



การพัฒนาระบบวิทยุโทรศัพท์ SINGLE CHANNEL MODEL SR10  
RADIO TELEPHONE DEVELOPMENT



โดย

นายชนากร เป้าไชยสง  
นายคมสันต์ วัฒนสุทธิ  
นายฉลอง ตาราภูมิ  
นายสุมิตร บัวผัน

วัน เดือน ปี... 29 ก.พ. 2541  
เลขทะเบียน... 038127  
เลขเรียกหนังสือ... T99147 ๕ 2541 ก

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำ 038127 งานการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2539

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาระบบวิทยุโทรศัพท์ SINGLE CHANNEL MODEL SR10  
(RADIO TELEPHONE DEVELOPMENT)

ผู้จัดทำ

1. นายธนากร เป้าไธสง	รหัสประจำตัว	37013017
2. นายคมสันต์ วัฒนสุทธิ	รหัสประจำตัว	37013053
3. นายฉลอง ดาราภูมิ	รหัสประจำตัว	37013056
4. นายสุมิตร บัวผัน	รหัสประจำตัว	37013091

  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ถวิล กิ่งทอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การพัฒนาระบบวิทยุโทรศัพท์ SINGLE CHANNEL MODEL SR10 RADIO TELEPHONE DEVELOPMENT

โดย นายธนากร เป้าไธสง  
นายคมสันต์ วัฒนสุทธิ  
นายฉลอง ตาราภูมิ  
นายสุมิตร บัวผัน

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ถวิล กิ่งทอง

## บทคัดย่อ

ปฏิญานิทพนธ์นี้เป็นการพัฒนาเครื่องมือสื่อสารประเภทวิทยุโทรศัพท์ MODEL SR10 ซึ่งปัจจุบันได้ถูกปลดประจำการไปแล้ว เนื่องจากหาอะไหล่ที่ใช้ในการซ่อมบำรุงไม่ได้ เพื่อให้นำกลับมาใช้งานได้อีก จากการสำรวจพบว่าภาคเครื่องรับส่งวิทยุยังมีประสิทธิภาพดีอยู่ ดังนั้นในปฏิญานิทพนธ์นี้จะพัฒนาภาคควบคุมการอินเตอร์เฟสขึ้นมาใหม่ เพื่อใช้ร่วมกับชุดรับส่งวิทยุชุดเดิม โดยจุดมุ่งหมายในการพัฒนาจะเป็นดังนี้

1. ใช้งานได้เหมือนระบบเดิม
2. ชุดควบคุมการ อินเตอร์เฟส สามารถเชื่อมต่อเป็นต้นทางหรือปลายทางได้

หลักการงานจะใช้เทคนิคการส่งสัญญาณความถี่ควบคุม Outband Signalling 3825 Hz ผ่านชุดเครื่องรับส่งวิทยุ ระหว่างเครื่องต้นทางและเครื่องปลายทาง

## ABSTRACT

This project is the development for model SR-10 radio telephone which has been rejected from the military service because of no spare part available for maintenance. From the equipment testing, getting the result that the transmitter and receiver circuit is still in good condition. So that this project will develop and redesign only the interfacing circuit to use with the old transmitter and receiver. The outband signal controlling frequency 3825 Hz is selected to communicate between exchange unit and subscriber unit. After finishing the development, the equipment can be used either exchange or subscriber unit to save the maintenance cost due to the less number of spare units.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนำ

ระบบวิทยุโทรศัพทเป็นเครื่องมือสื่อสารประเภทหนึ่ง ซึ่งสามารถใช้งานได้ดี มีความคล่องตัวในการใช้งานสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกิจการทหาร วิทยุโทรศัพทสามารถสนับสนุนการแจกจ่ายหมายเลขโทรศัพทจากชุมสายไปยังปลายทาง ณ ที่ต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ดังนั้น การยกเลิกการใช้งานอันเนื่องมาจากการขาดแคลนอะไหล่ในการซ่อมบำรุง จึงเป็นที่น่าเสียดายอย่างยิ่ง

ในปริญญานิพนธ์นี้ ได้ทำการศึกษาและออกแบบวงจรอินเทอร์เฟสขึ้นมาใหม่ เพื่อที่จะใช้ร่วมกับวงจรเครื่องรับและวงจรเครื่องส่งชุดเดิมของอุปกรณ์วิทยุโทรศัพทที่ยังคงใช้งานได้ดียิ่ง

ภายในเล่มจะประกอบไปด้วยเนื้อหาต่างๆ คือ บทนำ ซึ่งจะกล่าวถึงหลักการและลักษณะการใช้งานของระบบวิทยุโทรศัพท บทที่สอง กล่าวถึงทฤษฎีและการออกแบบวงจรส่วนย่อยต่างๆ ที่ได้ถูกนำมาประกอบกันเป็นวงจรอินเทอร์เฟส บทที่สาม กล่าวถึงการทดสอบวงจรส่วนย่อยต่างๆ เพื่อที่จะได้นำผลการทดสอบเหล่านั้นมาออกแบบเป็นวงจรสมบูรณ์ เพื่อที่จะได้นำไปอินเทอร์เฟสกับวงจรเครื่องรับ-ส่งชุดเดิม ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของการสร้างและการทดลองใช้งานจริงพร้อมด้วยบทสรุปของปัญหา การแก้ไขและแนวทางในการพัฒนาต่อไป ใน บทที่สี่ ซึ่งเป็นบทสุดท้ายของเนื้อหา

ทางคณะผู้จัดทำหวังใจเป็นอย่างยิ่งว่า ปริญญานิพนธ์นี้คงจะเป็นประโยชน์และมีคุณค่ายิ่งต่อเมื่อผู้ที่ศึกษาจะได้นำไปใช้ในทางปฏิบัติจริง และหาทางพัฒนาให้อุปกรณ์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นไปจากเดิม ถ้าหากมีสิ่งหนึ่งประการใดผิดตกบกพร่อง ทางคณะผู้จัดทำขออ้อมรับผิดมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

## กิติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรนี้ไม่อาจสำเร็จลงได้ หากไม่ได้รับความร่วมมือจากแหล่งข้อมูล อันได้แก่ ศูนย์  
โทรคมนาคมทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด ซึ่งอนุญาตให้ทำการพัฒนาอุปกรณ์วิทยุโทรศัพท์  
คำ แนะนำอันมีค่ายิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ถวิล กิ่งทอง และความช่วยเหลือในการ  
พิมพ์ต้นฉบับจากเพื่อนๆ ผู้มีน้ำใจงาม

ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องให้ปริญญาบัตรนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี  
มา ณ โอกาสนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทำงาน</b>	3
- การเชื่อมต่อระบบวิทยุและระบบโทรศัพท์แบบ 2 Wire	3
- หลักการทำงานของภาคปลายทาง (Subscriber)	7
- หลักการทำงานของภาคต้นทาง (Exchange)	9
- ทฤษฎีไฮบริด	12
- ภาคถอดรหัสโทนเสียงเดี่ยวแบบเฟสล็อกกลูฟ	17
- หลักการทำงานของภาค Terminating Unit	22
- ทฤษฎีออฟแอมป์	29
- ทฤษฎีวงจรถอดทอน	32
- การสร้างสัญญาณริงก์	39
<b>บทที่ 3 การทดสอบและผลการทดสอบ</b>	44
- วงจร Amplifier	44
- วงจรถอดทอน	48
- วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	50
- วงจร 3825 Hz ออสซิลเลเตอร์	53
- วงจร 3825 Hz ดีโค๊ดเดอร์	56
- วงจรไฮบริด	58
<b>บทที่ 4 บทสรุป</b>	59
- การสร้างและการทดสอบการใช้งาน	59
- การปรับแต่ง	61
- ปัญหาและการแก้ไข	64
- รายการอุปกรณ์	74
<b>ภาคผนวก</b>	
- LM386 Low Voltage Audio Power Amplifier	A
- LM387 Low Noise Dual Preamplifier	E
- LM567 Tone Decoder	I
- LM346 Programmable Quad Operational Amplifier	O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

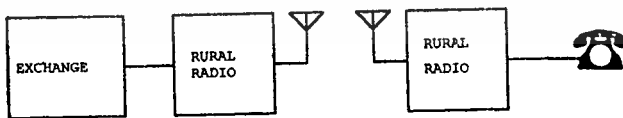
ด้วยในปัจจุบันเป็นยุคของข้อมูลข่าวสาร ดังนั้นเครื่องมือสื่อสารในหลาย ๆ ประเภทหลากหลายรูปแบบจึงได้ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นมาเพื่อที่จะตอบสนองความต้องการที่จะใช้บริการของผู้คนในสังคมโดยไม่มีการแบ่งแยกกว่าจะเป็นสังคมเมืองหรือสังคมชนบท

ระบบโทรศัพท์ถือได้ว่าเป็นระบบเครื่องมือสื่อสารขั้นพื้นฐาน ดังจะเห็นได้จากแผนการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศฉบับต่าง ๆ ซึ่งจะมีการกำหนดเป้าหมายในการทำงานว่าจำนวนหมายเลขโทรศัพท์ต่อจำนวนประชากรจะมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเป็นเท่าใด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการพัฒนาระบบโทรศัพท์ โดยใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ ในการที่จะกระจายหมายเลขโทรศัพท์ออกไปให้ทั่วถึงกัน ทั้งในสังคมเมืองและสังคมชนบท

การกระจายหมายเลขโทรศัพท์ในสังคมเมืองส่วนใหญ่สามารถกระทำได้ ด้วยการวางเคเบิล แต่สำหรับในชนบทแล้วการกระจายหมายเลขโทรศัพท์โดยวิธีการวางเคเบิลนั้น บางครั้งจะพบอุปสรรคมากมายด้วยลักษณะภูมิประเทศที่ไม่เอื้ออำนวย มีทั้งเทือกเขา สายน้ำ ถนนหนทาง ต่าง ๆ มากมาย ดังนั้นระบบวิทยุโทรศัพท์สำหรับชนบทจึงถูกคิดค้นขึ้นและพัฒนาขึ้นมาโดยลำดับ

เนื่องจากระบบวิทยุโทรศัพท์มีความคล่องตัวในการทำงานมาก จึงเป็นที่นิยมใช้ในกิจการทหาร ไม่ว่าจะเป็นการแจกจ่ายหมายเลขโทรศัพท์ไปยังฐานที่มั่นแนวหน้าเป็นการชั่วคราวในยามศึกหรือจะเป็นการอำนวยความสะดวกให้กับบุคคลสำคัญ เมื่อมีการเดินทางไปยังดินแดนอันไกลโพ้นสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ กัน ดังนั้นความคล่องตัวในการทำงาน เช่น ติดตั้งเคลื่อนย้ายได้โดยง่าย ใช้เวลาไม่มากจึงเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงควบคู่ไปกับการพัฒนาในด้านอื่น ๆ ด้วย

### ระบบวิทยุโทรศัพท์ ( Radio Telephone System )



รูปที่ 1.1 แสดงวิธีการให้หมายเลขโทรศัพท์จำนวนหนึ่งหมายเลข

จากรูปที่ 1.1 จะแสดงถึงวิธีในการให้หมายเลขโทรศัพท์จำนวนหนึ่งหมายเลข โดยผ่านระบบวิทยุ

ซึ่งจากหลักการนี้ จะเห็นว่าระยะห่างระหว่างต้นทางกับปลายทางนั้นจะขึ้นอยู่กับกำลังของเครื่องส่งและความไวของเครื่องรับของทั้งสองด้าน สามารถที่จะโทรศัพท์เรียกออกไปยังปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางที่ต้องการได้ด้วยวิธีการปกติธรรมดา โดยภาค Subscriber Unit จะทำหน้าที่เชื่อมต่อโทรศัพท์ เข้ากับชุดเครื่องส่ง-รับ ซึ่งก็จะมีขบวนการในการที่จะผลิตความถี่เฉพาะค่าๆหนึ่ง เพื่อแทนสัญญาณ ของหมายเลขต่างๆเมื่อมีการเรียกออกไปยังชุมสายโทรศัพท์ (Outgoing Call) พร้อมทั้งมีการรับเอา สัญญาณเรียกจากชุมสายมาเพื่อควบคุมการผลิตสัญญาณกระดิ่ง ( Ringing Signal ) เพื่อจ่ายให้ เครื่องโทรศัพท์เมื่อมีการเรียกเข้ามายังผู้ใช้ ( Incomming Call )

ในการทำงานเดียวกัน ในภาค Exchange Unit ก็จะมีขบวนการที่จะตอบสนองต่อการเรียกออก ( Outgoing Call ) และการเรียกเข้า ( Incomming Call ) เช่นเดียวกันคือ จะมีวิธีการในการรับเอา สัญญาณความถี่ที่แทนหมายเลขต่างๆแล้วแปลงเพื่อส่งให้ชุมสายโทรศัพท์ดำเนินการต่อ และมีวิธี การรับสัญญาณกระดิ่งจากชุมสายมา เพื่อควบคุมการดำเนินความถี่เฉพาะค่าหนึ่งที่จะแทน สัญญาณกระดิ่งจากชุมสาย ส่งไปให้ภาค Subscriber นำไปใช้ในการทำให้กระดิ่งโทรศัพท์ทำงาน ดังที่กล่าวไว้แล้ว

จะสังเกตได้ว่า ลักษณะการทำงานทั้งระบบจะต้องมี ภาค Exchange และภาค Subscriber เป็นคู่ๆกันไป ดังนั้นเมื่อมีจำนวนเครื่องใช้งานเป็นจำนวนมากย่อมจะต้องมีเครื่องสำรองเป็นจำนวน มากตามไปด้วย เมื่อด้าน Subscriber และด้าน Exchange มีความต่างกันจะทำให้เกิดความสิ้น เปลืองค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นถ้าพัฒนาให้เครื่องสามารถทำงานได้ทั้งด้าน Subscriber และ Exchange จึงได้ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อประโยชน์ในการบำรุงรักษาที่ไม่ยุ่งยากดังเช่นแต่ก่อน และเพื่อประโยชน์ ในด้านจำนวนเครื่องที่ใช้สำรองการใช้งานซึ่งจะมีจำนวนที่ลดลงเป็นผลให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่าย เป็นอย่างดี

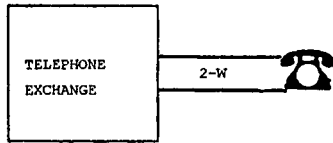
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี และ หลักการทำงาน

#### การเชื่อมต่อระบบวิทยุ และระบบโทรศัพท์แบบ 2W ( Two - wire )

##### ระบบโทรศัพท์ 2W



รูปที่ 2.1 ระบบโทรศัพท์แบบ 2 Wire

จากรูปที่ 2.1 แสดงระบบโทรศัพท์แบบ 2Wire ชุมสายจะต่อกับเครื่องโทรศัพท์โดยใช้สัญญาณ 2 เส้น โดยที่ชุมสายจะเป็นผู้จ่ายไฟเลี้ยงให้กับเครื่องโทรศัพท์ โดยทั่วไปชุมสายจะจ่ายไฟเลี้ยงเครื่องโทรศัพท์ประมาณ 48 โวลท์ ( 48 VDC ) ขณะวางหูชุมสายจะตรวจสอบการใช้งานของผู้ใช้โดยตรวจสอบจากกระแสไฟ ( Current ) ที่จ่ายให้กับเครื่องโทรศัพท์ หรือ แรงดันไฟ ( Voltage ) ที่ไปเลี้ยงเครื่องโทรศัพท์เมื่อผู้ใช้ทำการยกหูโทรศัพท์จะมีกระแสไฟไหลผ่าน และแรงดันไฟที่สาย ( Line ) จะลดต่ำลง ทำให้ชุมสายรับรู้ว่าการยกหูโทรศัพท์ ชุมสายจึงจะทำการส่งไดอัลโทน ( Dial Tone ) ให้กับเครื่องโทรศัพท์ หลังจากนั้นชุมสายจะรอรับการหมุน หรือ กดปุ่มหมายเลขจากเครื่องโทรศัพท์

ถ้าหากชุมสายการเรียกไปยังผู้ใช้ ชุมสายจะส่งสัญญาณเรียก ( Ringing ) ไปยังผู้ใช้โทรศัพท์ สัญญาณเรียกจะเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ ( AC ) มีความถี่ประมาณ 16 - 20 Hz และมีแอมพลิจูด ( Amplitude ) ประมาณ 70 - 90 โวลท์ เพื่อให้กระดิ่งภายในเครื่องโทรศัพท์ดัง

สัญญาณเสียง ( Voice ) ที่ส่งและรับจะผ่านสายคู่เดียวในลักษณะ Full Duplex คือสามารถรับและส่งได้ในขณะเดียวกัน ดังนั้นอุปกรณ์ที่จะทำการเชื่อมต่อระหว่างชุมสาย กับเครื่องโทรศัพท์จะต้องมีความสามารถในการทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณต่างๆที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้ คือ

- ทำหน้าที่ส่งผ่านไฟเลี้ยงจากชุมสายไปยัง เครื่องโทรศัพท์ได้
- ทำหน้าที่ส่งผ่านสภาวะการยกหู หรือการวางหู ของเครื่องโทรศัพท์ ไปยังชุมสายได้ดี
- ทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณเรียกจากชุมสายไปยังเครื่องโทรศัพท์ได้
- ทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณเสียงระหว่างชุมสาย กับเครื่องโทรศัพท์ ได้

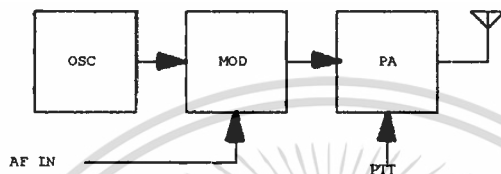
## ระบบวิทยุ

ระบบวิทยุสามารถแบ่งออกได้เป็น ส่วนใหญ่ ๆ คือ

ส่วนที่ 1 เครื่องส่ง ( Transmitter , Tx )

ส่วนที่ 2 เครื่องรับ ( Receiver , Rx )

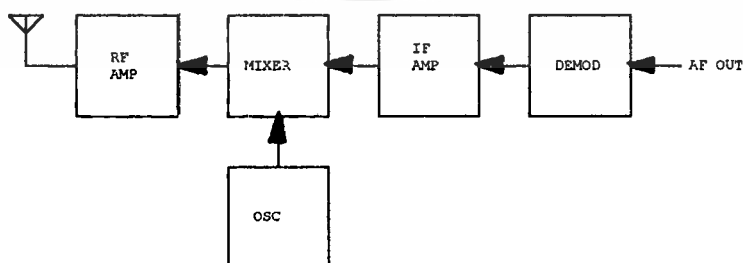
### เครื่องส่ง



รูปที่ 2.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมอย่างง่ายของเครื่องส่ง

บล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของเครื่องส่ง วงจรผลิตความถี่ ( Oscillator ) จะผลิตความถี่คลื่นพาห์ เพื่อนำมาโมดูเลทกับสัญญาณเสียง ( AF ) ที่วงจรโมดูเลเตอร์ สัญญาณที่ผ่านการโมดูเลทแล้ว จะถูกส่งไปทำการขยายสัญญาณที่ภาคขยายสัญญาณ ( Power Amplifier ) เพื่อส่งออกอากาศโดยที่ภาคขยายสัญญาณจะถูกควบคุมการทำงานจากสัญญาณ PTT ( Push To Talk )

### เครื่องรับ



รูปที่ 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีวงจรจ่ายแรงดันไฟไปเลี้ยงเครื่องโทรศัพท์
- ตรวจสอบสถานะของเครื่องโทรศัพท์แล้วเปลี่ยนเป็นความถี่ที่กำหนดสำหรับบอกสถานะ
- ตรวจสอบสัญญาณความถี่ที่กำหนดแล้วเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณเรียก ( Ringing )
- ส่งผ่านสัญญาณเสียงโดยเปลี่ยนจากแบบ 4Wire เป็นแบบ 2Wire

สัญญาณความถี่ที่ใช้แทนสัญญาณเรียก และแสดงสถานะของเครื่องรับโทรศัพท์ แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

### 1 แบ่งตามแถบความถี่

- In transmission band

ความถี่ที่อยู่ในช่วงสัญญาณเสียง คือ ใช้ความถี่ในช่วง 30 Hz ถึง 3400 Hz

- Out of transmission band

ความถี่ที่อยู่นอกช่วงสัญญาณเสียง คือ ใช้ความถี่ 3828 Hz หรือ 3850 Hz

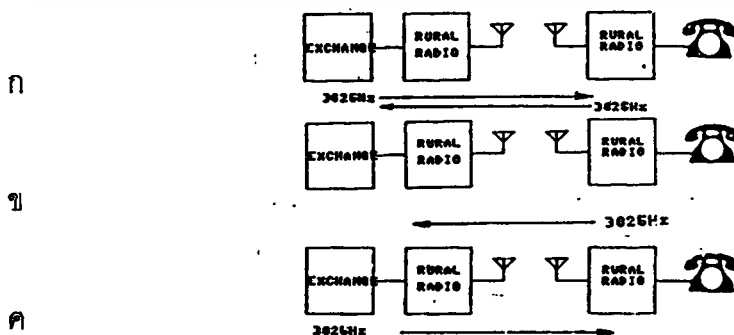
### 2 แบ่งตามระบบการทำงาน

- Tone On

การทำงานแบบ Tone On คือ ที่สภาวะปกติจะมีการส่งสัญญาณความถี่ให้กันตลอดเวลา ระหว่างเครื่องต้นทาง และเครื่องปลายทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก) หากมีการยกหูโทรศัพท์หรือมีสัญญาณเรียก เครื่องต้นทางจะหยุดส่งสัญญาณความถี่ ส่วนทางด้านปลายทางจะตรวจสอบการหายไปของสัญญาณความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ข) และ (ค) ซึ่งโดยทั่วไปจะพบในเครื่องแบบ Multi Channel

- Tone Off

การทำงานแบบ Tone Off คือ ที่สภาวะปกติจะไม่มีการส่งสัญญาณความถี่ให้กันตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ก) สัญญาณความถี่จะถูกส่งก็ต่อเมื่อ มีการเรียกจากชุมสายไปยังผู้ใช้ หรือเมื่อผู้ใช้เรียกไปยังชุมสาย ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ข) และ (ค) โดยทั่วไปจะพบในเครื่องแบบ Multi Channel และ Single Channel



รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานแบบ Tone On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.3 แสดงการทำงานของเครื่องรับ เครื่องรับจะรับสัญญาณ RF ผ่านมาทางสายอากาศ ( Antenna ) เข้ามาทำการขยายสัญญาณที่วงจขยายสัญญาณ RF ( RF Amplifier ) แล้วส่งสัญญาณที่ได้ไปผสมกับสัญญาณความถี่สูง ซึ่งผลิตจากวงจรผลิตความถี่ ( Oscillator ) ที่วงจรมผสมสัญญาณ ( Mixer ) สัญญาณที่ได้จากวงจรมผสมสัญญาณเรียกว่า สัญญาณ IF ในบางรุ่นอาจมีการตรวจสอบสัญญาณ IF แล้วเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณควบคุม SQ Squelch สัญญาณ IF จะถูกขยายโดยวงจขยายสัญญาณ IF ( IF - Amplifier ) แล้วส่งไปยัง วงจรดีโมดูเลเตอร์ ( Demodulator ) เพื่อทำการดีเทคให้ได้สัญญาณเสียงออกมา

### การเชื่อมต่อระบบ

การเชื่อมต่อระหว่างชุมสายกับผู้ใช้ โดยการให้ระบบวิทยุเป็นตัวเชื่อมแทนการให้สายต้องใช้ เครื่องรับ-ส่งวิทยุ 2 เครื่อง โดยให้เครื่องหนึ่งเป็นเครื่องต้นทาง และเครื่องหนึ่งเป็นเครื่องปลายทาง ( Subscriber )

สัญญาณต่าง ๆ ในระบบโทรศัพท์ที่ใช้ส่งผ่านสายคู่เดียวมีดังนี้คือ

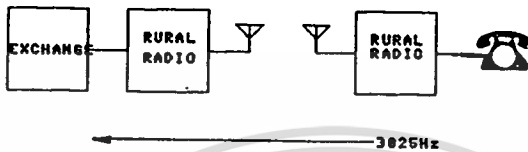
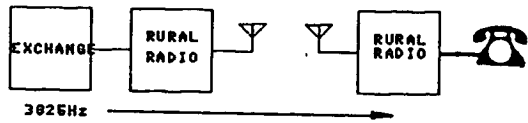
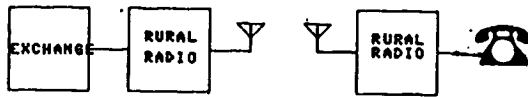
- สัญญาณเสียงพูด
- สัญญาณเรียก
- สัญญาณบอกสถานะเครื่องโทรศัพท์ และไฟเลี้ยงเครื่องโทรศัพท์

การส่งสัญญาณผ่านเครื่องวิทยุ นั้น สามารถส่งสัญญาณเสียงผ่านเครื่องส่งวิทยุได้เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนสัญญาณเรียก และสัญญาณบอกสถานะเครื่องโทรศัพท์ให้อยู่ในรูปของสัญญาณเสียง เพื่อส่งสัญญาณเหล่านี้ผ่านเครื่องส่งวิทยุ ส่วนไฟเลี้ยงเครื่องโทรศัพท์นั้นจะสร้างขึ้นใหม่ที่เครื่องปลายทาง เมื่อต้องการนำระบบวิทยุมาใช้ในการเชื่อมโยงระบบโทรศัพท์ จึงต้องมีวงจรมารประกอบร่วมกับเครื่องส่งวิทยุเพื่อทำหน้าที่ดังนี้

1 ส่วนเชื่อมต่อระหว่างชุมสาย กับเครื่องส่งวิทยุ หรือ ภาคต้นทาง ( Exchange ) มีหน้าที่ดังต่อไปนี้

- ส่งผ่านสัญญาณเสียงที่เป็นแบบ 2Wire ให้เป็นแบบ 4Wire
- เปลี่ยนสัญญาณเรียกให้เป็นสัญญาณความถี่ที่กำหนด
- เปลี่ยนสัญญาณความถี่ที่กำหนดให้เป็นสัญญาณบอกสถานะเครื่องโทรศัพท์ว่า ขณะนี้เครื่องโทรศัพท์มีสถานะยกหูโทรศัพท์ หรือ สภาวะวางหูโทรศัพท์ โดยการ Loop Line หรือ Open Line

2 ส่วนเชื่อมต่อระหว่างเครื่องรับวิทยุทางด้านปลายทาง กับเครื่องโทรศัพท์ หรือ ภาคปลายทาง ( Subscriber ) มีหน้าที่ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานแบบ Tone Off

บล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.6 แสดงการเชื่อมต่อระบบโทรศัพท์กับเครื่องวิทยุ โดยมีภาคต้นทาง (Exchange) และภาคปลายทาง (Subscriber) เป็นส่วนเชื่อมโยง



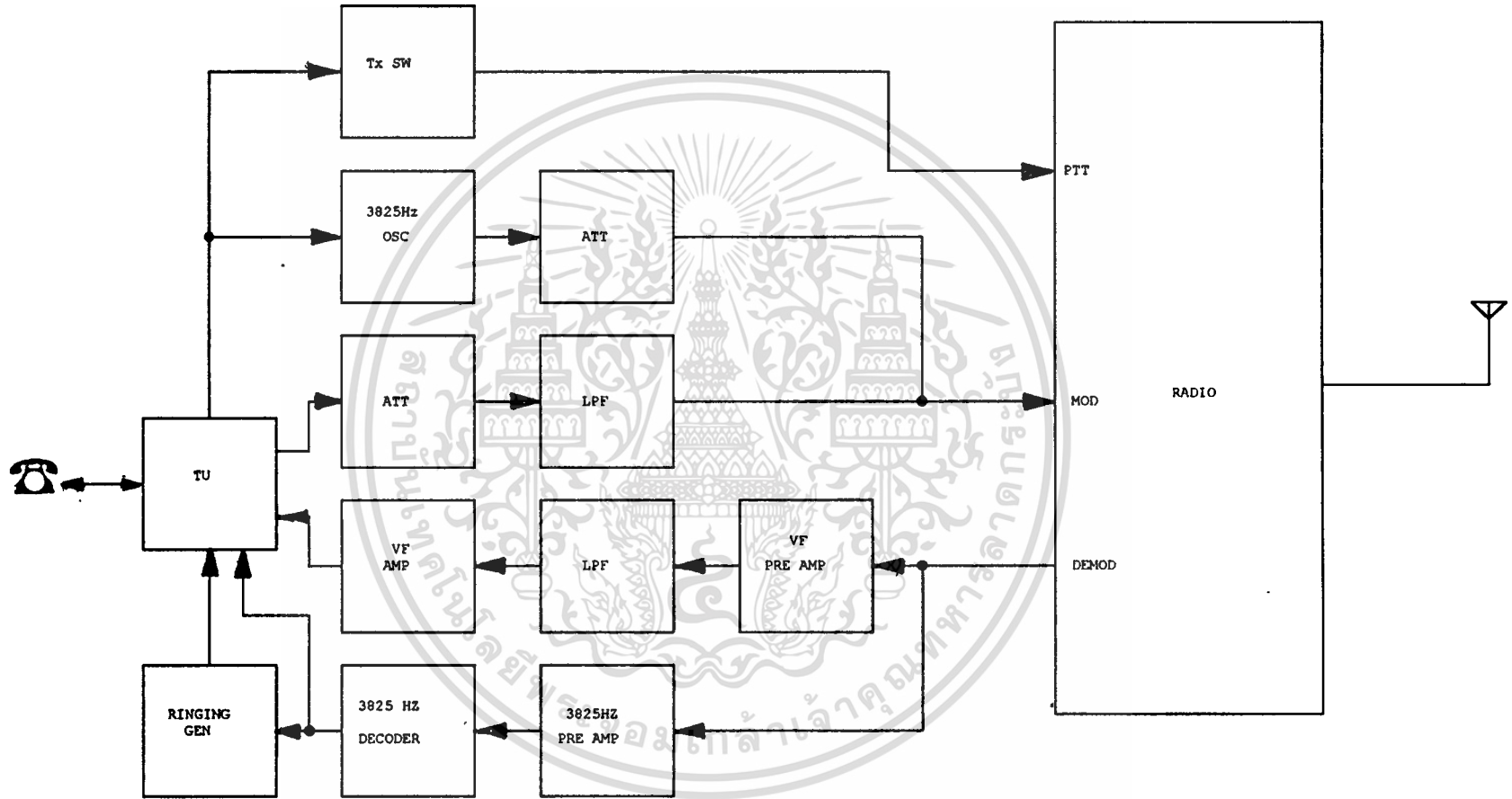
รูปที่ 2.6 แสดงการเชื่อมต่อระบบโทรศัพท์ กับ เครื่องวิทยุ

### หลักการทำงาน

1 ภาคปลายทาง (Subscriber) ประกอบไปด้วยส่วนย่อยๆ ได้แก่

- อุปกรณ์เชื่อมโยง (Terminating Unit)
- วงจรกำเนิดริงก์ (Ring Generator)
- วงจรผลิตความถี่ 3525 Hz ( 3825 Hz Oscillator )
- วงจรขยายสัญญาณความถี่ 3825 Hz ( 3825 Hz Pre - Amplifier )
- วงจรดีโค๊ดเดอร์ สัญญาณความถี่ 3825 Hz ( 3825 Hz Decoder )
- วงจรขยายสัญญาณเสียง ( AF - Amplifier )
- วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ( Low Pass Filter )
- วงจรลดทอนสัญญาณ ( Attenuator )
- วงจรตัด / ต่อกับ เครื่องส่ง ( Transmitter Switch , Tx-Sw )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดง SUBSCRIBER BLOCK DIAGRAM

จากรูปที่ 2.7 การทำงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 การเรียกจากผู้ใช้ไปยังชุมสาย ( Outgoing Call )

เมื่อผู้ใช้ยกหูโทรศัพท์ อุปกรณ์เชื่อมโยงจะตรวจสอบการยกหู จากนั้นจะส่งสัญญาณ M ให้ วงจรตัด / ต่อ เครื่องส่ง และ วงจรผลิตความถี่ 3825 Hz เมื่อวงจรตัด / ต่อ เครื่องส่งสัญญาณ M ได้จะส่งสัญญาณ PTT ( Push to talk ) ไปควบคุมเครื่องส่งวิทยุ ( Transmitter ) ทำการส่งออก อากาศ

วงจรผลิตความถี่ 3825 Hz เมื่อได้รับสัญญาณ M จากอุปกรณ์เชื่อมโยงจะทำการผลิตความถี่ 3825 Hz แล้วส่งสัญญาณความถี่ 3825 Hz ไปโมดูลเพื่อใช้เป็นสัญญาณควบคุมให้ภาคชุมสาย ( Exchange )

สัญญาณเสียงจะผ่านอุปกรณ์เชื่อมโยงไปยัง 4WS ( Four-wire Send ) เข้าวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน และผ่านวงจรลดทอนสัญญาณ เพื่อจัดระดับสัญญาณให้ได้ระดับที่ต้องการ เพื่อส่งไปโมดูลที่ภาคเครื่องส่งวิทยุ สำหรับรับส่งออกอากาศ

สัญญาณเสียงที่รับมาจากภาคดีโมดูล จะถูกขยายที่วงจขยายสัญญาณเสียง ( AF Pre - Amplifier ) จากนั้นจะส่งเข้าวงจรรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อตัดสัญญาณความถี่ออก แล้วส่งให้วงจขยายสัญญาณเสียง ( AF Amplifier ) ทำการขยายสัญญาณเสียงผ่านอุปกรณ์เชื่อมโยงทำการเชื่อมต่อสัญญาณเสียงเข้ากับโทรศัพท์

กรณีที่ 2 การเรียกจากชุมสายไปยังผู้ใช้ ( Incomming Call )

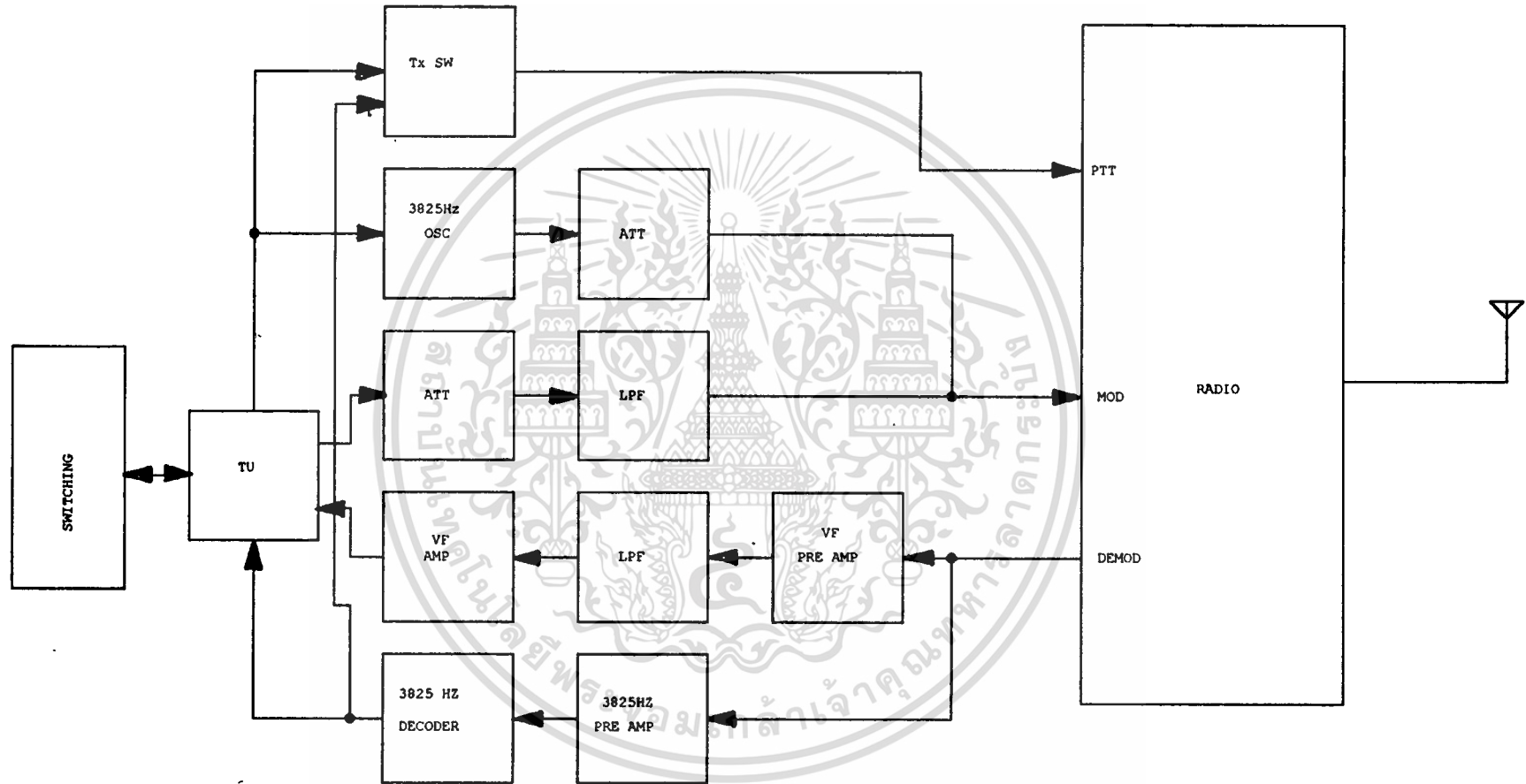
เมื่อมีการเรียกจากชุมสาย ภาคชุมสายจะส่งสัญญาณความถี่ 3825Hz ถูกโมดูลออกอากาศมาภาครับ ภาครับจะทำการดีโมดูลสัญญาณความถี่ 3825 Hz แล้วส่งให้กับวงจขยายสัญญาณความถี่ 3825 Hz ( 3825 Hz Pre - Amplifier ) ทำการขยายสัญญาณความถี่ 3825 Hz แล้วส่งต่อไปยังวงจรีตีคิตเตอร์สัญญาณความถี่ 3825 Hz เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณควบคุมวงจรกำเนิดริงก์ทำการสร้างสัญญาณเรียก ( Ringing ) แล้วส่งผ่านอุปกรณ์เชื่อมโยงทำการเชื่อมต่อสัญญาณเรียกให้เครื่องโทรศัพท์ตามจังหวะการเรียกเข้า

เมื่อผู้ใช้ทำการยกหูรับโทรศัพท์ การทำงานหลังจากนั้นจะเหมือนกับกรณีที่ 1

2 ภาคต้นทาง ( Exchange ) ประกอบไปด้วยส่วนย่อยๆ ได้แก่

- อุปกรณ์เชื่อมโยง ( Terminating Unit )
- วงจรผลิตความถี่ 3825 Hz ( 3825 Hz Oscillator )
- วงจขยายสัญญาณความถี่ 3825 Hz ( 3825 Hz Pre - Amplifier )
- วงจรีตีคิตเตอร์สัญญาณความถี่ 3825 Hz ( 3825 Hz Decoder )
- วงจขยายสัญญาณเสียง ( AF - Amplifier )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดง EXCHANGE BLOCK DIAGRM

- วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ( Low Pass Filter )
- วงจรลดทอนสัญญาณ ( Attenuator )
- วงจรตัด / ต่อ เครื่องส่ง ( Transmitter Switch )

จากรูปที่ 2.8 การทำงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 การเรียกจากผู้ไปยังชุมสาย ( Outgoing Call )

เมื่อผู้ใช้งานโทรศัพท์ ภาค Subscriber จะส่งสัญญาณความถี่ 3825 Hz ที่โมดูล์ออกอากาศมาเข้าเครื่องรับ เครื่องรับของชุมสายจะทำการตีโมดูล์สัญญาณความถี่ 3825 Hz ออกมา สัญญาณความถี่ 3825 Hz จะถูกขยายโดยวงจรขยายสัญญาณความถี่ 3825 Hz หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณที่ได้ไปทำการตีโค๊ดเตอร์สัญญาณความถี่ 3825 Hz แล้วส่งสัญญาณที่ได้ให้กับวงจรตัด / ต่อ เครื่องส่ง และอุปกรณ์เชื่อมโยง

อุปกรณ์เชื่อมโยงเมื่อได้รับสัญญาณความถี่ 3825 Hz ที่ผ่านการตีโค๊ดเตอร์จะทำการรูดกับชุมสาย หรือ ทำเสมือนการรูดโทรศัพท์เพื่อให้ได้ ไตอัลโทน ( Dial Tone ) จากชุมสายซึ่งจะผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เพื่อกรองเอาเฉพาะความถี่เสียงและทำการปรับระดับสัญญาณด้วยวงจรลดทอนสัญญาณส่งไปตีโมดูล์ที่เครื่องส่งวิทยุ

สัญญาณเสียงหรือ DTMF ที่รับจากเครื่องรับจะถูกตีโมดูล์ แล้วผ่านวงจรขยายสัญญาณเสียง ( AF Pre - Amplifier ) หลังจากนั้นจะเลือกเอาเฉพาะความถี่ที่ต้องการโดยใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน สัญญาณเสียงที่ได้จะถูกทำการขยายสัญญาณโดยวงจรขยายสัญญาณเสียง ( AF Amplifier ) หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณนี้ผ่านอุปกรณ์เชื่อมโยงเพื่อส่งผ่านไปให้ชุมสายต่อไป

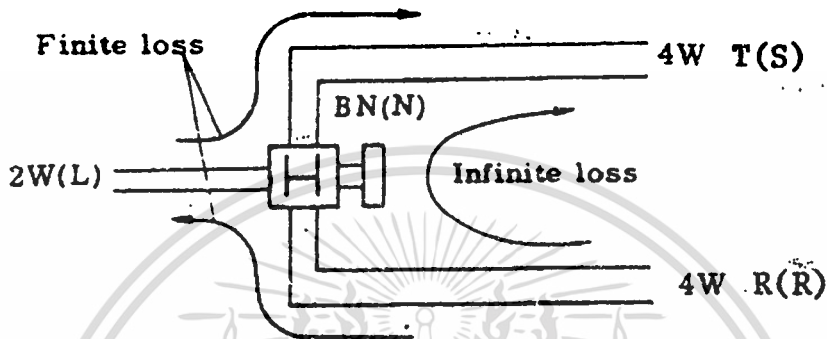
กรณีที่ 2 การเรียกเข้าจากชุมสายไปยังผู้ใช้ ( Incomming Call )

เมื่อชุมสายต้องการเรียกไปยังผู้ใช้งาน ชุมสายจะส่งสัญญาณเรียก ( Ringing ) ผ่านอุปกรณ์เชื่อมโยง เพื่อเปลี่ยนสัญญาณเรียกเป็นสัญญาณควบคุมให้กับวงจรผลิตความถี่ 3825 Hz และวงจรตัด / ต่อ เครื่องส่ง

วงจรผลิตความถี่ 3825 Hz เมื่อได้รับสัญญาณจากอุปกรณ์เชื่อมโยงจะทำการผลิตสัญญาณความถี่ 3825 Hz เพื่อส่งไปยังภาคโมดูล์ของเครื่องส่งวิทยุ ในเวลาเดียวกันวงจรตัด / ต่อเครื่องส่งจะรับสัญญาณควบคุมที่ส่งผ่านอุปกรณ์เชื่อมโยงมาทำการตัดต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรเครื่องส่งให้ทำงานตามจังหวะการเรียกเข้า สัญญาณความถี่ 3825 Hz ก็จะถูกโมดูล์เข้ากับคลื่นพาหะส่งไปยังภาคปลายทาง ( Subscriber Unit ) ต่อไป

## ทฤษฎีไฮบริด ( Hybrid )

ไฮบริดเป็นวงจรที่ใช้แยกการส่งและการรับของสัญญาณเสียง ( 0.3 - 3.4 กิโลเฮิรตซ์ ) โดยตรง โดยระหว่างทางจะมีเครื่องขยายสัญญาณ ( Amplifier ) ในระบบโทรศัพท์นั้นไฮบริดจะใช้แยก 2Wire จากโทรศัพท์ให้เป็น 4Wire หรือรวม 4Wire ให้เป็น 2Wire ซึ่ง 4Wire นั้นจะแบ่งเป็น ส่ง 2 เส้นและรับ 2 เส้น ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงวงจรไฮบริด

2W(L) : 2 Wire คือด้านที่ต่ออยู่กับเครื่องชุมสาย บางที่เรียกว่า 2 Wire line

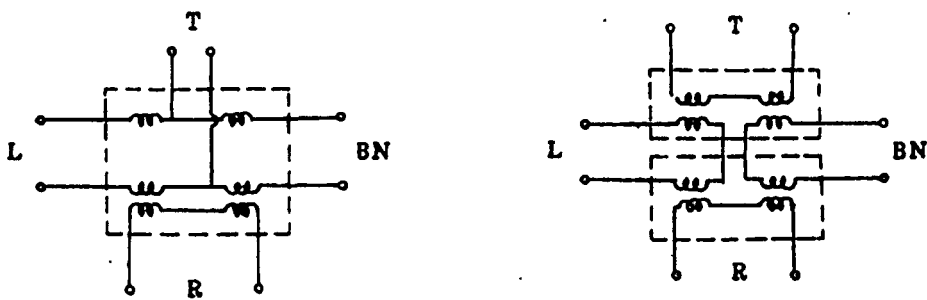
4WS(4WT) : 4 Wire send ( transmit ) คือทางที่ออกไปยังด้านส่งในวงจร ต่อไป

4WR : 4 Wire Receive คือทางด้านรับสัญญาณที่มาจากอุปกรณ์อีกด้านหนึ่งเพื่อส่งต่อไปยัง 2W(L)

BN : Balancing Network มีเพื่อให้ไฮบริดอยู่ในภาวะสมดุล โดยปกติจะมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ Characteristics impedance ของสายโทรศัพท์ ( ประมาณ 600 โอห์ม )

ไฮบริดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. ทรานส์ฟอเมอร์ไฮบริด ( Transformer Hybrid ) เป็นไฮบริดที่ใช้ขดลวดเหนี่ยวนำ ในการแยกและรวม 2 W - 4 W ดังรูปที่ 2.10

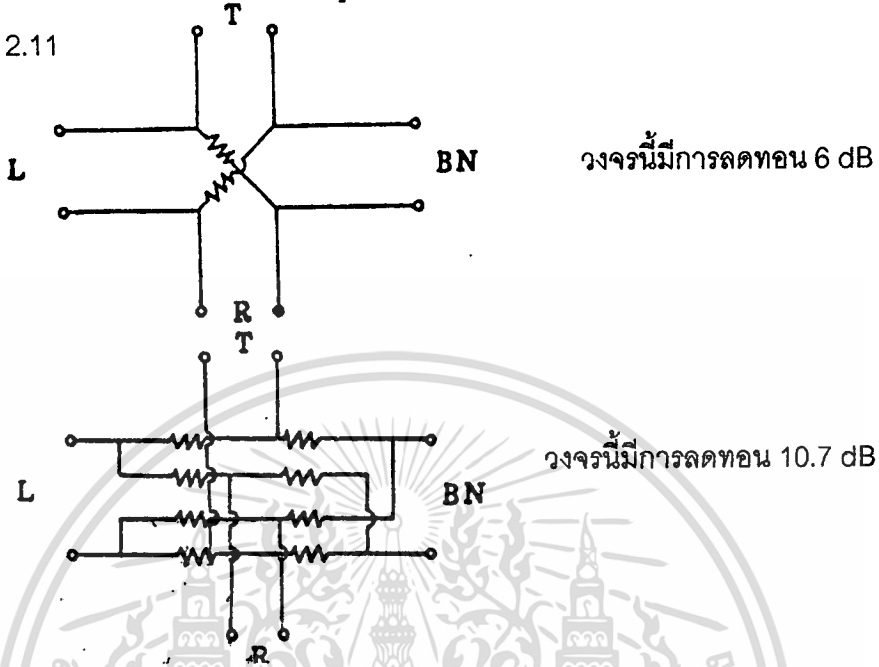


รูปที่ 2.10 แสดง Transformer Hybrid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งวงจรทั้งสองนี้เป็นรูปแบบของ Hybrid Coil ซึ่งมีการลดทอน 3dB

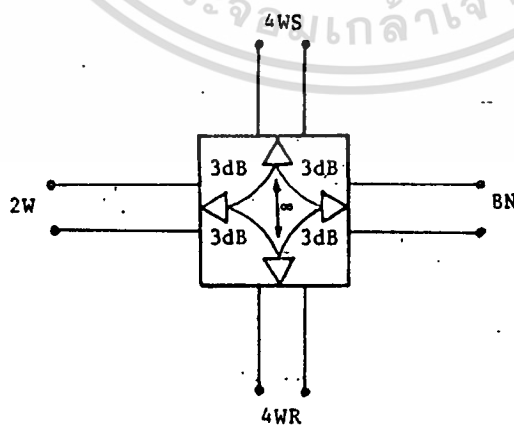
2. วิธีสแตนท์ไฮบริด ( Resistance Hybrid ) เป็นวงจรไฮบริดที่ใช้ความต้านทานในการแยกและรวม 2W-4W ซึ่งไฮบริดชนิดนี้จะมีการลดทอนสูงกว่าแบบทรานสฟอเมอร์ไฮบริด จึงไม่นิยมในวงจรโทรศัพท์ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงวงจร Resistance Hybrid

การสร้างวงจรไฮบริดต้องคำนึงถึงข้อกำหนดดังนี้

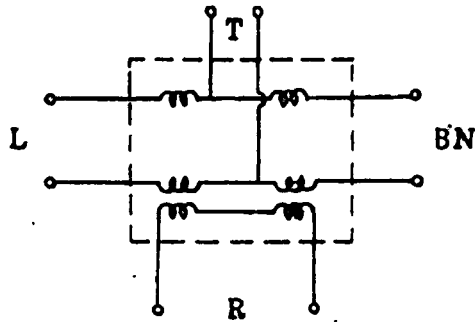
1. การลดทอนจาก 2W ไปยัง 4WS จะต้องมีค่าน้อย ๆ
2. การลดทอนจาก 4WR ไปยัง 2W จะต้องมีค่าน้อย ๆ
3. การลดทอนจาก 4WR ไปยัง 4WS จะต้องมีค่ามาก ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงการลดทอนในทิศทางต่าง ๆ ของ ไฮบริด

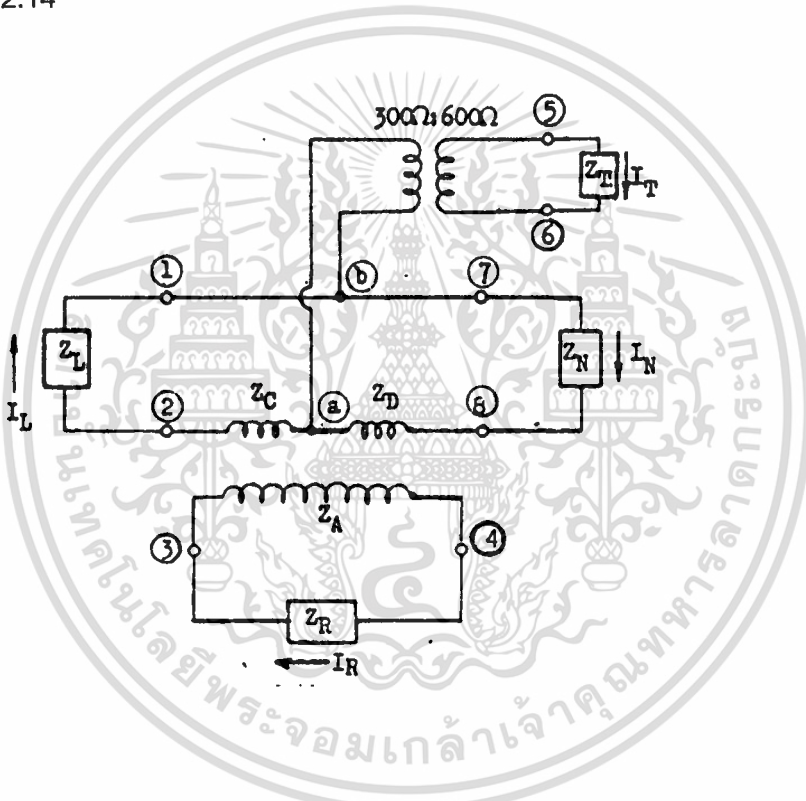
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์วงจรไอเดียลทรานส์ฟอเมอร์ไฮบริด



รูปที่ 2.13 แสดง Ideal Transformer Hybrid

เราจะนำรูปที่ 2.13 มาวิเคราะห์ โดยจะใส่ทรานส์ฟอเมอร์ T2 เพื่อเปลี่ยนอิมพีแดนซ์ ให้เป็น 600 โอห์ม จะได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงการแปลงอิมพีแดนซ์ของ Transformer Hybrid

ซึ่งมีเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

- Self impedance

$$Z_a, Z_b, Z_c = \infty \quad (\text{pure reactance})$$

- Mutual impedance

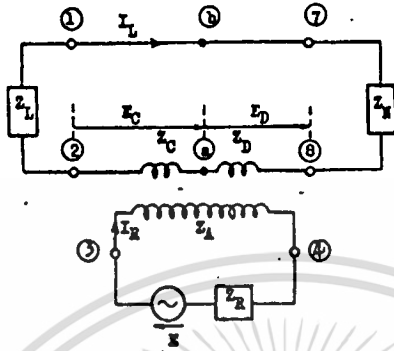
$$Z_{ac} = Z_a \cdot Z_c$$

$$Z_{ad} = Z_a \cdot Z_d$$

$$Z_{cd} = Z_c \cdot Z_d$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอิมพีแดนซ์  $Z_a : Z_c : Z_d = 2:1:1$  ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว จะมีค่า 600 โอห์ม  
พิจารณา เมื่อส่งสัญญาณจาก 4 WR จะได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงการป้อนสัญญาณเข้า Hybrid เพื่อหาค่า Loss

ดังนั้นเมื่อ  $Z_t = Z_r$  แล้วจะทำให้ไม่มีกระแสไหลใน  $B_n$  ( $I_n = 0$ ) นั่นคือค่าลดทอนจาก 2 W ไปยัง 4WR จะได้

$$I_1 / I_T = 600 / 300 = 2$$

$$20 \text{ Log } (I_1 / I_t) = 20 \text{ log } 2 = 3.01 \text{ dB} \quad \text{ในที่นี้ } Z_t = Z_r = Z_1$$

ประโยชน์ของไฮบริดมีหลายประการซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

1. รวมสัญญาณจากแหล่งกำเนิด 2 แหล่ง ป้อนให้กับโหลดเดียวกัน
2. แยกสัญญาณจากแหล่งกำเนิดเดียวกันป้อนให้กับโหลด 2 ตัว
3. ใช้เป็นส่วนประกอบในการจัดค่า Return Loss เพื่อเปรียบเทียบค่าอิมพีแดนซ์ 2 ตัว

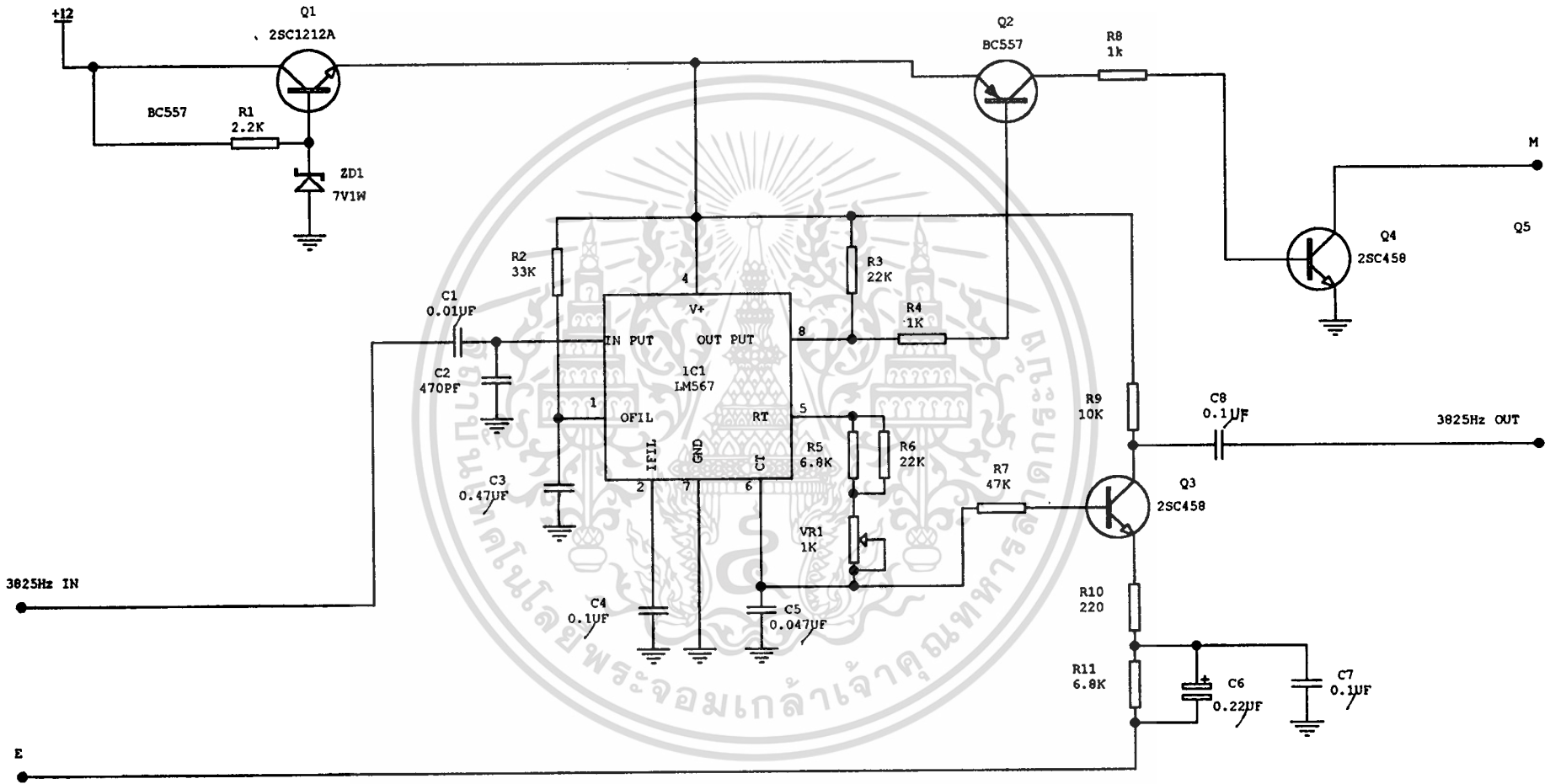
ข้อดี

- ราคาถูก
- ขนาดเล็กและเบา
- ใช้งานได้โดยไม่จำกัดความถี่

ข้อเสีย

- มีการลดทอนสัญญาณในระหว่างด้านประชิดสูงถึง 6 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงภาคSIGNALLING 3825 Hz OSCILLATOR AND DECODER AND DECODER

## ภาคถอดรหัส โทนเสียงเดี่ยวแบบเฟสล็อกคูลูฟ

ไอซีเฟสล็อกคูลูฟแบบลิเนียร์ เป็นอุปกรณ์ ที่น่าทึ่งและมีประโยชน์มากที่สุดที่ได้รับการพัฒนา มาจากบริษัทผู้ผลิตคือซิกเนติกคอร์ปอเรชั่น ออฟ ชันนี่เวลแห่งแคลิฟอร์เนียเป็นผู้พัฒนา และขณะนี้ ได้ทำอุปกรณ์การเข้ารหัส และถอดรหัสเสียงระบบเฟสล็อกคูลูฟ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้มากมาย อุปกรณ์ชิ้นนี้คือ ตัวถอดสัญญาณโทนเสียงระบบเฟสล็อกคูลูฟ เบอร์ 567 ซึ่งได้รับการออกแบบ ให้สามารถนำไปใช้ได้ทั้งการผลิตในเชิงพาณิชย์และสำหรับนักอเล็กทรอนิกส์สมัครเล่น ตัวอย่างเช่น เข้ารหัสและถอดรหัสโทนเสียง ใช้ทำรีโมทคอนโทรลแบบอัลตราโซนิก เครื่องกำเนิดรูปคลื่นต่าง ๆ เครื่องถอดสัญญาณมุกด์โทรศัพท์และอินเตอร์คอมไร้สาย

หน้าที่หลักของไอซี 567 ก็คือการรับโหลดที่ต่อภายนอกทันทีที่ ตรวจจับพบความถี่ของโทน เสียงกำหนดความถี่ศูนย์กลาง แบนด์วิดท์ และ การห้วงสัญญาณ ที่เอาท์พุทนั้นสามารถทำได้โดย ใช้อุปกรณ์ภายนอกเพียงสี่ตัวเท่านั้น

รายละเอียดพอเป็นสังเขปเกี่ยวกับคุณสมบัติพิเศษและอัตราสูงสุดต่าง ๆ ที่จะกล่าวต่อไปนี้ จะทำให้เข้าใจอุปกรณ์ถอดรหัสโทนเสียงแบบเฟสล็อกคูลูฟ 567 ดีขึ้น

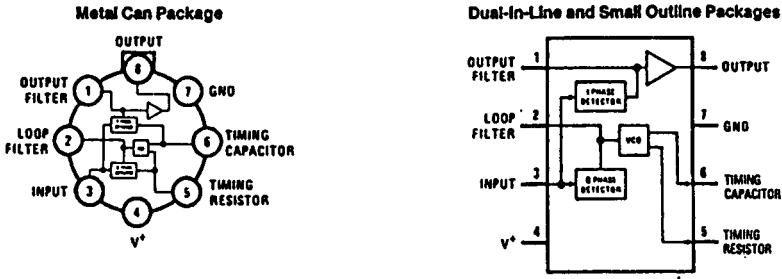
### คุณสมบัติพิเศษ

- มีเสถียรภาพด้านความถี่เป็นเลิศ
- การตอบสนองของความถี่กว้างมากตั้งแต่ 0.01 เฮิรตซ์ ไปจนถึง 500 กิโลเฮิรตซ์
- ปรับแบนด์วิดท์ได้ 0.14 fc
- ปรับย่านความถี่ได้ถึง 20 ต่อ 1 ด้วยความต้านทานภายนอก
- มีระบบป้องกันสัญญาณโทนเสียงผิดพลาด
- มีอัตราจำกัดสัญญาณแปลกลบและรบกวนสูง
- ต่อกับอุปกรณ์ลอจิกได้ด้วยความสามารถในการซิงค์ที่เอาท์พุทได้ถึง 200 มิลลิแอมป์

### อัตราสูงสุดต่าง ๆ

- อุณหภูมิในขณะทำงาน 0 องศา
- แรงดันในการทำงาน 10 โวลท์
- แรงดันที่ต่อเข้าทางเอาท์พุทของ 567 เท่ากับ 15 โวลท์
- การสูญเสียกำลังงานเท่ากับ 300 มิลลิวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ IC 567

บล็อกไดอะแกรมง่าย ๆ ของ IC 567 แสดงในรูปที่ 2.17 ถ้าต้องการทราบรายละเอียดของระบบของอุปกรณ์นี้ก็ให้ดูได้ในไดอะแกรมตามรูป ส่วนแผนผังการจัดขาในตัวถังแบบ T และ V แสดงในรูปข้างต้น

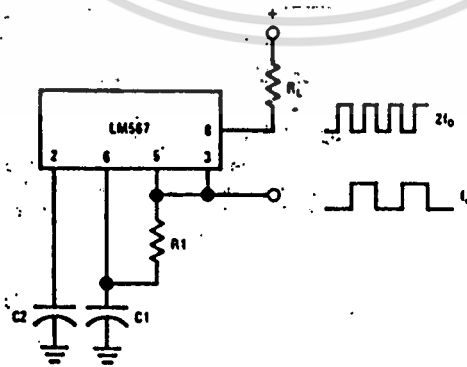
ภาคถอดรหัสอย่างง่าย ๆ โดยใช้ชิพ 567 เฟสล็อกคลุทตัวเดียว แต่ก่อนทดลองควรจะทำบข้อมูลบางประการเสียก่อนเพื่อความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์ฟังกภายนอกมาใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ กัน ความถี่กลางของการทำงานนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าของ R1 และ C1 ซึ่งถ้าจะให้ผลในด้านการทำ งานและอุณหภูมิที่ดีที่สุด R1 ควรจะมีค่าอยู่ระหว่าง 2000 ถึง 20000 โอห์ม ความถี่กลางของระบบนี้ จะสามารถหาได้โดย

$$F = 1 / R1 C1$$

โดยให้ F คือความถี่มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

R คือความต้านทานมีหน่วยเป็นโอห์ม

C คือค่าความต้านทานมีหน่วยเป็นไมโครฟารัด



รูปที่ 2.18 แสดงการใช้งาน IC 567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วิธีที่ง่ายกว่าในการตั้งภาคถดถอยให้มีความถี่ที่ตรงตามที่ต้องการก็คือ การเลือกคาปาซิเตอร์ที่มีค่าตายตัว แล้วค่อยคำนวณหาค่าของ R1 โดยใช้สูตรที่ได้กล่าวมาแล้ว ตัวอย่างเช่น สมมติว่าต้องการภาคถดถอยโทนเสียงที่จะไปถดความถี่โทนเสียงขนาด 1200 Hz แล้วเลือกคาปาซิเตอร์ที่มีอยู่ในสต็อก ใช้สูตรความถี่ที่กล่าวมาแล้วทำการหาค่า R1 และสมมติว่าจะใช้คาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 uF ดังนั้นค่าของ R1 คือ

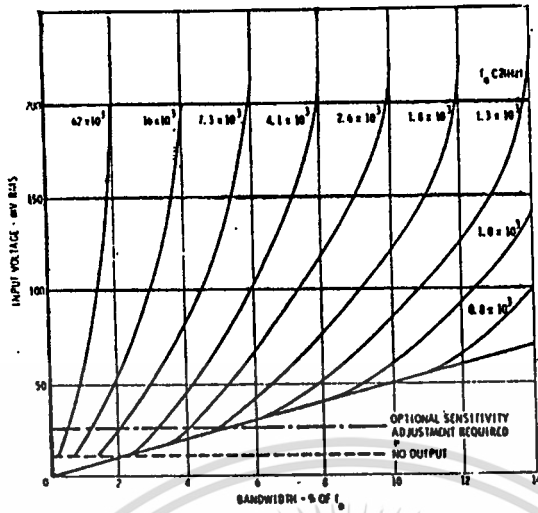
$$R1 = 1 / (1200 \times 0.1 \text{ uF})$$

$$= 8300 \text{ โอห์ม}$$

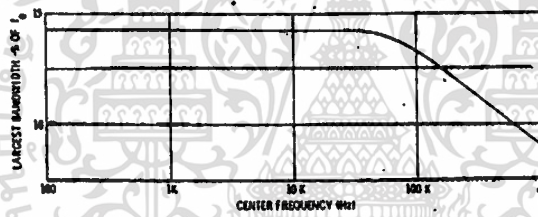
ความจริงแล้วค่าของความต้านทานที่หามาได้นี้ยังไม่มีความสมบูรณ์พอ อาจจะต้องแปรเปลี่ยนไปบ้างเนื่องจากค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์ ในกรณีนี้วิธีที่ดีคือการใช้กล่องความต้านทาน เพื่อ ตั้งให้เฟสล็คคลูททำงานที่ความถี่ที่ต้องการ

คาปาซิเตอร์ C2 ทำงานเป็นโลว์พาสฟิลเตอร์ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 22 uF เมื่อใช้ควบคุมความถี่ในการส่งสัญญาณโทนเสียงยิ่งถ้า C2 มีค่ามากเท่าใดแบนด์วิธก็จะแคบลงเท่านั้น เส้นโค้งต่าง ๆ สามชนิดในรูป 2.19 จะช่วยให้เราเลือกค่าของ C2 และ C3 ได้ถูกต้องขึ้น

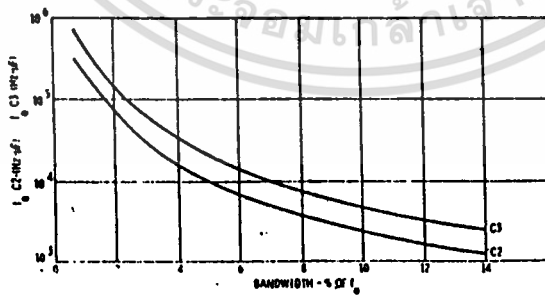
ค่าของ C3 ไม่จำเป็นต้องแม่นยำมากนักในการส่งสัญญาณโทนเสียง หน้าที่ของคาปาซิเตอร์ตัวนี้ก็คือการกำหนดขอบความถี่ของโลว์พาสฟิลเตอร์ ซึ่งจะไปกำจัดเอาที่พุดแปลกปลอมต่าง ๆ โดยค่าความถี่ที่อยู่นอกเหนือย่านความถี่ที่นำมาใช้งาน ( ได้รับความถี่เทค ) ค่าของ C3 ในการใช้งานจริงจะมีค่าเป็นสองเท่าของ C2



ก. แบนด์วิดท์ต่อแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุต



ข. แบนด์วิดท์การตีเทคขนาดใหญ่ที่สุดต่อความถี่ในการทำงาน



ค. แบนด์วิดท์การตีเทคที่เป็นฟังก์ชันของ C2 และ C3

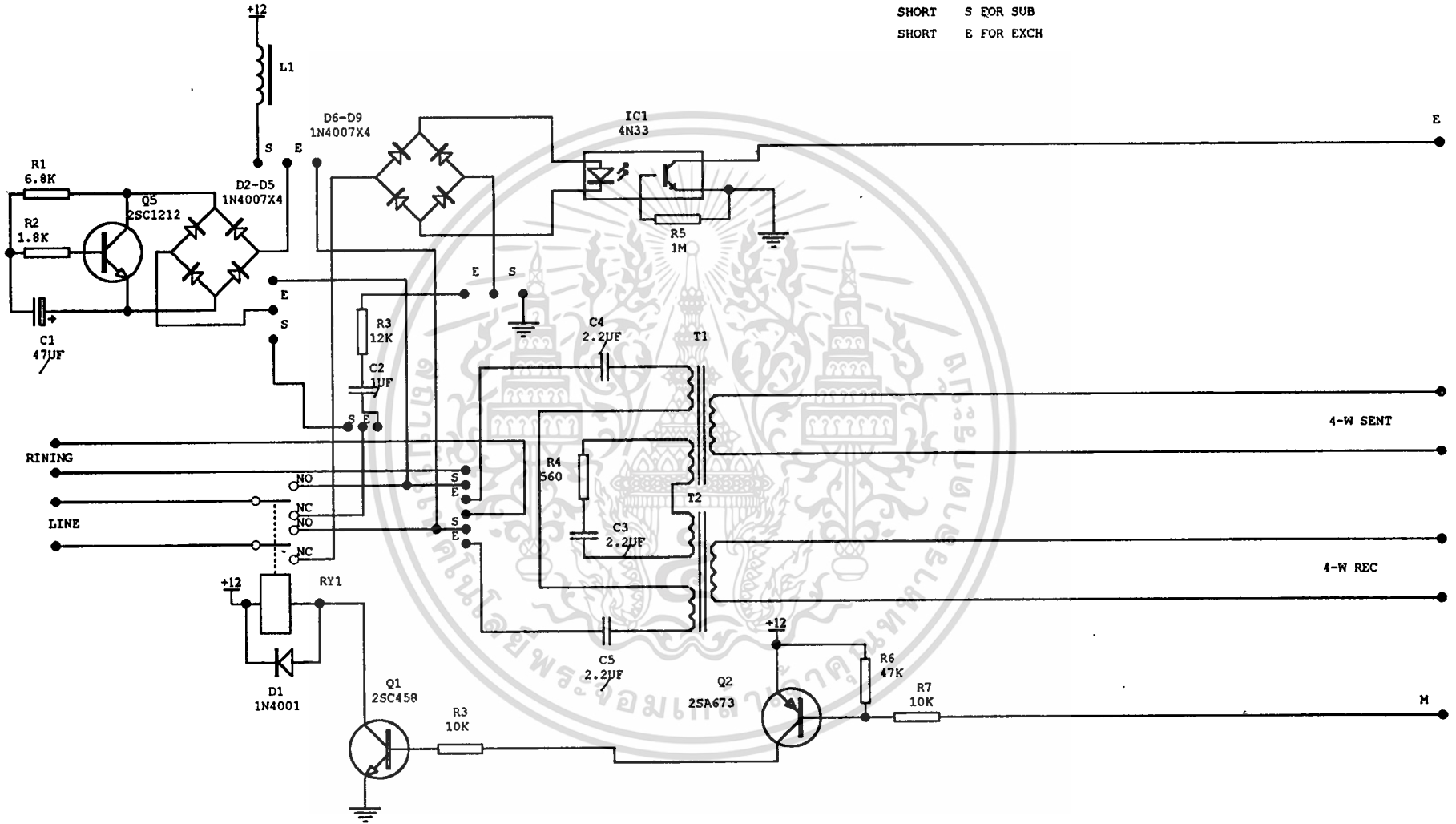
รูปที่ 2.19 แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของ IC 567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOTE

SHORT S FOR SUB

SHORT E FOR EXCH



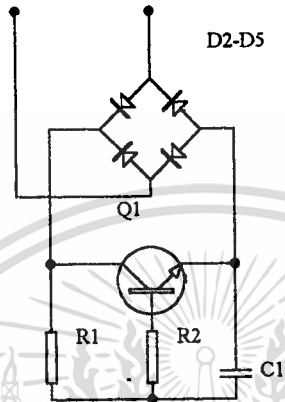
รูปที่ 2.20 แสดงภาค TERMINATION UNIT

## หลักการทํางานของภาค Terminating Unit

ภาค Terminating Unit ประกอบขึ้นจากวงจรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- วงจรจำกัดกระแส ( Current Limiter ) ประกอบไปด้วย R1, R2, C1, Q1, D2, D3, D4, D5

ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงวงจรจำกัดกระแส

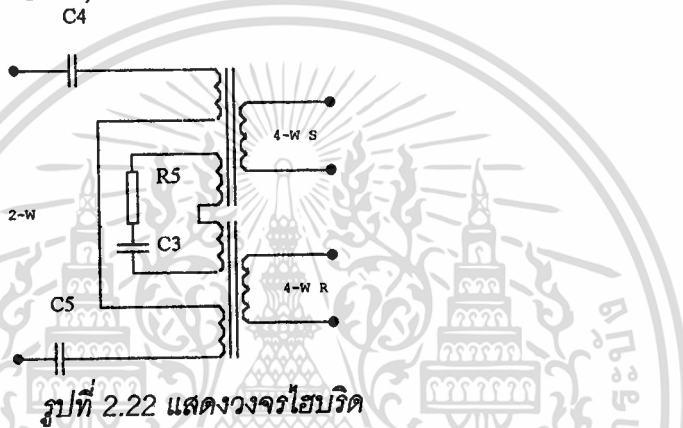
จากรูปที่ 2.21 มีการทำงานดังนี้ ไดโอด D2-D5 จะทำหน้าที่จัดรั้วของไฟเพื่อเลี้ยงทรานซิสเตอร์ Q1 ซึ่งถูกไบอัสโดย R1 และ R2 ทำให้กระแส  $I_c$  ไหลคงที่ ซึ่งสามารถแสดงได้โดยเมื่อพิจารณาด้วย อินพุตตั้งแต่ขั้ว +12 โวลท์, D2, R1, R2, Emitter Diode, D5 ลงกราวด์ นั่นคือจะได้

$$\begin{aligned} I_b &= (V_{oc} - V_{D2} - V_{D5} - V_{BE}) / (R1 + R2) \\ &= (12 - 0.7 - 0.7 - 0.7) / (6800 + 6800) \\ &= 0.73 \text{ mA} \end{aligned}$$

และจาก  $I_c = h_{fe} \cdot I_b$  เมื่อใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD 139 ซึ่งมีค่า  $h_{fe} = 100$  จะได้  $I_c = 73 \text{ mA}$  เป็นกระแส  $I_c$  สูงสุดซึ่งในทางปฏิบัติพบว่าเครื่องโทรศัพท์ทั่วไปจะกินกระแสประมาณ 30 mA C1 ในวงจรจะทำหน้าที่ในการชดเชยสัญญาณรบกวนและ bypass สัญญาณ Ringing ในกรณีที่วงจรมีอยู่ที่ภาคต้นทาง ( Exchange Unit ) จะคอยทำหน้าที่ Loop ให้กับชุมสายโทรศัพท์ เพื่อให้เสมือนว่าโทรศัพท์ถูกยกหู โดยการ Loop ผ่าน D2, Q1 และ D5 กลับไปยังชุมสาย ส่วนในกรณีที่วงจรมีอยู่ที่ภาคปลายทาง ( Subscriber Unit ) ก็ทำหน้าที่ในการจ่ายกระแสเลี้ยงให้กับเครื่องโทรศัพท์ พร้อมทั้งจำกัดกระแสให้กับวงจรบอกสถานะเครื่องโทรศัพท์ ( Hook Status ) โดยเส้นทางเดินของกระแสผ่าน L1, D2, Q1, D5, ผ่านเครื่องโทรศัพท์แล้วออกไปเลี้ยง LED ใน Ic1 ซึ่งเป็น Opto Coupler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

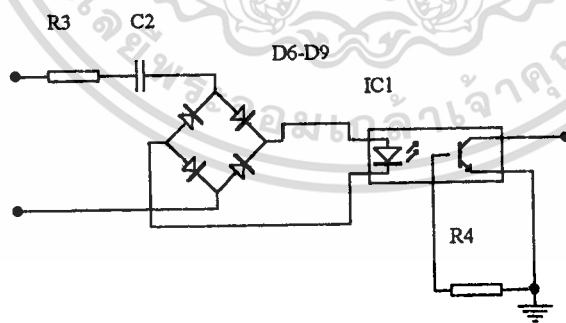
**วงจรไฮบริด ( Hybrid )** ประกอบด้วย C3, C4, C5, T1, T2 และ R5 ดังแสดงในรูปที่ 2.22 โดยวงจรไฮบริดจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณจาก 2 - Wire เป็น 4 - Wire send-recvie คือถ้าสัญญาณเข้ามาทางด้าน 2 Wire จะถูกส่งออกไปทางด้าน send และเมื่อไฮบริดรับสัญญาณมาทางด้าน receive ก็จะถูกส่งออกทางด้าน 2 Wire โดยจะมี R4 และ C3 ทำหน้าที่ในการ Balance เพื่อป้องกันการรบกวนกันของสัญญาณไม่ให้สัญญาณที่เข้ามาทางด้าน Receive หลุดออกทางด้าน Send เพราะจะทำให้เกิดการป้อนกลับ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการออสซิลเลทสัญญาณในวงจรขยายเสียงได้ C4 และ C5 จะทำหน้าที่ป้องกันแรงดันไฟตรง ไม่ให้ผ่านเข้ามาในวงจรไฮบริดและการทำงานนี้จะเหมือนกันทั้งภาคต้นทาง ( Exchange Unit ) และเมื่อเป็นภาคปลายทาง ( Subscriber Unit )



รูปที่ 2.22 แสดงวงจรไฮบริด

### วงจรตรวจจับสัญญาณริงก์และบอกสถานะเครื่องโทรศัพท์

( Ring Detector & Hook Status )



รูปที่ 2.23 แสดงวงจรตรวจจับสัญญาณและบอกสถานะเครื่องโทรศัพท์

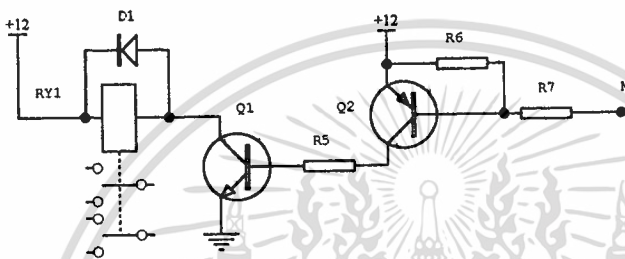
จากรูปที่ 2.23 ประกอบด้วยไดโอด D6 - D9 IC1, R3 และ C2 เมื่อเป็นภาคต้นทาง ( Exchange Unit ) จะทำหน้าที่เป็นวงจรตรวจจับสัญญาณริงก์ โดยเมื่อชุมสายโทรศัพท์ส่งสัญญาณริงก์มาให้เพื่อทำการเรียกผู้ใช้ปลายทางสัญญาณริงก์จะผ่านรีเลย์ขา NC, R3, C2 แล้วถูกเรคตีไฟร์ด้วยไดโอด D6 - D9 ให้เป็นแรงดันไฟตรงเพื่อเลี้ยง IC1 ซึ่งเป็น Opto Coupler ทำการ Active ส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราวด์ออกทางเอาต์พุตตามจังหวะของการเรียก และเมื่อเป็นภาคปลายทาง ( Subscriber Unit ) วงจรจะทำหน้าที่เป็นตัวบอกสถานะเครื่องโทรศัพท์ ( Hook Status ) โดยในขณะที่วางหูเครื่องโทรศัพท์ ( Hook On ) จะไม่มีกระแสไหลผ่านตัว IC1 Optocoupler จึงไม่ทำงานแต่เมื่อมีการยกหูโทรศัพท์ ( Hook Off ) จะมีกระแสไหลผ่านวงจรจำกัดกระแส ( Current Limiter ) ผ่านเครื่องโทรศัพท์ แล้วผ่านไดโอด D6-D9 เพื่อจัดชั่วแรงแรงดันไฟเพื่อทำการไบอัสให้ไดโอดเปล่งแสง ( LED ) ในตัว IC1 ให้ทำงานและทรานซิสเตอร์ Active จะได้สัญญาณกราวด์ส่งออกทางเอาต์พุต

### วงจรเปลี่ยนสัญญาณ ( Singnalling Converter )



รูปที่ 2.24 แสดงวงจรเปลี่ยนสัญญาณ

จากรูปที่ 2.24 วงจรจะประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์ Q1, Q2, R3, R6, R7 มีการทำงานคือ เมื่อขา M ได้รับสัญญาณกราวด์ ทรานซิสเตอร์ Q2 จะทำงานผ่านแรงดันไฟ 12 โวลต์ ไปทำการไบอัสให้ Q1 ทำงานจะผ่านสัญญาณกราวด์ไปจ่ายให้รีเลย์แอคทีฟ โดยเมื่อเป็นภาคต่อทาง ( Exchange Unit ) สัญญาณ M จะเป็นกราวด์ก็ต่อเมื่อผู้ใช้งานปลายทางทำการยกหูเครื่องโทรศัพท์ ( Hook Off ) รีเลย์จะทำงานเพื่อ loop ไฟเลี้ยงจากชุมสายโทรศัพท์จ่ายให้วงจรจำกัดกระแส ( Current Limiter ) ส่วนในกรณีภาคปลายทาง ( Subscriber Unit ) สัญญาณ M จะเป็นกราวด์ก็ต่อเมื่อมีการเรียกเข้าจากชุมสายโทรศัพท์ ( Incomming Call ) ซึ่งจะส่งสัญญาณริงก์มาให้ ดังนั้นรีเลย์ที่ปลายทางจะทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายสัญญาณกระดิ่งให้เครื่องโทรศัพท์ดังตามจังหวะของการเรียกเข้า

#### การทำงานโดยรวมของภาค Terminating Unit

จะต้องมีเงื่อนไขคือที่เครื่องต้นทาง ( Exchange Unit ) จะต้อง Jump สาย ณ จุด E และ Open จุด S ในทำนองเดียวกันที่เครื่องปลายทาง ( Subscriber Unit ) ก็จะต้องทำการ Jump สายที่จุด S และ Open จุด E

เมื่อมีการเรียกเข้าจากชุมสายโทรศัพท์ ( Incomming Call ) ชุมสายโทรศัพท์จะส่งสัญญาณริงก์ ( Ringing ) มาตามจังหวะของการเรียกเข้า สัญญาณริงก์ดังกล่าวจะถูกส่งมาตามสายโทรศัพท์ผ่านคอนแทค NC ของรีเลย์ ผ่าน R3, C2 ไปยังไดโอดบริด D6 - D9 เพื่อที่จะได้ถูกจัดเรียงกระแสให้เป็นไฟ DC ส่งให้ IC1 ทำงานจ่ายสัญญาณกราวด์ให้ขา E ตามจังหวะการเรียกเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขา E จะทำหน้าที่ควบคุมการโมดูเลตสัญญาณความถี่ 3825 Hz เข้ากับชุดเครื่องส่งทำงานส่ง ออกอากาศไปยังเครื่องรับของเครื่องปลายทาง ( Subscriber Unit ) ซึ่งจะทำการรับและตีเทคด้วย วงจร 3825 ดีโค๊ดเดอร์ ส่งสัญญาณกราวดิให้ขา M ของเครื่องปลายทางตามจังหวะการเรียก สัญญาณ M ดังกล่าวจะเป็นผลให้ Q2 และ Q1 ทำงานจ่ายกราวดิให้รีเลย์แอกทีฟและต่อคอนแทค NO เข้ากับขั้ว Ring เพื่อรับเอาสัญญาณกระดิ่งจากวงจรออสซิลเลเตอร์ส่งให้เครื่องโทรศัพท์ที่มีเสียง ดังตามจังหวะของการเรียกเข้า

เมื่อมีการเรียกออกจากผู้ใช้ปลายทาง ( Outgoing Call ) เมื่อผู้ใช้ปลายทางยกหูเครื่อง โทรศัพท์ กระแสจะไหลผ่าน L1, D2 - D5 และ Q5 ผ่านขาคอนแทค NC ของรีเลย์มาเข้าเครื่อง โทรศัพท์แล้วออกไปยัง D6 - D9 เพื่อจัดขั้วไฟให้ IC1 วงจรตั้งรูปจะพบว่า IC1 เบอร์ LM567 Phase Lock Loop Tone Decoder ทำหน้าที่ผลิตและดีโค๊ดความถี่ 3825 Hz โดยการทำงานของ IC1 LM567 สภาวะเอาต์พุตที่ขา 8 จะเป็น Low ก็ต่อเมื่อได้รับความถี่ 3825 Hz เข้าที่อินพุตที่ขา 3 ซึ่งจะตรงกับความถี่  $f_0$  ที่ได้กำหนดไว้ โดยความถี่  $f_0$  จะกำหนดได้จากค่า Resistance และ Capacitance ที่ต่อระหว่างขา 5 กับขา 6 ซึ่งค่า Capacitance ที่ต่ออยู่ที่ขา 6 จะหาได้จาก

$$\begin{aligned} f_0 &= 1 / ( 1.1 \times f_0 \times C1 ) \\ &= 1 / ( 1.1 \times 3825 \times 0.047 \text{ uF} ) \\ &= 5100 \text{ โอห์ม} \end{aligned}$$

เนื่องจากตัวต้านทานมีค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์ จึงทำให้ความถี่ที่ผลิตได้มีค่าไม่เท่ากับ 3825 Hz จึงมีการใช้ VR1 ค่า 1000 โอห์ม คอยปรับค่าความต้านทานเพื่อให้ได้ความถี่ 3825 Hz Bandwidth ของความถี่อินพุตจะถูกกำหนดด้วยค่า Capacitance ที่ต่ออยู่กับขา 2 ลงกราวดิ โดยสามารถกำหนด Bandwidth ดังกล่าวได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{Bandwidth} &= 20 \log ( V_i / 1\text{mV} ) \\ \text{เมื่อ } V_i &= \text{Input Voltage ( Vrms ) มีค่าน้อยกว่า 200 mV} \end{aligned}$$

กำหนดให้  $V = -10 \text{ dBm}$  และ  $C2 = 0.1 \text{ ไมโครฟารัด}$

$$\begin{aligned} V &= 20 \log ( V_i / 1\text{mV} ) \\ -10 &= 20 \log ( V_i / 1\text{mV} ) \\ \text{จะได้ } V_i &= 0.3 \text{ mV} \\ \text{BW} &= 1070 [ 0.3 \text{ mV} / ( 3825 \times 0.1 \text{ uF} ) ] \\ &= 956 \text{ Hz} \end{aligned}$$

เนื่องจาก IC1 LM567 ต้องการแรงดันไฟในการทำงาน + 4.7 V ถึง + 9V จึงใช้ Q1, R1 ( 2200 โอห์ม ) และ ZD1 ( 7V1W ) เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟดังกล่าว

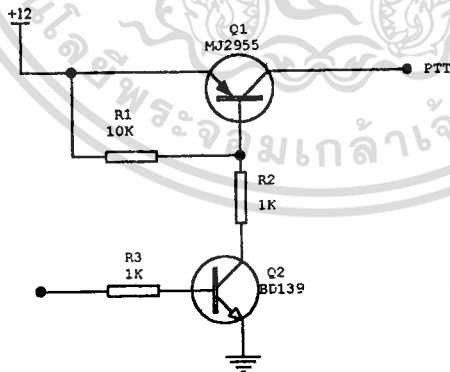
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IC1 LM567 นอกจากจะทำงานเป็น Tone Decoder แล้วในขณะเดียวกันจะผลิตความถี่อ้างอิงด้วยโดยจะได้ออกมาที่ขา 6 ดังนั้นเราจึงนำเอาสัญญาณนี้มาเป็นสัญญาณความถี่ 3825 Hz เพื่อส่งผ่านทรานซิสเตอร์ Q3 ( 2SC458 ) ไปจุด 3825 Hz Out ทรานซิสเตอร์ Q3 จะทำหน้าที่เป็นสวิทช์ที่ต่อเมื่อจุด E ได้รับสัญญาณกราวด์ สัญญาณความถี่ 3825 Hz จะถูกส่งผ่าน C8 ออกทางขา Collector เพื่อส่งไปโมดูลที่เครื่องส่งวิทยุต่อไป

วงจรโค๊ดเดอร์สัญญาณความถี่ 3825 Hz จะได้รับสัญญาณความถี่ 3825 Hz จากวงจร Pre - Amplifier ที่เข้ามาที่ขา 3 ของ IC1 LM567 ทำให้ขา 8 มีสถานะเป็นกราวด์ส่งผลให้ Q2 ทำงาน หลังจากนั้น Q4 ก็จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณที่ติโค๊ดไปยังจุด M เพื่อส่งไปยังวงจรเชื่อมโยง (Terminating Unit) และวงจรตัด-ต่อเครื่องส่ง ( TX - SW )

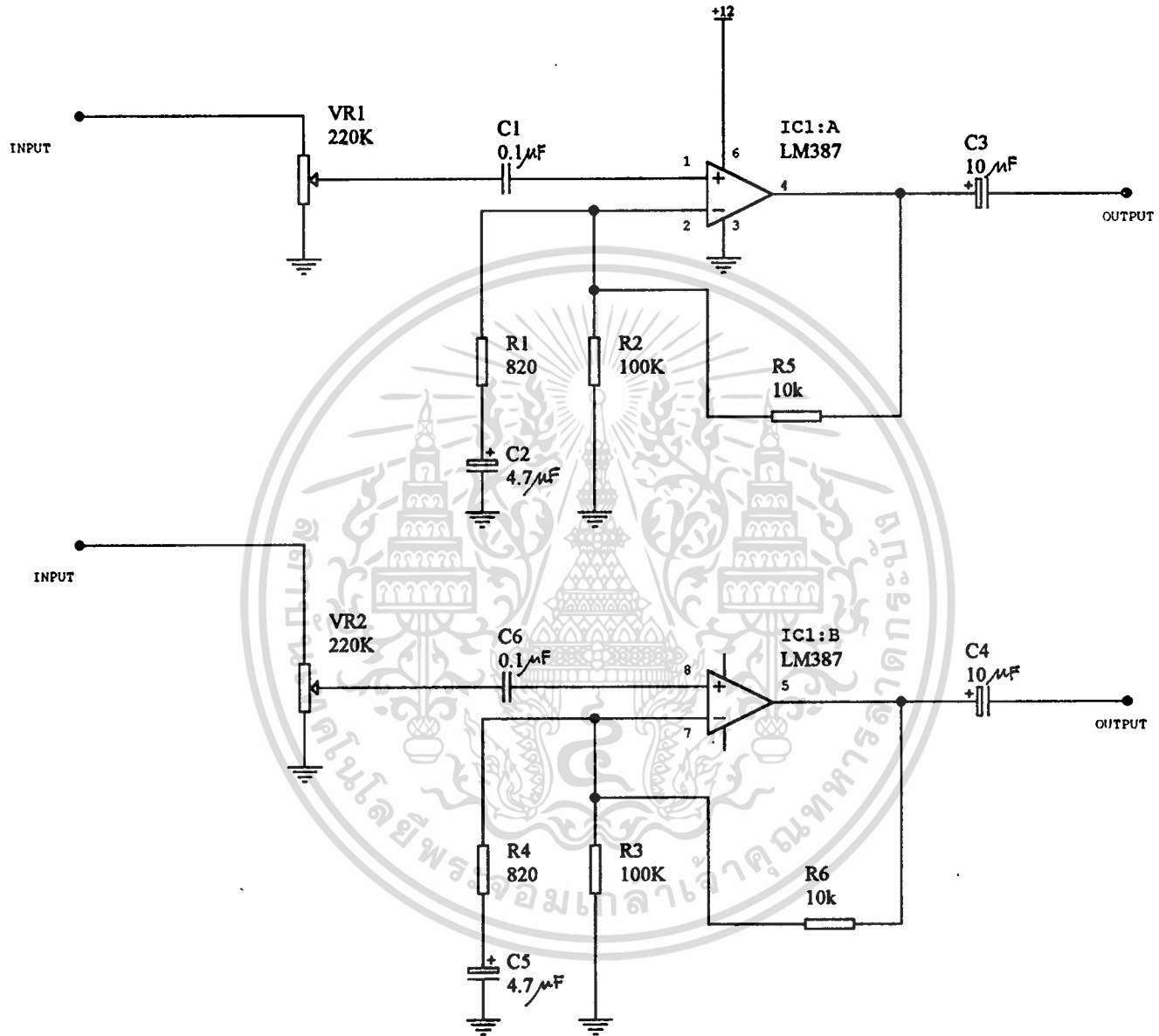
#### วงจรตัด-ต่อเครื่องส่ง ( TX - SW )

เนื่องจากเครื่องส่งวิทยุที่ใช้ในโครงการ สัญญาณ PTT ต้องการแรงดันไฟ +12V และสัญญาณที่ส่งมาให้ TX - SW จะทำงานที่สถานะ Low ดังนั้นวงจร TX - SW จึงใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ต่อร่วมกับทรานซิสเตอร์ชนิด NPN, Zener Diode และตัวต้านทานดังแสดงในรูปที่ 2.25 การทำงานเมื่ออินพุตได้รับสัญญาณ High เข้ามา ทรานซิสเตอร์ BD139 ชนิด NPN จะทำงาน หลังจากนั้นจะทำให้ทรานซิสเตอร์ MJ2955 ทำงาน ทำให้มีแรงดันไฟจ่ายไปให้ขา PTT ของเครื่องส่งวิทยุ

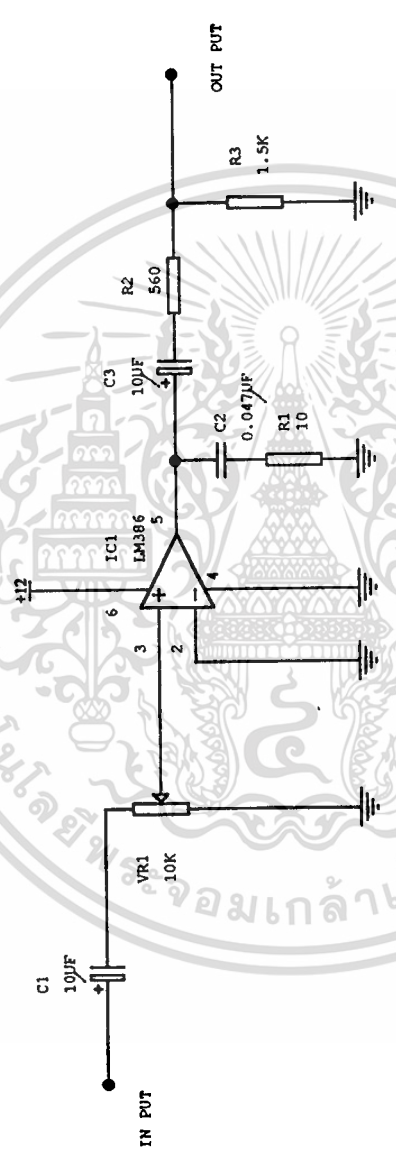


รูปที่ 2.25 แสดงวงจร TX - SW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 แสดงภาค PRE AMPLIFIER



รูปที่ 2.27 แสดงภาค AMPLIFIER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

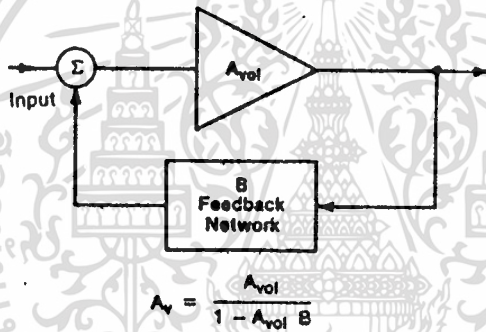
## ทฤษฎี ออฟแอมป์

คุณสมบัติของ ออฟแอมป์ ในอุดมคติ

### 1. อัตราการขยายแรงดันเป็นอนันต์ ( Infinite Open - loop Voltage Gain )

อัตราการขยายรอบเปิดของแอมพลิฟายเออร์ก็คืออัตราการขยายที่ไม่มีกำกับการป้อนกลับทั้งลบและบวก การป้อนกลับทางบวกจะมีในออสซิลเลเตอร์และแอมพลิฟายเออร์ บางชนิด ในกรณีนี้จะใช้เพียงการป้อนกลับทางลบเท่านั้น

คำจำกัดความของการป้อนกลับทางลบก็คือสัญญาณที่ป้อนกลับมาจากอินพุตด้วยเฟสของสัญญาณที่แตกต่างกัน 180 องศา จากสัญญาณอินพุต ในกรณีของ Op-Amp นี้หมายถึงการป้อนกลับจากเอาต์พุตมายังขาอินพุตตั้งอินพุตนั่นเอง



รูปที่ 2.28 แสดงวงจรออฟแอมป์ที่มีการป้อนกลับ

จากรูปที่ 2.28 จะได้  $A_v = A_{vol} / (1 - A_{vol} \cdot B)$  โดยที่  $A_v$  คือ อัตราการขยายรอบปิด (Closed-loop Gain)  $A_{vol}$  คือ อัตราการขยายรอบเปิด (Open-loop Gain) และ  $B$  คือ อัตราการขยายของวงจรป้อนกลับ (Feedback Network)

สำหรับ Op-Amp ในอุดมคตินั้น ค่า  $A_{vol}$  จะเป็นอนันต์ ดังนั้นอัตราการขยายแรงดันจะเป็นฟังก์ชันกับเน็ตเวิร์กป้อนกลับเท่านั้น แต่ในการปฏิบัติจริง ๆ แล้วค่าของ  $A_{vol}$  จะไม่เป็นอนันต์ แต่จะสูงมากทีเดียวโดยทั่วไปจะอยู่ตั้งแต่ 20,000 ในอุปกรณ์เกรดต่ำไปจนถึง 2,000,000 ในอุปกรณ์เกรดสูง

## 2. ความต้านทานขาเข้าเป็นอนันต์ ( Infinite Input Impedance )

คุณสมบัติข้อนี้หมายความว่าอินพุทของ Op-Amp จะต้องไม่เป็นภาระแก่สัญญาณอินพุท ส่วนความต้านทานขาเข้า ( Input Impedance ) ของแอมพลิฟายเออร์นั้นได้รับการกำหนดไว้ว่าเป็นอัตราส่วนของแรงดันอินพุทและกระแสอินพุท และเมื่อความต้านทานขาเข้าเป็นอนันต์ จะต้องประเมินเอาว่ากระแสอินพุทเป็นศูนย์ด้วย ดังนั้นความหมายที่สำคัญยิ่งของคุณสมบัติข้อนี้ก็คืออินพุทของ Op-Amp จะไม่ดูดซับหรือจ่ายกระแสใด ๆ ทั้งสิ้น

## 3. ความต้านทานขาออกเป็นศูนย์ ( Zero Output Impedance )

ในอุดมคตินั้นเราจะได้แรงดันเอาต์พุทสูงสุด ก็จากการที่ไม่มีแรงดันตกคร่อมความต้านทานภายในของแอมพลิฟายเออร์เลยนั่นเอง แต่ในทางปฏิบัติจริงแล้วจะไม่มี ความต้านทานขาออกเป็นศูนย์ นอกจากจะมีค่าอยู่ประมาณ 100 โอห์ม หรือน้อยกว่า และบางทีก็อยู่ในย่าน 50 โอห์ม ดังนั้นในกรณีของอินพุทของภาคขยายแรงดันที่ถูกขับด้วย Op-Amp โดยทั่ว ๆ ไปนั้น ค่าที่ออกทางเอาต์พุทก็สามารถที่เรียกได้ว่าอยู่ในอุดมคติ

## 4. สัญญาณรบกวนเป็นศูนย์ ( Zero Noise Contribution )

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ใดๆ ก็ตาม แม้กระทั่งเน็ทเวิร์คของตัวต้านทานธรรมดาจะผลิตสัญญาณรบกวนออกมาเสมอ Op-Amp ในอุดมคตินั้น แรงดันของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจะต้องอยู่นอกตัว Op-Amp ดังนั้นสัญญาณรบกวนที่ภาคเอาต์พุทจะต้องมีอยู่ที่สัญญาณอินพุทเช่นเดียวกัน

ในกรณีที่ไม่มี การขยายแรงดันสัญญาณรบกวนด้านขาออกจะต้องเท่ากันหรือเหมือนกันกับทางด้านขาเข้า นั่นคือ Op-Amp จะต้องไม่เติมอะไรเป็นพิเศษให้กับสัญญาณรบกวนขาออก นั่นเอง Op-Amp ในทางปฏิบัติจะไม่เข้าใกล้อุดมคติ นอกจากรุ่นที่มีราคาแพงมากเท่านั้นแม้กระทั่งตัวต้านทานธรรมดายังเป็นตัวผลิตสัญญาณรบกวนเสียเอง เนื่องจากการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอน

## 5. แรงดันเบี่ยงเบนขาออกเป็นศูนย์ ( Zero DC Output Off-Set )

แรงดันออฟเซ็ท(เบี่ยงเบน) ของแอมพลิฟายเออร์ ก็คือแรงดันเอาต์พุทที่เกิดขึ้นทั้งที่ควรจะมีค่าเป็นศูนย์ วงจรขยายแรงดันจะมีแรงดันที่อินพุทเป็นศูนย์เมื่อมีอินพุททั้งสองต่อลงกราวด์ การต่อลักษณะนี้ควรจะทำให้แรงดันที่ขาออกเป็นศูนย์ แต่ถ้าไม่เป็นตามนั้นแสดงว่ามีแรงดันเบี่ยงเบนเกิดขึ้นที่เอาต์พุท ถ้าเป็น Op-Amp ในอุดมคติดังกล่าวเบี่ยงเบนนี้จะเป็นศูนย์แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะมีแรงดันออฟเซ็ทที่ไม่เป็นศูนย์เกิดขึ้น

## 6. ความถี่สูงสุดเป็นอนันต์ ( Infinite Bandwidth )

Op-Amp ในอุดมคติจะขยายสัญญาณตั้งแต่ DC ไปจนถึงความถี่ของแสงได้แต่ในกรณีของ Op-Amp จริง ๆ จะมีแถบความถี่ที่จำกัด ซึ่งแล้วแต่คุณสมบัติของ Op-Amp

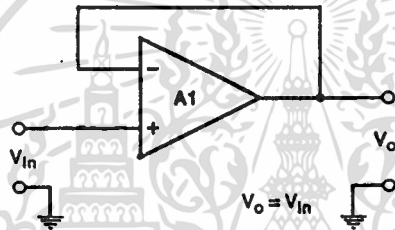
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. อินพุตทั้งคู่เท่ากัน ( Both Differential Input Stock Together )

แม้ว่าการมีอินพุตแบบดิฟเฟอเรนเชียล จะไม่ใช่ข้อกำหนดของ Op-Amp ทั่วไปก็ตาม และอย่างน้อยก็อาจจะจะมีผู้ผลิตรายหนึ่งทำแต่ Op-Amp ที่มีอินพุตแบบอินเวรติงออกมาชั่วคราว แต่ส่วนใหญ่แล้ว Op-Amp ทั่ว ๆ ไปจะมีอินพุตสองขั้ว อันหนึ่งเป็นอินเวรติง ( - ) และอีกอันเป็นนอนอินเวรติง ( + ) เมื่อป้อนแรงดันให้กับอินพุตขั้วหนึ่งจะปรากฏที่อินพุตอีกขั้วหนึ่งด้วย

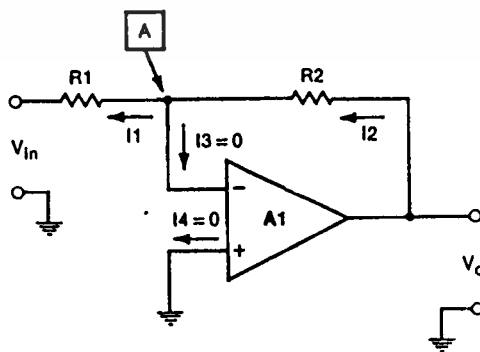
### วงจรรขยายนอนอินเวรติง ( Non Inverting Amplifier )

วงจรรขยายแบบนี้จะให้ขาอินพุตแบบนอนอินเวรติงของ Op-Amp เพราะการจัดในลักษณะนี้จะทำให้สัญญาณขาออกที่เฟสเดียวกับสัญญาณขาเข้า รูปแบบพื้นฐานของวงจรมีสองแบบคือ Unity Gain และใหญ่กว่า Unity Gain



รูปที่ 2.29 แสดงวงจรรขยายแบบ Unity Gain

จากรูปที่ 2.29 แสดงวงจรรขยายนอนอินเวรติงแบบ Unity Gain โดยขั้วขาออกจะต่อโดยตรงกับขั้วขาเข้าแบบอินเวรติงส่งผลให้เกิดการป้อนกลับแบบ 100% สูตรการหาอัตราขยายแรงดันสำหรับภาคขยายที่มีการป้อนกลับทั่วไปคือ  $A_v = A_{vol} / (1 + A_{vol} \cdot B)$  การใช้งานของวงจรรขยายแบบ Unity Gain มีหลัก ๆ อยู่สองประการ ได้แก่การเป็น Buffer และเป็นตัวแปลงอิมพีแดนซ์ ( Impedance Matching )



รูปที่ 2.30 แสดงวงจรรขยายแบบ Inverting Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.30 เมื่อ  $V_1 = V_{in}$  และทำการพิจารณา Node A จะได้

$$I_1 + I_2 = 0$$

นั่นคือ  $(V_1/R_1) + (V_1 - V_o)/R_2 = 0$

แทนค่า  $V_1$  ด้วย  $V_{in}$  จะได้

$$V_{in}/R_1 + (V_{in} - V_o)/R_2 = 0$$

$$V_o/R_2 = V_{in}(R_1 + R_2)/R_1 R_2$$

$$V_o/V_{in} = (R_1 + R_2)/R_1$$

$$A_v = 1 + (R_2/R_1)$$

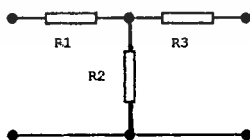
### ทฤษฎีวงจรลดทอน

เพื่อเป็นการถ่ายต่อการจัดระดับสัญญาณเสียงในวงจร ดังนั้นในการออกแบบสร้างวงจรลดทอนจะมีการครอบคลุมการลดทอนสัญญาณอยู่ในช่วง 0 dB ถึง 15.5 dB และมี Input , Output , Impedance ตามมาตรฐานสากล คือ 600 โอห์ม โดยจะแบ่งเป็นวงจรลดทอน จำนวน 5 วงจร มีขนาดการลดทอนเป็น 8,4,2,1,0.5 dB ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.31 ก ข และ ค



ก. เมื่อไม่ต้องการลดทอนสัญญาณ

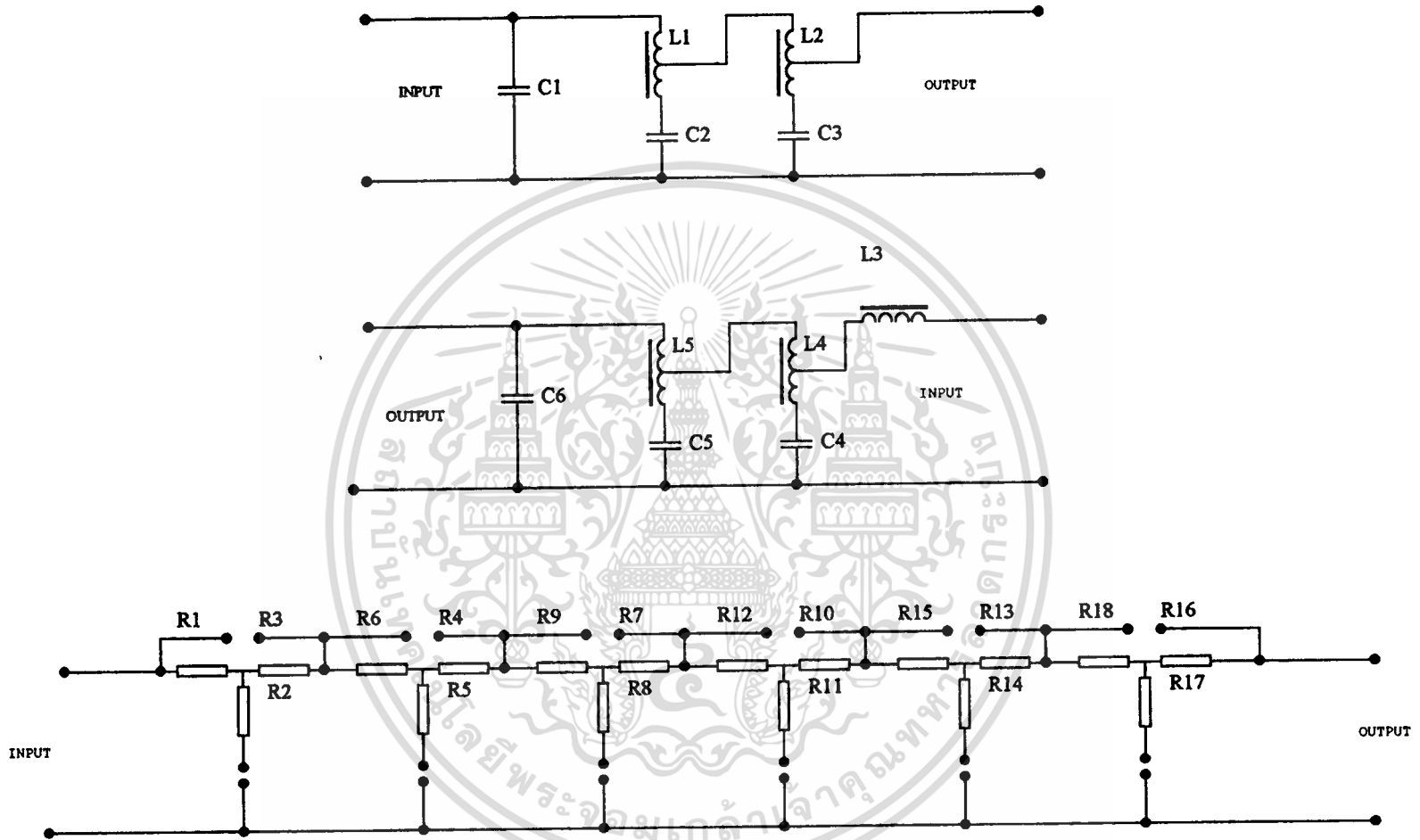
ข. เมื่อต้องการลดทอนสัญญาณ



ค. การกำหนดตำแหน่ง  $R_1$ ,  $R_2$  และ  $R_3$  ของวงจรลดทอน

รูปที่ 2.31 แสดงวงจรลดทอนแบบ T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30.1 แสดงวงจร ATTENUATOR และวงจร FILTER

การคำนวณหาค่าตัวต้านทานแต่ละตัวจะอาศัยหลักการคำนวณดังนี้

$$R1 = R3 = [(N - 1) / (N + 1)] \times Zo$$

$$R2 = [2N / (N - 1)] \times Zo$$

เมื่อ  $N = 10^{\alpha/20}$  เมื่อ  $\alpha$  คือขนาดการลดทอนมีหน่วยเป็น dB

และเมื่อได้ตัวต้านทานที่มีค่าตามการคำนวณแล้ว จะสามารถคำนวณหาค่า Input, Output, Impedance และค่าลดทอนที่เกิดขึ้นจริงได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$1) \text{ ค่าการลดทอน (dB) } = 20 \log \theta$$

$$\text{เมื่อ } \theta_t = 2\theta$$

$$\text{และ } \text{Coth}\theta = 1 + (Z_b / Z_a)$$

โดยที่  $Z_b, Z_a$  จะได้จากการแยกวงจรแบบ T ออกเป็นวงจรแบบ L 2 วงจรต่อกันดังรูปที่

2.32 จะได้ว่า  $Z_a = R1 = R3$  และ  $Z_b = 2R2$

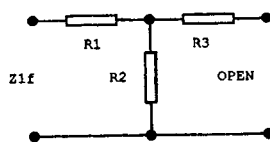


รูปที่ 2.32 แสดงวงจรมูลของวงจรลดทอนแบบ T

$$2) \text{ Input Impedance } = \text{ Output Impedance } = Z1f \times Z1s$$

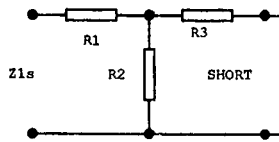
เมื่อ  $Z1f$  คือค่า  $Z$  ที่ได้จากการมองทางด้าน Input ของวงจร เมื่อทำการเปิดวงจรด้าน Output ดังรูปที่ 2.33 จะได้  $Z1f = R1 + R2$  และ  $Z1s$  คือค่า  $Z$  ที่ได้จากการมองทางด้าน Input ของวงจร เมื่อทำการลัดวงจรด้าน Output ดังรูปที่ 2.34 จะได้

$$Z1s = R1 + [ R2 \times R3 / ( R2 + R3 ) ]$$



รูปที่ 2.33 แสดงการมองค่า  $Z1f$  ของวงจรลดทอนแบบ T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 แสดงการมองค่า  $Z1s$  ของวงจรลดทอนแบบ T

### การคำนวณเพื่อการออกแบบ

- หาค่า Resistance สำหรับ วงจรลดทอน 8 dB

$$N = 10^{9/20} = 2.5119$$

$$R1 = R3 = [(2.5119 - 1) / (2.5119 + 1)] \times 600 = 258.3 \text{ โอห์ม} \quad \text{ใช้ค่า 261 โอห์ม แทน}$$

$$R2 = [(2 \times 2.5119) / (2.5119^2 - 1)] \times 600 = 567.7 \text{ โอห์ม} \quad \text{ใช้ค่า 576 โอห์ม แทน}$$

- หาค่า Resistance สำหรับ วงจรลดทอน 4 dB

$$N = 10^{4/20} = 1.585$$

$$R4 = R6 = [(1.585 - 1) / (1.585 + 1)] \times 600 = 135.7 \text{ โอห์ม} \quad \text{ใช้ค่า 137 โอห์ม แทน}$$

$$R5 = [(2 \times 1.585) / (1.585^2 - 1)] \times 600 = 1258 \text{ โอห์ม} \quad \text{ใช้ค่า 1270 โอห์ม แทน}$$

- หาค่า Resistance สำหรับ วงจรลดทอน 2 dB

$$N = 10^{2/20} = 1.259$$

$$R7 = R9 = [(1.259 - 1) / (1.259 + 1)] \times 600 = 68.77 \text{ โอห์ม} \quad \text{ใช้ค่า 68.1 โอห์ม แทน}$$

$$R8 = [(2 \times 1.259) / (1.259^2 - 1)] \times 600 = 2583 \text{ โอห์ม} \quad \text{ใช้ค่า 2610 โอห์ม แทน}$$

- หาค่า Resistance สำหรับ วงจรลดทอน 1 dB

$$N = 10^{1/20} = 1.122$$

$$R10 = R12 = [(1.122 - 1) / (1.122 + 1)] \times 600 = 34.5 \text{ โอห์ม} \quad \text{ใช้ค่า 34.8 โอห์ม แทน}$$

$$R11 = [(2 \times 1.122) / (1.122^2 - 1)] \times 600 = 5200 \text{ โอห์ม} \quad \text{ใช้ค่า 5230 โอห์ม แทน}$$

- หาค่า Resistance สำหรับ วงจรลดทอน 0.5 dB

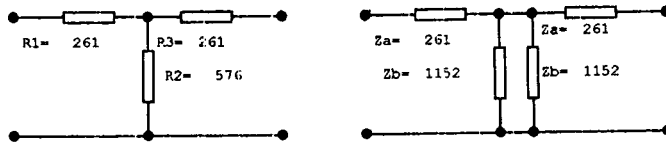
$$N = 10^{0.5/20} = 1.059$$

$$R13 = R15 = [(1.059 - 1) / (1.059 + 1)] \times 600 = 17.3 \text{ โอห์ม} \quad \text{ใช้ค่า 17.4 โอห์ม แทน}$$

$$R14 = [(2 \times 1.059) / (1.059^2 - 1)] \times 600 = 10417 \text{ โอห์ม} \quad \text{ใช้ค่า 10500 โอห์ม แทน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคำนวณเพื่อการตรวจสอบ



รูปที่ 2.35 แสดงวงจรลดทอน 8 dB

$$\begin{aligned} Z_{o1} &= Z_{o2} = Z_a Z_b (1 + (Z_a / Z_b)) \\ &= 261 \times 1152 (1 + (261 / 1152)) \\ &= 607.3 \text{ โอห์ม ประมาณ } 600 \text{ โอห์ม} \end{aligned}$$

$$\text{Attenuator (dB)} = 20 \log \theta \text{ (dB)}$$

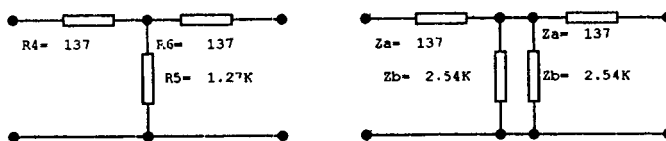
$$\theta_t = 2\theta$$

$$\begin{aligned} \text{Coth } \theta &= 1 + (Z_b / Z_a) \\ &= 1 + (1152 / 261) \\ &= 4.33 \end{aligned}$$

$$\theta = 0.46$$

$$\theta_t = 0.92$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าลดทอน} &= 20 \log \theta \\ &= 7.99 \text{ dB ประมาณ } 8 \text{ dB} \end{aligned}$$



รูปที่ 2.36 แสดงวงจรลดทอน 4 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} Z_{o1} = Z_{o2} &= Z_a Z_b (1 + (Z_a / Z_b)) \\ &= 137 \times 25400 (1 + (137 / 25400)) \\ &= 605.6 \text{ โอห์ม ประมาณ } 600 \text{ โอห์ม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coth}\theta &= 1 + (Z_b / Z_a) \\ &= 1 + (25400 / 137) \\ &= 4.42 \end{aligned}$$

$$\theta = 0.23$$

$$\theta_t = 0.46$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าลดทอน} &= 20 \log \theta \\ &= 3.999 \text{ dB ประมาณ } 4 \text{ dB} \end{aligned}$$



รูปที่ 2.37 แสดงวงจรลดทอน 2 dB

$$\begin{aligned} Z_{o1} = Z_{o2} &= Z_a Z_b (1 + (Z_a / Z_b)) \\ &= 68.1 \times 6220 (1 + (68.1 / 6220)) \\ &= 600.1 \text{ โอห์ม ประมาณ } 600 \text{ โอห์ม} \end{aligned}$$

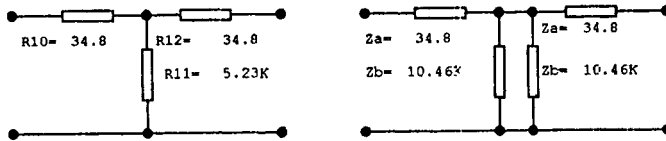
$$\begin{aligned} \text{Coth}\theta &= 1 + (Z_b / Z_a) \\ &= 1 + (6220 / 68.1) \\ &= 8.81 \end{aligned}$$

$$\theta = 0.11$$

$$\theta_t = 2\theta = 0.22$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าลดทอน} &= 20 \log \theta \text{ dB} \\ &= 1.98 \text{ dB ประมาณ } 2 \text{ dB} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 แสดงวงจรลดทอน 1 dB

$$Z_{o1} = Z_{o2} = Z_a Z_b (1 + (Z_a / Z_b))$$

$$= 34.8 \times 10460 (1 + (34.8 / 10460))$$

$$= 604.3 \text{ โอห์ม ประมาณ } 600 \text{ โอห์ม}$$

$$\text{Coth } \theta = 1 + (Z_a / Z_b)$$

$$= 1 + (10460 / 34.8)$$

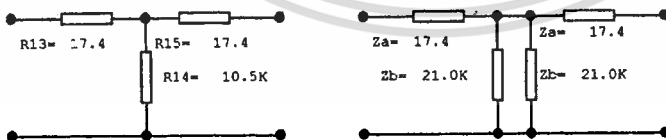
$$= 17.37$$

$$\theta = 0.058$$

$$\theta_t = 2\theta = 0.136$$

$$= 20 \log \theta \text{ dB}$$

$$= 1 \text{ dB}$$



รูปที่ 2.39 แสดงวงจรลดทอน 0.5 dB

$$Z_{o1} = Z_{o2} = Z_a Z_b (1 + (Z_a / Z_b))$$

$$= 17.4 \times 21000 (1 + (17.4 / 21000))$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 604.7 \text{ โอห์ม ประมาณ } 600 \text{ โอห์ม}$$

$$\text{Coth } \theta = 1 + (Z_b / Z_a)$$

$$= 1 + (21000 / 17.4)$$

$$= 34.751$$

$$\theta = 0.029$$

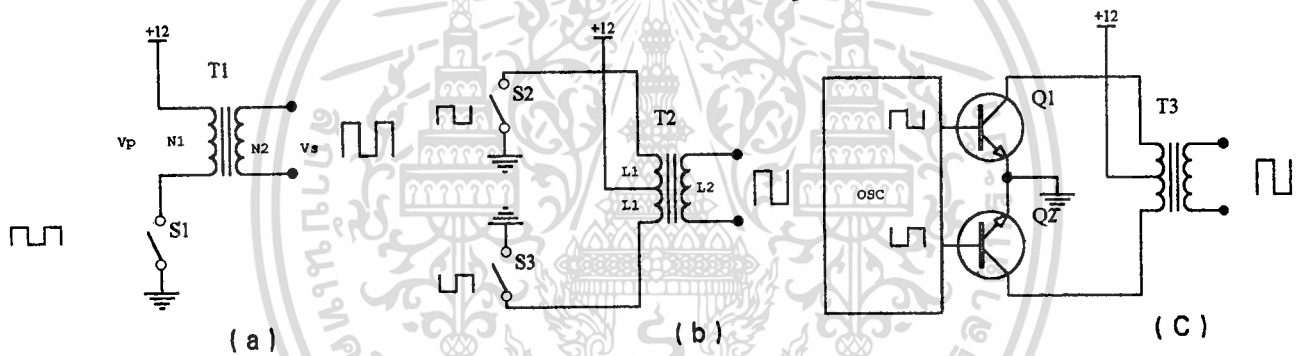
$$\theta_t = 2\theta = 0.058$$

$$= 20 \log e \text{ dB}$$

$$= 0.5 \text{ dB}$$

### การสร้างสัญญาณริงกิ้ง ( Ringing Signal )

การสร้างสัญญาณริงกิ้ง ( Ringing Singnal ) นั้นจะใช้วิธีการเปลี่ยนจากแรงดันไฟตรง 12 โวลต์ ให้เป็นแรงดันไฟสลับ 70 โวลต์ 25 Hz โดยจะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 แสดงหลักการสร้างสัญญาณริงกิ้ง

หลักการของวงจรอินเวอร์เตอร์ ( Inverter ) อย่างง่าย คือการใช้ทรานส์ฟอเมอร์ร่วมกับสวิตช์ เมื่อมีการตัดต่อสวิตช์เป็นช่วง ๆ ค่าแรงดันที่ปรากฏที่ขดทุติยภูมิจะมีความถี่เท่ากับด้านปฐมภูมิ แต่ขนาดแรงดันจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนของจำนวนรอบระหว่างขดทั้งสอง ซึ่งค่าของแรงดันและกระแสจะคำนวณได้จาก

$$V_s = V_p N_s / N_p \quad \text{และ} \quad I_s = I_p N_p / N_s$$

ในการใช้งานจริงจะใช้วงจรแบบ Push Pull โดยจะให้ S2 และ S3 ผลัดกันทำงาน และการออกแบบหม้อแปลง T เพื่อให้ในวงจรจะใช้สมการคือ

$$B_{\max} = 10^6 V_p / K_f N_p A_e$$

เมื่อ  $V_p$  = แรงดันด้านปฐมภูมิ ( โวลต์ )

$N_p$  = จำนวนรอบของขดขดลวดด้านปฐมภูมิ ( รอบ )

$f$  = ความถี่ ( Hz )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$A_e$  = พื้นที่ของแกน (ตารางเซนติเมตร)

$K$  = 4.44 สำหรับคลื่นรูปไซน์ และ 4.0 สำหรับคลื่นรูปสี่เหลี่ยม

พิจารณาที่ละช่วงครึ่งไซเคิล ถ้า S2 ทำตอนครึ่งบวก S3 ก็จะทำตอนครึ่งลบ การสวิตช์จะอาศัยทรานซิสเตอร์ดังรูปที่ 2.40 (a)

เมื่อใช้บริเวณเชิงเส้นของกราฟ B - H จะได้จุดที่เหมาะสมคือ จุด  $B_{max} = B_{sat} / 2$  นั่นคือสมการของจำนวนรอบด้านปฐมภูมิคือ

$$N_p = 10^4 V_p / 4 f B_{max} A_e$$

ในการเลือกแกนของทรานส์ฟอเมอร์ยังมีพารามิเตอร์ที่สำคัญอีก 2 ตัว คือ พื้นที่การพันซึ่งต้องเลือกให้พอดีกับขนาดของเส้นลวด เพื่อให้เกิด Winding Loss น้อยที่สุด กับอีกตัวหนึ่งคือ Care's Power Handling Capability ซึ่งมีสมการดังนี้

$$P_{out} = (1.16 B_{max} f d A_c) \times 10$$

เมื่อ  $P_{out}$  = Power Handling of Core (Watt)

$B_{max}$  = ความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุด (T)

$f$  = ความถี่ (Hz)

$d$  = ความหนาแน่นกระแสของขดลวด (A/m)

$A_c$  = พื้นที่การพัน

โดยปกติแล้ว ความหนาแน่นกระแสมีหน่วยเป็น Circular mils for Ampere ใช้สัญลักษณ์  $D_r$  เขียนความสัมพันธ์กับ  $d$  ได้ดังนี้

$$d = 1.27 \times 10^{-4} / D_r$$

นั่นคือ  $P_{out} = 10 (1.47 f B_{max} A_e A_c)$

ดังนั้น จะได้  $A_e A_c = 10 (0.68 P_{out})$

จำนวนรอบของขดปฐมภูมิจะหาได้จาก  $V_p / N_p = V_s / N_s$

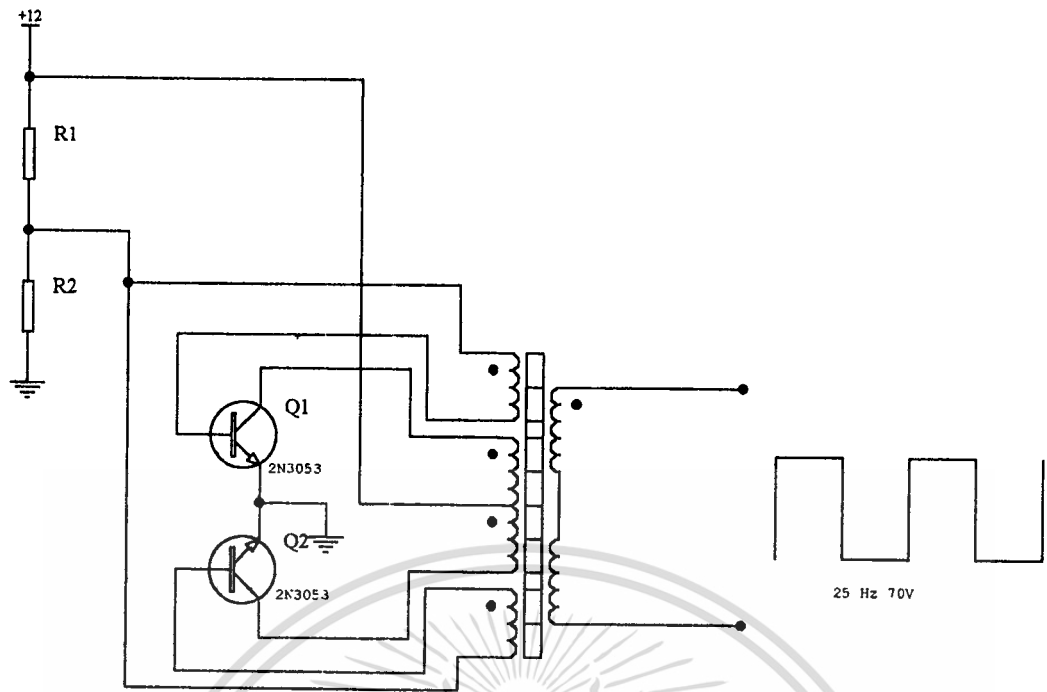
นั่นคือ  $N_s = V_s N_p / V_p$

ขีดจำกัดของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ คือ  $V_{cemax} = 2 V_{in}$  และกระแสคอลเลคเตอร์สูงสุดของ

ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวเท่ากับ  $I_C = [I_c / n] + I_{mag}$

$I_C$  ในเทอมของกำลังเอาต์พุตเท่ากับ

$$I_C = P_{out} / n S_{mag} V_{in}$$

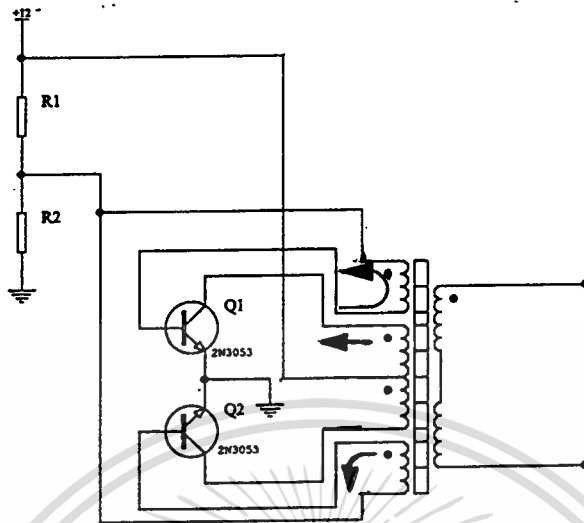


รูปที่ 2.41 แสดงวงจร Ring Generator

จากรูปที่ 2.41 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณริงก์ แบบ Driver Primary Transformer โดยสามารถอธิบายการทำงานได้ 2 สถานะ คือ

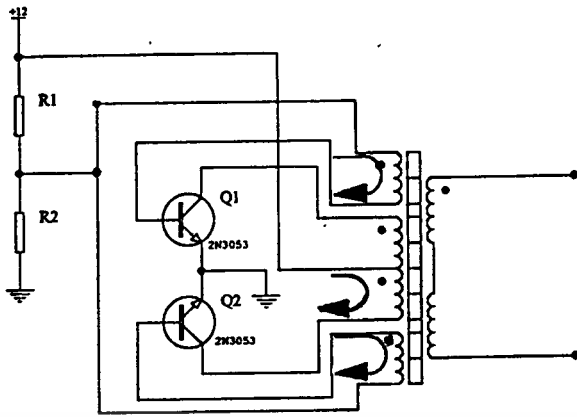
1) สมมติให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงานก่อน จะเกิดกระแสไหลที่ขด L2 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไปตัดกับขดลวดต่างๆ ทำให้เกิดผลดังนี้

- เมื่อตัดกับขด L1 จะทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางหักล้างกับกระแสเบสของ Q1 ทำให้ Q1 หยุดทำงาน
- เมื่อตัดกับขด L4 จะทำให้เกิดกระแสไหลที่ขาเบสของ Q2 ทำให้ Q2 ทำงาน
- เมื่อตัดกับขด L5 จะทำให้เกิดแรงดันไฟสูงออกมาเป็นไรเกิดบวกครึ่งไซเคิล แสดงการทำงานโดยรูป 2.42



รูปที่ 2.42 แสดงการทำงานเมื่อ Q1 ทำงาน

- 2) จากในสภาวะที่ 1) Q1 หยุดนำกระแส และ Q2 นำกระแส นั้น จะส่งผลให้เกิดกระแสไหลในขด L3 และเกิดสนามแม่เหล็กไปตัดขดต่างๆ ทำให้เกิดผลดังนี้
- เมื่อตัดกับขด L1 จะทำให้เกิดกระแสไหลเข้าขาเบสของ Q1 ทำให้ Q1 ทำงาน
  - เมื่อตัดกับขด L4 จะทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางหักล้างกับกระแสเบสของ Q2 ทำให้ Q2 หยุดนำกระแส
  - เมื่อตัดกับขด L5 ทำให้เกิดแรงดันไฟสูงออกมาเป็นไซเคิลลบครึ่งไซเคิล แสดงการทำงานโดยรูป 2.43 และจากการทำงานสลับกันไปมาระหว่าง Q1 กับ Q2 จะทำให้เกิด Output Pulse ที่ขด L5 ต่อเนื่องกันไปจนกว่าจะหยุดจ่ายไฟเลี้ยงวงจร



รูปที่ 2.43 แสดงการทำงานเมื่อ Q2 ทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การทดสอบและผลการทดสอบวงจรส่วนย่อยต่าง ๆ

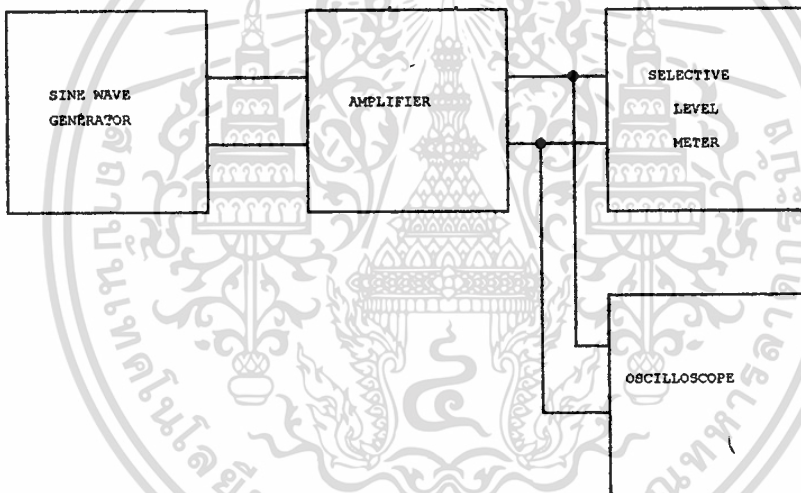
#### 3.1 การทดสอบวงจร Amplifier

##### อุปกรณ์ที่ใช้

- 1) Oscilloscope
- 2) Power Supply
- 3) Selective Level Meter
- 4) Signal Generator

##### ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) ต่อวงจรดังรูป 3.1 พร้อมทั้งจ่ายไฟเลี้ยงอุปกรณ์ต่าง ๆ



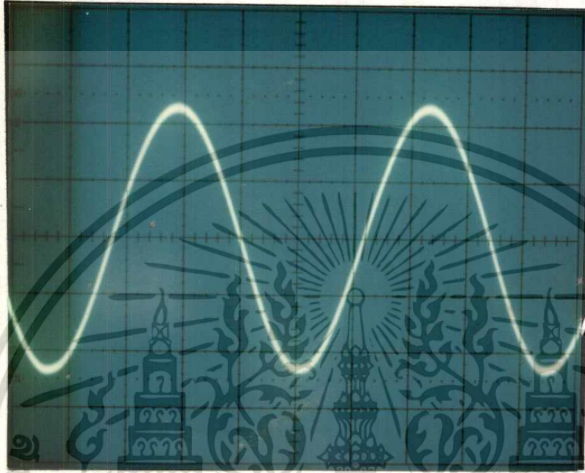
รูปที่ 3.1 แสดงการทดสอบวงจรขยายเสียง

- 2) ปรับ Signal Generator ให้จ่ายสัญญาณ Sine Wave 820 Hz ขนาด -20 dBm
- 3) ปรับค่า VR ของ PreAmp ได้ Output สูงสุด บันทึกสัญญาณ Output เพื่อนำไปหาค่า Gain ของวงจร
- 4) เพิ่มค่าแรงดัน Input จนกระทั่งรูปคลื่นสัญญาณ Output ถูกขลิบบันทึกผลการทดสอบ
- 5) ลดค่าแรงดัน Input จนกระทั่งวงจรขยายทำงานไม่ได้ บันทึกผลการทดลอง
- 6) ตั้งค่าแรงดัน Input ให้คงที่ที่ -20 Bm. แล้วเปลี่ยนความถี่ดังตาราง บันทึกค่าสัญญาณ Output

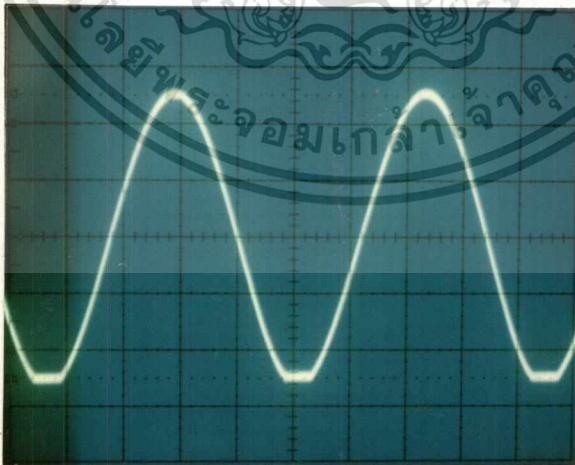
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการทดสอบ AMP**

- 1) ระดับสัญญาณ Input = -30 dBm.  
 ระดับสัญญาณ Output = -5 dBm.  
 Gain =  $-5 - (-30) = 25$  dB.
- 2) แสดงรูปสัญญาณ Output ที่ Input ระดับต่างๆ



รูปที่ 3.2 แสดงรูปสัญญาณ Output ขณะที่ Input = -18 dBm



รูปที่ 3.3 แสดงรูปสัญญาณ Output ขณะที่ Input = -17 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สรุป จากการทดสอบวงจร AMP. จะสามารถสรุปได้คือการทำงานของวงจร PREAMP. จะได้ผลดีเมื่อระดับสัญญาณ Input อยู่ในช่วง -60 ถึง -15 dBm. นั้น ระดับสัญญาณ Input จะอยู่ในช่วง -50 ถึง -17 dBm. ค่าที่ได้มานี้จะเป็นตัวกำหนดการจัด ระดับสัญญาณของแต่ละภาคเข้าหากัน ส่วนการตอบสนองของควมถี่ จะพบว่า ทั้งสองวงจรสามารถตอบสนองควมถี่ได้ดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

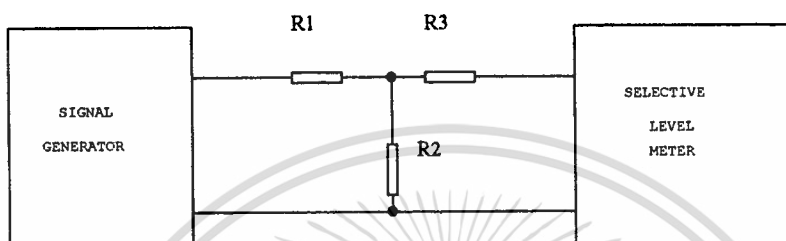
### 3.2 การทดสอบวงจรลดทอน

#### อุปกรณ์ที่ใช้

- 1) Selective Level Meter
- 2) Signal Generator

#### ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) ต่อดวงจรมตามรูปที่ 3.5 พร้อมทั้งจ่ายไฟเลี้ยงอุปกรณ์ต่าง ๆ



รูปที่ 3.5 แสดงการทดสอบวงจรลดทอน

- 2) ปรับระดับของสัญญาณ Input ไว้ที่ 0 dBm.
- 3) ใช้ค่า R1, R2, R3 และปรับความถี่สัญญาณ Input ดังตาราง แล้วบันทึกค่าระดับสัญญาณ Output

#### ผลการทดสอบ

ค่าการลดทอน (dB)	R1	R2 (โอห์ม)	R3	ระดับสัญญาณ OUTPUT ที่ความถี่ INPUT ค่าต่างๆ (dBm.)			
				300 Hz	2.5 kHz.	4 kHz.	10 kHz.
8	261	576	261	-8	-8	-8	-8
4	137	1270	137	-4	-4	-4	-4
2	68.1	2610	68.1	-2	-2	-2	-2
1	34.8	5230	34.8	-1	-1	-1	-1
0.5	17.4	10500	17.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สรุป** จากการทดสอบจะพบว่า ตัวต้านทานที่ใช้จริงๆ นั้นเป็นค่าที่หาได้และมีค่าใกล้เคียงค่าที่ได้คำนวณไว้ ซึ่งขนาดการลดทอนที่ได้ก็ยังคงตรงตามความต้องการ อีกทั้งไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ของสัญญาณ Input ดังนั้นเมื่อนำเอาวงจรถดทอนของ 5 วงจร มาต่อแคสเคดกันแล้วจะสามารถตอบสนองความต้องการ การลดทอนเพื่อจัดระดับสัญญาณได้ในช่วง 0 - 15.5 dB โดยค่าลดทอนต่ำสุดที่จะเปลี่ยนได้คือ 0.5 dB



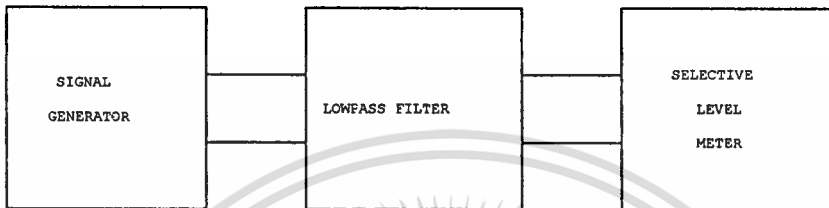
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การทดสอบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

- อุปกรณ์ที่ใช้
- 1) Selective Level Meter
  - 2) Signal Generator

#### ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) ต่อวงจรดังรูปที่ 3.6 พร้อมทั้งจ่ายไฟเลี้ยงอุปกรณ์ต่าง ๆ



รูปที่ 3.6 แสดงการทดสอบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

- 2) ตั้งค่าระดับสัญญาณ Input ไว้ที่ 0 dBm.
- 3) นำค่าความถี่สัญญาณ Input ดังตาราง แล้วบันทึกระดับสัญญาณ Output
- 4) ทำการทดสอบอีกครั้ง สำหรับวงจรที่สอง

#### ผลการทดสอบวงจรที่ 1

<u>ความถี่สัญญาณ Input</u> ( Hz )	<u>ระดับสัญญาณ Output</u> ( dBm. )
300	-1.2
500	-1.2
1000	-2
1500	-3
2000	-5
2500	-7
3000	-10
3300	-12
3400	-12
3500	-12
3600	-20
3700	-28

ความถี่สัญญาณ Input

( Hz )

3800

3900

4000

ระดับสัญญาณ Output

( dBm. )

-55

-50

-36

ผลการทดสอบวงจรที่ 2ความถี่สัญญาณ Input

( Hz )

300

500

1000

1500

2000

2500

3000

3300

3400

3500

3600

3700

3800

3900

4000

ระดับสัญญาณ Output

( dBm. )

-2

-3

-6

-8

-9

-9

-2

-5

-6

-6

-20

-45

-55

-53

-60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สรุป** จากผลการทดสอบที่ได้จะเห็นว่า ทั้งสองวงจรสามารถตอบสนองต่อความถี่ Input ในช่วง Voice Frequency ได้ดีพอสมควรอีกทั้งสามารถลดระดับของสัญญาณความถี่ 3825 Hz ได้ ด้วยขนาดการลดทอนประมาณ 50 dB ดังนั้นจึงสามารถนำเอาวงจรรองความถี่ต่ำผ่านมาใช้กับเส้นทางของสัญญาณเสียงนี้ได้เป็นอย่างดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

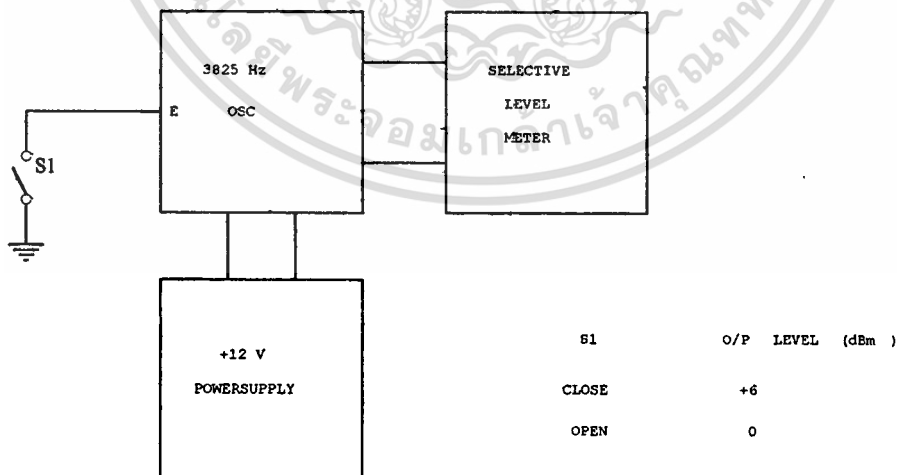
### 3.4 การทดสอบวงจร 3825 Hz ออสซิลเลเตอร์

#### อุปกรณ์ที่ใช้

- 1) Frequency Counter
- 2) Power Supply
- 3) Oscilloscope
- 4) Multimeter
- 5) Signal Generator
- 6) Selective Level Meter

#### ขั้นตอนการทดสอบ

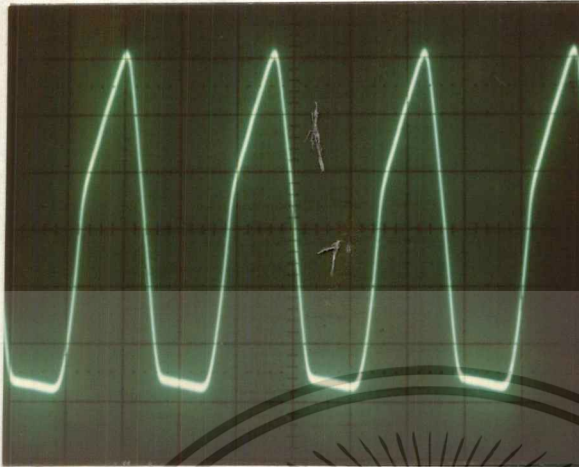
- 1) ต่อดวงจรรูปที่ 3.7 และทำการลัดขั้ว E ของวงจรลงกราวด์
- 2) ต่อ Frequency Counter และ Oscilloscope เข้าที่เอาต์พุตของวงจร พร้อมกับจ่ายไฟเลี้ยงอุปกรณ์และวงจร
- 3) ปรับ Variable Resistor ของวงจรไว้ที่ตำแหน่งต่ำสุด บันทึกรูปคลื่นและความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต
- 4) ปรับ Variable Resistor ตัวเดิมไว้ที่ตำแหน่งสูงสุด บันทึกรูปคลื่นและความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต
- 5) ทำการปลดขั้ว E ออกจากกราวด์ แล้วต่อเข้ากับแรงดันบวก 12 โวลต์



รูปที่ 3.7 แสดงการทดสอบวงจร 3825 Hz Oscillator

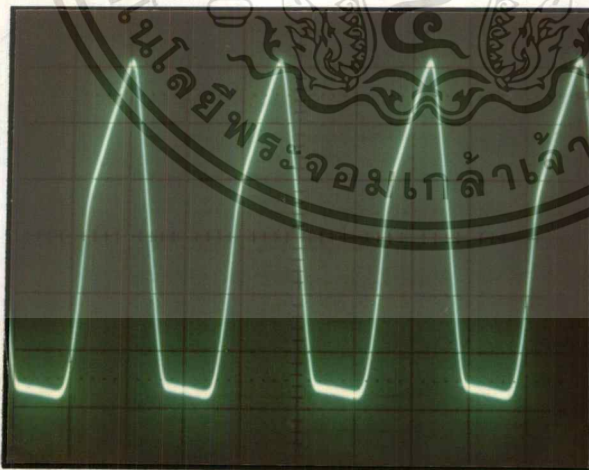
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดสอบ



ความถี่ = 4340 Hz  
ระดับสัญญาณ = 6 dBm

รูปที่ 3.8 แสดงสัญญาณ Output ขณะปรับ VR ไว้ที่ Minimum



ความถี่ = 3619 Hz  
ระดับสัญญาณ = 6 dBm

รูปที่ 3.9 แสดงสัญญาณ Output ขณะปรับ VR ไว้ที่ Maximum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สรุป** จากผลการทดสอบจะเห็นว่าวงจรกำเนิดสัญญาณสามารถสร้างสัญญาณได้ในช่วงความถี่ 3619 ถึง 4340 HZ ซึ่งครอบคลุมความถี่ที่ต้องการคือ ความถี่ 3825 HZ ซึ่งจะต้องทำการปรับ VR เพื่อให้ได้ ความถี่ดังกล่าว การควบคุมการกำเนิดสัญญาณทำได้โดยควบคุมที่ขา E ซึ่งเมื่อขา E มีระดับสัญญาณเป็นกราวด์ จะทำให้วงจรทำงาน และในทางตรงกันข้าม ถ้าขา E มีแรงดันเป็นบวก 12 โวลท์ จะทำให้วงจรหยุดการผลิตความถี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

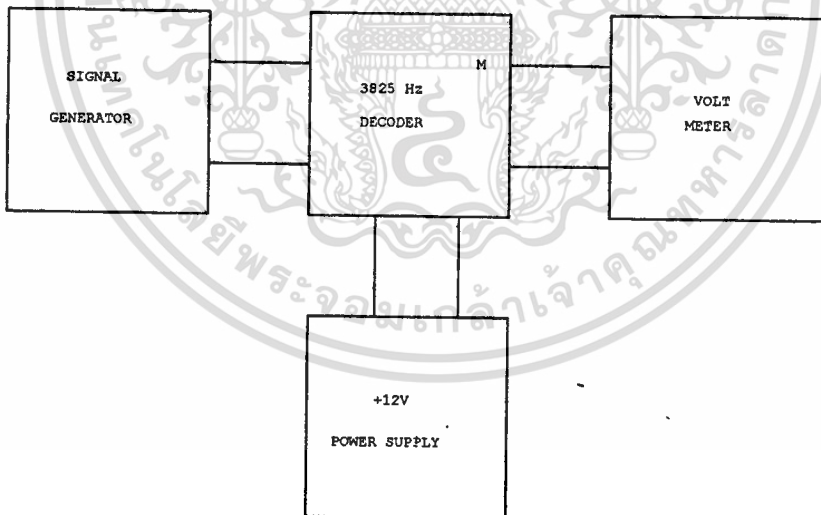
### 3.5 การทดสอบวงจร 3825 ดีโค้ดเดอร์

#### อุปกรณ์ที่ใช้

- 1) Signal Generator
- 2) Power Supply
- 3) Multimeter

#### ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) ต่อดวงจรมีรูปที่ 3.10 แล้วทำการจ่ายไฟเลี้ยงวงจรและอุปกรณ์ต่าง ๆ
- 2) ปรับสัญญาณอินพุตให้มีระดับสัญญาณคือ -10 dBm ความถี่ 3825 Hz ทำการวัดแรงดันที่ขา 8 ของไอซี 1
- 3) เปลี่ยนความถี่ของสัญญาณอินพุต จนกระทั่งแรงดันที่ขา 8 เกิดการเปลี่ยนแปลง บันทึก ความถี่ดังกล่าว
- 4) ตั้งค่าความถี่ไว้ที่ 3825 Hz แล้วทำการเปลี่ยนระดับสัญญาณอินพุต บันทึกค่าแรงดันที่ขา 8



รูปที่ 3.10 แสดงการทดสอบวงจร 3825 Hz ดีโค้ดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดสอบ

- 1) สัญญาณอินพุท 3825 Hz , -10 dBm จะได้แรงดันขา 8 = 0.034 โวลท์
- 2) สัญญาณอินพุทคงที่ -10 dBm จะได้
  - ความถี่สูงสุด 4000 HZ แรงดันขา 8 = 5.42 โวลท์
  - ความถี่ต่ำสุด 3490 HZ แรงดันขา 8 = 5.48 โวลท์
- 3) ระดับสัญญาณต่ำสุด -34 dBm แรงดันขา 8 = 5.12 โวลท์ และเมื่อเปลี่ยนความถี่อินพุทจะไม่มีผลกระทบใด ๆ

**สรุป** จากผลการทดสอบจะเห็นว่า ช่วงความถี่ที่วงจรสามารถดีโค๊ดได้จะอยู่ในช่วง 3490 ถึง 4000 Hz และระดับสัญญาณต่ำสุดของสัญญาณอินพุทที่วงจรยังคงทำงานได้คือ -34 dBm ซึ่งจะสามารถดีโค๊ดความถี่ 3825 HZ ได้เป็นอย่างดี



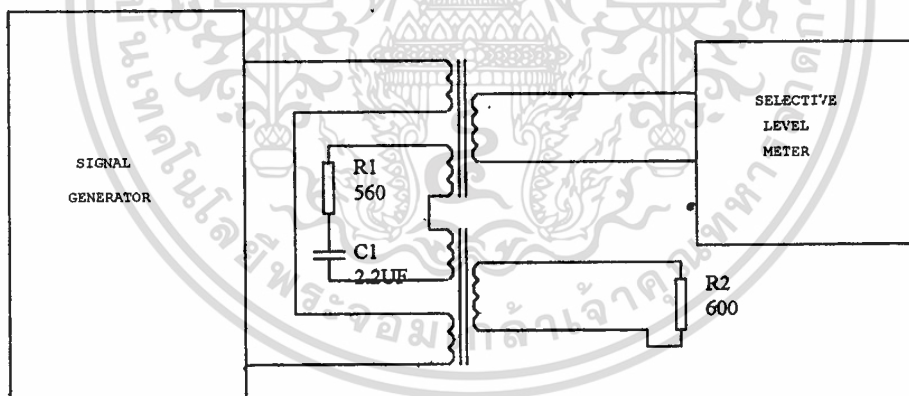
### 3.6 การทดสอบวงจรไฮบริด

#### อุปกรณ์ที่ใช้

- 1) Signal Generator
- 2) Selective Level Meter

#### ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) ต่อวงจรดังรูปที่ 3.11 ป้อนสัญญาณรูปไซน์เข้าอินพุต 2 Wire แล้ววัดสัญญาณเอาท์พุทที่ด้าน Send และ Receive
- 2) ป้อนสัญญาณรูปไซน์เข้าที่ด้าน Send แล้ววัดสัญญาณออกที่ด้าน 2 Wire และด้าน Receive
- 3) ป้อนสัญญาณรูปไซน์เข้าที่ด้าน Receive แล้ววัดสัญญาณออกที่ด้าน 2 Wire และด้าน Send



รูปที่ 3.11 แสดงการทดสอบวงจรไฮบริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ

- 1) " 2 Wire " Input Level = 0 dBm  
     " Send " Output Level = -3 dBm  
     " Receive " Output Level = -3 dBm
- 2) " Send " Input Level = 0 dBm  
     " 2 Wire " Output Level = -3 dBm  
     " Receive " Output Level = -60 dBm
- 3) " Receive " Input Level = 0 dBm  
     " 2 Wire " Output Level = -3 dBm  
     " Send " Output Level = -60 dBm

**สรุป** จากการทดสอบพบว่าเมื่อป้อนสัญญาณด้าน 2 Wire ทั้งด้าน Send และ Receive จะมีสัญญาณออกแรงเท่า ๆ กัน และเมื่อป้อนสัญญาณเข้าที่ด้าน Send และ Receive ก็จะทำให้คุณสมบัติที่เหมือนกัน ดังนั้นในการใช้งานจริงจึงสามารถสลับกันได้

## บทที่ 4

### 4.1 การสร้าง

ในบทที่แล้วได้กล่าวถึงการทดสอบวงจรส่วนย่อยต่างๆ ที่จะนำมาต่อรวมกันตาม Block Diagram เพื่อเป็นวงจรอินเตอร์เฟส จากอุปกรณ์วิทยุโทรศัพท์ของเดิมที่ถูกยกเลิกการใช้งานไปแล้วนั้นจำเป็นต้องถอดบอร์ดอินเตอร์เฟสของเดิมออกไป และวงจรอินเตอร์เฟสที่ถูกออกแบบขึ้นมาใหม่ จึงต้องทำให้ขนาดของบอร์ดเท่าของเดิม ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงวงจรสมบูรณของวงจรอินเตอร์เฟส รูปที่ 4.2 เป็นการแสดงลายทองแดงของบอร์ดอินเตอร์เฟสและรูปที่ 4.3 แสดงการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์

ในการลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์นั้น สามารถกระทำได้อย่างไม่ยากเย็นนัก สิ่งที่ต้องระวังก็คือ ใช้อุปกรณ์จำพวกทรานซิสเตอร์ ไอซี และขดลวดทรานส์ฟอร์มเมอร์ต่างๆ และควรจะลงอุปกรณ์เป็นส่วนๆ ไป เพื่อที่จะได้ทำการทดสอบในแต่ละวงจรได้ง่ายขึ้น

เมื่อสร้างบอร์ดอินเตอร์เฟส พร้อมทั้งตรวจสอบเรียบร้อยแล้ว จะต้องนำมาต่อร่วมกับบอร์ดวงจรอื่นๆ ที่ทำงานร่วมกันเป็นอุปกรณ์วิทยุโทรศัพท์อันได้แก่ ขดลวดทรานส์ฟอร์มเมอร์ของวงจร Ring Generator, วงจรเครื่องส่ง, วงจรเครื่องรับ และคอนเน็คเตอร์สำหรับต่อกับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง อุปกรณ์สำหรับวงจรเครื่องส่งจะมีการต่อหลอดไฟเพื่อบอกสถานะการทำงานของเครื่องส่ง โดยถ้าหลอดไฟติด จะหมายถึงเครื่องส่งทำงาน ซึ่งจะเป็นการเตือนการใช้โทรศัพท์ไม่ให้นานเกินไป ในส่วนอื่นๆ ของอุปกรณ์วิทยุโทรศัพท์นั้นจะจำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบสภาพของสายไฟ รวมไปถึงสภาพอื่นๆ และทำการซ่อมแซมให้อยู่สภาพที่เป็นปกติ สามารถใช้งานได้ เนื่องมาจากเพราะว่าเป็นอุปกรณ์เก่า เพื่อเป็นการป้องกันสัญญาณรบกวนซึ่งจะทำให้ความชัดเจนของสัญญาณเสียงด้อยลงไป การตรวจนั้นสามารถใช้มิเตอร์เช็คการสะท้อนกลับของคลื่นโดยต่ออนุกรมระหว่างเครื่องส่งกับสายอากาศ ซึ่งถ้าพบว่ามี การสะท้อนกลับมาก แสดงว่าปัญหาอาจจะเกิดบริเวณตั้งแต่เครื่องส่งไปจนถึงสายอากาศ เครื่องมืออีกประเภทหนึ่งที่ใช้ตรวจสอบเครื่องส่งได้ดีคือ สเปกตรัมอะนาไลเซอร์ โดยแพทเทิร์นของเครื่องส่งจะต้องมีลักษณะรูปคลื่นความถี่เดียว และไม่มีฮาร์โมนิคอื่นๆ เกิดขึ้น ในการตรวจสอบความถูกต้องของความถี่ส่งนั้นสามารถใช้เครื่องวัดความถี่วิทยุทำการตรวจได้ ถ้าพบว่าความถี่วิทยุถูกส่งนั้นเพี้ยนไปจากเดิม ก็สามารถปรับแต่งให้ความถี่มีค่าถูกต้องได้โดยการปรับที่คาปาซิเตอร์ที่ทำหน้าที่ทริมเมอร์ในภาคออสซิลเลเตอร์ของ เครื่องส่ง

## 4.2 การปรับแต่ง

ในส่วนของการปรับแต่งนั้น จะประกอบไปด้วยการปรับแต่งวงจรส่วนต่างๆ ดังนี้

4.2.1 การปรับแต่งวงจรอินเตอร์เฟส จากผลการทดสอบของวงจรส่วนย่อยต่างๆ ในบทที่ 4.1 สามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดระดับสัญญาณ ณ จุดต่างๆ ของวงจรได้ สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงก็คือ ระดับความแรงของสัญญาณ Input ที่เข้ามาโมดูลเข้าเครื่องส่ง ในทางปฏิบัติจะมีค่าอยู่ในช่วง  $-40$  dBm ถึง  $0$  dBm เนื่องจากมีวงจรรขยายอยู่ภายใน เครื่องส่งจึงสามารถปรับระดับความแรงได้ตามต้องการ สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงอีกประการก็คือ ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้จากการตีโมดูลตาม Specification ของเครื่องรับ ระบุไว้ว่ามีค่า  $-30$  dBm ดังนั้น เมื่อไฮบริดมีค่าลดทอน  $3$  dB, วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านทางด้านส่งมีค่าลดทอนเฉลี่ย  $4.6$  dB และระดับความแรงของสัญญาณก่อนจะถูกโมดูลกำหนดให้มีค่า  $-10$  dBm ซึ่งเป็นค่าที่ใช้งานได้ดีในทางปฏิบัติ จะได้ค่าลดทอนของวงจรลดทอนสัญญาณเสียงมีค่าเท่ากับ ระดับความแรงของสัญญาณจากชุมสายโทรศัพท์ ลบด้วยค่าลดทอนของไฮบริดกับวงจรกรองความถี่ต่ำ แล้วบวกด้วย  $10$  dB นั่นคือ  $2.5$  dB เป็นค่าลดทอนของวงจรลดทอนสัญญาณเสียง

สำหรับระดับความแรงของสัญญาณ  $3825$  Hz ในทางปฏิบัติจะกำหนดให้เบากว่าสัญญาณเสียง  $6$  dB เพื่อป้องกันการรบกวนกัน ดังนั้น ค่าของวงจรลดทอนสัญญาณ  $3825$  Hz จะหาได้จากระดับความแรงของสัญญาณที่เอาท์พุทของวงจรถักกำเนิด  $3825$  Hz ( $6$  dBm) บวกด้วย  $16$  นั่นคือ  $22$  dB เป็นค่าของวงจรลดทอนสัญญาณ  $3825$  Hz

เมื่อพิจารณาทางด้านรับ ตามเส้นทางสัญญาณเสียง จะพบว่า เมื่อต้องการระดับความแรงสัญญาณเสียงที่ตำแหน่ง  $2$  Wire Hybrid และค่าลดทอนของวงจรกรองความถี่ต่ำทางด้านรับมีค่าเฉลี่ย  $5.5$  dB แล้ว วงจรปริแอมป์สามารถช่วยขยายสัญญาณได้  $14$  dB ดังนั้นที่วงจรรวมจะต้องทำการขยายสัญญาณขึ้นอีก  $25$  dB ส่วนสัญญาณ  $3825$  Hz ที่รับเข้าได้จะมีระดับ  $-36$  dBm เมื่อผ่านวงจรรวมแล้ว พบว่าสัญญาณแรงขึ้นเป็น  $-22$  dBm ซึ่งมีความแรงพอที่จะกระตุ้นให้วงจร  $3825$  ดีโค๊ดเตอร์ทำงานได้ รูปที่ 4.4 และ 4.5 จะแสดงการจัดระดับสัญญาณดังกล่าว

ในทางปฏิบัติแล้ว ระดับสัญญาณ ณ จุดต่างๆ สามารถปรับแต่งได้ด้วยการปรับค่าลดทอน และค่าเกนการขยายได้เพื่อให้สัญญาณสมบูรณที่สุด

4.2.2 การปรับแต่งวงจรเครื่องส่งและเครื่องรับ ในอุปกรณ์วิทยุโทรศัพท์ SR-10 เดิมนั้น วงจรเครื่องส่งจะประกอบไปด้วยวงจร Exciter Multiplier ต่ออยู่ร่วมกับวงจร Power Amp. จึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการปรับแต่งเพื่อให้ได้เครื่องส่งที่มีสมรรถนะการทำงานดีขึ้น ไม่เป็นตัวกำเนิด

ปัญหาที่จะมาทำให้สัญญาณเสียงด้อยลงไป ขั้นตอนในการปรับแต่งวงจรเครื่องส่งสามารถใช้ของเดิมได้เลย ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

**ก. การปรับแต่งภาค Exciter Multiplier ของเครื่องส่งโดยจะอ้างอิงถึงไดอะแกรมภาค Exciter Multiplier**

1. ต่อสายอากาศจำลอง ณ ปุ่มต่อสายอากาศ ปลอดภัยต่อโยงระหว่างแผง PA. กับ Exciter ออก, ปลอดภัยต่อของ Notch Filter จากแผง PA. มาต่อกับทางออกของแผง Exciter

2. ต่อ DC ไมโครแอมป์มิเตอร์ ณ ปุ่ม 13 กับ 17

- ปรับจูน TR1 ให้มิเตอร์ชี้อ่านค่าสูงสุด

- ปรับจูน L3 ให้มิเตอร์ชี้อ่านค่าต่ำสุด

- ปรับจูน L2 ให้มิเตอร์อ่านประมาณ 60 ไมโครแอมป์

**หมายเหตุ** ให้ทดลองคลายสลัก L2 ออก มิเตอร์จะชี้มากขึ้นเป็น 70-80 ไมโครแอมป์ และถึงจุดหยุดของสเกลเลข ให้กวดสลักเข้าไปจนมิเตอร์อ่าน 60 ไมโครแอมป์ (หรือจุดที่ออกสเกลเตอร์มีเสถียรภาพดีที่สุด)

3. ต่อ DC ไมโครแอมป์มิเตอร์ ซึ่งอนุกรมอยู่กับรีซิสเตอร์ 4.3 กิโลโห์ม ณ ปุ่ม 13 กับ 16

- ปรับจูน L4 ให้อ่านค่าสูงสุด

- ปรับจูน L7 ให้อ่านค่าต่ำสุด

- มิเตอร์ควรวัดอ่านได้ประมาณ 22-25 ไมโครแอมป์

4. ต่อ DC ไมโครแอมป์มิเตอร์ ซึ่งอนุกรมอยู่กับรีซิสเตอร์ 10 กิโลโห์ม ณ ปุ่ม 13 กับ 15

- ปรับจูน L8 ให้อ่านค่าสูงสุด

- มิเตอร์ควรวัดอ่านได้ประมาณ 22-28 ไมโครแอมป์

5. ต่อมิเตอร์ตามกล่าวในข้อ 4 ณ ปุ่ม 13 กับ 14

- ปรับจูน TR2 ให้อ่านค่าสูงสุด

- ปรับจูน L12 ให้อ่านค่าสูงสุด

- มิเตอร์ควรวัดอ่านได้ประมาณ 60-70 ไมโครแอมป์

6. ต่อมิเตอร์ตามกล่าวในข้อ 4 ณ ปุ่ม 13 กับ 20

- ปรับจูน C64, C66 ให้อ่านค่าสูงสุด

- มิเตอร์ควรวัดอ่านได้ประมาณ 8-15 ไมโครแอมป์

7. ต่อ DC โวลท์มิเตอร์ ณ ปุ่มวัดของสายอากาศจำลอง

8. ปรับจูน C68, C74 ให้มิเตอร์ชี้อ่านมากที่สุด

9. ทวนซ้ำตามข้อ 6 และ 8 ให้มิเตอร์ชี้อ่านมากที่สุด

10. สำหรับเครื่อง Exciter ชนิด 10 วัตต์ มิเตอร์จะอ่านประมาณ 1.5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข. การปรับจูนภาค PA. ของเครื่องส่ง โดยจะอ้างอิงถึงไดอะแกรมภาค PA.

1. ปลดสายต่อต่าง ๆ ตามกล่าวในข้อ ก(1) เข้าที่เดิม คือภาค Exciter ต่อเข้ากับภาค PA. ทางออกของภาค PA. ต่อเข้ากับ Notch Filter
2. ต่อสายอากาศจำลอง ณ ปุ่มต่อสายอากาศ ใช้สายอากาศจำลอง 10 วัตต์ ของเครื่อง
3. ต่อ DC โวลท์มิเตอร์ ณ ปุ่มวัดของสายอากาศจำลอง
4. ปรับตั้ง C2, C7, C14 ใต้ประมาณครึ่งความจุ (ผ่านโรเตอร์ประมาณเพียงครึ่งเดียว)
5. ปรับแต่ง C3, C9, C15 ให้มิเตอร์ชี้่านมากที่สุด
6. เพิ่ม C2 ที่ละน้อย และปรับ C3 ให้มิเตอร์ชี้่านมากที่สุด
7. เพิ่ม C7 ที่ละน้อย และปรับ C9 ให้มิเตอร์ชี้่านมากที่สุด
8. เพิ่ม C14 ที่ละน้อย และปรับ C15 ให้มิเตอร์ชี้่านมากที่สุด
9. คาปาซิเตอร์ตามข้อ 4 ควรประสานกันน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อป้องกันมิให้ฮาร์โมนิกของความถี่ส่งมีกำลังออกมาก

## ค. การปรับจูนภาคเครื่องรับ โดยจะอ้างอิงถึงไดอะแกรม RF กับ IF

1. ต่อ DC ไมโครแอมป์มิเตอร์ ณ ปุ่ม 2 กับปุ่ม 18
2. คลายสลัก TR3 ออกประมาณ 3-4 รอบ
3. ปรับจูน TR2 ให้มิเตอร์ชี้่านมากที่สุด
4. ปรับแต่ง L3 ให้มิเตอร์ชี้่านมากที่สุด
5. ปรับแต่ง TR2 ให้มิเตอร์ชี้่านมากที่สุด แล้วกวดสลักเข้าจนกระทั่งมิเตอร์ชี้่านประมาณ 80 % ของค่ามากที่สุด ค่าจำกัดไม่ควรต่ำกว่า 20 ไมโครแอมป์ ให้สังเกตค่านีไว้
6. ปรับจูน TR3 ให้มิเตอร์ชี้่านค่าต่ำสุด ค่าที่วัดอ่านได้ตอนนี้ควรอยู่ประมาณ 40-60 % ของข้อ 5
7. ต่อ DC ไมโครแอมป์มิเตอร์ ณ ปุ่มต่อ 17 กับ 18
8. ป้อนสัญญาณ CW จากเครื่อง RF GENERATOR ความถี่เดียวกับเครื่องรับกำลังสัญญาณประมาณ 1 ไมโครโวลต์ เข้าปุ่มต่อสายอากาศซึ่งมีสายอากาศจำลอง 50 โอห์มต่ออยู่ด้วย
9. ปรับแต่ง L2, L1, TR1 ให้มิเตอร์ชี้่านมากที่สุด
10. ถ้ามิเตอร์ชี้่านมากกว่า 30 ไมโครแอมป์ให้ลดกำลังของสัญญาณที่ป้อนเข้าตามเหมาะสม และปรับทวนซ้ำตามข้อ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ง. การปรับแต่ง Notch Filter

1. ต่อ DC ไมโครแอมป์มิเตอร์ ณ ปุ่มต่อ 17 กับ 18
2. ปลดสายต่อของ Notch Filter ออกจากแผง PA. ของเครื่องส่ง
3. ป้อนสัญญาณ CW จากเครื่อง RF GENERATOR ความถี่เดียวกับเครื่องรับเข้าณ สายต่อของ Notch Filter แล้วให้เพิ่มกำลังสัญญาณ จนมิเตอร์ชี้ค่าประมาณ 30 ไมโครแอมป์
4. ปรับแต่ง Notch Filter จนกระทั่งมิเตอร์ชี้ค่าต่ำสุด

### 4.3 ปัญหาที่พบและการแก้ไข

สำหรับเครื่องต้นแบบที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมา นี้ พบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นอยู่บ้าง ซึ่งจะได้กล่าวถึงเป็นส่วนๆ พร้อมกับการแก้ไข ดังต่อไปนี้

1. จากรูป 4.1 แสดงวงจรสมบูรณ พบว่าในส่วนของภาคตัด-ต่อเครื่องส่ง (TX.SW.) ซึ่งประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์ Q3, Q5 และ Q6 นั้น ในทางทฤษฎีแล้ว ในขณะที่ยังไม่มี Input ที่ขาเบสของ Q3 จะต้องไม่มีแรงดันออกที่ขาคอลเลคเตอร์ เพื่อที่จะตัดการจ่ายไฟ +12V (โดย Q5 และ Q6 ) ไปเลี้ยงเครื่องส่ง แต่ในทางปฏิบัติพบว่า มีแรงดันประมาณ 5 โวลท์ เกิดขึ้นที่ขา C ของ Q3 ขณะที่ไม่มี input ทำให้ Q5, Q6 ทำงานส่งผ่านไฟ +12V ไปเลี้ยงเครื่องส่ง ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ การแก้ปัญหานี้สามารถกระทำได้โดยต่อ Zener Diode เข้าที่ขา C ของ Q3 ดังแสดงในรูป 4.1 โดยจะใช้ค่า 6.8 โวลท์ ซึ่งเป็นค่าที่สามารถตัดไฟ 5 โวลท์ที่ไม่ต้องการได้ ขณะเดียวกันในตอนใช้งานจริง มี Input ให้ Q3 ทำงาน แรงดันที่ขา C จะสูงประมาณ 13 โวลท์ ซึ่งสามารถผ่าน Zener Diode ดังกล่าวไปทำให้ Q5, Q6 ทำงานส่งผ่านไป +12V ไปเลี้ยงเครื่องส่งได้อย่างเป็นปกติ
2. จาก Block Diagram ของวงจร Interface ที่ออกแบบไว้เดิมนั้น ในการใช้งานจริงพบว่าการทำงานขณะที่เครื่องรับยังไม่ได้รับคลื่นวิทยุที่ต้องการนั้นจะปรากฏ Noise ที่ขาเอาท์พุทของภาคดีเทคเตอร์ของเครื่องรับ ด้วยขนาดที่แรงพอที่จะไปทำให้วงจร 3825Hz ดีโค๊ดเดอร์ ทำงานจ่ายสัญญาณกระดิ่งเข้าเครื่องโทรศัพทได้ ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ

ในการแก้ปัญหาข้อนี้ สามารถกระทำได้โดยใช้วงจร Squelch มาต่อระหว่างวงจร 3825 ดีโค๊ดเดอร์ กับวงจร 3825 ปริแอมป์ โดยอาศัยการทำงานที่ว่า เมื่อ Noise มีระดับความแรงมากพอ วงจร Squelch จะตัดการทำงานไม่ให้ส่งผ่านสัญญาณออกทางขา AF เอาท์พุทไปยังวงจร 3825 ดีโค๊ดเดอร์ ต่อเมื่อมีสัญญาณจริงๆ เข้า วงจร Squelch ก็จะสามารถส่งผ่านสัญญาณนั้นออกไปทางขา AF เอาท์พุทได้ตามต้องการ

ในการออกแบบวงจร Squelch ดังกล่าว จะใช้ LM346 Programmable Quad Operational Amplifier มาใช้งาน เนื่องจากภายในชิพจะประกอบไปด้วย Op-Amp 4 ตัว และมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ 1 ตัว ที่สามารถควบคุมให้ทำงานหรือไม่ก็ได้ ซึ่งจะใช้ทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณ AF ดังแสดงในรูปวงจร Squelch

IC 1/3 ทำหน้าที่เป็นวงจร Buffer ส่งผ่านสัญญาณ AF ในยามใช้งานปกติ ซึ่งจะถูกควบคุมด้วยแรงดันไฟตรงที่ขา 16 ของ IC 1/4 IC 1/1 จะทำหน้าที่เป็นวงจร Non inverting Amp. ส่งผ่านสัญญาณไปรอที่ Input ของ Buffer ขณะเดียวกันก็จะถูกส่งไปทำการเรคตีไฟรีให้เป็นแรงดันไฟตรงโดย IC 1/2 กับไดโอด D1 แรงดันไฟตรงที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับระดับแรงดันอ้างอิง ซึ่งถูกตั้งไว้โดย VR1 ถ้าสัญญาณเข้าที่อินพุทมีความแรงขนาดที่จะทำให้ แรงดันไฟตรงมีค่าสูงกว่า แรงดันอ้างอิง ก็จะได้เอาท์พุทที่ขา 16 เป็นลบ ทำให้ IC 1/3 ไม่ทำงาน AF OUT จึงไม่มีสัญญาณและทรานซิสเตอร์ Q1 ก็จะไม่ทำงาน และจะไม่จ่ายกราวด์ออกที่ขา SQ OUT ในสภาวะนี้สามารถสังเกตได้ง่ายๆ จาก LED ซึ่งจะติด สำหรับในกรณีที่มีสัญญาณต่ำซึ่งทำให้แรงดันไฟตรงมีระดับต่ำกว่าแรงดันอ้างอิง ก็จะทำให้ได้ไฟบวกที่ขา 16 ทำให้ LED ดับ Enable IC 1/3 ให้ทำงานส่งผ่านสัญญาณ AF ออกที่ขา AF OUT และ Q3 ทำงานจ่ายกราวด์ ให้ขา SQ OUT ซึ่งที่ขานี้สามารถนำไปใช้ตัด-ต่อกราวด์ของวงจรที่ต้องการควบคุมได้

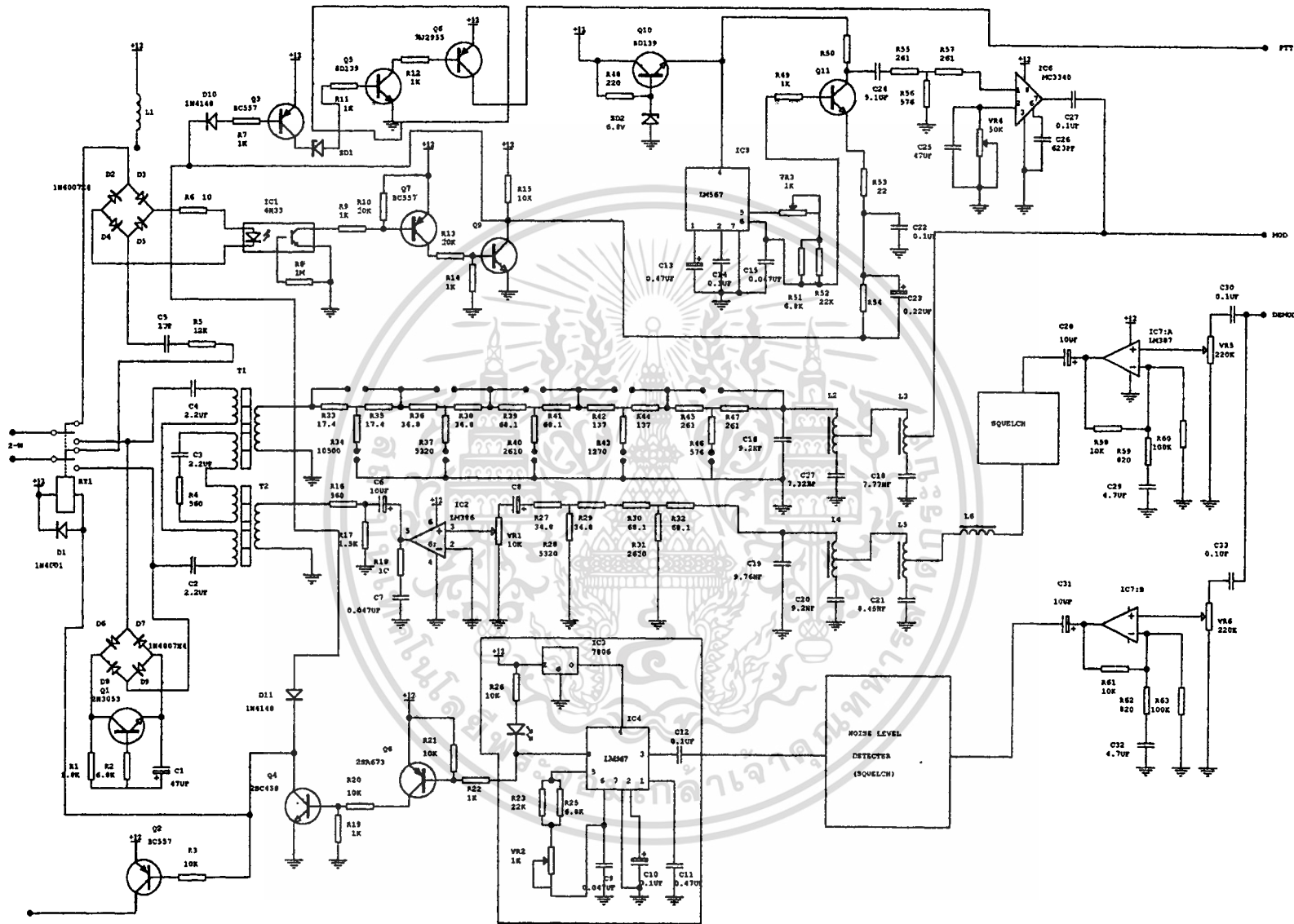
ในการปรับ VR1 ของวงจร Squelch นั้น จะต้องทำในขณะที่มีการใช้งานตามปกติ ซึ่งระดับสัญญาณที่ต้องการจะต่ำกว่าระดับของ Noise และจะต้องปรับ VR1 จนกระทั่ง LED ดับ จึงจะมีสัญญาณออกที่ AF OUT ได้

3. เนื่องจากความไม่พร้อมกันในการทำงานของเครื่องส่งทั้ง 2 ด้าน ดังนั้นในขณะที่ด้าน Subscriber มีการยกหูใช้งาน จะได้ยินเสียง Noise เนื่องจากเครื่องส่งด้าน Exchange ยังไม่ทำงาน ซึ่งการแก้ปัญหาที่สามารถทำได้คล้ายกับปัญหาที่ 2 คือ จะต้องต่อวงจร Squelch ระหว่างวงจร AF ดีโคดเดอร์ กับวงจร AF LPF เพื่อจะได้ตัด Noise ในขณะที่เครื่องส่งด้าน Exchange ยังไม่ทำงาน ไม่ให้ผ่านออกไปยังหูฟังของเครื่องโทรศัพท์

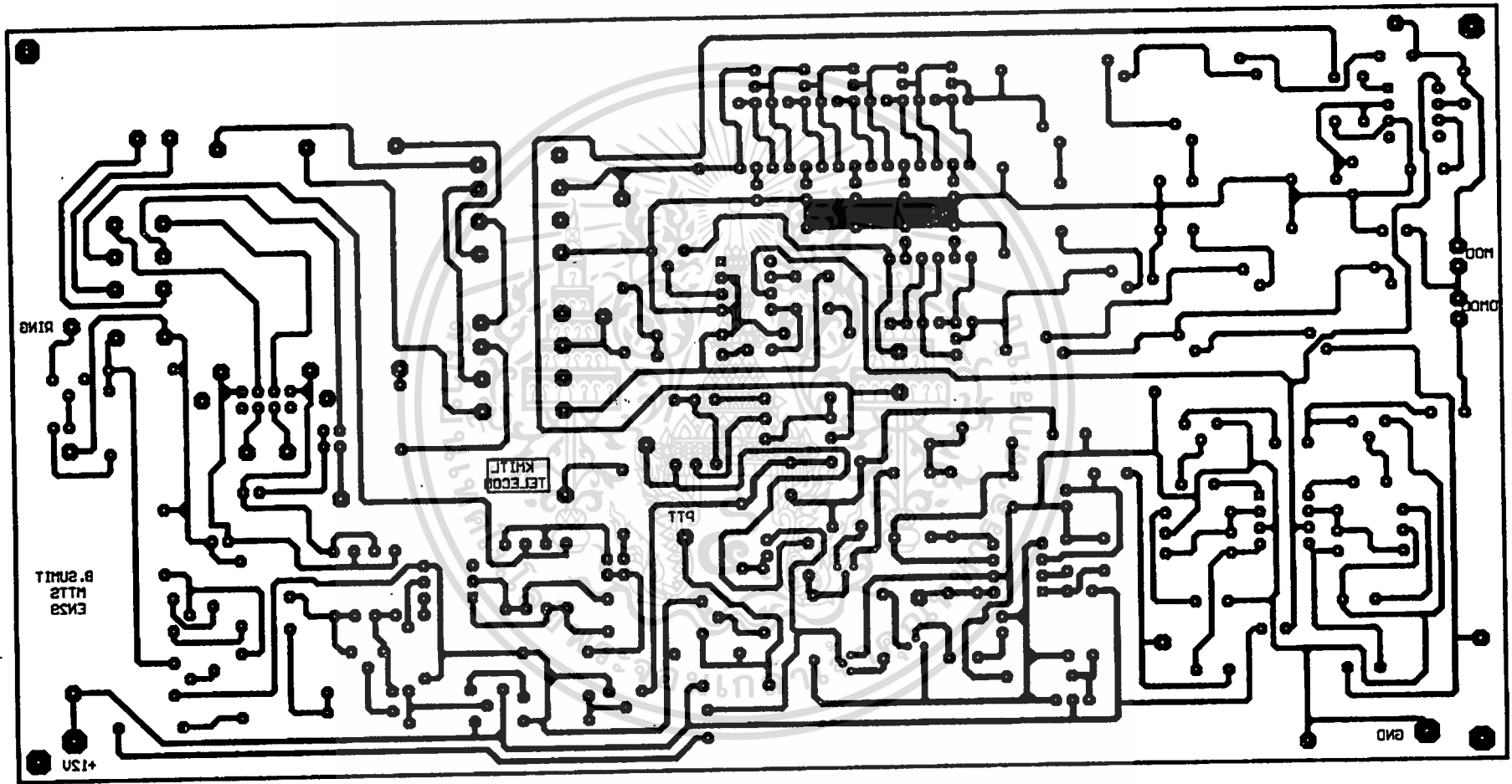
จากปัญหาและการแก้ไขทั้งสามหัวข้อข้างต้นนั้น พบว่าจำเป็นต้องมีการสร้างวงจร Squelch ขึ้นมาอีก 4 วงจร เพื่อที่จะใช้กับทั้งด้าน Subscriber และด้าน Exchange เมื่อได้ทำการทดสอบใช้งานในขั้นสุดท้ายนี้ สามารถสรุปได้ว่า เครื่องต้นแบบที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาสามารถใช้งานได้บรรลุตามเป้าหมายพอสมควร โดยที่คุณภาพเสียงที่ได้จะขึ้นอยู่กับเครื่องส่งและเครื่องรับ ซึ่งจะต้องผ่านการ Alignment มาเป็นอย่างดี สำหรับแนวทางในการพัฒนาต่อก็คือ การที่สามารถส่งได้มากกว่าหนึ่งหมายเลขโทรศัพท์ ทั้งนี้จะต้องมีแบนด์วิธรวมไม่เกินกำลังที่เครื่องส่งและเครื่องรับสามารถรักษาการทำงานเอาไว้ได้ การเพิ่ม Channel ดังกล่าวอาจจะทำได้โดยใช้การมัลติเพล็กซ์ ซึ่งการออกแบบวงจรอินเตอร์เฟสคงจะต้องซับซ้อนและยุ่งยากมากขึ้นไปอีก ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงจำนวนของความถี่การใช้งานเครื่องโทรศัพท์ว่ามีมากน้อยเพียงใดอีกประการหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

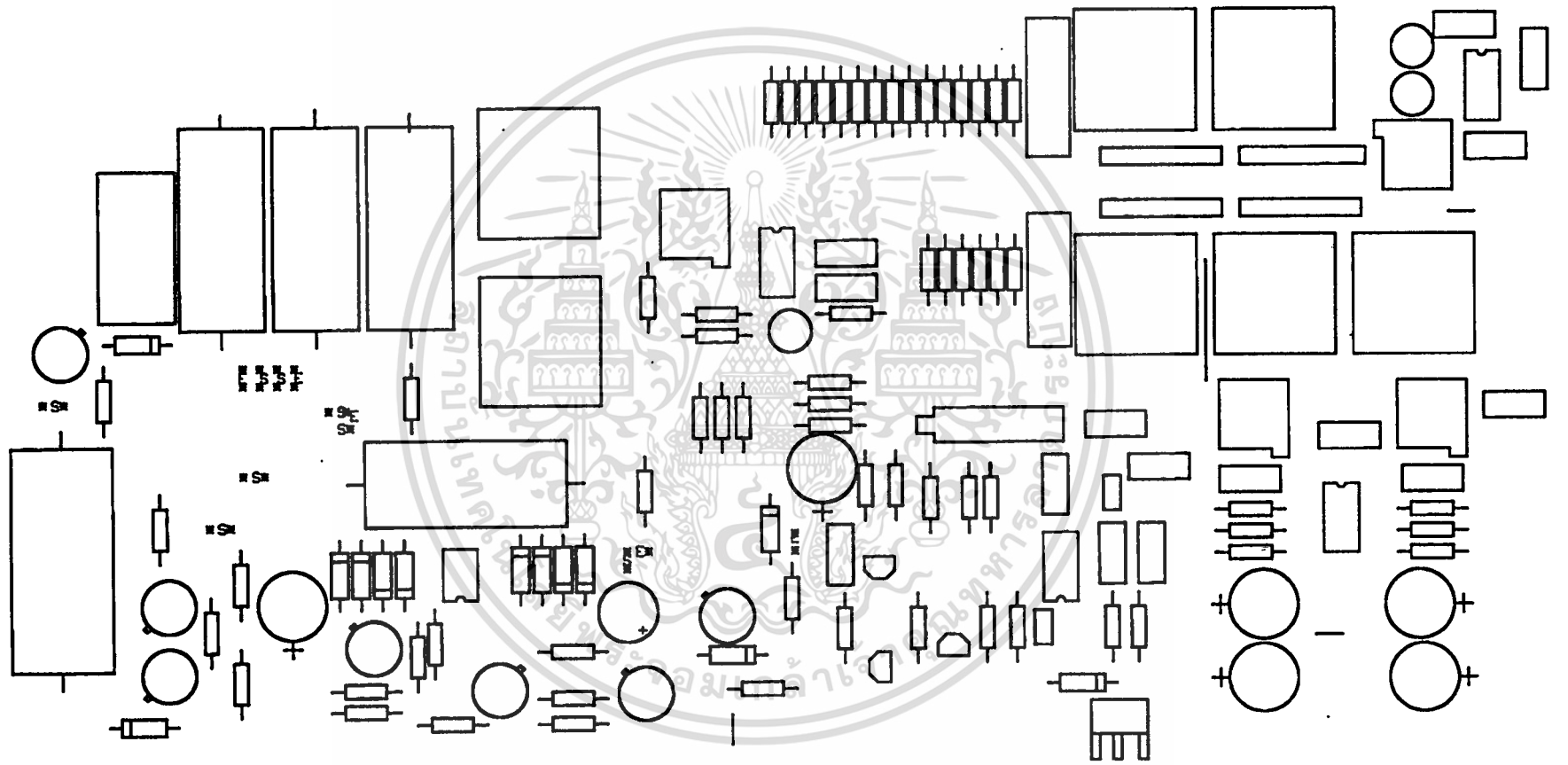
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



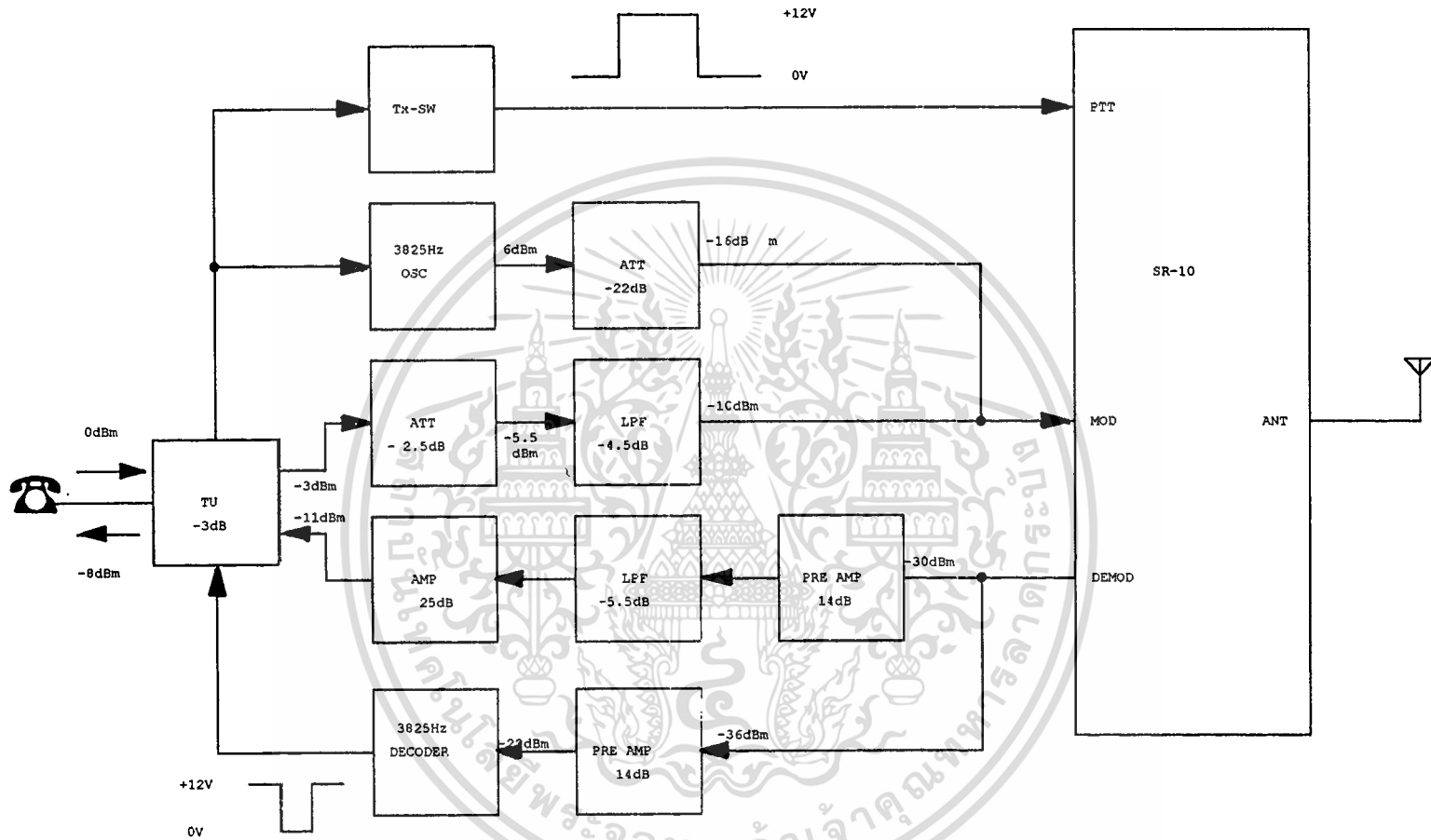
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรสมบูรณ์ของวงจร Interface



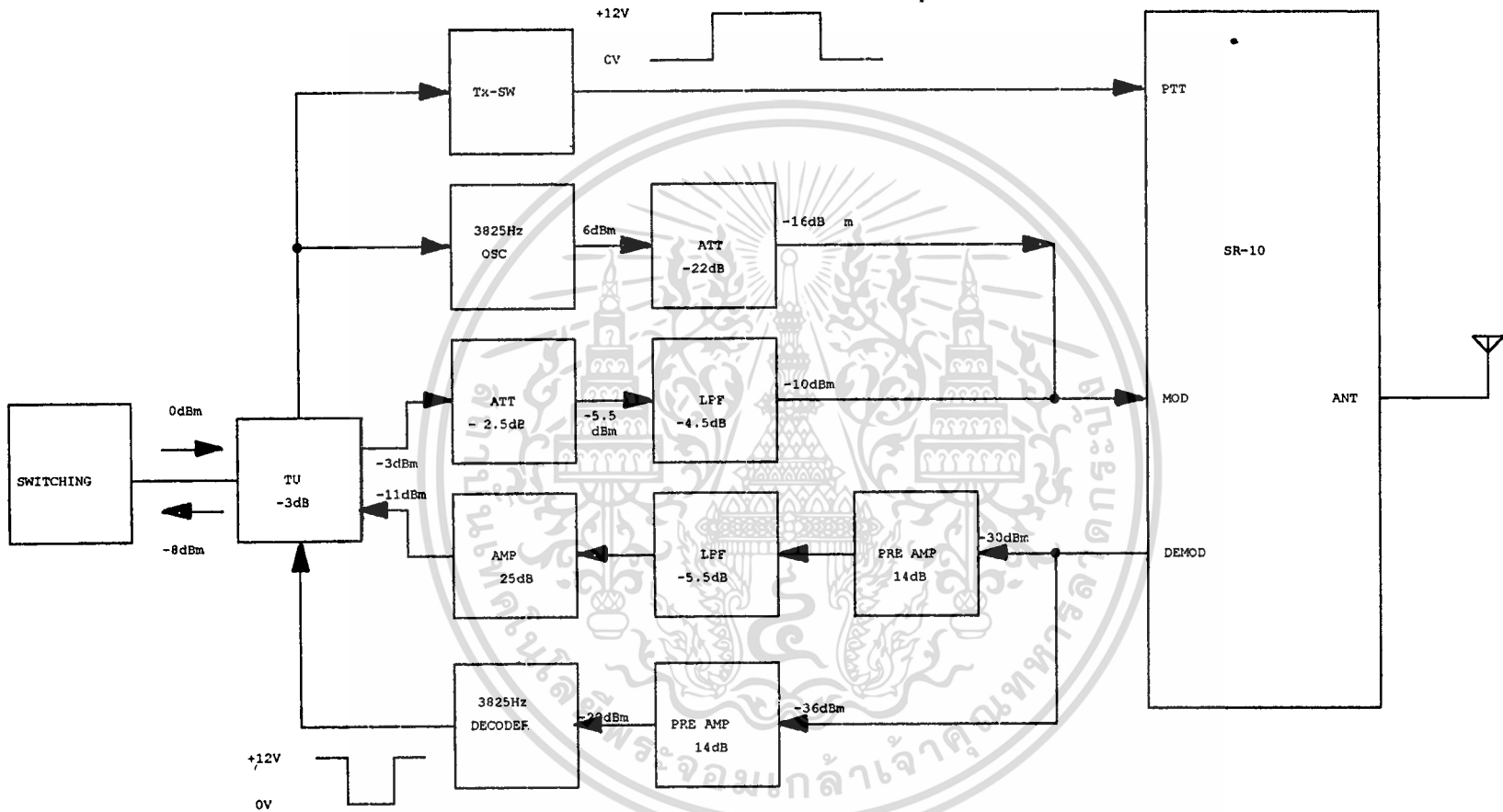
รูปที่ 4.2 แสดงลายทองแดงของวงจร Interface



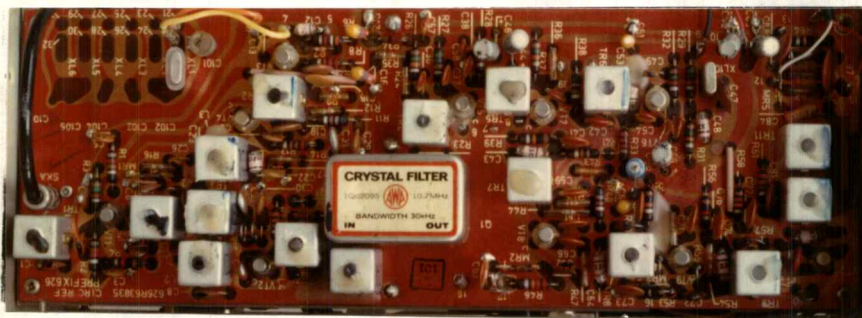
รูปที่ 4.3 แสดงการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์



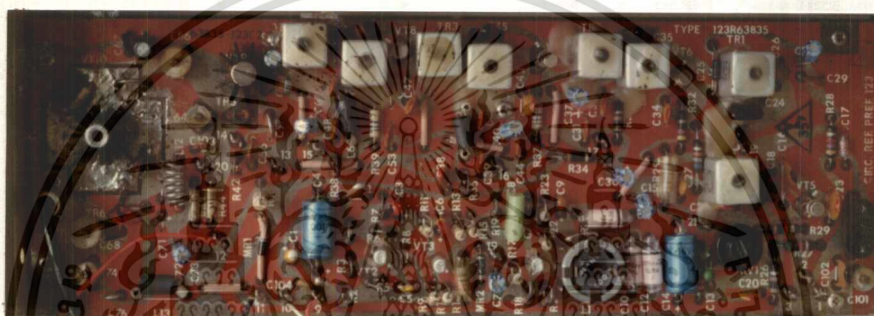
รูปที่ 4.4 แสดงการจัดระดับสัญญาณในภาค Subscriber



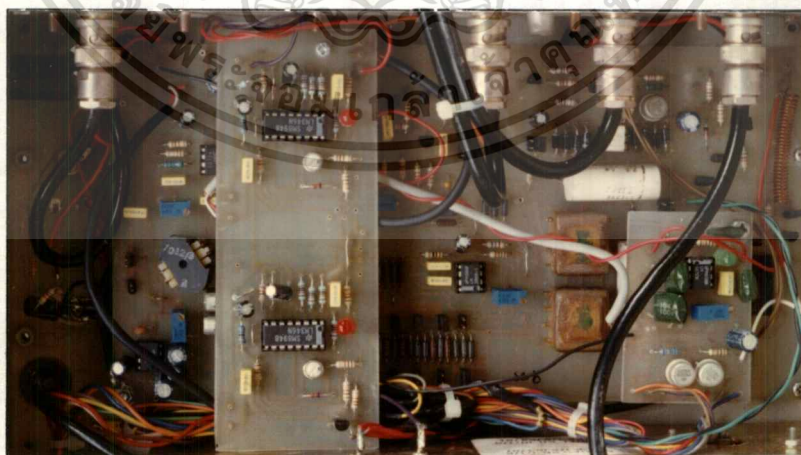
รูปที่ 4.5 แสดงการจัดระดับสัญญาณในภาค Exchange



รูปที่ 4.6 แสดงวงจรภาคเครื่องรับ

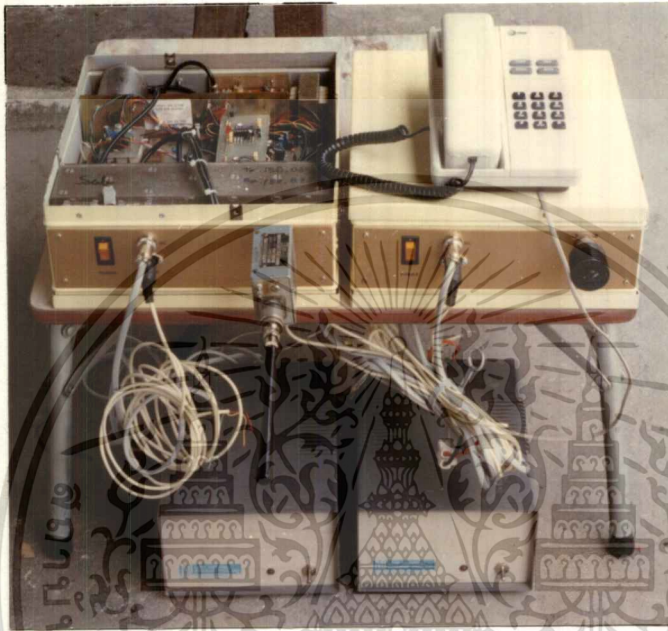


รูปที่ 4.7 แสดงวงจรภาคเครื่องส่ง



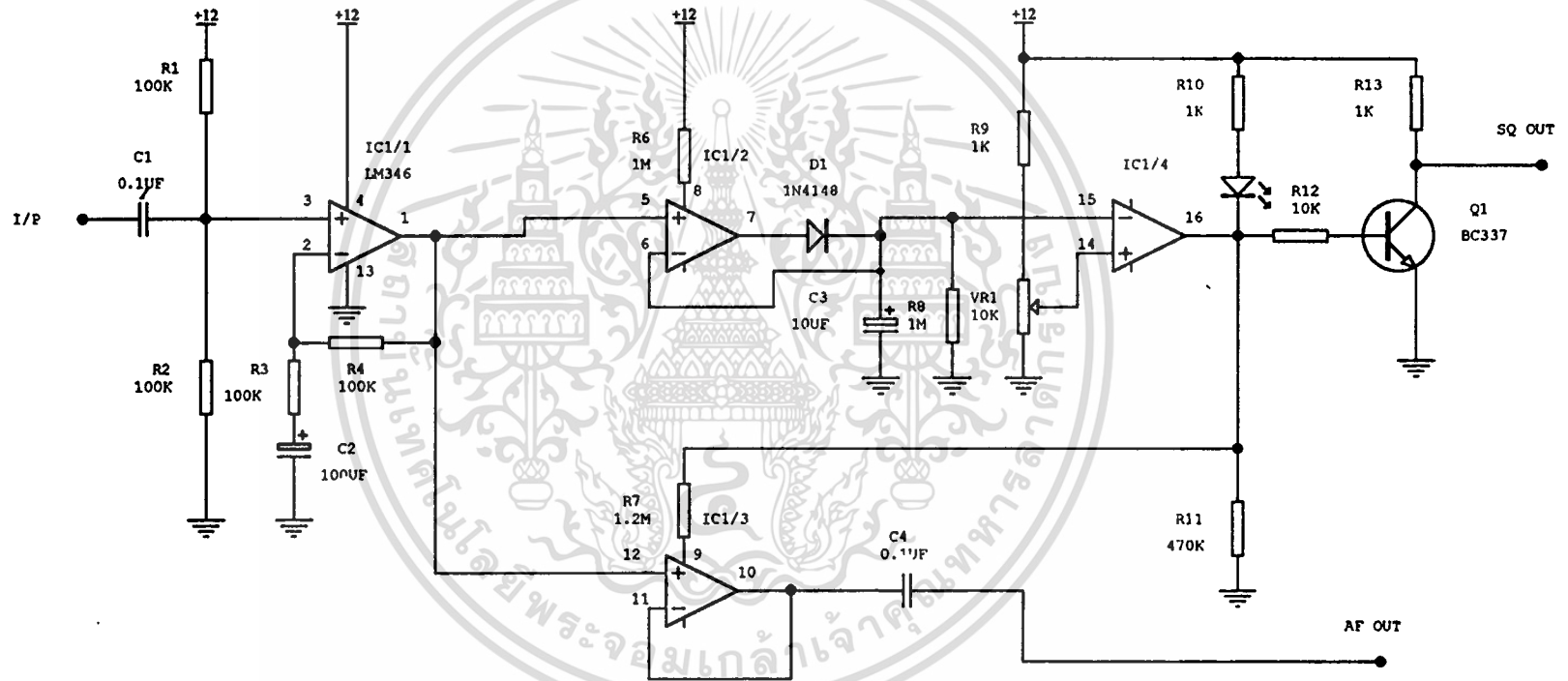
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรภาค Interface ของเครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงการต่อใช้งานอุปกรณ์วิทยุโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงวงจรภาค Squelch

## รายการอุปกรณ์สำหรับ 1 วงจรอินเตอร์เฟส

ตัวต้านทาน ขนาด 1/4 วัตต์  $\pm 5\%$

ค่า	6.8	กิโลโอห์ม	จำนวน	3	ตัว
ค่า	1.8	กิโลโอห์ม	จำนวน	1	ตัว
ค่า	560	โอห์ม	จำนวน	2	ตัว
ค่า	12	กิโลโอห์ม	จำนวน	1	ตัว
ค่า	1	เมกกะโอห์ม	จำนวน	4	ตัว
ค่า	1.5	กิโลโอห์ม	จำนวน	1	ตัว
ค่า	10	โอห์ม	จำนวน	1	ตัว
ค่า	10	กิโลโอห์ม	จำนวน	7	ตัว
ค่า	47	กิโลโอห์ม	จำนวน	2	ตัว
ค่า	2.2	กิโลโอห์ม	จำนวน	1	ตัว
ค่า	22	กิโลโอห์ม	จำนวน	1	ตัว
ค่า	220	โอห์ม	จำนวน	1	ตัว
ค่า	820	โอห์ม	จำนวน	2	ตัว
ค่า	100	กิโลโอห์ม	จำนวน	10	ตัว
ค่า	1	กิโลโอห์ม	จำนวน	6	ตัว
ค่า	1.2	เมกกะโอห์ม	จำนวน	2	ตัว
ค่า	470	กิโลโอห์ม	จำนวน	2	ตัว
ค่า	261	โอห์ม	จำนวน	2	ตัว
ค่า	576	โอห์ม	จำนวน	1	ตัว
ค่า	137	โอห์ม	จำนวน	2	ตัว
ค่า	1270	โอห์ม	จำนวน	1	ตัว
ค่า	68.1	โอห์ม	จำนวน	2	ตัว
ค่า	2610	โอห์ม	จำนวน	1	ตัว
ค่า	34.8	โอห์ม	จำนวน	2	ตัว
ค่า	5230	โอห์ม	จำนวน	1	ตัว
ค่า	17.4	โอห์ม	จำนวน	2	ตัว
ค่า	10500	โอห์ม	จำนวน	1	ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า	10500	โอห์ม	จำนวน	1	ตัว
-----	-------	-------	-------	---	-----

### คาปาซิเตอร์

ค่า	47	MFD	จำนวน	1	ตัว
ค่า	2.2	MFD	จำนวน	3	ตัว
ค่า	1	MFD	จำนวน	1	ตัว
ค่า	10	MFD	จำนวน	6	ตัว
ค่า	0.047	MFD	จำนวน	2	ตัว
ค่า	0.01	MFD	จำนวน	1	ตัว
ค่า	0.47	MFD	จำนวน	1	ตัว
ค่า	0.1	MFD	จำนวน	9	ตัว
ค่า	0.22	MFD	จำนวน	1	ตัว
ค่า	4.7	MFD	จำนวน	2	ตัว
ค่า	100	MFD	จำนวน	2	ตัว

### ไดโอด

1N 4148	จำนวน	1	ตัว
1N 4001	จำนวน	3	ตัว
1N 4007	จำนวน	8	ตัว
ZD6.8	จำนวน	1	ตัว
LED	จำนวน	3	ตัว

### ตัวต้านทานปรับค่าได้

10 กิโลโอห์ม	จำนวน	2	ตัว
1 กิโลโอห์ม	จำนวน	1	ตัว
220 กิโลโอห์ม	จำนวน	2	ตัว

### ทรานซิสเตอร์

2BC 337	จำนวน	1	ตัว
2SC 1212	จำนวน	2	ตัว
2SC 458	จำนวน	2	ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ไอที

LM 346	จำนวน	1	ตัว
4N 33	จำนวน	1	ตัว
LM 386	จำนวน	1	ตัว
LM 387	จำนวน	1	ตัว
LM 567	จำนวน	2	ตัว
7805	จำนวน	1	ตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM386 Low Voltage Audio Power Amplifier

## General Description

The LM386 is a power amplifier designed for use in low voltage consumer applications. The gain is internally set to 20 to keep external part count low, but the addition of an external resistor and capacitor between pins 1 and 8 will increase the gain to any value up to 200.

The inputs are ground referenced while the output is automatically biased to one half the supply voltage. The quiescent power drain is only 24 milliwatts when operating from a 6 volt supply, making the LM386 ideal for battery operation.

## Features

- Battery operation
- Minimum external parts
- Wide supply voltage range
- Low quiescent current drain

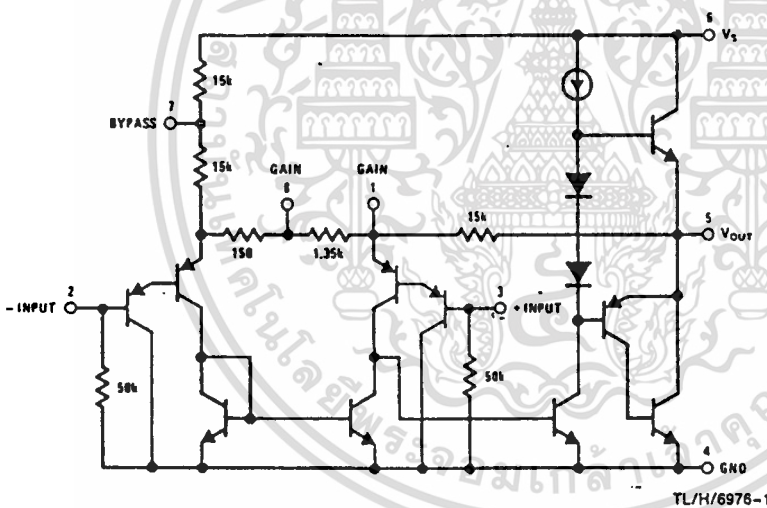
4V-12V or 5V-18V  
4 mA

- Voltage gains from 20 to 200
- Ground referenced input
- Self-centering output quiescent voltage
- Low distortion
- Eight pin dual-in-line package

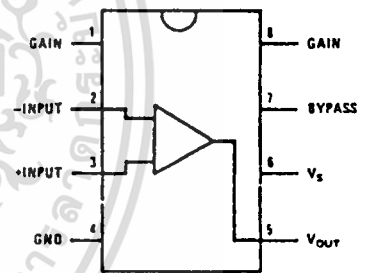
## Applications

- AM-FM radio amplifiers
- Portable tape player amplifiers
- Intercoms
- TV sound systems
- Line drivers
- Ultrasonic drivers
- Small servo drivers
- Power converters

## Equivalent Schematic and Connection Diagrams



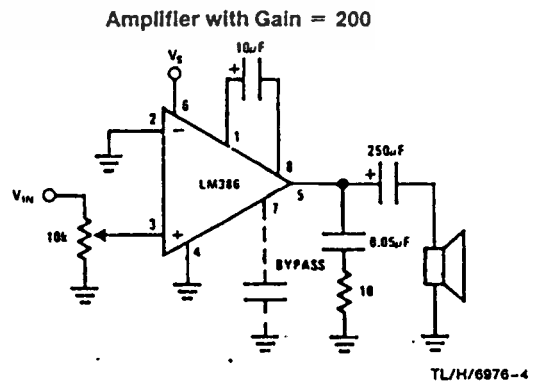
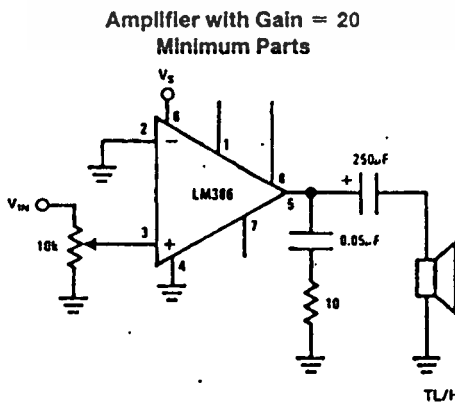
Dual-In-Line and Small Outline Packages



Top View

Order Number LM386M-1, LM386N-1, LM386N-3 or LM386N-4  
See NS Package Number M08A or N08E

## Typical Applications



## Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage (LM386N-1, -3, LM386M-1)	15V
Supply Voltage (LM386N-4)	22V
Package Dissipation (Note 1) (LM386N)	1.25W
(LM386M)	0.73W
Input Voltage	±0.4V
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Operating Temperature	0°C to +70°C
Junction Temperature	+150°C

### Soldering Information

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

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

### Thermal Resistance

$\theta_{JC}$ (DIP)	37°C/W
$\theta_{JA}$ (DIP)	107°C/W
$\theta_{JC}$ (SO Package)	35°C/W
$\theta_{JA}$ (SO Package)	172°C/W

## Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Operating Supply Voltage ( $V_S$ ) LM386N-1, -3, LM386M-1 LM386N-4		4 5		12 18	V V
Quiescent Current ( $I_Q$ )	$V_S = 6V, V_{IN} = 0$		4	8	mA
Output Power ( $P_{OUT}$ ) LM386N-1, LM386M-1 LM386N-3 LM386N-4	$V_S = 6V, R_L = 8\Omega, THD = 10\%$ $V_S = 9V, R_L = 8\Omega, THD = 10\%$ $V_S = 16V, R_L = 32\Omega, THD = 10\%$	250 500 700	325 700 1000		mW mW mW
Voltage Gain ( $A_V$ )	$V_S = 6V, f = 1\text{ kHz}$ 10 $\mu\text{F}$ from Pin 1 to 8		26 46		dB dB
Bandwidth (BW)	$V_S = 6V$ , Pins 1 and 8 Open		300		kHz
Total Harmonic Distortion (THD)	$V_S = 6V, R_L = 8\Omega, P_{OUT} = 125\text{ mW}$ $f = 1\text{ kHz}$ , Pins 1 and 8 Open		0.2		%
Power Supply Rejection Ratio (PSRR)	$V_S = 6V, f = 1\text{ kHz}, C_{BYPASS} = 10\ \mu\text{F}$ Pins 1 and 8 Open, Referred to Output		50		dB
Input Resistance ( $R_{IN}$ ) Input Bias Current ( $I_{BIAS}$ )	$V_S = 6V$ , Pins 2 and 3 Open		50 250		k $\Omega$ nA

Note 1: For operation in ambient temperatures above 25°C, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and 1) a thermal resistance of 80°C/W junction to ambient for the dual-in-line package and 2) a thermal resistance of 170°C/W for the small-outline package.

## Application Hints

### GAIN CONTROL

To make the LM386 a more versatile amplifier, two pins (1 and 8) are provided for gain control. With pins 1 and 8 open the 1.35 k $\Omega$  resistor sets the gain at 20 (26 dB). If a capacitor is put from pin 1 to 8, bypassing the 1.35 k $\Omega$  resistor, the gain will go up to 200 (46 dB). If a resistor is placed in series with the capacitor, the gain can be set to any value from 20 to 200. Gain control can also be done by capacitively coupling a resistor (or FET) from pin 1 to ground.

Additional external components can be placed in parallel with the internal feedback resistors to tailor the gain and frequency response for individual applications. For example, we can compensate poor speaker bass response by frequency shaping the feedback path. This is done with a series RC from pin 1 to 5 (paralleling the internal 15 k $\Omega$  resistor). For 6 dB effective bass boost  $R = 15\text{ k}\Omega$ , the lowest value for good stable operation is  $R = 10\text{ k}\Omega$  if pin 8 is open. If pins 1 and 8 are bypassed then  $R$  as low as 2 k $\Omega$  can be used. This restriction is because the amplifier is only compensated for closed-loop gains greater than 9.

### INPUT BIASING

The schematic shows that both inputs are biased to ground with a 50 k $\Omega$  resistor. The base current of the input transistors is about 250 nA, so the inputs are at about 12.5 mV when left open. If the dc source resistance driving the LM386 is higher than 250 k $\Omega$  it will contribute very little additional offset (about 2.5 mV at the input, 50 mV at the output). If the dc source resistance is less than 10 k $\Omega$ , then shorting the unused input to ground will keep the offset low (about 2.5 mV at the input, 50 mV at the output). For dc source resistances between these values we can eliminate excess offset by putting a resistor from the unused input to ground, equal in value to the dc source resistance. Of course all offset problems are eliminated if the input is capacitively coupled.

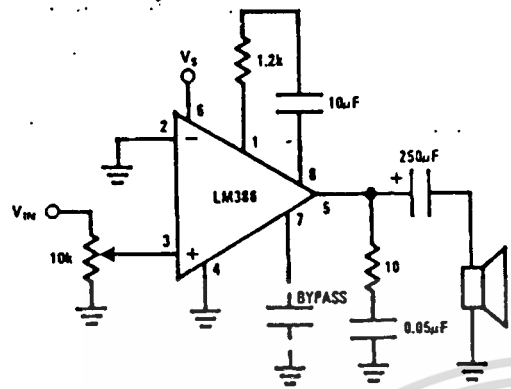
When using the LM386 with higher gains (bypassing the 1.35 k $\Omega$  resistor between pins 1 and 8) it is necessary to bypass the unused input, preventing degradation of gain and possible instabilities. This is done with a 0.1  $\mu\text{F}$  capacitor or a short to ground depending on the dc source resistance on the driven input.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

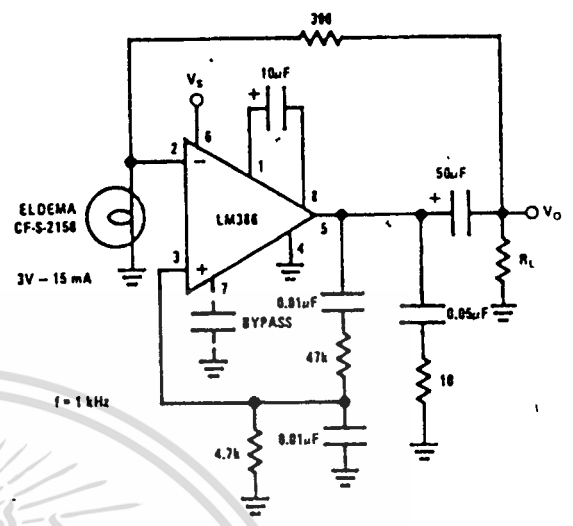
Typical Applications (Continued)

Amplifier with Gain = 50



TL/H/6976-6

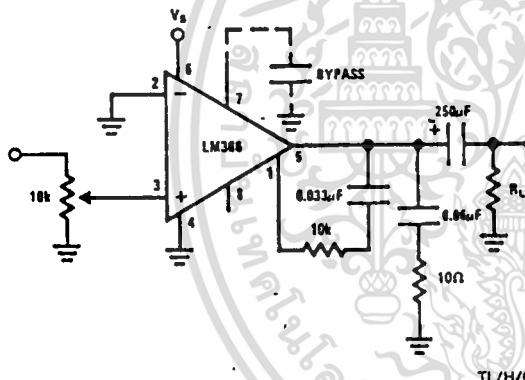
Low Distortion Power Wienbridge Oscillator



f = 1 kHz

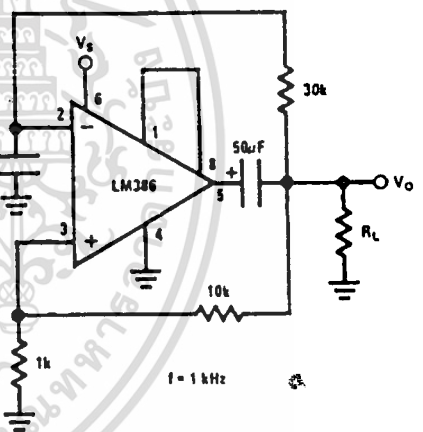
TL/H/6976-7

Amplifier with Bass Boost



TL/H/6976-8

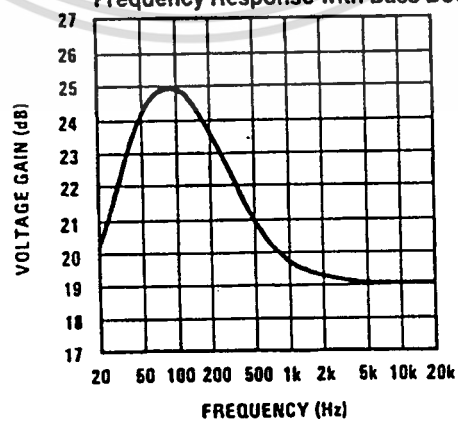
Square Wave Oscillator



f = 1 kHz

TL/H/6976-9

Frequency Response with Bass Boost

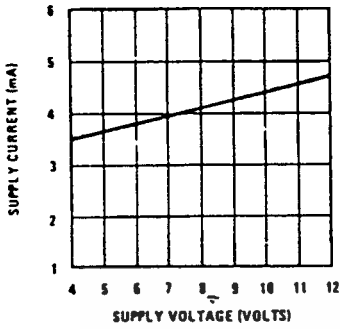


TL/H/6976-10

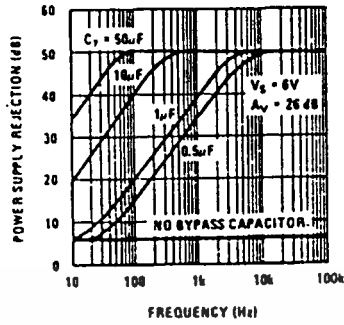
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Typical Performance Characteristics

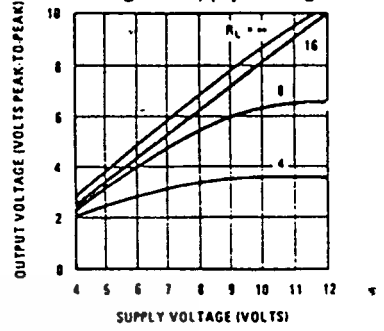
Quiescent Supply Current vs Supply Voltage



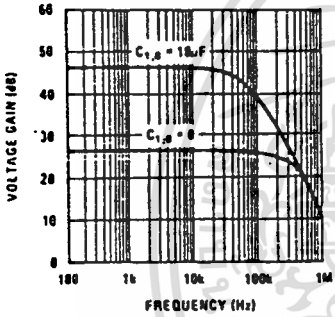
Power Supply Rejection Ratio (Referred to the Output) vs Frequency



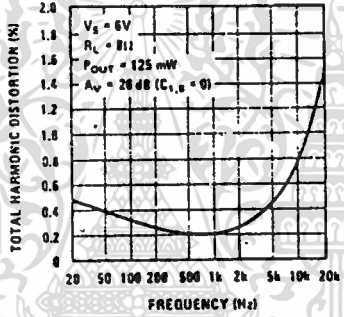
Peak-to-Peak Output Voltage Swing vs Supply Voltage



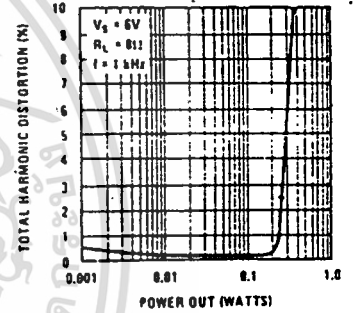
Voltage Gain vs Frequency



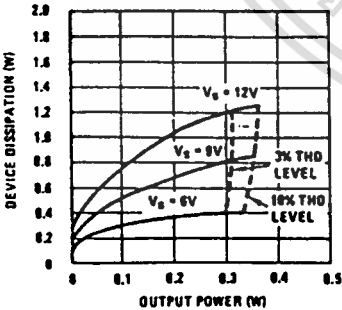
Distortion vs Frequency



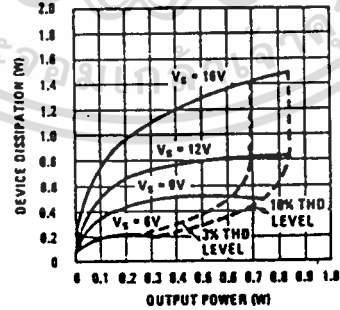
Distortion vs Output Power



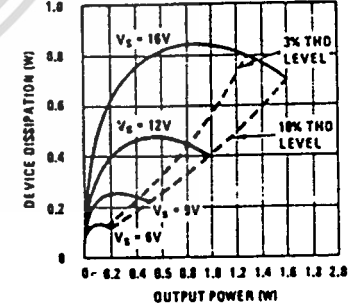
Device Dissipation vs Output Power—4Ω Load



Device Dissipation vs Output Power—8Ω Load



Device Dissipation vs Output Power—16Ω Load



TL/H/6976-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM387/LM387A Low Noise Dual Preamp

## General Description

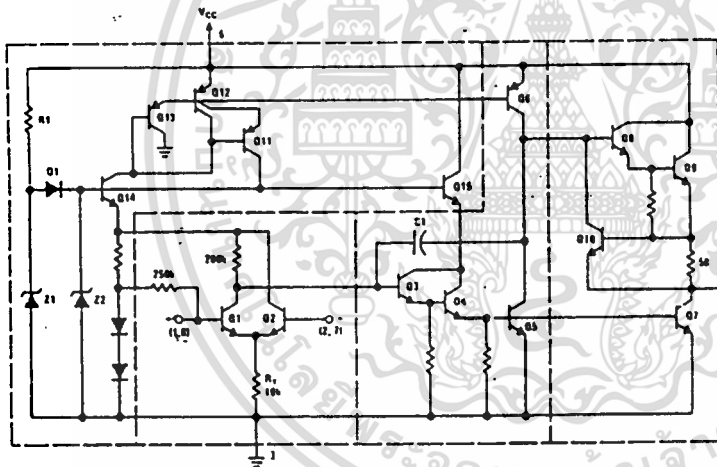
The LM387 is a dual preamplifier for the amplification of low level signals in applications requiring optimum noise performance. Each of the two amplifiers is completely independent, with an internal power supply decoupler-regulator, providing 110 dB supply rejection and 60 dB channel separation. Other outstanding features include high gain (104 dB), large output voltage swing ( $V_{CC} - 2V$ )p-p, and wide power bandwidth (75 kHz, 20 Vp-p). The LM387A is a selected version of the LM387 that has lower noise in a NAB tape circuit, and can operate on a larger supply voltage. The LM387 operates from a single supply across the wide range of 9V to 30V, the LM387A operates on a supply of 9V to 40V.

The amplifiers are internally compensated for gains greater than 10. The LM387, LM387A is available in an 8-lead dual-in-line package. The LM387, LM387A is biased like the LM381. See AN-64 and AN-104.

## Features

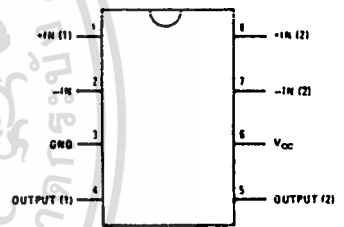
- Low noise 1.0  $\mu$ V total input noise
- High gain 104 dB open loop
- Single supply operation
- Wide supply range LM387 9 to 30V
- LM387A 9 to 40V
- Power supply rejection 110 dB
- Large output voltage swing ( $V_{CC} - 2V$ )p-p
- Wide bandwidth 15 MHz unity gain
- Power bandwidth 75 kHz, 20 Vp-p
- Internally compensated
- Short circuit protected
- Performance similar to LM381

## Schematic and Connection Diagrams



TL/H/7845-1

### Dual-In-Line Package

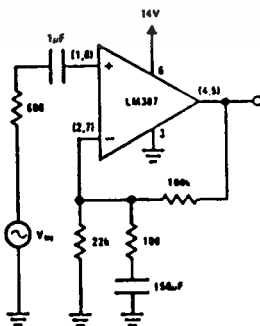


TL/H/7845-2

### Top View

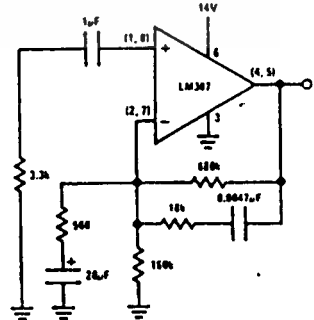
Order Number LM387N or LM387AN  
See NS Package Number N08E

## Typical Applications



TL/H/7845-3

FIGURE 1. Flat Gain Circuit ( $A_V = 1000$ )



TL/H/7845-4

FIGURE 2. NAB Tape Circuit

## Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage	
LM387	+30V
LM387A	+40V

Power Dissipation (Note 1)	1.5W
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	260°C

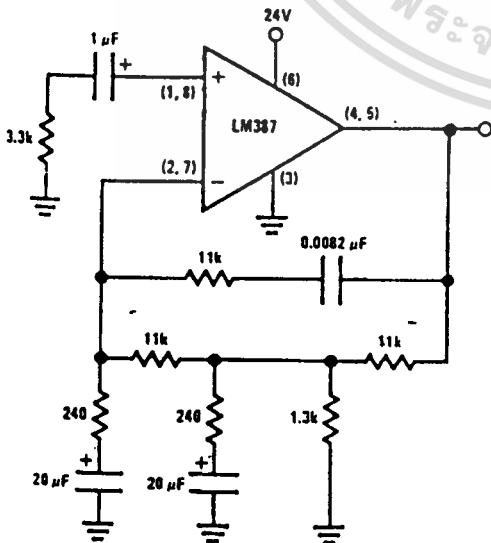
## Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_{CC} = 14\text{V}$ , unless otherwise stated

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Voltage Gain	Open Loop, $f = 100\text{ Hz}$		160,000		V/V
Supply Current	LM387, $V_{CC} 9\text{V}-30\text{V}$ , $R_L = \infty$ LM387A, $V_{CC} 9\text{V}-40\text{V}$ , $R_L = \infty$		10 10		mA mA
Input Resistance					
Positive Input		50	100		k $\Omega$
Negative Input			200		k $\Omega$
Input Current					
Negative Input			0.5	3.1	$\mu\text{A}$
Output Resistance	Open Loop		150		$\Omega$
Output Current	Source Sink		8 2		mA mA
Output Voltage Swing	Peak-to-Peak		$V_{CC}-2$		V
Unity Gain Bandwidth			15		MHz
Large Signal Frequency Response	20 Vp-p ( $V_{CC} > 24\text{V}$ ), THD $\leq 1\%$		75		kHz
Maximum Input Voltage	Linear Operation			300	mVrms
Supply Rejection Ratio Input Referred	$f = 1\text{ kHz}$		110		dB
Channel Separation	$f = 1\text{ kHz}$	40	60		dB
Total Harmonic Distortion	60 dB Gain, $f = 1\text{ kHz}$		0.1	0.5	%
Total Equivalent Input Noise (Flat Gain Circuit)	10 Hz-10,000 Hz LM387 Figure 1		1.0	1.2	$\mu\text{Vrms}$
Output Noise NAB Tape Playback Circuit Gain of 37 dB	Unweighted LM387A Figure 2		400	700	$\mu\text{Vrms}$

Note 1: For operation in ambient temperatures above 25°C, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 80°C/W junction to ambient.

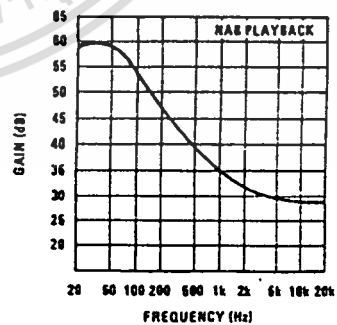
## Typical Applications (Continued)

### Two-Pole Fast-Turn-ON NAB Tape Preamplifier



TL/H/7845-5

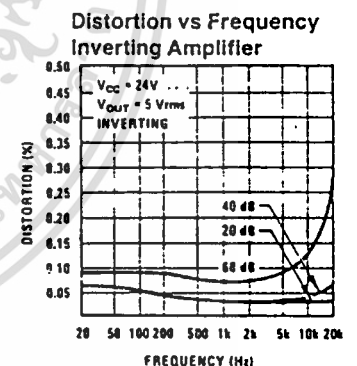
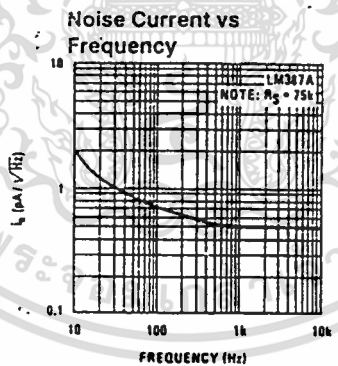
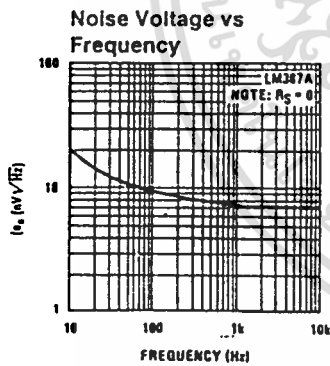
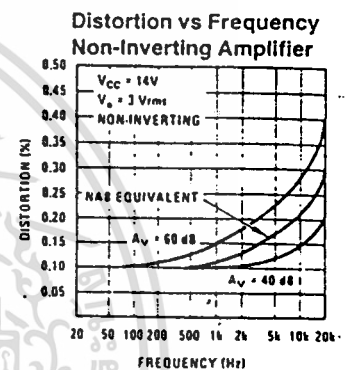
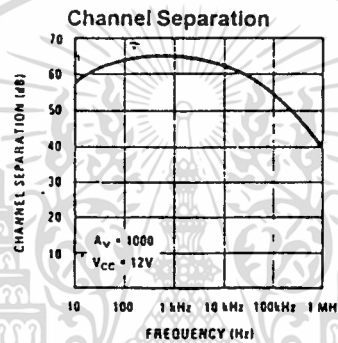
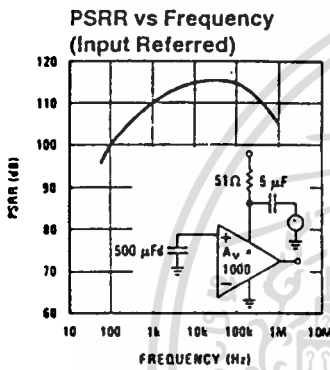
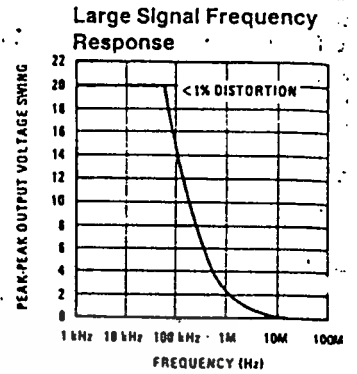
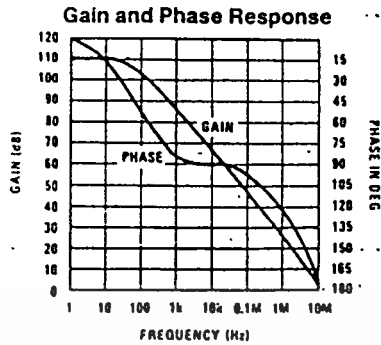
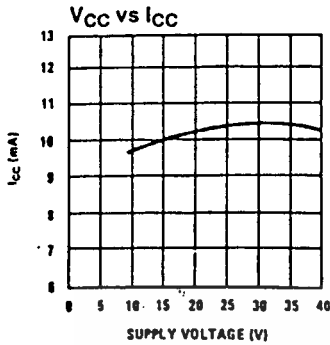
### Frequency Response of NAB Circuit of Figure 2



TL/H/7845-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

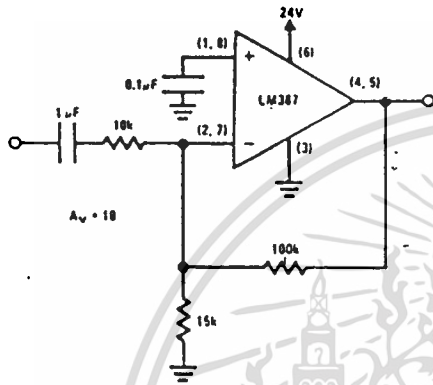
# Typical Performance Characteristics



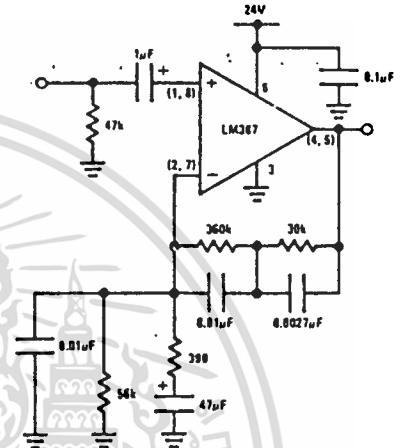
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Applications (Continued)

### Inverting Amplifier Ultra-Low Distortion



### Typical Magnetic Phono Preamp



TL/H/7845-8

TL/H/7845-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## LM567/LM567C Tone Decoder

### General Description

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

### Features

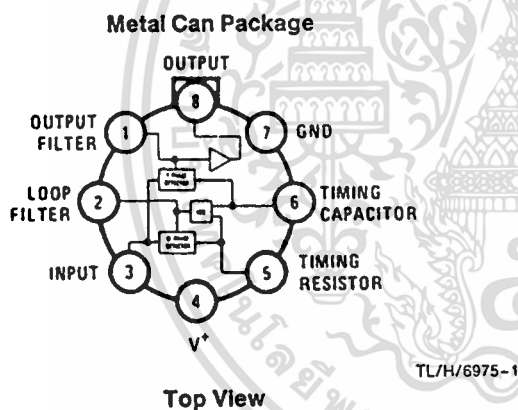
- 20 to 1 frequency range with an external resistor
- Logic compatible output with 100 mA current sinking capability

- Bandwidth adjustable from 0 to 14%
- High rejection of out of band signals and noise
- Immunity to false signals
- Highly stable center frequency
- Center frequency adjustable from 0.01 Hz to 500 kHz

### Applications

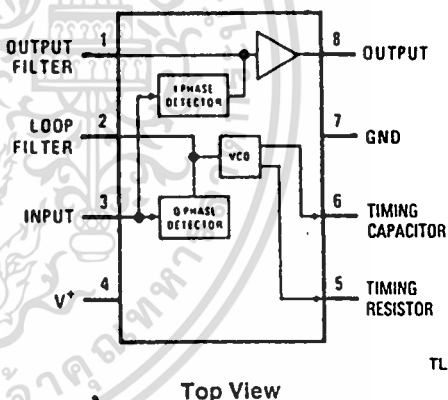
- Touch tone decoding
- Precision oscillator
- Frequency monitoring and control
- Wide band FSK demodulation
- Ultrasonic controls
- Carrier current remote controls
- Communications paging decoders

### Connection Diagrams



Order Number LM567H or LM567CH  
See NS Package Number H08C

### Dual-In-Line and Small Outline Packages



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, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage Pin	9V
Power Dissipation (Note 1)	1100 mW
$V_0$	15V
$V_1$	-10V
$V_2$	$V_4 + 0.5V$
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
LM567H	0°C to +70°C
LM567CH, LM567CM, LM567CN	

## Soldering Information

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

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

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

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

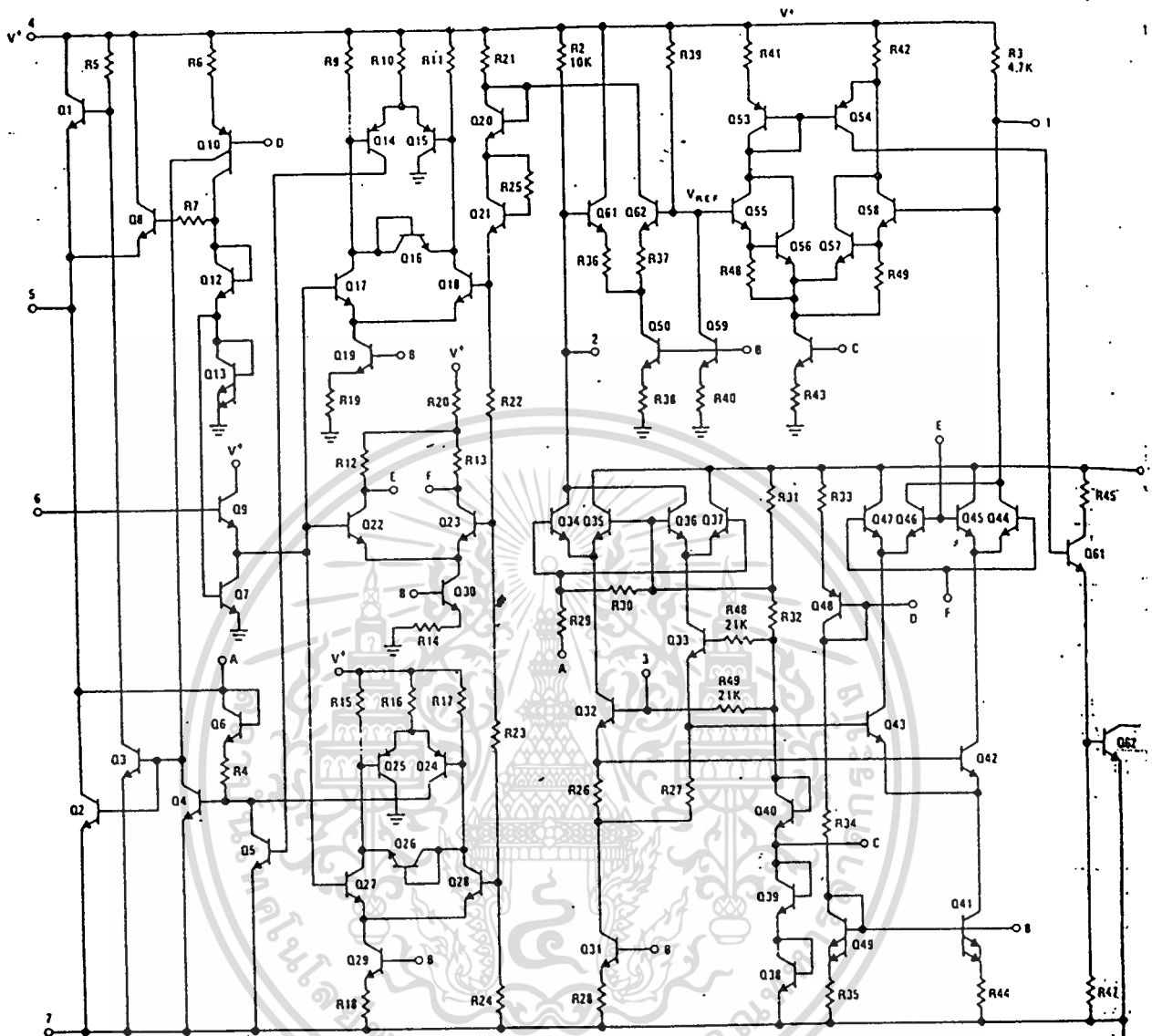
Note 1: The maximum junction temperature of the LM567 and LM567C is 150°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient; or 45°C/W, junction to case. For the DIP the device must be derated based on a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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Schematic Diagram

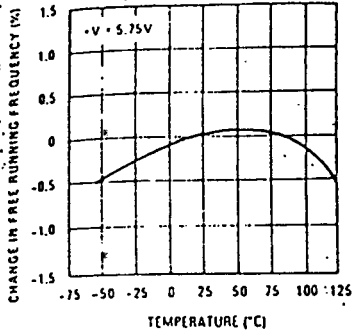


TL/H/66

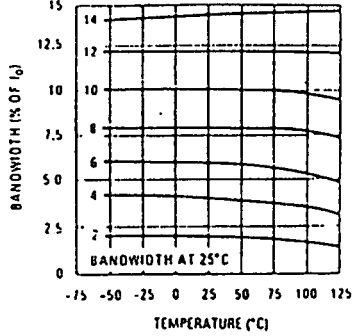
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Typical Performance Characteristics

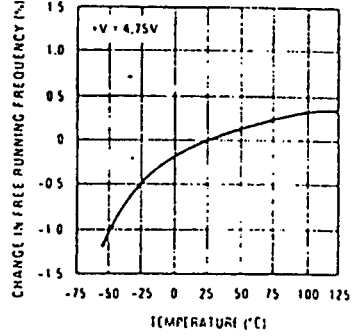
Typical Frequency Drift with Temperature (Mean and S.D.)



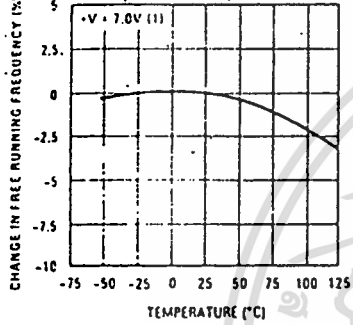
Typical Bandwidth Variation with Temperature



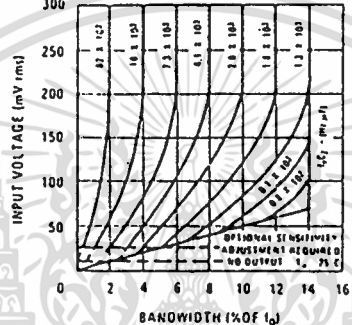
Typical Frequency Drift with (Mean and S.D.) Temperature



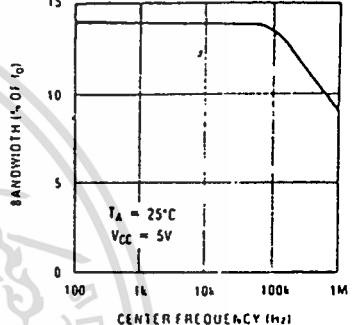
Typical Frequency Drift with Temperature (Mean and S.D.)



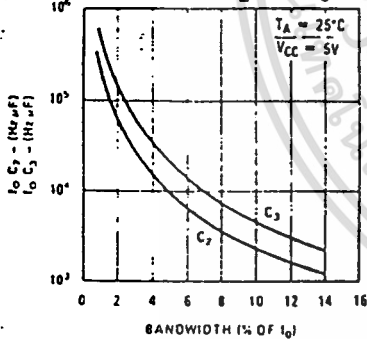
Bandwidth vs Input Signal Amplitude



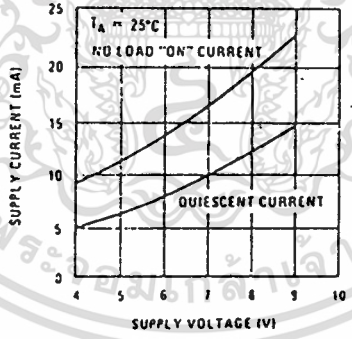
Largest Detection Bandwidth



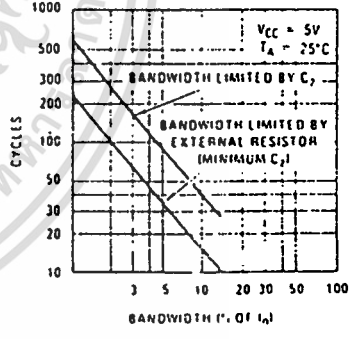
Detection Bandwidth as a Function of C2 and C3



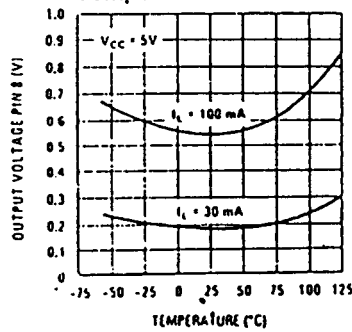
Typical Supply Current vs Supply Voltage



Greatest Number of Cycles Before Output



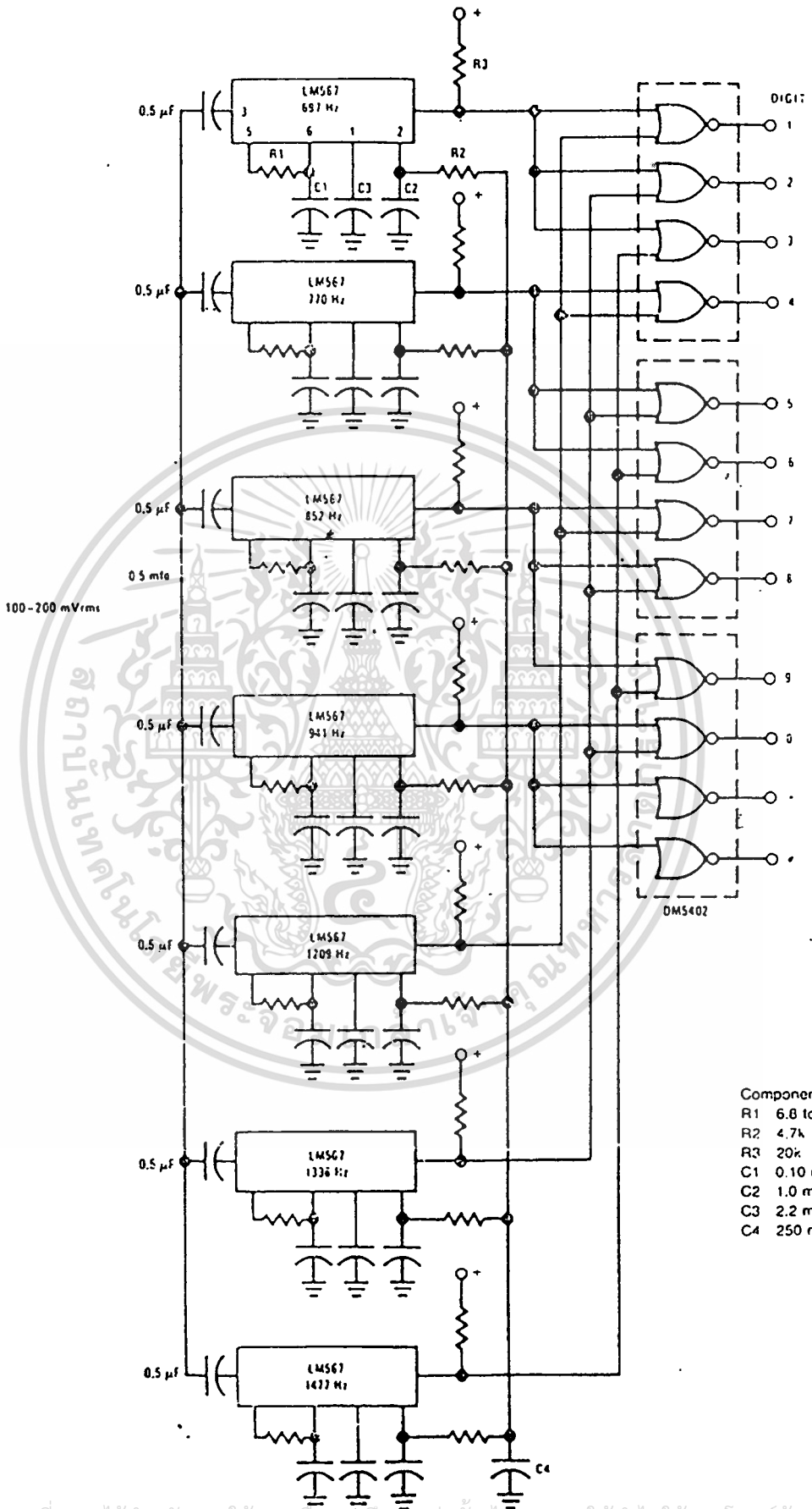
Typical Output Voltage vs Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Typical Applications

Touch-Tone Decoder



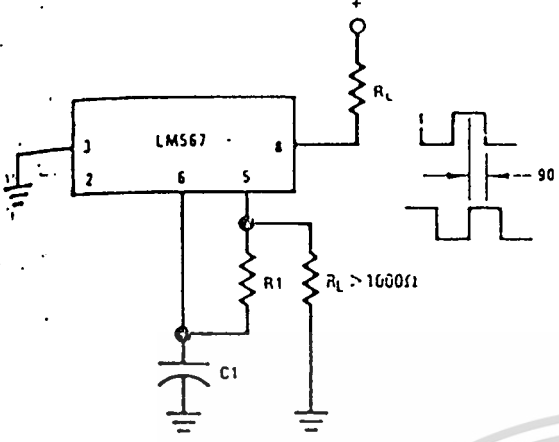
- Component values (typ)
- R1 6.8 to 15k
  - R2 4.7k
  - R3 20k
  - C1 0.10 mfd
  - C2 1.0 mfd 6V
  - C3 2.2 mfd 6V
  - C4 250 mfd 6V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Typical Applications (Continued)

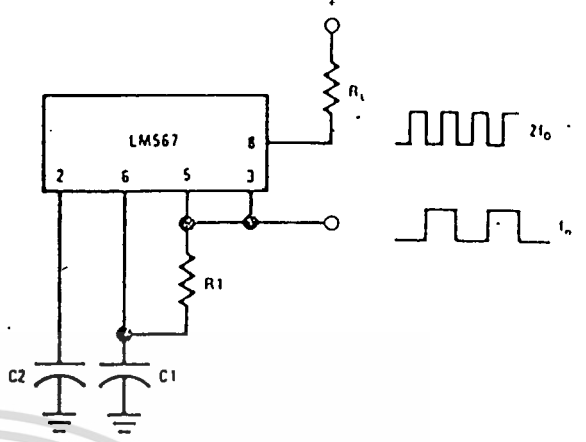
## Oscillator with Quadrature Output



Connect Pin 3 to 2.8V to Invert Output

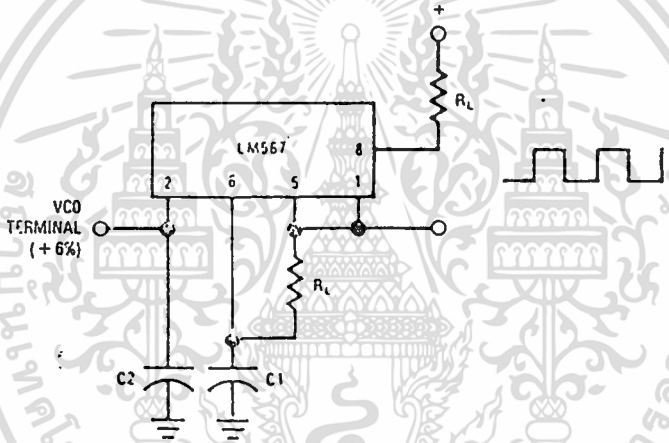
TL/H/6975-6

## Oscillator with Double Frequency Output



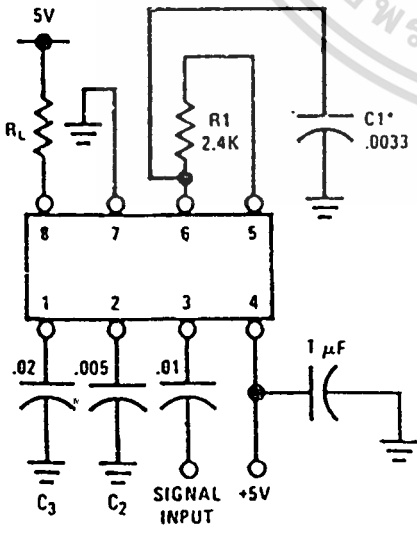
TL/H/6975-7

## Precision Oscillator Drive 100 mA Loads



TL/H/6975-8

## AC Test Circuit



TL/H/6975-9

$f_i = 100 \text{ kHz} + 5V$   
 \*Note: Adjust for  $f_o = 100 \text{ kHz}$ .

## Applications Information

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

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

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),  $V_i \leq 200 \text{ mV}$

$C_2$  = Capacitance at Pin 2 ( $\mu\text{F}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM146/LM246/LM346 Programmable Quad Operational Amplifiers

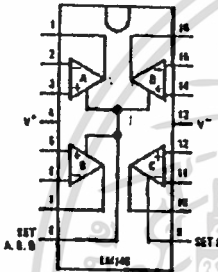
## General Description

The LM146 series of quad op amps consists of four independent, high gain, internally compensated, low power, programmable amplifiers. Two external resistors ( $R_{SET}$ ) allow the user to program the gain bandwidth product, slew rate, supply current, input bias current, input offset current and input noise. For example, the user can trade-off supply current for bandwidth or optimize noise figure for a given source resistance. In a similar way, other amplifier characteristics can be tailored to the application. Except for the two programming pins at the end of the package, the LM146 pin-out is the same as the LM124 and LM148.

## Features ( $I_{SET} = 10 \mu A$ )

- Programmable electrical characteristics
- Battery-powered operation
- Low supply current 350  $\mu A$ /amplifier
- Guaranteed gain bandwidth product 0.8 MHz min
- Large DC voltage gain 120 dB
- Low noise voltage 28 nV/ $\sqrt{Hz}$
- Wide power supply range  $\pm 1.5V$  to  $\pm 22V$
- Class AB output stage—no crossover distortion
- Ideal pin out for Biquad active filters
- Input bias currents are temperature compensated

## Connection Diagram (Dual-In-Line Package, Top View)

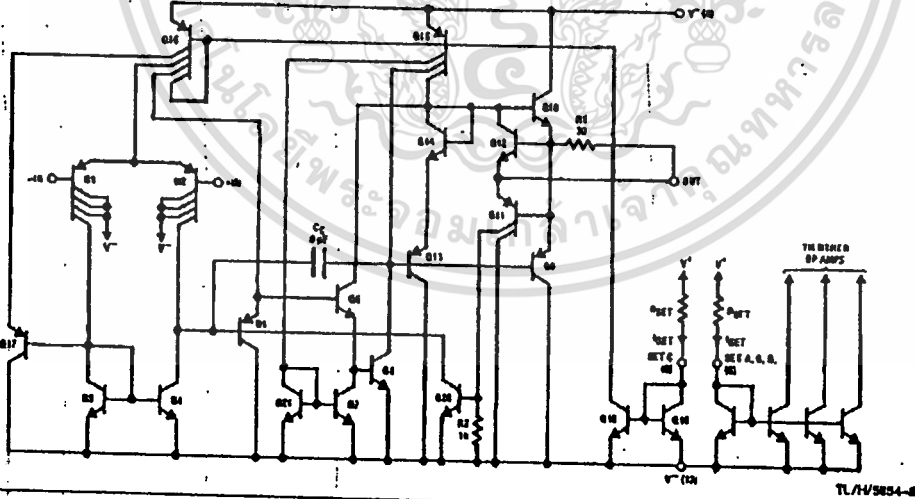


## PROGRAMMING EQUATIONS

- Total Supply Current — 1.4 mA ( $I_{SET}/10 \mu A$ )
  - Gain Bandwidth Product — 1 MHz ( $I_{SET}/10 \mu A$ )
  - Slew Rate — 0.4V/ $\mu s$  ( $I_{SET}/10 \mu A$ )
  - Input Bias Current — 50 nA ( $I_{SET}/10 \mu A$ )
  - $I_{SET}$  — Current into pin 8, pin 9 (see schematic diagram)
- $$I_{SET} = \frac{V^+ - V^- - 0.6V}{R_{SET}}$$

Order Number LM146J, LM146J/883, LM246J, LM346M or LM346N  
See NS Package Number J16A, M16A or N16A

## Schematic Diagram



## Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.  
(Note 5)

	LM146	LM246	LM346
Supply Voltage	±22V	±18V	±18V
Differential Input Voltage (Note 1)	±30V	±30V	±30V
CM Input Voltage (Note 1)	±15V	±15V	±15V
Power Dissipation (Note 2)	900 mW	500 mW	500 mW
Output Short-Circuit Duration (Note 3)	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	-25°C to +85°C	0°C to +70°C
Maximum Junction Temperature	150°C	110°C	100°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	260°C	260°C	260°C
Thermal Resistance ( $\theta_{jA}$ ), (Note 2)			
Cavity DIP (J) Pd	900 mW	900 mW	900 mW
$\theta_{jA}$	100°C/W	100°C/W	100°C/W
Small Outline (M) $\theta_{jA}$			115°C/W
Molded DIP (N) Pd			500 mW
$\theta_{jA}$			90°C/W
Soldering Information			
Dual-In-Line Package			
Soldering (10 seconds)	+260°C	+260°C	+260°C
Small Outline Package			
Vapor Phase (60 seconds)	+215°C	+215°C	+215°C
Infrared (15 seconds)	+220°C	+220°C	+220°C

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

ESD rating is to be determined.

## DC Electrical Characteristics ( $V_S = \pm 15V$ , $I_{SET} = 10 \mu A$ , Note 4)

Parameter	Conditions	LM146			LM246/LM346			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$V_{CM} = 0V$ , $R_S < 50\Omega$ , $T_A = 25^\circ C$		0.5	5		0.5	6	mV
Input Offset Current	$V_{CM} = 0V$ , $T_A = 25^\circ C$		2	20		2	100	nA
Input Bias Current	$V_{CM} = 0V$ , $T_A = 25^\circ C$		50	100		50	250	nA
Supply Current (4 Op Amps)	$T_A = 25^\circ C$		1.4	2.0		1.4	2.5	mA
Large Signal Voltage Gain	$R_L = 10 k\Omega$ , $\Delta V_{OUT} = \pm 10V$ , $T_A = 25^\circ C$	100	1000		50	1000		V/mV
Input CM Range	$T_A = 25^\circ C$	±13.5	±14		±13.5	±14		V
CM Rejection Ratio	$R_S < 10 k\Omega$ , $T_A = 25^\circ C$	80	100		70	100		dB
Power Supply Rejection Ratio	$R_S < 10 k\Omega$ , $T_A = 25^\circ C$ , $V_S = \pm 5$ to $\pm 15V$	80	100		74	100		dB
Output Voltage Swing	$R_L > 10 k\Omega$ , $T_A = 25^\circ C$	±12	±14		±12	±14		V
Short-Circuit	$T_A = 25^\circ C$	5	20	35	6	20	35	mA
Gain Bandwidth Product	$T_A = 25^\circ C$	0.8	1.2		0.6	1.2		MHz
Phase Margin	$T_A = 25^\circ C$		60			60		Deg
Slew Rate	$T_A = 25^\circ C$		0.4			0.4		V/ $\mu s$
Input Noise Voltage	1-1 kHz, $T_A = 25^\circ C$		28			28		nV/ $\sqrt{Hz}$
Channel Separation	$R_L = 10 k\Omega$ , $\Delta V_{OUT} = 0V$ to $\pm 12V$ , $T_A = 25^\circ C$		120			120		dB
Input Resistance	$T_A = 25^\circ C$		1.0			1.0		M $\Omega$
Input Capacitance	$T_A = 25^\circ C$		2.0			2.0		pF
Input Offset Voltage	$V_{CM} = 0V$ , $R_S < 50\Omega$		0.5	6		0.5	7.5	mV
Input Offset Current	$V_{CM} = 0V$		2	25		2	100	nA
Input Bias Current	$V_{CM} = 0V$		50	100		50	250	nA
Supply Current (4 Op Amps)			1.7	2.2		1.7	2.5	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### DC Electrical Characteristics (Continued) ( $V_S = \pm 15V, I_{SET} = 10 \mu A$ , Note 4)

Parameter	Conditions	LM148			LM248/LM348			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$R_L = 10 k\Omega, \Delta V_{OUT} = \pm 10V$	50	1000		25	1000		V/mV
Input CM Range		$\pm 13.5$	$\pm 14$		$\pm 13.5$	$\pm 14$		V
CM Rejection Ratio	$R_S < 50\Omega$	70	100		70	100		dB
Power Supply Rejection Ratio	$R_S < 50\Omega, V_S = \pm 5V$ to $\pm 15V$	78	100		74	100		dB
Output Voltage Swing	$R_L > 10 k\Omega$	$\pm 12$	$\pm 14$		$\pm 12$	$\pm 14$		V

### DC Electrical Characteristic ( $V_S = \pm 15V, I_{SET} = 1 \mu A$ )

Parameter	Conditions	LM148			LM248/LM348			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$V_{CM} = 0V, R_S < 50\Omega, T_A = 25^\circ C$		0.5	5		0.5	7	mV
Input Bias Current	$V_{CM} = 0V, T_A = 25^\circ C$		7.5	20		7.5	100	nA
Supply Current (4 Op Amps)	$T_A = 25^\circ C$		140	250		140	300	$\mu A$
Gain Bandwidth Product	$T_A = 25^\circ C$	80	100		50	100		kHz

### DC Electrical Characteristics ( $V_S = \pm 1.5V, I_{SET} = 10 \mu A$ )

Parameter	Conditions	LM148			LM248/LM348			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$V_{CM} = 0V, R_S < 50\Omega, T_A = 25^\circ C$		0.5	5		0.5	7	mV
Input CM Range	$T_A = 25^\circ C$		$\pm 0.7$			$\pm 0.7$		V
CM Rejection Ratio	$R_S < 50\Omega, T_A = 25^\circ C$		80			80		dB
Output Voltage Swing	$R_L > 10 k\Omega, T_A = 25^\circ C$		$\pm 0.6$			$\pm 0.6$		V

Note 1: For supply voltages less than  $\pm 15V$ , the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

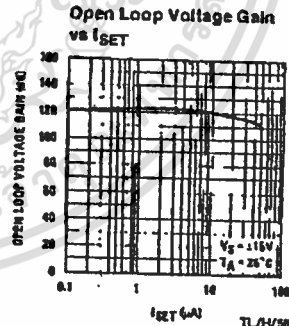
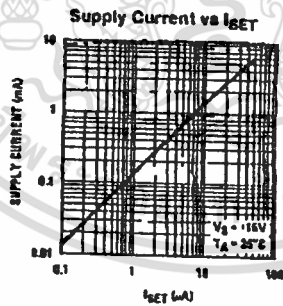
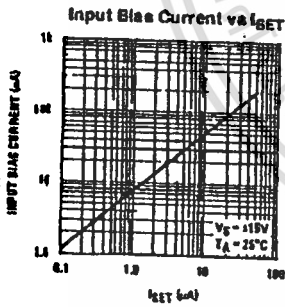
Note 2: The maximum power dissipation for these devices must be derated at elevated temperatures and is dictated by  $T_{MAX}, \theta_{JA}$ , and the ambient temperature,  $T_A$ . The maximum available power dissipation at any temperature is  $P_d = (T_{MAX} - T_A)/\theta_{JA}$ , or the  $25^\circ C P_{dMAX}$ , whichever is less.

Note 3: Any of the amplifier outputs can be shorted to ground indefinitely, however, more than one should not be simultaneously shorted as the maximum junction temperature will be exceeded.

Note 4: These specifications apply over the absolute maximum operating temperature range unless otherwise noted.

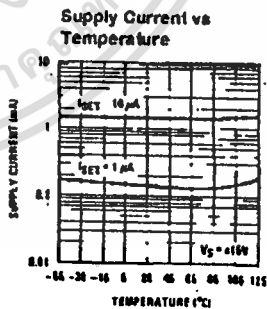
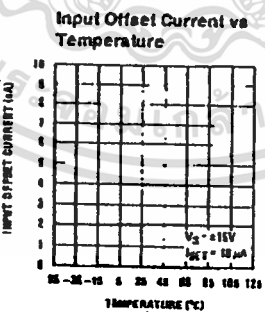
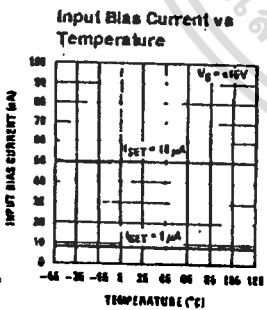
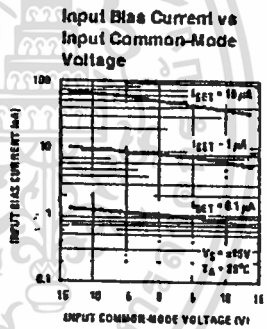
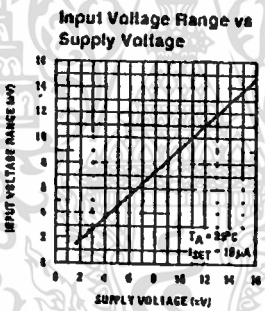
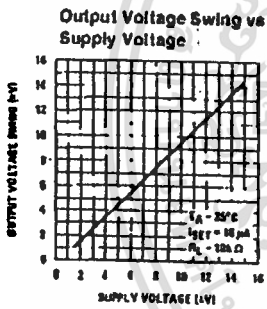
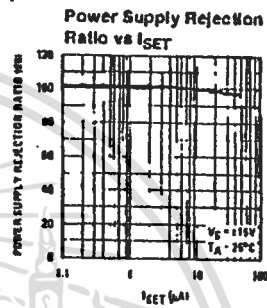
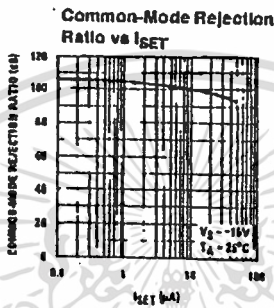
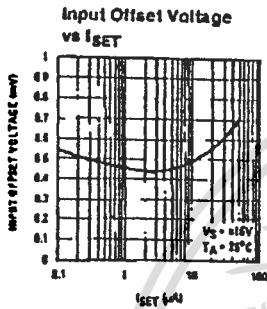
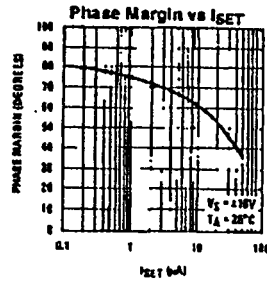
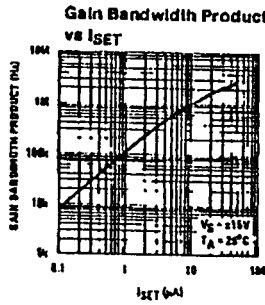
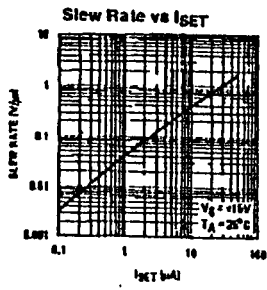
Note 5: Refer to RETS148K for LM148J military specifications.

### Typical Performance Characteristics



TL/H/5854-3

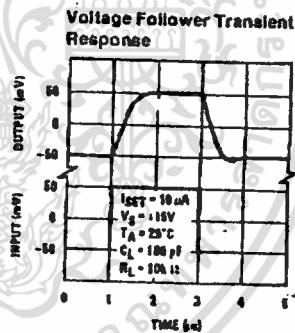
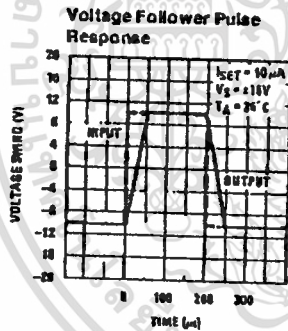
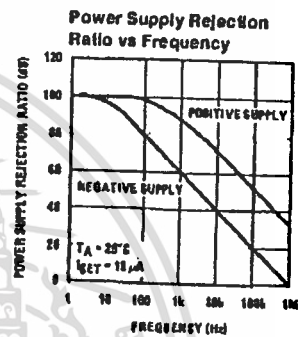
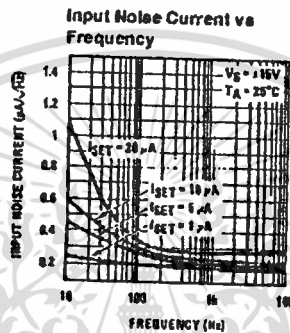
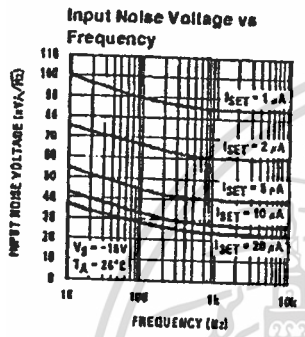
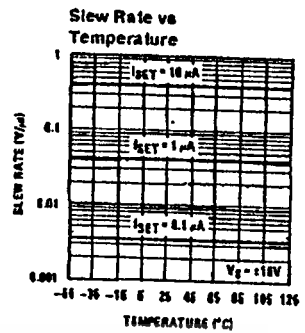
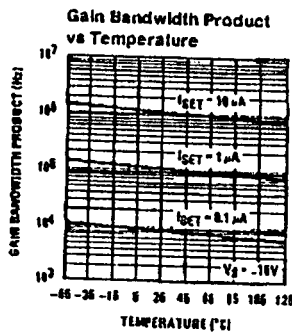
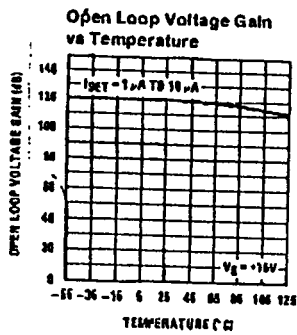
# Typical Performance Characteristics



TL/H/5054-4

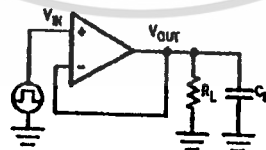
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Typical Performance Characteristics (Continued)



TL/H/2854-5

Transient Response Test Circuit



TL/H/2854-6

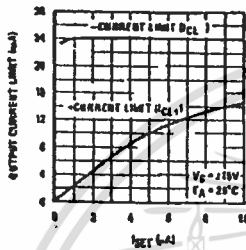
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น: ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Application Hints

**Avoid reversing the power supply polarity;** the device will fail.

**Common-Mode Input Voltage:** The negative common-mode voltage limit is one diode drop above the negative supply voltage. Exceeding this limit on either input will result in an output phase reversal. The positive common-mode limit is typically 1V below the positive supply voltage. No output phase reversal will occur if this limit is exceeded by either input.

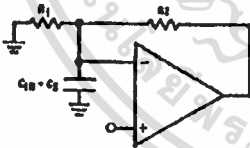
**Output Voltage Swing vs  $I_{SET}$ :** For a desired output voltage swing the value of the minimum load depends on the positive and negative output current capability of the op amp. The maximum available positive output current, ( $I_{CL+}$ ), of the device increases with  $I_{SET}$  whereas the negative output current ( $I_{CL-}$ ) is independent of  $I_{SET}$ . Figure 1 illustrates the above.



TL/H/5654-7

FIGURE 1. Output Current Limit vs  $I_{SET}$

**Input Capacitance:** The input capacitance,  $C_{IN}$ , of the LM148 is approximately 2 pF; any stray capacitance,  $C_S$ , (due to external circuit layout) will add to  $C_{IN}$ . When resistive or active feedback is applied, an additional pole is added to the open loop frequency response of the device. For instance with resistive feedback (Figure 2), this pole occurs at  $\frac{1}{2\pi} (R_1 || R_2) (C_{IN} + C_S)$ . Make sure that this pole occurs at least 2 octaves beyond the expected -3 dB frequency corner of the closed loop gain of the amplifier; if not, place a lead capacitor in the feedback such that the time constant of this capacitor and the resistance it parallels is equal to the  $R_1(C_S + C_{IN})$ , where  $R_1$  is the input resistance of the circuit.



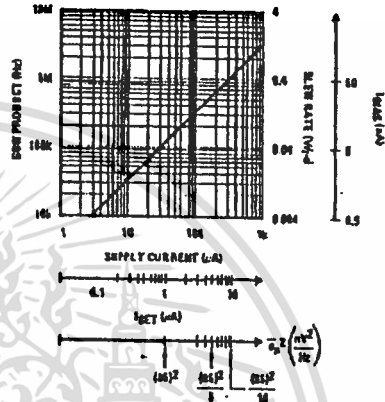
TL/H/5654-9

FIGURE 2

**Temperature Effect on the GBW:** The GBW (gain bandwidth product), of the LM148 is directly proportional to  $I_{SET}$  and inversely proportional to the absolute temperature. When using resistors to set the bias current,  $I_{SET}$ , of the device, the GBW product will decrease with increasing temperature. Compensation can be provided by creating an  $I_{SET}$  current directly proportional to temperature (see typical applications).

**Isolation Between Amplifiers:** The LM148 die is isothermally laid out such that crosstalk between all 4 amplifiers is in excess of -105 dB (DC). Optimum isolation (better than -110 dB) occurs between amplifiers A and D, B and C; that is, if amplifier A dissipates power on its output stage, amplifier D is the one which will be affected the least, and vice versa. Same argument holds for amplifiers B and C.

**LM148 Typical Performance Summary:** The LM148 typical behaviour is shown in Figure 3. The device is fully predictable. As the set current,  $I_{SET}$ , increases, the speed, the bias current, and the supply current increase while the noise power decreases proportionally and the  $V_{OS}$  remains constant. The usable GBW range of the op amp is 10 kHz to 3.5-4 MHz.

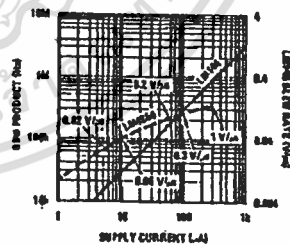


TL/H/5654-8

FIGURE 3. LM148 Typical Characteristics

**Low Power Supply Operation:** The quad op amp operates down to  $\pm 1.3V$  supply. Also, since the internal circuitry is biased through programmable current sources, no degradation of the device speed will occur.

**Speed vs Power Consumption: LM148 vs LM4250 (single programmable).** Through Figure 4, we observe that the LM148's power consumption has been optimized for GBW products above 200 kHz, whereas the LM4250 will reach a GBW of no more than 300 kHz. For GBW products below 200 kHz, the LM4250 will consume less power.

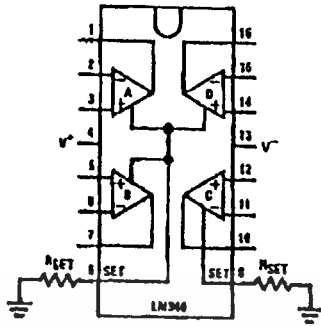


TL/H/5654-10

FIGURE 4. LM148 vs LM4250

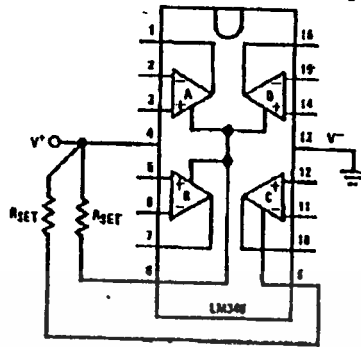
# Typical Applications

Dual Supply or Negative Supply Biasing



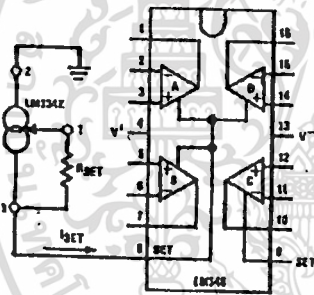
$$I_{SET} = \frac{|V^-| - 0.6V}{R_{SET}}$$

Single (Positive) Supply Biasing



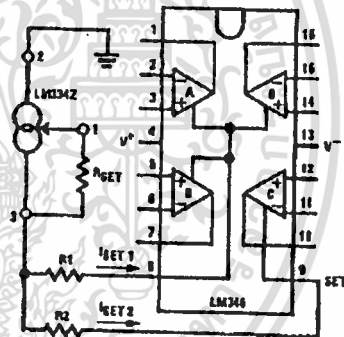
$$I_{SET} = \frac{V^+ - 0.6V}{R_{SET}}$$

Current Source Biasing with Temperature Compensation



$$I_{SET} = \frac{87.7 \text{ mV}}{R_{SET}}$$

Biasing all 4 Amplifiers with Single Current Source



$$\frac{I_{SET1}}{I_{SET2}} = \frac{R2}{R1} \quad I_{SET1} + I_{SET2} = \frac{87.7 \text{ mV}}{R_{SET}}$$

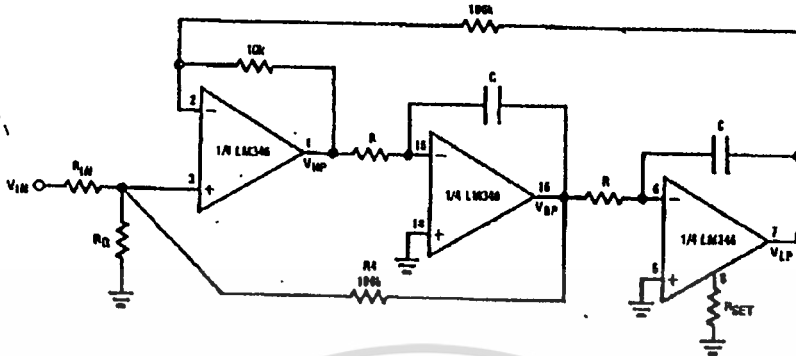
• The LM334 provides an  $I_{SET}$  directly proportional to absolute temperature. This cancels the slight GBW product Temperature coefficient of the LM348.

• For  $I_{SET1} \sim I_{SET2}$  resistors R1 and R2 are not required if a slight error between the 2 set currents can be tolerated. If not, then use R1 - R2 to create a 100 mV drop across these resistors.

TL/H/5054-11

# Active Filters Applications

## Basic (Non-inverting "State Variable") Active Filter Building Block



TL/H/5654-12

- The LM146 quad programmable op amp is especially suited for active filters because of their adequate GBW product and low power consumption.

Circuit synthesis equations (for circuit analysis equations, consult with the LM146 data sheet).

Need to know desired  $f_0$  - center frequency measured at the BP output

$Q_0$  - quality factor measured at the BP output

$H_0$  - gain at the output of interest (BP or HP or LP or all of them)

- Relation between different gains:  $H_0(BP) = 0.316 \times Q_0 \times H_0(LP)$ ;  $H_0(LP) = 10 \times H_0(IP)$

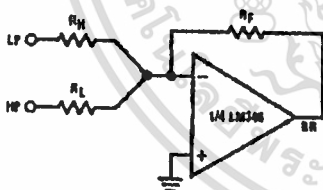
$$R \times C = \frac{6.033 \times 10^{-2}}{f_0} \text{ (sec)}$$

$$\text{For BP output: } R_Q = \left( \frac{3.478 Q_0 - H_0(BP)}{10^5} - \frac{H_0(BP)}{10^5 \times 3.748 \times Q_0} \right)^{-1}; R_{IN} = \frac{(3.478 Q_0 - 1)}{\frac{1}{RQ} - 10^5}$$

$$\text{For HP output: } R_Q = \frac{1.1 \times 10^5}{3.478 Q_0 (1.1 - H_0(HP)) - H_0(HP)}; R_{IN} = \frac{1.1 - 1}{\frac{1}{RQ} - 10^5}$$

$$\text{For LP output: } R_Q = \frac{11 \times 10^5}{3.478 Q_0 (11 - H_0(LP)) - H_0(LP)}; R_{IN} = \frac{11 - 1}{\frac{1}{RQ} - 10^5}$$

- For BR (notch) output: Use the 4th amplifier of the LM146 to sum the LP and HP outputs of the basic filter.



$$\frac{R_{IN}}{V_{RL}} = 0.316 \frac{f_{notch}}{f_0}$$

Note: All resistor values are given in ohms.

TL/H/5654-13

Determine  $R_f$  according to the desired gains:  $H_0(BR)$

$$f < f_{notch} \rightarrow \frac{R_f}{R_L} H_0(LP); H_0(BR); f > f_{notch} \rightarrow \frac{R_f}{R_L} H_0(IP)$$

- Where to use amplifier C: Examine the above gain relations and determine the dynamics of the filter. Do not allow slew rate limiting in any output ( $V_{1P}$ ,  $V_{2P}$ ,  $V_{LP}$ ), that is:

$$V_{N(peak)} < 63.65 \times 10^3 \times \frac{I_{SET}}{10 \mu A} \times \frac{1}{f_0 \times H_0} \text{ (Volts)}$$

If necessary, use amplifier C, biased at higher  $I_{SET}$ , where you get the largest output swing.

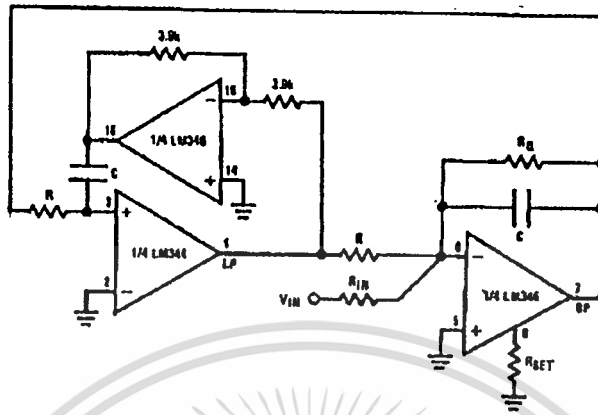
Deviation from Theoretical Predictions: Due to the finite GBW products of the op amps the  $f_0$ ,  $Q_0$  will be slightly different from the theoretical predictions.

$$f_{real} \sim \frac{f_0}{1 - \frac{2f_0}{GBW}}; Q_{real} \sim \frac{Q_0}{1 - \frac{3.2f_0 \times Q_0}{GBW}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Active Filters Applications (Continued)

### A Simple-to-Design BP, LP Filter Building Block



TL/H/5854-14

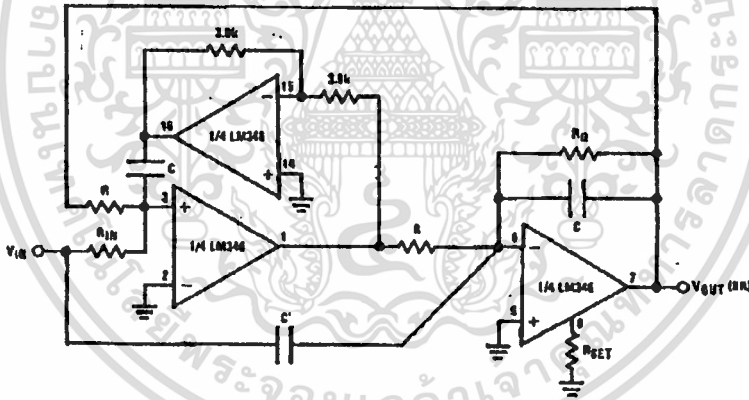
- If relative biasing is used to set the LM346 performance, the  $Q_0$  of this filter building block is nearly insensitive to the op amp's GBW product temperature drift; it has also better noise performance than the state variable filter.

#### Circuit Synthesis Equations

$$H_0(\text{BP}) = Q_0 H_0(\text{LP}); R \times C = \frac{0.159}{f_0}; RQ = Q_0 \times R; R_{IN} = \frac{RQ}{H_0(\text{BP})} = \frac{R}{H_0(\text{LP})}$$

- For the eventual use of amplifier C, see comments on the previous page.

### A 3-Amplifier Notch Filter (or Elliptic Filter Building Block)



TL/H/5854-15

#### Circuit Synthesis Equations

$$R \times C = \frac{0.159}{f_0}; R_0 = Q_0 \times R; R_{IN} = \frac{0.159 \times f_0}{C' \times f_{\text{notch}}^2}$$

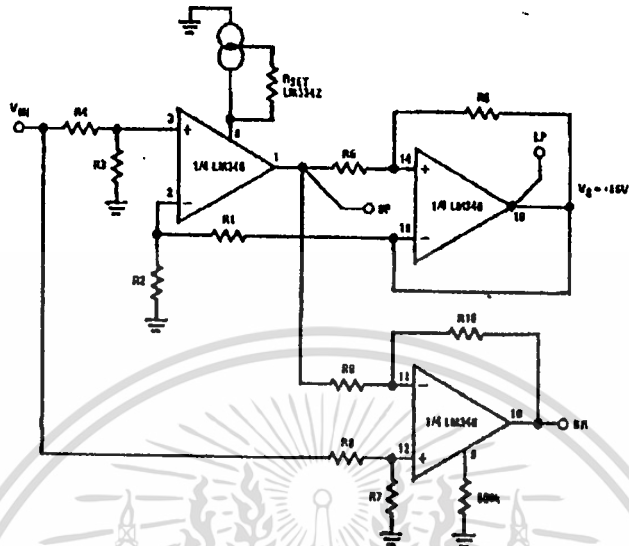
$$H_0(\text{BR})|_{f < f_{\text{notch}}} = \frac{R}{R_{IN}} H_0(\text{BR})|_{f > f_{\text{notch}}} = \frac{C'}{C}$$

- For nothing but a notch output:  $R_{IN} = R, C' = C$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Active Filters Applications (Continued)

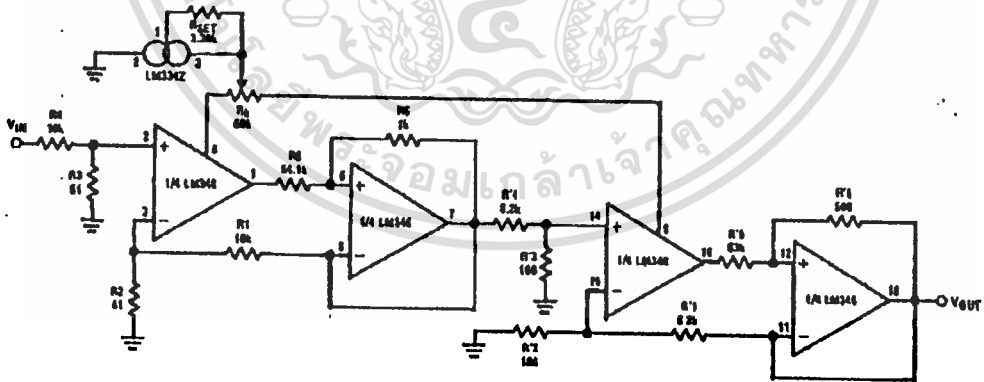
## Capacitorless Active Filters (Basic Circuit)



TL/H/3654-10

- This is a BP, LP, BP filter. The filter characteristics are created by using the tunable frequency response of the LM348.
- Limitations:  $Q_0 < 10$ ,  $f_0 \times Q_0 < 1.5$  MHz, output voltage should not exceed  $V_{peak(cut)} \leq \frac{63.65 \times 10^3}{f_0} \times \frac{I_{SET}(\mu A)}{10 \mu A}$  (V)
- Design equations:  $a = \frac{R6 - R5}{R6}$ ,  $b = \frac{R2}{R1 - R2}$ ,  $c = \frac{R3}{R3 - R4}$ ,  $d = \frac{R7}{R8 - R7}$ ,  $e = \frac{R10}{R9 - R10}$ ,  $f_0(BP) = f_u \sqrt{\frac{b}{a}}$ ,  $H_0(BP) = a \times c$ ,  $H_0(LP) = \frac{c}{b}$ ,  $Q_0 = \frac{1}{a \times b}$
- Advantage:  $f_0 Q_0$ ,  $H_0$  can be independently adjusted; that is, the filter is extremely easy to tune.
- Tuning procedure (ex. BP tuning)
  1. Pick up a convenient value for  $b$  ( $b < 1$ )
  2. Adjust  $Q_0$  through  $R5$
  3. Adjust  $H_0(BP)$  through  $R4$
  4. Adjust  $f_0$  through  $R_{SET}$ . This adjusts the unity gain frequency ( $f_u$ ) of the op amp.

## A 4th Order Butterworth Low Pass Capacitorless Filter



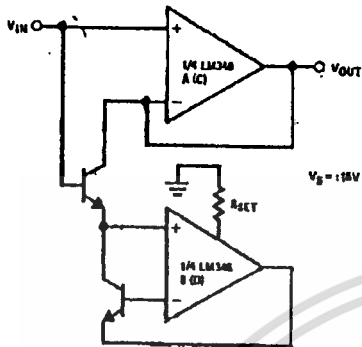
TL/H/3654-17

- Ex:  $f_c = 20$  MHz,  $H_0$  (gain of the filter) = 1,  $Q_{D1} = 0.541$ ,  $Q_{D2} = 1.306$ .
- Since for this filter the GBW product of all 4 amplifiers has been designed to be the same (~1 MHz) only one current source can be used to bias the circuit. Fine tuning can be further accomplished through  $R_5$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

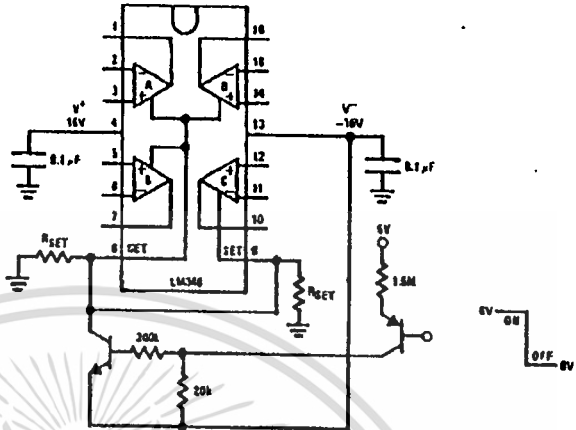
## Miscellaneous Applications

### A Unity Gain Follower with Bias Current Reduction



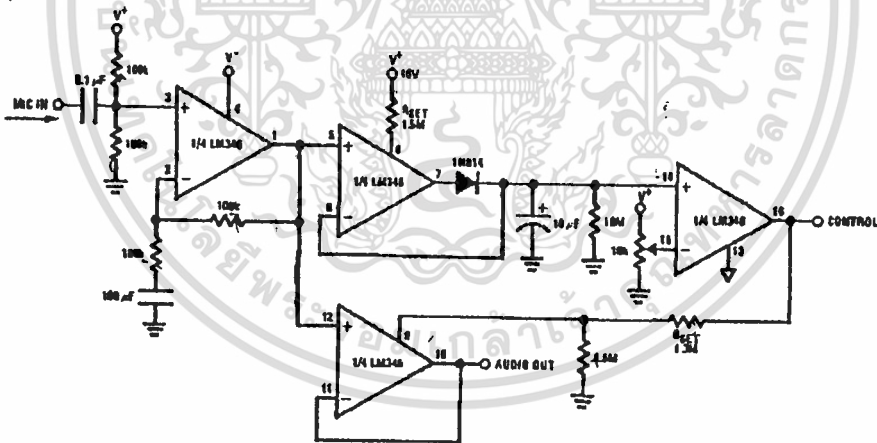
• For better performance, use a matched NPN pair.

### Circuit Shutdown



• By pulling the SET pin(s) to  $V^-$  the op amp(s) shuts down and its output goes to a high impedance state. According to this property, the LM348 can be used as a very low speed analog switch.

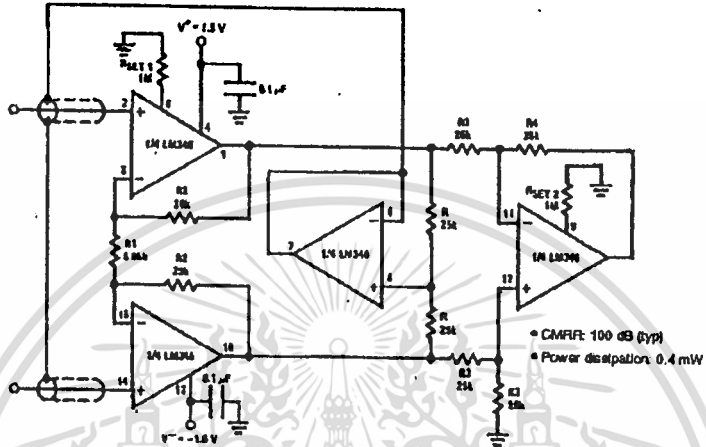
### Voice Activated Switch and Amplifier



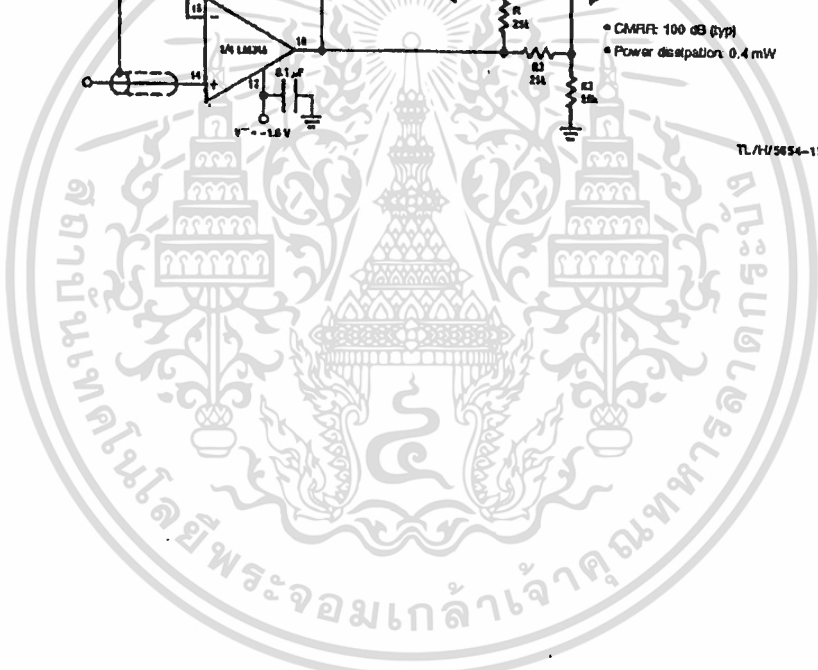
TL/A/5654-18

# Miscellaneous Applications (Continued)

## X10 Micropower Instrumentation Amplifier with Buffered Input Guarding



TL/H/5854-1B



## บรรณานุกรม

- รศ.ถวิล กิ่งทอง "ทฤษฎีโครงข่ายไฟฟ้าและสายส่ง"  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง
- รศ.ถวิล กิ่งทอง "ระบบมัลติเพล็กซ์เบื้องต้น"  
ศูนย์บริการไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์  
"คู่มือการใช้ไอซี 1 ในการออกแบบทำงาน" สำนักพิมพ์ไฟฟ้า-  
อิเล็กทรอนิกส์
- สมบุญรณ มาลานนท์, สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย  
"แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง ( SWITCHING POWER SUPPLY)"  
STAFF "HANDBOOK SUBSCRIBER RADIOTELEPHONE SYSTEM SERIES"  
J 6478 TYPE SR-1 : 1 WATT  
TYPE SR-10 : 10 WATT  
AWA CO.LTD.
- STAFF "TECHNICAL MANUAL KOKUSAI SINGLE CHANNEL"  
KOKUSAI CO.LTD.
- STAFF "MANUAL FOR MULTIPLEX EQUIPMENT"  
ERICSON.
- STAFF "TECHNICAL MANUAL EQUIPMENT"  
ASIAKOM.
- STAFF "OPERATORS MANUAL RURAL PRIVAT PHONE SYSTEM"  
TELEMOBILE INCORPORATION.