุ่มของความถี่ต่ำ (Hz)	กลุ่มของความถี่สูง (Hz)			
	1209	1336	1477	1633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

ตารางที่ 2.4 แสดงความถี่ระบบ DTMF

- การถอดรหัสความถี่ระบบ DTMF (DTMF Decoder)

การถอดรหัสความถี่ทางโทรศัพท์ หมายถึง การแปลงสัญญาณความถี่ซึ่งเกิดจากการกดปุ่มตัวเลขทางโทรศัพท์ ชนิดกดปุ่ม (ชนิด Tone หรือ DTMF) ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อนำไปใช้กับระบบดิจิตอล ข้อกำหนดต่างๆที่จำเป็นเพื่อที่จะไม่ทำให้การถอดรหัส DTMF เกิดความผิดพลาดขึ้น ซึ่งผู้ออกแบบวงจรต้องคำนึงถึงเสมอ มีรายละเอียดดังนี้

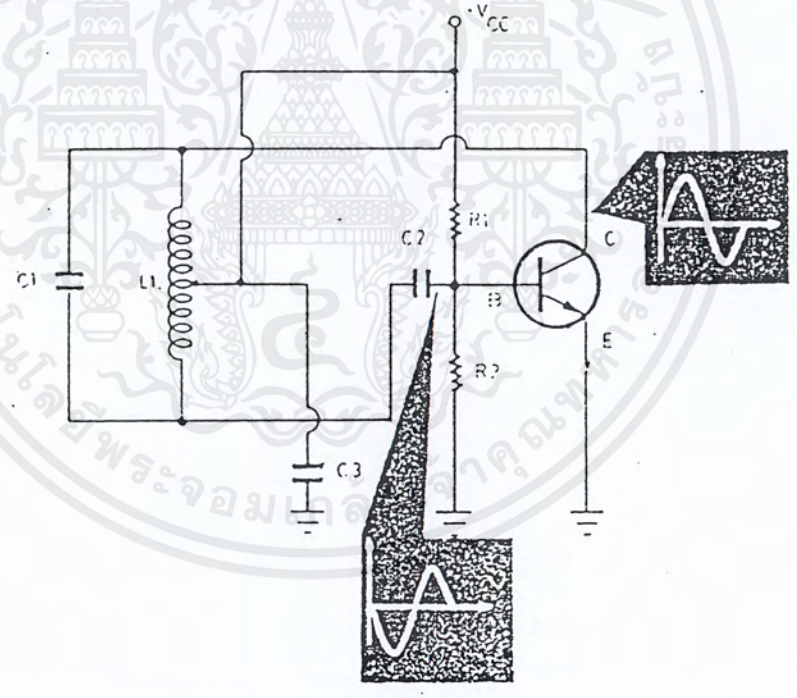
1) วงจรจะยังคงสามารถถอดรหัสได้อย่างถูกต้อง ถึงแม้สัญญาณที่รับเข้ามาจะมีความถี่เบี่ยงเบนไปจากค่าที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน แต่ต้องไม่เกิน 2% และจะไม่ยอมให้สัญญาณที่มีค่าเบี่ยงเบนมากกว่า 3% จากค่ามาตรฐาน ผ่านวงจรกรองความถี่ได้

3) วงจรถอดรหัสจะสามารถถอดรหัสได้ ก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณเข้ามารีระยะเวลาอย่างน้อย 40 มิลลิวินาที
4) วงจรถอดรหัสจะทำการถอดรหัสได้ถูกต้อง ก็ต่อเมื่อสัญญาณ DTMF ที่รับเข้ามาในวงจรจะต้องมีช่วงเวลาที่ห่างกับสัญญาณ DTMF ที่รับเข้ามาก่อนหน้านี้เป็นเวลาอย่างน้อย 35 มิลลิวินาที
5) วงจรถอดรหัสจะต้องสามารถถอดรหัสสัญญาณ DTMF ที่มีไดนามิกเรนจ์สูงกว่า 27.5 dB ได้โดยไม่เกิดการผิดพลาด และยังสามารถทำงานได้ในกรณีที่สัญญาณทั้ง 2 ความถี่ที่ประกอบกันขึ้นเป็นสัญญาณ DTMF มีแอมปลิจูดต่างกันมากกว่า 6 dB
6) วงจรถอดรหัสยังคงทำงานได้ตลอดเวลา ไม่ว่าขณะนั้นจะปรากฏเสียงพูดหรือมีสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามายังวงจรถอดรหัส ก็ไม่ทำให้การถอดรหัสผิดพลาด

2.4 ออสซิเลเตอร์ (Oscillator)

ออสซิเลเตอร์มีความหมายในตัวเองว่าสิ่งที่แกว่งไปแกว่งมา สำหรับกรณีของวงจรอิเลกทรอนิกส์ ออสซิเลเตอร์มีความหมายถึงการเปลี่ยนไปมาแรงดันหรือกระแสระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุด หรือกล่าวได้ง่าย ๆ คือ เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณ

2.4.1 วงจรออสซิเลเตอร์เบื้องต้น



รูปที่ 2.13 วงจรออสซิเลเตอร์เบื้องต้น

วงจรตามรูปที่ 2.13 นี้ที่ชื่อเรียกว่า วงจรฮาร์ทเลย์ออสซิเลเตอร์ การทำงานของวงจรอาศัยหลักการป้อนกลับด้วยวงจรรีโซแนนท์ ที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ C_t และตัวเหนี่ยวนำ L_t สัญญาณป้อนกลับจากเอาท์พุททางขาคอลเล็คเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะป้อนกลับผ่านวงจรจูน เมื่อกลับเฟส 180 องศา ป้อนเข้ามาทางเบสของทรานซิสเตอร์

สำหรับทรานซิสเตอร์ตัวต้านทาน R1 และ R2 จะเป็นตัวไบอัสทรานซิสเตอร์ให้ทำงานในลักษณะของวงจรขยายสัญญาณ ส่วนตัวเก็บประจุC2 เปรียบเสมือนเป็นตัวคัปปิ้งสัญญาณเข้ามาทางอินพุท

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โดยปกติวงจรชนิดขาอิมิเตอร์ร่วมนั้นสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ทางขาคอลเล็กเตอร์จะมีทิศเฟสตรงข้ามกับสัญญาณทางอินพุทอยู่แล้ว คือมีทิศเฟสต่างกัน 180 องศา ผลของสัญญาณป้อนกลับจะมีทิศทางในทางเสริมกับสัญญาณอินพุททันที วงจรจะออสซิเลทได้

การทำงานในแต่ละรอบของการออสซอเลทพอจะอธิบายได้ดังนี้ ในขณะเริ่มแรกของการออสซิเลทจะมีการเปลี่ยนแปลงกระแสคอลเล็กเตอร์ ซึ่งเป็นผลป้อนกลับมาทางอินพุททาเบสกระตุ้นที่เบส โดยถ้ากระแสคอลเล็กเตอร์เพิ่มขึ้นทางค่ามากจะทำให้แรงดันคอลเล็กเตอร์ลดลง การป้อนกลับจะกระตุ้นเข้ามาที่เบสด้วยค่าแรงดันน้อยลงเป็นผลทำให้กระแสลดลงและแรงดันคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะสูงขึ้นเป็นเช่นนี้เรื่อยไป

ตัวเก็บประจุ C3 ตามรูปที่ 2.13 เป็นทางผ่าน(bypass)ของสัญญาณไฟสลับและในทำนองเดียวกันก็จะเป็นตัวกั้นแรงไฟตรงเพื่อไม่ให้ลัดลงกราวนด์ ความถี่ของวงจรได้จากความถี่รีโซแนนซ์ของ L1 และ C1 ซึ่งเราสามารถปรับค่าความถี่รีโซแนนซ์ได้ด้วยการปรับค่า L1 และ C1 นั่นเอง

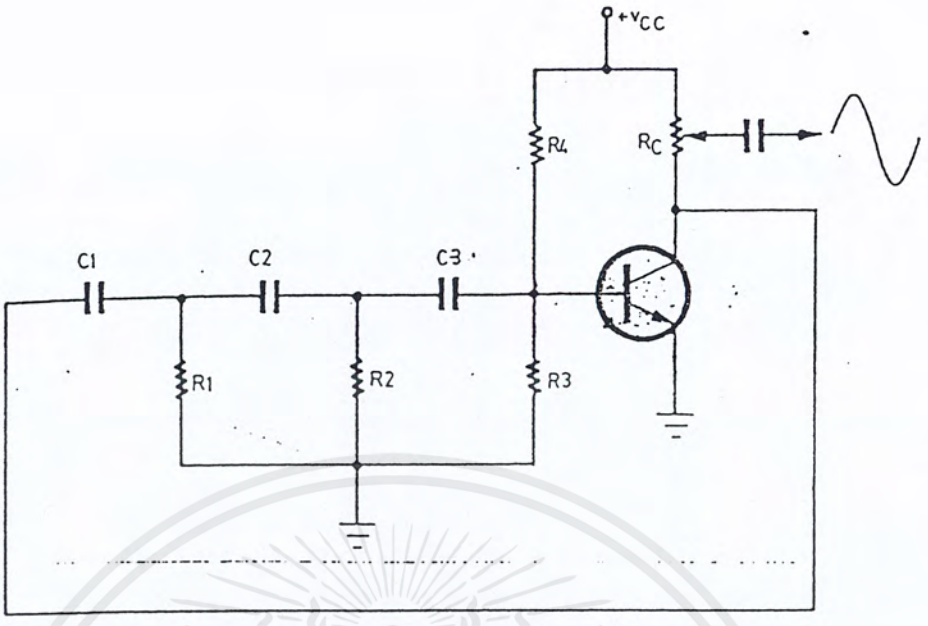
2.4.2 วงจรออสซิเลเตอร์ที่สร้างความถี่ย่านเสียง

วงจรออสซิเลเตอร์ชนิดเลื่อนเฟสและวงจรสร้างสัญญาณย่านความถี่เสียงทั่วไปมักแตกต่างกับวงจรออสซิเลเตอร์ย่านความถี่วิทยุ ทั้งนี้เพราะย่านความถี่เสียงเป็นย่านความถี่ต่ำจึงมักไม่ใช้วงจรรีโซแนนซ์ประเภท L-C เนื่องจากวงจรรีโซแนนซ์ L-C จะมีค่า Q ต่ำที่ผ่านความถี่เนื่องจากตัวเหนี่ยวนำมีค่ารีแอกแตนซ์ ที่ความถี่ต่ำน้อยนั่นเอง ดังนั้นวงจรออสซิเลเตอร์ที่ใช้สร้างสัญญาณรูปไซน์ที่ความถี่เสียงนี้จึงใช้หลักการของวงจรป้อนกลับชนิด R-C แทน

วงจรออสซิเลเตอร์ชนิดเลื่อนเฟสที่จะกล่าวถึงนี้เป็นวงจรสร้างสัญญาณความถี่เสียงได้ดีวิธีหนึ่ง สัญญาณที่ได้จะมีรูปร่างเป็นไซน์มาก นอกจากนี้สัญญาณเอาท์พุทที่ได้ยังมีเสถียรภาพทางความถี่และแอมพลิจูดดีอีกด้วย

วงจรออสซิเลเตอร์ชนิดนี้ใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดนี้ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวสร้างสัญญาณ การป้อนกลับของสัญญาณทำได้โดยผ่านวงจร R—C 3-4 ภาค ภาคต่อเชื่อมระหว่างคอลเล็กเตอร์-เบส เมื่อวงจร R-C 3 ภาคดังรูปสัญญาณความถี่ที่สร้างขึ้นจะป้อนกลับและมีการเลื่อนเฟสไปภาคละ 60 องศา ซึ่งเมื่อรวมกันแล้วก็จะครบ 180 องศา ดังนั้นจึงมีความถี่เดียวเท่านั้นที่ให้ผลของการเลื่อนเฟสครบ 180 องศา และจะเป็นความถี่ของการออสซิเลเตอร์นั่นเอง

42145



รูปที่ 2.14 วงจรออสซิเลเตอร์ชนิดเลื่อนเฟส

เมื่อต่อวงจร R-C เป็นตัวเลื่อนเฟสและป้อนกลับ ปัญหาที่เกิดขึ้นอาจทำให้เกิดการออสซิเลทที่ไม่ดี แต่เราก็สามารถแก้ปัญหาได้โดยการตัด R3 ทิ้งแล้วเพิ่มค่า R4 ให้มีค่าสูงมาก ๆ นอกจากนี้ทรานซิสเตอร์ควรมีอัตราการขยายกระแสสูง ๆ โดยปกติไม่น้อยกว่า 35 % ของความถี่ของสัญญาณที่สามารถคำนวณได้จาก

$$f0 = ½(2\pi\sqrt{RC})$$

เมื่อ C=C1=C2=C3 และ R=R1=R2=R3

วงจรออสซิเลเตอร์ชนิดป้อนกลับด้วยวงจรทวินที เป็นวงจรที่สามารถสร้างสัญญาณรูปไซน์ที่ความถี่ต่ำ ๆ ได้โดยอาศัยหลักการป้อนกลับด้วยวงจร R—C เช่นเดียวกับวงจรออสซิเลเตอร์ชนิดเลื่อนเฟส แต่วงจรป้อนกลับชนิดนี้เป็นวงจรที่มีรูปร่างเหมือนตัวทีคู่โดยประกอบด้วย R และ C เท่านั้น

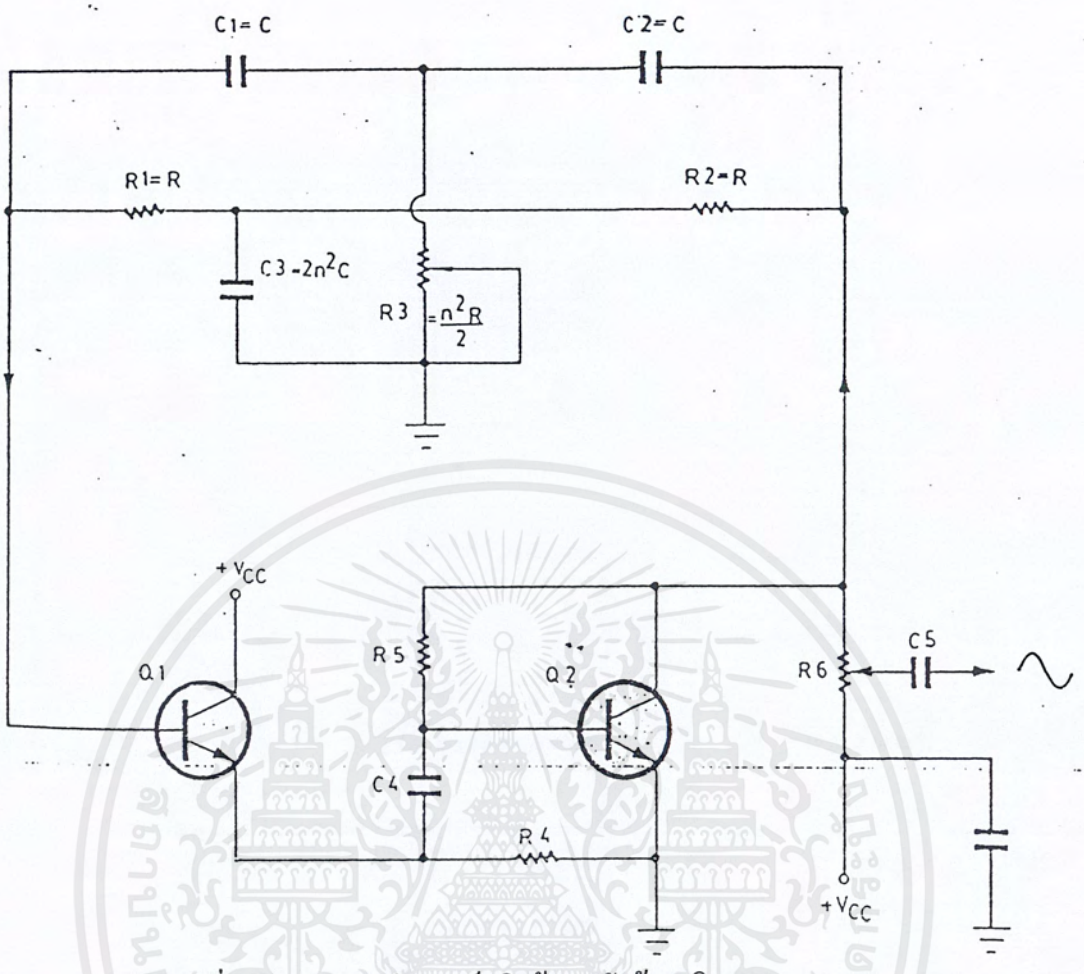
จากรูปที่ 2.15 ทรานซิสเตอร์ Q1 เป็นวงจรขยายชนิดอิมิเตอร์ตามส่วนวงจรขยายทรานซิสเตอร์ Q2 เป็นวงจรชนิดขาอิมิเตอร์ขาร่วม จุดมุ่งหมายของการใช้วงจรขยายอิมิเตอร์ตามด้วยทรานซิสเตอร์ Q1 ก็เพื่อที่จะแยกความต้านทานอินพุทของทรานซิสเตอร์ Q2 ออกจากวงจรป้อนกลับรูปตัวทีคู่ การที่ทรานซิสเตอร์ Q1 เปฌนตัวแยกได้เพื่อว่าการต่อวงจรขยายอิมิเตอร์ตามจะให้ค่าอินพุทอิพีแคนซ์ตามจะให้ค่าอินพุทอิมพีแคนซ์มีค่าสูงส่วนเอาท์พุทอิมพีแคนซ์ค่าต่ำ

หลักการทำงานของวงจรชนิดรูปตัวทีคู่ก็เหมือนกับวงจรออสซิเลเตอร์ชนิดเลื่อนเฟสนั่นเอง โดยจะทำหน้าที่เลื่อนเฟสของสัญญาณป้อนกลับไป 180 องศา ป้อนเข้าทางอินพุทของวงจร

ความถี่ของวงจรออสซิเลเตอร์แบบนี้สามารถคำนวณได้

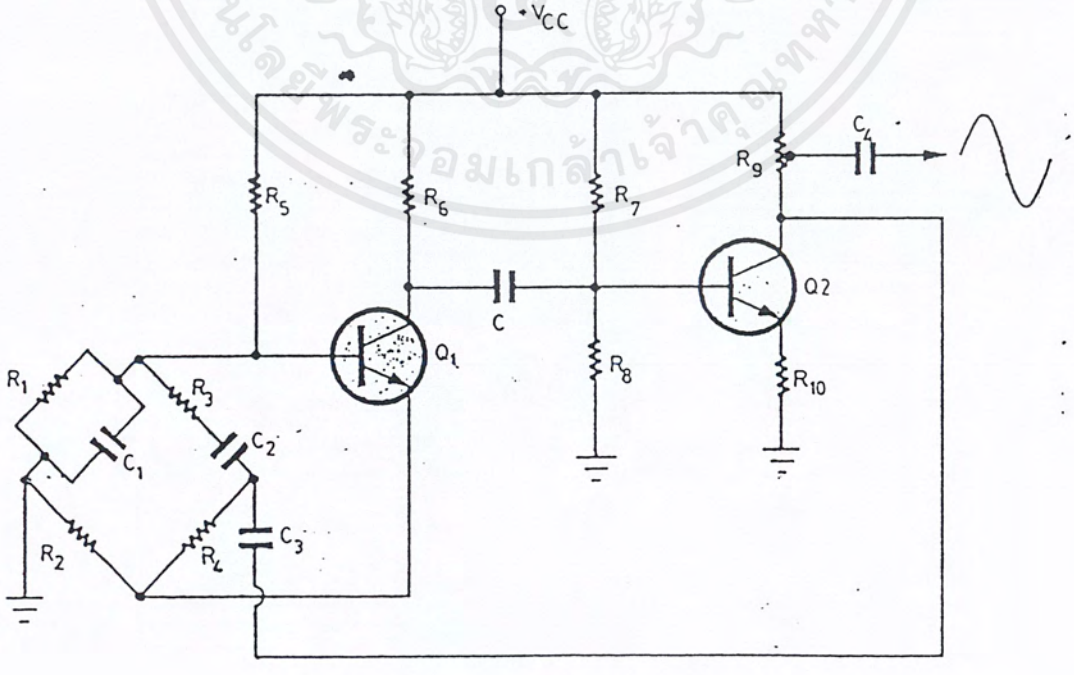
$$f0 = 1/(2\pi\sqrt{nRC})$$

เมื่อค่า เป็นเลขจำนวนเต็มมีค่าเป็นบวกใด ๆ



รูปที่ 2.15 วงจรออสซิเลเตอร์ชนิดป้อนกลับด้วยทวินาม

วงจรออดสซิเลดเตอร์ชนิดวินบริดจ์ชนิดนี้เป็นที่เผยแพร่มาก ตัววงจรดังรูปที่ 2.16

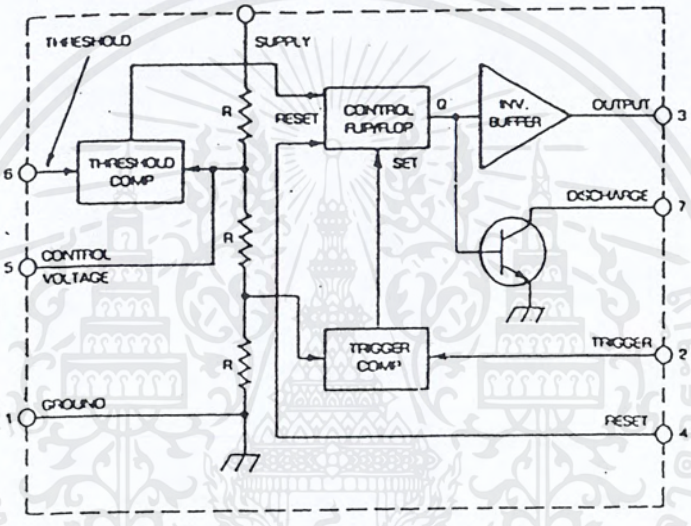


รูปที่ 2.16 วงจรออสซิเลเตอร์ชนิดวินบริดจ์

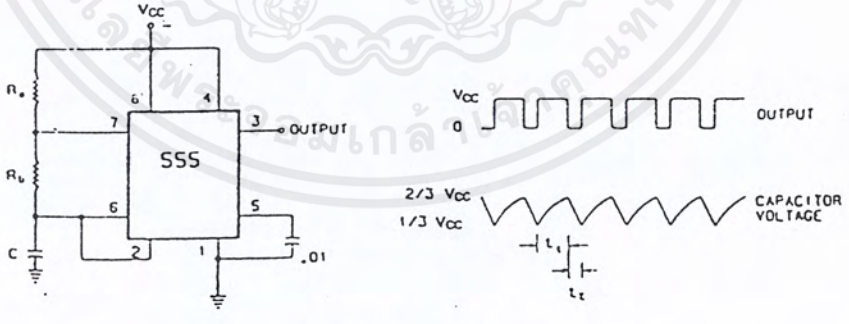
วงจรออสซิเลเตอร์ชนิดนี้เป็นวงจรที่ง่ายต่อการปรับความถี่ของสัญญาณเอาท์พุทที่ได้เพราะสามารถปรับได้จากค่า R หรือ C ที่ประกอบอยู่ในวงจรป้อนกลับ หลักการทำงานเหมือนกับสองตัวอย่างที่กล่าวมาแล้ว

2.4.3 วงจรออสซิเลเตอร์ชนิดไอซี

ในที่นี้จะกล่าวถึงวงจรไอซี 555 อะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator)จากรูปที่ 2.17 และ 2.18 จะมีอุปกรณ์ต่อแบบแอสเตเบิล โดยมีทามมิ่งรีจีสเตอร์ แยกเป็นสองส่วน Ra และ Rb ที่ขา 7 ของไอซีเป็นดิสชาร์จทรานซิสเตอร์ จะถูกต่อกับ Ra กับ Rb เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟ C จะเก็บประจุไว้ 2/3 Vcc โดยผ่าน Ra และ Rb เมื่อ Vc ถึงค่า 2/3 Vcc ที่อัปเปอร์คอม.พาเรเตอร์ จะไปทริก FF และ C เริ่มถ่ายประจุผ่าน Rb ลงกราวน์แล้วC คายประจุถึงค่า 1/3 โลเวอร์คอมพาเรเตอร์ จะถูกทริกและไซเคิลใหม่จะเริ่มขึ้น



รูปที่ 2.17 บล๊อกไดอะแกรมของ ไอซี 555



รูปที่ 2.18 ไอซี 555 อะสเตเบิ้ล (Astable)

คาปาซิเตอร์เป็นค่าพีเรียดที่เก็บประจุและคายประจุระหว่าง 2/3 Vcc และ 1/3 Vcc ดังรูปที่ 2.19 จะหาค่า t1 ที่ C เก็บประจุดังสมการ

$$t1 = (Ra + Rb) \ln [(Vcc - 1/3\ Vcc) / (Vcc - 1/3\ Vcc)]$$

หรือ $$t1 = 0.693 (Ra + Rb) C$$

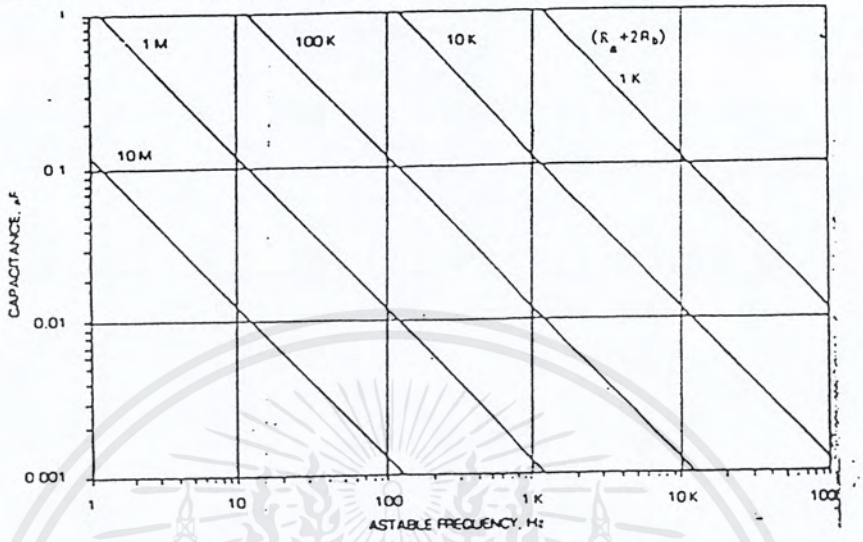
t2 จังหวะเริ่มคายประจุหาได้จากสมการ

$$t2 = 0.693\ Rb\ C$$

ในหนึ่งพีเรียดนั้น การเก็บประจุและคายประจุ R จะได้เป็น

$$T = t1 + t2 = 0.693 (Ra + 2Rb) C$$

ดังนั้นหา $f = 1/T = 1.443 / (Ra + 2Rb) C$



รูปที่ 2.19 แสดงตารางกำหนดค่าของ R และ C

2.5 วงจรรวมชนิดตั้งเวลาเบอร์ 555

ไอ.ซี.เบอร์ 555 เป็นวงจรรวมที่สามารถสร้างเป็นวงจรตั้งเวลา (Timer) และสร้างเป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบต่างๆ ได้ เช่น โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์หรือ วงจรกำเนิดสัญญาณแรมป์ และวงจรตั้งเวลา (Sequential Timer) ฯลฯ โครงสร้างภายในของ ไอ.ซี.เบอร์ 555 แสดงในรูป 2.20 ประกอบไปด้วยออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) 2 ตัว ฟลิปฟลอป (Flip-Flop) และอินเวอร์เตอร์ 1 ตัว การออกแบบวงจรต่างๆนั้นทำได้ง่าย โดยการคำนวณค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเพื่อต่อประกอบกับวงจรภายนอก

วงจรมัลติไวเบรเตอร์คือ วงจรที่ใช้สร้างรูปคลื่นพัลซ์สี่เหลี่ยมมี 3 ชนิด คือวงจรโมโนสเตเบิล (Monostable) วงจรไบสเตเบิล (Bistable) และวงจรอะสเตเบิล (Astable)

วงจรโมโนสเตเบิลหรือวงจรวันช็อต(One-Shot Multivibrator) เป็นวงจรที่สร้างหรือกำเนิดรูปคลื่นสี่เหลี่ยมครั้งละ 1 พัลซ์ โดยต้องมีสัญญาณพัลซ์กระตุ้น(Trigger Pulse) จากภายนอกเป็นตัวกำหนดจำนวนของพัลซ์เอาต์พุตและพัลซ์สี่เหลี่ยมที่กำเนิดได้จากวงจรโมโนสเตเบิลสามารถกำเนิดพัลส์วิดธ์ของสัญญาณได้

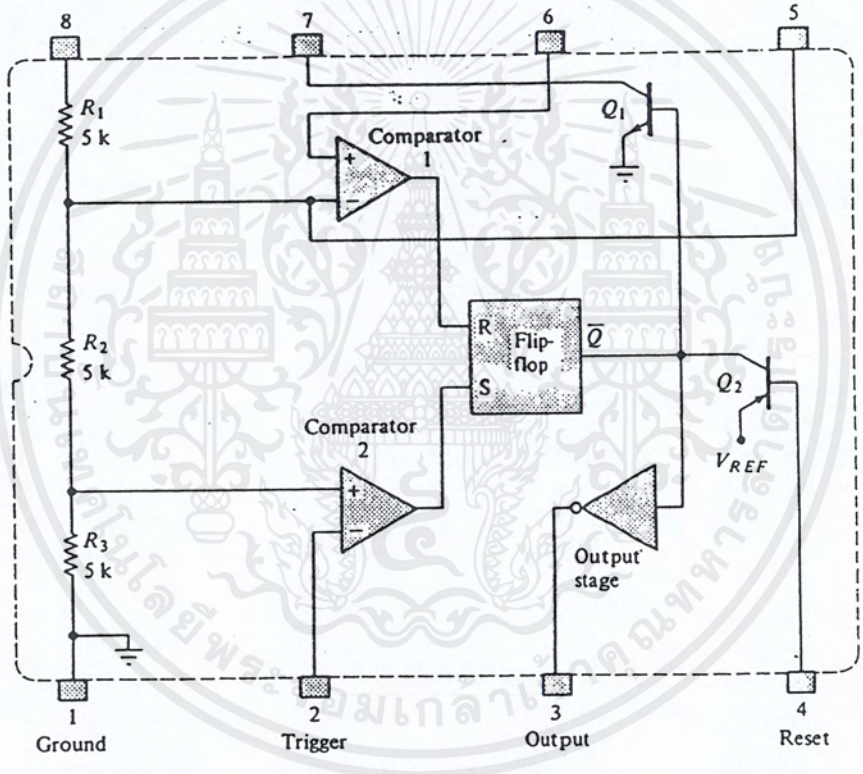
วงจรภายในของไอ.ซี.เบอร์ 555 ขา 8 =Vcc และขา 1 =GND มีวงจรแบ่งแรงดันโดย R_1,R_2,R_3 ต่ออยู่เพื่อป้อนให้กับวงจรเปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 1 และตัวที่ 2 เอาต์พุตป้อนให้ อาร์-เอส ฟลิปฟลอป ซึ่งต่อเอาต์พุตผ่านทรานซิสเตอร์ 2 ตัว และวงจรกลับสัญญาณจาก คู่มือ ของไอ.ซี. เบอร์ 555 สามารถป้อนแรงดัน (Vcc)ได้ระหว่าง 4.5 โวลต์ ถึง 18 โวลต์ และที่ขาเอาต์พุต(ขา 3)ต่อกระแสได้สูงสุด 200 มิลลิแอมป์ ลักษณะภายนอกมี 2 แบบคือ 2.20(b) เป็นแบบดิฟตัวถังพลาสติกมี 8 ขา และรูปที่ 2.20 (c) เป็นแบบแคนตัวถังเป็นกระป๋องโลหะมี 8 ขาเช่นเดียวกัน

2.5.1 วงจรโมโนสเตเบิลที่ใช้ในไอ.ซี.เบอร์555

วงจรเบื้องต้นที่ใช้ ไอ.ซี.555 สร้างเป็นวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์แสดงได้ดังรูป 2.21 โดยต่อที่ขา 8 =Vccและที่ขา 1 =GNDป้อนสัญญาณกระตุ้นอินพุต (Input Trigger) เข้าที่ขา 2 (ขา Trigger) และ V_0คือขา 3 (out put) ของวงจร ต่อขา Reset (ขา4) เข้ากับ Vcc ต่อ C_A เข้ากับขาดิสชาร์จและขา7และขา 6 และต่อ R_Aเพิ่ม 1 ตัวที่ Vcc เพื่อให้ C_A ได้ เก็บประจุผ่าน R_A จากภายนอก ดังแสดงในรูป2.21

การทำงานของวงจรโมโนสเตเบิล แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ

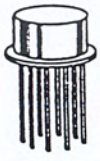
1. สถานะก่อนการกระตุ้น (Initial state)
2. สถานะขณะที่มีการกระตุ้น (Trigged state)
3. สถานะสุดท้ายหลังจากมีการกระตุ้น (Final state)
4. สถานะก่อนการกระตุ้น



(a) Functional block diagram

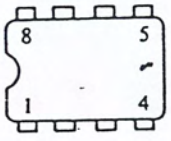


(b) Dip



(c) Can

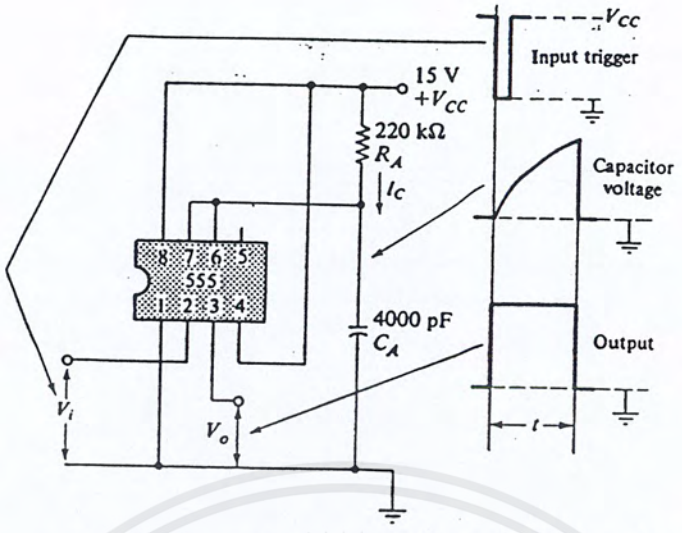
(Top view)



(Top view)



รูปที่ 2.20 แสดงโครงสร้างภายในและลักษณะภายนอกของไอ.ซี.เบอร์555 แบบต่างๆ



รูปที่ 2.21 แสดงวงจรโมโนสเตเบิลเบื้องต้นที่ใช้ไอ.ซี.เบอร์ 555

- ที่ขา 2 ขา (ขา Trigger) ของไอ.ซี.เมื่ออยู่ในสภาวะแรงดันสูง = $V_{cc(high)}$
- ออปแอมป์เปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 2 มีเอาต์พุตเป็น Low เพราะขา 2 เป็น high และ แรงดันที่ขาบวกของออปแอมป์ คือ V_{R3}

$$V_{R3} = Vcc \times R_3/(R_1+R_2+R_3)$$
$$= 1/3Vcc$$
$$V_{R3} = Vcc/3$$

- เอาต์พุตของออปแอมป์เปรียบเทียบแรงดันที่ 1 เป็น Low เพราะว่าขา 6 เป็นโลว์(Low) และแรงดันที่ขาลบของออปแอมป์คือ $V_{(R2+R3X} = Vcc \times (R_3+R_3)/(R_1+R_2+R_3)$ $= 2/3\ Vcc$
- เอาต์พุตของ RS ฟลิปฟลอปที่ Q เป็นไฮท์(high)
- Q1 = เปิด เพราะเอาต์พุตของฟลิปฟลอปเป็น high
- C_A จะคายประจุเพราะว่า Q1 = เปิด
- ที่ขา 6 และขา 7 ของไอ.ซี..จะเป็นโลว์(Low) เพราะว่า Q ของฟลิปฟลอปเป็นสถานะขณะที่มีการกระตุ้น
- เมื่อมีสัญญาณกระตุ้นเข้าที่ขา 2 คือขาลบของออปแอมป์เปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 2
- ทำให้แรงดันขาลบต่ำกว่าแรงดันขาบวกของออปแอมป์
- เอาต์พุตของออปแอมป์เปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 2 เป็นไฮท์
- RS ฟลิปฟลอปทำงานในสภาวะ Set Q= โลว์ทำให้เอาต์พุตที่ขา 3 เป็นไฮท์
- Q1 จะสวิตช์ปิด ปิด, C_Aที่ต่อกับขา 6 และ 7 จะเก็บประจุผ่าน R_A
- เมื่อสัญญาณกระตุ้นที่ขา 2 หมดไป ออปแอมป์เปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 2 จะให้เอาต์พุตเป็น Low สถานะสุดท้ายหลังจากมีการกระตุ้น
- เอาต์พุตของออปแอมป์เปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 1 เป็นโลว์ จนกระทั่งแรงดันตกคร่อม C_A (ที่ต่อกับขา 6) เท่ากับ $V_{(R2+R3)}$= 2/3 Vcc จะทำให้ออปแอมป์เปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 1 มีเอาต์พุตเป็นไฮท์

- ฟลิปฟลอปจะให้เอาต์พุตเป็นไฮท์(สถานะรีเซท) อีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากได้รับแรงดันไฮท์จากออปแอมป์ตัวที่ 1
- Q_1 จะสวิตช์เปิดจากแรงดันไฮท์ ของฟลิปฟลอป
- C_A จะคายประจุ โดย Q_1 และแรงดันที่ขา 6 และ 7 ลดลง
- แรงดันเอาต์พุตที่ขา 3 จะเปลี่ยนเป็นโลว์เพราะเอาต์พุตของฟลิปฟลอปไฮท์
- ออปแอมป์เปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 1 มีเอาต์พุตเป็นโลว์ อีกครั้ง ทำให้แรงดันที่ขา 6 ต่ำกว่า $V_{(R2+R3)}$ ทำให้ฟลิปฟลอปอยู่ในสภาวะรีเซท
- สถานะสุดท้ายของโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์เหมือนกับสถานะก่อนมีการกระตุ้นขณะที่วงจรพร้อมที่จะรับสัญญาณกระตุ้นอีกครั้ง
- วงจรโมโนสเตเบิลที่ใช้ไอ.ซี.เบอร์ 555 นี้การกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลซ์(PW) ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า R_Aและ C_A

2.5.2 การออกแบบวงจรโมโนสเตเบิลที่ใช้ไอ.ซี.เบอร์ 555

วงจรโมโนสเตเบิลที่แสดงในรูป 2.22 ถ้ากำหนดให้แหล่งจ่ายไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ Vcc จะทำให้ค่า $V_{R3} = 1/3Vcc$ และ $V_{(R2+R3)} = 2/3$ Vcc และเมื่อวงจรได้รับการกระตุ้น, C_A จะเก็บประจุจนแรงดันตกคร่อมเท่ากับ 2/3Vcc และจะคายประจุกลับไปสู่สภาวะก่อนการกระตุ้นอีกครั้งหนึ่งเวลาที่C_A ใช้ในการเก็บประจุจากแรงดันศูนย์ถึง2/3 Vcc คือขนาดพัลซ์วิดธ์ของสัญญาณเอาต์พุต(t = PW) เวลาดังกล่าวคำนวณได้จากสมการ

$$T = C\,Rin\,(E-E_0) / (E-e_c)$$

จากวงจร 2.27 $C = C_A, R = R_A, E = Vcc, E_0 = 0V$

$e_c = 2/3Vcc$ (ในสภาวะสุดท้ายหลังจากการกระตุ้น)

เมื่อแทนค่าในสมการได้ว่า

$$T = 1.1\,C_A R_A \qquad (a)$$

เมื่อ $e_c = 2/3Vcc$ แรงดันตกคร่อม R_A เท่ากับ

$$V_{RA} = Vcc - 2/3.Vcc = 1/3Vcc$$

กระแสที่เก็บประจุใน C_A คือ

$$I_{.(min)} = (1/3Vcc)/ R_A$$

$$R_A = Vcc/3.\ \text{ไอ.ซี.}_{(min)} \qquad (b)$$

ดังนั้นในการออกแบบวงจรจะกำหนดขั้นตอนดังนี้

1) ดูค่า I_{th} จากคู่มือ ของไอ.ซี.เบอร์555
2) กำหนดค่า ไอ.ซี.$_{(min)} >> I_{th}$ ประมาณ 100 เท่า
3) คำนวณค่า R_A จากสมการ (b)
4) คำนวณค่า C_A จากสมการ (a)

2.5.3 การปรับปรุงวงจรโมโนสเตเบิลที่ใช้ไอ.ซี. เบอร์555

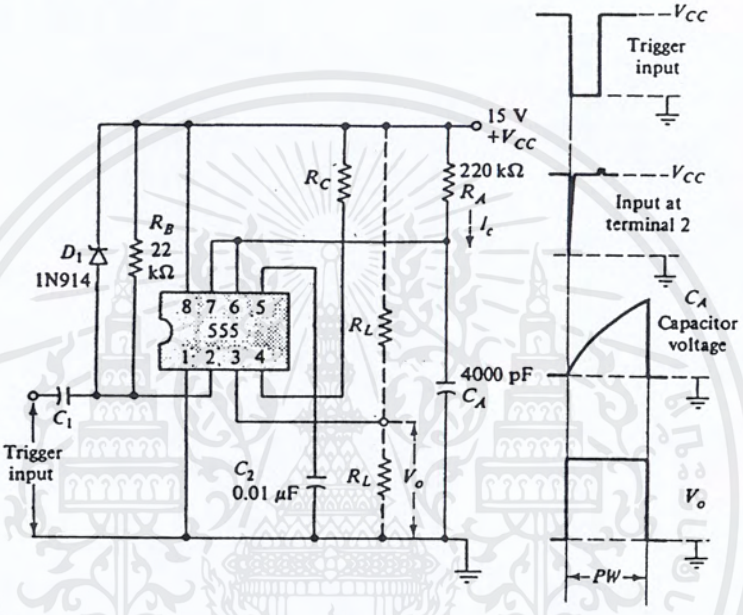
จากวงจรในรูป 2.20 สามารถปรับปรุงให้มีเสถียรภาพดียิ่งขึ้น โดยต่อ C1 เป็นตัวคัปเปิลที่อินพุต 2 (Trigger) โดยค่าของ C1 คำนวณได้จาก

$$C1 = Ixt/\Delta V$$

เมื่อ I = กระแสอินพุตของไอ.ซี.เบอร์555 (ค่าจากคู่มือ 0.5 ไมโครแอมป์)

t = พัลซ์วิดธ์ของสัญญาณอินพุต

ΔV = แรงดันอินพุตที่ขา 2



รูปที่ 2.22 แสดงวงจรโมโนสเตเบิลที่ใช้ไอ.ซี. เบอร์555 ที่ปรับปรุงวงจรใหม่

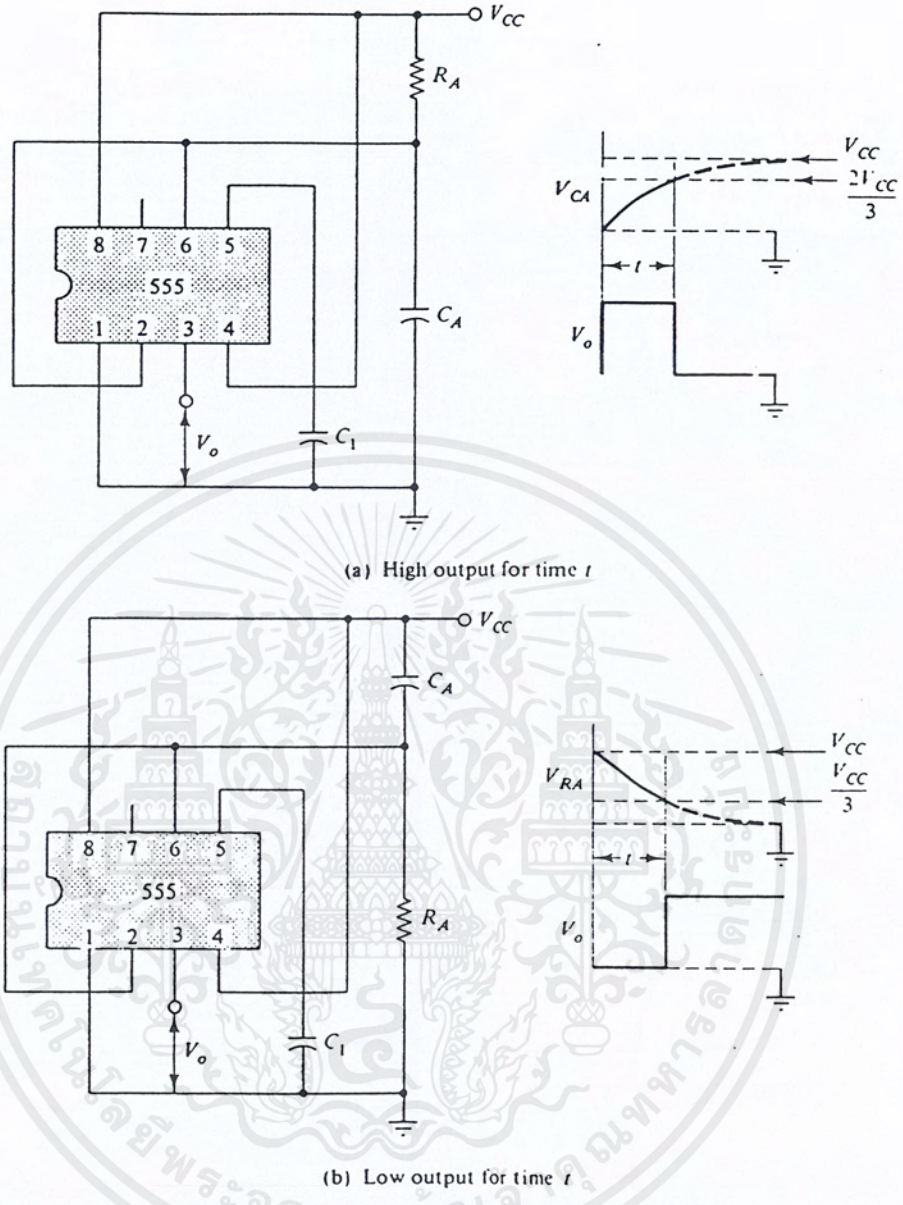
ต่อ R_B เข้าที่ขา(2) เพื่อทำสัญญาณทริกเกอร์อินพุตให้เป็นรูปคลื่นดิฟเฟอเรนซ์เอเตอร์ และ D1 ใช้เพื่อดัดรูปคลื่นด้านบวกที่ไม่ต้องการทิ้งไป R_c ต่อเข้ากับขา 4 (ขารีเซต) เพื่อให้การรีเซตของฟลิปฟลอปในไอ.ซี. 555 ทำงานได้อย่างแน่นอน การคำนวณ R_B,R_c จากสมการ

$$R_B = R_4 = R_A/10$$

C_2 ต่อเข้าที่ขา ควบคุมโวลเตจ(ขา5) ของไอ.ซี.555 เพื่อควบคุมให้แรงดันที่ขาลบของออปแอมป์เปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 1 มีค่าคงที่เป็นประโยชน์เมื่อป้อนสัญญาณทริกเกอร์ที่มีความถี่สูงๆเข้าทางอินพุต ลดสัญญาณรบกวนลง ค่า C_2 โดยปกติกำหนดค่าประมาณ 0.1 ไมโครฟาหรัด (C_2 = 0.1 ไมโครฟาหรัด)

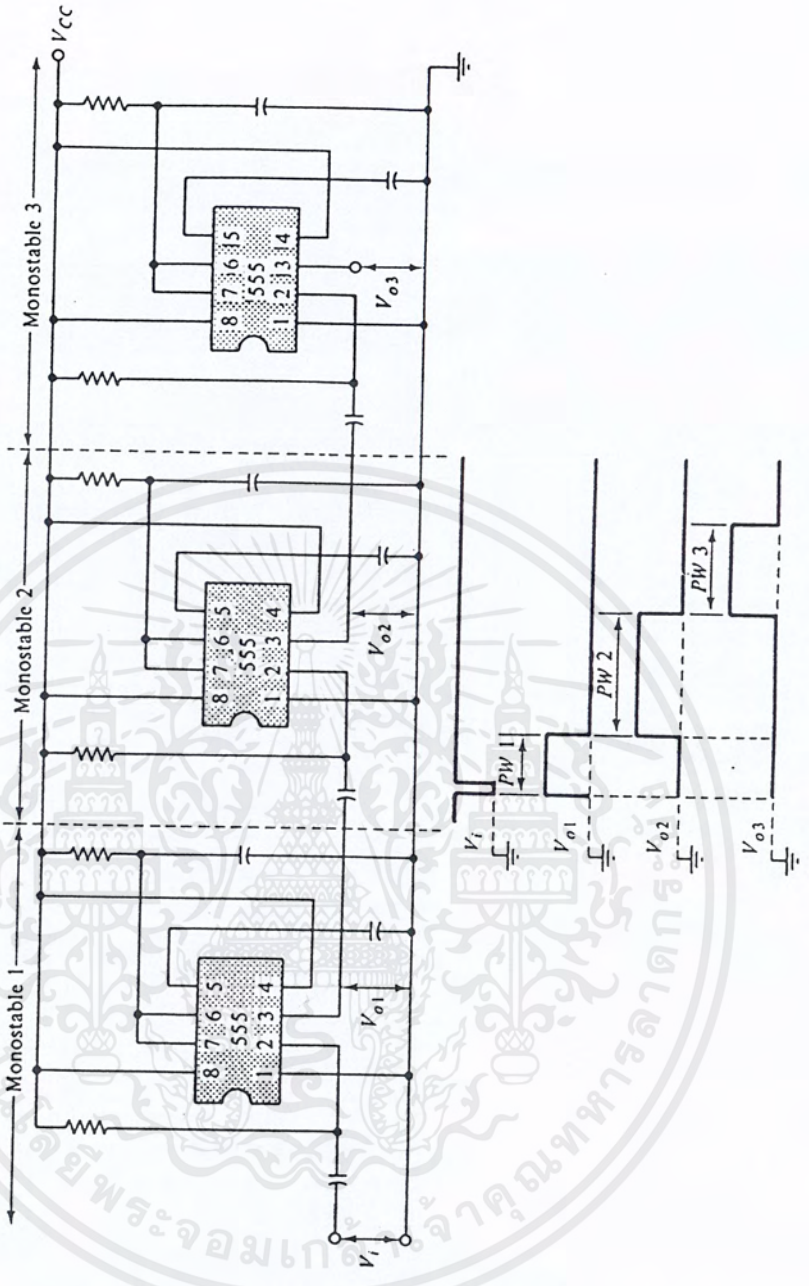
2.5.4 การนำไอ.ซี.555 ไปใช้งาน

วงจรหน่วงเวลา (Delay Timers) แสดงในรูป 2.23(a), (b) วงจรลักษณะนี้เรียกว่าวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์แบบกระตุ้นตนเอง (Self – Triggering monostable Multivibrator) โดยต่อขา 2 (Trigger) เข้ากับ C_A มาที่จุดดิน (GND) ดังรูป 2.23(a) วงจรนี้จะสร้างพัลซ์สี่เหลี่ยมเป็นพัลซ์บวก (V_0) ที่มี PW = 1 ซึ่งค่า 1 นี้สามารถกำหนดให้มากหรือน้อยได้จากการกำหนดค่า C_A และ R_A และถ้าต้องการสร้างพัลซ์ลบที่มี PW = t ซึ่งค่า t ทำได้โดยการต่อ C_A แทนตำแหน่ง ของ R_A ในรูป (a) และแทนตำแหน่งของ C_A ด้วย R_Aแทนดังรูป 2.23(b)



รูปที่ 2.23 แสดงวงจรหน่วงเวลาของสัญญาณพัลซ์สี่เหลี่ยม

วงจรเรียงลำดับเวลา (Sequential Timer) คือการนำเอาวงจรโมโนสเตเบิลหลายๆวงจรมาต่อให้ทำงานเรียงลำดับกัน สามารถประยุกต์เอาพัลซ์ที่กำเนิดตามลำดับดังกล่าวไปใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ ฯลฯ ให้ทำงานเรียงลำดับกันได้ วงจรตัวอย่างแสดงในรูป 2.24

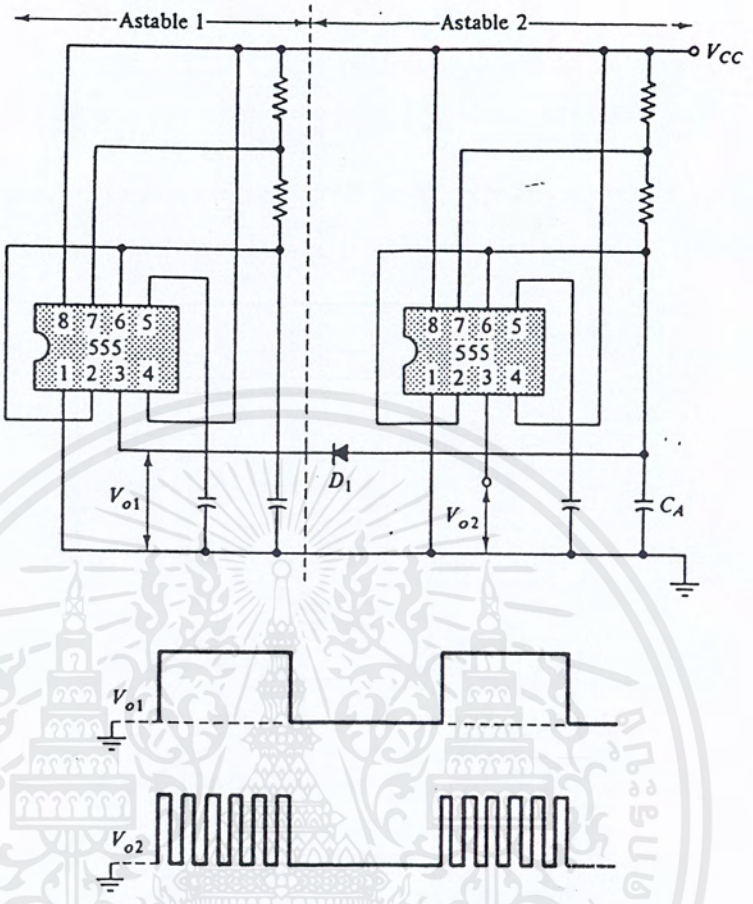


รูปที่ 2.24 แสดงวงจร ซีเควนเทียล ทามเมอร์

วงจรในรูปที่ 2.24 จะทำงานได้เมื่อมีการป้อนสัญญาณกระตุ้นที่เป็นพัลซ์ลบ (Negative going Pulse) หรือขอบหลังของพัลซ์เข้าที่ V_I คือขา 2 ของวงจรโมโนสเตเบิล 1 V_{01} จะเกิดพัลซ์ที่มีขนาด Pw1 และเมื่อ V_{01} ป้อนเป็น V_I ของวงจรโมโนสเตเบิล 3

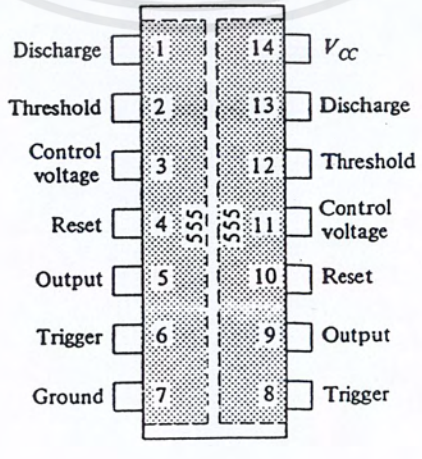
วงจรที่ 3 จะทำการสร้างพัลซ์ V_{03} ที่มีความต้านทานของพัลซ์ (PW = PW3) จะเห็นว่ารูปคลื่นพัลซ์ V_{01},V_{02},V_{03} จะเกิดเรียงลำดับกันเรียกว่า ซีเควนเทียล พัลซ์

พัลซ์-โทนออสซิลเลเตอร์ (Pulsed-Tone Oscillator) เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณพัลซ์สี่เหลี่ยมแบบความถี่สูง (High Frequency Square Wave) ประกอบไปด้วยวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ 2 วงจรโดยที่เอาต์พุตความถี่ต่ำของวงจร อะสเตเบิล1 V_{01} จะควบคุมวงจร อะสเตเบิล 2 ดังแสดงในรูป 2.25



รูปที่ 2.25 วงจรพัลซ์-โทน ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ไอ.ซี. 555

จะเห็นว่ารูปคลื่นของอะสเตเบิล 2 (V_{02}) เป็นพัลซ์ความถี่สูงจะเกิดเฉพาะช่วงที่ V_{01} เป็นพัลซ์บวกเท่านั้นสำหรับ ไอ.ซี. 555 ที่นิยมใช้กันมากอีกตัวหนึ่งคือ ไอ.ซี.555 ภายในประกอบด้วย 555 2ตัวต่อขา V_{cc} และ G_{ND} ร่วมกับดังแสดงในรูป 2.26 ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้สะดวกมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.26 แสดงการจัดวางขาไอ.ซี.เบอร์555

2.6 การมอดูเลตเชิงมุม

ในการมอดูเลตสัญญาณโดยใช้คลื่นพาห์รูปไซน์นั้นนอกจากจะใช้สัญญาณข่าวสารไปควบคุมแอมปลิจูดของคลื่นพาห์ให้มีการเปลี่ยนแปลงตาม อันเป็นเหตุให้ได้สัญญาณเอเอ็ม จะพบว่ายังมีพารามิเตอร์ของคลื่นพาห์อีกตัวหนึ่ง ที่จะใช้ความแรงของสัญญาณข่าวสารเข้ามาควบคุมได้คือ ค่ามุมหรือค่าเฟสของคลื่นพาห์ การมอดูเลตที่เกิดจากการใช้สัญญาณข่าวสารมาทำให้มุมของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงไปนี้มีชื่อว่า การมอดูเลตเชิงมุม (Angle Modulation) ถ้ากำหนดให้คลื่นพาห์ที่ยังไม่ได้มีการมอดูเลต คือ

$$\varnothing(t) = A_c \cos(\omega_c t + \theta) \qquad (1)$$

การทำให้ค่า θ ตามสมการ(1) แปรผันตามค่าความแรงของสัญญาข่าวสาร m(t) ได้ จะทำให้สัญญาณที่เราเรียกว่า สัญญาณมอดูเลตเชิงมุม (Angle Modulated Signal) ออกมา

2.6.1 เอฟเอ็มและพีเอ็ม

ตามปรกติ ค่า θ ตามสมการ (1) จะมีชื่อเรียกว่า เฟส ของคลื่นรูปไซน์ $\varnothing(t)$ ทั้งนี้โดยอ้างอิงเทียบกับสัญญาณ $\cos(\omega_c t)$ ดังนั้นการทำให้ θ แปรผันตามค่า m(t) ได้ กล่าวคือ

$$\theta = k_p m(t) \qquad (2)$$

เมื่อ k_p คือค่าคงที่ เราจะกล่าวว่าสัญญาณ $\theta(t)$ ตามสมการ (1) นั้นเป็นสัญญาณชนิดมอดูเลตเฟส (Phase Modulated Signal) ซึ่งเรียกย่อว่า สัญญาณพีเอ็ม (PM Signal)

อย่างไรก็ดี ถ้าเราสามารถที่จะทำให้ค่า θ นี้ แปรผันตามค่าอินทิเกรตของสัญญาณข่าวสารได้ กล่าวคือ

$$\theta = k_f \int_{-\infty}^{t} m(t)\, d\tau \qquad (3)$$

โดยในที่นี้ k_f คือ ค่าคงที่ เราจะเรียกสัญญาณที่เกิดขึ้นว่าเป็นสัญญาณชนิดมอดูเลตความถี่ (Frequency Modulated Signal) ซึ่งเรียกว่าย่อว่า สัญญาณเอฟเอ็ม (FM Signal) สาเหตุที่ได้ชื่อเช่นนี้ก็เพราะว่า ค่าเฟสชั่วขณะ (Instantaneous Phase) θ_I นั้นมีความสัมพันธ์กับค่า ความถี่ชั่วขณะ (Instantaneous Frequency) ω_I ดังนี้ คือ

$$\omega_I = d\theta_I(t) / dt \qquad (4)$$

หรือ

$$\theta_I = \int_{-\infty}^{t} \omega_I(\tau)\, d\tau \qquad (5)$$

จะพบว่า ค่าความถี่ของคลื่นตามสมการ (1) ภายหลังการมอดูเลตความถี่แล้วจะมีส่วนเปลี่ยนแปลงของความถี่ ω_c เท่ากับ ส่วนที่เกิดจากการทำอนุพันธ์เทียบกับเวลาของสมการ (3) กล่าวคือ

$$\Delta\omega_I(t) = k_f m(t) \qquad (6)$$

นั่นคือ ความถี่ในส่วนที่ต่างจาก ω_c ของ $\varnothing(t)$ นั้น จะแปรผันโดยตรงกับค่าความแรงของสัญญาณข่าวสาร m(t) ด้วยเหตุนี้เองที่ทำให้คลื่น $\varnothing(t)$ ภายหลังการมอดูเลตแล้วมีชื่อว่าสัญญาณเอฟเอ็ม ดังกล่าว

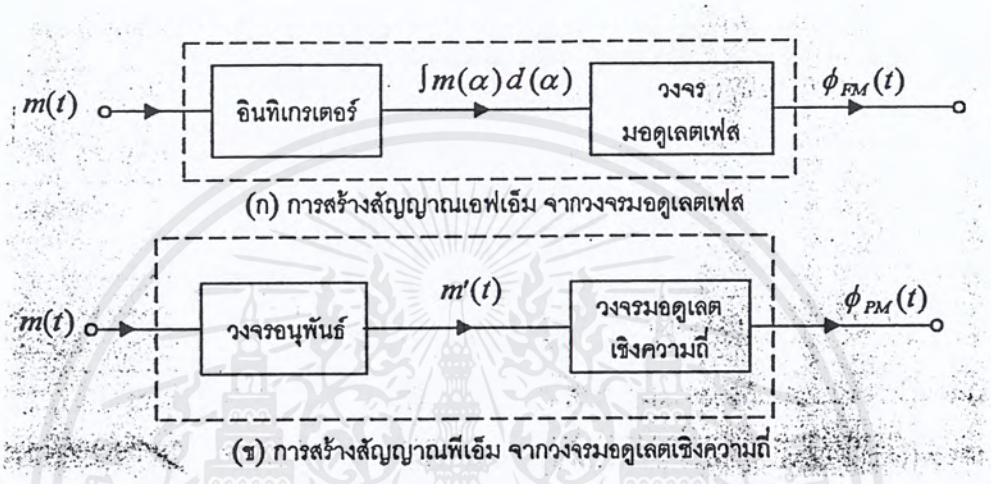
จากสมการ (1) และ (2) จะได้สมการพีเอ็ม คือ

$$\varnothing_{PM} = A_c \cos\left\{\omega_c t + k_p m(t)\right\} \qquad (7)$$

จากสมการ (1) และ (3) จะได้สมการของเอฟเอ็ม คือ

$$\varnothing_{FM} = A_c \cos\left\{\omega_c t + k_f \int_{-\infty}^{t} m(\tau)\, d\tau\right\} \qquad (8)$$

จะเห็นว่าทั้งคลื่นเอฟเอ็มและคลื่นพีเอ็ม ต่างเกิดจากการมอดูเลตที่เกี่ยวกับการควบคุมค่ามุมหรือค่าเฟสของ $\varnothing(t)$ ทั้งสิ้น ดังนั้นเราจึงเรียกการมอดูเลตทั้งสองวิธีนี้ว่า การมอดูเลตเชิงมุม จากสมการ (7) และ (8) จะพบว่า ถ้าเรานำวงจรอินทิเกรตสัญญาณมาเพิ่มขึ้นข้างหน้าวงจรมอดูเลตเฟส ก็จะทำให้วงจรทั้งหมดทำงานเหมือนวงจรมอดูเลตความถี่



รูปที่ 2.27 การสร้างสัญญาณเอฟเอ็มและพีเอ็มโดยอาศัยวงจรมอดูเลเตอร์แบบพีเอ็มและเอฟเอ็มตามลำดับ

และในทางกลับกัน ถ้าเรานำวงจรทำอนุพันธ์สัญญาณมาเพิ่มไว้ข้างหน้าวงจรมอดูเลตความถี่ก็จะทำให้วงจรทั้งหมดทำงานเป็นมอดูเลตเฟสได้ การสร้างสัญญาณเอฟเอ็มและพีเอ็มด้วย
วิธีการเช่นนี้ เรียกกันว่า การสร้างสัญญาณเอฟเอ็มและพีเอ็มทางอ้อม (Indirect FM and Indirect PM) ตามลำดับ

จะเห็นว่าสัญญาณพีเอ็มและเอฟเอ็มนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดสามารถที่จะแปลงกลับหากันไปได้โดยง่าย ดังนั้นพฤติกรรมของสัญญาณพีเอ็มและเอฟเอ็มนั้น จึงมีส่วนคล้ายกันอย่างยิ่ง เพราะฉะนั้นการที่เราเรียนรู้พฤติกรรมของสัญญาณแบบหนึ่ง ก็จะทำให้เราเข้าใจถึงพฤติกรรมของสัญญาณอีกแบบหนึ่งได้ด้วยโดยง่าย ด้วยเหตุนี้ต่อจากนี้ไปเราจะอธิบายถึงพฤติกรรมของสัญญาณเอฟเอ็มเป็นหลักไว้เพียงอย่างเดียว

2.6.2 เอฟเอ็มแบนด์แคบ

การพิจารณาแบนด์วิดท์ของสัญญาณเอฟเอ็ม เมื่อ m(t) เป็นสัญญาณข่าวสารทั่วไปนั้นทำได้ลำบาก เพราะการมอดูเลตความถี่นั้น ไม่ใช่การมอดูเลตชนิดเชิงเส้น เหมือนสัญญาณเอเอ็ม การพิจารณา m(t) ในกรณีที่เป็นสัญญาณรูปไซน์ความถี่เดียวนั้น จะทำมห้พออนุมานเกี่ยวกับเรื่องนี้ได้ ดังนั้นเราจึงพิจารณากรณีเช่นว่านี้ ไว้เป็นพื้นฐานโดยสมมติให้

$$m(t) = a \cos(\omega_m t) \qquad (9)$$

ในกรณีนี้ m(t) จะไปทำให้ค่าความถี่ชั่วขณะของ $\varnothing(t)$ เปลี่ยนไปจากค่าความถี่ ω_c ซึ่งหาได้จากสมการ (6) คือ

$$\Delta\omega_I(t) = ak_f \cos(\omega_m t) \qquad (10)$$

เนื่องจาก ค่า $|\cos(\omega_m t)|$ มีมากที่สุดคือ 1 ดังนั้นค่าการเบี่ยงเบนของความถี่จาก ω_c มากที่สุดก็คือ

$$\Delta\omega = ak_f \qquad (11)$$

ค่า $\Delta\omega$ นี้มีชื่อเรียกว่า ค่าความถี่เบี่ยงเบนสูงสุด (Peak Frequency Deviation) ค่าความถี่ชั่วขณะ $\omega_I(t)$ ของ $\varnothing(t)$ ที่เวลาใดๆจะมีค่าเป็น

$$\omega_I(t) = \omega_c + \Delta\omega \cos(\omega_m t) \qquad (12)$$

โดยอาศัยสมการ(8) และ (12) จะได้

$$\varnothing_{FM}(t) = A_c \cos\{\omega_c t + (\Delta\omega/\omega_m)\sin(\omega_m t)\}$$
$$= A_c \cos\{\omega_c t + \beta \sin(\omega_m t)\} \qquad (13)$$

โดยในที่นี้ได้กำหนดให้

$$\beta = (\Delta\omega/\omega_m) \qquad (14)$$

และดังที่จะได้เห็นต่อไปนี้ว่า ค่า β นี้มีความสำคัญในการกำหนดค่าแบนด์วิดท์และค่าเอสเอ็นอาร์ในการดีเทกต์สัญญาณเอฟเอ็มนี้ จึงได้มีการกำหนดให้ ค่า β นี้เป็น ดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index) ของสัญญาณเอฟเอ็ม

สำหรับในกรณีที่ β มีค่าน้อย เราสามารถที่จะกระจายพจน์ทางขวามือของสมการ(13) โดยใช้อนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor's Series) ซึ่งจะให้ผลลัพธ์โดยประมาณดังนี้ คือ

$$\varnothing_{FM}(t) \approx A_c \cos(\omega_c t) - A_C \beta \sin(\omega_m t)\sin(\omega_C t)$$
$$+ A_C \beta^2 \sin^2(\omega_m t)\cos(\omega_C t) + \ldots$$

ในกรณีที่ β มีค่าน้อยมากๆ เราสามารถที่จะตัดพจน์ที่มีค่า β กำลังสูงคูณอยู่ออกได้ ค่า $\varnothing_{FM}(t)$ ในกรณีนี้จะพิจารณาว่าเป็นสัญญาณว่าเป็นสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบ (Narrow Band FM) และเขียนแทนด้วย $\varnothing_{NBFM}(t)$ ซึ่งจะมีค่าเป็น

$$\varnothing_{NBFM}(t) = A_c \cos(\omega_c t) - A_C \beta \sin(\omega_m t)\sin(\omega_C t) \qquad (15)$$

และเมื่อใช้ความสัมพันธ์ $\sin(A)\sin(B) = ฝ\{\cos(A-B) - \cos(A+B)\}$ จะได้

$$\varnothing_{NBFM}(t) = A_c \cos(\omega_c t) - (A_C\beta/2)\cos\{(\omega_C - \omega_m)t\}$$
$$+ (A_C\beta/2)\cos\{(\omega_C + \omega_m)t\} \qquad (16)$$

จะเห็นว่า $\varnothing_{NBFM}(t)$ นั้นมีส่วนประกอบของความถี่ $\omega_C - \omega_m$, ω_Cและ $\omega_C - \omega_m$ ตามสมการ(16) ซึ่งหมายความว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบมีค่าเท่ากับ $2\omega_m$ หรือ 2 เท่าของแยนด์วิดท์ของสัญญาณข่าวสาร m(t) ซึ่งค่าแบนด์วิดท์นี้เท่ากับของสัญญาณเอเอ็ม ซึ่งถือว่าเป็นแบนด์วิดท์ที่แคบจึงเป็นเหตุที่มาของชื่อของสัญญาณเอฟเอ็มชนิดนี้ ในทางทฤษฎีจะใช้ค่า $\beta < 1/\sqrt{10} = 0.316$ แต่ในการใช้งาน อาจมีค่าสูงถึง 0.5

เมื่อพิจารณาสมการ(15) จะได้คือ

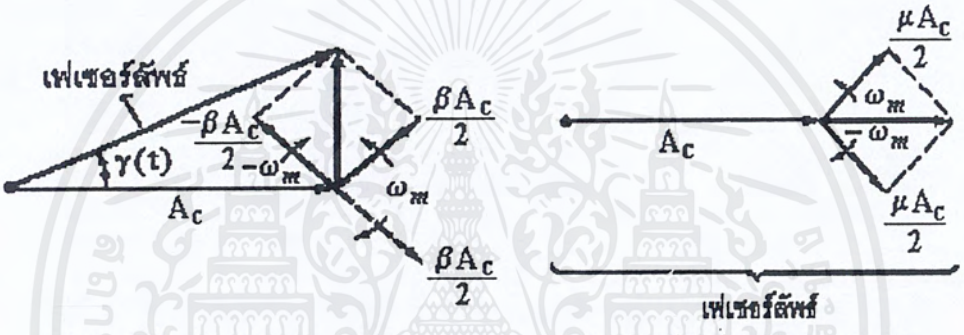
$$\varnothing_{AM}(t) = A_C \cos(\omega_C t) + \mu A_c \cos(\omega_m t)\cos(\omega_C t) \qquad (17)$$

หรือ

$$\varnothing_{AM}(t) = A_C\cos(\omega_C t) + (\mu A_C/2)\cos\{(\omega_C - \omega_m)t\}$$
$$+ (\mu A_C/2)\cos\{(\omega_C + \omega_m)t\} \qquad (18)$$

จะเห็นว่าสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบจะมีความคล้ายคลึงกับสัญญาณเอเอ็มมาก ดังนั้นจึงอาจอนุมานได้ว่าสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบ (รวมทั้งพีเอ็มแบนด์แคบ) นั้นมีคุณสมบัติคล้ายสัญญาณเอเอ็มต่างกันตรงเพียงแต่ค่าเฟสของสัญญาณแถบข้างเท่านั้น

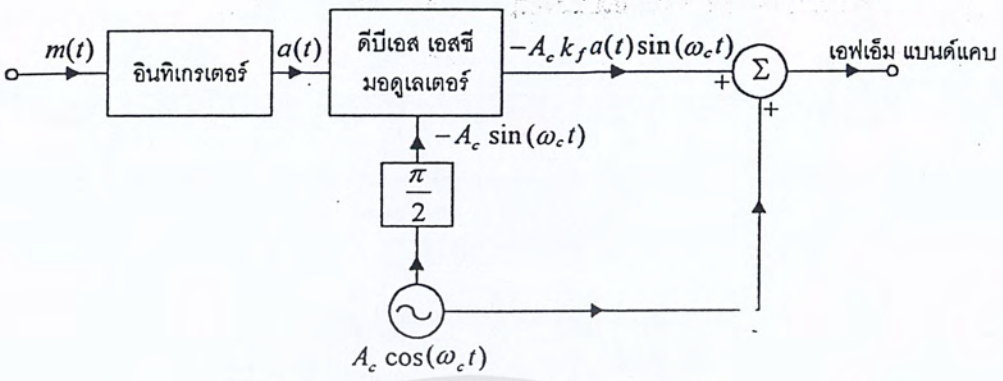
โดยใช้หลักของเฟเซอร์ (Phasor) หรือเฟสเวกเตอร์ (Phase Vector) ของสัญญาณ เมื่อใช้ $e^{j\omega_c t}$ เป็นเวกเตอร์อ้างอิง เราจะได้แผนผังของเฟเซอร์ (Phasor Diagram) ของ $\varnothing_{NBFM}(t)$ ตามสมการ(16) ดังแสดงในรูป 2.28 ก และของ $\varnothing_{AM}(t)$ ตามสมการ (18) ดังแสดงในรูป 2.28ข



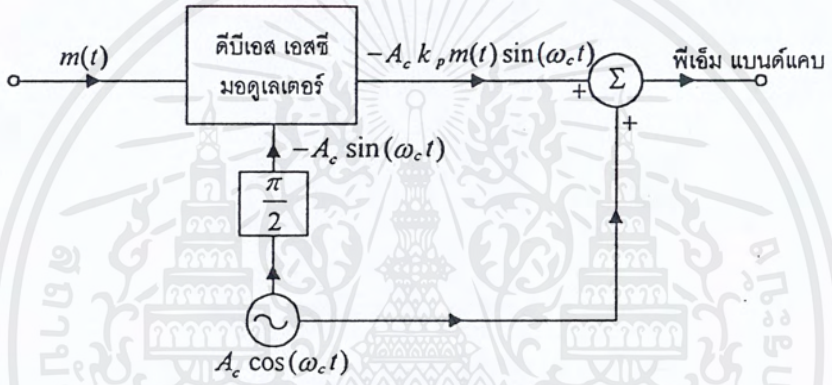
(ก)เฟเซอร์ลัพธ์ของสัญญาณเอฟเอ็ม (ข)เฟเซอร์ลัพธ์ของสัญญาณเอเอ็ม

รูปที่ 2.28 เฟเซอร์ของสัญญาณเอฟเอ็มเทียบกับสัญญาณเอเอ็ม

โดยอาศัยสมการ(15) เมื่อพิจารณาว่า $\beta \sin(\omega_m t)$ นั้นได้มาจาก $k_f \int_{-\infty}^{t} m(\tau)$ เราสามารถที่จะเขียนแผนผังระบบการสร้างสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบได้ดังแสดงในรูป 2.29ก และเมื่อเทียบรูป 2.27ก กับรูป 2.29ก เราจะได้แผนผังระบบการสร้างสัญญาณพีเอ็มแบนด์แคบดังแสดงในรูป 2.29ข ข้อดีของการสร้างเอฟเอ็มชนิดนี้ ก็คือ ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้เป็นแบบที่ผลิตความถี่คงที่ที่ ω_c เพียงค่าเดียว ทำให้สร้างออสซิลเลเตอร์ที่มีเสถียรภาพดีได้ง่าย



(ก) แผนผังระบบการสร้างสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบ



(ข) แผนผังระบบการสร้างสัญญาณพีเอ็มแบนด์แคบ

รูปที่ 2.29 แผนผังระบบการสร้างสัญญาณเอฟเอ็มและพีเอ็มชนิดแบนด์แคบ

2.6.3 เอฟเอ็มแบนด์กว้าง

เพื่อให้รู้แนวโน้มของการเกิดสเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มที่ใช้ค่าดัชนีการมอดูเลต β ค่ามาก เราจะพิจารณาค่าความสัมพันธ์ของ $\varnothing_{FM}$ (t) ตามสมการ(13) ซึ่งเกิดจากสัญญาณ m(t) ซึ่งมีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ตามสมการ (9) เราสามารถแทนสมการ(13)ได้ ในรูปแบบของฟังก์ชั่นเชิงซ้อน ดังต่อไปนี้ คือ

$$\varnothing_{FM}(t) = \mathrm{Re}\left[A_C e^{j\{ \omega_{ct} + \beta \sin(\omega_{mt})\}} \right]$$

$$= \mathrm{Re}\left[A_C e^{j\{\omega_{ct}} e^{j\beta \sin(\omega_{mt})} \right] \qquad (19)$$

เพราะเรารู้ว่า $e^{j\beta \sin(\omega_{mt})}$ เป็นสัญญาณเชิงซ้อนที่มีค่าคาบสัญญาณเวลาซึ่งมีค่าความถี่มูลฐานคือ ω_m ดังนั้น เราจึงสามารถที่จะกระจายมันออกอยู่ในรูปของอนุกรมฟูริเยร์ได้ คือ

$$e^{j\beta \sin(\omega_{mt})} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{jn\omega_{mt}} \qquad (20)$$

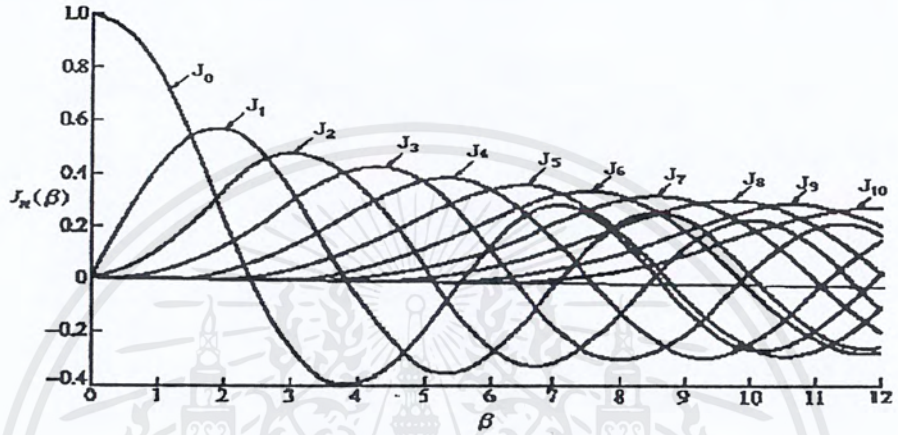
โดย F_n คือ ค่าสัมประสิทธ์ของอนุกรมฟูริเยร์ ซึ่งจะหาได้โดยจาก

$$F_n = 1/T \int_{-T/2}^{T/2} e^{j\beta \sin(\omega_{mt})} e^{-jn\omega_{mt}} dt \qquad (21)$$

โดยอาซัยการเปลี่ยนแปลง ค่าตัวแปร $x = \omega_m = 2\pi t/T$ จะได้

$$F_n = 1/2\pi \int_{-\pi}^{\pi} e^{j(\beta \sin x - nx)} dx \qquad (22)$$

ซึ่งสมการ (22) นั้นไม่สามารถหาคำตอบในรูปฟังก์ชันสำเร็จได้ คงต้องใช้วิธีการหาค่าเชิงตัวเลข ซึ่งมีการสรุปเป็นกราฟหรือตารางไว้ ค่า F_n ตามสมการ(22) นี้ จะเป็นฟังก์ชันของ β และ n ซึ่งค่าอินทิเกรตในรูปแบบนี้มีชื่อเรียกว่า ฟังก์ชันของเบสเสลชนิดที่หนึ่ง (Bessel Function of the First Kind) ลำดับที่ n ของตัวแปร β ซึ่งใช้สัญลักษณ์แทนด้วย $J_n(\beta)$ รูปร่างฟังก์ชัน $J_n(\beta)$ มีดังแสดงในรูป 2.30 คุณสมบัติที่สำคัญของ $J_n(\beta)$ เมื่อ n เป็นตัวเลขจำนวนเต็มและ β เป็นค่าจริงที่ต่อเนื่อง สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้ คือ



รูปที่ 2.30 ฟังก์ชั่นของเปสเลสชนิดที่หนึ่ง $J_n(\beta)$

1. $J_n(\beta)$ มีค่าจริง
2. $J_n(\beta) = J_{-n}(\beta)$ เมื่อ n เป็นเลขคู่
3. $J_n(\beta) = -J_{-n}(\beta)$ เมื่อ n เป็นเลขคี่
4. $\sum_{n=-\infty}^{\infty} J^2_n(\beta) = 1$

แทนค่าสมการ(22) ใน สมการ(19) จะได้

$$\varnothing_{FM}(t) = \mathrm{Re}\{A_C e^{j\omega_c t} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta) e^{jn\omega_m t}\}$$

$$= A_c J_n(\beta) \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta) \cos\{(\omega_c + n\omega_m)t\} \qquad (23)$$

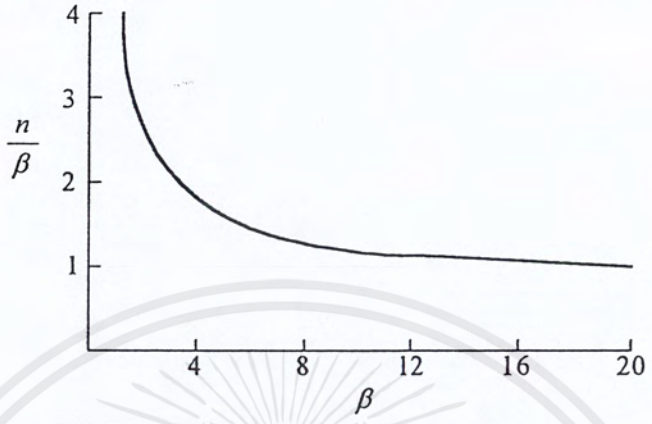
จะเห็นว่าสเปกตรัมของ $\varnothing_{FM}(t)$ นั้นกระจายออกไปบนแกนความถี่ไม่มีสิ้นสุด ซึ่งหมายความว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณเอฟเอ็มตามทฤษฎีนั้นมีค่าอนันต์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาให้ลึกลงไป จะพบว่าค่า $|J_n(\beta)|$ นี้จะลดลงหายไปอย่างรวดเร็ว เมื่อ $n > \beta$ โดยพาะอย่างยิ่งเมื่อ β มีค่ามาก กราฟในรูป 2.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า n/β กับค่า β ที่ทำให้ค่า $|J_n(\beta)| \geq 0.01$ ซึ่งจะเห็นว่าค่า n/β มีคาสเข้าใกล้ 1 เมื่อ β มีค่ามาก คุณสมบัติเช่นนี้ ทำให้เราสรุปได้ว่า ถ้าแถบข้างที่มีนัยสำคัญ คือ แถบข้างที่มีขนาดเกิน 1 % ของขนาดของคลื่นพาห์ที่ยังไม่มีการมอดูเลตแล้ว จะมีไซด์แบนด์ตัวสุดท้าย คือตัวที่ $n \approx \beta$ เมื่อ β มีค่ามาก เพราะฉะนั้น ถ้าคิดโดยนัยสำคัญในทัศนะดังกล่าวแล้วจะพบว่าค่าแบนด์วิดท์ (BW) ของสัญญาณเอฟเอ็มตามสมการ(23) นั้น จะมีค่าประมาณได้ดังต่อไปนี้ คือ

$$BW \approx 2n\omega_m$$

$$\approx 2\beta\omega_m = 2\Delta\omega \qquad (24)$$

นั่นคือ

$$BW \approx 2\Delta\omega \qquad \text{สำหรับ } \beta \text{ ค่ามาก} \qquad (25)$$



รูปที่ 2.31 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า β และค่า n/β

สำหรับเมื่อ β มีค่าน้อยมากๆนั้น ซึ่งเป็นกรณีของเอฟเอ็มแบนด์แคบ เราจะสังเกตจากรูป2.30 ได้ว่าค่าขนาดของ $J_n(\beta)$ ที่มีนัยสำคัญจะมีเพียง $J_0(\beta)$ และ $J_1(\beta)$ จะเห็นได้ว่ามันจะมีค่าแบนด์วิดท์เท่ากับค่าที่ทราบกันมาแล้ว คือ

$$BW \approx 2\omega_m \qquad \text{สำหรับ } \beta \text{ ค่าน้อย} \qquad (26)$$

สเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็ม ตามสมการ(23) ในกรณีที่ β มีค่าต่างๆมีดังแสดงในรูป2.32 เพื่อสรุปสูตรในการหาแบนด์วิดท์ของสัญญาณเอฟเอ็ม สำหรับการมอดูเลตสัญญาณรูปไซน์ความถี่เดียว หรือที่นิยมเรียกกันว่า โทนมอดูเลชัน (Tone Modulation) นั้น เจอาร์ คาร์สัน (J.R. Carson) ได้เสนอสูตรจากการประสมผสานสมการ(25) และ(26) ในรูปต่อไปนี้ คือ

$$BW \approx 2(\Delta\omega + \omega_m) \qquad (27)$$

หรือเขียนในรูปใหม่ได้เป็น

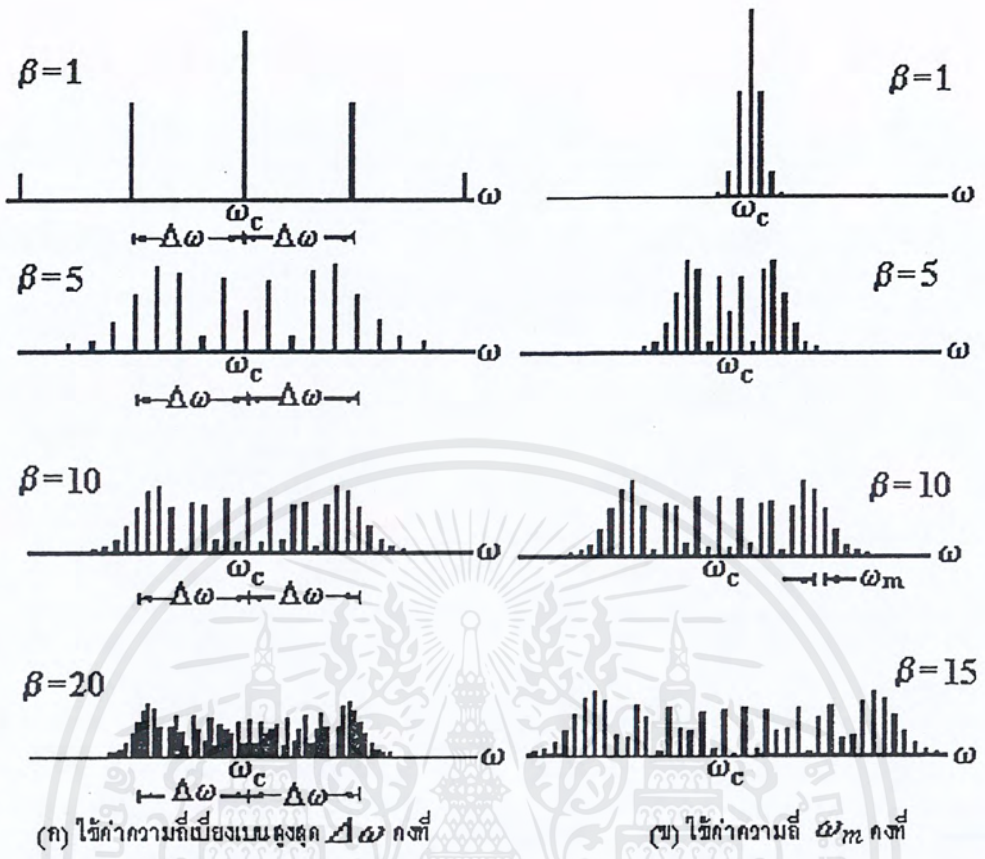
$$BW \approx 2\omega_m(\beta + 1) \qquad (28)$$

สมการ(27) และ (28) รู้จักกันดีในชื่อของ กฎของคาร์สัน (Carson's rule) อย่างไรก็ดี สำหรับสัญญาณข่าวสารทั่วไป มีรายงานว่า กฎนี้ใช้ได้ดี เมื่อ $\Delta\omega << \omega_m$ เมื่อเงื่อนไข $\Delta\omega << \omega_m$ ไม่เป็นจริง คือ ในกรณีของเอฟเอ็มแบนด์กว้าง (Wide Band FM : WBFM) หรือแบนด์ปานกลาง ได้มีการเสนอว่าควรใช้

$$BW \approx 2(\Delta\omega + 2\omega_m)$$

หรือ

$$BW \approx 2\,\omega_m(\beta + 2) \qquad (29)$$



(ก) ใช้ค่าความถี่เบี่ยงเบนสูงสุด $\Delta\omega$ คงที่ (ข) ใช้ค่าความถี่ ω_m คงที่

รูปที่ 2.32 ภาพสเปกตรัมชนิดเส้นของสัญญาณเอฟเอ็ม ซึ่งมอดูเลตด้วยสัญญาณทดสอบรูปไซน์

จะให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิผลกว่าผลลัพธ์ของกฎของคาร์สัน ดังนั้นจึงได้มีการสรุปเป็นสูตรที่มีความยืดหยุ่นว่าแบนด์วิดท์โดยนัยสำคัญของสัญญาณเอฟเอ็ม จะมีค่าที่คำนวณได้จากสูตร

$$BW \approx 2\,\omega_m(\beta+k) \text{ เรเดียน/วินาที} \qquad (30)$$

โดย $k = 1$ เมื่อ β มีค่าน้อย และ $k = 2$ เมื่อ β มีค่ามาก และถ้าเราคิดว่า ω_m คือค่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณข่าวสาร m(t) ซึ่งเท่ากับ $2\pi B$ เรเดียน/วินาที เราจะพบว่า ค่าแบนด์วิดท์ ตามสมการ(30) จะเปลี่ยนแปลงเป็นค่าแบนด์วิดท์ในหน่วยของเฮิรตซ์ได้ดังนี้ คือ

$$BW \approx 2\,f_m(\beta+k) \qquad (31)$$

2.6.4 การมอดูเลตเฟส

ดังได้กล่าวมาแล้วว่ากลไกขั้นตอนพื้นฐานในการสร้างสัญญาณพีเอ็มนั้น คล้ายกับของสัญญาณเอฟเอ็มมีความแตกต่างเพียงที่ในระบบพีเอ็มนั้น ค่าเฟสของสัญญาณพีเอ็มจะแปรผันโดยตรงกับขนาดของสัญญาณอินพุต แต่ในระบบเอฟเอ็มนั้น ค่าเฟสของสัญญาณจะแปรผันโดยตรงกับค่าอินทิเกรตของสัญญาณอินพุต ซึ่งความแตกต่างนี้จะมีผลกับพฤติกรรมของสัญญาณทั้งสองบ้างดังจะได้กล่าวถึงต่อไปนี้

สำหรับสัญญาณเอฟเอ็มที่มอดูเลตด้วยสัญญาณ m(t) รูปไซน์ตามสมการ(9) จะให้ค่าความถี่ชั่วขณะของสัญญาณเอฟเอ็มตามสมการ (12)

สำหรับสัญญาณพีเอ็มที่มอดูเลตด้วยสัญญาณ m(t) เดียวกัน จะให้ค่าเฟสชั่วขณะซึ่งหาได้จากสมการ (2) คือ

$$\theta_i(t) = k_p a \cos(\omega_m t) \quad (32)$$

ดังนั้นเฉพาะค่าความถี่ที่เกิดขึ้นจากเฟสที่เปลี่ยนแปลงตามสมการ (32) นี้จะหาได้โดยอาศัยสมการ (4) ซึ่งได้เป็น

$$\begin{aligned}\Delta\omega_i &= d\theta_i / dt \\ &= -\omega_m k_p a \sin(\omega_m t) \\ &= -\omega_p \sin(\omega_m t)\end{aligned} \quad (33)$$

โดยในที่นี้ $\Delta\omega_p$ ถูกกำหนดให้เท่ากับ $\omega_m k_p a$ และเราจะพบว่าค่าความถี่ชั่วขณะของสัญญาณพีเอ็มจะเท่ากับผลรวมของค่า $\Delta\omega_i$ นี้รวมกับความถี่ ω_c

$$\omega_i = \omega_c - \Delta\omega_p \sin(\omega_m t) \quad (34)$$

จะเห็นว่าค่าความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของสัญญาณพีเอ็ม คือ $\Delta\omega_p$ นั้นไม่ได้แปรผันกับแอมปลิจูดของสัญญาณ m(t) เพียงอย่างเดียวแต่ยังคงแปรผันตามค่าความถี่ของสัญญาณ m(t) อีกด้วย ซึ่งนี้คือ ข้อแตกต่างของสัญญาณพีเอ็มจากสัญญาณเอฟเอ็ม กล่าวคือ สำหรับสัญญาณเอฟเอ็ม

$$\Delta\omega = ak f \quad (35)$$

แต่สำหรับสัญญาณพีเอ็ม

$$\Delta\omega_p = ak_p\omega_m \quad (36)$$

ความแตกต่างนี้เองเป็นเหตุให้ การมอดูเลตเฟสไม่ค่อยมีความน่าใช้ เมื่อต้องการกำหนดค่าความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดให้มีค่าคงที่ (ดังเช่นกรณีของการส่งวิทยุเอฟเอ็ม) อย่างไรก็ตามความแตกต่างนี้กลับเป็นข้อดีในการดีมอดูเลตสัญญาณพีเอ็ม

2.6.5 การสร้างสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์กว้าง

การผลิตสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์กว้าง สามารถทำได้สองวิธีดังต่อไปนี้ คือ

1) การสร้างสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์กว้างโดยตรง

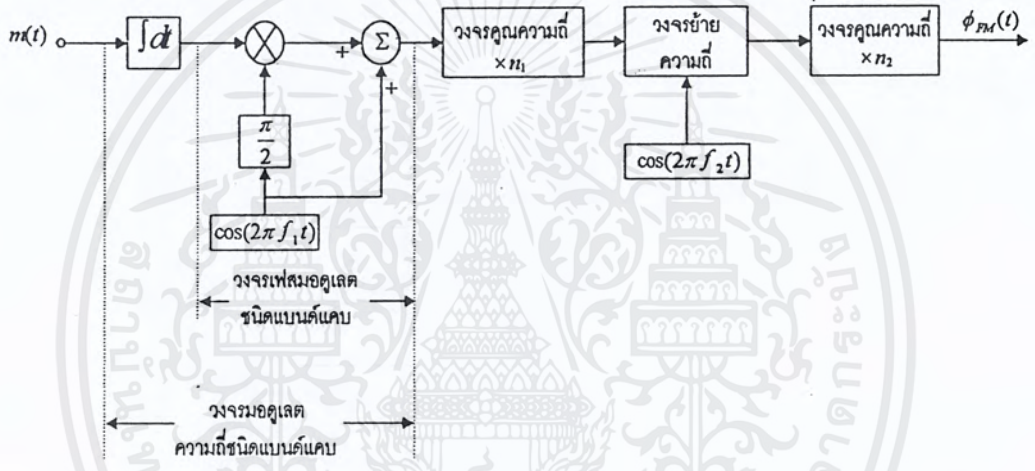
วิธีการสามัญที่ผลิตสัญญาณเอฟเอ็มโดยตรง ก็คือการใช้สัญญาณ m(t) มาควบคุมเปลี่ยนค่าความเหนี่ยวนำ L หรือค่าความจุ C ของวงจรออสซิลเลเตอร์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเมื่อค่า L หรือ C ของวงจรจูน (Tune Circuit) เปลี่ยนไป มันจะทำให้ค่าความถี่ของการออสซิลเลเตอร์ คือ $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ เปลี่ยนไปด้วย และสำหรับการเปลี่ยนแปลงความถี่ค่าน้อยๆ กล่าวคือ $\Delta\omega << \omega_c$ ค่าส่วนกลับรากที่สองนี้สามารถประมาณค่าด้วยการเปลี่ยนแปลงชนิดเชิงเส้น ทำให้ได้การเปลี่ยนแปลงของ ω_0 เป็นไปตามค่าสัญญาณอินพุต m(t) อย่างเชิงเส้นได้

มีวิธีการหลายวิธีที่จะทำให้ค่า L และ C ของวงจรจูนนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามค่าสัญญาณ m(t) วิธีสามัญทั่วไป เมื่อ ω_0 อยู่ในย่านความถี่กลางและความถี่สูง อาจทำได้โดยการใช้ m(t) ไปควบคุมแรงดันกลับ (Reverse-Biased Voltage) ของไดโอดที่เรียกว่า วารีแคป (Variable Capacitance Diode) วาแรกเตอร์ไดโอด (Varactor Diode) ซึ่งจะทำให้ค่า C ของไดโอดนั้นเปลี่ยนไป เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความถี่ที่เบี่ยงเบนนี้อาจมีค่าค่อนข้างน้อย การเพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ของความถี่ที่เบี่ยงเบนนี้ ทำให้ด้วยการทำมอดูเลตที่ความถี่สูง และใช้การย้ายความถี่ด้วยหลักการเฮเทอโรดายน์ (Heterodyne) ลงมาสู่ความถี่ต่ำที่ใช้งานจริง

อีกวิธีหนึ่ง คือ การใช้ควบคุมความถี่ของวงจรอาร์ซีออสซิลเลเตอร์ (RC Oscillator) ด้วนเอฟอีที (FET) หรืออุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน วงจรออสซิเลเตอร์ใดๆก็ตามที่สามารถใช้แรงดันอินพุตมาควบคุมความถี่ของมันได้จะเรียกว่า วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมได้ด้วยแรงดัน หรือ วีซีโอ เราสามารถที่จะใช้วีซีโอนี้มาผลิตสัญญาณเอฟเอ็มได้โดยตรง

2) การผลิตสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์กว้างโดยทางอ้อม

วิธีการนี้เริ่มต้นด้วยการใช้วงจรมอดูเลตเฟสชนิดแบนด์แคบ ตามรูป2.29ข มาเพิ่มวงจรอินทิเกรตสัญญาณเข้าไป เพื่อทำให้ได้วงจรมอดูเลตเอฟเอ็มชนิดแบนด์แคบก่อน แล้วจึงทำการเพิ่มเติมส่วนประกอบอื่นให้กับวงจรเพื่อที่ให้สามารถผลิตสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์กว้างตามต้องการออกมาในที่สุด ลักษณะโครงประกอบของวงจรมอดูเลเตอร์ชนิดนี้ มีแสดงในรูป 2.33



รูปที่ 2.33ระบบการผลิตสัญญาณเอฟเอ็มโดยอ้อมตามวิธีการอาร์มสตรอง

หลักการทำงานของระบบนี้ อธิบายได้โดยเริ่มจากในเบื้องต้นนั้นจะมีสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบจากมอดูเลเตอร์ชนิดแบนด์แคบ ซึ่งจะมีค่าดัชนีการมอดูเลต β ต่ำมาก แต่เมื่อสัญญาณนี้ได้ผ่านเข้าไปในวงจรเพิ่มความถี่หรือวงจรคูณความถี่ (Frequency Multiplier) ค่า β ใหม่ของสัญญาณเอาท์พุตก็จะเพิ่มขึ้นเท่ากับอัตราการคูณความถี่ n ของวงจรคูณความถี่นั้น ซึ่งคุณสมบัตินี้จะเข้าใจได้เมื่อพิจารณาหลักการคูณความถี่ที่ว่า ถ้าเราทำการเพิ่มความถี่ของสัญญาณด้วยวงจรคูณสัญญาณที่มีอัตราการขยายการคูณเท่ากับ a และให้สัญญาณอินพุตทั้งสองของวงจรมีค่าเดียวกัน คือ $e_i(t)$ แล้วจะได้แรงดันเอาท์พุต $e_0(t)$ ของวงจรเป็น

$$e_0(t) = ae_i^2(t) \qquad (37)$$

เมื่ออินพุต $e_i(t)$ คือสัญญาณเอฟเอ็มตามสมการ(13) กล่าวคือ

$$e_i(t) = A_c\cos\{\omega_c t + \beta\sin(\omega_m t)\} \qquad (38)$$

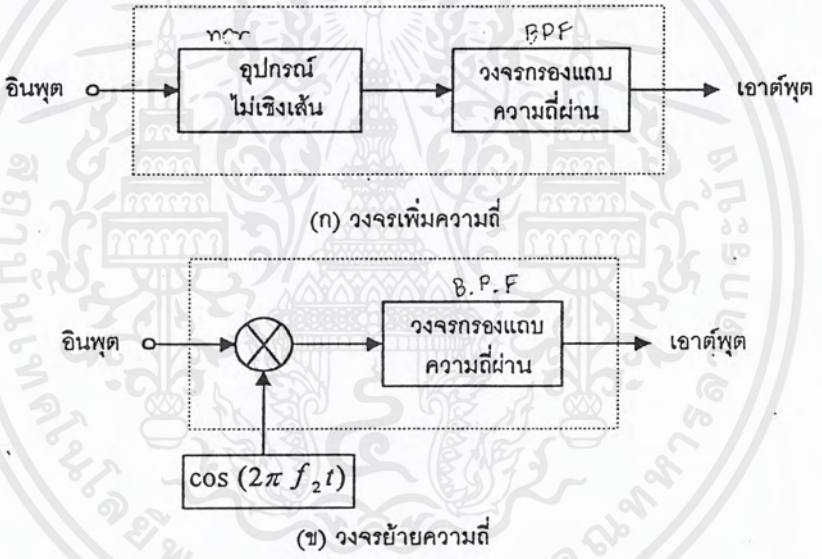
จะทำให้เกิดเอาท์พุต คือ

$$e_0(t) = aA_c^2\cos^2\{\omega_c t + \beta\sin(\omega_m t)\}$$
$$= (aA_c^2/2) + (aA_c^2/2)\cos\{2\omega_c t + 2\beta\sin(\omega_m t)\} \qquad (39)$$

เมื่อขจัดสัญญาณไฟตรงที่ไม่ต้องการออกโดยใช้วงจรกรองความถี่ จะได้เอาท์พุตของวงจรกรองสัญญาณ $V_0(t)$ เป็น

$$V_0(t) = (aA_c^2/2) \cos \{ 2\omega_c t + 2\beta \sin(\omega_m t)\} \qquad (40)$$

จะเห็นว่าสัญญาณ $V_0(t)$ ตามสมการ(40) คือ สัญญาณเอฟเอ็มที่มีค่าความถี่คลื่นพาห์สูงขึ้นเป็น 2 เท่าของสัญญาณอินพุต และมีค่าดัชนีการมอดูเลตเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าด้วย ดังนั้นถ้าเราใช้วงจรคูณความถี่ซึ่งมีอัตราการคูณความถี่เพิ่มขึ้นเป็น n เท่าเราก็จะได้สัญญาณเอาท์พุตที่มีค่า β เพิ่มขึ้น n เท่าด้วย แต่ก็อาจจะเกิดปัญหาที่ตรงค่าความถี่ของคลื่นพาห์สูงขึ้นมาเป็น n เท่าด้วย ปัญหาในเรื่องนี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้วงจรแปลงความถี่ (Frequency Convertor) หรือวงจรย้ายความถี่มาช่วย วงจรแปลงความถี่ทำงานด้วยหลักการเฮเทอร์โรดายน์ คือ การเลื่อนความถี่ไปตามต้องการ โดยใช้หลักการของการมอดูเลตแอมปลิจูดที่มีคุณสมบัติในการย้ายสเปกตรัมของสัญญาณได้ แผนผังของวงจรคูณความถี่หรือวงจรเพิ่มความถี่ มีดังแสดงในรูป 2.34



รูปที่ 2.34 แผนผังของวงจรเพิ่มความถี่และวงจรย้ายความถี่

ควรพิจารณาความแตกต่างของวงจรทั้งสองว่า แม้มันจะอยู่บนพื้นฐานเดียวกันแต่วงจรเพิ่มความถี่นั้นจะเกิดจากการคูณกันเองของสัญญาณอินพุตจำนวน n ครั้ง แต่วงจรแปลงความถี่จะทำงานด้วยการคูณกันของสัญญาณอินพุตกับคลื่นรูปไซน์ ($\cos(2\pi f_2 t)$) ที่มีความถี่ที่เหมาะสมกับการย้ายสเปกตรัมของสัญญาณอินพุต

วงจรย้ายความถี่ในรูป 2.33 ทำหน้าที่ย้ายความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็มให้ไปอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ที่ต้องการให้เป็นหลังจากมีการเพิ่มความถี่ขึ้นอีก n_2 เท่าแล้ว โดยกระบวนการเช่นนี้ สัญญาณเอาท์พุตสุดท้ายที่ได้จะเป็นสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์กว้างที่มีค่า β และค่าความถี่ของคลื่นพาห์ตามต้องการได้ จากรูป 2.40 นี้ ค่าดัชนีการมอดูเลตของสัญญาณเอฟเอ็มจะมีค่าสูงขึ้นเป็น $n_1 n_2$ เท่าของค่าดัชนีการมอดูเลตของสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบในภาคแรกและคลื่นพาห์เอาท์พุตจะมีความถี่กึ่งกลางเท่ากับ n_2 ($n_1 f_1$ -

f_2) เมื่อ f_1 คือ ค่าความถี่กึ่งกลางของสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบภาคแรกและ f_2 คือ ค่าความถี่ของออสซิลเลเตอร์ในวงจรย้ายความถี่

การสร้างสัญญาณเอฟเอ็มแบบนี้ มีชื่อว่า การสร้างสัญญาณเอฟเอ็ฟโดยทางอ้อม ด้วยวิธีการของอาร์มสตรอง (Armstrong's Indirect FM) วิธีการสร้างสัญญาณเอฟเอ็มโดยทางอ้อมนี้นิยมทำกันเพราะมีข้อดีที่สามารถคุมเสถียรภาพของความถี่ของคลื่นพาห์ที่ได้มาดีกว่าการสร้างสัญญาณเอฟเอ็มโดยตรง ควรสังเกตว่าวิธีการทางอ้อมนี้ วงจรออสซิเลเตอร์จะผลิตความถี่ออกมาเพียงความถี่เดียว จึงทำให้สะดวกในการหามาตรการควบคุมความถี่ให้มีเสถียรภาพได้ง่ายกว่าในกรณีของการสร้างเอฟเอ็มแบนด์กว้างโดยตรง

2.6.6 การดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็ม

ในการดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มนั้น อาจทำได้ทั้งวิธีตรงและวิธีอ้อม วิธีตรงก็คือวิธีที่ใช้ระบบที่มีคุณสมบัติการเปลี่ยนความถี่ไปเป็นโวลเตจอย่างเชิงเส้น ที่เรียกว่า วงจรดิสคริมิเนตความถี่ (Frequency Discriminator) และวิธีอ้อมที่ใช้เทคนิคการป้อนกลับ (FM Demodulator with Feedback:FMFB) และการใช้เฟสล็อกลูป (Phase-Locked Loop:PLL) เป็นต้น ดังนั้นวิธีการดีมอดูเลตสัญญาณแบบธรรมดา คือ วิธีการโดยตรงเท่านั้น

วิธีการดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มโดยตรงที่ง่านที่สุดก็คือ การใช้วงจรทำอนุพันธ์ตามอุดมคติ (Ideal Differentiator) รวมกับวงจรดีเทกต์กรอบสัญญาณ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ คือ จะพบว่าค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรทำอนุพันธ์ คือ $H(\omega) = j\omega$ และคุณสมบัติที่เห็นได้ชัดก็คือ ขนาดของ $H(\omega)$ แปรผันเป็นเชิงเส้นโดยสมบูรณ์กับความถี่ เพราะฉะนั้น ถ้าสัญญาณเอฟเอ็มผ่านวงจรทำให้ได้เอาท์พุตที่มีค่าเปลี่ยนความถี่ ซึ่งก็คือได้เอาท์พุตเปลี่ยนแปลงตามขนาดความแรงของสัญญาณข่าวสารนั่นเอง ดังนั้นเมื่อนำสัญญาณเอาท์พุตที่ได้นี้ไปผ่านวงจรดีเทกต์กรอบสัญญาณก็จะได้สัญญาณข่าวสารตามต้องการ

ลักษณะสมการโดยทั่วไปของคลื่นเอฟเอ็ม ตามสมการ (8) เมื่อทำการอนุพันธ์แล้วจะได้ผลลัพธ์คือ

$$d\varnothing_{FM}(t)/dt = -A_c\{\omega_c + k_f m(t)\}\sin\{\omega_c t + k_f \int_{-\infty}^{t} m(\tau)d\tau\} \qquad (41)$$

ปรกติการมอดูเลตความถี่นั้น จะใช้ค่า $\omega_c >> k_f m(t)$ ดังนั้นเอนโวโลป E(t) ของสมการ(41) จึงเหมือนกับสัญญาณเอเอ็ม คือ

$$E(t) = A\omega_c\{1+(k_f/\omega_c)m(t)\} \qquad (42)$$

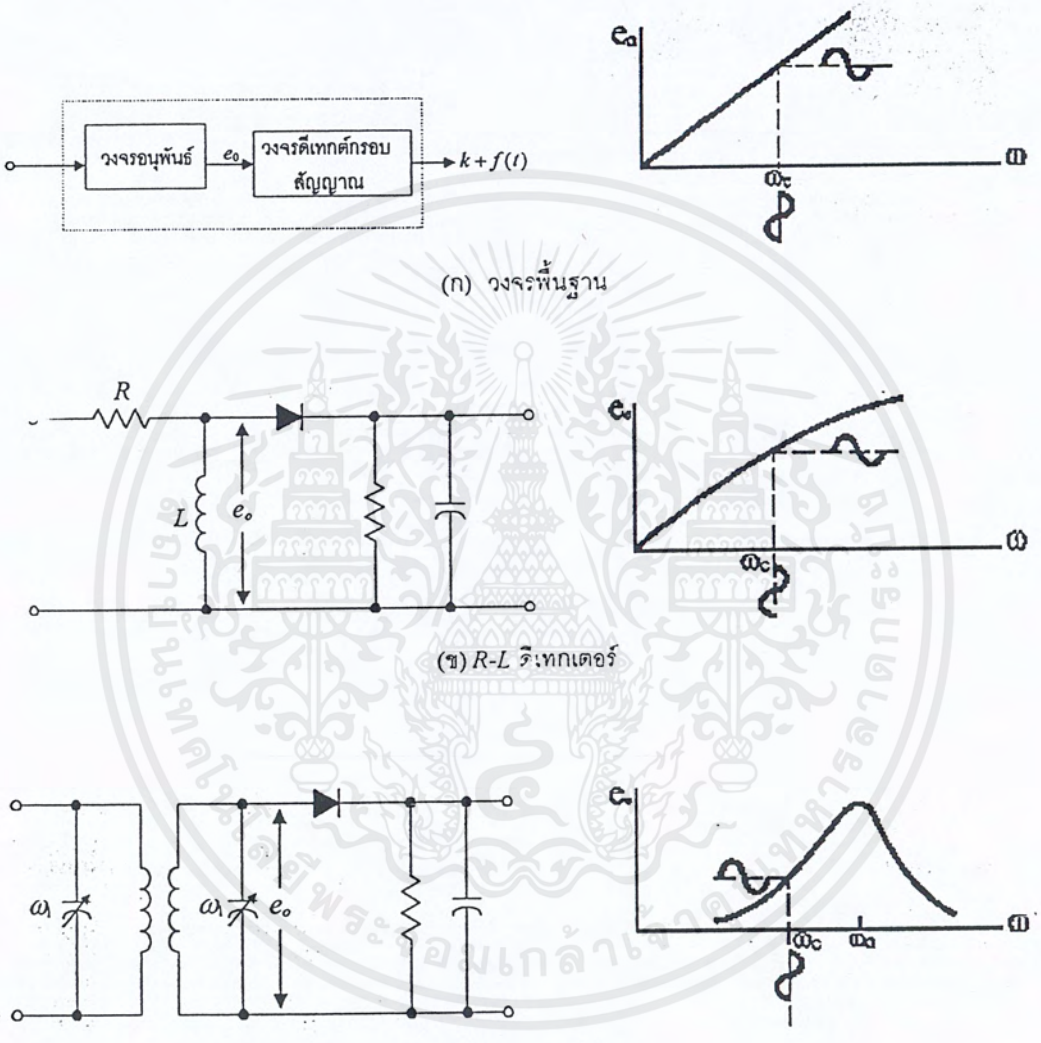
และค่าความถี่ชั่วขณะของคลื่นพาห์ตามสมการ(41) คือ

$$\omega_I = \omega_I + k_f m(t) \qquad (43)$$

จะเห็นได้ว่าวงจรทำอนุพันธ์ ทำหน้าที่เปลี่ยนคลื่นเอฟเอ็มให้เป็นเอเอ็มที่มีความถี่ของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงอยู่บ้างเล็กน้อย ดังนั้นจึงสามารถใช้วงจรดีเทกต์กรอบสัญญาณมาทำการดีเทกต์สัญญาณ m(t) ออกจากสัญญาณเอาท์พุตของวงจรทำอนุพันธ์สมการ (41) ได้ ซึ่งรูป 2.35ก จะช่วยอธิบายให้เห็นภาพพจน์ของระบบการดีมอดูเลตสัญญาณชนิดนี้ได้ปีนอย่างดี

พฤติกรรมของวงจรอนุพันธ์ตามอุดมคติ อาจจะประมาณโดยวงจรที่ประกอบจากตัวความต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำ (RL) หรือวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน ซึ่งเมื่อนำมาต่อกับวงจรดีเทกต์กรอบสัญญาณ จะได้วงจรดิสคริมิเนตความถี่ ดังแสดงในรูป 2.35ข และ ค ตามลำดับ วงจรดิสคริมิเนตความถี่

เหล่านี้รู้จักกันในนามของวงจรดีเทกต์ความชัน (Slope Detector) แม้ว่าวงจรดีเทกต์ความชันทั้งสองนี้จะทำได้โดยง่าย แต่มันก็มีขีดจำกัดในการใช้งาน คือ ความเป็นเชิงเส้นของอัตราการแปลงความถี่เป็นแรงดันนั้นมีช่วงแคบมาก การแก้ไขให้ดีขึ้นอาจทำได้โดยการใช้วงจรจูน 3 ความถี่ ดังแสดงในรูป 2.35ง วงจรนี้จะมีคุณสมบัติในการแปลงความถี่เป็นแรงดันที่มีความเป็นเชิงเส้นในย่านความถี่ที่กว้างขึ้น และมีข้อดีที่ค่าเอาท์พุตของวงจรมีค่าเป็นศูนย์ที่ค่าความถี่คลื่นพาห์



รูปที่ 2.35 การดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็ม (ภาพขวามือคือคุณสมบัติเชิงความถี่ของวงจรในรูปซ้ายมือ)

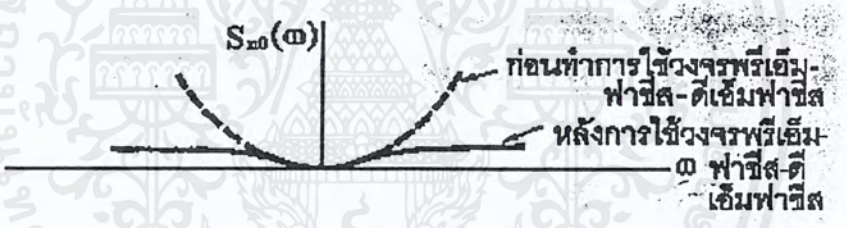
วงจรดิสคริมิเนตความถี่นั้นสามารถทำได้ในอีกหลายรูปแบบ ซึ่งอาจใช้วิธีการประยุกต์ใช้การตัดข้ามของสัญญาณผ่านค่าศูนย์ (Zero Crossing) หรือวิธีการเปลี่ยนความถี่เป็นโวลเตจ หรือวิธีการใช้หลักการแปลงฮิลเบิร์ตอีกเช่นกัน

2.6.7 การใช้วงจรพรีเอ็มฟาซีสและวงจรดีเอ็มฟาซีสในระบบเอฟเอ็ม

การอธิบายพฤติกรรมของสัญญาณเอฟเอ็มภายใต้อิทธิพลของสัญญาณรบกวนนั้น จะกล่าวถึงพฤติกรรมของสัญญาณรบกวนที่ผ่านวงจรดิสคริมิเนตความถี่ไว้ คือ เมื่อสมมติว่ามีสัญญาณรบกวนขาวที่มีพีเอสดี คือ $S_{ni}(\omega) = \eta$ ผ่านวงจรดิสคริมิเนตความถี่ที่ประกอบด้วยวงจรทำอนุพันธ์สัญญาณนั้น และวงจรดีเทกต์กรอบสัญญาณ จะพบว่าเพราะค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรทำอนุพันธ์สัญญาณรบกวนที่เอาท์พุตของวงจรทำอนุพันธ์สัญญาณ คือ $H(\omega) = j\omega$ ดังนั้น เมื่ออาศัยความสัมพันธ์ เราจะได้ค่าพีเอสดีของสัญญาณรบกวนที่เอาท์พุตของวงจรทำอนุพันธ์สัญญาณ คือ

$$S_{no}(\omega) = |H(\omega)|^2 S_{ni}(\omega)$$
$$= \eta\omega^2 \qquad (44)$$

เราจะพบว่าการแจกแจงกำลังของพีเอสดีของสัญญาณรบกวนนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่ากำลังสองของความถี่ ดังแสดงโดยเส้นประในรูป 2.36

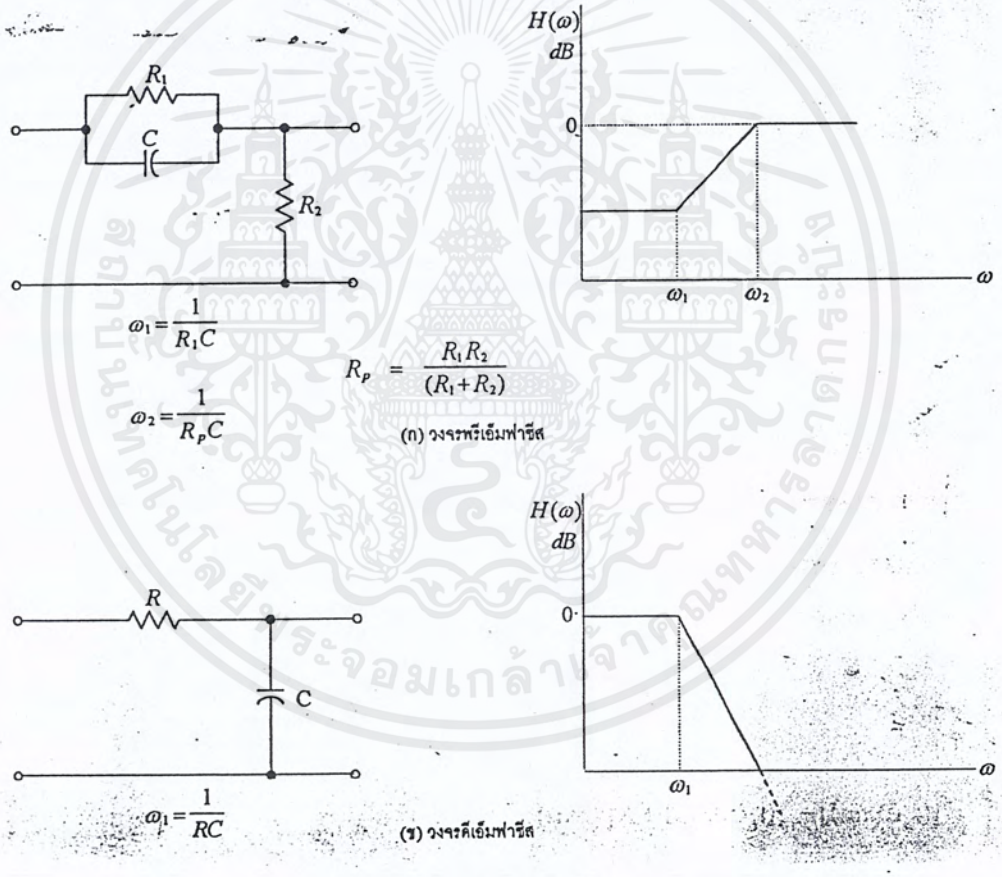


รูปที่ 2.36ค่าพีเอสดีของสัญญาณรบกวนในระบบเอฟเอ็มก่อนและหลังใช้วงจรพรีเอ็มฟาซีส-ดีเอ็มฟาซีส

ดังนั้นจึงเป็นที่คาดได้ว่า ค่าเอสเอ็นอาร์ของเอาท์พุตของระบบจะมีค่าแจกแจงที่ความถี่ต่างๆไม่เท่ากัน คือ ที่ความถี่สูงขึ้น ค่าเอสเอ็นอาร์จะมีค่าเลวลง เพราะเหตุนี้จึงได้มีการเตรียมแก้พฤติกรรมที่ไม่พึงปรารถนานี้ด้วยการจัดให้มีการสร้างวงจรที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณองค์ประกอบของสัญญาณข่าวสารที่มีความถี่สูงให้มีค่ามากขึ้นตามค่าความถี่ ทั้งนี้เพื่อใช้ปรับค่าพีเอสดีของสัญญาณข่าวสารขึ้นก่อนที่จะนำไปทำการมอดูเลตความถี่ เพื่อที่จะทำให้ค่าเอสเอ็นอาร์ของสัญญาณภายหลังจากผ่านการดีมอดูเลตออกมาแล้ว มีค่าประมาณเท่ากันทุกความถี่ย่อมเป็นการแน่นอนว่าเมื่อมีการเตรียมขยายสัญญาณองค์ประกอบที่ความถี่สูงทางด้านเครื่องส่งเช่นนี้ ย่อมจะทำให้ค่าพีเอสดีของสัญญาณข่าวสารผิดไป ดังนั้นทางด้านเครื่องรับจึงจำเป็นจะต้องมีวงจรที่มีคุณสมบัติตรงกันข้ามกับวงจรที่ใช้ทางด้านเครื่องส่ง มาเพิ่มเข้าต่อจากวงจรที่ทำการดีมอดูเลตสัญญาณ เพื่อที่จะใช้แก้หรือชดเชยความผิดเพี้ยนของพีเอสดีของสัญญาณให้กลับเหมือนเดิม วงจรที่ใช้ปรับค่าพีเอสดีของสัญญาณทางด้านเครื่องส่งนั้นมีชื่อเรียกว่า วงจรพรีเอ็มฟาซิส (Pre-Emphasis) และวงจรทางด้านเครื่องรับที่ใช้ปรับค่าพีเอสดีของสัญญาณข่าวสารให้กลับมาเหมือนเดิมนั้นมีชื่อเรียกว่า วงจรดีเอ็มฟาซิส (De-Emphasis) การใช้วงจรพรีเอ็มฟาซิสและวงจรดีเอ็มฟาซิสนี้มีผลเทียบ

เท่ากับ การใช้วงจรที่ช่วยปรับให้ค่าพีเอสดีของสัญญาณรบกวน $S_{nn}(\omega)$ มีลักษณะดีขึ้น ดังแสดงในรูป 2.36 คือ มีการปรับตัวจากที่มีลักษณะเป็นเส้นประกลายลงมาเป็นตามเส้นทึบในรูปนั้น

ค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรพรีเอ็มฟาซิสที่ควรเป็น คือ ควรมีค่าคงที่ที่บริเวณความถี่ต่ำและปฏิบัติตัวคล้ายวงจรทำอนุพันธ์ที่ความถี่สูงขึ้นมา ปรกติแล้วในทางปฏิบัติจะใช้วงจรอาร์ซี(RC) ดังแสดงในรูป 2.37ก ซึ่งจะมีรูปแบบของขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนที่จะเขียนด้วยวิธีการของโบด (Bode's Plot) ดังแสดงในรูปข้างเคียงกัน การเลือกค่าความถี่หักมุม ω_1 ในทางปฏิบัตินั้นมักเลือกที่ค่าความถี่ที่มีค่าพีเอสดีของสัญญาณข่าวสารลดลง 3 เดซิเบล ซึ่งสำหรับในระบบวิทยุกระจายเสียงจะใช้ค่า $f_1 = 2.1$ กิโลเฮิรตซ์ (RC = 75 ไมโครวินาที) และเลือกค่า ω_2 ที่ความถี่สูงกว่าความถี่ของเสียงที่นำมามอดูเลต วงจรดีเอ็มฟาซีสที่ใช้ทางเครื่องรับจะเป็นวงจรอาร์ซีง่ายๆ ดังแสดงในรูป 2.37ข ซึ่งมีรูปขนาดที่เขียนด้วยวิธีการชองโบดดังแสดงอยู่คู่กัน



รูปที่ 2.37 วงจรพรีเอ็มฟาซีส-ดีเอ็มฟาซีสที่ใช้ RC และภาพวาดของโบด

2.6.8 การแทรกสอดในระบบสัญญาณเอฟเอ็ม

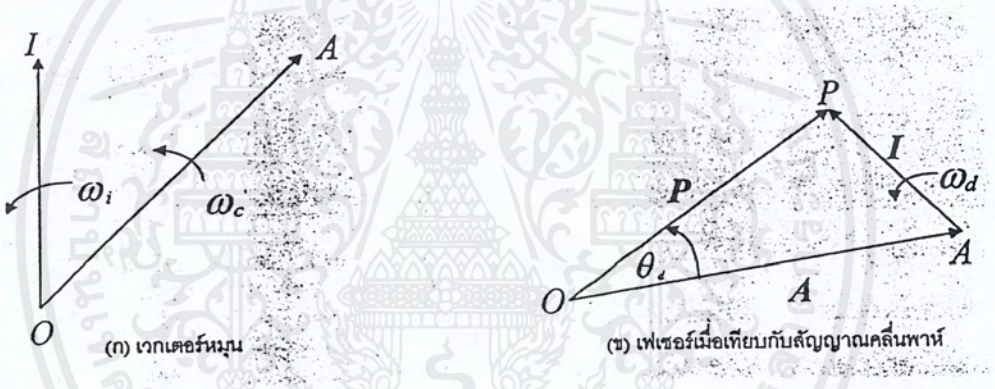
สัญญาณแทรกสอดในระบบสัญญาณเอฟเอ็มนั้นอาจมาจากสถานีวิทยุข้างเคียงที่ใช้ค่าความถี่ของคลื่นพาห์ที่ใกล้เคียงกันหรือใช้ความถี่ที่ทับกัน ผลการแทรกสอด คือ จะสมมติว่าสัญญาณแทรกสอดนั้นเป็นคลื่นสัญญาณสถานีอื่น ซึ่งไม่มีการมอดูเลต กล่าวคือ มีแต่คลื่นพาห์เท่านั้น คือ กำหนดให้คลื่นแทรกสอด i(t) เป็นดังนี้ คือ

$$i(t) = I\cos(\omega_1 t) \qquad (45)$$

และกำหนดให้สถานีส่งที่ถูกแทรกสอดนั้นใช้คลื่นพาห์ คือ

$$\varnothing(t) = A\cos(\omega_c t) \qquad (46)$$

โดยการเขียนเวกเตอร์หมุนแทนสัญญาณทั้งสองนี้ จะได้รูปเวกเตอร์เป็นดังแสดงในรูป 2.38ก สัญญาณแทรกสอดนี้จะดี (Beat) กับสัญญาณคลื่นพาห์ด้วยความถี่ $\omega_d = \omega_1 - \omega_c$ ซึ่งถ้ายึดว่าเวกเตอร์หมุนในแนว OA คือ A เป็นเวกเตอร์อ้างอิงจะทำให้ได้เฟสเวกเตอร์หรือเฟเซอร์ดังแสดงในรูป 2.38ข ซึ่งจะทำให้รู้ค่าเฟเซอร์ลัพธ์ P ในแนวOP ว่าเป็นดังนี้คือ



รูปที่ 2.38 การเขียนเวกเตอร์หมุนและเฟเซอร์แสดงผลที่เกิดจากการแทรกสอดของสัญญาณระบบเอฟเอ็ม

$$\begin{aligned} P &= A + Ie^{j\omega_d t} \\ &= A + I\cos(\omega_d t) + jI\sin(\omega_d t) \\ &= e(t)e^{j\theta_d} \end{aligned} \qquad (47)$$

โดยในที่นี้ได้กำหนดให้

$$e(t) = \sqrt{[A + I\cos(\omega_d t)]^2 + [I\sin(\omega_d t)]^2} \qquad (48)$$

และ

$$\theta_d(t) = \tan^{-1}[\, I\sin(\omega_d t)/\, A + I\cos(\omega_d t)] \qquad (49)$$

จะพบว่าถ้า $I << A$ จะเป็นผลให้

$$\theta_d(t) \approx I/A\sin(\omega_d t) = I/A\sin(\omega_d t) \qquad (50)$$

จากสมการของเฟเซอร์สมการ (47) จะเขียนแปลงเป็นสมการสมการของคลื่นเอฟเอ็มลัพธ์ ได้ดังนี้

$$\varnothing_{FM}(t) = e(t)\cos(\omega_c t + \theta_d) \qquad (51)$$

ปรกติในการดีเทกต์สัญญาณเอฟเอ็ม การกระเพื่อมของเอนโวโลป e(t) จะถูกจำกัดโดยวงจรลิมิตเตอร์ ทำให้คิดได้ว่า e(t) จะได้มาจากการทำอนุพันธ์ของ $\varnothing_d(t)$ เทียบกับเวลา ตามหลักการ ดังนั้นเมื่ออาศัยสมการ (50) จะรู้ค่าเอาท์พุต $v_d(t)$ ของวงจรดิสคริมิเนตความถี่ว่า คือ

$$v_d(t) = d\varnothing_d(t)/t = I\omega_d/A \cos(\omega_d t) \qquad (52)$$

ซึ่งค่า $v_d(t)$ นี้ คือ ค่าเอาท์พุตที่เกิดจากสัญญาณแทรกสอด i(t) ดังนั้นสัญญาณ ค่า $v_d(t)$ ส่วนนี้จะเป็นส่วนของสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่เอาท์พุต ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าอิทธิพลของสัญญาณแทรกสอดจะมีผลแปรผันกลับกับค่าแอมปลิจูดของคลื่นพาห์ A กล่าวคือ ถ้าคลื่นพาห์มีขนาดแรง สัญญาณเอฟเอ็มจะกดค่าสัญญาณแทรกสอดให้ต่ำลงให้หายไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสัญญาณแทรกสอดมีความถี่ใกล้เคียงกับสัญญาณเอฟเอ็มมากๆ ($\omega_d \approx 0$) ทั้งนี้เพราะค่าการรบกวนจากการแทรกสอดแปรผันโดยตรงกับ ω_d (พิจารณาสมการ (52) ประกอบ) ปรากฏการณ์เช่นนี้ มีชื่อเรียกว่า แคปเจอร์เอฟเฟกต์ (Capture Effect) เป็นที่น่าสนใจว่า ถ้าสถานีส่งเอฟเอ็มสองสถานีซึ่งมีค่าความถี่คลื่นพาห์ต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ มีความต่างกันอยู่ในย่านของสัญญาณเสียงแล้ว สัญญาณจากสถานีที่มีกำลังส่งมากจะกดสัญญาณเสียงจากสถานีที่มีกำลังส่งน้อยให้ไม่ปรากฏออกมาได้ด้วยผลของแคปเจอร์เอฟเฟกต์ดังกล่าวแล้ว

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

3.1 โครงสร้างโดยรวม

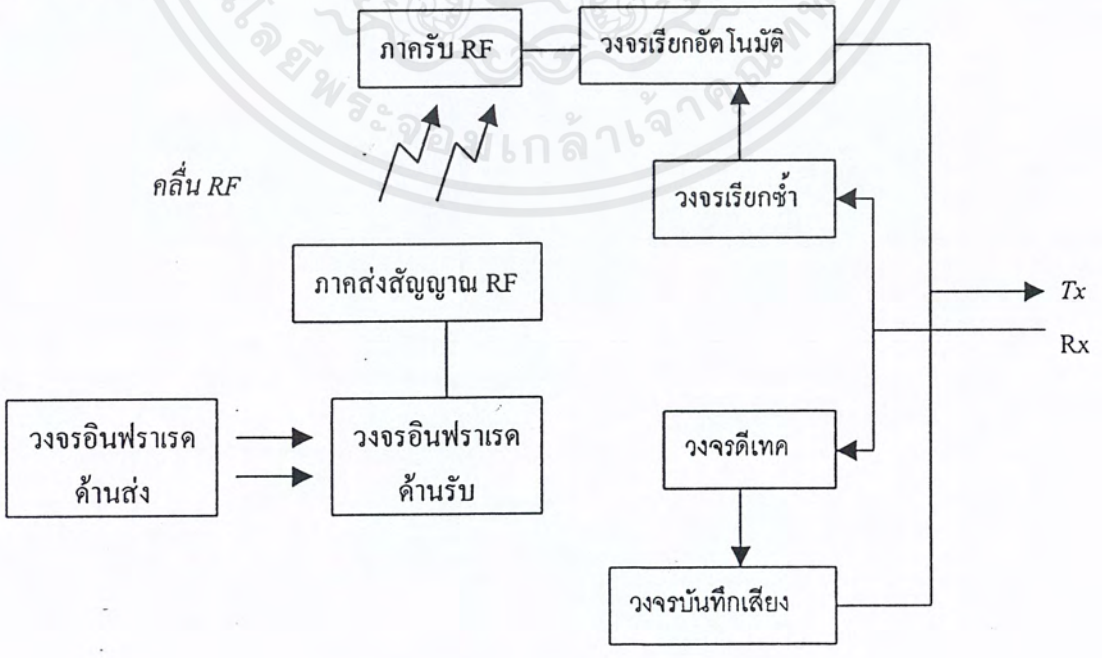
ในโครงงานนี้ประกอบไปด้วยวงจรต่างๆ โดยสามารถแบ่งวงจรออกเป็นส่วนๆตามลักษณะการทำงาน เพื่อง่ายต่อความเข้าใจและการสร้างชิ้นงาน สามารถอธิบายระบบการทำงานได้ดังบล๊อกไดอะแกรมต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบการทำงาน

เนื่องจากการศึกษาและจัดทำโครงงานได้มีการแบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกได้ทำการทดลองสร้างอุปกรณ์เตือนภัยทางโทรศัพท์โดยใช้สายเชื่อมต่อจากชุดเซนเซอร์ไปยังชุดโทรออกอัตโนมัติ ในส่วนชิ้นงานที่ 2 จะเป็นการทดลองสร้างอุปกรณ์เตือนภัยทางโทรศัพท์แบบไร้สาย คือมีการส่งสัญญาณในรูปคลื่นแทนการใช้สายโดยทำการส่งสัญญาณจากชุดเซนเซอร์ ไปยังชุดโทรออกอัตโนมัติ ซึ่งมีข้อดีคือสามารถเคลื่อนย้ายชุดเซนเซอร์ ได้หลายจุดโดยไม่ต้องเดินสายใหม่ให้ยุ่งยาก

อุปกรณ์เตือนภัยทางโทรศัพท์นี้ประกอบด้วยวงจรต่างๆ สามารถอธิบายระบบการทำงานในรูปของวงจรดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงวงจรรวม

3.2 วงจรอินฟราเรดรีโมท

วงจรอินฟราเรดรีโมทในโครงงานนี้นำมาใช้เป็นชุดเซนเซอร์ เพื่อตรวจจับผู้บุกรุกหรือขโมยนั่นเอง โดยติดตั้งตัวส่งสัญญาณอินฟราเรดและตัวรับสัญญาณอินฟราเรดที่บริเวณประตู,หน้าต่างหรือ จุดที่เป็นทางเข้าออกของบ้าน สัญญาณอินฟราเรดจะถูกส่งจากตัวส่งไปยังตัวรับอย่างต่อเนื่อง ซึ่งถือว่าอยู่ในสภาวะปกติที่ไม่มีอะไรบังสัญญาณระหว่างตัวส่งกับตัวรับแสดงว่าไม่มีขโมย แต่ถ้าเมื่อใดก็ตามที่สัญญาณอินฟราเรดนั้นขาดหายไป เช่นมีคนเดินผ่านลำแสงอินฟราเรด จะส่งผลให้สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวรับอินฟราเรดมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมซึ่งก็คือสัญญาณเตือนภัยนั่นเอง

3.2.1 วงจรอินฟราเรดด้านส่ง

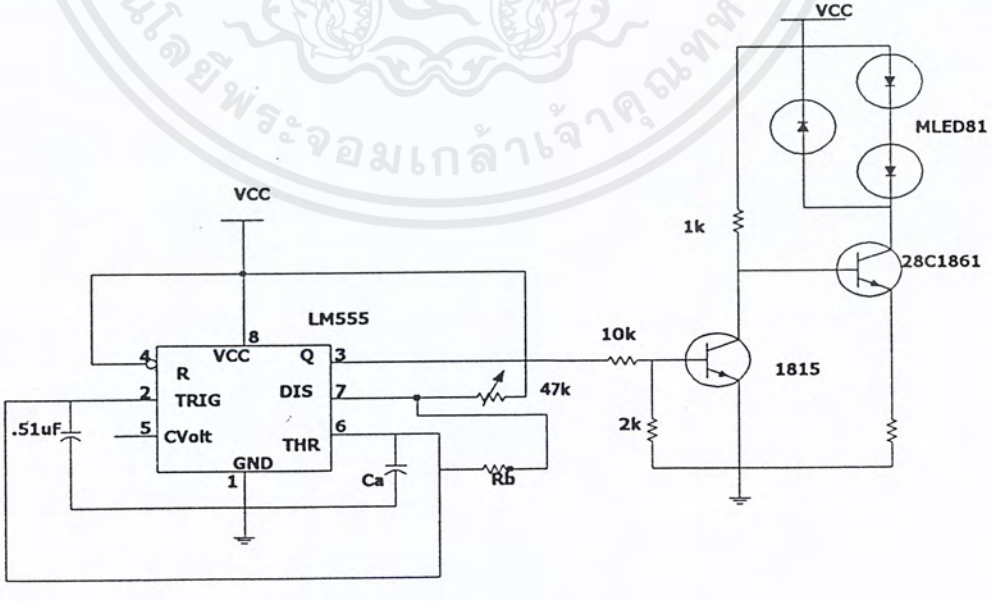
จะใช้ไอ.ซี. 555 สร้างสัญญาณพัลส์โดยใช้การกระตุ้นให้เกิดการชาร์จ C_A ผ่าน R_Aและ R_Bเมื่อแรงดันคร่อม C_Aมีค่า 2/3 V_{CC}จะทำให้วงจรเปรียบเทียบแรงดันชุดบนทำงาน ไปกระตุ้นให้วงจรควบคุมฟลิปฟลอปทำงานอีกต่อหนึ่ง เป็นผลให้ C_Aคายประจุผ่าน R_Bและขา 7 ของไอซี 555(ผ่าน Q_1ในไอซีลงกราวด์) ช่วงนี้เอาต์พุตขา 3 จะมีแรงดันต่ำและเมื่อแรงดันที่ C_Aลดลงมาถึง 1/3 V_{CC}ก็จะไปกระตุ้นให้วงจรเปรียบเทียบแรงดันชุดล่างทำงานกระตุ้นวงจรฟลิปฟลอปทำให้แรงดันเอาท์พุทสูงขึ้น และ C_Aไม่สามารถคายประจุได้อีก เพราะทรานซิสเตอร์ภายในซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิทช์จะอยู่ในสภาวะปิด ดังนั้น C_Aจะเริ่มชาร์จ อีกจนแรงดันเท่ากับ 2/3 V_{CC} และจะเริ่มทำงานแบบเดิมอีก

จากลักษณะการทำงานของของวงจร จะเห็นว่าช่วงความกว้างของคลื่นที่ได้ทางเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับการ ชาร์จ และ ดิสชาร์จ ของ C_Aจะได้ว่า

ช่วง ชาร์จ $T_1 = 0.693(R_A+R_B)C_A$

ช่วง ดิสชาร์จ $T_2 = 0.693\ R_A C_A$

เมื่อ $f = 1/(T_1+T_2)$



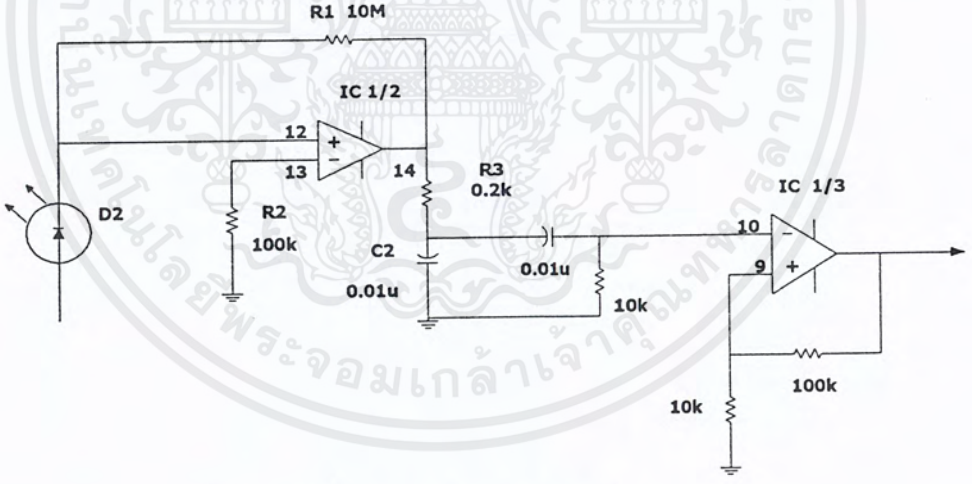
รูปที่ 3.3 วงจรอินฟราเรดด้านส่ง

ความถี่ที่สร้างขึ้นในวงจรนี้จะขึ้นกับการกำหนดค่า R และ C จากสูตรการหาค่าความถี่(f) ที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งในการทดลองวงจรนี้เราได้สร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ 2.2 กิโลเฮิรตซ์ เพื่อให้ตรงกับความถี่ของวงจรเฟสล็อคลูป (PLL) ทางด้านรับซึ่งตั้งความถี่ไว้ที่ 2.2 กิโลเฮิรตซ์ ทำได้โดยการปรับค่า R_1 สัญญาณพัลส์ที่ได้ที่ขา 3 ของไอ.ซี. 555 จะถูกส่งไปยังส่วนไดร์เวอร์ที่มีไดโอดอินฟราเรดทำหน้าที่ส่งคลื่นอินฟราเรดออกไป โดยใช้ทรานซิสเตอร์ BC547 ทำหน้าที่เป็นสวิทชิ่ง

3.2.2 วงจรอินฟราเรดทางด้านรับ

สัญญาอินฟราเรดที่ส่งมาจะถูกดีเทค โดย D2 ซึ่งเป็นอินฟราเรดโฟโต้ไดโอด ทำหน้าที่เป็นตัวรับจะรับสัญญาณอินฟราเรด อย่างไรก็ตามแรงดันที่ได้นี้ยังมีค่าต่ำมากจึงถู เป้อนเข้า ไอ.ซี.1/2 ซึ่งมีหน้าที่ขยายสัญญาณโดยมีอัตราขยายสูง หลังจากนั้นจะผ่านวงจรกรองความถี่แบบแบนด์พาสฟิลเตอร์ที่ประกอบไปด้วย R และ C ซึ่งทำการกรองเอาความถี่เฉพาะที่ต้องการคือความถี่ 2.2 กิโลเฮริตซ์ เท่านั้นที่ผ่านไปได้ จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งเข้าขา 10 ของไอซี 1/3 ซึ่งเป็นวงจรชมิตต์ทริกเกอร์ ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลซ์สี่เหลี่ยมให้สมบูรณ์ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่ภาคส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ ต่อไป

แต่ถ้าเมื่อไดก็ตามที่มีสิ่งมาปิดกั้นทางเดินของแสงอินฟราเรด สัญญาณที่โฟโต้ไดโอดได้รับจะมีค่าแรงดันเป็น 0 โวลต์ จะเห็นว่าคั่ญญาณอินพุตที่เข้ามามีค่าไม่เท่าเดิมซึ่งจะมีผลต่อการทำงานของของวงจรดีเทคสัญญาณในวงจรภาครับคลื่นวิทยุต่อไป



รูปที่ 3.4 วงจรอินฟราเรดทางด้านรับ

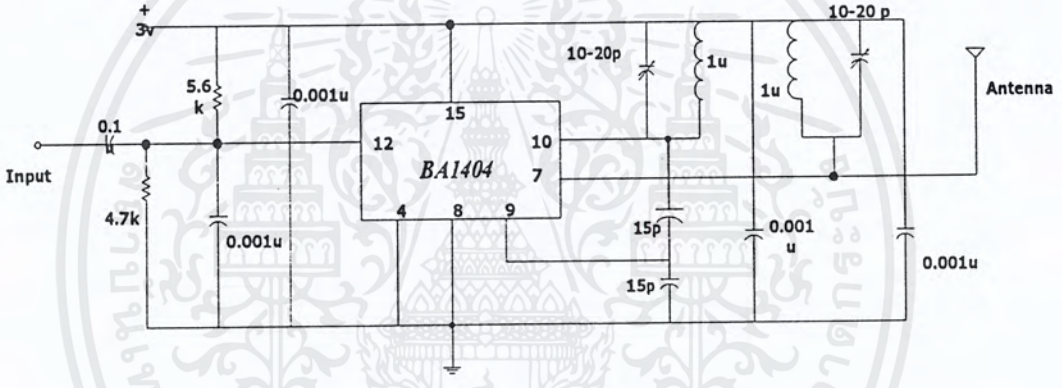
3.3 ภาครับ-ส่งคลื่นวิทยุ

ในส่วนของวงจรภาครับ-ส่งคลื่นวิทยุในโครงงานนี้จะใช้การมอดูเลตและการดีมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม.โดยจะทำการมอดูเลตสัญญาณสัญญาณข่าวสารหรืออินพุตที่เข้ามากับสัญญาณคลื่นพาห์ซึ่งจะใช้ค่าความถี่ 60 เมกกะเฮิรตซ์

3.3.1 วงจรภาคส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ

BA1404 เป็นไอ.ซี.ที่สามารถส่งสัญญาณเอฟเอ็มสเตอริโอได้แต่ในโครงงานนี้จะส่งแบบโมโนเอฟเอ็มโดยสัญญาณอินพุตที่ต้องการจะมอดูเลทจะเข้าขา 12 เพื่อผสมความถี่กับความถี่จากวงจรออสซิลเลเตอร์ซึ่งอยู่ภายในไอ.ซี. โดยการคัปปลิ้งผ่าน ตัวเก็บประจุ 0.1 ไมโครฟารัด โดย ตัวเก็บประจุ ตัวอื่นจะทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวนอื่นๆ ลงกราวด์

ที่ขา 10 จะต่อกับ C และ L ที่เป็นวงจรจูนซึ่งเป็นตัวกำหนดความถี่ เลือกความถี่โดยการปรับ ตัวเก็บประจุ ปรับค่า ผลของการมอดูเลตที่ขา 7 จะผ่านเข้าวงจรจูนอีกชนิดหนึ่งและส่งออกเสาอากาศ



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรเอฟเอ็มมอดูเลเตอร์

3.3.2 วงจรภาครับสัญญาณคลื่นวิทยุ

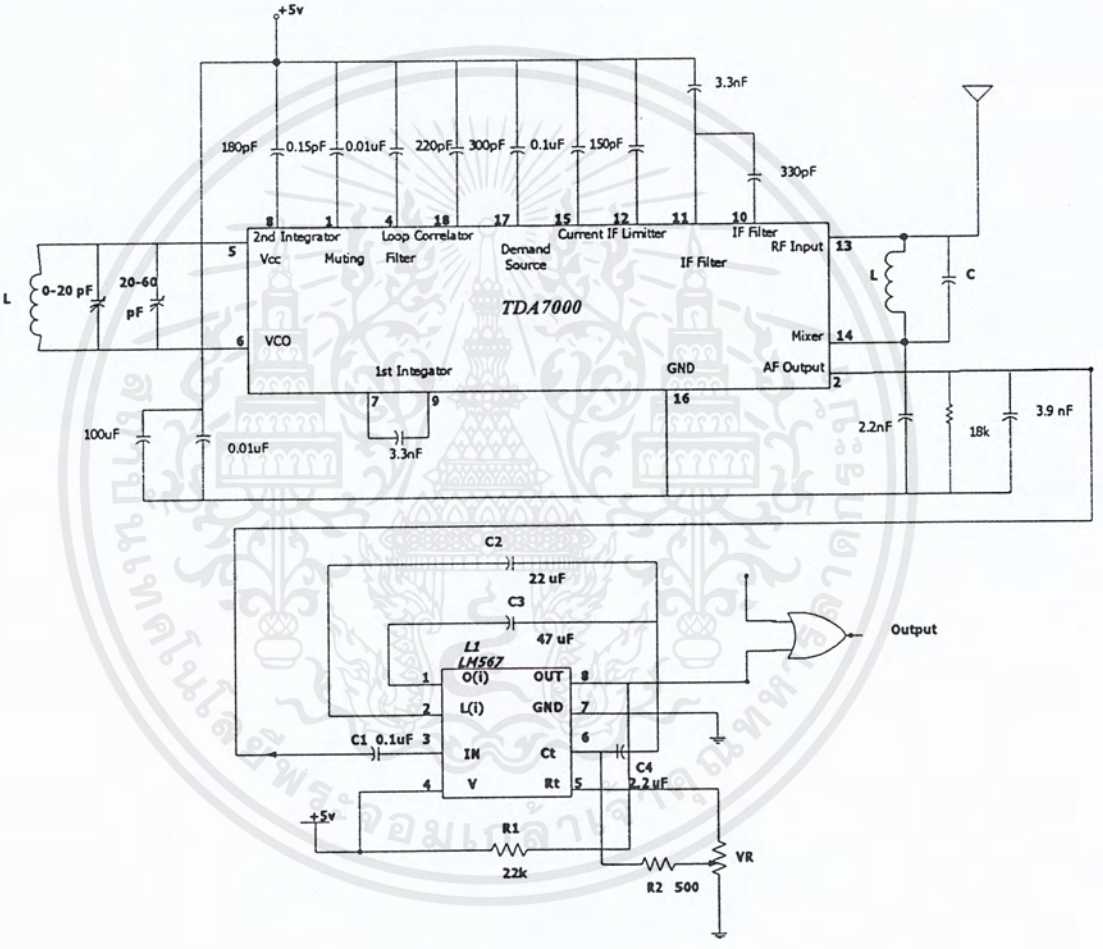
ในโครงงานนี้ใช้ไอ.ซี.TDA7000 ในการดีมอดดูเลตสัญญาณเอฟเอ็ม ไอ.ซี.นี้ใช้ค่าความถี่กลางเท่ากับ 75 กิโลเฮิรตซ์ และใช้การดีมอดดูเลตแบบ ควอเดรนท์ดีเทคเตอร์

ความถี่คลื่นวิทยุ ที่รับเข้ามาทางสายอากาศ ผ่านวงจร LC รีโซแนนซ์ซึ่งเป็นแบนด์พาสฟิลเตอร์มาเข้าอินพุตที่ขา 13 เพื่อเลือกความถี่ที่ต้องการจากนั้นผ่านวงจรมิกเซอร์ ที่ขา 14 เพื่อนำไปผสมกับความถี่จากออสซิลเลเตอร์ที่ทำการเลือกโดยวงจรจูนที่ขา 5 และขา 6 เพื่อจูนให้ได้ความถี่ IF เท่ากับ75 กิโลเฮริตซ์ ซึ่งเป็นค่าความถี่ IF ของไอ.ซี. TDA7000 ความถี่ IF ที่ได้ จะเข้าสู่ภาคดีมอดูเลเตอร์ เพื่อทำการดีเทคสัญญาณออกมาที่ขา 2 จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังขาอินพุตของชุดโทรออกอัตโนมัติ แต่ก่อนที่สัญญาณจะถูกส่งไปยังวงจรโทรออกอัตโนมัติจะผ่านไอ.ซี. LM 567 ก่อนซึ่งมีการทำงานดังนี้

การใช้งานไอ.ซี. 567 ซึ่งเป็นเฟสล็อคลูป ทำหน้าที่เป็นโทนดีโคดเดอร์ คือเมื่อรับสัญญาณเข้ามาแล้วจะนำสัญญาณนั้นมาทำการเปรียบเทียบความถี่กับความถี่ที่สร้างขึ้นด้วยตัวมันเอง ถ้าหากว่าความถี่ของสัญญาณที่รับเข้ามาได้นั้นเท่ากับความถี่ของตัวมันเองแล้ว จะให้เอาท์พุทเป็น "Low" แต่ถ้าหากความถี่ไม่ตรงกันแล้วจะให้เอาท์พุทเป็น "High" จึงสามารถใช้เป็นตัวตรวจจับความถี่ได้โดยความถี่ที่ใช้เปรียบเทียบในการล็อค คือ f_0 ซึ่งคำนวณได้จากค่า R_1 และ C_1 ที่ขา 5 และ 6 ตามลำดับ

$$f_0 = 1.1/R_1C_1$$

สัญญาณที่ได้จากการขยายจะส่งให้กับตัวรับความถี่อินพุตของไอ.ซี. 567 ซึ่งเป็น เฟสล็อคลูป ทำหน้าที่ในการล็อคความถี่ที่ส่งมาแล้วนำไปเปรียบเทียบกับความถี่ที่ตัวมันสร้างขึ้นมา ในวงจรนี้ได้ตั้งความถี่ของ 567 ไว้ประมาณ 2.2 กิโลเฮริตซ์ (โดยใช้ค่า RC ตามสูตรที่กล่าวมาแล้ว) ถ้าความถี่ทางด้านรับตรงกับทางด้านส่งจะทำให้เอาต์พุตที่ขา 8 มีค่าเป็นลอจิก 0 หมายความว่าไม่มีอะไรมาบังตัวรับกับตัวส่งในทางกลับกันถ้าความถี่ไม่ตรงกันเอาต์พุตที่ขา 8 จะค่าเป็นลอจิก 1 คือมีการบังระหว่างตัวรับกับตัวส่ง ซึ่งแสดงว่ามีขโมยเข้ามานั่นเอง



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรเอฟเอ็มดีมอดดูเลเตอร์โดย ไอ.ซี. TDA7000

เมื่อเกิดการบังลำแสงอินฟราเรดขึ้นอย่างที่ได้อธิบายไปแล้วนั้น ไอซี LM 567ในวงจรภาครับคลื่นวิทยุนี้จะทำการดีเทคสัญญาณออกมาแล้วส่งสัญญาณเตือนภัยที่ได้นี้ไปยังภาคโทรออกอัตโนมัติให้เริ่มการทำงาน จะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้วงจรดีเทคสัญญาณในจุดนี้เป็นตัวกำหนดการทำงานของเครื่องโทรศัพท์อัตโนมัติ คือ ถ้าสัญญาณเอาต์พุตเป็น 0 ภาคโทรออกอัตโนมัติจะไม่ทำงาน แต่ถ้าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้เป็น 1 จะทำให้วงจรต่างๆในภาคโทรออกอัตโนมัติมีการทำงานเป็นอย่างระบบ

3.4 ภาคโทรออกอัตโนมัติ

ภาคโทรออกอัตโนมัตินี้เป็น ชุดโทรศัพท์อัตโนมัติที่มีระบบการทำงานหลายส่วนสามารถแบ่งออกเป็นวงจรต่างๆ ได้แก่ วงจรเรียกอัตโนมัติ,วงจรเรียกซ้ำ,วงจรตรวจสอบการรับสายและวงจรบันทึกเสียง เมื่อเกิดการบังลำแสงขึ้นไอซี LM567 ในวงจรภาครับคลื่นวิทยุ ซึ่งทำการดีเทคสัญญาณมายังภาคโทรออกอัตโนมัติ โดยสัญญาณอินพุตจะผ่านออเกตเข้ามายังขา 2 ของไอซี 555 ในวงจรขับรีเลย์เพื่อทำการขับสัญญาณผ่านตัวรีเลย์ออกไปยังวงจรเรียกอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการทำงานในภาคโทรออกอัตโนมัติ

วงจรมัลติไวเบรเตอร์คือ วงจรที่ใช้สร้างรูปคลื่นพัลซ์สี่เหลี่ยม มี 3 ชนิด คือวงจรโมโนสเตเบิล (Monostable) วงจรไบสเตเบิล (Bistable) และวงจรอะสเตเบิล (Astable)

วงจรโมโนสเตเบิล หรือวงจรวันช็อต (One-Shot Multivibrator) เป็นวงจรที่สร้างหรือกำเนิดรูปคลื่นสี่เหลี่ยมครั้งละ 1 พัลซ์ โดยต้องมีสัญญาณพัลซ์กระตุ้น (Trigger Pulse) จากภายนอกเป็นตัวกำหนดจำนวนของพัลซ์เอาต์พุต และพัลซ์สี่เหลี่ยมที่กำเนิดได้จากวงจรโมโนสเตเบิลสามารถกำเนิดพัลส์วิดธ์ของสัญญาณได้

ในวงจรโมโนสเตเบิลถ้ากำหนดให้แหล่งจ่ายไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ Vcc จะทำให้ค่า V_{R3} = 1/3Vcc และ $V_{(R2+R3)}$ = 2/3 Vcc และเมื่อวงจรได้รับการกระตุ้น, C_A จะเก็บประจุจนแรงดันตกคร่อมเท่ากับ 2/3Vcc และจะคายประจุกลับไปสู่สภาวะก่อนการกระตุ้นอีกครั้งหนึ่งเวลาที่C_A ใช้ในการเก็บประจุจากแรงดันศูนย์ถึง2/3 Vcc คือขนาดพัลซ์วิดธ์ของสัญญาณเอาต์พุต(t = PW) เวลาดังกล่าวคำนวณได้จากสมการ

$$t = C.R\ in(E-E_0)/(E-e_c)$$

จากวงจร 2.30 $C = C_A, R = R_A, E = Vcc, E_0 = 0V$

e_c = 2/3Vcc (ในสภาวะสุดท้ายหลังจากการกระตุ้น)

เมื่อแทนค่าในสมการได้ว่า

$$t = 1.1\ C_A,R_A \qquad (3.1)$$

เมื่อ e_c = 2/3Vcc แรงดันตกคร่อม R_A เท่ากับ

$$V_{RA} = Vcc - 2/3.Vcc = 1/3Vcc$$

กระแสที่เก็บประจุใน C_A คือ

$$ไอ.ซี._{(min)} = (1/3Vcc)/ R_A$$

$$R_A = Vcc/3.\ ไอ.ซี._{(min)} \qquad (3.2)$$

ดังนั้นในการออกแบบวงจรจะกำหนดขั้นตอนดังนี้

5) ดูค่า I_{th} จากคู่มือ ของไอ.ซี.เบอร์555
6) กำหนดค่า ไอ.ซี.$_{(min)}$>> I_{th} ประมาณ 100 เท่า
7) คำนวณค่า R_A จากสมการ 3.2
8) คำนวณค่า C_A จากสมการ 3.1

3.4.1 วงจรเรียกอัตโนมัติ

เมื่อวงจรขับรีเลย์ทำงาน หน้าสัมผัสของรีเลย์ 1 และรีเลย์ 2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์เชื่อมต่อในสัญญาณผ่านเข้าไปยังวงจรเรียกอัตโนมัติให้ทำงาน วงจรเรียกอัตโนมัติจะทำการส่งสัญญาณเรียกออกไปยังเลขหมายปลายทางที่บันทึกไว้ โดยในโตขครงงานนี้จะนำไอซี UM91210C มาใช้ในวงจรเรียกอัตโนมัตินี้

ไอ.ซี.ชุดเรียกอัตโนมัติเบอร์ UM91210C มีคุณสมบัติดังนี้

- เป็นไอ.ซี.ตีตะขาบ 18 ขาที่ทำหน้าที่เป็นวงจรเข้ารหัสสัญญาณโทรศัพท์ในระบบพัลซ์ และระบบโทน (Pulse / Tone Encoder) ที่มีการจ่ายข้อมูลสุดท้ายเพื่อเรียกทวนข้อมูลที่เรียกว่าระบบราไดอัล
- เป็นไอ.ซี.ที่ใช้ระบบกดปุ่มมิใช่ระบบที่ใช้หลักการหมุนหน้าปัดไทม์หรือระบบที่เราเรียกว่าระบบทัชโทนและทัชพัลซ์
- ความจุข้อมูลสำหรับการทวน (Redial) จำนวน 32 ตำแหน่งหมายเลข
- เป็นระบบทวนหมายเลขสุดท้ายของระบบพัลซ์หรือโทนที่สามารถทวนได้ไม่จำกัดแต่ต้องหลังจากการกด หยุด หรือกดฮุคสวิสต์
- การพอสแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการเคลียร์วงจรไม่เกิน 3.6 วินาที
- เป็นไอ.ซี.ซีมอสที่กินกำลังน้อยมากโดยใช้ไฟเลี้ยงวงจร 2.0 ถึง 5.5 โวลต์
- หมายเลขกลุ่มลุดท้ายจะถูกส่งเข้าหน่วยเก็บข้อมูล หรือระบบรีไดอัลและมันจะล้างข้อมูลอัตโนมัติเมื่อเรากดหมายเลขใหม่เข้าไปในเวลาต่อไป
- วงจรกำเนิดความถี่ใช้คริสตอลความถี่ 3.579545 เมกกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นหน่วยความถี่อ้างอิง
- อัตราส่วนของการเมคและเบรกในระบบพัลซ์สามารถเลือกได้ว่าจะเป็น 33.3/66.6 หรือ 40/60 ด้วยขาเมคและเบรกของไอ.ซี.
- ใช้ทัชคีย์ตำแน่ง P แทนการกดฮุคสวิทช์ได้ โดยมีเวลาหน่วงรีเซ็ตวงจรไม่เกิน 0.58 วินาที
- ใช้คีย์บอร์ดเมตริกซ์ 4 คูณ 4 หรืออาจสร้างเป็นเมตริกซ์ 2 ใน 8 ก็ได้
- ในขณะสแตนด์บายกินกระแสน้อย

หลักการทำงานของวงจรชุดเรียกโทรศัพท์อัตโนมัติ

เมื่อรีเลย์ ทำงานหน้าสัมผัสของรีเลย์ RY1 ก็จะสัมผัสกัน รีเลย์ RY1 เป็นตัวตัดต่อวงจรเข้ากับคู่สายโทรศัพท์โดยมีบริดจ์ไดโอดทำหน้าที่ปรับขั้วของแรงดันจากคู่สายโทรศัพท์ให้มีขั้วที่แน่นอนก่อนผ่านไอโอด D2 และ R7 ผ่านซีเนอร์ไดโอด D5 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรเร็กกูเลเตอร์ 3.6 โวลต์ โดยมี C15 ทำหน้าที่เป็นวงจรฟิลเตอร์ป้อนไฟเลี้ยงให้กับ ไอ.ซี.2 เบอร์ UM91210C ที่ขา 10 โดยจะต้องต่อคู่สายโทรศัพทเข้ากับวงจรตลอดเวลาเพื่อให้มีไฟเลี้ยงจ่ายกับวงจรตลอดเวลาและไม่ให้เบอร์โทรศัพท์ที่เรากดครั้งสุดท้ายหายไป วงจรชุดเรียกโทรศัพท์อัตโนมัติใช้หลักการของรีไดอัลทำการบันทึกหมายเลข

คำสั่งจะถูกสั่งจากคีย์บอร์ดที่เป็นระบบเมตริกซ์ โดยทางคอลัมน์จะมีสถานะเป็นโลจิก 0 และทางโรว์จะมีสถานะเป็นลอจิก 1 ในภาวะปกติเมื่อกดคีย์บอร์ดในแต่ละปุ่มวงจออสซิลเลเตอร์จะเริ่มทำการแสกนความถี่ระหว่างโรว์กับคอลัมน์ ด้วยความถี่สแกนนิ่ง 445 เฮริทซ์ และเป็นคีย์ประเภทที่สามารถดีเบาส์ด้วยวงจรในไอ.ซี.

ขา 5 ของไอ.ซี. UM91210C เป็นขาฮุคสวิตช์ หรือขา HS เราใช้แทนการกดที่วางหูหรือฮุคสวิตช์ที่วางหูของตัวเครื่องรับโทรศัพท์ปกติต้องต่อกับขานี้ลงกราวด์ หากเราจ่ายไฟเลี้ยงขานี้เป็นบวกเมื่อไรมันจะมีสภาพเหมือนเรากดฮุคสวิตช์ทันที จากวงจรเมื่อรีเลย์ทำงานต่อคู่สายโทรศัพท์ก็จะทำให้มีกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q1 ที่มี R8 และ R9 ทำหน้าที่เป็นโวลต์เตจดีไวเดอร์เมื่อขา 5 ได้รับไฟบวกก็จะเหมือนกับเป็นการยกหูโทรศัพท์

ขา 6 ของไอ.ซี.เป็นขาเมค / เบรก เพื่อใช้ในระบบพัลซ์แต่ในวงจรใช้เป็นระบบโทนเราจึงต่อขานี้ลงกราวด์

ขา 7 เป็นขาเลือกการทำงาน (Mode Select) ถ้าต้องการใช้ระบบโทนต้องต่อขา 7 ลงกราวด์ ถ้าต้องการใช้ระบบพัลซ์ต้องต่อขานี้เข้าไฟบวก

ขา 14 เป็นขาไดอัลพัลซ์เอาต์ (DP) โดยปกติขานี้จะ On เมื่ออยู่ตำแหน่ง "เบรค" และ Off เมื่ออยู่ในระหว่างการ "เมค" ซึ่งมันจะทำงานอย่างนี้ได้ขาฮุคสวิตช์ (ขา 5) ต่อลงไฟลบเอาต์ ขานี้จะ Off หากขา 5 ต่อกับไฟบวก

ขา 12 ขาเอาต์พุตของสัญญาณโทน (Tone Out) จะเกิดขึ้นเมื่อเรากดคีย์ในโหมดของดีทีเอ็มเอฟ ความถี่กลุ่มความถี่ต่ำกับความถี่กลุ่มความถี่สูงถูกสร้างขึ้นในวงจรไฮบริดจ์ส่งความถี่สองโทนเสียงออกเอาต์พุต ความถี่ที่ขาโทนเอาต์พุตจะออกไม่ได้แม้เรากดปุ่มคีย์แล้วก็ตาม หากเลื่อนไปที่โหมดพัลซ์ ค่าความถี่ของโทนความถี่เสียงสามารถกำหนดได้ดังนี้

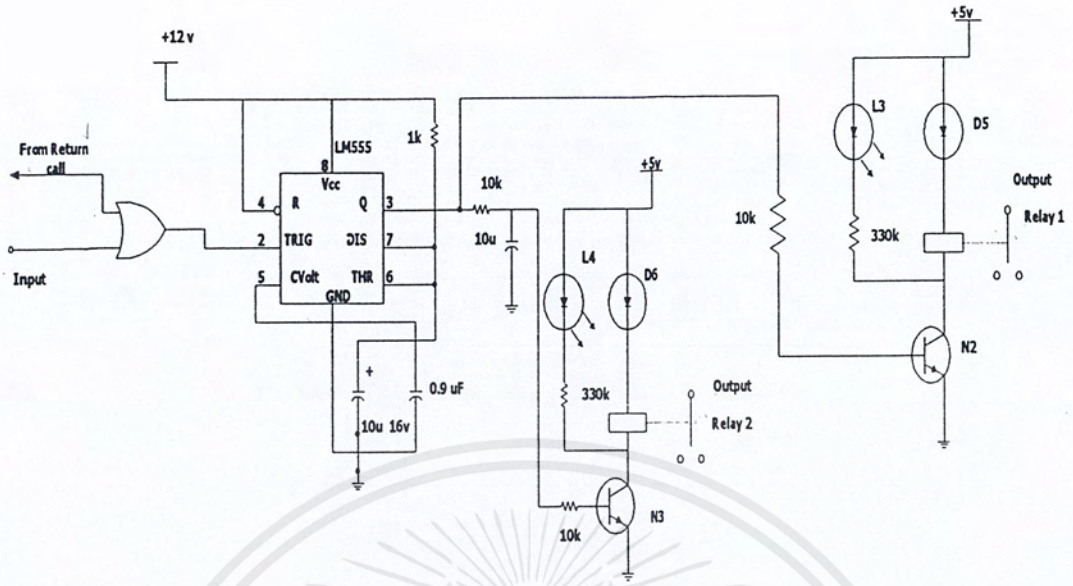
ขาอินพุต	ความถี่ตามเกณฑ์	ความถี่แอคชวล	ความผิดพลาด
R1	697 Hz	699.1 Hz	0.31%
R2	770 Hz	766.2 Hz	-0.49%
R3	852 Hz	847.4 Hz	-0.54%
R4	941 Hz	948.0 Hz	0.74%
C1	1209 Hz	1205.7 Hz	0.57%
C2	1336 Hz	1331.7 Hz	-0.32%
C3	1447 Hz	1471.9 Hz	-0.33%

ตารางที่ 3.1 การกำหนดค่าความถี่ของโทนความถี่เสียง

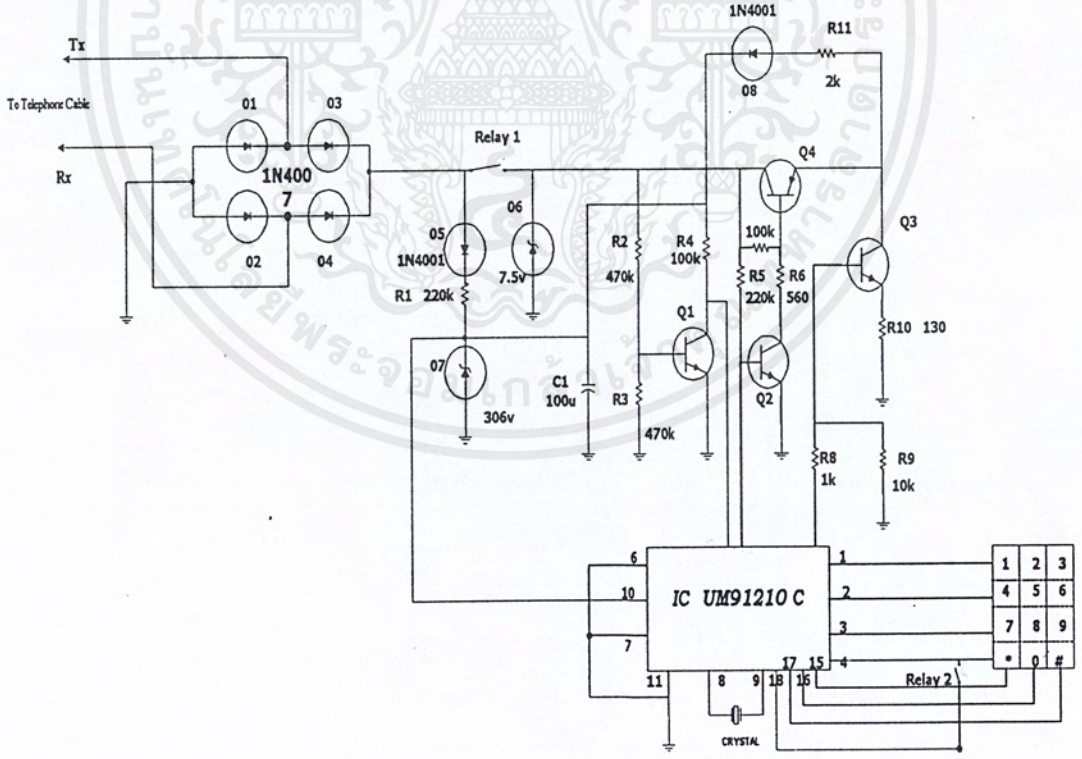
ที่ขา 8 และขา 9 จะต่ออยู่กับคริสตอลความถี่ 3.579 เมกกะเฮิรตซ์ ที่ทำหน้าที่ควบคุมความถี่ของไอ.ซี. 2 เพื่อให้สร้างเป็นความถี่ส่งออกมาทางขา 12

ที่ขา 1 – 4 เป็นขาทางแนวนอนที่ต่อไปยังคีย์สวิตช์ที่เป็นแบบเมตริกซ์ คือ ขา R1 - R4 ตามลำดับ

ที่ขา 15 – 18 เป็นขาทางแนวตั้งหรือขาของคอลัมน์ต่อไปยังคีย์สวิตช์ที่เป็นแบบเมตริกซ์ ที่ขา C1 ถึง C4 ตามลำดับ



วงจรขับรีเลย์



รูปที่ 3.7 วงจรขับรีเลย์และวงจรเรียกอัตโนมัติ

3.4.2 วงจรเรียกซ้ำ

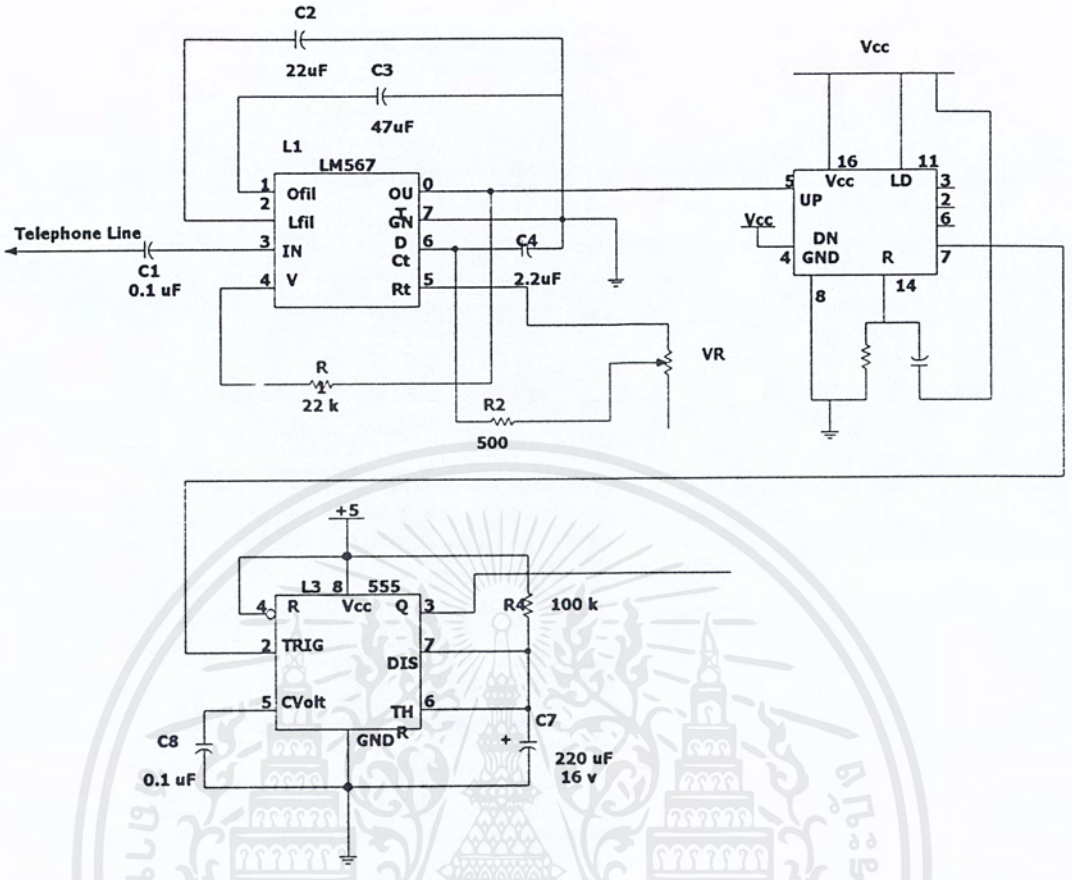
เมื่อชุดเซ็นเซอร์สามารถตรวจจับขโมยตามจุดต่างๆที่เราดักเอาไว้ได้และวงจรเรียกอัตโนมัติทำการส่งสัญญาณเรียกออกไปยังเลขหมายปลายทางที่กำหนดไว้ ทำให้เครื่องโทรศัพท์เตือนภัยอยู่ในสภาวะยกหูโทรศัพท์เป็นเวลา 25 วินาที แล้ววางหูโทรศัพท์ อาจกล่าวได้ว่า การทำงานในหนึ่งรอบของเครื่องโทรศัพท์เตือนภัยใช้เวลา 25 วินาที

ในกรณีปกติเมื่อมีผู้รับสาย ขณะที่เครื่องโทรศัพท์เตือนภัยอยู่ในสภาวะยกหูเป็นเวลา 25 วินาที จะเกิดกระบวนการการทำงานหลายๆส่วนดังนี้ มีการเรียกไปยังเลขหมายปลายทาง 3 วินาที , รอผู้รับสายปลายทางรับโทรศัพท์ไม่เกิน 15 วินาที , เมื่อมีผู้รับสายแล้ววง ,รบันทึกเสียงจะทำการส่งสัญญาณเสียงพูดที่อัดไว้ออกไปตามคู่สายประมาณ 15 วินาที ยกหูค้างอีกประมาณ 5 วินาที

ในกรณีสายไม่ว่างขณะที่เครื่องโทรศัพท์เตือนภัยอยู่ในสภาวะกำลังยกหูเป็นเวลา 25 วินาที ประกอบไปด้วยการทำงานที่ต่างกันออกไป จากตอนแรกกล่าวคือ จะเกิดกระบวนการทำงานอันประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้ คือ มีการเรียกไปยังเลขหมายปลายทางที่บันทึกไว้ 3 วินาที, ได้รับสัญญาณสายไม่ว่าง เป็นเวลา 22 วินาที จากนั้นเครื่องโทรศัพท์เตือนภัยจะอยู่ในสภาวะวางหูโทรศัพท์ หลังจากนั้นอีกประมาณ 6 วินาที ก็จะมีการยกหูโทรศัพท์ขึ้นมาใหม่และจะเป็นเช่นนี้เรื่อยๆไปจนกว่าจะมีผู้รับสายปลาย

ส่วนกรณีที่ไม่มีผู้รับโทรศัพท์ขณะที่เครื่องโทรศัพท์ยกหูโทรศัพท์ภายในเวลา 25 วินาที จะเกิดกระบวนการทำงานคล้ายกรณีที่สายไม่ว่าง คือ เรียกไปยังเลขหมายปลายทาง 3 วินาที , ได้รับสัญญาณตอบกลับเป็นเวลา 22 วินาที จากนั้นเครื่องโทรศัพท์เตือนภัยจะทำการวางหูโทรศัพท์ หลังจากนั้นประมาณ 18 วินาที ก็จะมีการยกหูโทรศัพท์ขึ้นมาใหม่อีก และจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะมีผู้รับสายปลายทาง ถ้ามีผู้รับสายปลายทาง การทำงานจะเป็นไปตามกรณีปกติดังที่กล่าวไว้แล้ว

จากรูปวงจรชุดเรียกซ้ำในกรณีที่สายปลายทางไม่ว่าง หรือในกรณีที่ปลายทางไม่มีผู้รับสาย สัญญาณไม่ว่าง หรือสัญญาณเรียกกลับ จะเข้ามาที่ขา 3 ของไอ.ซี.LM 567 ซึ่งเป็นวงจรดีเทคทำการตรวจจับสัญญาณเหล่านี้ไว้ได้ทำให้เกิดเป็นสัญญาณพัลซ์ออกมาที่ขา 8 สัญญาณพัลซ์ที่ได้นี้จะถูกป้อนเข้าไปที่ไอ.ซี. 74192 ซึ่งเป็นวงจรเคาท์เตอร์ทำการนับสัญญาณที่เข้ามา หากเกิน 7 ครั้งจะทำให้ได้สัญญาณเอาท์พุตซึ่งจะกลายเป็นสัญญาณอินพุตของไอ.ซี. 555 สัญญาณอินพุตที่ได้นี้ส่งผลให้เอาต์พุตที่ได้จากขา 3ของไอ.ซี. 555 เปลี่ยนสภาวะจากเดิมที่เป็น “0” กลายเป็น “1” เป็นระยะเวลา 25 วินาที และจะมีผลทำให้เอาต์พุตของ ออเกต เปลี่ยนสภาวะจาก “0“ เป็น “1” ตามไปด้วย จนกระทั่งครบเวลา 25 วินาที เอาต์พุตของออเกต จะเปลี่ยนสภาวะจาก “1” เป็น “0” (ขอบขาลง) ซึ่งก่อนหน้าที่จะถึงจุดนี้ประมาณ 6 วินาที เครื่องโทรศัพท์เตือนภัยซึ่งอยู่ในสภาวะวางหูมาตลอดก็จะเปลี่ยนไปอยู่ในสภาวะยกหูทันทีไปอีกประมาณ 25 วินาที เนื่องจากได้รับสัญญาณขอบขาลงที่มาจากเอาต์พุตของออเกต(สัญญาณขอบขาลงที่มาจากเอาต์พุตของออเกตจะเป็นตัวสั่งให้เครื่องโทรศัพท์เตือนภัยอยู่ในสภาวะยกหูแต่ถ้าอยู่ในสภาวะยกหูอยู่แล้วก็จะไม่เกิดอะไรขึ้น) และการทำงานจะวนรอบเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆจะกว่าจะมีผู้รับสาย ชุดเรียกซ้ำจึงจะหยุดทำงาน



รูปที่ 3.8 วงจรเรียกซ้ำ

3.4.3 วงจรตรวจสอบการรับสาย

ในวงจรนี้เราใช้ไอซีเบอร์ LM567 เป็นไอซีสำหรับตรวจจับสัญญาณเสียง(ในที่นี้เราให้ตรวจจับสัญญาณตอบรับ) ไอซีเบอร์567จะมีเอาท์พุตได้ตามต้องการ เมื่อมีสัญญาณอินพุทอยู่ภายในแบนด์ที่เรากำหนด โดยที่ความถี่กลางที่จะถูกตรวจจับจะเท่ากับความถี่อิสระที่เกิดจาก VCO (Voltage Control Oscillator)

ค่าแบนด์วิดท์ของฟิลเตอร์โดยประมาณจะเท่ากับ

$BW = 1070Vi / (f_0C_2)$ ใน% ของ f_0

Vi = อินพุตโวลท์เตจ (ในหน่วยอาร์เอ็มเอส)

C_2 = ค่าคาปาซิแตนซ์ที่ Pin 2 (ฟารัด)

ลักษณะของไอซีนี้

- ปรับค่าแบนด์วิดด์ได้ 0-14 %
- มีอัตราส่วนการกำจัดสัญญาณนอกแบนด์และน้อยส์สูง
- ป้องกันสัญญาณผิดพลาด
- มีเสถียรภาพสูงที่ความถี่ปานกลาง
- ความถี่กลางที่สามารถปรับได้จาก 0.01 เฮิรตซ์ถึง 500 กิโลเฮิรตซ์

การนำไปใช้งาน

- ออสซิเลเตอร์ที่มีค่าแม่นยำ
- แสดงและควบคุมความถี่
- Wide Band FSK ดีมอดูเลเตอร์
- ควบคุมวงจรอัลตราโซนิค

วงจรนี้ทำหน้าที่ตวรจจับความถี่ที่เข้ามาว่าตรงกับค่าที่เราต้องการหรือไม่ ถ้าตรงจะให้เอาท์พุต เป็นระดับสัญญาณไฟตรงเป็น 0 โวลท์ ถ้าความถี่ที่เข้ามามีค่าไม่ตรงกับค่าที่ตั้งไว้ จะให้เอาท์พุตเป็น ระดับสัญญาณไฟตรงเป็น 5 โวลท์

ในโครงงานนี้ใช้ไอซี LM567 ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับความถี่ โดยอาศัยการทำงานของเฟสล็อก ลูป ซึ่งหลักการของเฟสล็อกลูปได้อธิบายแล้วในส่วนของวงจรภาครับคลื่นวิทยุ

ซึ่งคุณสมบัติค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการออกแบบในวงจรไอซี LM567 กำหนดได้ดังนี้

$$f_{osc} = 1/1.4R_TC_T$$

โดย R_T ควรจะมีค่าระหว่าง 2กิโลถึง20กิโล

$C_T \geq 130 / f_{osc}$ ไมโครฟารัด

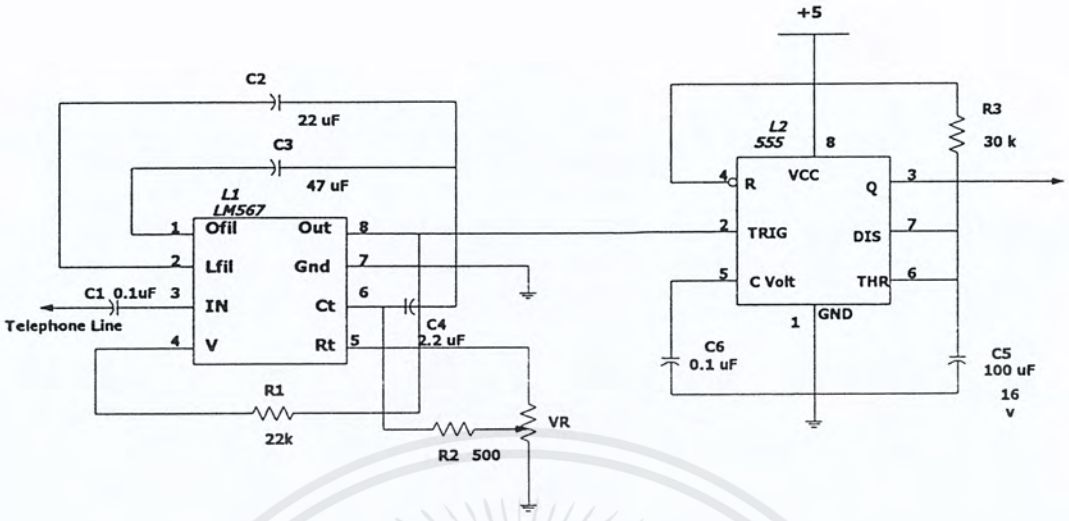
$C_3 \geq 260 / /f_{osc}$ ไมโครฟารัด

วงจรจะทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณปลายทาง ถ้ามีผู้รับสายแล้วก็จะไปกระตุ้นให้ส่วนบันทึกเสียง พูดส่งสัญญาณไปยังปลายทาง โดยอาศัย ไอ.ซี. 567 ซึ่งเป็น ไอ.ซี.เฟสล็อคลูป เป็นตัวตรวจจับสัญญาณ ตอบรับ ซึ่งจะมีสัญญาณ ประมาณ 1 วินาที ความถี่ประมาณ 425 กิโลเฮริทซ์ ปกติเอาต์พุต ไอ.ซี. 567 ให้ ลอจิก"1" แต่เมื่ออินพุต เป็น 425 เฮริทซ์ จากสัญญาณตอบรับ ก็จะให้เอาต์พุต ไอ.ซี. 567 เป็น ลอจิก "0" โดยความถี่ 425 เฮริทซ์ ได้จากสูตร

$$f = 1 / \{(VR)*C4\}$$

โดย C4 = 2.2 ไมโครฟารัด เราปรับค่าวี.อาร์.ให้ ความถี่ใกล้เคียงกับ 425 เฮริทซ์ เพื่อตรวจสอบ ให้เอาต์พุต เป็นโลจิก "0" เมื่อเอาต์พุตของไอ.ซี. 567 เปลี่ยนลอจิกจาก "0" เป็น "1" เกิดการทำงานขอบ ขาลงเป็นผลให้ ไอ.ซี. 555 ซึ่งออกแบบเป็นวงจรโมโนสเตเบิล ให้เอาต์พุตเป็นโลจิก "1" เป็นเวลา ประมาณ 3.3 วินาที โดยใช้สูตร

$$T = 11 * R * C$$



รูปที่ 3.9 วงจรดีเทคเมื่อมีผู้รับสายปลายทาง

ซึ่งเราใช้ R=30กิโลโอห์ม และ C=100 ไมโครฟารัด ทำให้ได้ T=3.3 วินาที ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตของไอ.ซี. 567 และ ไอ.ซี. 555 จะเป็นไปตามสัญญาณ ตอบรับที่ได้รับมา สัญญาณของเอาต์พุตของไอ.ซี. 555 จะนำไปกระตุ้นให้วงจรบันทึกเสียงพูดทำงานโดยนำเอาต์พุตของไอ.ซี. 555 ป้อนที่ขาที่ 23 ของไอ.ซี. ISD 1420 ซึ่งขาที่ 23 นี้เป็นขาเพลย์ของวงจรบันทึกเสียงพูดจะทำงานให้เสียงพูดตามที่เราบันทึกไว้ เมื่อขา 23 มีลอจิก "0" จากรูปข้างต้นจะเห็นว่าในช่วงที่มีสัญญาณ ตอบรับ จะมีการเล่นประมาณ 2.7 วินาที แต่ก็ไม่เป็นผลเสียอะไร เพราะเมื่อขา 23 ได้ลอจิก "1 " ก็จะมีค่าเหมือนให้สวิตช์เล่นมีสถานะเป็นปิด แต่เมื่อขา 23 ได้ลอจิก "0" ก็จะมีค่าเหมือนให้เล่นมีสถานะเป็นเปิด ซึ่งเมื่อสวิตช์เล่นมีสถานะเป็นเปิดก็จะเริ่มเล่นใหม่ทุกครั้ง เมื่อมีผู้รับสายปลายทางก็จะไม่มีสัญญาณตอบรับกลับมาก็จะเป็นผลให้เอาต์พุตไอ.ซี. 555 เป็นลอจิก"0" เป็นผลให้สวิตช์เล่นอยู่สถานะ เปิดตลอดไปให้เสียงพูดที่เราบันทึกไว้แก่ผู้รับสายปลายทาง

3.4.4 วงจรบันทึกเสียง

เบื้องต้นของการทำงานนั้นต้องเข้าใจหรือทราบรายละเอียดของคุณสมบัติทางเทคนิคของไอ.ซี. ตระกูลนี้กันเสียก่อน ดังแสดงตารางคุณสมบัติทางเทคนิคหรือไฟฟ้าไว้ในตารางที่ 2 รายละเอียดในตารางนี้มีความสำคัญมากต่อการใช้เป็นค่าอ้างอิงในการออกแบบใช้งาน และการทำงานเบื้องต้นในที่นี้จะกล่าวถึงหน้าที่การใช้งานของแต่ละขาทั้งหมดเพราะหากกล่าวถึงการทำงานธรรมดาก็คือ ไอ.ซี.บันทึกเสียงนั่นคือการทำงาน แต่การทำงานของแต่ละขาและหน้าที่ของแต่ละขาจะมีความสำคัญมากกว่า เพราะจะสามารถนำเอาไอ.ซี.ไปใช้งานได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย (ไอ.ซี.ไม่เสียหายก่อนจะใช้ทำงานได้)

ขา 1-10 ขาแอดเดรสและโหมดอินพุตจะมีอยู่สองฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับระดับของสอง MSB ของขาแอดเดรส ถ้าแอดเดรสใดแอดเดรสหนึ่งของสอง MSBs เป็น "0" อินพุทก็จะปรากฏขึ้นที่แอดเดรสบิตทั้งหมดและใช้เป็นแอดเดรสเริ่มต้นสำหรับวงรอบการบันทึกและเล่นกลับ และขาแอดเดรสจะเกิดการแลตช์

โดยขอบขาลงของพัลส์ที่ขา CE มีสถานะเป็น "1" ขาแอดเดรส/โหมดอินพุต จะมาขึ้นอยู่ที่โหมดบิตทั้งหมด และเกิดการแลตช์เมื่อขอบขาลงปรากฏที่ขา CE

ขา 11 จะเป็นขารับอินพุตจากภายนอก ซึ่งเป็นการมัลติเพล็กซ์สัญญาณผ่านออกไปทางเอาต์พุตของวงจรขยายภายในและขับออกสู่เอาต์พุตลำโพง โดยขั้นตอนการทำงานนี้เกิดขึ้นเมื่อขา CE มีถานะเป็น "1" วงรอบของการเล่นกลับก็จะสิ้นสุดลง หรือเมื่อสัญญาณที่บันทึกไว้ถูกเล่นกลับจนหมดสิ้นแล้วมีการต่อคาสเคด ISD25xx กันหลายๆตัว ขา AUX IN จะถูกใช้ต่อเข้ากลับสัญญาณเล่นกลับที่ออกมาจากขาเอาต์พุทลำโพงของตัวก่อนหน้านี้หรือจากตัวอันดับแรก

ขา 12 และ13 โดยคุณสมบัติของไอ.ซี.ในตระกูล ISD25xx จะมีการแยกกันระหว่างกราวด์ของสัญญาณอะนาลอกและกราด์ของสัญญาณดิจิตอล ขากราวด์ทั้งสองนี้จะถูกต่อและปิดไว้ภายในตัวถังของไอ.ซี. การใช้งานขากราวด์ทั้งสองนี้จะเลือกต่อกับกราวด์ของเพาเวอร์ซัพพลายในส่วนที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำเพื่อไม่ต้องการให้เกิดค่าแรงดันที่แตกต่างกันระหว่างกราวด์ทั้งสอง

ขา 14 และ 15 เป็นขาเอาต์พุตต่อออกลำโพง ในตระกูล ISD25xx นี้ จะมีวงจรขับสัญญาณความแตกต่างออกสู่ลำโพง ซึ่งประกอบอยู่ในตัวไอ.ซี.เรียบร้อยแล้ว โดยมีความสามารถในการขับลำโพงเอาต์พุตได้ 50 มิลลิวัตต์ ที่โหลดลำโพง 16 โอห์ม ขาต่อลำโพงเอาต์พุตทั้งสองนี้จะไม่ต่อขนานกันโดยตรงเด็ดขาดเมื่อต้องถูกใช้ต่อคาสเคดกันหลายๆ ตัว และไม่เหมาะในการต่อลำโพงขนานกันทางเอาต์พุตหลายตัว โดยเฉพาะในบางครั้งขาเอาต์พุตลำโพงสามารถต่อคาสเคดกับตัวไอ.ซี.อีกตัวได้ฤโยตรง เพราะมีตัวเก็บประจุคับปลิ้งอยู่ภายในเรียบร้อย

ขา 16 และ 28 เป็นขารับแรงดันที่จะต้องแยกกันต่างหากระหว่างขารับแรงดันของวงจรอะนาลอกและวงจรดิจิตอล ที่ประกอบอยู่ภายในตัวไอ.ซี.แล้ว ขารับแรงดันต้องการไฟเลี้ยง +5 โวลต์ และต้องเป็นแรงดันไฟเลี้ยงที่มีสัญญาณรบกวนต่ำมาก

ขา 17 จะรับสัญญาณอินพุตที่ผ่านเข้ามายังไมโครโฟนแล้วส่งผ่านสัญญาณเข้าสู่วงจรปรีแอมป์ที่ประกอบอยู่ภายในตัวไอ.ซี. ภายในประกอบด้วยวงจรควบคุมอัตราการขยายอัตโนมัติ (AGC) โดยวงจรนี้จะทำหน้าที่ควบคุมอัตราการขยายของวงจรปรีแอมป์ให้มีอัตราการขยายอยู่ในช่วง –15 ถึง 24 เดซิเบล ไมโครโฟนภายนอกจะถูกคับปลิงผ่านตัวเก็บประจุภายนอกในลักษณะอนุกรมกับขา 17 นี้ค่าความจุของตัวเก็บประจุคับปลิงจะกำหนดค่าโดยคำนึงถึงค่าความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม ที่ต่ออยู่ภายในขา 17 ของไอ.ซี.เพื่อทำให้เกิดการคัดออฟที่ความถี่ต่ำ

ขา 18 จะต่อขา 18 นี้เข้ากับกราวด์อะนาลอก ($_{ssa}$) โดยมีตัวเก็บประจุต่ออนุกรมอยู่ก่อน เพื่อทำหน้าที่กำจัดสัญญาณรบกวนให้ดีกว่า 10 เดซิเบล

ขา 19 เป็นขาอินพุตเพื่อควบคุมการปรับอัตราการขยายของปรีแอมป์ไมโครโฟนทางด้านไดนามิก เพื่อให้ระดับสัญญาณที่ทำการบันทึกมีความผิดเพี้ยนน้อยที่สุดขา AGC นี้จะต้องต่อร่วมกับอุปกรณ์ RC เพื่อกำหนดค่าเวลาคงที่โดยมีค่าความต้านทานภายใน 5 กิโลโอห์ม และจะต่อร่วมกับตัวเก็บประจุภายนอกอีกหนึ่งตัวผ่านลงกราวด์อะนาลอก ค่าที่เหมาะสมบางครั้งกำหนดไว้ที่ค่าความต้านทาน 470 กิโลโอห์ม และตัวเก็บประจุ 4.7 ไมโครฟารัด

ขา 20 จะรับสัญญาณที่ผ่านวงจรปรีแอมป์ออกมาทางขา 21 โดยผ่านตัวเก็บประจุคับปลิงภายนอก คับปลิงสัญญาณเข้าที่ขา 20 นี้ เพื่อผ่านสัญญาณเข้าไปทำการบันทึกไว้ภายในตัวไอ.ซี. ตัวเก็บประจุคับปลิงภายนอกนี้ จะต้องสัมพันธ์กันกับค่าความต้านทานภายในค่า 3 กิโลโอมห์ ซึ่งเป็นอินพุตอิมพีแดนซ์ เพื่อที่จะทำให้เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำแบบคัตออฟ

ขา 21 เป็นขาเอาต์พุตของวงจรปรีแอมป์ขยายสัญญาณจากไมโครฟนที่ได้รับการควบคุม อัตรการขยายจากวงจร AGC ภายในแล้ว

ขา 22 สัญญาณพัลส์ "0" จะปรากฏออกมาทางขาเอาต์พุตนี้เพื่เป็นการแสดงว่าสิ้นสุดการเล่นกลับหรือหน่วยความจำภายในตัวไอ.ซี.ได้ถูกอ่านออกมาหมดแล้วและจะแสดงเป็นสถาวะหยุดการเล่นกลับ พัลส์เอาต์พุตจากขา OVF นี้จะจ่ายให้กับขา CE อินพุตจนกว่าขา PD จะได้รับพัลส์เพื่อทำการรีเซต และเริ่มวงรอบการเล่นกลับใหม่อีกครั้ง พัลส์ที่ขา OVF นี้ สามารถใช้เริ่มต้นการทำงานของ ISD25xx ในตัวถัดไปได้ เมื่อถูกต่อคาสเคดกันอยู่หลายตัว

ขา 23 จา CE จะต้องได้รับสัญญาณพัลส์ "0" เพื่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเล่นกลับและการบันทึก ที่ขาแอดเดรสอินพุตและขา P/R อินภุตจะถูกแลต.จากพัลส์ขอบขาลงของพัลส์ที่ขา CE

ขา 24 ในขณะที่ไม่มีการบันทึกหรือเล่นกลับที่ขา PD จะมีสภาวะเป็น "1" ก็จะเป็นการรักษาระดับการสิ้นเปลืองกำลังงานในระดับต่ำมากๆ แต่เมื่อขา OVF มีสภาวะเป็น "0" ที่แสดงภางการเล่นกลับสิ้นสุดลง ปรากฏขึ้นขา PD ปกติจะเป็น "1" อยู่ในขณะนั้นก็จะถูกรีเซตและจะเริ่มกระบวนการบันทึกหรือเล่นกลับใหม่อีกครั้ง

ขา 25 เป็นส่วนของอุปกรณ์ non-volatile ภายในตัวไอ.ซี.ที่จะใช้กำหนดหรือระบุการสิ้นสุดของการเก็บข้อมูลที่ทำการบันทึกขา EOM นี้จะให้เอาต์พุตออกมาเป็น "0" เมื่อข้อมูลที่ถูกเล่นกลับออกมาหมดแล้ว

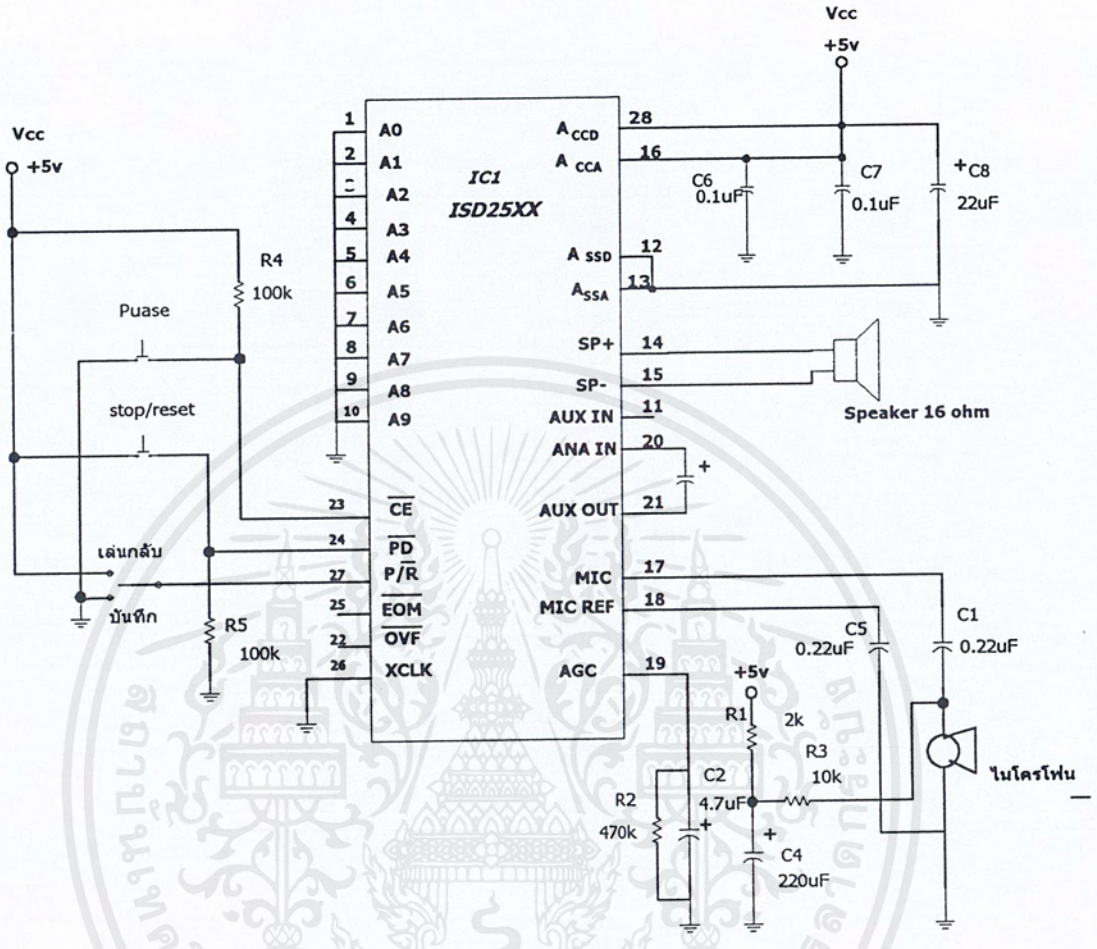
ขา 26 เป็นขารับสัญญาณนาฬิกาภายนอกเพื่กำหนดค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาในการสุ่มสัญญาณ แต่โดยปกติได้ระบุไว้ว่าสัญญาณนาฬิกาการสุ่มสัญญาณถูกกำหนดไว้ภายในแล้ว ซึ่งจะไม่ขึ้นกับอุณหภูมิภายนอกหรือย่านแรงดันไฟเลี้ยงที่ไม่คงที่ การใช้งานปกติแล้วจะต่อขา 25 นี้เข้ากับกราวด์ของไฟเลี้ยง

ขา 27 เมื่อขาอินภุตควบคุมการเล่นกลับและบันทึกได้รับพัลส์ "1" จะเป็นวงรอบของการเล่นกลับ และถ้าเป็น พัลส์ "0" จะเป็นการเลือกวงรอบการบันทึก ถ้าได้รับพัลส์ที่ขอบขาลงของขา CE จะเป็นการแลตช์อินพุตที่ขา P/R

เมื่อการทำงานทุกอย่างเชื่อมโยงกันอยู่แค่ภายในชิพตัวไอ.ซี.เพียงอย่างเดียว มีการต่ออุปกรณ์ภายนอกร่วมน้อยมากก็เป็นการง่ายที่จะประยุกต์เอาไอ.ซี.ในตระกูลนี้ไปใช้งาน

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
แรงดันอินพุตด้านต่ำ "0"	$_{IL}$	0.8	โวลต์
แรงดันอินพุตด้านสูง "1"	$_{IH}$	2	โวลต์
แรงดันเอาต์พุตด้วนต่ำ	$_{OL}$	0.4	โวลต์
แรงดันเอาต์พุตด้านสูง	$_{OH}$	Vcc-0.4	โวลต์
แรงดันเอาต์พุตด้านสูงที่ขา OVF	$_{OH1}$	2.4	โวลต์
แรงดันเอาต์พุตด้านสูงที่ขา EOM	$_{OH2}$	Vcc-1.0	โวลต์
กระแสของแรงดันไฟเลี้ยงที่ Vcc = 5 โวลต์	I_{CC}	25	มิลลิแอมป์
กระแสขณะสแตนด์บายที่ Vcc = 5 โวลต์	I_{SB}	1-10	ไมโครแอมป์
กระแสรั่วไหลทางอินพุต	I_{IL}	+1	ไมโครแอมป์
อิมพีแดนซ์ของโหลดเอาต์พุต	R_{EXT}	16	โอห์ม
ความต้านทานอินพุตของปรีแอมป์ไมโครโฟน	R_{MIC}	10	กิโลโอห์ม
ความต้านทานอินพุตของขาอินพุตภายนอก	R_{AUX}	10	กิโลโอห์ม
ความต้านทานอินพุตของขาอินพุตอะนาลอก	$R_{ANA}IN$	3	กิโลโอห์ม
อัตราการขยายของปรีแอมป์ 1	A_{PRE1}	24	เดซิเบล
อัตราการขยายของปรีแอมป์ 2	A_{PRE2}	5	เดซิเบล
อัตราการขยายของขา AUX (สัญญาณภายนอก)	A_{AUX}	1	โวลต์ต่อโวลต์
อัตราการขยายของภาคขยายเอาต์พุตลำโพง	A_{ARP}	22	เดซิเบล
ความต้านทานเอาต์พุตของขา AGC	R_{AGC}	5	กิโลโอห์ม
แรงดันไฟเลี้ยงตัวไอ.ซี.ทั้งหมด	$_{CC}$	5-7	โวลต์
อุณหภูมิขณะทำงาน	$_{S}$	-65-150	องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ ISD25xxx



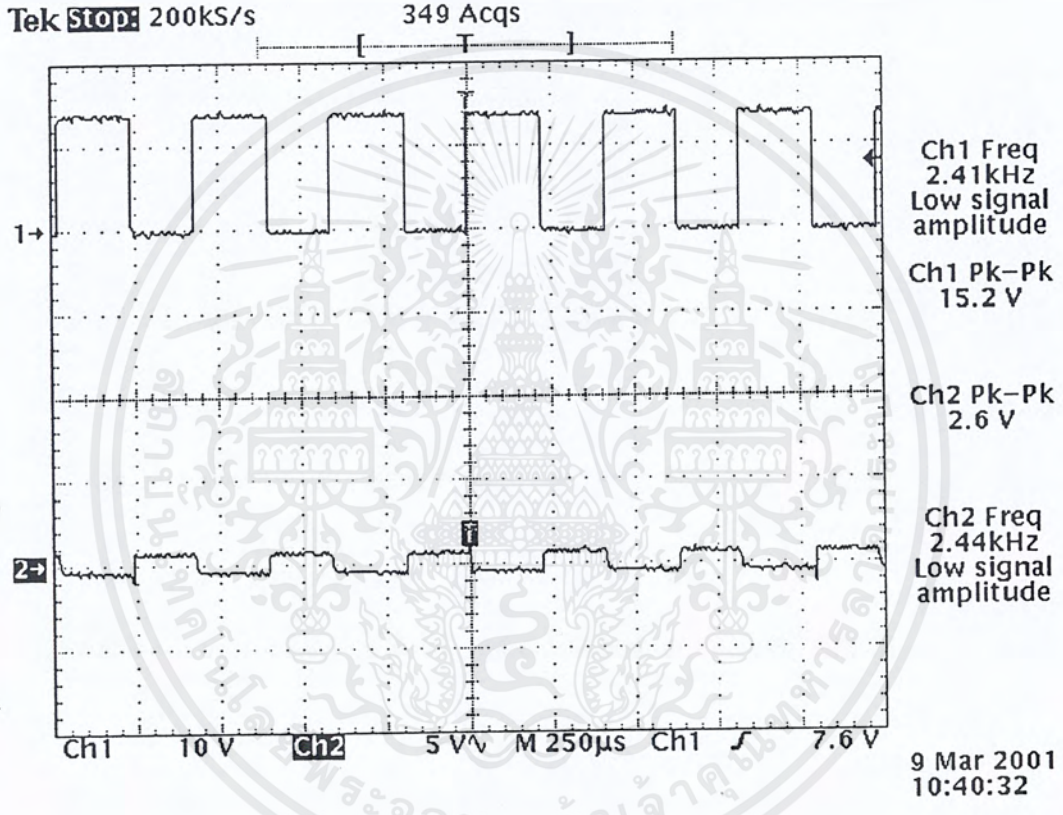
รูปที่ 3.10 วงจรบันทึกเสียง

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1. วงจรอินฟาเรดด้านส่ง

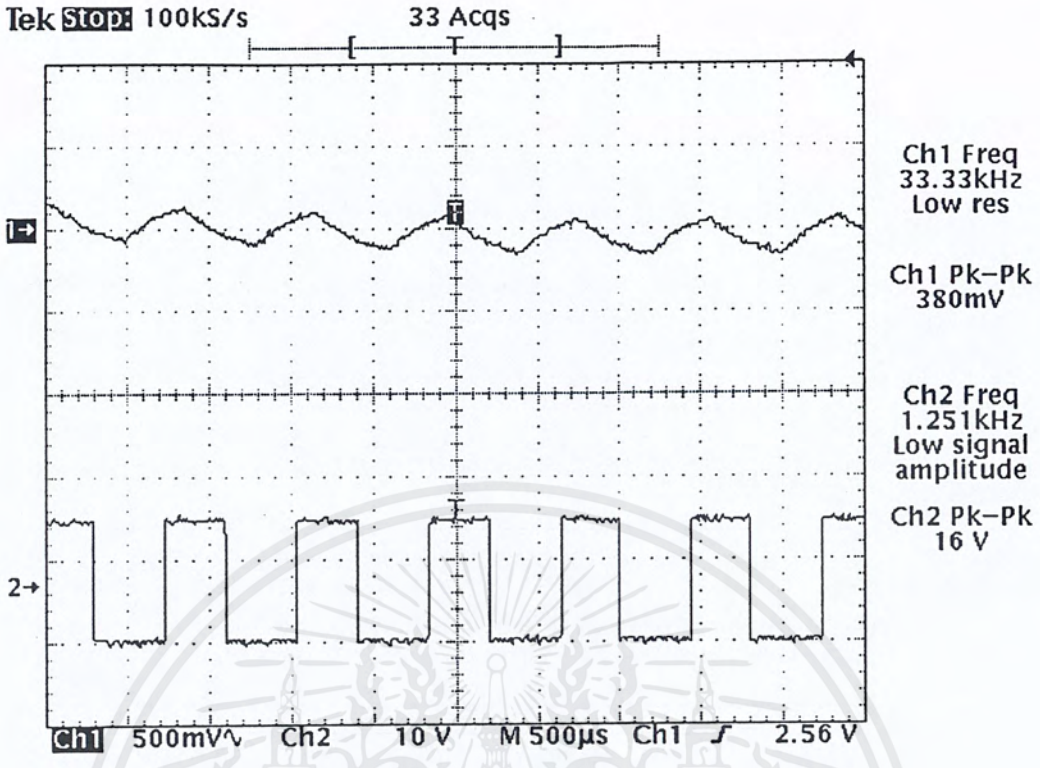
เมื่อทำการต่อวงจรแล้วเปิดเครื่องจะพบว่าจะเกิดสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม ขึ้นที่ขาเอาต์พุต ของไอ.ซี.555 วัดสัญญาณที่เอาต์พุตของไอ.ซี. 555 ได้สัญญาณที่ 1 ในรูปที่ 4.1 จากนั้นสัญญาณจะไหลผ่านทรานซิสเตอร์และเข้าสู่ไดโอดอินฟราเรด เพื่อทำการส่งสัญญาณแสงอินฟาเรดออกไปซึ่งทำการวัดสัญญาณที่ขาของไดโอดอินฟราเรดได้ดังรูปสัญญาณที่ 2 ในรูปที่ 4.1



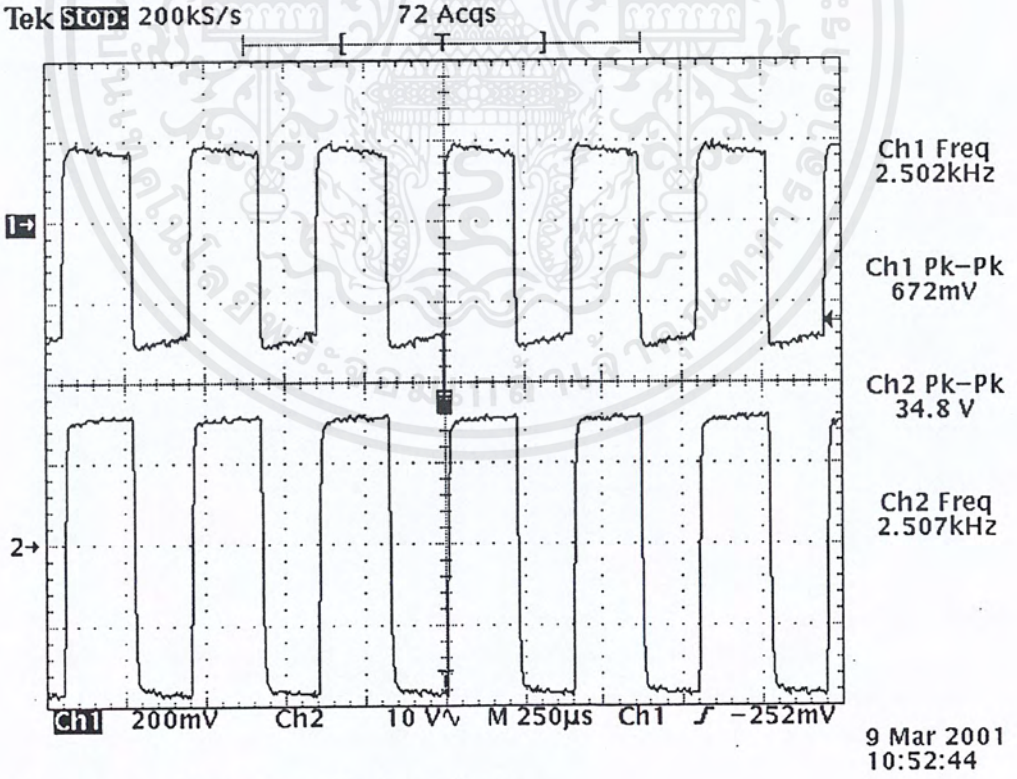
รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรเครื่องส่งอินฟราเรด

4.2. วงจรอินฟราเรดด้านรับ

วงจรจะทำการรับสัญญาณเข้าที่ตัวโฟโตไดโอด ทำการวัดสัญญาณได้ดังรูป 2(a) จากนั้นสัญญาณจะเข้าสู่ออปแอมป์ตัวที่ 1/2 เพื่อทำการขยายสัญญาณและผ่านตัวฟิวเตอร์ซึ่งเป็นตัว แบนด์พาสฟิวเตอร์จะทำการกันไม่ให้สัญญาณความถี่อื่นผ่านเข้ามา โดยจะยอมให้ความถี่ 2.2 กิโลเฮริตซ์ ผ่านได้เท่านั้น จากนั้นทำการปรับสัญญาณที่ผ่านฟิวเตอร์โดยป้อนสัญญาณผ่านออปแอมป์ ตัวที่ 1/3 จะได้สัญญาณเอาท์พุท ดังรูป 2(b) สัญญาณที่ได้นี้จะเป็นอินพุตของภาคส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ



(a) วัดสัญญาณ input ที่โฟโตไดโอดตัวรับ

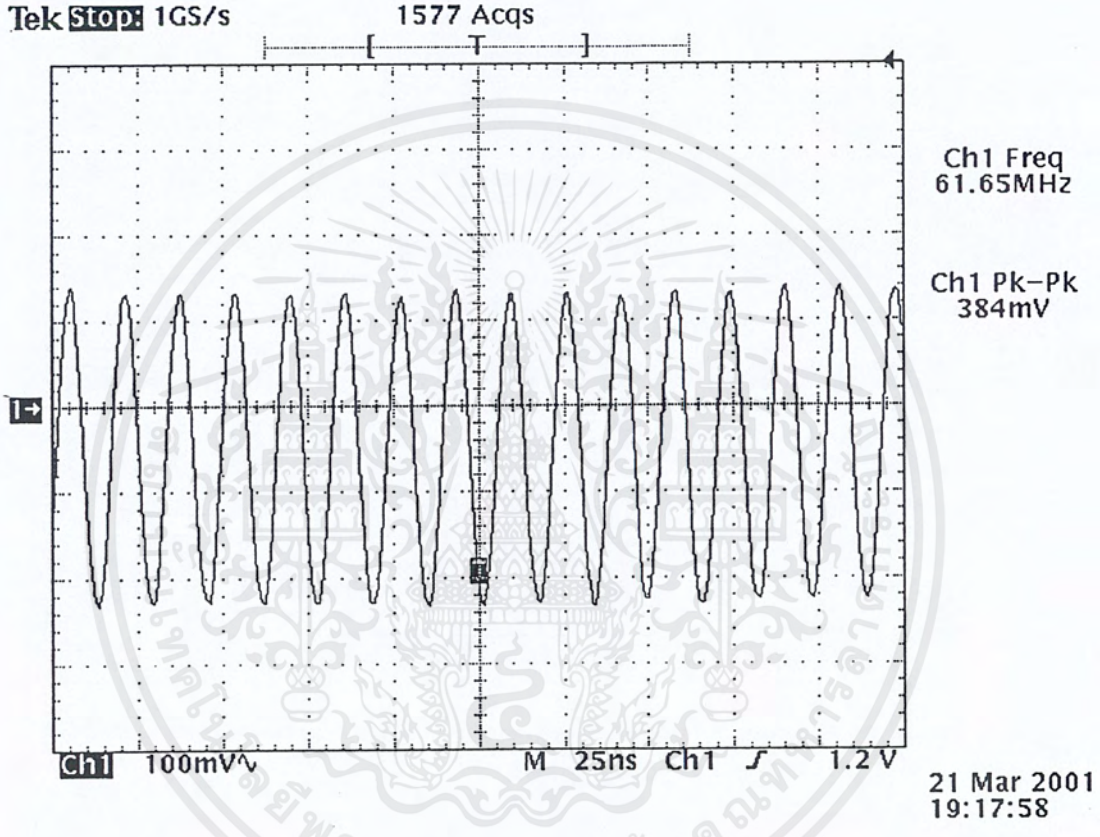


(b) วัดสัญญาณเอาต์พุต ของวงจรอินฟราเรดด้านรับ

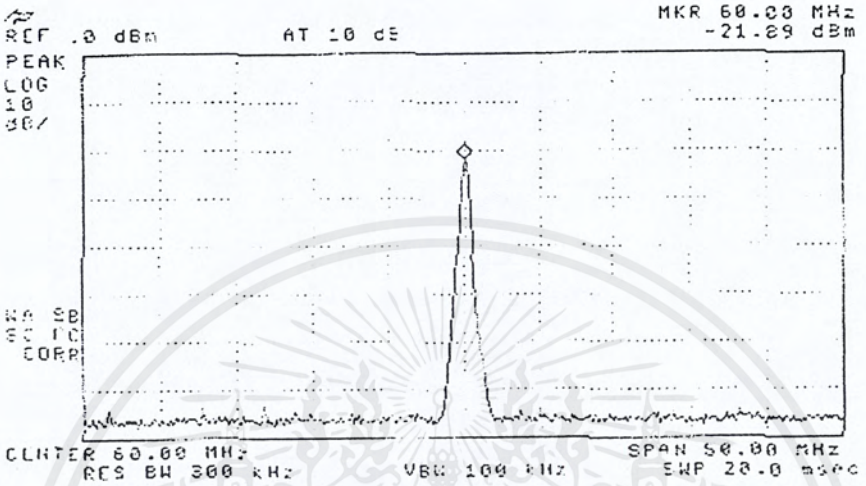
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรอินฟราเรดด้านรับ

4.3 วงจรภาคส่งคลื่นความถี่วิทยุ

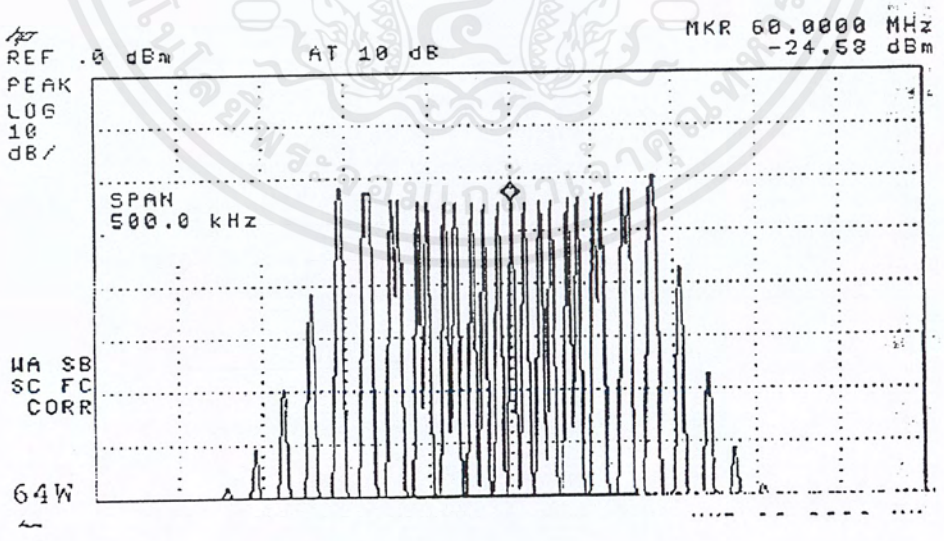
สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเครื่องรับอินฟราเรด จะเข้าสู่อินพุตขา 12 ของ ไอ.ซี. BA1404 ซึ่งเป็นตัวมอดูเลทสัญญาณเอฟเอ็ม โดยจะทำการมอดูเลตสัญญาณอินพุตนี้กับความถี่ 60 เมกกะเฮิรตซ์ จากวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ขา 10 จะได้สัญญาณที่มอดูเลตแล้วที่ขา 7 ของไอ.ซี. BA1404 ซึ่งเป็นสัญญาณเอาต์พุตของวงจรภาคส่งคลื่นวิทยุ



(a) แสดงสัญญาณ 61 เมกกะเฮิรตซ์ ที่วัดได้จากออสซิเลเตอร์ ขา 10 ของไอซี BA1404



(b) แสดงผลการวัดสเปคตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 60 เมกกะเฮิรตซ์ ก่อนการมอดูเลต

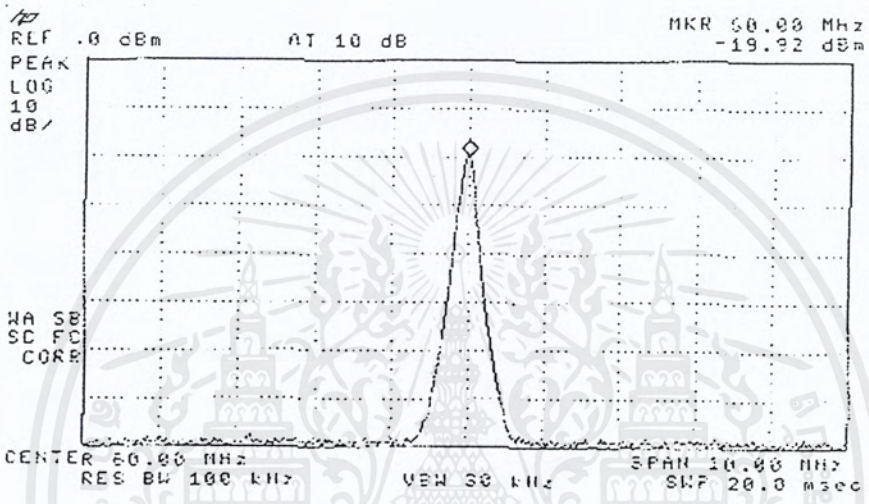


(c) แสดงผลการวัดสเปคตรัมสัญญาณเอาต์พุตความถี่ 60 เมกกะเฮิรตซ์ที่มอดูเลตแล้ว

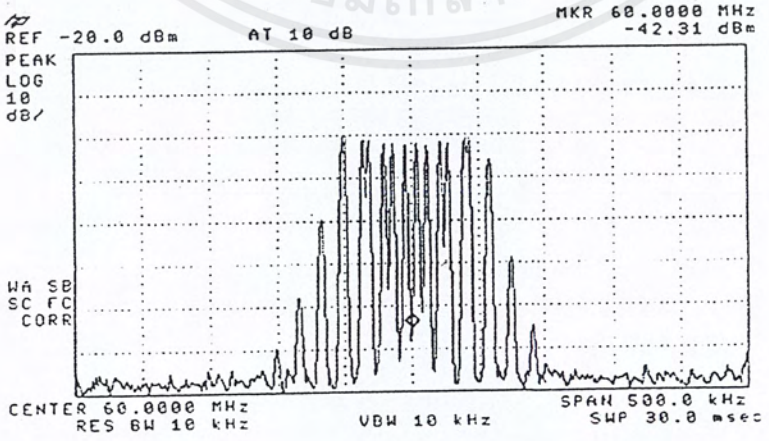
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรเอฟเอ็ม มอดูเลต

4.4 วงจรเครื่องรับคลื่นความถี่วิทยุ

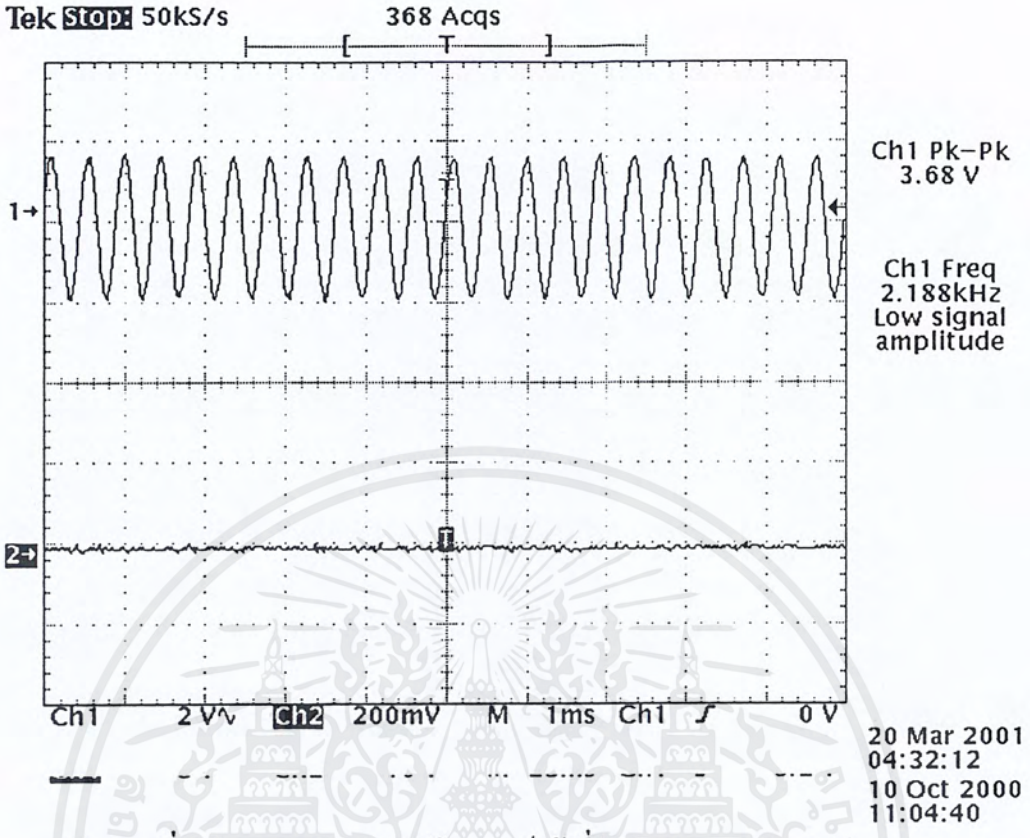
สัญญาณเอฟเอ็มจะเข้าทางขา 13 ของไอ.ซี. TDA 7000 โดยจะทำการดีมอดดูเลทแบบ ควอดเครเจอร์ ดีเทคเตอร์ ที่ความถี่ 70 กิโลเฮริตซ์ ที่ได้จากวงจรมิกเซอร์และได้สัญญาณเอาต์พุต ของไอ.ซี. TDA 7000 ออกทางขา 2 = 2.2 กิโลเฮริตซ์ จากนั้นจะนำสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ไปผ่านไอ.ซี. LM567 เพื่อทำการเช็คสัญญาณที่ได้รับและส่งออกไปยังวงจรเรียกอัตโนมัติต่อไป



(a) แสดงผลการวัดสเปคตรัมสัญญาณอินพุตของวงจรดีมอดูเลตความถี่ 60 เมกกะเฮิรตซ์



(b) แสดงผลการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรดีมอดูเลตความถี่ 60 เมกกะเฮิรตซ์



สัญญาณที่ 1 สัญญาณ sine 2.188 กิโลเฮรตซ์ เข้าที่อินพุต ขา 3 ของ LM567

สัญญาณที่ 2 สัญญาณที่ดีเทคได้จากเอาต์พุต ขา 8 ของ LM 567

(c) สัญญาณที่วัดได้จากการดีเทคสัญญาณของไอซี LM 567 ในภาคส่งคลื่นวิทยุ

รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรเอฟเอ็มดีมอดูเลเตอร์

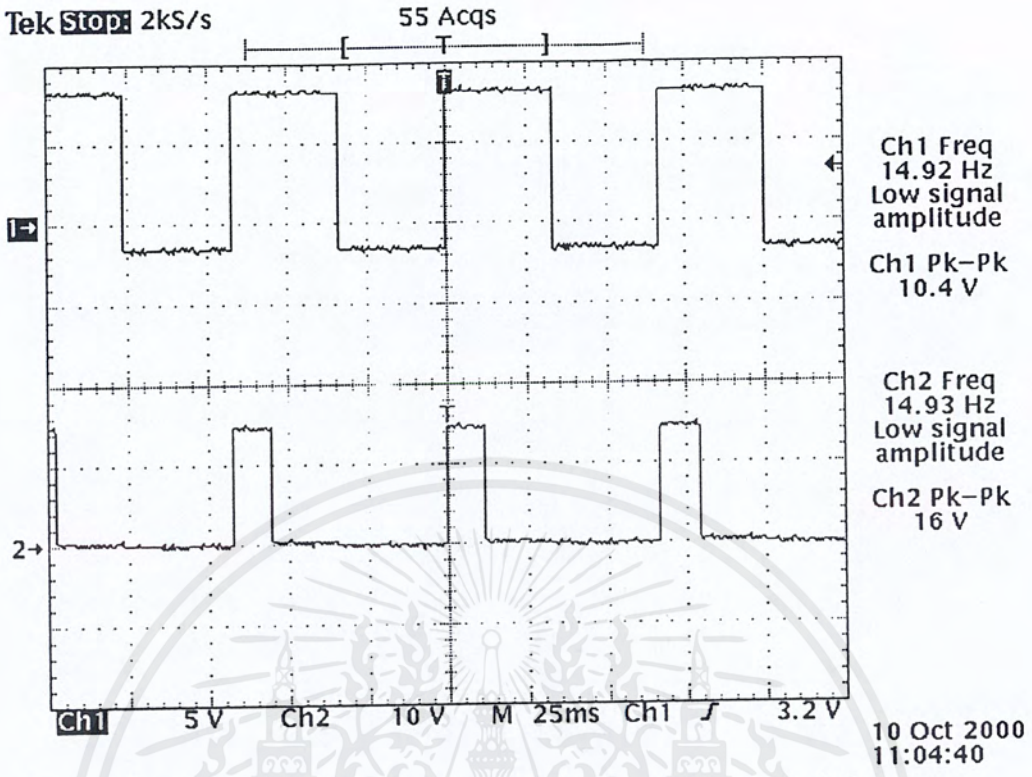
4.5 วงจรเรียกอัตโนมัติ

สัญญาณ 2.2 กิโลเฮริตซ์ที่ได้จากขา 2 ของ TDA 7000 ที่ผ่านไอ.ซี. LM567แล้วนั้นจะถูกส่งมายังวงจรขับเข้าสู่ไอ.ซี. 555 เพื่อทำการสร้างสัญญาณสวิตซ์ขึ้น เพื่อไปขับรีเลย์ของวงจรโทรออกให้ทำงานเมื่อรีเลย์ 1 ทำงานจะทำการเชื่อมวงจรเข้ากับคู่สายโทรศัพท์ ส่วนรีเลย์ 2 จะต่อเข้ากับ ขา 4 และขา 8 ของ ไอ.ซี. UM91210C ทำให้เกิดสัญญาณ DTMF หมายเลขที่บันทึกไว้ออกมาที่ขา 12

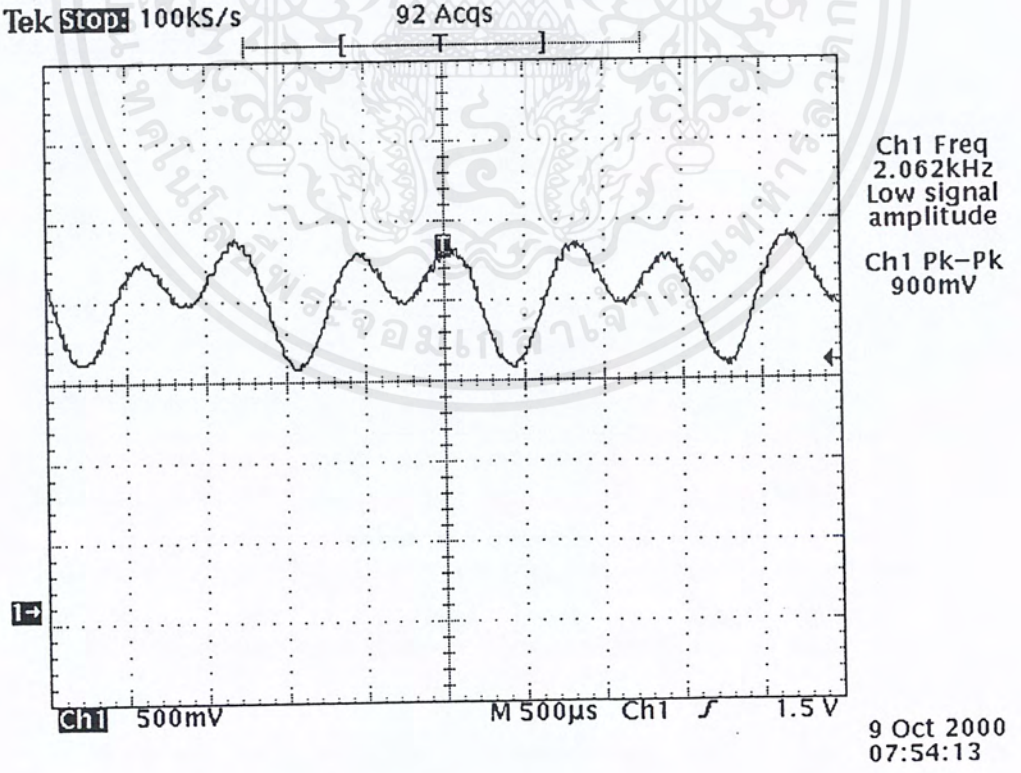
(a) ทำการป้อนสัญญาณพัลส์ ความถี่ 14.92 Hz เข้าไปที่อินพุทของไอ.ซี. 555 ที่ขา 2 เพื่อทำการทดสอบการทำงานของวงจรและทำการวัดสัญญาณเอาท์พุทที่ขา 8 พบว่าได้สัญญาณพัลซ์เป็นเวลา 0.011วินาที ที่สัญญาณอนพุท ขอบขาขึ้น

(b) ทำการกด หมายเลขโทรศัพท์ และวัดสัญญาณ DTMF ที่ขา 12 ของไอ.ซี. UM91210C

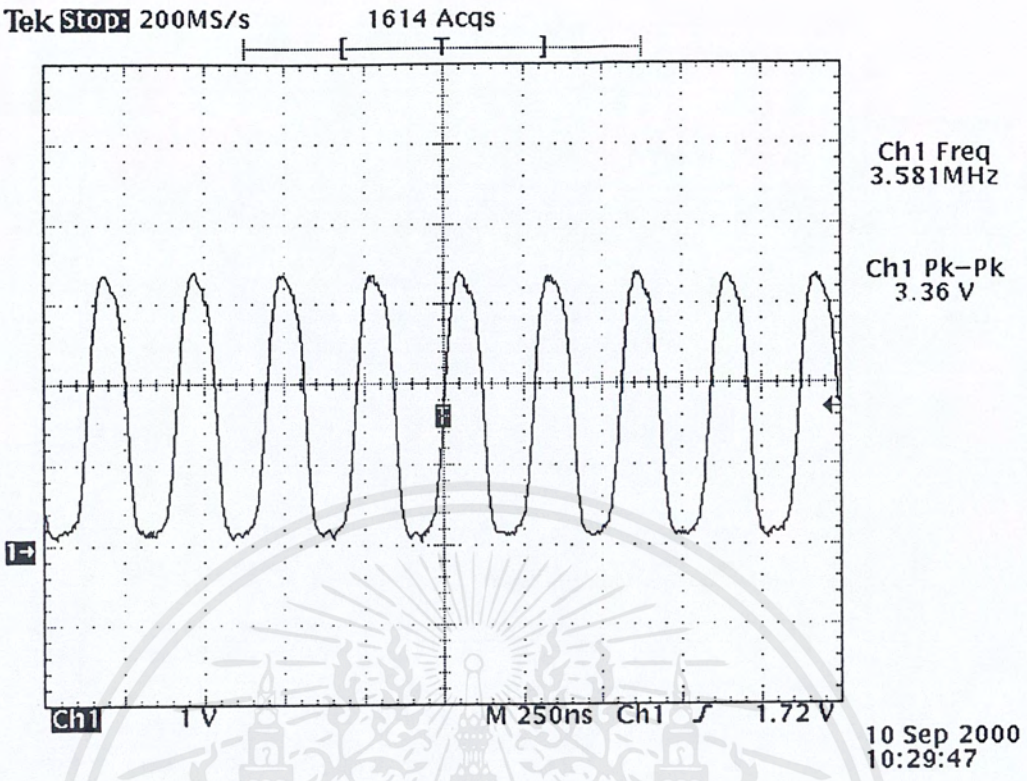
(c) ทำการวัดสัญญาณที่ คริสตอล ไดโอด



(a) สัญญาณที่ 1 สัญญาณ พัลส์ ความถี่ 14.92 เฮริทซ์ ป้อนเข้าขา อินพุทของ ไอ.ซี. 555
สัญญาณที่ 2 สัญญาณเอาต์พุตที่ขา 8 ของไอ.ซี. 555



(b) รูปสัญญาณ DTMF ที่ขา 12 ของไอ.ซี. UM91210C



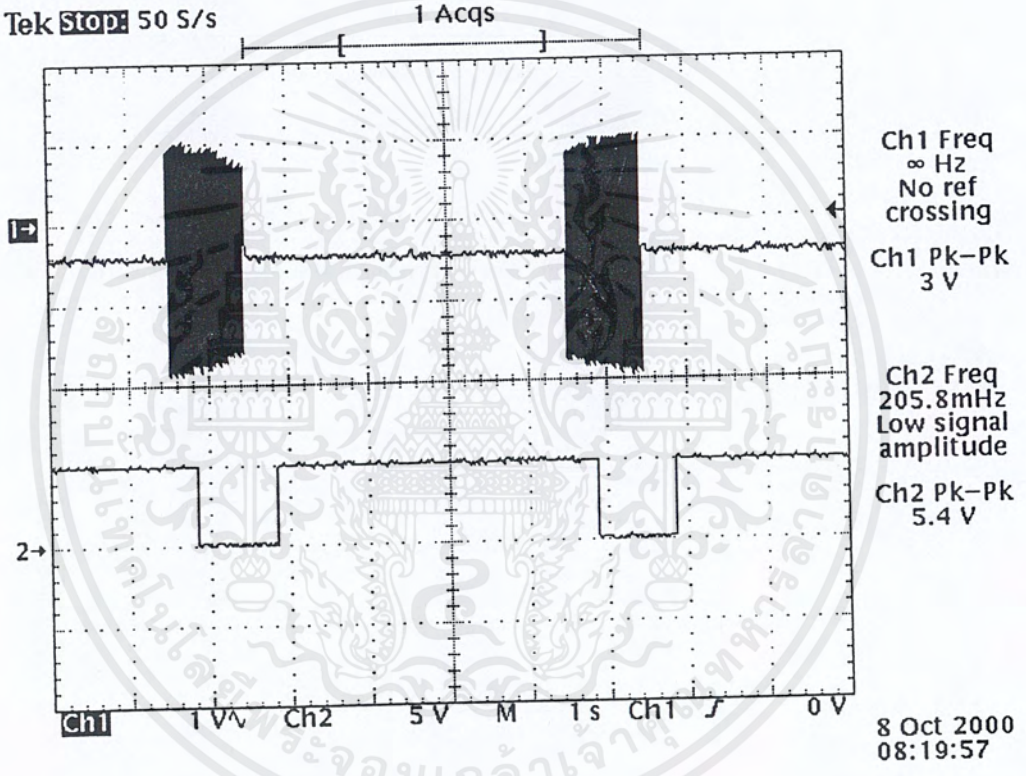
(c) รูปสัญญาณที่ดิสตอลไดโอด

รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรเรียกอัตโนมัติ

4.6 วงจรชุดเรียกซ้ำ

วงจรนี้จะทำการตรวจตอบสัญญาณตอบรับ โดยไอ.ซี. 567 ที่เข้าที่ขา 3 และวัดสัญญาณที่ขา 8 ได้ดังรูปที่ 1 และสัญญาณไม่ว่าง ได้ดังรูปที่ 2 สัญญาณที่ได้จะต่อเข้ากับขา up ของตัวเซนเตอร์ ไอ.ซี. 74192 ซึ่งเมื่อเปิดเครื่อง จะทำการโหลด สัญญาณที่ค่า 7 มีค่าเป็น 1 เมื่อมีสัญญาณคล็อก ครบ 7 ลูกจะทำให้ ที่ขา 7 มีค่าเป็น 0 ทำให้ไอ.ซี. 555 ทำงานสร้างสัญญาณพัสส์เป็นเวลา 24 วินาทีและสัญญาณที่ได้จะเข้าสู่วงจรเครื่องรับสัญญาณเพื่อไปกระตุนให้ ไอ.ซี. 555 ทำงานและไปสั่งให้โทรศัพท์ทำการโทรออกต่อไป

ทำการป้อนสัญญาณ 425 เฮริทซ์ ที่ ขา 3 ของไอ.ซี. 567 แล้วทำการวัดปรับ Vr จนได้เอาต์พุตเป็น 0 จากนั้นทำการป้อนสัญญาณตอบรับ ที่ขา 3 แทนแล้วทำการวัดเอาต์พุตที่ ขา 8



สัญญาณที่ 1 สัญญาณ ตอบรับ(Ring Back Tone) ที่ขา 3

สัญญาณที่2 สัญญาณเอาต์พุตที่ขา 8 ของ ไอ.ซี. 567

รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรเรียกซ้ำ

4.7 วงจรตรวจจับสัญญาณการรับสาย

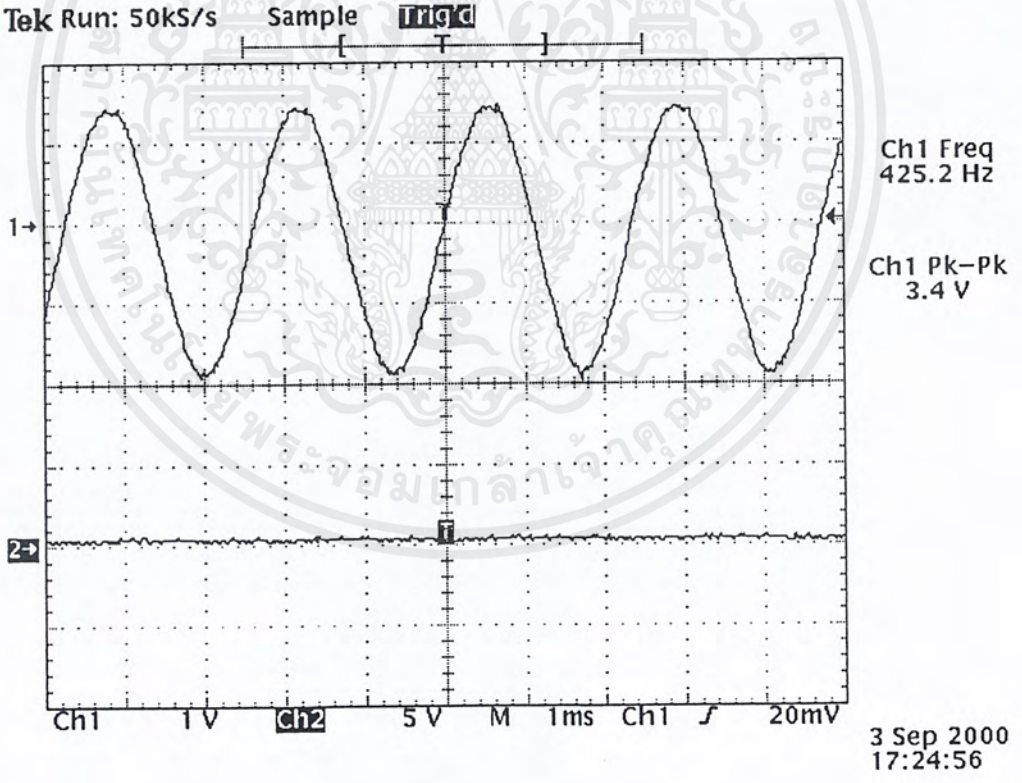
เมื่อมีสัญญาณตอบรับเข้ามาที่ขา 3 ของ ไอ.ซี. 567 โดยไอ.ซี.จะทำงานเมื่อมีสัญญาณ 425 เฮริตซ์ เข้ามาจะทำให้เอาต์พุต ที่ขา 8 เปลี่ยนจากสถานะไฮด์ เป็น โลว์ ดังรูปที่ (a) ถ้าเป็นสัญญาณอื่นเข้ามาก็จะคงสถานะไฟบวกเอาไว้ดังรูปที่ (b) ดังนั้นเมื่อได้รับสัญญาณ ตอบรับเข้ามาจะทำให้เกิดเป็นลักษณะของคลื่นสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ (c) สัญญาณที่ได้จะเข้าสู่ ไอ.ซี. 555 ซึ่งต่อเป็นวงจรโมโนสเตเบิลมันติไวเบรเตอร์ ซึ่งจะทำงานเมื่อมี อินพุตขอบขาลง เป็นเวลา 3.3 วินาที ดังรูปที่ (d)

(a) ทำการป้อนสัญญาณไซน์ 425 เฮริทซ์ เข้าที่ c 0.1uf ที่ขา 3 ของ ไอ.ซี. 567 ทำการปรับค่า Vr จนได้เอาต์พุต ที่ขา 8 มีค่าเป็น 0

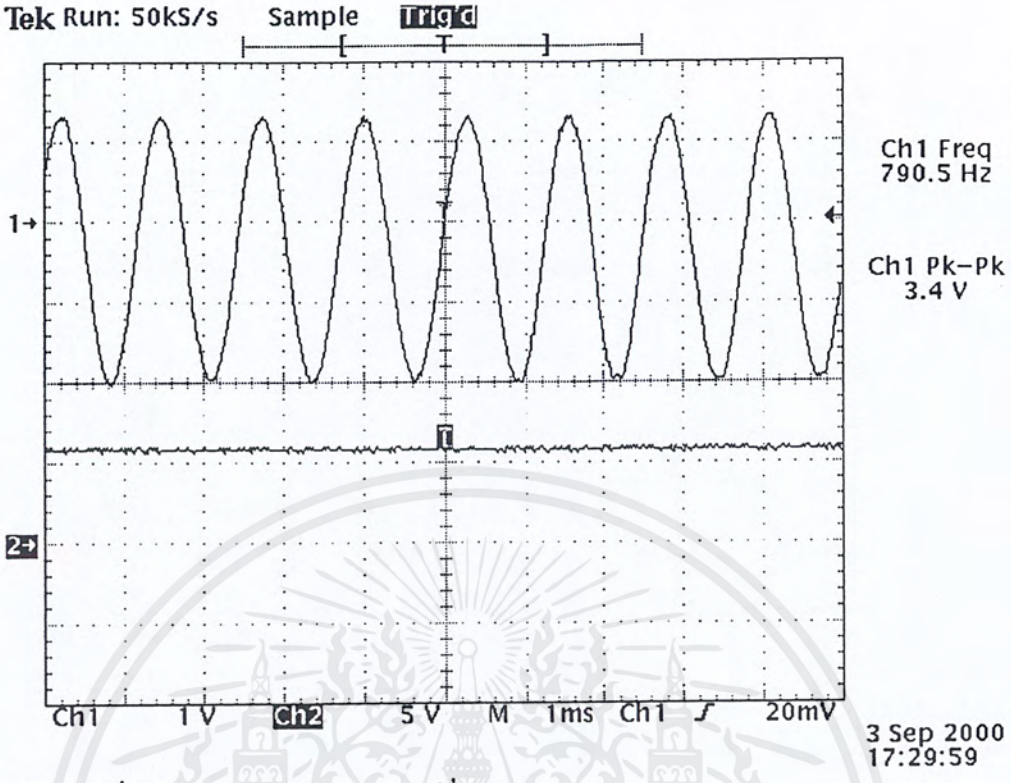
(b) ทำการป้อนสัญญาณอื่นที่ไม่ใช่สัญญาณความถี่ 425 กิโลเฮริทซ์ แล้ววัดสัญญาณเอาต์พุต ที่ขา 8 จะพบว่าสัญญาณที่ได้มีค่าเป็นลอจิก 1 ขนาด 5 โวลต์

(c) ทำการป้อนสัญญาณ ตอบรับ ที่ขา อินพุต ขา 3 และวัดสัญญาณเอาต์พุต ที่ขา 8

(d) นำเอาท์พุตของสัญญาณในข้อ 3 เข้าที่อินพุตขา 2 ของไอ.ซี.555 ทำการวัดสัญญาณที่เอาต์พุต ขา 8 จะพบว่าสร้างพัสส์เป็นเวลา 3.3 วินาที เมื่ออินพุตขอบขาลง

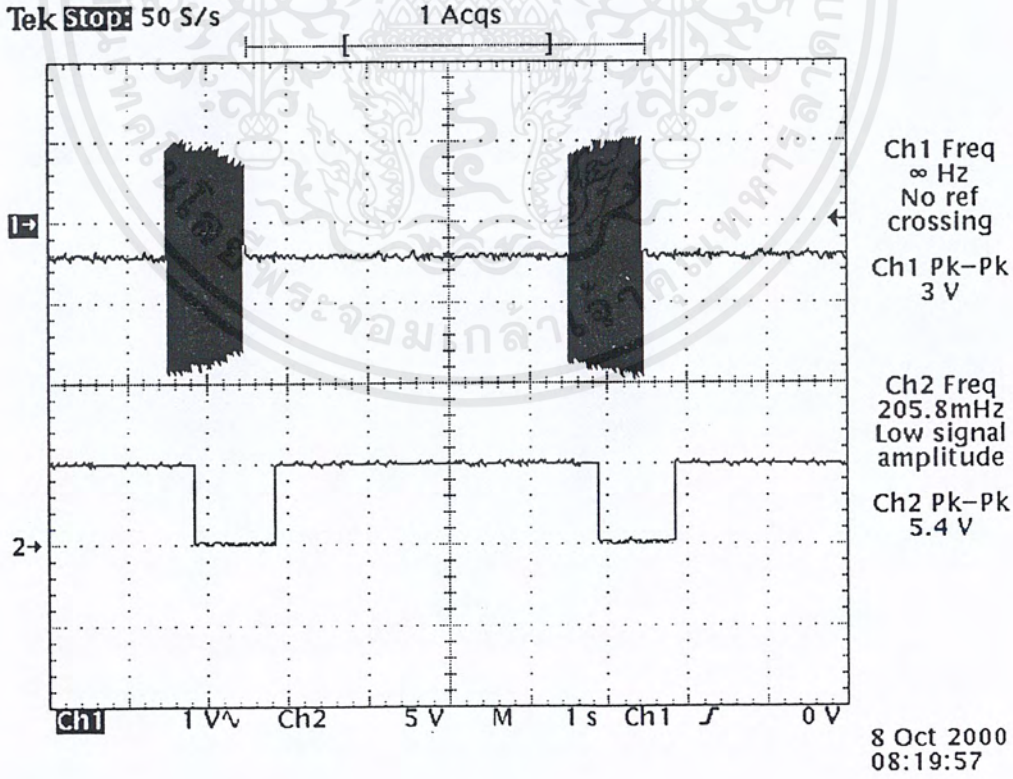


(a) สัญญาณที่ 1 สัญญาณไซน์ 425 เฮริทซ์ ที่ ขา 3
สัญญาณที่ 2 สัญญาณเอาต์พุต ที่ ขา 8 ของไอ.ซี. 567



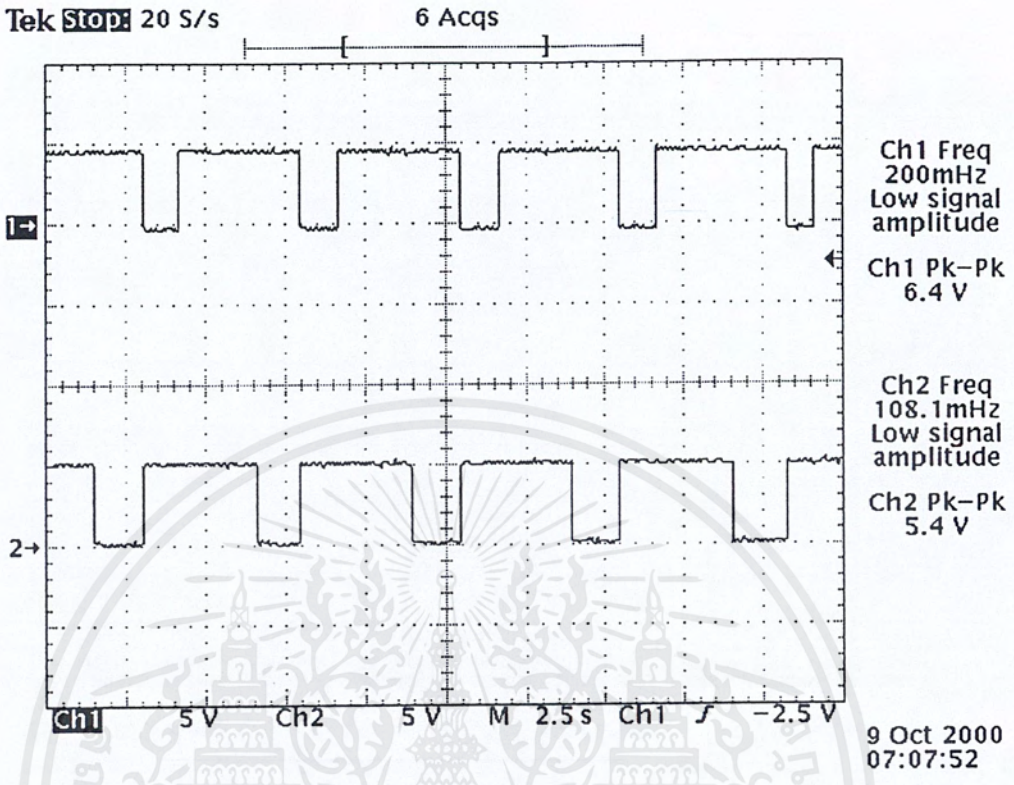
(b) สัญญาณที่ 1 สัญญาณไซน์ 790.5 เฮริทซ์ที่อินพุท ขา 3

สัญญาณที่ 2 สัญญาณเอาต์พุต ที่ขา 8 ของ ไอ.ซี. 567



(c) สัญญาณที่ 1 สัญญาณตอบรับ ที่ขา 3

สัญญาณที่ 2 สัญญาณเอาต์พุต ที่ขา 8 ของ ไอ.ซี. 567

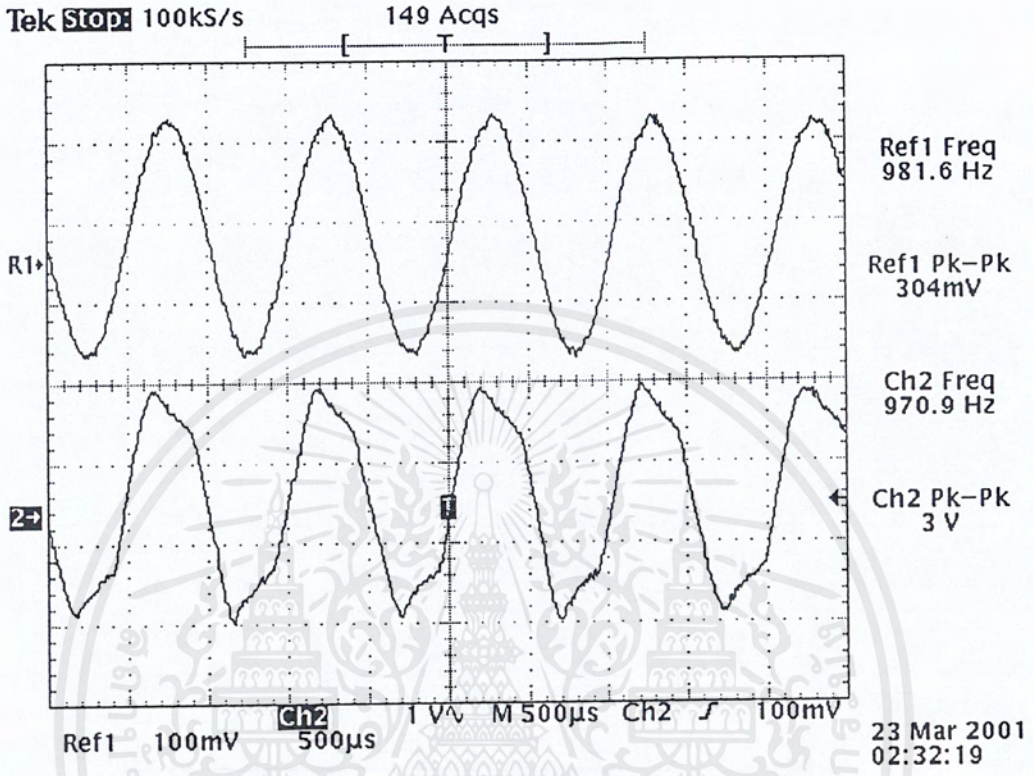


(d) สัญญาณที่ 1 สัญญาณ อินพุตที่ขา 2 ของไอ.ซี. 555

สัญญาณที่ 2 สัญญาณเอาต์พุต ที่ขา 8 ของ ไอ.ซี. 555

รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรดีเทคสัญญาณ

4.8 วงจรบันทึกเสียง



สัญญาณ R1 สัญญาณ sine 403 Hz เข้าที่คอนแดนเซอร์ไมค์ ขา 17 ของ ISD 2590

สัญญาณที่ 2 สัญญาณที่บันทึกได้ ออกจากขา 14 ,15 ของ ISD 2590

รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรบันทึกเสียง

บทที่5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในวงจรโทรศัพท์เตือนภัยอัตโนมัติประกอบไปด้วย วงจรรับ-ส่งสัญญาณอินฟราเรด วงจรรับ-ส่งคลื่นวิทยุ วงจรโทรศัพท์อัตโนมัติ วงจรตรวจจับสัญญาณการรับสายและวงจรบันทึกเสียง โดยในภาคเรียนที่1ได้ทำการทดลองสร้างชุดวงจรรับ-ส่งอินฟราเรด วงจรโทรศัพท์อัตโนมัติ วงจรตรวจตอบการรับสาย และทำการทดสอบการทำงานของวงจร โดยทำการเชื่อมต่อชุดวงจรอินฟราเรดรีโมทเข้ากับชุดโทรออกอัตโนมัติโดยการใช้สายเชื่อมต่อ ทำการจ่ายไฟเลี้ยงแล้วทำการวัดสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของแต่ละวงจร จากผลการทดลองพบว่า วงจรตรวจจับอินฟราเรดยังทำงานได้ไม่ดีนัก เนื่องมาจากส่วนที่ทำการขับสัญญาณอินฟราเรดมีคุณภาพได้ดีพอ วงจรเรียกโทรศัพท์อัตโนมัติสามารถทำการส่งสัญญาณออกไปได้ดี ส่วนวงจรตรวจสอบผู้รับสายปลายทางและวงจรเรียกซ้ำจะพบว่าตัวไอ.ซี.567 ที่ทำการตรวจจับสัญญาณ 425 เฮิรตซ์ ทำงานได้ดีและสัญญาณที่ได้มีความคมชัดพอ โดยมีค่าความผิดพลาด $\pm$10 เฮิรตซ์

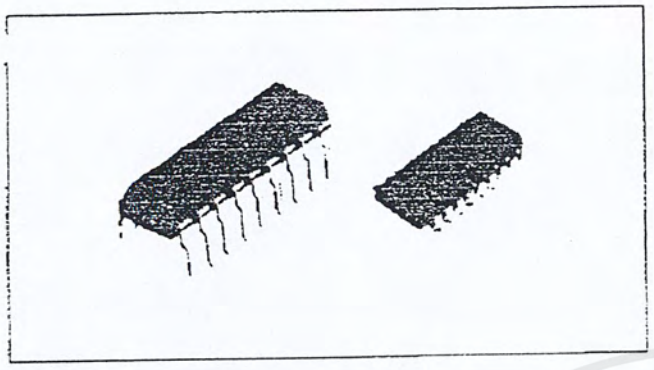
ในส่วนของวงจรตรวจจับอินฟราเรดที่ยังทำงานได้ไม่ดีนักจึงได้ทำการแก้ไขเพิ่มเติมโดยการปรับเปลี่ยนวงจรใหม่และได้ทำการแก้ไขปรับปรุงจากเดิมหลายวงจรในภาคการเรียนที่ 2 พบว่าในวงจรที่ปรับปรุงขึ้นมาจากเทอมที่แล้วมีการทำงานที่ดีขึ้นกว่าเดิม นอกจากนี้ได้ทำการสร้างวงจรรับ-ส่งคลื่นวิทยุที่ทำการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบเอฟเอ็มและสร้างวงจรบันทึกเสียงขึ้นแล้วนำไปประกอบกับชุดวงจรที่จัดทำในภาคเรียนที่แล้วให้ได้อุปกรณ์เตือนภัยทางโทรศัพท์ที่สมบูรณ์ จากการทดสอบการทำงานและวัดระดับสัญญาณของวงจรรวมในตัวอุปกรณ์พบว่า ภาคส่งคลื่นวิทยุและภาครับสัญญาณวิทยุสามารถทำงานได้ดี แต่จะมีปัญหาไฟเลี้ยงซึ่งมีผลต่อวาริแคปไดโอดจะทำให้สัญญาณที่จูนไว้มีความผิดเพียนได้ ส่วนวงจรบันทึกเสียงทำงานได้ดี สัญญาณเสียงที่บันทึกได้มีความชัดเจน

จากการที่ได้ศึกษาและทดลองสร้างอุปกรณ์เตือนภัยทางโทรศัพท์นั้นผลปรากฏว่าอุปกรณ์นี้ทำงานได้จริงและสะดวกต่อการใช้งานเพราะมีการรับ-ส่งสัญญาณเตือนภัยจากจุดเซ็นเซอร์ไปยังชุดโทรออกอัตโนมัติโดยใช้คลื่นวิทยุ นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้เช่น พัฒนาวงจรเพิ่มเติมที่นอกจากจะสามารถตรวจจับขโมยแล้ว ยังมีวงจรตรวจจับแก๊สรั่วหรือวงจรตรวจจับความร้อนจากไฟไหม้ เป็นต้น

ภาคผนวก

Stereo Transmitters

BA1404 BA1404F



The BA1404 and BA1404F are monolithic FM stereo transmitters. The devices contain a stereo modulator, an FM modulator, and an RF amplifier.
The stereo modulator creates a stereo composite signal (which consists of a main (L+R), sub (L-R), and pilot signals) from a 38 kHz quartz controlled frequency.
The FM modulator oscillates a carrier in the FM broadcast band (76 to 108 MHz) and modulates it with the composite signal.
The RF amplifier creates energy to emit the modulated FM signal. It also functions as a buffer for the FM modulator.

Features

1. Low-voltage, low-power design.
2. Stereo modulator, FM modulator, and transmitter implemented on a single chip.
3. Few external components required.
4. High separation (45 dB typ.).

Applications

FM stereo transmitters
Wireless microphones

Dimensions (Unit: mm)

BA1404

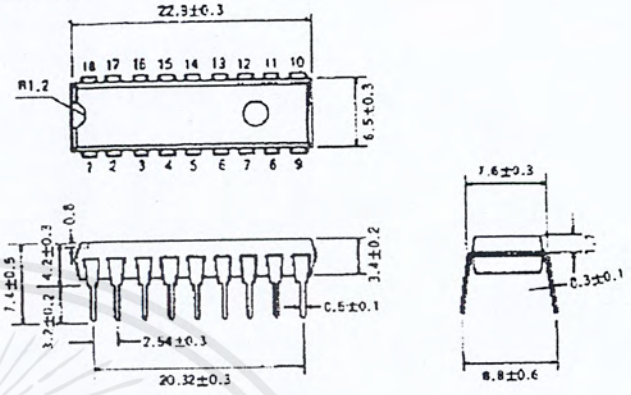


Fig. 1

BA1404F

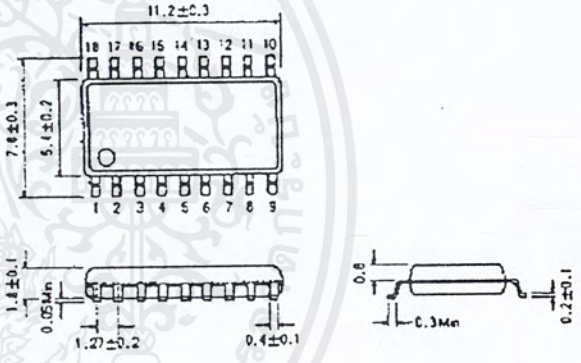


Fig. 2

Block Diagram

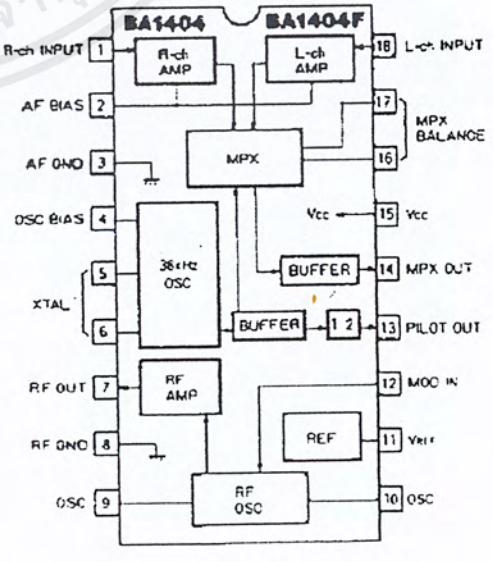


Fig. 3

Absolute Maximum Ratings (Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Limits	Unit
Supply voltage	V_{CC}	3.6	V
Power dissipation	Pd	500*	mW
Operating temperature range	Topr	−25~75	°C
Storage temperature range	Tstg	−50~125	°C

*Derating is done at 5mW/°C for operation above Ta=25°C

Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
Supply voltage	V_{CC}	1	1.25	3	V	—

Electrical Characteristics (Ta=25°C, V_{CC}=1.25V)

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
Quiescent current	I_Q	0.5	3	5	mA	—
Input impedance	Z_{IN}	360	540	720	Ω	f_{IN}=1kHz
Input gain	G_V	30	37	—	dB	V_{IN}=0.5mV
Channel balance	CB	—	—	2	dB	V_{IN}=0.5mV
MPX maximum output voltage	V_{OM}	200	—	—	mV p-p	THD≦3%
MPX 38kHz leakage	V_{SO}	—	1	—	mV	Quiescent condition
Pilot output voltage	V_{OP}	460	580	—	mV p-p	No-load
Channel separation	Sep	25	45	—	dB	with standard demodulator
Equivalent input noise voltage	V_{NIN}	—	1	—	μV rms	IHF-A at 38kHz stop
RF maximum output voltage	V_{OSC}	350	600	—	mV	—

Test Circuit and Application Example

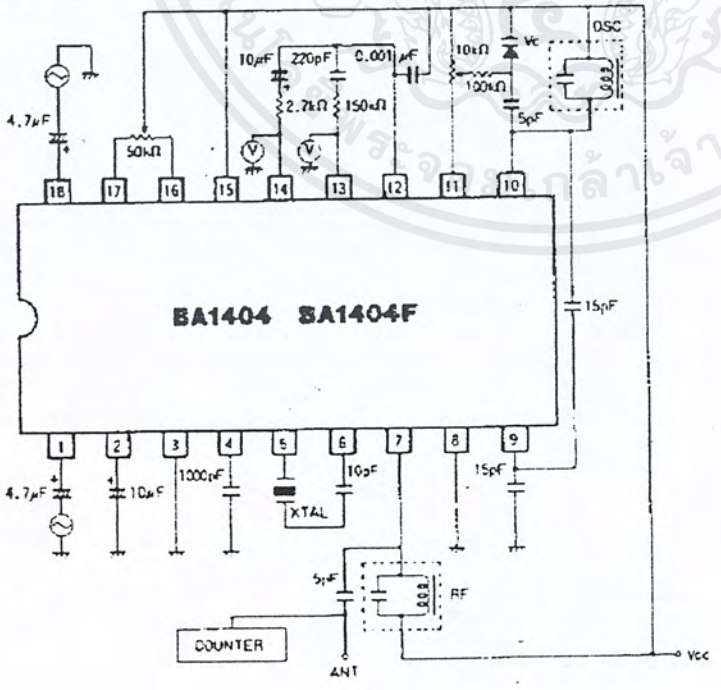


Fig. 4

Coil data (OSC,RF common)

Bobbin	ø5mm with ferrite core
Coil	ø0.5mm enamel wire
Numbers of turns	2.25 turns
Capacity	47pF

Precautions

1. To match the frequency response of the transmitter with the FM broadcast receiver, use a pre-emphasis network with a time constant of 50 μs at the input of the AF amplifier. Use the following circuit and components:



Fig. 5

2. When synthesizing a composite signal from the stereo modulator output with pilot signal, channel separation may deteriorate unless the two signals are in-phase. Note this point if you change the constants of the external components connected to pins 12, 13, and/or 14.

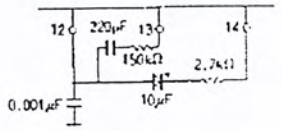


Fig. 6

Precautions

3. The carrier for an FM stereo signal can be modulated with an AF signal of up to 19 kHz. If impulse audio input, such as from an electronic musical instrument, is expected, use a low-pass filter at the input of the device to prevent beat interference or deterioration of separation.
4. While the device ensures good separation even if the balance control pins (16 and 17) are left open, it provides an even better separation if you connect around 50 kΩ across these pins to optimize the dc balance in the multiplex circuit.
5. The output voltage at pin 11 is internally set to (V_{CC} − 0.7) V.

BA1404 BA1404F

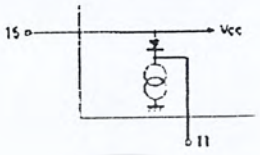


Fig. 7

Electrical Characteristic Curves

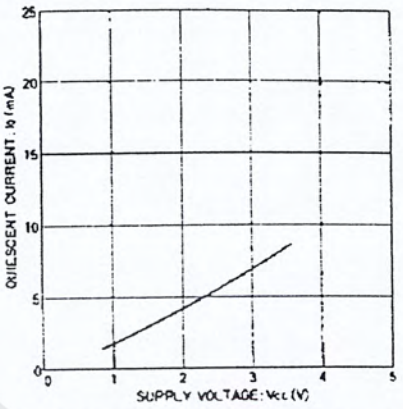


Fig. 8 Quiescent current vs. supply voltage

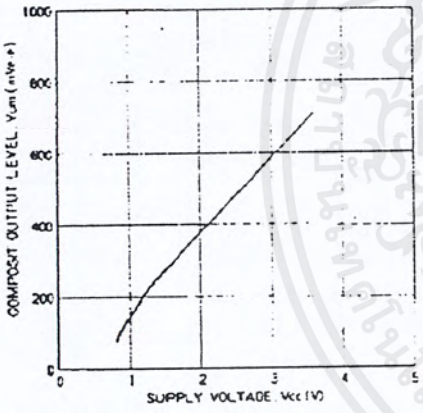


Fig. 9 Composite output level vs. supply voltage

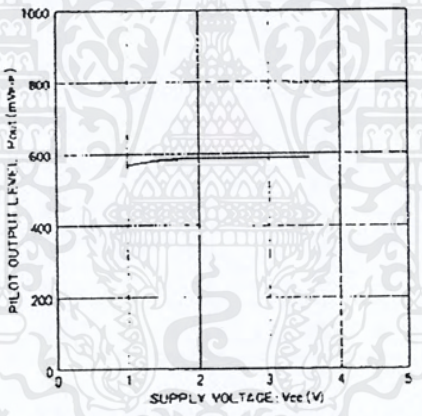


Fig. 10 Pilot output level vs. supply voltage

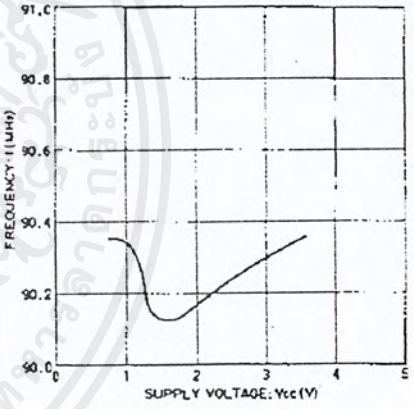


Fig. 11 Frequency vs. supply voltage

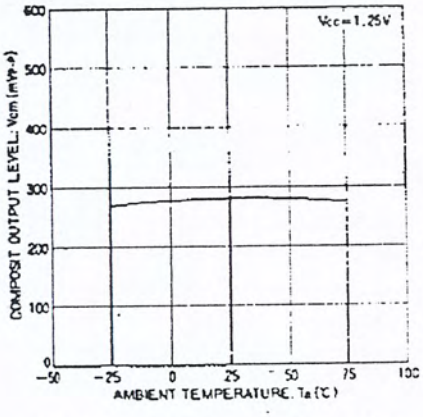


Fig. 12 Composite output level vs. ambient temperature

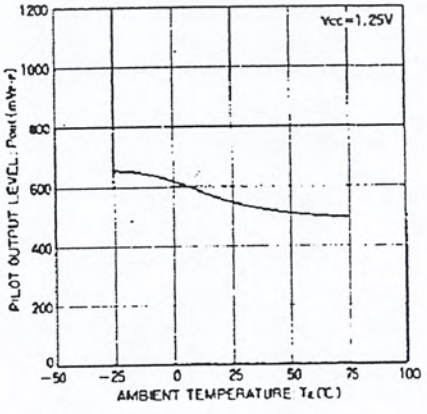


Fig. 13 Pilot output level vs. ambient temperature

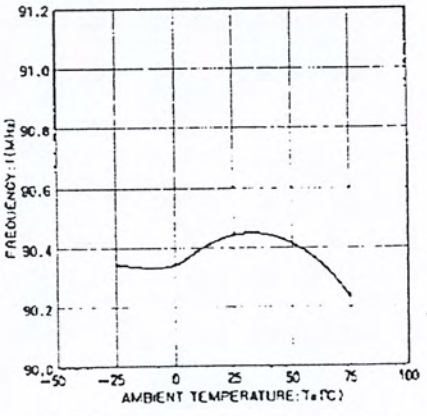
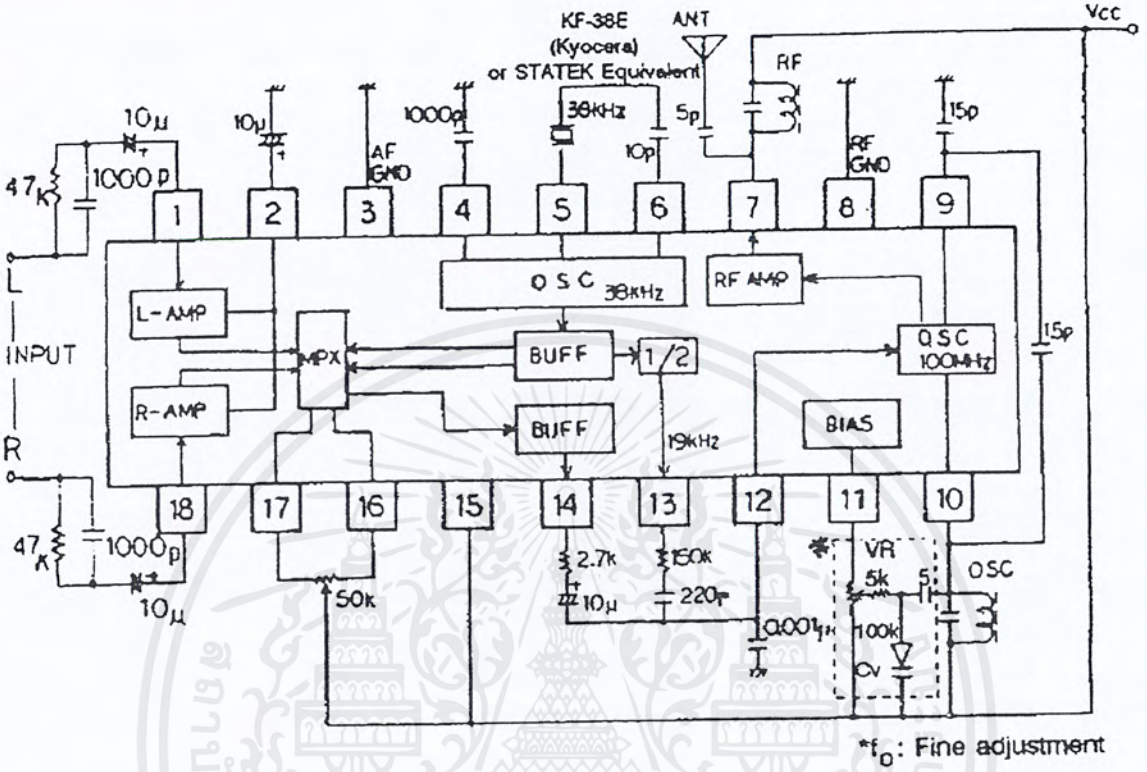


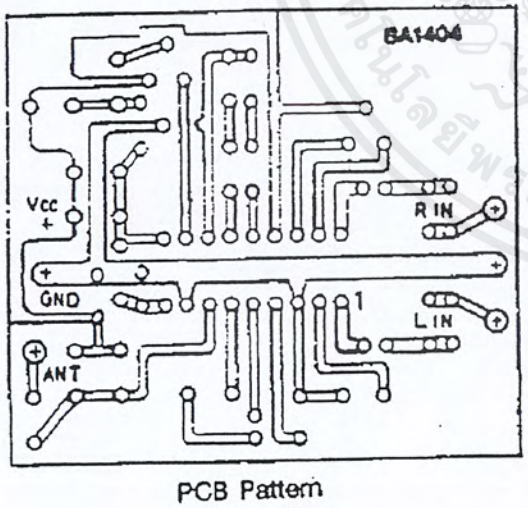
Fig. 14 Frequency vs. ambient temperature



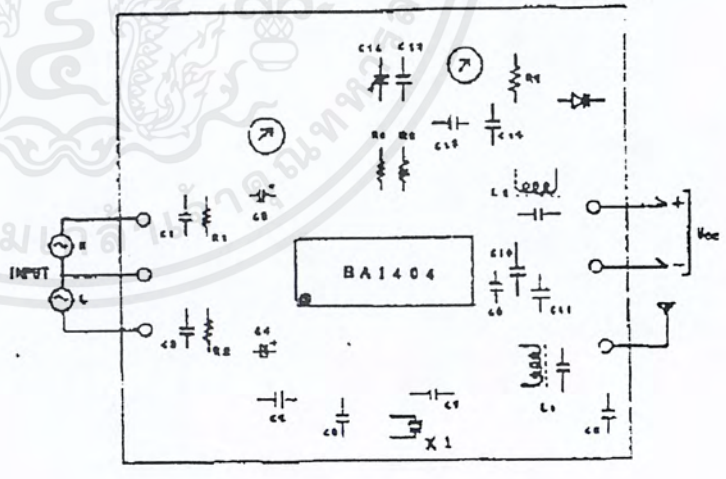
*f_O: Fine adjustment

Application Diagram

Cv: Sanyo SVC 321



PCB Pattern
(not to scale)



ROHM CORP. reserves the right to make changes to any product herein to improve reliability, function or design. ROHM CORP. does not assume any liability arising out of the application or use of any product described herein, neither does it convey any license under its patent right nor the rights of others.

ROHM CORPORATION · September 1989 · Printed in U.S.A.

ROHM CORPORATION
8 Whatney
Irvine, CA 92718
(714) 855-2131
(714) 855-0819 (Microsystems)
FAX: 714-855-1669

SUBJECT: BA1404 SUPPORT.
THE FOLLOWING EXCERPT FROM FREQUENTLY ASKED QUESTIONS IS PROVIDED FOR YOUR SUPPORT.

1) WHAT IS THE UPPER CARRIER FREQUENCY LIMIT? 100 mHz.
2) WHAT IS THE LOWER FREQUENCY CARRIER LIMIT? 40 mHz. THE BA1404 MAY FUNCTION OUTSIDE OF THE ABOVE LIMITS BUT CHARACTERIZATION TESTING AT THE PROPOSED CARRIER FREQUENCY IS REQUIRED.
3) WHAT IS A SUGGESTED MANUFACTURE AND PART NUMBER FOR THE 38 KHZ CRYSTAL? KYOCERA P/N KF-38E.
4) WHAT IS A SUGGESTED MANUFACTURE AND PART NUMBER FOR THE OSCILLATOR COIL? SUMIDA P/N FEM 10C 2F6.
5) WHAT IS A SUGGESTED MANUFACTURE AND PART NUMBER FOR THE VARICAP? SANYO P/N SVC-321 FOR THROUGH HOLE AND MATSUSHITA P/N MA321 FOR SURFACE MOUNT.
6) WHAT IS THE RECOMMENDED ANTENNA LENGTH? 80 CM.
7) WHAT IS THE RECOMMENDED METHOD TO SET THIS DEVICE UP FOR MONO TRANSMISSION? 4 OPEN, 5 GRND, 6 CONNCT'D, 13 OPEN, 1 INPUT.
8) IS THE 10K POT CONNECTED TO PIN 11 USED TO TUNE THE TRANSMISSION FREQUENCY? YES.
9) HOW STABLE IS THE TRANSMISSION FREQUENCY? SEE PAGES 11, 12 AND 13 OF THE APPLICATION NOTE. FREQUENCY DRIFT IS A FUNCTION OF BOTH Vcc AND TEMPERATURE. TO MAINTAIN FREQUENCY DRIFT TO WITHIN +- 100 KHz USE REGULATED Vcc, AN AIR COR COIL AND AN "SH" RANK OSCILLATOR CAPACITOR.
10) IS THERE A RECOMMENDED METHOD TO DIGITALLY TUNE THE TRANSMISSION FREQUENCY? NO BUT A D/A CONVERTER MAY PROVIDE THIS FUNCTION.
11) WHAT IS THE TYPICAL PIN 11 VOLTAGE? 0.6 V. TYPICAL
12) WHAT IS THE TYPICAL PIN 13 VOLTAGE? 0.6 V. TYPICAL
13) WHAT IS THE TYPICAL PIN 14 VOLTAGE? 0.4 V. TYPICAL
14) IS THERE A RECOMMENDED BOOSTER/ISOLATION AMPLIFIER FOR CONNECTION BETWEEN THE OUTPUT AND THE ANTENNA? NO
15) WHAT IS THE FREQUENCY RESPONSE OF THE TRANSMITTED AUDIO SIGNAL?
16) WHAT IS THE OUTPUT IMPEDANCE OF THE RF AMPLIFIER. 50K OHM MINIMUM.
17) WHAT IS THE INPUT IMPEDANCE OF PIN 5? 30 K OHM.
18) WHAT IS THE INPUT IMPEDANCE OF PIN 6? 130 K OHM.
19) WHAT IS THE FREQUENCY RANGE OF THE OSCILLATOR? 4.5 mHz +- 75 KHz. 70 mHz +- 300 KHz IS RECOMMENDED.
20) WHERE CAN THIS DEVICE BE PURCHASED?
OHM ELECTRONICS. 708-359-5500.

THE PRECEDING INFORMATION IS PROVIDED AS AN ENGINEERING GUIDE LINE ONLY.

National Semiconductor

LM555/LM555C Timer

General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200 mA or drive TTL circuits.

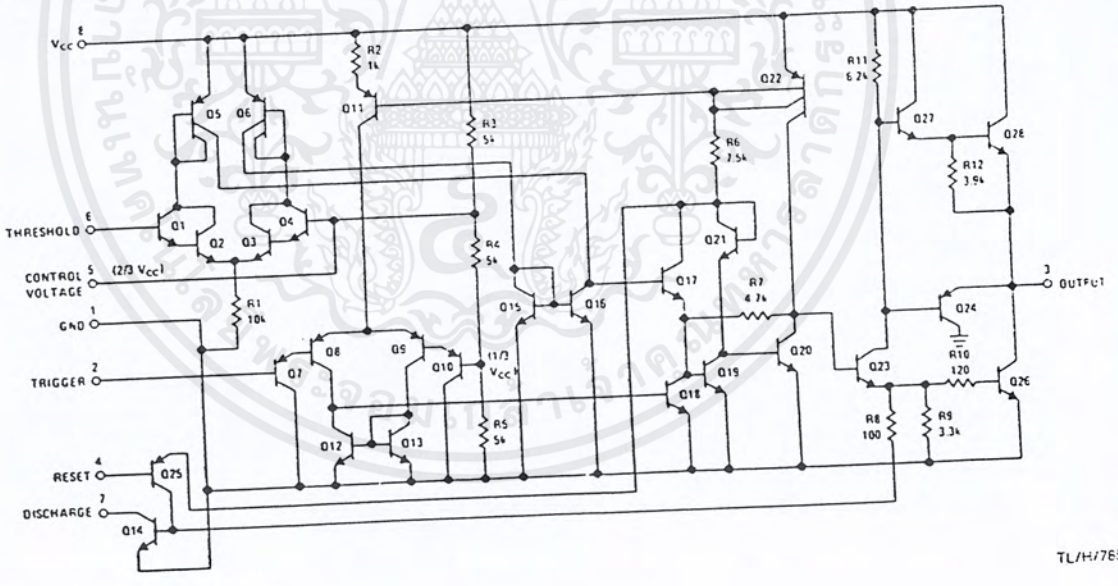
Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output

Applications

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

Schematic Diagram



TL/H/7651–1

Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage + 18V

Power Dissipation (Note 1)
- LM555H, LM555CH 760 mW
- LM555, LM555CN 1180 mW

Operating Temperature Ranges
- LM555C 0°C to + 70°C
- LM555 −55°C to + 125°C

Storage Temperature Range −65°C to + 150°C

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

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

Electrical Characteristics (T_A = 25°C, V_{CC} = + 5V to + 15V, unless othewise specified)

Parameter	Conditions	Limits						Units
		LM555			LM555C			
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		18	4.5		16	V
Supply Current	V_{CC} = 5V, R_L = ∞ V_{CC} = 15V, R_L = ∞ (Low State) (Note 2)		3 10	5 12		3 10	6 15	mA mA
Timing Error, Monostable Initial Accuracy Drift with Temperature Accuracy over Temperature Drift with Supply	R_A = 1k to 100 kΩ, C = 0.1 μF, (Note 3)		 0.5 30 1.5 0.05			 1 50 1.5 0.1		 % ppm/°C % %/V
Timing Error, Astable Initial Accuracy Drift with Temperature Accuracy over Temperature Drift with Supply	R_A, R_B = 1k to 100 kΩ, C = 0.1 μF, (Note 3)		 1.5 90 2.5 0.15			 2.25 150 3.0 0.30		 % ppm/°C % %/V
Threshold Voltage			0.667			0.667		x V_{CC}
Trigger Voltage	V_{CC} = 15V V_{CC} = 5V	4.8 1.45	5 1.67	5.2 1.9		5 1.67		V V
Trigger Current			0.01	0.5		0.5	0.9	μA
Reset Voltage		0.4	0.5	1	0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4		0.1	0.4	mA
Threshold Current	(Note 4)		0.1	0.25		0.1	0.25	μA
Control Voltage Level	V_{CC} = 15V V_{CC} = 5V	9.6 2.9	10 3.33	10.4 3.8	9 2.6	10 3.33	11 4	V V
Pin 7 Leakage Output High			1	100		1	100	nA
Pin 7 Sat (Note 5) Output Low Output Low	 V_{CC} = 15V, I_7 = 15 mA V_{CC} = 4.5V, I_7 = 4.5 mA		 150 70	 100		 180 80	 200	 mV mV

Electrical Characteristics $T_A = 25°C$, $V_{CC} = +5V$ to $+15V$, (unless othewise specified) (Continued)

Parameter	Conditions	Limits						Units
		LM555			LM555C			
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15V$							
	$I_{SINK} = 10$ mA		0.1	0.15		0.1	0.25	V
	$I_{SINK} = 50$ mA		0.4	0.5		0.4	0.75	V
	$I_{SINK} = 100$ mA		2	2.2		2	2.5	V
	$I_{SINK} = 200$ mA		2.5			2.5		V
	$V_{CC} = 5V$							
	$I_{SINK} = 8$ mA		0.1	0.25				V
	$I_{SINK} = 5$ mA					0.25	0.35	V
Output Voltage Drop (High)	$I_{SOURCE} = 200$ mA, $V_{CC} = 15V$		12.5			12.5		V
	$I_{SOURCE} = 100$ mA, $V_{CC} = 15V$	13	13.3		12.75	13.3		V
	$V_{CC} = 5V$	3	3.3		2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100			100		ns
Fall Time of Output			100			100		ns

Note 1: For operating at elevated temperatures the device mus: be derated above 25°C based on a +150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 164°c/w (T0-5), 106°c/w (DIP) and 170°c/w (S0-8) junction to ambient.

Note 2: Supply current when output high typically 1 mA less at $V_{CC} = 5V$.

Note 3: Tested at $V_{CC} = 5V$ and $V_{CC} = 15V$.

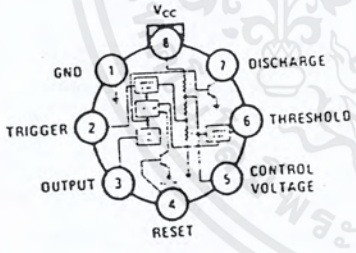
Note 4: This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 15V operation. The maximum total ($R_A + R_B$) is 20 MΩ.

Note 5: No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

Note 6: Refer to RETS555X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

Connection Diagrams

Metal Can Package

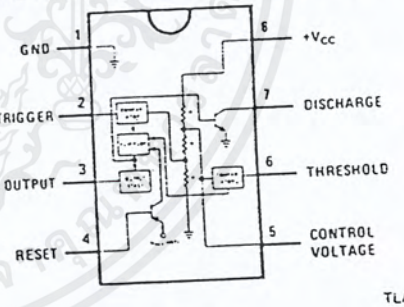


TL/H/7851-2

Top View

Order Number LM555H or LM555CH
See NS Package Number H08C

Dual-In-Line and Small Outline Packages



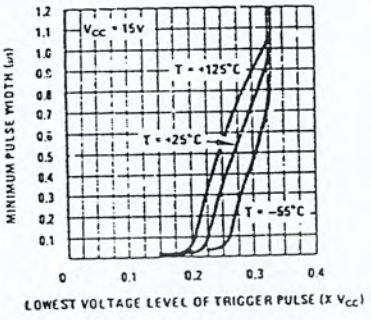
TL/H/7651-3

Top View

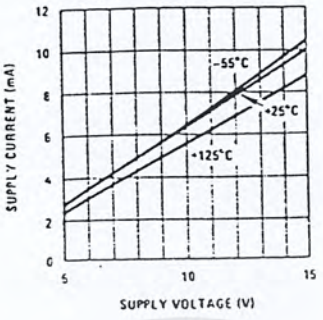
Order Number LM555J, LM555CJ,
LM555CM or LM555CN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

Typical Performance Characteristics

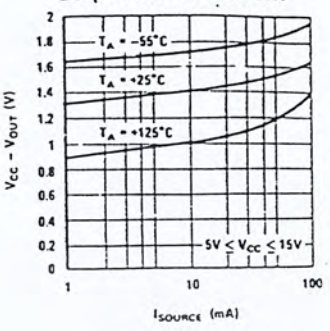
Minimuim Pulse Width Required for Triggering



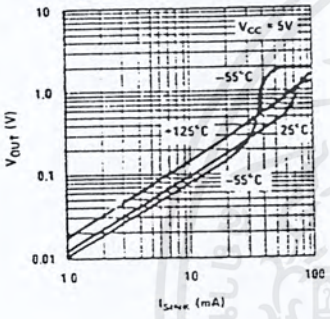
Supply Current vs Supply Voltage



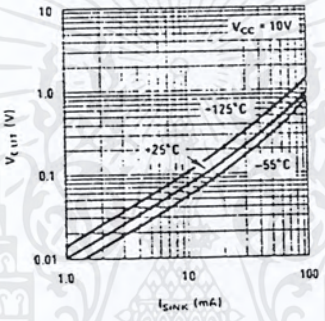
High Output Voltage vs Output Source Current



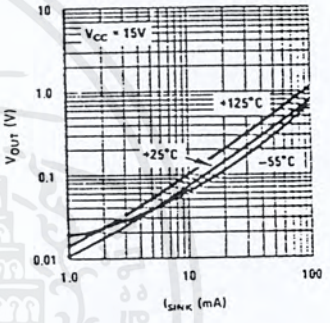
Low Output Voltage vs Output Sink Current



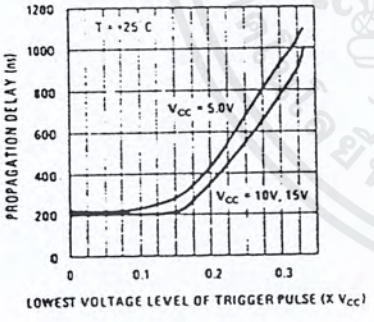
Low Output Voltage vs Output Sink Current



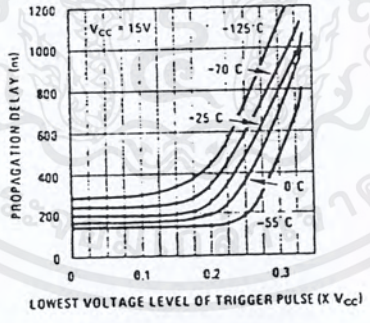
Low Output Voltage vs Output Sink Current



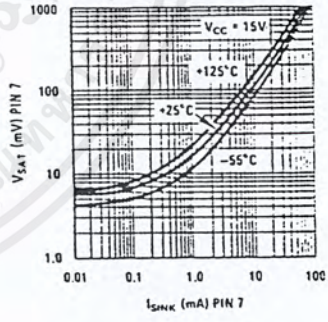
Output Propagation Delay vs Voltage Level of Trigger Pulse



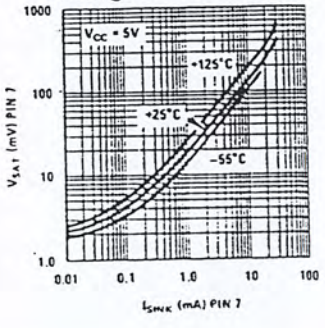
Output Propagation Delay vs Voltage Level of Trigger Pulse



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs Sink Current



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs Sink Current

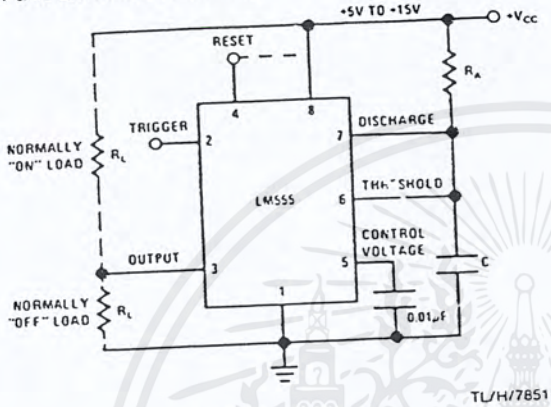


TL/H/7851–4

Applications Information

MONOSTABLE OPERATION

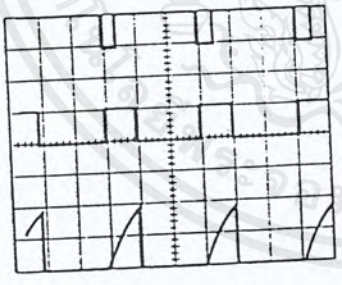
In this mode of operation, the timer functions as a one-shot *(Figure 1)*. The external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer. Upon application of a negative trigger pulse of less than 1/3 V_{CC} to pin 2, the flip-flop is set which both releases the short circuit across the capacitor and drives the output high.



TL/H/7851–5

FIGURE 1. Monostable

The voltage across the capacitor then increases exponentially for a period of $t = 1.1\ R_A\ C$, at the end of which time the voltage equals 2/3 V_{CC}. The comparator then resets the flip-flop which in turn discharges the capacitor and drives the output to its low state. *Figure 2* shows the waveforms generated in this mode of operation. Since the charge and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing internal is independent of supply.



TL/H/7851–6

V_{CC} = 5V
TIME = 0.1 ms/DIV.
R_A = 9.1 kΩ
C = 0.01 μF

Top Trace: Input 5V/Div.
Middle Trace: Output 5V/Div.
Bottom Trace: Capacitor Voltage 2V/Div.

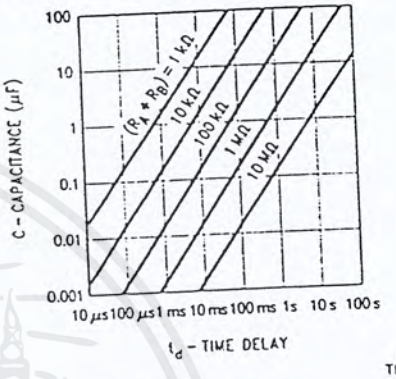
FIGURE 2. Monostable Waveforms

During the timing cycle when the output is high, the further application of a trigger pulse will not effect the circuit so long as the trigger input is returned high at least 10 μs before the end of the timing interval. However the circuit can be reset during this time by the application of a negative pulse to the reset terminal (pin 4). The output will then remain in the low state until a trigger pulse is again applied.

When the reset function is not in use, it is recommended that it be connected to V_{CC} to avoid any possibility of false triggering.

Figure 3 is a nomograph for easy determination of R, C values for various time delays.

NOTE: In monostable operation, the trigger should be driven high before the end of timing cycle.

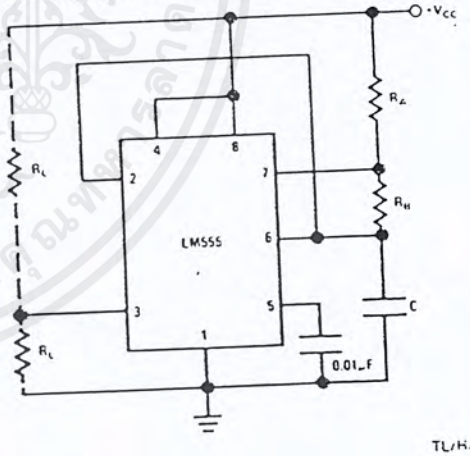


TL/H/7851–7

FIGURE 3. Time Delay

ASTABLE OPERATION

If the circuit is connected as shown in *Figure 4* (pins 2 and 6 connected) it will trigger itself and free run as a multivibrator. The external capacitor charges through $R_A + R_B$ and discharges through R_B. Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.



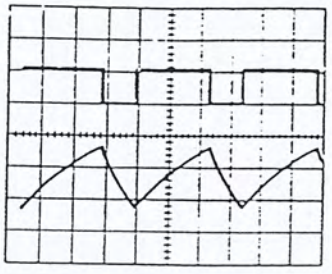
TL/H/7851–8

FIGURE 4. Astable

In this mode of operation, the capacitor charges and discharges between 1/3 V_{CC} and 2/3 V_{CC}. As in the triggered mode, the charge and discharge times, and therefore the frequency are independent of the supply voltage.

Applications Information (Continued)

Figure 5 shows the waveforms generated in this mode of operation.



TL/H/7851–9

V_{CC} = 5V — Top Trace: Output 5V/Div.
TIME = 20 μs/DIV. — Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.
R_A = 3.9 kΩ
R_B = 3 kΩ
C = 0.01 μF

FIGURE 5. Astable Waveforms

The charge time (output high) is given by:

$$t_1 = 0.693\,(R_A + R_B)\,C$$

And the discharge time (output low) by:

$$t_2 = 0.693\,(R_B)\,C$$

Thus the total period is:

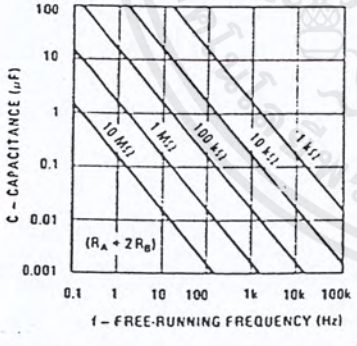
$$T = t_1 + t_2 = 0.693\,(R_A + 2R_B)\,C$$

The frequency of oscillation is:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)\,C}$$

Figure 6 may be used for quick determination of these RC values.

The duty cycle is: $D = \dfrac{R_B}{R_A + 2R_B}$

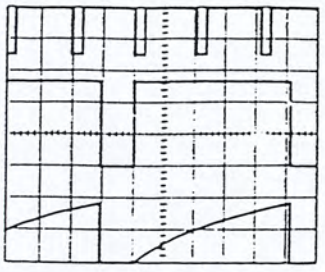


TL/H/7851–10

FIGURE 6. Free Running Frequency

FREQUENCY DIVIDER

The monostable circuit of *Figure 1* can be used as a frequency divider by adjusting the length of the timing cycle. *Figure 7* shows the waveforms generated in a divide by three circuit.



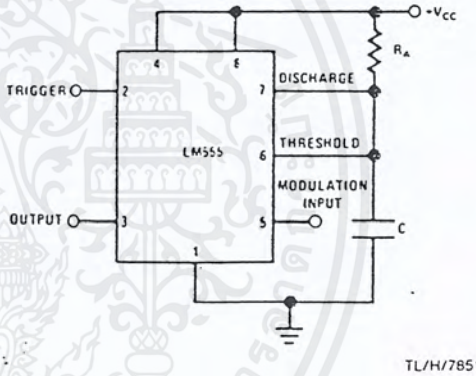
TL/H/7851–11

V_{CC} = 5V — Top Trace: Input 4V/Div.
TIME = 20 μs/DIV. — Middle Trace: Output 2V/Div.
R_A = 9.1 kΩ — Bottom Trace: Capacitor 2V/Div.
C = 0.01 μF

FIGURE 7. Frequency Divider

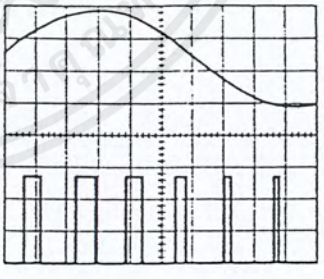
PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. *Figure 8* shows the circuit, and in *Figure 9* are some waveform examples.



TL/H/7851–12

FIGURE 8. Pulse Width Modulator



TL/H/7851–13

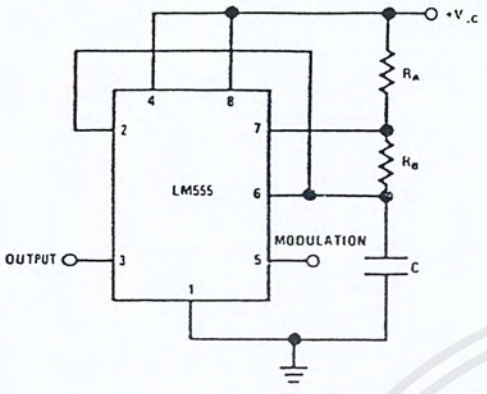
V_{CC} = 5V — Top Trace: Modulation 1V/Div.
TIME = 0.2 ms/DIV. — Bottom Trace: Output Voltage 2V/Div.
R_A = 9.1 kΩ
C = 0.01 μF

FIGURE 9. Pulse Width Modulator

PULSE POSITION MODULATOR

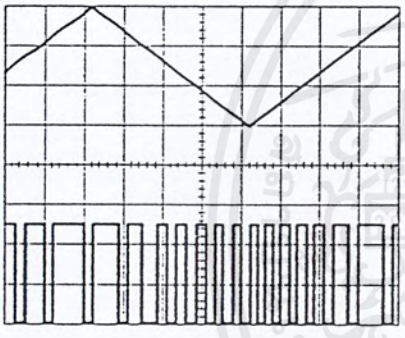
This application uses the timer connected for astable operation, as in *Figure 10,* with a modulating signal again applied to the control voltage terminal. The pulse position varies with the modulating signal, since the threshold voltage and hence the time delay is varied. *Figure 11* shows the waveforms generated for a triangle wave modulation signal.

Applications Information (Continued)



TL/H/7851–14

FIGURE 10. Pulse Position Modulator



TL/H/7851–15

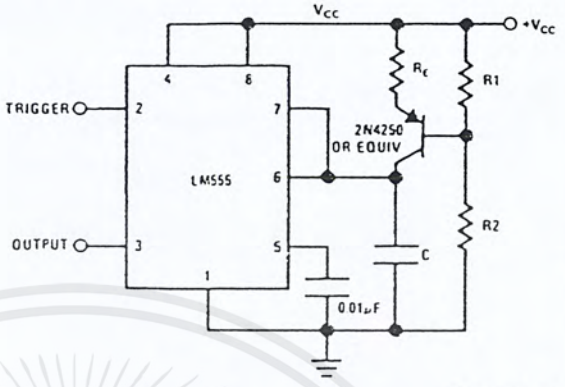
V_{CC} = 5V
TIME = 0.1 ms/DIV.
R_A = 3.9 kΩ
R_B = 3 kΩ
C = 0.01 μF

Top Trace: Modulation Input 1V/Div.
Bottom Trace: Output 2V/Div.

FIGURE 11. Pulse Position Modulator

LINEAR RAMP

When the pullup resistor, R_A, in the monostable circuit is replaced by a constant current source, a linear ramp is generated. *Figure 12* shows a circuit configuration that will perform this function.



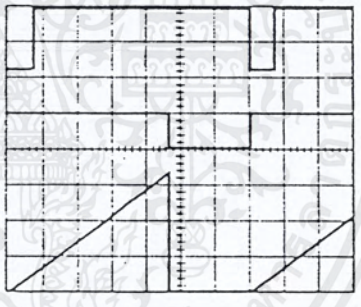
TL/H/7851–16

FIGURE 12

Figure 13 shows waveforms generated by the linear ramp. The time interval is given by:

$$T = \frac{2/3\, V_{CC}\, R_E\, (R_1 + R_2)\, C}{R_1\, V_{CC} - V_{BE}\, (R_1 + R_2)}$$

$$V_{BE} \cong 0.6V$$



TL/H/7851–17

V_{CC} = 5V
TIME = 20 μs/DIV.
R_1 = 47 kΩ
R_2 = 100 kΩ
R_E = 2.7 kΩ
C = 0.01 μF

Top Trace: Input 3V/Div.
Middle Trace: Output 5V/Div.
Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.

FIGURE 13. Linear Ramp

50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle, the resistors R_A and R_B may be connected as in *Figure 14*. The time period for the out-

Applications Information (Continued)

put high is the same as previous. $t_1 = 0.693\ R_A\ C$. For the output low it is $t_2 =$

$$\left[(R_A\ R_B)/(R_A + R_B)\right] C \ln\left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A}\right]$$

Thus the frequency of oscillation is $f = \dfrac{1}{t_1 + t_2}$

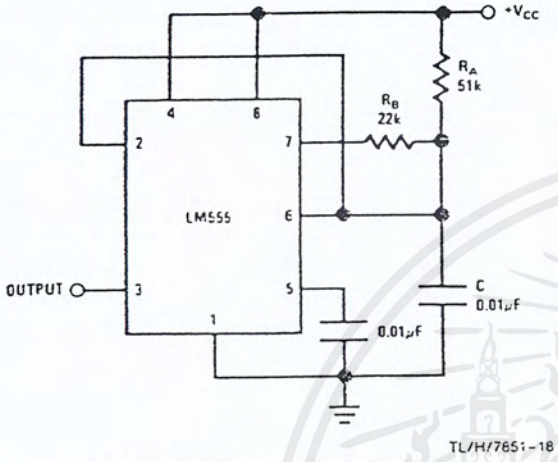


FIGURE 14. 50% Duty Cycle Oscillator

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater than 1/2 R_A because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to 1/3 V_{CC} and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is 0.1 μF in parallel with 1 μF electrolytic.

Lower comparator storage time can be as long as 10 μs when pin 2 is driven fully to ground for triggering. This limits the monostable pulse width to 10 μs minimum.

Delay time reset to output is 0.47 μs typical. Minimum reset pulse width must be 0.3 μs, typical.

Pin 7 current switches within 30 ns of the output (pin 3) voltage.

National Semiconductor

LM567/LM567C Tone Decoder

General Description

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

Features

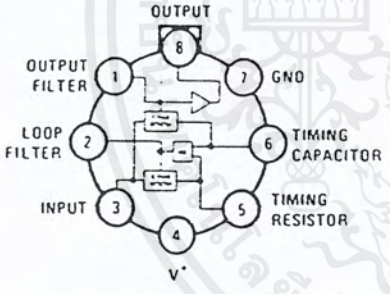
- 20 to 1 frequency range with an external resistor
- Logic compatible output with 100 mA current sinking capability
- Bandwidth adjustable from 0 to 14%
- High rejection of out of band signals and noise
- Immunity to false signals
- Highly stable center frequency
- Center frequency adjustable from 0.01 Hz to 500 kHz

Applications

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

Connection Diagrams

Metal Can Package

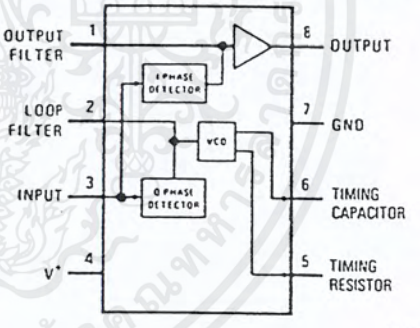


TL/H/6975–1

Top View

Order Number LM567H or LM567CH
See NS Package Number H08C

Dual-In-Line and Small Outline Packages



TL/H/6975–2

Top View

Order Number LM567CM
See NS Package Number M08A

Order Number LM567CN
See NS Package Number N08E

Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage Pin	9V
Power Dissipation (Note 1)	1100 mW
V_8	15V
V_3	−10V
V_3	V_4 + 0.5V
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Operating Temperature Range	
LM567H	−55°C to +125°C
LM567CH, LM567CM, LM567CN	0°C to +70°C

Soldering Information

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

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

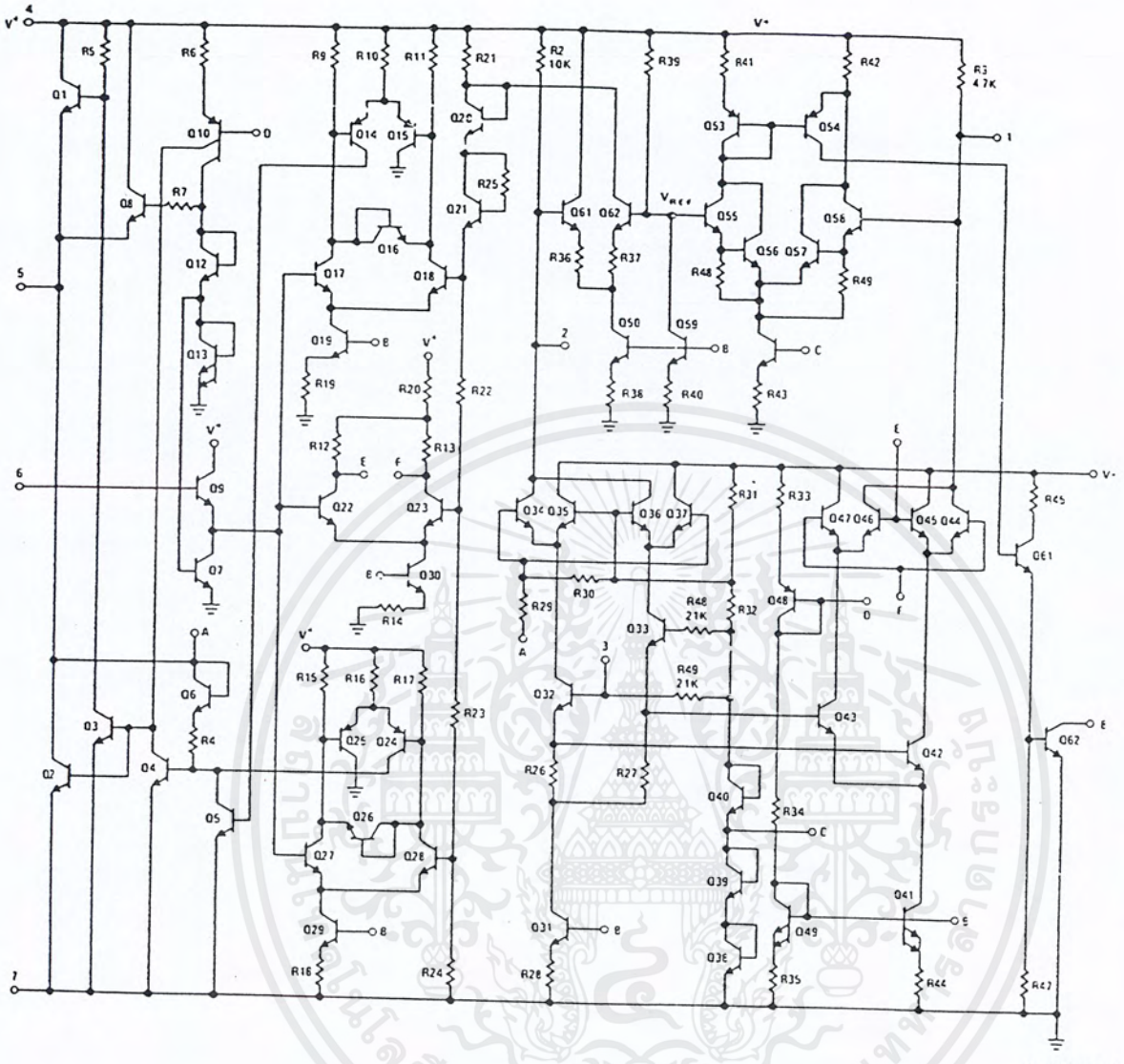
Electrical Characteristics AC Test Circuit, $T_A = 25°C$, $V^+ = 5V$

Parameters	Conditions	LM567			LM567C/LM567CM			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Power Supply Voltage Range		4.75	5.0	9.0	4.75	5.0	9.0	V
Power Supply Current Quiescent	R_L = 20k		6	8		7	10	mA
Power Supply Current Activated	R_L = 20k		11	13		12	15	mA
Input Resistance		18	20		15	20		kΩ
Smallest Detectable Input Voltage	I_L = 100 mA, $f_i = f_o$		20	25		20	25	mVrms
Largest No Output Input Voltage	I_C = 100 mA, $f_i = f_o$	10	15		10	15		mVrms
Largest Simultaneous Outband Signal to Inband Signal Ratio			6			6		dB
Minimum Input Signal to Wideband Noise Ratio	B_n = 140 kHz		−6			−6		dB
Largest Detection Bandwidth		12	14	16	10	14	18	% of f_o
Largest Detection Bandwidth Skew			1	2		2	3	% of f_o
Largest Detection Bandwidth Variation with Temperature			±0.1			±0.1		%/°C
Largest Detection Bandwidth Variation with Supply Voltage	4.75 − 6.75V		±1	±2		±1	±5	%V
Highest Center Frequency		100	500		100	500		kHz
Center Frequency Stability (4.75–5.75V)	$0 < T_A < 70$ $-55 < T_A < +125$		35 ± 60 35 ± 140			35 ±60 35 ± 140		ppm/°C ppm/°C
Center Frequency Shift with Supply Voltage	4.75V − 6.75V 4.75V − 9V		0.5	1.0 2.0		0.4	2.0 2.0	%/V %/V
Fastest ON-OFF Cycling Rate			f_o/20			f_o/20		
Output Leakage Current	V_8 = 15V		0.01	25		0.01	25	µA
Output Saturation Voltage	e_i = 25 mV, I_8 = 30 mA e_i = 25 mV, I_8 = 100 mA		0.2 0.6	0.4 1.0		0.2 0.6	0.4 1.0	V
Output Fall Time			30			30		ns
Output Rise Time			150			150		ns

Note 1: The maximum junction temperature of the LM567 and LM567C is 150°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient or 45°C/W, junction to case. For the DIP the device must be derated based on a thermal resistance of 110°C/W, junction to ambient. For the Small Outline package, the device must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W, junction to ambient.

Note 2: Refer to RETS567X drawing for specifications of military LM567H version.

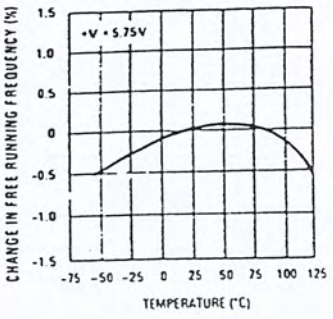
Schematic Diagram



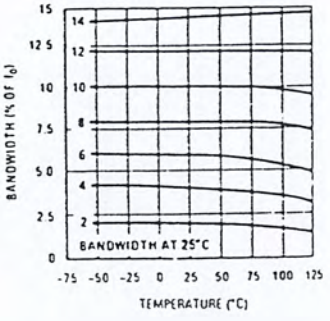
TL/H/6975-3

Typical Performance Characteristics

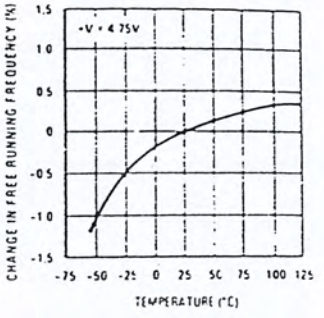
Typical Frequency Drift



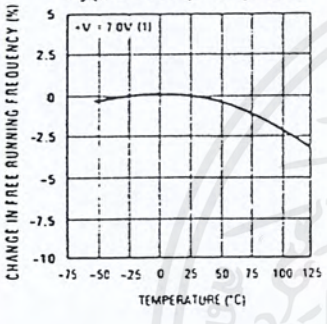
Typical Bandwidth Variation



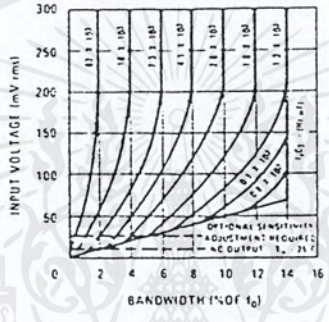
Typical Frequency Drift



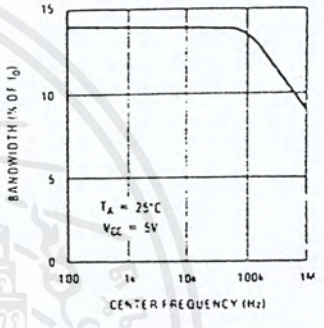
Typical Frequency Drift



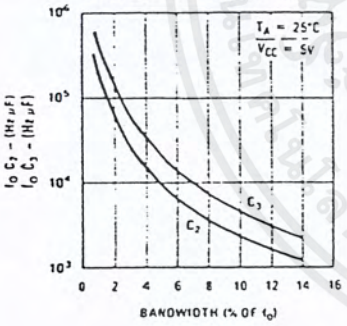
Bandwidth vs Input Signal Amplitude



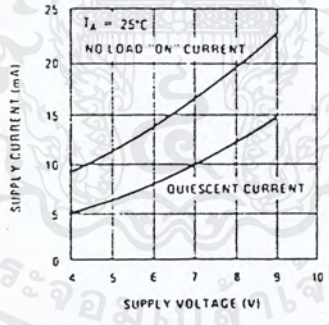
Largest Detection Bandwidth



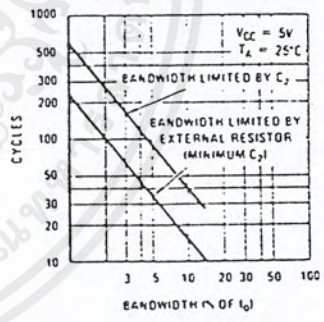
Detection Bandwidth as a Function of C_2 and C_3



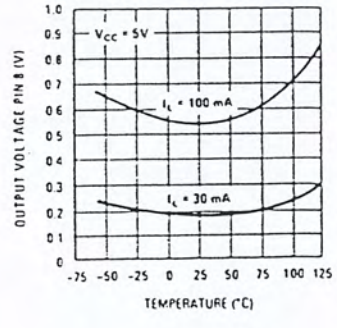
Typical Supply Current vs Supply Voltage



Greatest Number of Cycles Before Output



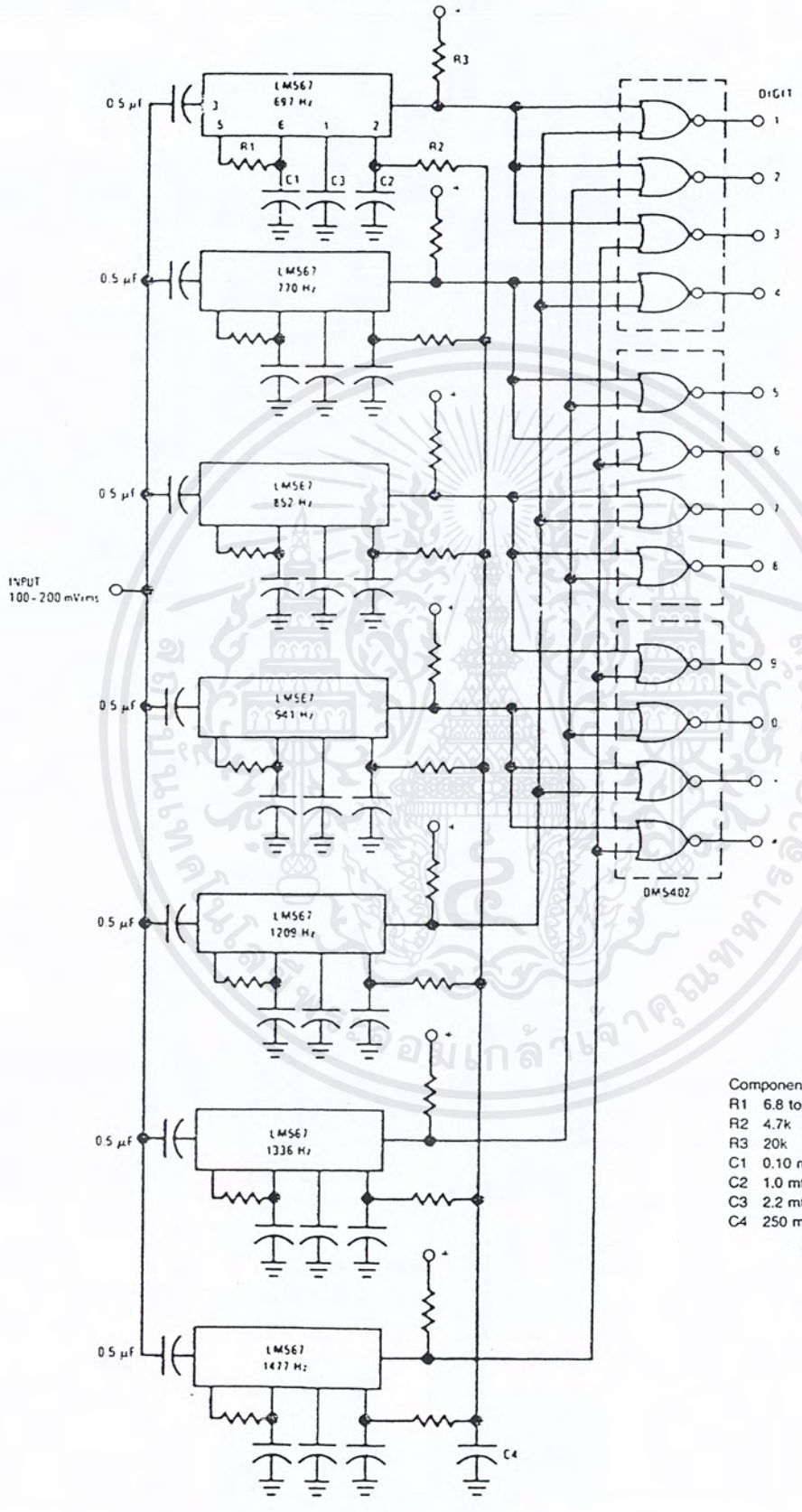
Typical Output Voltage vs Temperature



TL/H/6975–4

Typical Applications

Touch-Tone Decoder



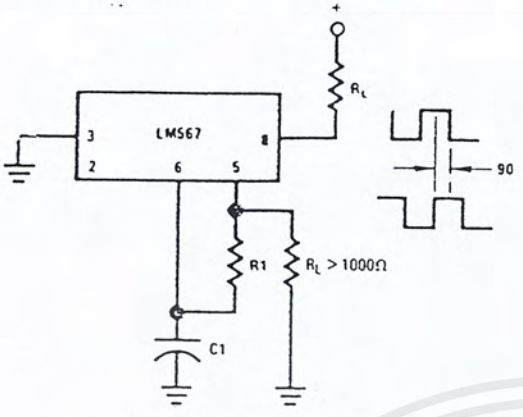
Component values (typ)

R1	6.8 to 15k
R2	4.7k
R3	20k
C1	0.10 mfd
C2	1.0 mfd 6V
C3	2.2 mfd 6V
C4	250 mfd 6V

TL/H/6975–5

Typical Applications (Continued)

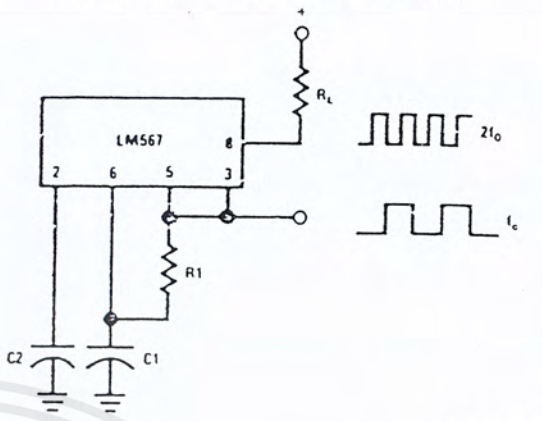
Oscillator with Quadrature Output



Connect Pin 3 to 2.8V to Invert Output

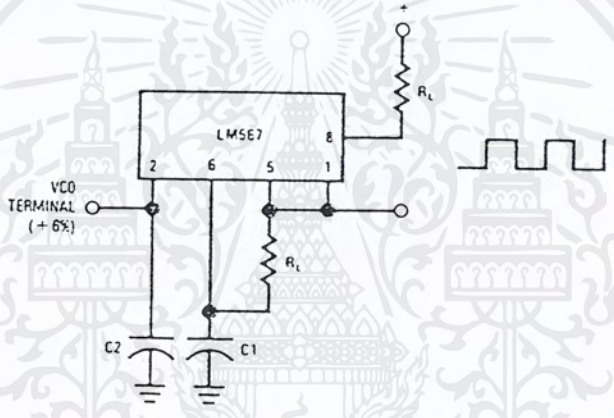
TL/H/6975–6

Oscillator with Double Frequency Output



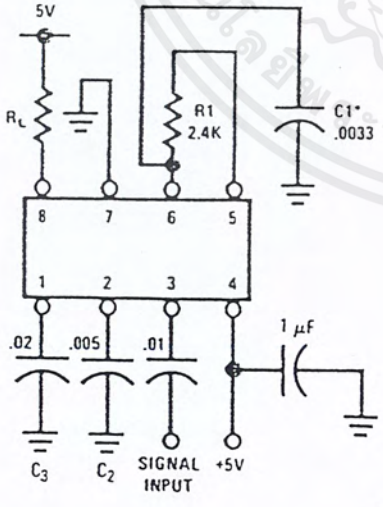
TL/H/6975–7

Precision Oscillator Drive 100 mA Loads



TL/H/6975–8

AC Test Circuit



TL/H/6975–9

f_i = 100 kHz ÷ 5V

*Note: Adjust for f_o = 100 kHz.

Applications Information

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

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

The bandwidth of the filter may be found from the approximation

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

Where:

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

C_2 = Capacitance at Pin 2 (μF)

กิตติกรรมประกาศ

- ขอขอบคุณ อาจารย์ปราโมทย์ วาดเขียน ที่ให้ความรู้ตลอดจนคำแนะนำต่างๆในการจัดทำโครงงานในครั้งนี้และเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาตลอดทุกโครงงานในทุกเทอม
- ขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆในห้องโปรเจคที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา
- ขอบคุณ คุณณัฐวุฒ(ลิ้มคุง) ที่ให้ยืมเครื่องปริ้น(Printer)และให้ความช่วยเหลือเพื่อนเสมอมา
- ขอบคุณ คุณหัตถพล(เบส) ที่ช่วยในการวาดวงจรอันสวยงาม
- ขอบคุณ คุณสุขสวัสดิ์ ที่ให้ยืมคอมพิวเตอร์ในการพิมพ์งานและคอยช่วยเหลือมาโดยตลอด

และขอขอบคุณ คุณพ่อ-คุณแม่ผู้ให้กำเนิดที่ะ บรมเลี้ยงดูและให้การศึกษาแก่ลูก



บรรณานุกรม

รศ.ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์, วิศวกรรมการสื่อสาร,อักษรสยามการพิมพ์ 1,2540

พันศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, ทฤษฎีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร,ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ,2538

นภัทร วัจนเทพินทร์, ทฤษฎีและการออกแบบวงจรพัลซ์ ,บริษัทสยามสปอร์ตซินดิเคท จำกัด

