



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ ระบบโทรศัพท์ภาพ  
 Video Phone System

- ชื่อนักศึกษา
- |                |            |              |          |
|----------------|------------|--------------|----------|
| 1. นายชำนาญกิจ | นพคุณ      | รหัสประจำตัว | 42035253 |
| 2. นายทิพากร   | กาญจนโสภาค | รหัสประจำตัว | 42035257 |
| 3. นายสมคิด    | คอนโสม     | รหัสประจำตัว | 42035276 |
| 4. นายเอกพร    | วสุธาร     | รหัสประจำตัว | 42035287 |

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อำพล ทองระอา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์สุชิน อาจหาญ

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์อำพล ทองระอา	
2. อาจารย์สุชิน อาจหาญ	
3. อาจารย์พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล	
4. อาจารย์โกศล ตราชู	
5. อาจารย์อมรรชัย ชัยชนะ	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันเสาร์ที่ 21 เมษายน พ.ศ. 2544 เวลา 13.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ก.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว  
 ลงนาม.....   
 (ผศ. วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)  
 หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 วันที่ 6 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2544



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

ระบบโทรศัพท์ภาพ

VIDEO PHONE SYSTEM



นายชำนาญกิจ นพคุณ

นายทิพากร กาญจนโสภาค

นายสมคิด คอนโสม

นายเอกพร วสุธาร

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

2/00

25-433

2-19

เลขหม้อ.....  
เลขทะเบียน 40187

วัน, เดือน, ปี 17 ส.ค. 2544

b. 11093055  
i. [ ]

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นหน้าเบ้ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ระบบโทรศัพท์ภาพ  
Video Phone System

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระบบโทรศัพท์ภาพในการรับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียงหลายความถี่ผ่านสายเคเบิลแกนร่วมเส้นเดียว
2. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรต่างๆ ในระบบรับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียง
3. เพื่อออกแบบระบบโทรศัพท์ภาพหลายความถี่โดยใช้สายเคเบิลแกนร่วมเส้นเดียว
4. เพื่อสร้างระบบโทรศัพท์ภาพในการรับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียงหลายๆ ความถี่ผ่านสายเคเบิลแกนร่วมเส้นเดียว
5. เพื่อนำระบบโทรศัพท์ภาพไปประยุกต์ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายในอาคาร

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจการรับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียงหลายความถี่ผ่านสายเคเบิลแกนร่วมเส้นเดียว
2. มีความรู้ความเข้าใจหลักการทำงานของวงจรระบบรับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียง
3. ได้ออกแบบระบบโทรศัพท์ภาพ 4 เครื่องโดยใช้สายเคเบิลแกนร่วมเพียงเส้นเดียว ในการติดต่อสื่อสาร
4. ได้เครื่องต้นแบบระบบโทรศัพท์ภาพ 4 เครื่องโดยใช้สายเคเบิลแกนร่วมเพียงเส้นเดียวในการติดต่อสื่อสาร
5. ได้นำระบบโทรศัพท์ภาพไปใช้ในการติดต่อสื่อสารภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	ระบบโทรศัพท์ภาพ
นักศึกษา	นายชำนาญกิจ นพคุณ นายทิพากร กาญจนโสภาค นายสมคิด คอนโสม นายเอกพร วสุธาร อาจารย์สุชิน อาจหาญ อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต วิศวกรรมโทรคมนาคม 2543
อาจารย์ที่ปรึกษา	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	
หลักสูตร	
สาขาวิชา	
ปีการศึกษา	

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอระบบโทรศัพท์ภาคสำหรับการติดต่อสื่อสารภายในอาคารโดยส่งสัญญาณภาพและเสียงย่านความถี่ ยูเอชเอฟ (UHF) ผ่านสายโคแอกเซียลที่มีความต้านทานภายในสาย 75 โอห์มไปยังผู้รับเป็นคู่ๆ ในเวลาเดียวกันได้ และมีการควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมภาคการเรียกและภาคจ่ายไฟที่จ่าย ให้กล้องวิดีโอกับเครื่องรับโทรศัพท์ระบบโทรศัพท์ภาพเป็นระบบที่การติดต่อสื่อสารผ่านสายโคแอกเซียลเพียงเส้นเดียว ฉะนั้นจึงง่ายต่อการติดตั้งและการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Video Phone System	
<b>Students</b>	Mr.Chamnankit	Nopbhakoon
	Mr.Thipakorn	Karnjanasopark
	Mr.Somkid	Donsome
	Mr.Ekkaporn	Vasudhara
<b>Advisor</b>	Mr.Suchin	Adhan
<b>Co-Advisor</b>	Mr.Amornchai	Chaichana
<b>Education Level</b>	Bachelor of Science in Industrial Education	
<b>Program in</b>	Telecommunications Engineering	
<b>Academic Year</b>	2000	

### ABSTRACT

This Thesis presents a Video Phone System it use for inner building communication in order to send Video signal & Audio signal in UHF Range through 75 ohm coaxial line on to a couple receiver by the same time, with is operation control by Microcontroller. It can control calling, Power supply Distribution section and television. Video phone system can be communicate through only a coaxial line so we will make it easy to installation and use.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยความยากลำบาก และเวลาที่ผ่านไปอย่างรวดเร็วแต่อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จนี้ก็เนื่องด้วยความร่วมมือของสมาชิกทุกท่านในกลุ่ม ที่สมัครสมานสามัคคีทำงานจนกระทั่งประสบผลสำเร็จ ขอขอบคุณอาจารย์สุชิน อัจหาญ และอาจารย์อมรชัย ชัยชนะ ที่ร่วมให้ความอนุเคราะห์ เอื้อเฟื้อ ดูแล และแบ่งปันเวลาที่มีคุณค่าของท่านให้แก่ปริญญาานิพนธ์นี้ องค์กรความรู้ต่างๆ ที่คณาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมประศาสตร์ให้ นั้น จะเป็นความรู้ที่มีคุณค่า และเอื้อประโยชน์แก่นักศึกษาต่อไปในภายหน้า ขอขอบคุณในความเอื้อเฟื้อ ความหวังดี และน้ำใจอันประเสริฐของคณาจารย์ทุกท่าน และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่เกี่ยวข้อง ที่ให้ความสะดวกในการแสวงหาความรู้และช่วยแก้ไขปัญหาจนลุล่วง แม้ท้ายที่สุดนี้ ความเมตตา กรุณา มุทิตา อุเบกขา เป็นธรรมอันประเสริฐของ บิดาและมารดานั้นเกื้อหนุนให้ เกิดกำลังใจ และปัญญาในการแก้ปัญหา และผ่านอุปสรรคในช่วงเวลาที่ยากลำบาก ไปได้ด้วยความอดทน จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่กล่าวถึงเบื้องต้นทุกท่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ชี้ความสามารถของโครงการ	2
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	3
2.1 การมอดูเลต	3
2.2 กล้องถ่ายภาพสัญญาณภาพ โทรทัศน์	8
2.3 ความคมชัดและแบนด์วิธของสัญญาณภาพ	13
2.4 หลักการส่งสัญญาณ โทรทัศน์	14
2.5 เครื่องรับโทรทัศน์	17
2.6 สายส่งสัญญาณ	19
2.6.1 เคชีเนเปอร์	19
2.6.2 ค่าคงที่ปฐมภูมิและค่าคงที่ทุติยภูมิของสายส่งสัญญาณ	21
2.6.3 การสะท้อนกลับของคลื่นภายในสายส่งสัญญาณและ SWR	23
2.6.4 อิมพัลด์ิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณที่ถูกต่อด้วยตัวภาระ	25
2.6.5 สายแแกนร่วม	29
2.6.6 การลดทอนสัญญาณภายในสายสัญญาณ	30
2.6.7 อาร์เอฟ คอนเวอร์เตอร์/อาร์เอฟ มอดูเลเตอร์	33
2.7 สัญญาณความถี่คู่	33
2.7.1 ระบบโทรศัพท์แบบส่งสัญญาณความถี่คู่	33
2.7.2 การถอดรหัสสัญญาณความถี่คู่	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้างและการทำงาน	37
3.1 แผนผังการทำงานของระบบโทรทัศน์ภาพ	37
3.2 วงจรสมบรูณ์ของเครื่องส่งวิดีโอ	38
3.3 พื้นฐานของวงจรส่งสัญญาณวิดีโอ	39
3.4 การทำงานของวงจรส่งสัญญาณวิดีโอ	40
3.5 การสร้างวงจรส่งสัญญาณวิดีโอ	42
3.6 การปรับแต่งวงจรส่งสัญญาณวิดีโอ	44
3.7 วงจรปริ๊ม์	44
3.8 การทำงานของวงจรปริ๊ม์	45
3.9 วงจรเรียกการติดต่อ	46
3.10 การทำงานของวงจรเรียกการติดต่อ	46
3.10.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์	47
3.10.2 ส่วนของซอฟต์แวร์	47
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	50
4.1 ลักษณะการต่อใช้งานระบบโทรทัศน์ภาพ	50
4.2 การทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียงทางเดียว	50
4.3 ผลการทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียงทางเดียว	50
4.4 การทดลองรับสัญญาณภาพและเสียง 4 เครื่องในเวลาเดียวกัน	55
4.4.1 วัดสัญญาณภาพและเสียงที่เครื่องรับของเครื่องที่ 1	55
4.4.2 วัดสัญญาณภาพและเสียงที่เครื่องรับของเครื่องที่ 2	57
4.4.3 วัดสัญญาณภาพและเสียงที่เครื่องรับของเครื่องที่ 3	58
4.4.4 วัดสัญญาณภาพและเสียงที่เครื่องรับของเครื่องที่ 4	60
4.5 วงจรเรียกการติดต่อ	61
4.5.1 วงจรถอดรหัสความถี่โทรทัศน์	61
4.5.2 วงจรเข้ารหัสความถี่โทรทัศน์	63
4.5.3 วงจรเรียกการติดต่อ	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหาแนวทางแก้ไข และพัฒนา	67
5.1 บทสรุป	67
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	69
5.3 แนวทางในการพัฒนา	69
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	71
ภาคผนวก ข รายการอุปกรณ์	74
ภาคผนวก ค วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	79
ภาคผนวก ง ผังการทำงานและโปรแกรม	85
ภาคผนวก จ รายละเอียด และคุณสมบัติอุปกรณ์	101
บรรณานุกรม	128
ประวัติผู้แต่ง	129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 SWR ในสถานะต่างๆ	26
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรถอดรหัสความถี่โทรทัศน์	63
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวงจรเข้ารหัสความถี่โทรทัศน์	64



## สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 สัญญาณ FM และ AM	3
รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของสัญญาณก่อนและหลังการมอดูเลชัน	5
(ก) สเปกตรัมของสัญญาณก่อนการมอดูเลชัน	5
(ข) สเปกตรัมของสัญญาณหลังการมอดูเลชัน	5
รูปที่ 2.3 สเปกตรัมของสัญญาณที่เกิดจากการมอดูเลชัน	6
(ก) สเปกตรัมของสัญญาณก่อนทำการมอดูเลชัน	6
(ข) สเปกตรัมของสัญญาณหลังทำการมอดูเลชัน	6
(ค) สเปกตรัมของสัญญาณก่อนทำการมอดูเลชัน	7
(ง) สเปกตรัมของสัญญาณที่เกิดจากการมอดูเลชัน	7
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณทางไฟฟ้า	8
รูปที่ 2.5 สัญญาณที่เกิดจากส่วนต่างๆ ของภาพตามการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า	9
(ก) การกวาดของลำอิเล็กตรอน	9
(ข) สัญญาณที่ได้จากการกวาดเป็นการกวาดของอิเล็กตรอน	10
(ค) สัญญาณภาพที่ได้รับการกวาดเป็นการกวาดของอิเล็กตรอนหลายๆ ครั้ง	10
รูปที่ 2.6 สัญญาณภาพและสัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอน	11
(ก) สัญญาณภาพที่ประกอบด้วยเบลงกิ้งพัลส์และสัญญาณสัมพัทธ์	11
(ข) สัญญาณควบคุมการกวาดของอิเล็กตรอน	11
(ค) สัญญาณควบคุมการกวาดของอิเล็กตรอน	12
รูปที่ 2.7 ลักษณะการกวาดของอิเล็กตรอนที่ถูกควบคุมโดยสัญญาณการกวาดที่มีลักษณะเป็นรูปฟันเลื่อย	12
รูปที่ 2.8 ความคมชัดของสัญญาณภาพ	14
รูปที่ 2.9 หลักการส่งและรับสัญญาณ โทรทัศน์สี	16
รูปที่ 2.10 แผนผังการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์	18
รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลย์ของสายส่งสัญญาณ	21
รูปที่ 2.12 การวิเคราะห์สายส่งสัญญาณ	22
รูปที่ 2.13 สายส่งสัญญาณที่ต่อกับตัวภาระ $Z_R$	24

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.14 การต่อสายอากาศกับสายส่งสัญญาณ และ Standing Wave ที่เกิดขึ้น	27
(ก) การต่อสายอากาศพอดีได้สมดุลกับสายส่งสัญญาณ	27
(ข) การต่อสายอากาศขาดความสมดุลกับสายส่งสัญญาณ	27
รูปที่ 2.15 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณที่ยาว 1 เมตร เมื่อต่ออยู่กับตัวภาระ $Z_R$	28
รูปที่ 2.16 ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณที่มีความยาว 1 ต่างๆ กัน ขณะที่เปิดปลายอีกข้างหนึ่งอยู่	28
รูปที่ 2.17 ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณที่มีความยาว 1 ต่างๆ กัน ขณะที่ปิดปลายอีกข้างหนึ่งอยู่	29
รูปที่ 2.18 สายส่งเมื่อ $l = n\lambda/2$ แล้วจะให้ค่า $Z_i = Z_R$	29
รูปที่ 2.19 โครงสร้างของสายโคแอกเซียล	30
รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\alpha$ และ L/C	31
รูปที่ 2.21 ลักษณะการทำ loading ให้กับสายส่งสัญญาณ	32
รูปที่ 2.22 ค่าการลดทอนของสายเคเบิลขนาด 0.9 มิลลิเมตรก่อนทำการ loading และภายหลังจากที่ได้ ทำการ loading	33
รูปที่ 2.23 แสดงหน้าปัทม์ของเครื่องรับ โทรศัพท์แบบกดปุ่มและความถี่ที่ใช้	34
รูปที่ 2.24 วงจรภายในของ ไอซี MT8870	35
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของระบบ โทรศัพท์ภาพ	37
รูปที่ 3.2 วงจรสมบูรณเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ	38
รูปที่ 3.3 แผนผังของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ	39
รูปที่ 3.4 ลายแผ่นวงจรพิมพ์	42
รูปที่ 3.5 การลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์	43
รูปที่ 3.6 วงจรปริโมค	45
รูปที่ 3.7 วงจรเรียกการติดต่อ	46
รูปที่ 4.1 ผลการทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียงทางเดียว	49
รูปที่ 4.2 สัญญาณจากกล้องวิดีโอ	50
รูปที่ 4.3 สัญญาณจากไมโครโฟน	50

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.4 สัญญาณอาร์เอฟวีค ได้จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมที่ปลายสาย ด้วยระยะทาง 100 เมตร โดย การส่งจากเครื่องที่ 1	51
รูปที่ 4.5 สัญญาณภาพที่รับ ได้ที่ปลายสายด้วยระยะห่าง 100 เมตร โดยการส่งจากเครื่องที่ 1	51
รูปที่ 4.6 สัญญาณอาร์เอฟวีค ได้จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมที่ปลายสาย ด้วยระยะทาง 100 เมตร โดย การส่งจากเครื่องที่ 2	52
รูปที่ 4.7 สัญญาณภาพที่รับ ได้ที่ปลายสายด้วยระยะห่าง 100 เมตร โดยการส่งจากเครื่องที่ 2	52
รูปที่ 4.8 สัญญาณอาร์เอฟวีค ได้จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมที่ปลายสาย ด้วยระยะ ทาง 100 เมตร โดย การส่งจากเครื่องที่ 3	53
รูปที่ 4.9 สัญญาณภาพที่รับ ได้ที่ปลายสายด้วยระยะห่าง 100 เมตร โดยการส่งจากเครื่องที่ 3	53
รูปที่ 4.10 สัญญาณอาร์เอฟวีค ได้จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมที่ปลายสาย ด้วยระยะ ทาง 100 เมตร โดยการส่งจากเครื่องที่ 4	54
รูปที่ 4.11 สัญญาณภาพที่รับ ได้ที่ปลายสายด้วยระยะห่าง 100 เมตร โดยการส่งจากเครื่องที่ 4	54
รูปที่ 4.12 แผนผังการทดลองรับส่งสัญญาณภาพและเสียง 4 เครื่องในเวลาเดียวกัน	55
รูปที่ 4.13 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 2	55
รูปที่ 4.14 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 3	56
รูปที่ 4.15 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 4	56
รูปที่ 4.16 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 1	57
รูปที่ 4.17 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 3	57
รูปที่ 4.18 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 4	58
รูปที่ 4.19 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 1	58
รูปที่ 4.20 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 2	59
รูปที่ 4.21 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 4	59
รูปที่ 4.22 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 1	60
รูปที่ 4.23 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 2	60
รูปที่ 4.24 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 3	61
รูปที่ 4.25 วงจรถอดรหัสความถี่โทรศัพท์	62
รูปที่ 4.26 วงจรการเข้ารหัสความถี่โทรศัพท์	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.27 วงจรเรียกการติดต่อ	65
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความคมชัดของสัญญาณภาพประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อความยาวของสายนำสัญญาณ	68
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความคมชัดของสัญญาณเสียงเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อความยาวของสายนำสัญญาณ	68
รูปที่ ก.1 ด้านหน้าของโทรศัพท์ภาพเครื่องต้นแบบ	72
รูปที่ ก.2 ด้านหลังของโทรศัพท์ภาพเครื่องต้นแบบ	72
รูปที่ ก.3 วงจรภายในของโทรศัพท์ภาพเครื่องต้นแบบ	73
รูปที่ ค.1 วงจรส่งสัญญาณวิดีโอ	80
รูปที่ ค.2 วงจรเรียกการติดต่อ	81
รูปที่ ค.3 อุปกรณ์สำหรับลงแผ่นวงจรพิมพ์วงจรสนทนา	82
รูปที่ ค.4 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรเรียกการติดต่อ	83
รูปที่ ค.5 อุปกรณ์ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ	84
รูปที่ ค.6 ภายแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ	84
รูปที่ ง.1 ผังการทำงานโปรแกรมควบคุมระบบโทรศัพท์ภาพ	86

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

วิวัฒนาการของระบบสื่อสารโดยใช้ความถี่ ช่วงแรกจะเป็นการสื่อสารระบบซิมเพล็กซ์ (Simplex) ซึ่งเป็นการสื่อสารทางเดียว โดยจะมีสถานีสำหรับแพร่กระจายคลื่นข้อมูลข่าวสารของเครื่องส่ง และเครื่องรับข่าวสาร ทางด้านส่งก็จะทำการส่งกระจายคลื่นข่าวสารอย่างเดียว ส่วนทางด้านเครื่องรับก็จะรับข้อมูลข่าวสารอย่างเดียว เครื่องรับและเครื่องส่งไม่สามารถโต้ตอบกันได้ ตัวอย่างของการสื่อสารแบบซิมเพล็กซ์ เช่น การกระจายเสียงของสถานีวิทยุ ซึ่งยังมีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ต่อมาได้พัฒนาระบบการสื่อสารแบบฮาร์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex) ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบสองทางแต่ทำคนละเวลา คือ ถ้าฝ่ายหนึ่งส่ง ฝ่ายหนึ่งต้องรับไม่สามารถที่จะส่งสัญญาณสวนทางกันในเวลาเดียวกันได้ ตัวอย่างของระบบสื่อสารแบบฮาร์ฟดูเพล็กซ์ เช่น วิทยุรับส่ง ซึ่งเป็นระบบที่ให้ความสะดวกในการติดต่อสื่อสารที่พัฒนาต่อมา คือ ระบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) ซึ่งเป็นระบบสื่อสารที่สามารถส่งข่าวสารสวนทางกันภายในสายนำสัญญาณเพียงเส้นเดียว ซึ่งเป็นระบบที่ลดความสิ้นเปลืองของสายนำสัญญาณลง

สำหรับการทำโครงการนี้ ได้นำเสนอระบบโทรศัพท์ภาพ ซึ่งเป็นการส่งข่าวสารที่ประกอบไปด้วยสัญญาณสีสัญญาณ คือ สัญญาณภาพและสัญญาณเสียงที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารจะติดต่อสื่อสารกันได้เป็นคู่ๆ และในเวลาเดียวกันสามารถติดต่อได้พร้อมกัน โดยทำการมอดูเลตแล้วส่งสวนทางกัน ซึ่งสายนำสัญญาณที่ใช้เป็นสายนำสัญญาณแบบแกนร่วม ซึ่งได้ประยุกต์จากการสื่อสารธรรมดาจากที่มีการส่งเฉพาะสัญญาณเสียงอย่างเดียวมาเป็นการส่งสัญญาณภาพและเสียงพร้อมๆ กัน ทำให้ผู้ใช้ระบบนี้สามารถเห็นภาพและได้ยินเสียง ซึ่งเป็นผลให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสัญญาณที่จะส่งทั้งสองด้านจะต้องผ่านกระบวนการมอดูเลตให้อยู่คนละช่องความถี่หรือเว้นช่องว่างระหว่างความถี่ทั้งสองเอาไว้เพื่อป้องกันการรบกวนซึ่งกันและกันระหว่างสัญญาณ

ระบบที่นำเสนอประกอบด้วยระบบมอดูเลต สายนำสัญญาณ อุปกรณ์ขยายสัญญาณภาพ อุปกรณ์ขยายเสียง อุปกรณ์เชื่อมต่อ อุปกรณ์รวมสัญญาณและอุปกรณ์แยกสัญญาณ รายละเอียดจะได้กล่าวในบทต่อไป

## 1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

- 1) ส่งสัญญาณภาพและเสียงระหว่าง 4 คู่สาย โดยสามารถติดต่อกันพร้อมกันครั้งละ 2 คู่สาย ผ่านสายเคเบิลแกนร่วมได้
- 2) สามารถรับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียงภายในระยะทาง 100 เมตรได้
- 3) สามารถรับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียงหลายๆ ความถี่ผ่านสายเคเบิลแกนร่วมได้

## 1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาโดยสังเขปของปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำความเป็นมาของปฏิญานิพนธ์ ขีดความสามารถของ โครงการ

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ประกอบด้วยเนื้อหาดังนี้ คือ การมอดูเลต (Modulate) กล้องถ่ายภาพสัญญาณโทรทัศน์ ความคมชัดและแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ของภาพ หลักการส่งโทรทัศน์ สี เครื่องรับโทรทัศน์ สายส่งสัญญาณ เดซิเบลเนเปอร์ (Decibelneper) ค่าคงที่ปฐมภูมิ และค่าคงที่ทุติยภูมิของสายส่งสัญญาณ การสะท้อนกลับของคลื่นภายในสายส่งสัญญาณและ SWR (Standing Wave Ratio) อินพุตอิมพีแดนซ์ สายโคแอกเซียล (Coaxial) การลดทอนของสายภายในสายสัญญาณ อาร์เอฟ คอนเวอร์เตอร์/อาร์เอฟ มอดูเลเตอร์ (RF Converter/RF Modulator) ระบบโทรศัพท์แบบส่งสัญญาณความถี่คู่ (Dual Tone Multifrequency Type : DTMF) และการถอดรหัสสัญญาณความถี่คู่

บทที่ 3 การออกแบบการสร้าง และการทำงาน กล่าวถึงเกี่ยวกับวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงการ ได้แก่ วงจรรับ-ส่งสัญญาณวิดีโอ วงจรปริโมค์ วงจรควบคุมการทำงาน

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง ประกอบด้วย การวัดสัญญาณภาพและเสียงของเครื่องโทรศัพท์ภาพแต่ละเครื่องที่จุดต่างๆ การทดลองวงจรเข้ารหัสและถอดรหัสความถี่โทรศัพท์

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหาแนวทางแก้ไข และพัฒนา ขึ้นสรุปผล ในการจัดทำโครงการ ปัญหาที่เกิดขึ้น และได้เสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหา รวมทั้งแนวทางการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ค วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ง ผังการทำงานและโปรแกรม

ภาคผนวก จ รายการละเอียด และคุณสมบัติอุปกรณ์

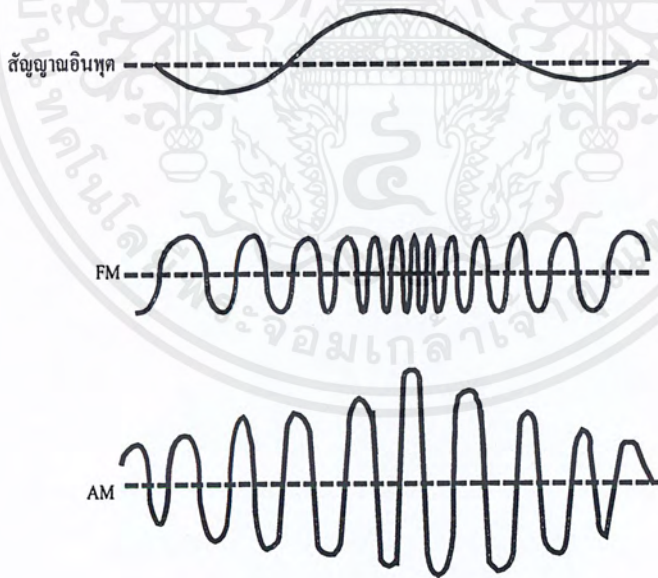
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 การมอดูเลต

การมอดูเลต คือ การฝากข้อมูลข่าวสารไปกับคลื่นพาห์ ซึ่งคลื่นพาห์จะเป็นตัวช่วยนำสัญญาณข้อมูลนั้นผ่านสายอากาศของเครื่องส่งออกอากาศไปยังสายอากาศของเครื่องรับได้ การมอดูเลชันที่นิยมใช้กันอยู่ในระบบวิทยุและโทรทัศน์ทั่วไปนั้น มีอยู่ 2 แบบ คือ AM (Amplitude Modulation) และ FM (Frequency Modulation) ความแตกต่างของกระบวนการมอดูเลชันแบบ AM นั้นเป็นการฝากข้อมูลไปกับขนาดของคลื่นพาห์เป็นการทำให้ขนาดของคลื่นเปลี่ยนแปลงไปตามความแรงของสัญญาณข้อมูล โดยยังรักษาความถี่พาห์นั้นมีค่าคงที่ตลอดเวลา ส่วนกระบวนการมอดูเลชันแบบ FM นั้นเป็นการฝากข้อมูลไปกับความถี่ของคลื่นพาห์ เป็นกระบวนการที่ทำให้ความถี่ของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงไปตามความแรงของสัญญาณข้อมูล โดยยังคงรักษาขนาดของคลื่นพาห์ไว้ให้มีค่าคงที่อยู่เสมอ ดังแสดงในรูป 2.1



รูปที่ 2.1 สัญญาณ FM และ AM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ของกระบวนการมอดูเลชันที่สำคัญ คือ ทำให้เกิดการย้ายสเปกตรัม (Spectrum) ของสัญญาณขึ้น และทำให้สัญญาณข้อมูลถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนภายนอกน้อยลง

การย้ายสเปกตรัมของสัญญาณข้อมูลที่เกิดขึ้นในระบบ AM สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้ คือ สมมติว่าทั้งสัญญาณข้อมูลและคลื่นพาห้เป็นสัญญาณรูปไซน์ทั้งคู่ คือ

$$\text{สัญญาณข้อมูล} : g_m(t) = A \cos(2\pi f_m t) \quad (2.1)$$

$$\text{คลื่นพาห้} : g_c(t) = B \cos(2\pi f_c t) \quad (2.2)$$

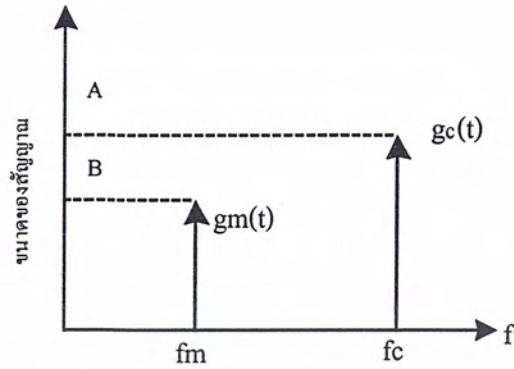
ตามคำจำกัดความของ AM ที่กล่าวมาแล้ว คือ การทำให้ขนาด B ของคลื่นพาห้  $g_c(t)$  เปลี่ยนแปลงไปตามความแรงสัญญาณข้อมูล  $g_m(t)$  กล่าวคือ  $B = k g_m(t)$  เมื่อ k คือ ค่าคงที่ซึ่งเกิดขึ้นโดยกระบวนการมอดูเลชันนั้น ดังนั้น คลื่นที่เกิดขึ้นหลังจากการมอดูเลชันแล้วจะเป็นได้ดังรูปสมการต่อไปนี้ คือ

$$\begin{aligned} g_{AM}(t) &= \{ k g_m(t) \} \cos(2\pi f_c t) \\ &= k A \cos(2\pi f_m t) \cos(2\pi f_c t) \end{aligned} \quad (2.3)$$

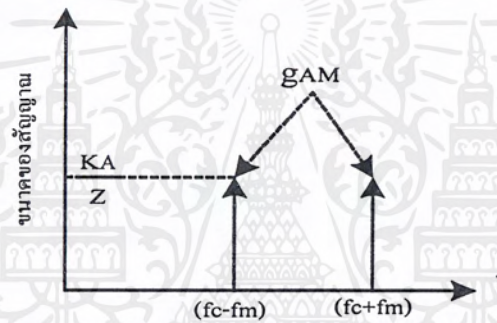
เมื่อใช้ความรู้ทางตรีโกณมิติ คือ  $\cos(x) \cos(y) = \{\cos(x-y) + \cos(x+y)\}/2$  มาช่วยแล้วจะได้

$$g_{AM}(t) = \frac{kA}{2} \cos\{2\pi(f_c - f_m)t\} + \frac{kA}{2} \cos\{2\pi(f_c + f_m)t\} \quad (2.4)$$

จาก (2.1), (2.2) และ (2.4) จะเห็นว่า เดิมทีสัญญาณข้อมูลมีความถี่  $f_m$  และคลื่นพาห้มีความถี่  $f_c$  แต่เมื่อสัญญาณทั้งสองมอดูเลตกันแล้ว จะได้สัญญาณ  $g_m(t)$  ออกมา โดยมีความถี่เกิดขึ้นใหม่ 2 ความถี่ คือ  $(f_c - f_m)$  และ  $(f_c + f_m)$  ดังนั้น ถ้าเราเขียนสเปกตรัมก่อนและหลังการมอดูเลชันนั้น จะแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสเปกตรัมของสัญญาณข้อมูล  $g_m(t)$  ถูกย้ายจากความถี่  $f_m$  ไปอยู่ที่ความถี่  $(f_c - f_m)$  และ  $(f_c + f_m)$



(ก) สเปกตรัมของสัญญาณก่อนทำการมอดูเลชัน



(ข) สเปกตรัมของสัญญาณหลังการมอดูเลชัน

รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของสัญญาณก่อนและหลังการมอดูเลชัน

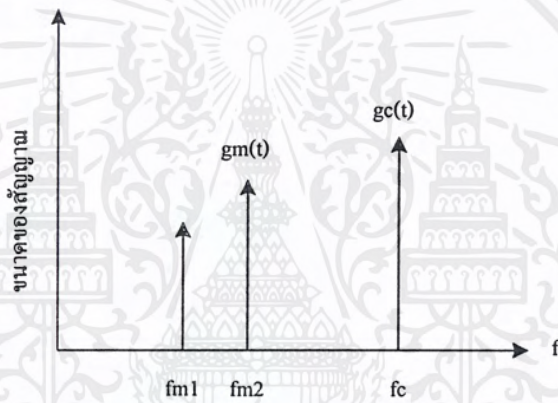
ต่อไปถ้าสมมติว่า สัญญาณ  $g_m(t)$  มีส่วนประกอบของสัญญาณเพิ่มขึ้นอีกเป็น 2 ความถี่ คือ  $f_{m1}$  และ  $f_{m2}$  ตามสเปกตรัมที่แสดงในรูปที่ 2.3 (ก) กล่าวคือ

$$g_m(t) = A_1 \cos(2\pi f_{m1}t) + A_2 \cos(2\pi f_{m2}t) \quad (2.5)$$

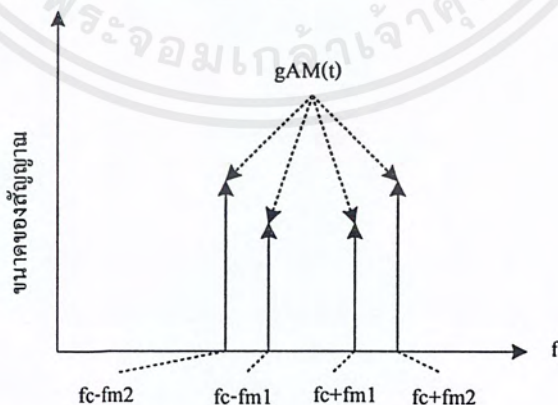
โดยทั่วไปสัญญาณข้อมูลจะประกอบขึ้นมาจากสัญญาณรูปไซน์ที่มีความแตกต่างมากมาย ดังนั้นสมมติว่า สัญญาณข้อมูล  $g_m(t)$  มีสเปกตรัมดังแสดงใน รูปที่ 2.3 (ค) แล้วสัญญาณ  $g_{AM}(t)$  ที่เกิดจากการมอดูเลชัน  $g_m(t)$  เข้ากับคลื่นพาห์  $g_c(t)$  จะมีสเปกตรัมออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ง) เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าในระบบ AM นั้น สเปกตรัมของสัญญาณที่เกิดขึ้นภายหลังจากการมอดูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วจะมีเป็นกลุ่ม กลุ่มหนึ่งจะเกิดขึ้นในย่านความถี่ที่สูงกว่าความถี่ของคลื่นพาห้  $f_c$  และมีลักษณะของสเปกตรัมเหมือนสเปกตรัมของสัญญาณเดิมทุกประการ สัญญาณกลุ่มนี้มีชื่อเรียกเฉพาะว่า สัญญาณอัพเปอร์ไซด์แบนด์ (Upper Side Band) ส่วนสัญญาณอีกกลุ่มหนึ่งเกิดขึ้นในย่านความถี่ซึ่งต่ำกว่าความถี่  $f_c$  จะมีลักษณะของสเปกตรัมเหมือนกับเงาสสะท้อนของอัพเปอร์ไซด์แบนด์ สมมาตรกัน โดยเสมือนมีระนาบความถี่  $f_c$  เป็นแนวอ้างอิงของกลุ่มสัญญาณกลุ่มนี้มีชื่อว่า โลเวอร์ไซด์แบนด์ (Lower Side Band) ขอให้สังเกตว่า การมอดูเลชันแบบนี้จะไม่มีคลื่นความถี่พาห้ที่ความถี่  $f_c$  ปรากฏออกมาในสเปกตรัมเสมือนกับว่า การมอดูเลชันแบบนี้ได้ทำการกดคลื่นพาห้ให้หายไป ดังนั้นการมอดูเลชันแบบนี้จึงมีชื่อเรียกโดยเฉพาะลงไปอีกว่า AM – Double Side Band – Suppressed Carrier (AM – DSB-SC)



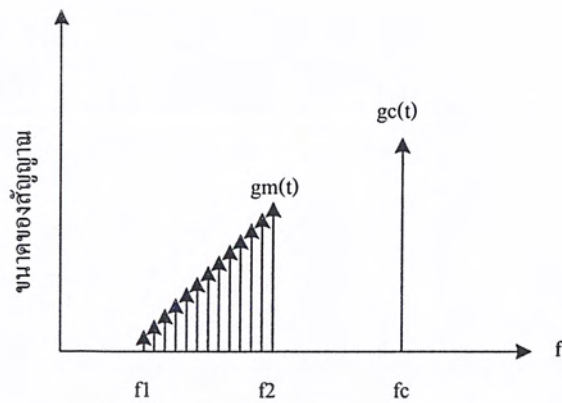
(ก) สเปกตรัมของสัญญาณก่อนทำการมอดูเลชัน



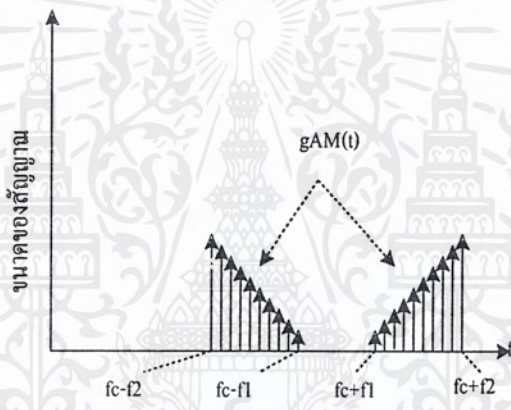
(ข) สเปกตรัมของสัญญาณหลังทำการมอดูเลชัน

### รูปที่ 2.3 สเปกตรัมของสัญญาณที่เกิดจากการมอดูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สเปกตรัมของสัญญาณก่อนทำการมอดูเลชัน



(ข) สเปกตรัมของสัญญาณที่เกิดจากการมอดูเลชัน

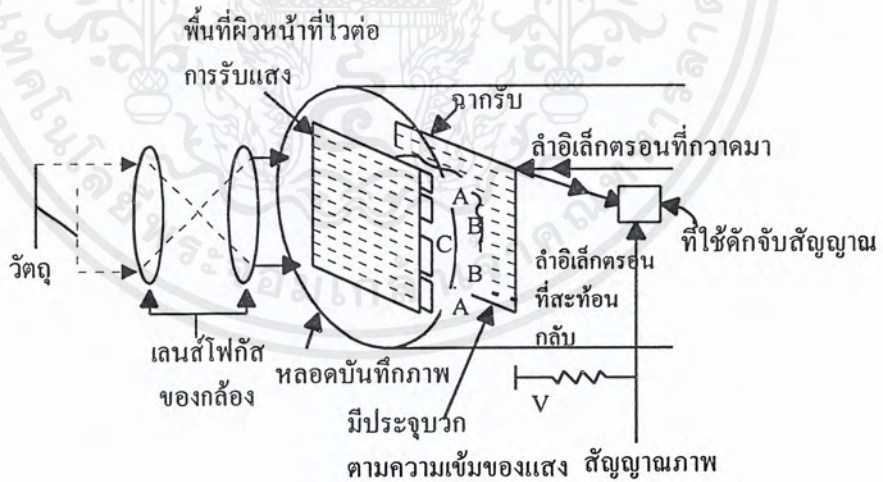
รูปที่ 2.3 (ต่อ) สเปกตรัมของสัญญาณที่เกิดจากการมอดูเลชัน

เป็นที่น่าสังเกตว่า AM-DSB-SC นั้นทำให้เกิดการกระจายสเปกตรัมเป็นสองไซด์แบนด์นั้นต่างก็มีข้อมูลของสัญญาณอินพุตอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นเพื่อให้เกิดการสงวนย่านความถี่การใช้งานภายในตัวกลางไว้จึงเกิดการส่งสัญญาณ AM นี้ออกไปเพียงไซด์แบนด์เดียว โดยใช้ฟิลเตอร์กรองสัญญาณในแบนด์ที่ไม่ต้องการทิ้งออกไปสัญญาณ AM ที่มีไซด์แบนด์ข้างเดียวนี้มีชื่อว่า ซิงเกิลไซด์แบนด์ (Single Side Band) ซึ่งเขียนย่อๆ ว่า SSB, SSB นั้นมีประโยชน์มากในการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 กล้องถ่ายภาพสัญญาณโทรทัศน

รูปที่ 2.4 จะช่วยแสดงให้เห็นว่ากล้องถ่ายภาพโทรทัศนนั้น มีหลักการทำงานอย่างไร ในรูปนี้สมมติว่ากำลังถ่ายภาพตัวอักษร H อยู่ เลนส์หน้ากล้องถ่ายภาพจะทำการโฟกัสภาพของตัวอักษร H ลงบนหน้าจอของหลอดเก็บภาพ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว ข้างหลังของจอหลอดเก็บภาพนี้จะฉาบด้วยสารที่มีความไวต่อแสงอยู่ภายในหลอดเก็บภาพซึ่งเป็น สูญญากาศ ภายในหลอดเก็บภาพนี้จะควบคุมลำอิเล็กตรอนให้กวาดผ่านไปบนสารไวแสงซึ่งฉาบอยู่ กระแสที่เกิดจากลำอิเล็กตรอนนี้จะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับปริมาณของแสงบนจอหลอดภาพนั้น ทั้งนี้เนื่องจากว่ามีแสงมากระทบสารไวแสงที่ฉาบอยู่หลังจอก็จะทำให้เกิดมีอิเล็กตรอนกระเด็นออกไปจากบริเวณที่แสงตกกระทบนั้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของแสง ดังนั้น เมื่อมีการควบคุมให้ลำอิเล็กตรอนกวาดผ่านจอของหลอดภาพจากซ้ายไปขวาในแนวนอน พร้อมกับการกวาดเคลื่อนลงเบื้องต่ำอย่างช้าๆ นั้น ถ้าลำอิเล็กตรอนกวาดไปกระทบกับส่วนของสารไวแสง ที่ไม่มีอิเล็กตรอนกระเด็นหลุดออกมาปริมาณของอิเล็กตรอนในลำอิเล็กตรอนก็จะสะท้อนกลับออกมาสู่ส่วนที่ใช้เป็นที่ดักจับสัญญาณได้ทั้งหมด แต่ถ้าลำอิเล็กตรอนกวาดไปกระทบส่วนของสารไวแสงซึ่งมีอิเล็กตรอนกระเด็นหลุดไปบ้าง ก็จะทำให้ปริมาณของอิเล็กตรอนมีการสะท้อนออกไปยังส่วนที่ใช้ดักจับสัญญาณได้น้อยลง



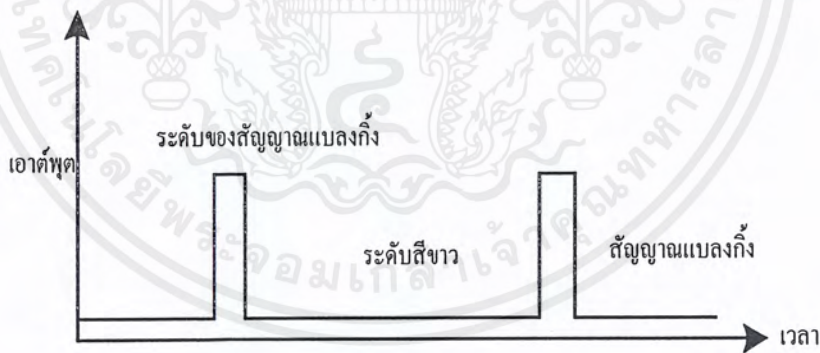
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงภาพเป็นสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น จะพบว่าในส่วนของภาพที่สว่างมากจะมีกระแสที่ตรวจจับออกมาได้น้อย แต่ ส่วนของภาพที่มีมืดกลับทำให้กระแสจากส่วนที่ใช้ตรวจจับออกมาได้มาก กระแสซึ่งตรวจจับออกมา ได้นี้จะถูกนำมาแปลงเป็นสัญญาณแรงดัน เพื่อนำไปใช้เอาต์พุตของหลอดภาพ

ในการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้น จะกวาดจากส่วนซ้ายสุดของขอบจอไปยังส่วนขวาสุด ของขอบจอแล้วลำอิเล็กตรอนจะกวาดสะบัดกลับไปยังส่วนซ้ายสุดของขอบจออย่างรวดเร็ว เมื่อ เทียบกับความเร็วในการกวาดจากซ้ายไปขวาช่วงการกวาดสะบัดกลับนี้มีชื่อเรียกว่า ฟลายแบค (Fly Back) หลังจากช่วงฟลายแบคแล้ว ลำอิเล็กตรอนก็จะเริ่มกวาดจากส่วนซ้ายสุดของขอบจอไปยัง ส่วนขวาสุดของขอบจออีก แต่ว่าจะกวาดในแนวที่ต่ำลงมากกว่าแนวในการกวาดครั้งก่อน เป็นเช่น นี้เรื่อยๆ ซ้ำแล้วซ้ำอีกจนถึงส่วนที่เป็นขอบล่างของจอก็เป็นอันว่าจะได้สัญญาณภาพออกมาหนึ่งชุด หลังจากนั้นก็จะมีการสะบัดกลับของอิเล็กตรอนจากขอบล่างขึ้นไปที่ยอบบนของจอของหลอดภาพ ใหม่ จะทำการเริ่มเก็บสัญญาณภาพชุดใหม่อีกเช่นนี้เรื่อยไป

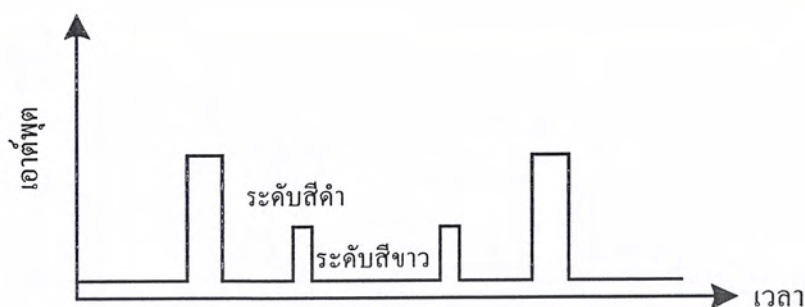
อย่างไรก็ดี ในช่วงเวลาของการฟลายแบคหรือการสะบัดกลับของอิเล็กตรอนจากขอบซ้าย ไปขอบขวาของจอ และจากขอบล่างของหลอดจอไปยังขอบบนจะมีการยกเว้นที่จะทำการตรวจจับ เอาสัญญาณภาพออกมา และจะมีการควบคุมบังคับ ทำให้ค่าเอาต์พุตของสัญญาณในช่วงเวลานี้มีค่า สูงสุด ทั้งนี้โดยเหตุผลเพราะต้องการที่จะใช้สัญญาณในช่วงเวลานี้เป็นส่วนอ้างอิงเพื่อที่จะให้รู้ว่า



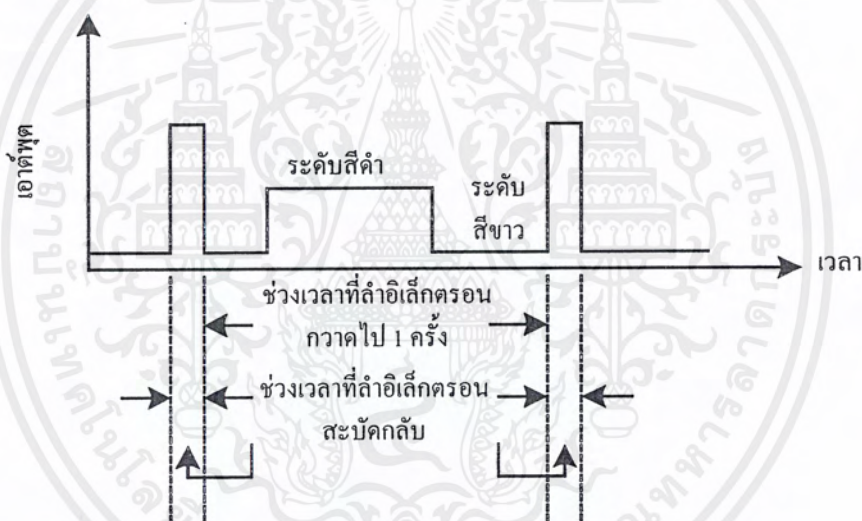
(ก) การกวาดของลำอิเล็กตรอน

รูปที่ 2.5 สัญญาณภาพที่เกิดจากส่วนต่างๆ ของภาพตามรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) สัญญาณที่ได้จากการกวาดของลำอิเล็กตรอน



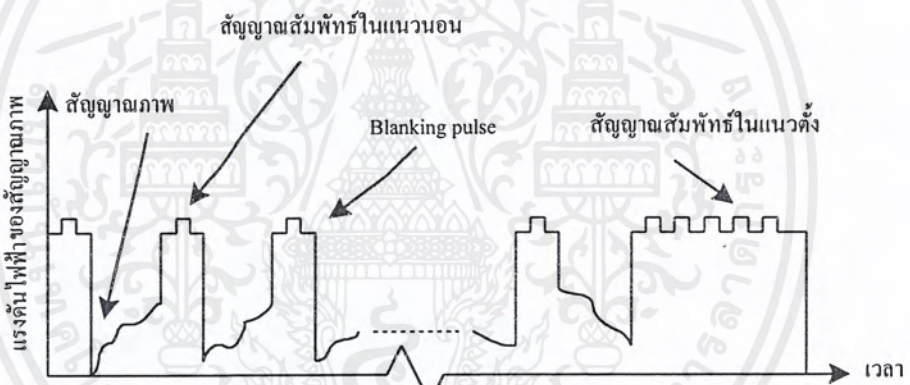
(ค) สัญญาณภาพที่ได้จากการกวาดของลำอิเล็กตรอนหลายๆ ครั้ง

## รูปที่ 2.5 (ต่อ) สัญญาณภาพที่เกิดจากส่วนต่างๆ ของภาพตามรูปที่ 2.4

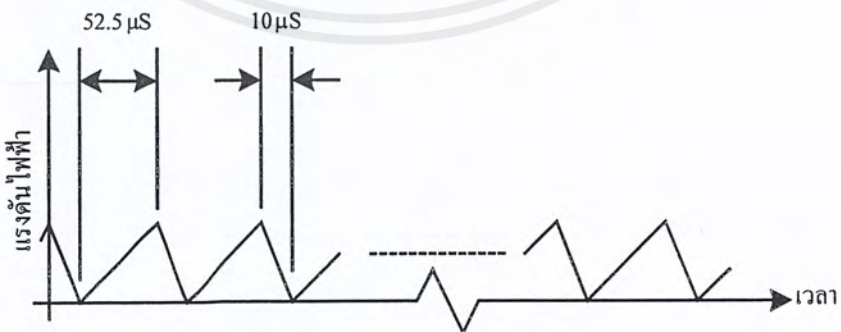
การเก็บภาพในแนวนั้นได้สิ้นสุดไปแล้วตรงจุดนั้น และจะใช้ระดับเอาต์พุตที่สูงสุดที่มีอยู่เพื่อเป็นระดับเปรียบเทียบว่าส่วนที่มีคี่ที่สุดแล้วตรงจุดนั้นอยู่ระดับใด สัญญาณส่วนนี้มีชื่อว่า สัญญาณแบลนกกิง หรือแบลนกกิงพัลส์ (Blanking Pulse) ซึ่งหมายถึงพัลส์ที่ทำให้สัญญาณภาพว่างไป ดังนั้นถ้าเราพิจารณาถึงสัญญาณภาพที่เกิดขึ้นจากภาพที่ตามรูปที่ 2.4 โดยอาศัยตามคำอธิบาย ดังกล่าวมาแล้วนี้ก็จะเห็นได้ว่า สัญญาณโวลต์แดงที่ปรากฏออกมาโดยการกวาดของลำอิเล็กตรอนในบริเวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่สูงที่สุด คือ บริเวณ A ดังแสดงในรูปที่ 2.4 นั้น จะมีลักษณะดังแสดงในสมการ 2.5 (ก) ครั้นเมื่อลำอิเล็กตรอนทำการกวาดต่อไปจนถึงส่วนบนของตัวอักษร H คือ บริเวณ B ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ก็จะเกิดมีสัญญาณภาพปรากฏออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ข) ทั้งนี้ เพราะส่วนที่เป็นขาของตัวอักษร H จะมีความต่ำกว่าบริเวณส่วนที่เป็นพื้นหลังภาพ ดังนั้น บริเวณส่วนขาของ H ซึ่งมีอยู่สองข้างจะให้ค่าความแรงของระดับสัญญาณเอาต์พุตออกมามากกว่าค่าของสัญญาณที่เกิดจากบริเวณซึ่งเป็นพื้นหลังของภาพ สัญญาณภาพในการกวาดลำอิเล็กตรอนแต่ละครั้งจะเกิดขึ้นซ้ำเช่นนี้เรื่อยๆ ลงมาจนกระทั่งลำอิเล็กตรอนได้กวาดมาถึงบริเวณกลางตัวอักษร H คือ ในบริเวณระดับ C ที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 ในบริเวณนี้ภาพจะมีลักษณะที่บอกระหว่างขาทั้งสองข้างของตัวอักษร H ดังนั้น สัญญาณภาพที่ได้ออกมาจึงมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ค) จากนั้นสัญญาณภาพก็จะเกิดคล้ายๆ กับที่เกิดขึ้นแล้วในส่วนบนของภาพ กล่าวคือสัญญาณที่เกิดจากส่วนบริเวณ B และ A ส่วนบนของภาพทุกประการ



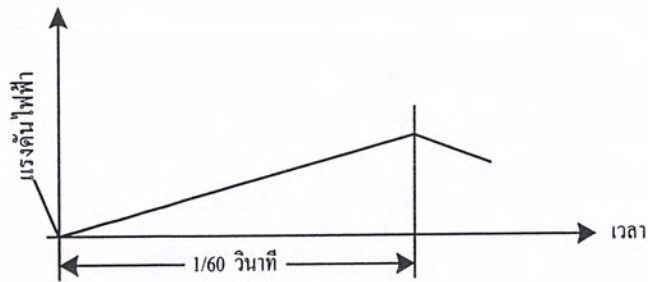
(ก) สัญญาณภาพที่ประกอบด้วยเบลงกิ่งพัลส์ และสัญญาณสัมพันธ์



(ข) สัญญาณควบคุมการกวาดของอิเล็กตรอน

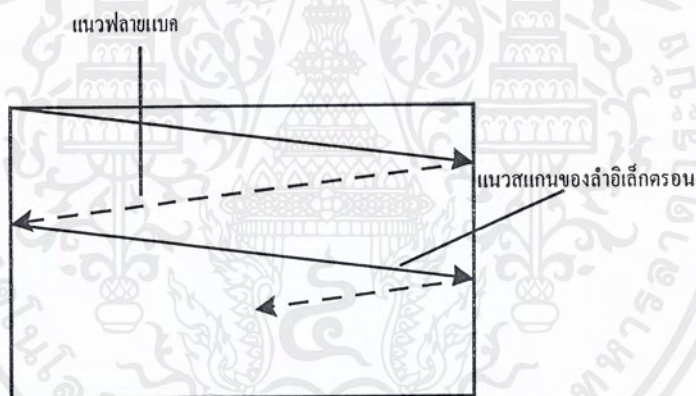
### รูปที่ 2.6 สัญญาณภาพและสัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนในแนวตั้ง

รูปที่ 2.6 (ต่อ) สัญญาณภาพและสัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอน



รูปที่ 2.7 ลักษณะการกวาดของอิเล็กตรอนที่ถูกควบคุมโดยสัญญาณการกวาดที่มีลักษณะเป็นรูปฟันเลื่อย

การที่จะให้เครื่องรับโทรทัศน์สร้างภาพจากสัญญาณภาพได้อย่างถูกต้องนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีส่วนของสัญญาณ ในสัญญาณภาพที่จะใช้เป็นส่วนอ้างอิงคอยกระตุ้นให้เครื่องรับจัดภาพได้อย่างถูกต้อง โดยส่วนของสัญญาณดังกล่าวนั้นจะทำหน้าที่อ้างอิงให้เครื่องรับโทรทัศน์ทำการจัดภาพให้สอดคล้องหรือสัมพันธ์ (Synchronize) กับเครื่องส่ง ส่วนของสัญญาณนี้มีชื่อว่า สัญญาณสัมพันธ์ (Synchronization Signal) สัญญาณสัมพันธ์นี้มีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมเข้าไปบนสัญญาณภาพในช่วงเวลาฟลายแบค ตัวอย่างของสัญญาณภาพชุดหนึ่งที่สมบูรณ์แบบมีลักษณะคล้ายรูปที่ 2.6 (ก) สำหรับในการปฏิบัติจริง แนวการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้นไม่ได้กวาดอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวนอนพอดี ดังอธิบายมาแล้วตามรูปที่ 2.4 แต่จะมีลักษณะกวาดทะแยงขนานกันลงมา ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการสร้างสัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้น กล่าวคือ ทำให้สามารถใช้สัญญาณในลักษณะฟันเลื่อย 2 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ข) และ 2.6 (ค) มาควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอน

### 2.3 ความคมชัดและแบนด์วิธของสัญญาณภาพ

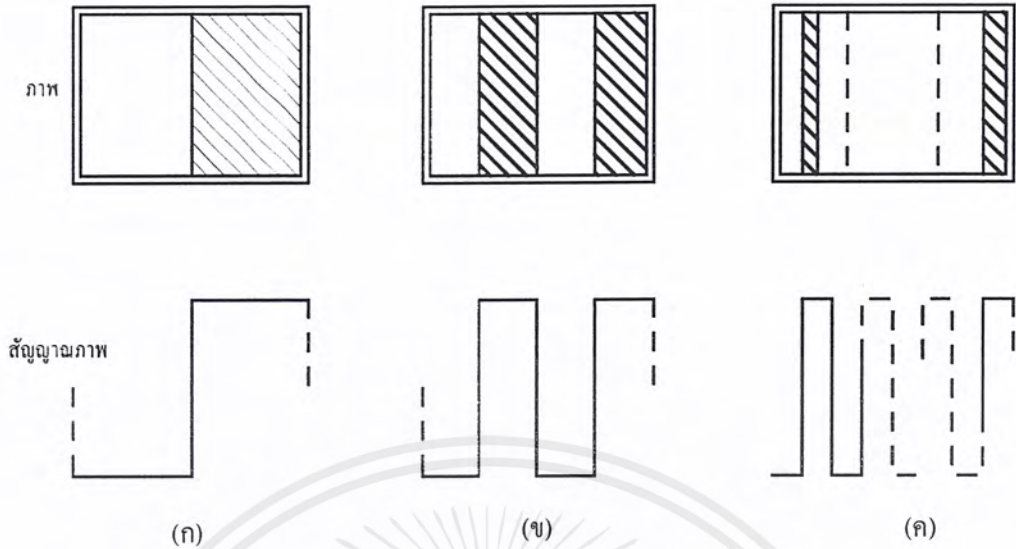
ความคมชัด ของภาพเป็นตัวการสำคัญที่จะกำหนดแบนด์วิธของสัญญาณภาพ ทั้งนี้เพราะภาพที่มีความคมชัดมากๆ นั้นย่อมจะให้รายละเอียดของภาพได้มากซึ่งก็หมายความว่า จะมีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับรายละเอียดในสัญญาณภาพนั้นเกิดขึ้นมาก เพื่อความกระชับในเรื่องนี้ขอให้พิจารณาการเกิดสัญญาณภาพต่างๆ ในรูปที่ 2.8 สำหรับรูปที่ 2.8 (ก) มีแถบขาว-ดำอยู่อย่างละครึ่ง ดังนั้นสัญญาณภาพจะมีการเปลี่ยนแปลงหนึ่งรอบต่อหนึ่งของการกวาดอิเล็กตรอนจากขอบซ้ายไปยังขอบขวาของภาพและสำหรับภาพ 2.8 (ข) นั้นมีแถบขาว-ดำอยู่ 2 คู่ ดังนั้นทุกๆ ครั้งของการกวาดของลำอิเล็กตรอนจะมีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพเกิดขึ้น 2 รอบ และย่อมเป็นการกวาดของลำอิเล็กตรอนหนึ่งครั้งจะมีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพเกิดขึ้น  $n$  รอบ

จะเห็นได้ว่าเมื่อภาพมีรายละเอียดเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพก็จะมีมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าสัญญาณนี้ถูกจำกัดโดยให้มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดได้เพียง  $m$  รอบต่อการกวาดของลำอิเล็กตรอน 1 ครั้ง นั่นก็หมายความว่า ความคมชัดของสัญญาณนั้นมีอยู่เทียบเท่ากับมีแถบขาว-ดำอยู่  $m$  คู่ หรือ  $2m$  แถบเท่านั้น ดังนั้นถ้าสมมติว่า ภาพจริงเกิดมีรายละเอียดมากกว่า  $2m$  แถบ ก็ลองก็ไม่สามารถแยกรายละเอียดได้มากกว่านี้ เนื่องจากขีดจำกัดของสัญญาณที่มีอยู่ดังกล่าวมาแล้วในกรณีเช่นนี้เรากล่าวว่าความคมชัดของสัญญาณภาพมีค่าเท่ากับ  $2m$  pels พิกเจอร์อิลิเมนต์ (Picture Elements) ต่อหนึ่งเส้นสแกน (Scanning Line) ของลำอิเล็กตรอน คำว่า พิกเจอร์อิลิเมนต์ หมายถึง ส่วนประกอบของภาพเล็กที่สุดที่สัญญาณภาพนั้นสามารถแยกแยะรายละเอียดออกได้

ปกติแล้ว อัตราส่วนของความกว้างต่อความสูงของจอโทรทัศน์จะมีค่าเท่ากับ 4:3 เราเรียก "Aspect Ratio" ดังนั้นถ้าความคมชัดของสัญญาณภาพในแนวนอนมีค่าเท่ากับ  $2m$  pels จำนวนเส้นสแกนของ ลำอิเล็กตรอนทั้งหมดก็ควรจะมีอย่างน้อยเท่ากับ  $2m \times 3/4 = 3m/2$  เส้น ซึ่งจะ ทำให้เกิดความคมชัด หรือรายละเอียดของภาพทั้งหมดเท่ากับ  $2m \times 3m/2 = 3m^2$  pels

การส่งสัญญาณโทรทัศน์ทั่วไปนั้น จะมีอัตราการส่งภาพ 25 ภาพต่อวินาที และสำหรับโทรทัศน์ระบบ PAL ซึ่งใช้ในประเทศไทยเราใช้จำนวนเส้นสแกน 625 เส้นต่อหนึ่งภาพ ซึ่งก็หมายความว่า ความคมชัดหรือความละเอียดภาพในแนวตั้งอาจทำให้มีมากถึง 620 pels

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ความคมชัดของสัญญาณภาพ

แต่ความจริงแล้ว เส้นสแกนมีลักษณะเฉียงลงตามอธิบายในรูปที่ 2.8 จึงทำให้รายละเอียดภาพลดลงไปอีก จะเหลืออยู่ประมาณ 450 pels ในแนวตั้ง ซึ่งหมายความว่าความคมชัดในแนวนอนจะมีค่าประมาณ 600 pels ( $450 \times 4.3$ ) ซึ่งเทียบได้ว่าภาพสร้างแถบขาว-ดำได้ 600 แถบ หรือ 300 คู่ เป็นอย่างมาก มีความหมายอีกนัยหนึ่งก็คือ การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพที่จะเกิดขึ้นได้อย่างมากที่สุด 300 รอบ ใน 1 เส้นสแกน ดังนั้น ใน 1 วินาที ส่วนประกอบของสัญญาณที่ละเอียดที่สุดจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นได้เท่ากับ  $300 \times 625 \times 25 = 4,687,500$  รอบ ซึ่งกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าความถี่สูงสุดที่มาประกอบเป็นสัญญาณภาพนั้นจะมีค่าเท่ากับ 4.6875 MHz นั่นคือแบนด์วิดท์ของสัญญาณภาพจะมีค่าสูงมาก เท่ากับประมาณ 4.7 MHz

## 2.4 หลักการส่งสัญญาณโทรทัศน์สี

โดยอาศัยความรู้ที่ว่า แม่สีของแสงนั้นมีเพียง 3 สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน ดังนั้น ถ้าแยกส่วนประกอบของแสงที่เป็นแสงแม่สีนี้ออกมา โดยใช้ฟิลเตอร์กรองแยกแสงที่เป็น แม่สีทั้ง 3 หลอด ที่มีความไวเฉพาะต่อแสงที่เป็นแสงแม่สีทั้ง 3 มาบันทึกภาพแล้ว เราจะได้สัญญาณภาพที่เกิดจากส่วนประกอบของแสงที่เป็นแม่สีทั้ง 3 นั้น ออกเป็น 3 ชุด และโดยการอาศัยวงจรเมตริกซ์สี (Color Matrix) จะทำให้เราสามารถส่งสัญญาณเอาต์พุตจากหลอดบันทึกภาพทั้ง 3 นี้ ออกไปพร้อมๆ กันได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

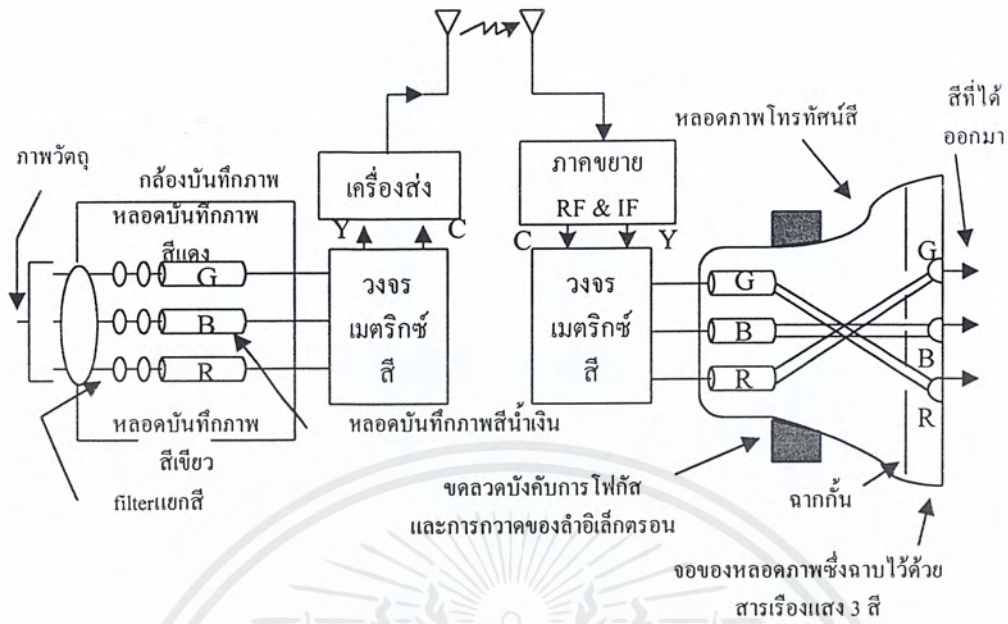
เมื่อสัญญาณภาพสีถูกส่งไปเครื่องรับ เครื่องรับจะมีวงจรเมตริกซ์ที่ใช้แยกสัญญาณภาพที่เกิดจากสัญญาณที่เกิดจากแม่สีทั้ง 3 นั้น ออกไปยังปืนอิเล็กตรอน (Electron Gun) แต่ละตัวในหลอดภาพของเครื่องรับ ปืนอิเล็กตรอนทั้ง 3 ตัวนี้ จะมีแนวการยิงของอิเล็กตรอนที่ถูกบังคับให้พุ่งออกไปยังหน้าจอของหลอดภาพเฉพาะตรงตำแหน่งที่มีสารเรืองแสงสีเดียวกันกับสัญญาณสีนั้น ฉาบอยู่พอดี ทำให้แสงที่เรืองออกมามีสีเดียวกับแสงสีเดิม และความสว่างเป็นไปตามความแรงของกระแสสัญญาณในลำอิเล็กตรอนนั้น แต่เนื่องจาก สารเรืองแสงที่ฉาบอยู่บนจอหลอดภาพนี้มีลักษณะเป็นจุด หรือเป็นแถบเล็กๆ ที่อยู่ชิดกันมาก ดังนั้นเมื่อมันต่างเรืองแสงขึ้นมาพร้อมๆ กัน แล้วก็เสมือนกับว่า มีการผสมสีของแสงทั้ง 3 สีขึ้น และจะพอดีได้เป็นแสงสีต่างๆ เหมือนกับแสงสีของเดิมที่ได้ทำการถ่ายสัญญาณภาพนั้นออกมา

พลังงานแสงสว่างตามธรรมชาติที่มีอยู่นั้น สามารถจะแยกออกเป็นพลังงานของแสงที่เป็นแม่สีเป็นสัดส่วนได้ดังนี้ คือ

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (2.6)$$

โดยในที่นี้ Y คือค่าพลังงานของ สัญญาณส่องสว่าง (Luminance Signal) R, G และ B คือค่าพลังงานของแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินตามลำดับ อธิบายดังสมการ 2.6 ได้ว่า เมื่อนำแสงสีแดงที่มีพลังงาน 0.3 ส่วน แสงสีเขียว 0.59 ส่วน และแสงสีน้ำเงินที่พลังงาน 0.11 ส่วน มาผสมรวมกันแล้วจะได้เป็นแสงสีขาวที่มีพลังงาน 1 ส่วนซึ่งจะกล่าวให้ถูกต้องแล้ว Y เป็นระดับของความสว่าง-มืดของภาพไม่ใช่สีขาว-ดำ ดังนั้นสัญญาณ Y จะมีความสำคัญอย่างยิ่งในการเก็บข้อมูลรายละเอียดของภาพสำคัญมากกว่าสัญญาณ R, G และ B ทั้งนี้เพราะพิกเจอร์อิลิเมนต์มีขนาดเล็กมากพอสมควรถึงแม้ว่ามันจะมีที่อยู่โดยธรรมชาติแต่ประสาทตาคนนั้นก็ จะไม่มีความสามารถที่จะแยกความรู้สึกได้เพียงว่า พิกเจอร์อิลิเมนต์นั้นมีความสว่างออกมามากหรือน้อยเท่านั้น

ดังนั้นในทางปฏิบัติ การส่งสัญญาณภาพนั้นจึงเลือกใช้สัญญาณ Y เป็นสัญญาณหลักที่ใช้ส่งไปพร้อมกับสัญญาณ R-Y และ B-Y ซึ่งเป็นสัญญาณรอง โดยใช้วงจรเมตริกซ์เป็นตัวจัดการเกี่ยวกับการรวมส่งสัญญาณเหล่านั้น ซึ่งกระบวนการนั้นสัญญาณ R-Y และ B-Y จะถูกมอดูเลตกับคลื่นพาห้ร่องความถี่ 4.43Mhz ที่มีความต่างเฟสกัน 90° สองคลื่น จากนั้นจึงเอาสัญญาณที่ได้นี้มารวมกันเข้าเป็นสัญญาณใหม่เรียกว่า สัญญาณสี (Chrominance Signal) และจะนำสัญญาณสีที่ได้นี้มารวมกับสัญญาณ Y เกิดเป็นสัญญาณสี (Video Color Signal) เพื่อเตรียมไว้ใช้กับสัญญาณเสียงในการสร้างเป็นสัญญาณโทรทัศน์ที่จะนำไปมอดูเลตกับคลื่นพาห้ที่จะส่งออกอากาศต่อไปในที่สุด



รูปที่ 2.9 หลักการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์สี

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้สามารถแยกสัญญาณเสียงออกจากสัญญาณภาพสีทางด้านเครื่องรับได้ จึงทำให้ต้องมีการมอดูเลตสัญญาณเสียงออกจากสัญญาณสีทางด้านเครื่องรับได้ จึงทำให้ต้องมีการมอดูเลตสัญญาณเสียงกับคลื่นพาห้ร่องความถี่ 6 MHz ในระบบ FM ก่อนที่จะนำไปรวมกับสัญญาณภาพสีนั้น

เมื่อเครื่องรับทำการรับสัญญาณโทรทัศน์และดีมอดูเลต เอาสัญญาณ Y, R-Y, และ B-Y ออกมาได้แล้วต่อไปก็จะเป็นหน้าที่ของวงจรมetriks์สี ทางด้านเครื่องรับที่จะทำการสร้างสัญญาณ G-Y ขึ้นมา โดยอาศัยสมการ 2.5 จะได้ว่า

$$G - Y = -0.3R + 0.41G - 0.11B \tag{2.7}$$

ซึ่งเมื่อจัดเทอมแล้วจะได้เป็น

$$G - Y = -0.51(R - Y) - 0.19 (B - Y) \tag{2.8}$$

เพราะฉะนั้นจะเห็นได้จาก (2.7), (2.8) ว่าสัญญาณ G-Y สามารถสร้างขึ้นได้จาก สัญญาณ R - Y และ B - Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเรานำสัญญาณ R-Y, B-Y และ G-Y แต่ละตัวนี้ไปรวมกับสัญญาณ Y ก็จะได้สัญญาณของแม่สีทั้ง 3 สี ออกมาตามเดิม เช่น  $(R-Y)+Y=R$  เป็นต้น

## 2.5 เครื่องรับโทรทัศน์

แผนผังการทำงานของวงจรโทรทัศน์มีแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งแบ่งออกเป็นภาคใหญ่ๆ ที่สำคัญ 5 ภาค คือ

1. ภาคส่วนหน้า (Front End )
2. ภาคขยายสัญญาณและแยกสี (Video Amplifier & Color Separation )
3. ภาควงจรเสียง (Sound Circuit)
4. ภาคควบคุมการกวาดวงจรถองอิเล็กทรอนิกส์ (Deflection Circuit)
5. ภาคแหล่งจ่ายกำลัง (Power Supply)

ภาคส่วนหน้าของเครื่องรับโทรทัศน์จะมีส่วนประกอบ และทำงานคล้ายคลึงกับเครื่องรับวิทยุทั่วไปตามที่ได้อธิบายมาแล้ว ต่างกันที่ความถี่และแบนด์วิดท์ของวงจรที่มากกว่ากัน วงจรดีเทคสัญญาณภาพ (Video Detector) จะทำหน้าที่แยกเอาคลื่นพาห้หลักออกทิ้งไปจากสัญญาณโทรทัศน์ซึ่งรับเข้ามา และสัญญาณเสียงก็จะถูกแยกไปยังภาควงจรเสียงซึ่งจะทำหน้าที่คิมมอดูเลตเอาสัญญาณเสียงออกมาจากคลื่นพาห้รอง 6 MHz และจะทำการขยายเสียงนั้นส่งไปยังลำโพงต่อไปในที่สุดสัญญาณภาพสีที่ถูกแยกแล้วส่งไปยังภาคขยายสัญญาณภาพและแยกสีซึ่งใช้วงจรเมตริกซ์สีทำหน้าที่แยกสี รายละเอียดของวงจรเมตริกซ์นั้นต่างกันไปตามระบบโทรทัศน์ที่ใช้แล้วแต่ว่าจะเป็นระบบ PAL หรือระบบ NTSC หรือระบบ SECAM แต่ทุกระบบจะอาศัยหลักการสร้างสัญญาณ G-Y ขึ้นมาใหม่ ดังที่อธิบายมาในหัวข้อที่แล้ววงจรภาคควบคุมการกวาดอิเล็กทรอนิกส์จะอาศัยสัญญาณสัมผัส ที่มีอยู่ในส่วนของสัญญาณภาพในช่วงฟลายแบคที่อธิบายมาแล้วในหัวข้อ 2.2 มาเป็นสัญญาณอ้างอิงสร้างสัญญาณควบคุมการกวาดอิเล็กทรอนิกส์ในหลอดภาพโทรทัศน์ เพื่อให้ปรากฏเป็นภาพเดิมที่เครื่องส่งมา อีกภาคหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งและขาดเสียไม่ได้คือ ภาคจ่ายกำลัง ภาคนี้จะทำหน้าที่แปลงไฟจาก AC มาเป็น DC สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงวงจรต่างๆ ในเครื่องรับทั้งหมด



## 2.6 สายส่งสัญญาณ

### 2.6.1 เดซิเบลเนเปอร์

เมื่อทำการส่งสัญญาณผ่านสายส่งสัญญาณไป ก็ย่อมจะเกิดการลดทอนสัญญาณนั้นเป็นธรรมดา ดังนั้น เริ่มแรกก่อนที่จะศึกษาถึงเรื่องของสายส่งสัญญาณ ก็ควรจะทำความรู้จักกับหน่วยที่ใช้วัดอัตราการลดทอนไว้

ความแรงของสัญญาณโดยปกติแล้วจะแสดงโดยค่าของแรงดันร่วมกับค่าอิมพีแดนซ์ หรือแสดงโดยค่ากำลังของสัญญาณ เช่น กล่าวว่ สัญญาณมีค่า 100 mV บนค่าความต้านทาน 75 โอห์ม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า สัญญาณมีค่า 0.133 mV เป็นต้น แต่สำหรับกรณีที่จะบอกค่าเป็นอัตราส่วนของสัญญาณ คือ การวัดกำลังขยาย หรือการลดทอนของระบบต่าง ๆ นั้น นิยมที่จะทำการวัดกันในหน่วยของเดซิเบลซึ่งเขียนย่อๆ ว่า dB

$$\text{อัตราส่วนของกำลังสัญญาณ} = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \text{ dB} \quad (2.9)$$

เมื่อ  $P_1$  และ  $P_2$  คือระดับสัญญาณที่จุดสองจุดที่เราต้องการเปรียบเทียบ  
อย่างไรก็ดี ถ้า  $P_1$  นั้นเกิดจากค่าโวลต์เตจ  $V_1$  บนความต้านทาน  $R_1$  และ  $P_2$  เกิดจากค่าโวลต์เตจ  $V_2$  บนค่าความต้านทาน  $R_2$  กล่าวคือ  $P_1 =$  โดยการแทนค่าเหล่านี้ใน (2.9) จะได้

$$\text{อัตราส่วนของกำลังสัญญาณ} = 20 \log \left( \frac{V_1}{V_2} \right) - 10 \log \left( \frac{R_1}{R_2} \right) \text{ dB} \quad (2.10)$$

แต่เมื่อ  $R_1 = R_2$  แล้ว (2.10) จะลดรูปลงเหลือเป็น

$$\text{อัตราส่วนของสัญญาณ} = 20 \log \frac{V_2}{V_1} \text{ dB} \quad (2.11)$$

ข้อดีของการวัดค่าอัตราส่วนของระดับสัญญาณในหน่วยเดซิเบล ก็คือ ทำให้สะดวกในการหาค่ากำลังขยายหรือกำลังลดทอนของระบบที่ประกอบด้วย ระบบย่อยๆ หลายระบบมาเรียงต่อกัน ทั้งนี้เพราะว่าค่ากำลังขยาย หรือกำลังการลดทอนของระบบใหญ่ๆ นั้น สามารถหาได้โดยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าทราบค่ากำลังขยายหรือกำลังการลดทอนของระบบย่อยๆ ทั้งหมดนั้น กล่าวคือ เพียงแต่เอาค่ากำลังขยาย หรือการลดทอนของระบบย่อยๆ เหล่านั้นมารวมกันโดยวิธีทางพีชคณิตธรรมดา จะได้ค่ากำลังขยายหรือการลดทอนของระบบใหญ่นั้นทันที ยกตัวอย่างเช่น ถ้าระบบหนึ่งประกอบด้วยภาคขยายสัญญาณที่มีกำลังขยายเท่ากับ 30 dB ต่อกับสายส่งสัญญาณซึ่งมีความสูญเสีย ภายในสาย 33 dB และที่ปลายทางด้านรับสัญญาณนั้นมีภาคขยายสัญญาณที่มีกำลังขยายเท่ากับ 10 dB ต่ออยู่ภาคหนึ่งแล้ว เราจะสามารถคำนวณได้ทันทีว่ากำลังขยายของระบบเท่ากับ 7 dB (30-33+10) เพราะข้อดีดังกล่าวนี้เอง จึงทำให้การใช้หน่วยเดซิเบลได้ถูกขยายนัยออกไป เพื่อใช้เป็นหน่วยสำหรับวัดค่าระดับกำลังของสัญญาณทั่วไปด้วย ซึ่งกำลังของสัญญาณนั้นอาจจะเป็นกำลังของสัญญาณที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของระบบการสื่อสาร การขยายดังกล่าวนี้ทำได้โดยอาศัยวิธีคิดทำการเปรียบเทียบกำลังของสัญญาณนั้นกับระดับกำลังอ้างอิงค่าใดค่าหนึ่งที่ยอมรับกันอยู่เป็นมาตรฐานสากล ซึ่งระดับการอ้างอิงค่าใดค่าหนึ่งคือ 1 mW และเพื่อให้คนทั่วไปได้รู้ว่า ค่าเดซิเบลที่กำลังใช้กันอยู่นั้น คือ ค่าเดซิเบลที่ได้จากการเปรียบเทียบกำลัง P ระดับกำลังอ้างอิง 1 mW จึงได้ใช้อักษร “m” ห้อยไว้ข้างหลัง dB เป็น dBm ทั้งนี้เพื่อเป็นเครื่องหมายให้รู้ว่าไม่ใช่อัตรากำลังขยาย หรือการลดทอนแต่เป็นค่าของกำลังธรรมดาทั่วไปที่เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง 1 mW

$$\text{ระดับกำลังของสัญญาณ } P = 10 \log \left( \frac{P}{1 \text{ mW}} \right) \text{ dBm} \quad (2.12)$$

จากสมการ (2.12) จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่มีค่า 100 mW บนความต้านทาน 75 โอห์ม หรือมีกำลัง 0.133 mV นั้น เมื่อคิดในหน่วยของ dBm จะมีค่าเท่ากับ -8.76 dBm ส่วนเครื่องหมายลบเป็นสิ่งที่บอกให้รู้ว่าระดับกำลังของสัญญาณนั้นอยู่ต่ำกว่าระดับอ้างอิง 1 mW เท่ากับ 8.76 dB

หน่วยของการวัดค่าลดทอนที่ใช้กันอยู่อีกอย่างหนึ่งคือ เนเปอร์ (Neper) ซึ่งใช้อักษรย่อว่า Nep หรือ Np เนเปอร์เป็นหน่วยที่มีคุณสมบัติคล้ายกับหน่วยเดซิเบล คือเป็นหน่วยที่เกิดจากการคิดค่าล็อก (Logarithm) เหมือนกัน แต่ว่าเนเปอร์นั้นถูกกำหนดขึ้นโดยการใช้ค่าล็อกฐาน e

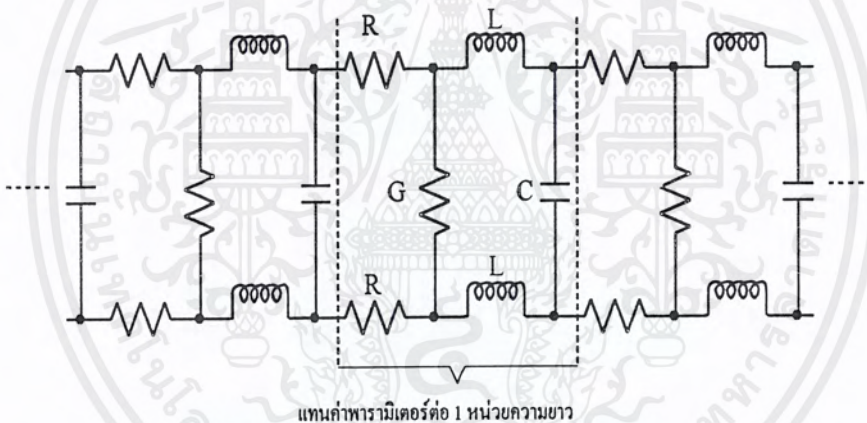
$$\text{อัตราส่วนของกำลังสัญญาณ} = \frac{1}{2} \log_e \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \text{ Nep} \quad (2.13)$$

โดยการเปรียบเทียบ (2.9) กับ (2.13) ทำให้รู้ว่า  $1 \text{ Nep} = 8.686 \text{ dB}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

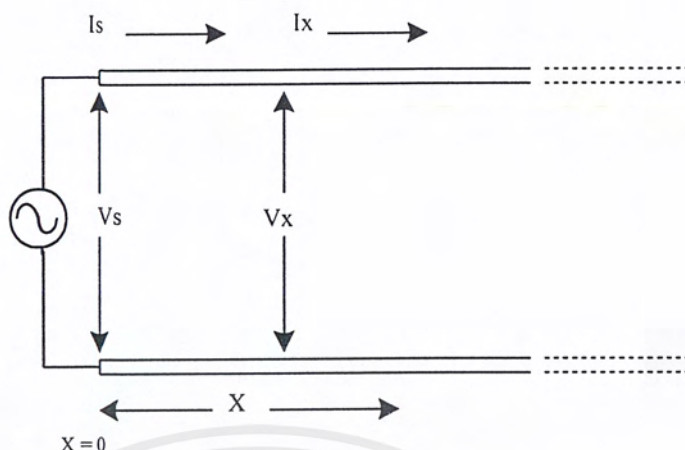
## 2.6.2 ค่าคงที่ปฐมภูมิ และค่าคงที่ทุติยภูมิของสายส่งสัญญาณ

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสายสัญญาณนั้น เนื่องจากสายส่งสัญญาณมีความยาวมากเมื่อคิดเทียบกับความยาวคลื่นของสัญญาณที่ส่งไปในสายนั้น ด้วยเหตุนี้ จึงไม่สามารถใช้ทฤษฎีทางวงจรไฟฟ้าธรรมดาได้ เช่น กฎของโอห์ม กฎของเคอร์ชอฟฟ์ เป็นต้น มาวิเคราะห์สายส่งสัญญาณโดยตรงได้ ทั้งนี้เพราะว่าทฤษฎีวงจรไฟฟ้าเบื้องต้นนั้นมีข้อสมมุติฐานว่า อุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาประกอบเป็นวงจรนั้นจะต้องเป็นลักษณะของอุปกรณ์กลุ่มรวม (Lumped Element) เท่านั้น แต่สำหรับการวิเคราะห์สายส่งสัญญาณนั้น จะต้องคิดว่าสายส่งสัญญาณเป็นอุปกรณ์ชนิดกระจาย (Distributed Element) กล่าวคือ ภายในสายส่งจะมีความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ และความจุไฟฟ้ากระจายอยู่ตลอดสายนั้น ซึ่งเขียนวงจรสมมูลย์แทนสายส่งแล้วจะประมาณเป็นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลย์ของสายส่งสัญญาณ

ในรูปที่ 2.11 นี้ ค่า  $R$ ,  $G$ ,  $L$ , และ  $C$  นั้นเป็นค่าความต้านทาน ความนำ ความเหนี่ยวนำและความจุไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยความยาวของสายตามลำดับค่าต่างๆ เหล่านี้มีชื่อเรียกว่า ค่าคงที่ปฐมภูมิของสายส่งสัญญาณ เนื่องจากมันเป็นค่าเบื้องต้นที่มีอยู่ประจำสายและใช้สำหรับคำนวณหาค่าคงที่อื่นๆ ซึ่งจะบอกคุณสมบัติต่างๆ ของสายส่งสัญญาณ เช่น ค่าคงที่ การลดทอนของสาย เป็นต้น



รูปที่ 2.12 การวิเคราะห์สายส่งสัญญาณ

เมื่อทำการวิเคราะห์สายส่งสัญญาณ โดยสมมติว่าสัญญาณที่ใช้เป็นรูปไซน์และสายส่งสัญญาณนั้นมีความยาวไม่สิ้นสุดตามรูปที่ 2.12 แล้วจะได้รับความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดันและค่าคงที่ต่างๆ ของสายสัญญาณดังนี้คือ

$$V(x) = V_s \cosh(\gamma x) - \frac{V_s}{Z_o} \sinh(\gamma x) \quad (2.14)$$

$$I(x) = I_s \cosh(\gamma x) - \frac{V_s}{Z_o} \sinh(\gamma x) \quad (2.15)$$

โดยที่สัญญาณ :  $x$  คือ ระยะที่วัดจากจุดที่สายส่งสัญญาณต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดสัญญาณมายังจุดที่ต้องการทราบค่าแรงดันและกระแส

$V(x)$  และ  $I(x)$  คือ ค่าเฟสเซอร์ (Phasor) ของแรงดันและกระแสที่ระยะทางหนึ่งๆ

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega)(G + j\omega)} \quad (2.16)$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{R + j\omega}{G + j\omega}} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้  $\omega = 2\pi f$  เมื่อ  $f$  คือ ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุต มีชื่อว่า ค่าคงที่ของการ เคลื่อนที่ของคลื่น (Propagation Constant) และ  $\alpha$  ชื่อว่า ค่าคงที่การลดทอนมีหน่วยเป็นเนเปอร์ต่อหน่วยความยาวสาย ส่วน  $\beta$  ชื่อว่า ค่าคงที่ของการเปลี่ยนเฟส (Phase Constant) มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อหน่วยความยาวของสาย  $\alpha$  นั้นจะเป็นตัวบอกว่า กำลังของคลื่นที่ได้ส่งไปตามสายส่งนั้นถูกลดทอนไปในสายส่งสัญญาณต่อระยะทางมีมากน้อยเท่าใด และ  $\beta$  จะเป็นตัวบอกว่า คลื่นเมื่อเคลื่อนที่ไปในสายส่งสัญญาณแล้ว จะมีค่าเฟสของสัญญาณตามระยะทางต่างๆ เปลี่ยนไปอย่างไร ดังนั้นเมื่อพิจารณาให้ถี่ถ้วนแล้วเห็นว่ามีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น  $\lambda$  ดังต่อไปนี้

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.18)$$

ทั้งนี้เพราะว่า ระยะทางที่ทำให้เกิดคลื่นสัญญาณเปลี่ยนเฟสไปได้  $360^\circ$  หรือ  $2\pi$  นั่นคือความยาวคลื่นนั่นเอง

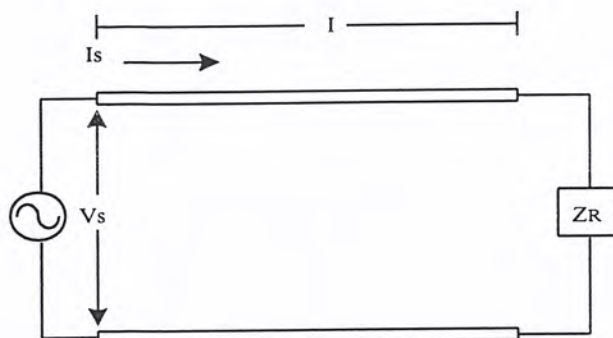
$Z_0$  มีชื่อว่า อิมพีแดนซ์ประจำสาย เป็นค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายเมื่อยาวไม่มีที่สิ้นสุด ค่า  $\gamma, \alpha, \beta$  และ  $Z_0$  นั้นต่างถูกกำหนดว่า คือ ค่าคงที่ทุติยภูมิ ของสายส่งสัญญาณ

### 2.6.3 การสะท้อนกลับของคลื่นภายในสายส่งสัญญาณ และ SWR

ถ้าเราส่งคลื่นไปตามสายที่ยาวไม่สิ้นสุด คลื่นก็ย่อมเคลื่อนที่ตามสายนั้นไปเรื่อยๆ เพื่อที่จะไปสู่ปลายทางอีกข้างหนึ่ง แต่เนื่องจากสายมีความยาวไม่สิ้นสุด คลื่นจึงไม่มีโอกาสจะเคลื่อนที่ไปยังปลายทางได้ เพราะฉะนั้น คลื่นนั้นจึงหมดโอกาสที่จะสะท้อนกลับทวนขึ้นมาตามสายได้อีก แต่เมื่อใดก็ตามที่เราตัดสายให้มีความยาวจำกัด และเอาตัวภาระ (Load)  $Z_R$  ต่อเข้ากับปลายที่ตัดออกนั้น เพื่อใช้เป็นตัวรับสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 2.13 จะพบว่า เมื่อคลื่นเดินทางมาถึง  $Z_R$  แล้วยังคงมีคลื่นบางส่วนสะท้อนกลับในสายได้อีก ซึ่งปริมาณของคลื่นที่สะท้อนกลับไปในสายนี้ จะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ซึ่งกำหนดได้จากค่าของ  $Z_0$  และ  $Z_R$

$Z$  คือ อัตราส่วนของปริมาณสัญญาณโวลต์เตจที่จะสะท้อนกลับไปในสายต่อปริมาณของสัญญาณ โวลต์เตจที่เคลื่อนที่มาถึงตัวภาระนั้น ค่าของ  $Z$  สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ คือ

$$\frac{(Z_R - Z_0)}{(Z_R + Z_0)} \quad (2.19)$$



รูปที่ 2.13 สายส่งสัญญาณที่ต่อกับตัวภาระ  $Z_R$

จาก (2.18) จะพบว่า เมื่อ  $Z_R = Z_0$  นั้น จะไม่มีการสะท้อนคลื่นเกิดขึ้นเลย พลังงานของคลื่นทั้งหมด จะถูกรับเข้าไปในตัวภาระจนหมดคลื่น ที่เป็นเช่นนี้จะอธิบายโดยการใช้เหตุผลว่า ถ้าสายยาวไม่สิ้นสุดแล้ว แม้เราจะตัดสายลงที่ตำแหน่งใดก็ตามส่วนที่เหลือนั้น จะพบว่าค่าอินพุต อิมพีแดนซ์นั้นมีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ประจำสาย  $Z_0$  เสมอไป

เพราะฉะนั้นถ้าตัดสายส่งสัญญาณออก แล้วเอาตัวภาระซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์  $Z_R = Z_0$  ต่อเข้าที่ปลายสายนั้นแล้ว เมื่อเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่มาพบตัวภาระนั้น คลื่นจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในสถานภาพทางไฟฟ้า คลื่นยังเห็นสถานภาพนี้เหมือนกับสถานภาพของสายที่มีความยาวไม่สิ้นสุดอยู่ คลื่นจึงเคลื่อนที่เข้าไปในตัวภาระซึ่งมีค่าเท่ากับ  $Z_0$  นั้น ทั้งหมด โดยไม่มีการสะท้อนกลับไปในสายอีก ซึ่งแปลความอีกนัยหนึ่งว่า พลังงานของคลื่นทั้งหมดจะถูกใช้ในตัวภาระได้อย่างสมบูรณ์นั่นเอง แต่เมื่อใดก็ตามที่ตัวภาระ  $Z_R$  มีค่าแตกต่างออกไปจาก  $Z_0$  แล้ว ก็จะทำให้มีพลังงานของคลื่นบางส่วนสะท้อนกลับไปยัง สายส่งได้อีกเพราะฉะนั้น เมื่อมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ประจำสายส่งสัญญาณที่ใช้

ปรากฏการณ์ที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่เกิดบนสายส่งก็คือ เมื่อ  $Z_R \neq Z_0$  แล้ว คลื่นส่วนที่สะท้อนกลับไปในสายนั้นจะเสริมกัน หรือหักล้างกันกับคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่เข้ามายัง  $Z_R$  ซึ่งขึ้นอยู่กับความต่างเฟสของคลื่นทั้งสองนั้น ทำให้เกิดผลลัพธ์เป็นคลื่นที่มีความแรงมากบ้างตามระยะทางต่างๆ บนสายส่งสัญญาณนั้น ในกรณีที่สัญญาณที่ใช้ส่งอยู่เป็นคลื่นรูปไซน์ ค่าความแรงของคลื่นผลลัพธ์ที่เกิดจากคลื่นทั้งสองนั้นรวมตัวกันตามระยะทางต่างๆ จะมีความแน่นอน และปรากฏขึ้นลงเป็นรูปคลื่นที่เป็นสมการของระยะทาง  $x$  เพียงอย่างเดียว มีความแรงสัญญาณประสิทธิผลไม่ขึ้นอยู่กับเวลา  $t$  รูปคลื่นที่เกิดขึ้น โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปกับเวลานี้ เสมือนกับว่าเป็นค่าที่ยืนอยู่ประจำตำแหน่งต่างๆ บนสายนั้นอยู่ตลอดเวลาจึงได้ชื่อว่า คลื่นสแตนด์เวฟ และในกรณีที่สายส่งสัญญาณมีค่าคงที่การลดทอนสัญญาณที่มากน้อยจนไม่สามารถตัดทิ้งไปได้ หรือ เรียกกันว่า สายที่ปราศจาก

การสูญเสีย นั้น ค่าอัตราส่วนของความแรงของคลื่นบริเวณตำแหน่งที่แรงที่สุดต่อความแรงตรงตำแหน่งที่มีความแรงของคลื่นที่น้อยที่สุด มีชื่อเรียกว่า “Standing Wave Ratio” ซึ่งเขียนย่อๆ ว่า SWR และถ้าหากคลื่นที่ใช้อยู่เป็นสัญญาณโวลต์เตจ เรียกว่า ค่าอัตราส่วนนั้นว่า “Voltage Standing Wave Ratio” ซึ่งเขียนย่อ ๆ ว่า VSWR และมักจะใช้สัญลักษณ์แทนด้วย  $\sigma$  หรืออาจคำนวณได้จาก

$$\sigma = \frac{V_{max}}{V_{min}} \quad (2.20)$$

$$\sigma = \frac{1+|\tau|}{1-|\tau|}$$

ค่า VSWR นี้เป็นพารามิเตอร์ที่เรานิยมใช้เป็นตัวช่วยแสดงให้รู้ว่า ภาวะของการต่อภาระเข้ากับสายส่งสัญญาณนั้น มีผลทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานจากสายไปสู่ตัวภาระได้มากหรือน้อยอย่างไร กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ VSWR เป็นพารามิเตอร์ที่ช่วยแสดงภาวะของตัวภาระว่าจะสามารถรับพลังงานของคลื่นที่ส่งไปตามสายนั้นมาได้มากน้อยเพียงใด ในกรณีที่สายส่งสัญญาณต่อกับภาระได้อย่างสมบูรณ์ (Matching) คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวภาระพอดีกับค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายนั้น  $Z_R = Z_0$  ตาม (2.19) และ (2.20) เราจะพบว่า  $\tau = 0$  และ  $\sigma = 1$  แต่ในกรณีที่การต่อตัวภาระเข้ากับสายขาดการสมดุลกัน กล่าวคือ  $Z_R \neq Z_0$  แล้ว  $\sigma$  จะมีค่ามากกว่า 1 เพราะฉะนั้น VSWR จึงเป็นตัวช่วยแสดงให้เรารู้ถึงสถานะความสมดุลของวงจรหรือระบบอันเกี่ยวเนื่องกับการใช้พลังงานว่า มีความสมดุลดีมากหรือน้อยเพียงไร

รูปที่ 2.14 เป็นรูปที่ช่วยแสดงภาวะการต่อสายอากาศกับสายส่งสัญญาณและค่า VSWR ที่เกิดขึ้นเพื่อประกอบคำอธิบายข้างต้นนั้น

ค่า SWR และปริมาณของพลังงานที่สายส่งสามารถส่งถ่ายพลังงานสัญญาณให้ตัวภาระนำไปใช้งานได้ พร้อมทั้งข้อเสนอนะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องแสดงในตารางที่ 2.1

#### 2.6.4 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณที่ถูกต้องด้วยตัวภาระ

ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา เมื่อนำตัวภาระมาต่อเข้ากับสายส่งสัญญาณและถ้าค่าอิมพีแดนซ์ของตัวภาระนั้นไม่เท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ประจำสาย ก็จะทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นกลับไปในสายอีก ดังนั้น เมื่อมีการสะท้อนของคลื่น ก็ย่อมจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันและกระแสตามตำแหน่งต่างๆ ของสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น ค่าอิมพีแดนซ์ที่ตำแหน่งต่างๆ บนสายส่งสัญญาณก็ย่อมจะมีค่าเปลี่ยนไปต่างๆ เมื่อความยาวของสายเปลี่ยนแปลงไป ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสาย  $Z_i$  เมื่อต่ออยู่กับตัวภาระ  $Z_R$  โดยที่สายความยาว 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.15 สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$Z_i = Z_R \frac{Z_0 + Z_R \tanh(\gamma l)}{Z_0 + Z_R \tanh(\gamma l)} \Omega \quad (2.21)$$

ปกติในการสร้างสายส่งสัญญาณนั้น จะพยายามสร้างให้ได้คุณสมบัติใกล้เคียงกับสายส่งที่ปราศจากการสูญเสีย คือ จะสร้างให้มีสายคงที่ในการลดทอน  $\alpha$  น้อยมาก เพราะฉะนั้น จะได้  $\gamma = j\beta$  และเมื่อนำเอาสมการ (2.17) ร่วมกับสมการ (2.20) แล้วจะได้ว่า

$$Z_i = Z_R \frac{Z_0 + Z_0 j \tan(2\pi l / \lambda)}{Z_0 + Z_R j \tan(2\pi l / \lambda)} \Omega \quad (2.2)$$

ตารางที่ 2.1 SWR ในสถานะต่างๆ

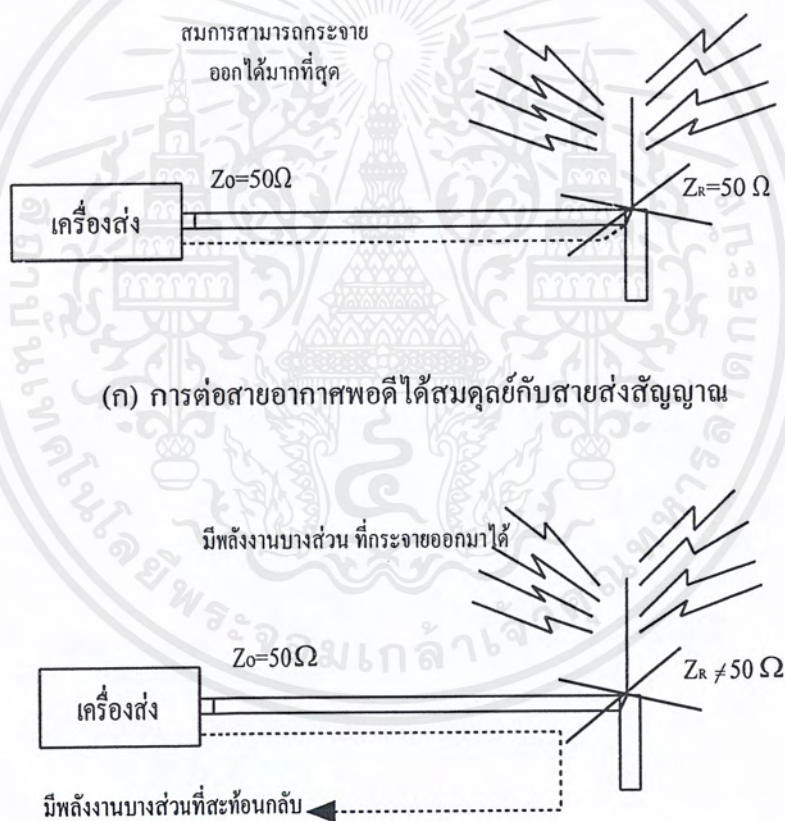
SWR	เปอร์เซ็นต์ของค่ากำลังงานคลื่นที่ส่งต่อให้ตัวภาระได้	ข้อเสนอแนะ
1:1	100%	เป็นค่าในอุดมคติ ซึ่งทำไม่ได้ในทางปฏิบัติเพราะความจริงต้องมีการสูญเสียในสายส่งสัญญาณ
1.05:1	99.94%	ดีมากในทางปฏิบัติ หากที่จะทำให้อีกกว่านี้ได้
1.1:1	99.78%	ดี
1.2:1	99.17%	ดีพอใช้
1.5:1	96%	ดีใช้ได้ แต่ควรพยายามปรับปรุงให้ดีขึ้นถ้าเป็นไปได้
2:1	88.9%	พอทนใช้ได้ แต่ควรปรับปรุงอย่างยิ่ง
3:1	75%	ไม่เป็นที่ยอมรับ เพราะมีพลังงานสะท้อนกลับมากถึง 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเมื่อพิจารณาจาก (2.21) นั้น ก็เป็นที่น่าสังเกตว่า แม้เราจะเปิดปลายสาย ( $Z_R = \infty$ ) หรือ ปิดปลายสาย ( $Z_R = 0$ ) ก็ตาม ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายก็มีค่าต่างๆ กันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของสายนั้นในกรณีที่เรเปิดปลายสายนั้น จากสมการ (2.21) จะได้

$$Z_i = -jZ_0 \cot(2\pi/\lambda)\Omega \quad (2.23)$$

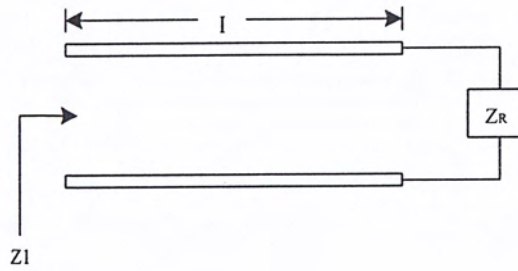
ถ้าสายยาวไม่ถึง  $\lambda/4$  แล้ว  $Z_i$  จะมีสถานะทางไฟฟ้าเป็นคาปาซิทีฟ แต่เมื่อ  $\lambda/4 < \lambda < \lambda/2$  แล้ว  $Z_i$  จะมีสถานะเป็นอินดักทีฟ สถานะของสายที่เป็นค่า คาปาซิทีฟ และอินดักทีฟนี้จะเกิดขึ้นสลับกันไปเป็นช่วงๆ ทุกช่วงความยาว  $\lambda/4$  ที่สายมีความยาวเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.16



(ข) การต่อสายอากาศขาดความสมดุลกับสายส่งสัญญาณ

รูปที่ 2.14 การต่อสายอากาศกับสายส่งสัญญาณ และ Standing Wave ที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

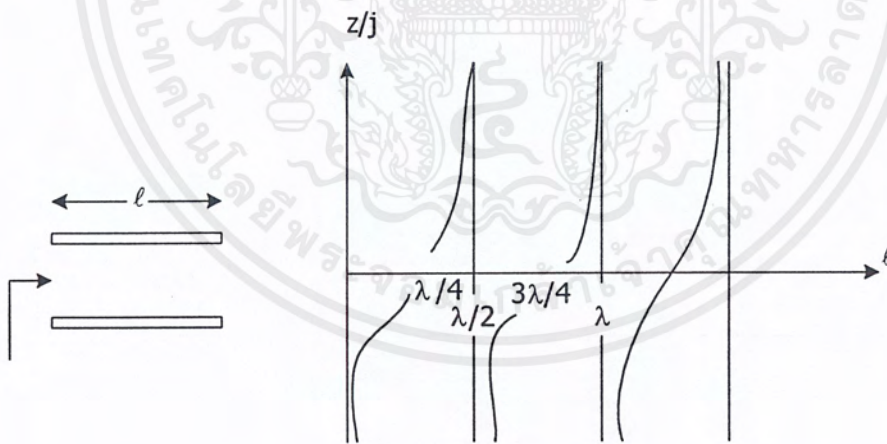


รูปที่ 2.15 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณที่ยาว 1 เมตร เมื่อต่ออยู่กับตัวภาระ  $Z_R$  ในกรณีที่ปิดปลายสาย ( $Z_R = 0$ ) นั้น จาก (2.21) จะได้

$$Z_i = -jZ_0 \cot(2\pi/\lambda)\Omega \quad (2.24)$$

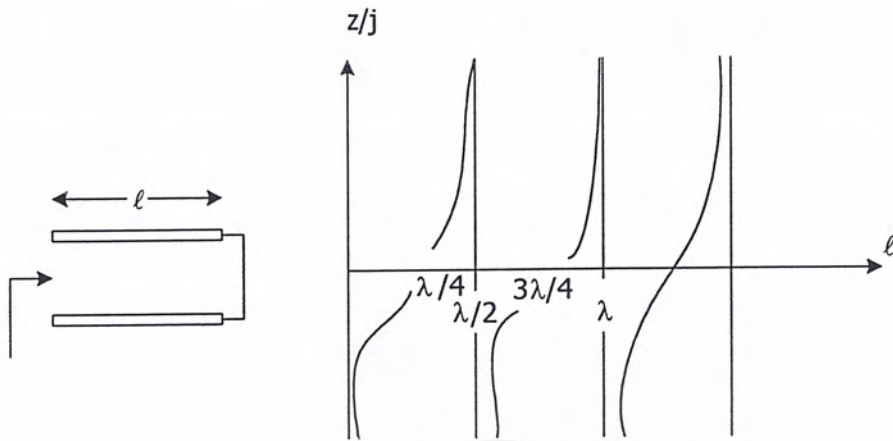
ซึ่งจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์  $Z_i$  นี้มาแสดงในรูปที่ 2.17

อีกกรณีหนึ่งที่น่าสนใจ คือ ในกรณีที่เลือกสายส่งสัญญาณให้มีความยาวเป็น  $n/2$  เท่าของความยาวคลื่น กล่าวคือ  $l = n\lambda/2$  ( $n=1, 2, \dots$ ) เมื่อนำตัวภาระ  $Z_R$  มาต่อกับสาย ดังรูปที่ 2.18 โดยอาศัย (2.21) จะพบว่า ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์  $Z_i$  มีค่าเท่ากับ  $Z_R$  นั้นพอดี

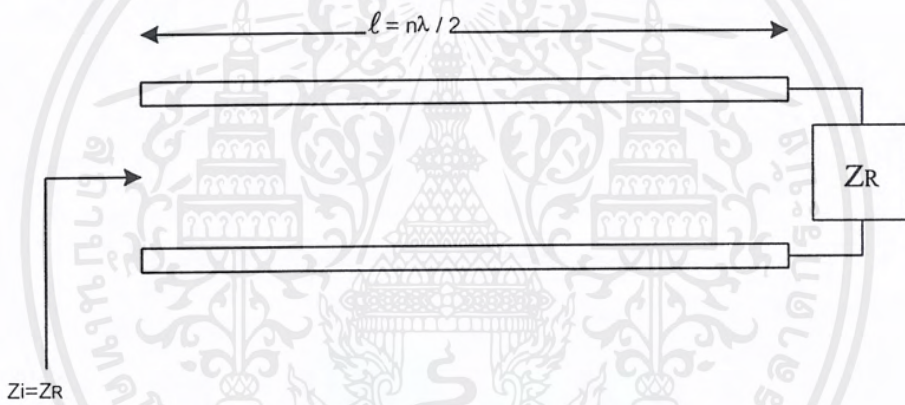


รูปที่ 2.16 ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณที่มีความยาว  $l$  ต่างๆ กัน ขณะที่เปิดปลายอีกข้างหนึ่งอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณที่มีความยาว  $l$  ต่างๆ กัน ขณะที่ปีดปลายอีกข้างหนึ่งอยู่



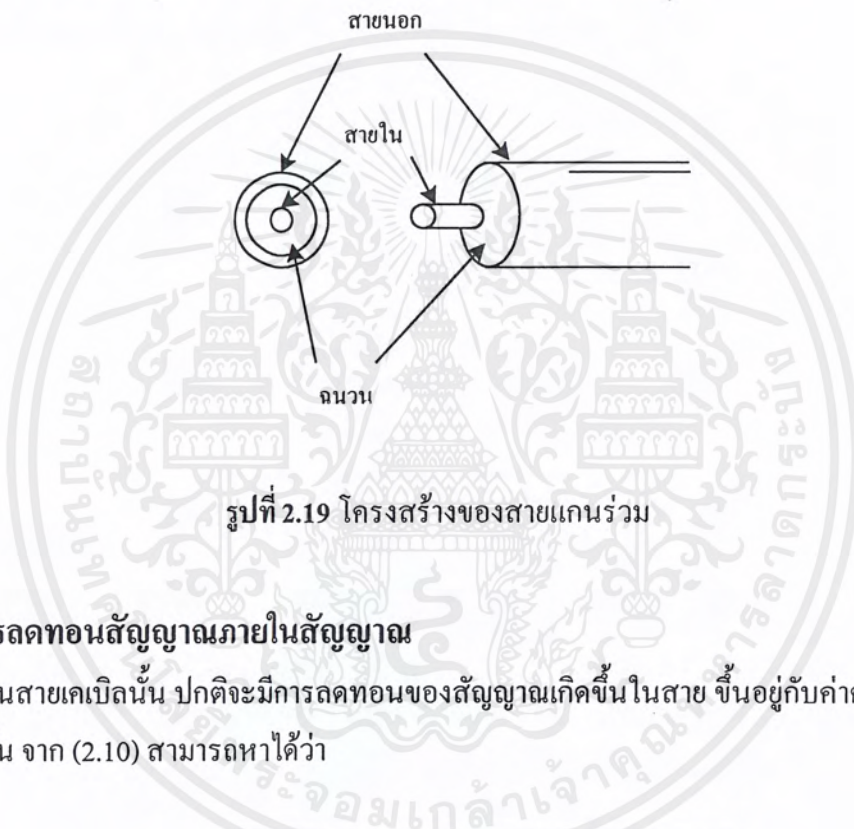
รูปที่ 2.18 สายส่งเมื่อ  $l = n\lambda/2$  แล้วจะให้ค่า  $Z_i = Z_R$

### 2.6.5 สายแกนร่วม

สายแกนร่วมเป็นสายที่ซึ่งพัฒนามาจากสายเคเบิลธรรมดาทั้งนี้เพราะสายเคเบิลที่ใช้สายเป็นคู่หนึ่งจะถูกรบกวนจากสัญญาณภายนอกได้ง่าย ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาโครงสร้างของสายเคเบิลขึ้น โดยการผลิตสายสายหนึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอก หุ้มสายอีกสายหนึ่งที่เป็นคู่สายไว้ภายใน ดังแสดงในรูป 2.19 เพราะเหตุที่โครงสร้างของสายเคเบิลตามลักษณะนี้มีแกนร่วมดังนั้นสายเคเบิลแบบนี้จึงได้ชื่อเรียกว่า สายแกนร่วมซึ่งแปลว่าสายที่มีแกนร่วมกัน ส่วนทรงกระบอกที่เป็นสายด้านนอกจะทำการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกไม่ให้เล็ดลอดเข้าไปเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นสัญญาณรบกวนที่สายแกนในได้ เพราะฉะนั้น โดยปกติแล้วในการใช้งานจึงนิยมใช้สายนอกเป็นสายดินและสายภายในเป็นสายสัญญาณ เพื่อประโยชน์ในการป้องกันสัญญาณรบกวนดังกล่าว ลักษณะของสายนอกซึ่งเป็นรูปทรงกระบอก นอกจากทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้ว ยังช่วยลดความสูญเสียของสัญญาณ อันเนื่องมาจากการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าของสัญญาณได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าสายแกนร่วมจะมีโครงสร้างทางกายภาพต่างไปจากสายเคเบิลธรรมดา แต่คุณสมบัติทางไฟฟ้าเบื้องต้นยังคงเหมือนกับสายเคเบิลธรรมดา ดังนั้นวิธีการคำนวณคุณสมบัติต่างๆ ของเคเบิลในหัวข้อก่อนๆ จึงใช้กับสายแกนร่วมได้อีกด้วย ปกติโครงสร้างสายแกนร่วมจะทำให้เกิดค่าความจุไฟฟ้าต่อหน่วยความยาวของสายมากกว่าสายเคเบิลธรรมดา ดังนั้นค่า อิมพีแดนซ์ประจำของสายแกนร่วม พิจารณาได้จากสมการ (2.12) จึงมีค่าน้อยกว่าค่าอิมพีแดนซ์ประจำของสายส่งสัญญาณที่เป็นเคเบิลแบบคู่ขนานธรรมดา



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของสายแกนร่วม

### 2.6.6 การลดทอนสัญญาณภายในสัญญาณ

ในสายเคเบิลนั้น ปกติจะมีการลดทอนของสัญญาณเกิดขึ้นในสาย ขึ้นอยู่กับค่าคงที่การลดทอนนั้น จาก (2.10) สามารถหาได้ว่า

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega' LC}{2} \sqrt{\left(1 + \frac{R}{\omega L}\right)^2 \left(1 + \frac{G}{\omega C}\right)^2 + \frac{2}{\omega' LC}}} \quad (2.25)$$

แต่เพราะว่าปกติ  $1 > \frac{R}{\omega L}$  และ  $1 > \frac{G}{\omega C}$  ดังนั้น

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega' LC}{2} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{R^2}{\omega' L^2} + \frac{G^2}{\omega' C^2} + \frac{2}{\omega' LC} \right) - 1 \right\}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

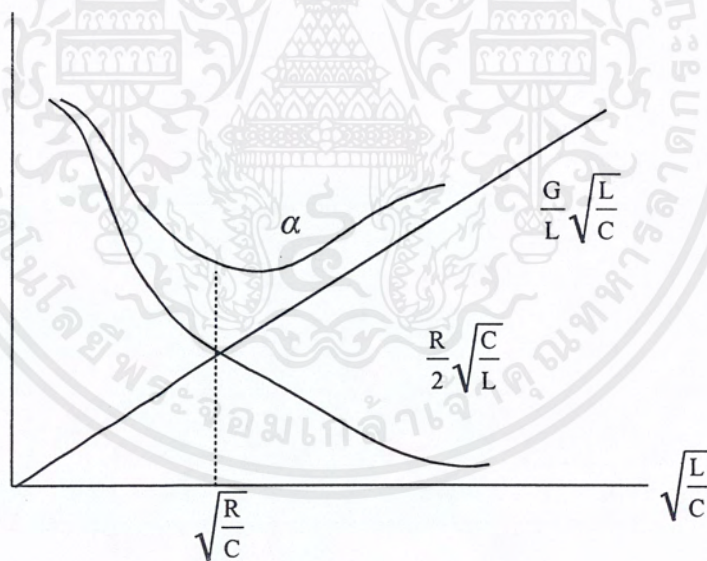
$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{\omega^2 LC}{4} \left( \frac{R}{\omega L} + \frac{G}{\omega C} \right)} \\
 &= \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}
 \end{aligned} \tag{2.26}$$

เมื่อเปลี่ยนค่า  $\sqrt{\frac{L}{C}}$  ไปเรื่อยๆ ตามรูปที่ 2.20 จะพบค่า  $\alpha$  มีค่าน้อยสุด เมื่อ

$$\sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{R}{G}}$$

กล่าวคือ

$$\frac{R}{G} = \frac{L}{C} \tag{2.27}$$

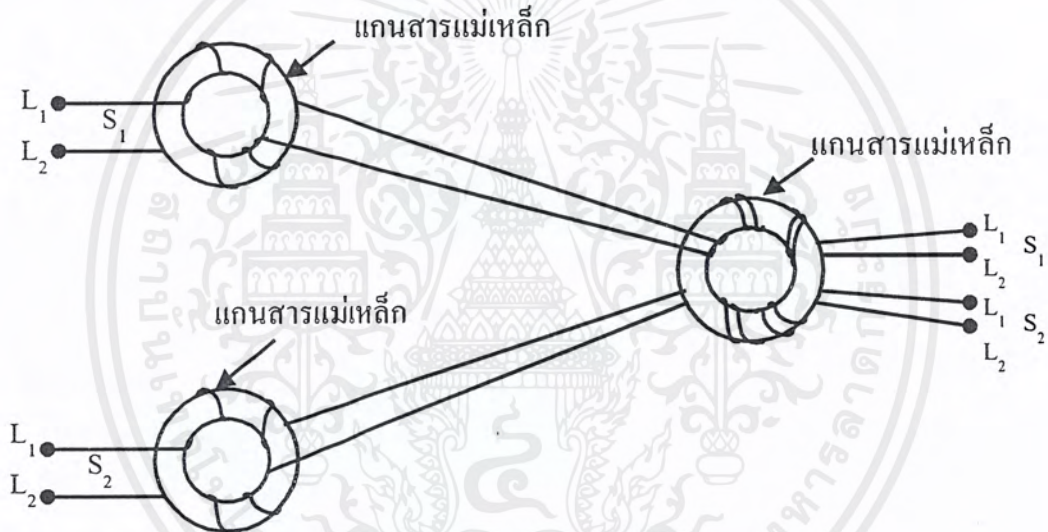


รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\alpha$  และ  $L/C$

สมการ (2.27) เป็นเงื่อนไขที่ทำให้ทราบถ้าต้องสร้างสายเคเบิลอย่างไรจึงจะเกิดการลดทอนของสัญญาณในสายน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามสายเคเบิลที่ผลิตจากโรงงานโดยทั่วไปนั้นจะมีค่า  $\frac{R}{G}$  มากกว่า  $\frac{L}{C}$  ทั้งนี้ เพราะเหตุผลเกี่ยวกับราคาต้นทุนในการผลิต ในบางครั้งเมื่อนำ

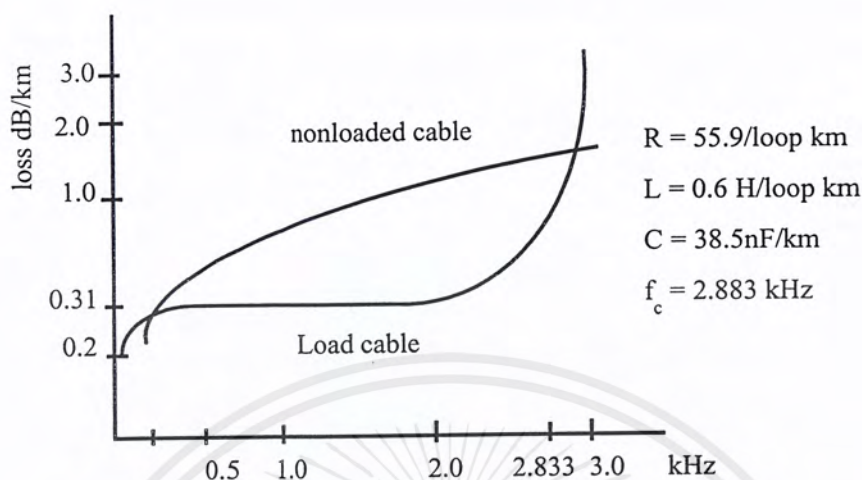
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายเคเบิลมาใช้งาน ผู้ใช้ได้พยายามค้นหาวิธีการบางวิธีเพื่อการที่จะปรับค่าคงที่ปฐมภูมิต่างๆ ของสายเคเบิลให้ได้สอดคล้องตาม (2.27) เพื่อให้เกิด  $\alpha$  น้อยที่สุด เมื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ต่างๆ แล้ว วิธีการเพิ่มค่า  $L$  ให้แก่สายเคเบิล เป็นวิธีการเหมาะสมและทำได้ง่ายที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มค่า  $L$  ให้กับสายเคเบิล โดยที่จะให้ค่า  $L$  กระจายไป โดยสม่ำเสมอตลอดสายเคเบิลนั้น แม้สามารถทำได้แต่ก็จะเสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้น M.I. Pupin จึงได้คิดวิธีการประมาณรวบรวมเพิ่มค่า  $L$  ให้กับสายเคเบิลเป็นระยะๆ โดยการเพิ่มโหลดคิ่งคอยล์ เข้าในสายดังแสดงในรูปที่ 2.21 แทนการเพิ่ม  $L$  ชนิดที่กระจายอยู่ตลอดสาย วิธีการกระทำเช่นนี้ มีชื่อว่าการทำโหลดคิ่ง สายเคเบิลที่ทำการโหลดคิ่งแล้วมีชื่อเรียกว่า โหลดเคเคเบิล แม้การทำโหลดคิ่งดังกล่าวจะช่วยลดค่า  $\alpha$  ของสายลงได้ แต่ก็เป็นไปได้ในช่องของสัญญาณที่มีความถี่ช่องหนึ่งเท่านั้น



รูปที่ 2.21 ลักษณะการทำ loading ให้กับสายส่งสัญญาณ

ทั้งนี้เพราะโหลดคิ่งคอยล์ที่ใส่เข้าไปเป็นระยะๆ นั้นทำให้พฤติกรรมของโหลดเคเบิลเกิดขึ้นคล้ายกับพฤติกรรมของตัวกรองความถี่ต่ำ กล่าวคือที่ความถี่สูงๆ การลดทอนของโหลดเคเบิลจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก รูปที่ 2.22 แสดงการเปรียบเทียบให้เห็นถึงการลดทอนของสายเคเบิลธรรมดาขนาดที่เกิดขึ้นหลังจากที่ได้ทำการโหลดคิ่งแล้วโดยใช้โหลดคิ่งคอยล์ขนาด 64 mH เพิ่มเข้าไปที่ทุกระยะห่างกัน 1.83 กิโลเมตร



รูปที่ 2.22 ค่าการลดทอนของสายเคเบิลขนาด 0.9 มิลลิเมตรก่อนทำการ loading และภายหลังที่ได้ทำการ loading

เนื่องจากโพลเคเบิลนี้มีการลดเคเบิลมีการลดทอนสัญญาณมากที่ความสูง ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับจะใช้กับสัญญาณในย่านความถี่เสียงหรือความถี่ต่ำๆ เท่านั้น แต่ไม่เหมาะสมสำหรับการส่งสัญญาณที่มีความถี่สูง เช่น สัญญาณดิจิทัลในการสื่อสารข้อมูลที่มีความเร็วสูง เป็นต้น

### 2.6.7 อาร์เอฟ คอนเวอร์เตอร์/อาร์เอฟ มอดูเลเตอร์

อาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์เป็นเครื่องส่งสัญญาณขนาดเล็ก เพื่อนำเอาสัญญาณภาพและเสียงส่งให้กับสายอากาศของเครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องเล่นวิดีโอเทป เครื่องเล่นวิดีโอดีสก์ เคเบิลทีวี คอมพิวเตอร์และโทรทัศน์ระบบดาวเทียม เป็นต้น การจะให้เครื่องรับรับได้ทุกช่องจึงเป็นเรื่องที่สุควิสัย ทางแก้ก็คือต้องเปลี่ยนช่องตัวรับสัญญาณ นำสัญญาณดังกล่าวส่งเข้าอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์ผสมสัญญาณเป็นช่อง 3 หรือ 4 ช่อง ส่งเข้าเครื่องรับโทรทัศน์เพียงช่องเดียวหรือ 2 ช่อง

## 2.7 สัญญาณความถี่คู่

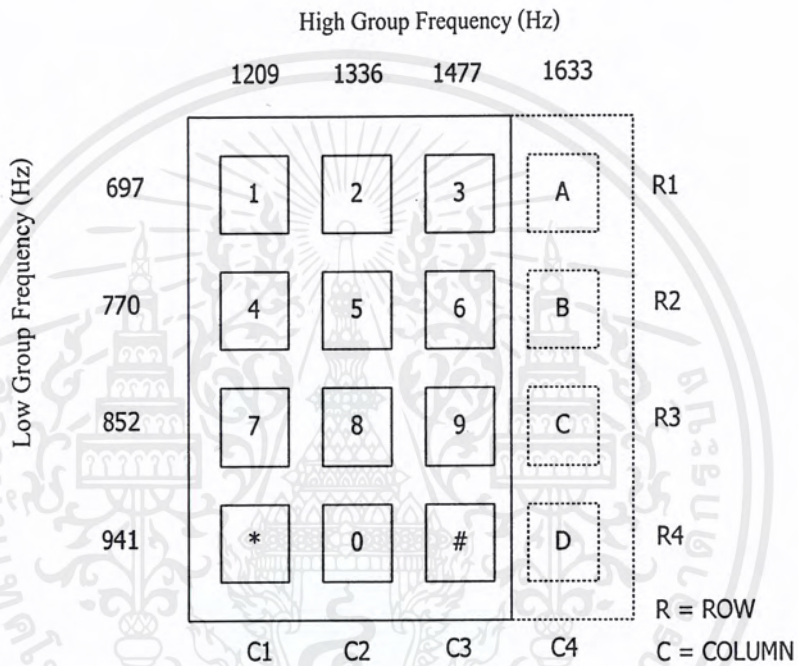
### 2.7.1 ระบบโทรศัพท์แบบส่งสัญญาณความถี่คู่

เป็นระบบการส่งสัญญาณอีกแบบหนึ่งซึ่งจะพบได้มากกว่าในระบบการส่งเป็นสัญญาณพัลส์ ระบบนี้หรือเรียกชื่อย่อว่า DTMF มีวิธีการส่งหมายเลขของผู้ที่ต้องการจะติดต่อด้วยการส่งสัญญาณ 2 ความถี่มอดูเลตกันไป ในการส่งหมายเลขโทรศัพท์นั้น โดยทั่วไปจะมี 12 ปุ่มแบ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น 4 แถว และ 3 หลัก และในเครื่องรับโทรศัพท์บางแบบอาจจะมีถึง 16 ปุ่ม โดยเพิ่ม หลักที่ 4 ขึ้นมาอีก ดังแสดงตามรูปที่ 2.23

ความถี่ที่ใช้ในแต่ละ แถว และ หลัก จะมีความถี่ต่างกัน ความถี่ของทั้ง 4 แถว เรียกว่าเป็นกลุ่มความถี่ต่ำ และความถี่ของทั้ง 3 หรือ 4 หลัก เรียกว่าเป็นกลุ่มความถี่สูง การกดปุ่มหมายเลขใดๆ จะทำให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องรับโทรศัพท์ผลิตความถี่ออกมา 2 ความถี่ เช่น เมื่อกดเลข 5 ความถี่ที่ผลิตออกมาคือ 770 Hz และ 1336 Hz เป็นต้น



รูปที่ 2.23 แสดงหน้าปัดของเครื่องรับโทรศัพท์แบบกดปุ่มและความถี่ที่ใช้

มาตรฐานของความถี่ที่ใช้และตำแหน่งของหมายเลขต่างๆ จะถูกจัดให้มีลักษณะดังแสดงตามรูปที่ 2.23 สำหรับค่าผิดพลาดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้จะเป็น 1.5% สำหรับการผลิตความถี่และ 2% สำหรับการรับเลขหมาย

**ข้อดีของการใช้โทรศัพท์แบบกดปุ่ม**

- 1) สามารถลดเวลาในการหมุนเลขหมายลงได้ ทำให้มีผลคือเวลาเฉลี่ยที่ใช้โทรศัพท์แต่ละครั้ง ลดลงซึ่งทำให้ชุมสายโทรศัพท์สามารถรับ Traffic ได้มากขึ้น
- 2) สามารถใช้วงจรทาง Solid State Electronic แทนอุปกรณ์ทางด้าน Mechanics จึงทำให้มีความรวดเร็วและแม่นยำในการส่งเลขหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) สามารถเพิ่มปุ่มกดได้อีก 4 ปุ่ม (หลักที่ 4) เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณการบริการประเภทอื่น ๆ

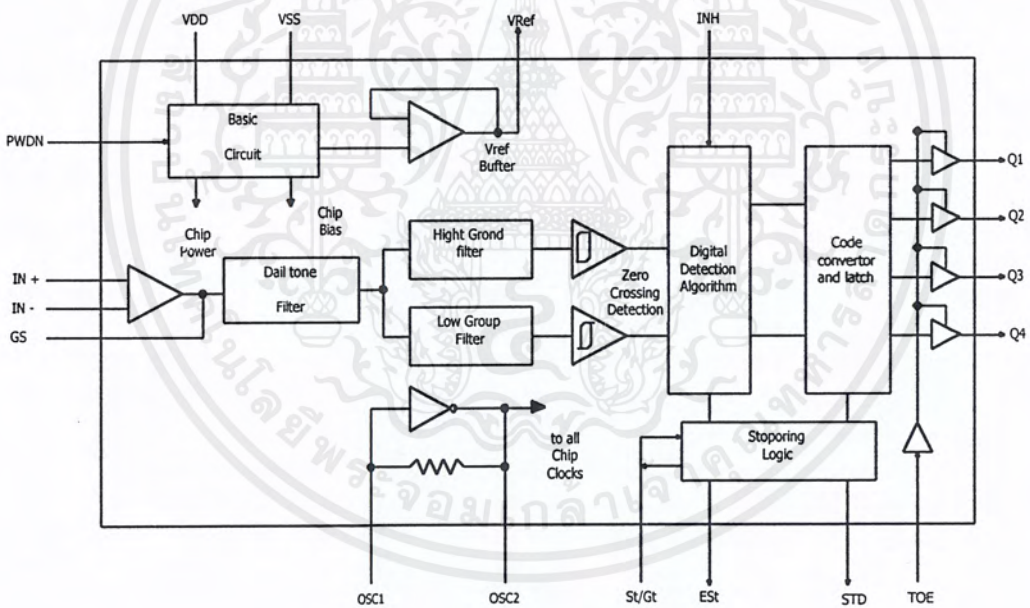
4) มีความเหมาะสมที่จะใช้กับชุมสายโทรศัพท์ระบบ SPC

ข้อควรคำนึงในการเชื่อมต่อระบบ DTMF กับสายส่งสัญญาณ

- 1) ต้องรักษาระดับแรงดันและกระแสลูปให้คงที่ตลอดระยะเวลาของสายส่งสัญญาณ
- 2) วงจรออสซิลเลเตอร์จะต้องมีอิมพีแดนซ์ที่สมดุลย์กับสายส่งสัญญาณ

### 2.7.2 การถอดรหัส DTMF

การถอดรหัส DTMF เป็นกระบวนการแปลงสัญญาณความถี่ที่เกิดจากการกดปุ่ม DTMF ซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อกให้กลับกลายมาเป็นสัญญาณดิจิทัล วงจรถอดรหัส DTMF ที่ใช้ในโครงการจะเป็นไอซีเบอร์ MT8870 ซึ่งมีฟังก์ชันการทำงานดังนี้



รูปที่ 2.24 วงจรภายในของไอซี MT8870

#### 1) ภาคกรองความถี่

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่แยกสัญญาณ DTMF ที่เข้ามาจากภายนอกออกเป็น 2 กลุ่มความถี่คือ ช่วงความถี่สูง และช่วงความถี่ต่ำ โดยใช้วงจรกรองแถบความถี่ 6 อันดับ ชนิดสวิทช์คาปาซิเตอร์แบบคัพลาสฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) ภาคถอดรหัส

ความถี่ DTMF ที่ถูกรองเรียบร้อยแล้ว จะผ่านเข้าวงจรถอดรหัสที่ออกเป็นตัวเลขโดยใช้เทคนิคการนับแบบดิจิทัล และมีการตรวจสอบความถี่ที่เข้ามาว่าเป็นความถี่ DTMF หรือไม่ สัญญาณที่ขา Est (Early Steering) ก็จะแยกดีสำหรับค่าที่ถอดรหัสได้จากความถี่ DTMF

## 3) ภาคตรวจสอบสัญญาณ

ก่อนที่จะมีการถอดรหัสความถี่ออกไปที่เอาต์พุต จะมีการตรวจสอบช่วงความถี่ที่เข้ามาว่ามีระยะตามที่กำหนดหรือไม่ โดยสังเกตจากระยะเวลาการกดปุ่มซึ่งต้องกดปุ่มให้มีความถี่ออกมาเป็นช่วงเวลาพอสมควร มิฉะนั้นวงจรจะไม่รับโดยถือว่าสัญญาณนั้นไม่ถูกต้อง ส่วนช่วงเวลายาวเท่าใดสามารถตั้งได้โดยการและตัวเก็บประจุเข้าที่ขา Est ซึ่งเมื่อขา Est ได้รับลอจิก 1 จะทำให้โวลต์เดจคกรวมตัวคาปาซิเตอร์มีค่าสูงขึ้น ตัวคาปาซิเตอร์จะคายประจุทำให้แรงดันสูงถึงค่าเทรสโฮลด์ วงจรถอดรหัสจึงทำการถอดรหัสออกมาเป็นตัวเลขขนาด 4 บิต

## 4) ภาคขยายสัญญาณความแตกต่าง

วงจรถวนอินพุตของ MT8870 เป็นภาคขยายออปแอมป์ที่สามารถปรับอัตราขยายได้ โดยการต่ออุปกรณ์เพิ่มจากภายนอก

## 5) ภาคออสซิลเลเตอร์

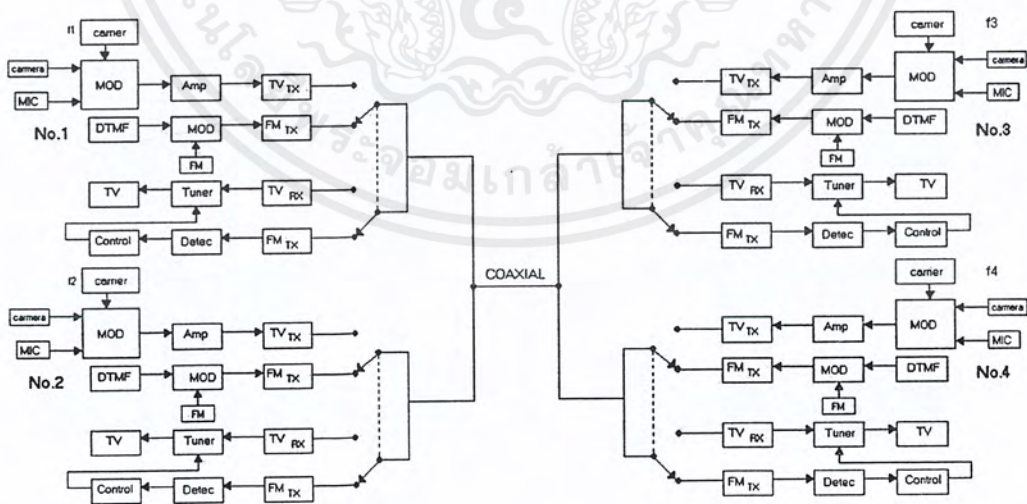
ในส่วนนี้ภายในตัวไอซีจะมีวงจรวจรเวลาอยู่ภายใน เพียงแต่ต่อคริสตอลขนาด 3.579545 MHz ก็สามารถใช้งานได้ทันที

# บทที่ 3

## การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการสร้างวงจรต่างๆ ของโครงงานซึ่งองค์ประกอบแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนภาครับ-ภาคส่งสัญญาณภาพและเสียง และส่วนของภาครับ-ภาคส่งสัญญาณเรียก ส่วนภาคส่งสัญญาณภาพและเสียงจะใช้กล้องถ่ายภาพสัญญาณโทรทัศน์เป็นตัวส่งสัญญาณ โดยทั่วไปสัญญาณเอาต์พุตของกล้องถ่ายภาพสัญญาณโทรทัศน์จะประกอบด้วยสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงที่แยกกันอยู่ การรวมสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงทำได้โดยใช้วงจรวีดีโอโมดูเลเตอร์ (Video Modulator) ซึ่งเป็นการมอดูเลตทางความถี่จะทำให้ได้สัญญาณความถี่วิทยุออกมาผ่านวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน ทั้งนี้เพื่อลดสัญญาณรบกวนบางส่วนออกไปก่อนที่จะส่งไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ ในส่วนของภาคสัญญาณเรียกจะแบ่งย่อยออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ในส่วนของฮาร์ดแวร์ได้แก่ วงจรส่งและรับสัญญาณเรียก โดยการทำงานทั้งหมดจะควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

### 3.1 แผนผังการทำงานของระบบโทรศัพท์ภาพ



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของระบบโทรศัพท์ภาพ

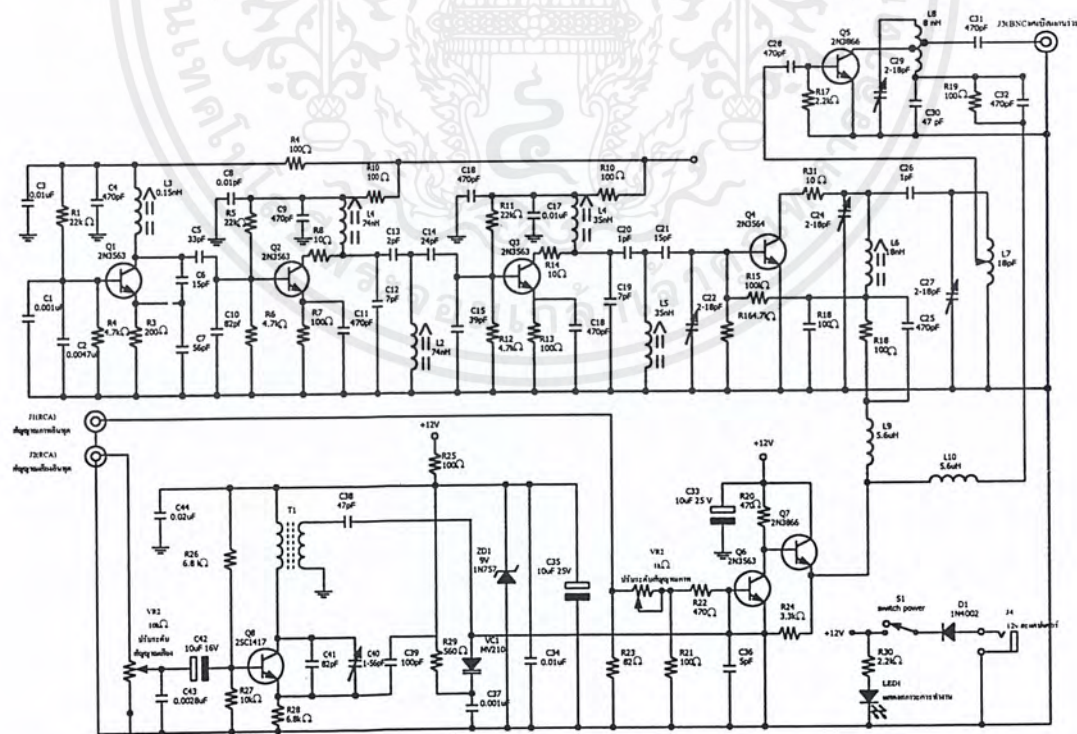
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 เป็นแผนผังการทำงานของเครื่องระบบโทรศัพท์ภาพ โดยประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ส่วนภาครับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียง โดยภาคส่งสัญญาณภาพและเสียงจะใช้กล้องถ่ายสัญญาณภาพ โทรศัพท์เป็นตัวส่งสัญญาณ โดยทั่วไปสัญญาณเอาต์พุตของกล้องถ่ายสัญญาณภาพ โทรศัพท์จะประกอบด้วยสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงที่แยกกันอยู่ การรวมสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงทำได้โดยใช้วงจรวิดีโอโมดูลเตอร์ ซึ่งเป็นการมอดูเลตทางความถี่จะทำให้ได้สัญญาณความถี่วิทยุออกมาผ่านวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน ทั้งนี้เพื่อลดสัญญาณรบกวนบางส่วนออกไปก่อนที่จะส่งไปยังเครื่องรับโทรศัพท์

2. ภาครับ-ส่งสัญญาณเรียก ในส่วนของภาคสัญญาณเรียกจะแบ่งย่อยออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ในส่วนของฮาร์ดแวร์ได้แก่วงจรส่งและรับสัญญาณเรียก โดยการทำงานทั้งหมดจะควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS- 51 ซึ่งจะมียูทิลิตี้เป็นตัวตัดต่อสัญญาณ การเรียกและภาคจ่ายไฟให้กับภาคส่งสัญญาณภาพและเสียง

### 3.2 วงจรสมบูรณ์ของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ

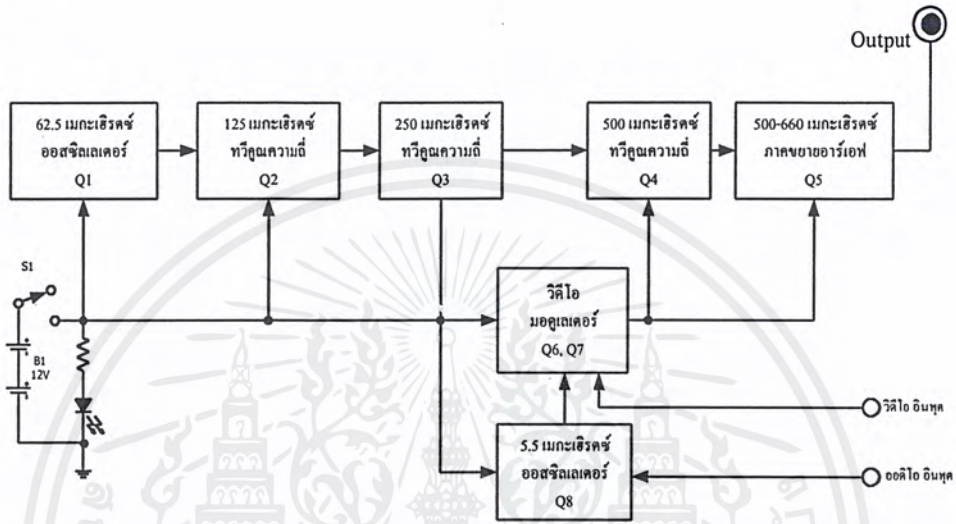


รูปที่ 3.2 วงจรสมบูรณ์เครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 พื้นฐานของวงจรส่งสัญญาณวิดีโอ

พื้นฐานการทำงานรวมทั้งโครงสร้างของวงจรในเบื้องต้น ได้แสดงเป็นแผนผังการทำงานไว้ในรูปที่ 3.3 เป็นแผนผังการทำงานของระบบส่งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงผ่านสายแแกนร่วมในระบบ UHF



รูปที่ 3.3 แผนผังของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ

ส่วนประกอบของวงจรจะถูกจัดแบ่งออกเป็นแผนผัง เพื่อแยกการทำงานของแต่ละส่วนออกให้เห็นอย่างชัดเจนและรวมไปถึงการทำความเข้าใจกับวงจรที่ใช้งานจริงต่อไปด้วย จากรูปที่ 3.3 ประกอบภาคออสซิลเลเตอร์ความถี่ 62.5 เมกะเฮิร์ตซ์ ทำหน้าที่โดยทรานซิสเตอร์ Q<sub>1</sub> ความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ผลิตขึ้นมาจะนำไปทำการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้นด้วยภาคทวีความถี่เป็นสองเท่า (Frequency Doubler Circuit) ประกอบด้วย Q<sub>2</sub>- Q<sub>4</sub> ซึ่งจะทำการเพิ่มความถี่ขึ้นเป็นสองเท่าจากความถี่ที่ได้ในแต่ละภาคการทำงาน

ความถี่ออสซิลเลเตอร์จะถูกทวีคูณความถี่ขึ้นมา จนมีความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 500-660 เมกะเฮิร์ตซ์ จะถูกใช้เป็นความถี่คลื่นพาหะของสัญญาณของภาพ ในย่านความถี่เอชเอฟของระบบการส่งสัญญาณภาพโทรทัศน์ระบบ PAL แผนผังของภาคออสซิลเลเตอร์อีกแผนผังหนึ่งคือภาคออสซิลเลเตอร์ความถี่ 5.5 เมกะเฮิร์ตซ์ เป็นความถี่พาหะของเสียง (Sound Carrier) ในแผนผังนี้จะรวมเอาสัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นพาหะ 5.5 เมกะเฮิร์ตซ์ก่อน เอาต์พุตของผังนี้ก็จะถูกส่งไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณภาพ ที่ภาควิดีโอโมดูลเลเตอร์ประกอบด้วย Q<sub>6</sub> และ Q<sub>7</sub>

การส่งสัญญาณไปยังสายแแกนร่วมนั้นจะกระทำที่ภาคขยายความถี่วิทยุ (Radio Frequency Amplifier, RF Amp) ประกอบด้วย  $Q_5$  จะทำการมอดูเลตสัญญาณจาก  $Q_6$  และ  $Q_7$  เข้ากับความถี่วิทยุเพื่อขยายสัญญาณและส่งสัญญาณออกสายแแกนร่วม การมอดูเลตสัญญาณในภาคขยายความถี่วิทยุนั้นจะมอดูเลตสัญญาณแบบเอเอ็ม

### 3.4 การทำงานของวงจร

วงจรเครื่องส่งสัญญาณวิทยุที่สมบูรณ์ในรูปที่ 3.2 การทำงาน ก็จะจัดเรียงส่วนประกอบของวงจรดังลักษณะการจัดแบ่งตามแผนผังการทำงาน เริ่มจากทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ถูกจัดในลักษณะเบสร่วม เพื่อทำหน้าที่กำเนิดความถี่ออสซิลเลเตอร์ร่วมกับ  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_6$  และ  $L_3$  ประกอบเป็นวงจรจูนเพื่อผลิตความถี่ให้ได้เท่ากับ 62.5 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยมี  $R_1$ ,  $R_2$  และ  $R_3$  เป็นตัวต้านทานไบแอสให้กับ  $Q_1$  ความสามารถที่จะขยายความถี่ออสซิลเลเตอร์ให้มีประสิทธิภาพพอนั้น ได้อาศัยอัตราส่วนการขยายแรงดันระหว่าง  $C_6$  กับ  $C_7$  ซึ่งจะส่งผลให้อัตราขยายของ  $Q_1$  ของขาคอลเล็กเตอร์มีมากกว่าหนึ่ง

ตัวเก็บประจุ  $C_5$  และ  $C_{10}$  ประกอบเป็นวงจรจูนเช่นเดียวกัน นอกจากจะคัปปลิงสัญญาณความถี่แล้ว ยังทำหน้าที่เป็นวงจรแบ่งแรงดัน เพื่อจ่ายให้กับขาเบสของ  $Q_1$  มีขนาดแรงดันประมาณ 1 โวลต์ ของสัญญาณความถี่จากขาคอลเล็กเตอร์  $Q_1$  ทรานซิสเตอร์  $Q_2$  ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณเกินขอบเขต ทำให้การขยายสัญญาณทาง อินพุตออกมามีความเพี้ยนเกิดขึ้น และนั่นก็คือการทำให้เกิดเป็นความถี่ฮาร์โมนิก ของสัญญาณอินพุตขึ้นอย่างมากมาย แต่สำหรับในส่วนนี้ต้องการเพียงความถี่ฮาร์โมนิกที่สองของสัญญาณ อินพุตเท่านั้น ซึ่งจะมีความถี่เป็นสองเท่า

$L_1$  และ  $C_{12}$  ทำหน้าที่เป็นวงจรจูน เพื่อจูนให้ความถี่ที่ออกมาทางขาคอลเล็กเตอร์ของ  $Q_2$  มีค่าความถี่เท่ากับ 125 เมกะเฮิร์ตซ์ ที่ขาเบสของ  $Q_2$  จะสังเกตเห็นตัวเก็บประจุ  $C_{10}$  ต่อในลักษณะเรโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series Resonance) ที่ความถี่มูลฐาน โดยตัวเก็บประจุ  $C_{10}$  จะจ่ายกระแสให้ขาเบส  $Q_2$  เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขยายสัญญาณความถี่ออสซิลเลเตอร์ให้สูงขึ้น

$C_{13}$ ,  $C_{14}$ ,  $C_{15}$  และตัวเหนี่ยวนำ  $L_2$  ประกอบกันเป็นวงจรจูนสองชั้น (Double Tuned) ทำหน้าที่กรองความถี่ฮาร์โมนิกที่สองออกไป ในส่วนนี้ความถี่มูลฐานเท่ากับ 62.5 เมกะเฮิร์ตซ์

ทรานซิสเตอร์  $Q_3$  ทำหน้าที่เหมือนกันกับ  $Q_2$  ทุกประการ คือขยายสัญญาณเกินขอบเขตต่างกันที่ค่าความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรจูนทางอินพุตขาเบสของ  $Q_3$  นั้น จะเรโซแนนซ์ที่ความถี่ 125 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเอาต์พุตฮาร์โมนิกที่สองของ  $Q_3$  จะมีความถี่ประมาณ 250 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยมี  $C_{19}$  และ  $L_4$  ทำหน้าที่เป็นวงจรจูนในขณะที่  $C_{20}$ ,  $C_{21}$ ,  $C_{22}$  และ  $L_5$  ทำหน้าที่กรองความถี่ฮาร์โมนิกที่สูงกว่าความถี่ 250 เมกะเฮิร์ตซ์ออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$C_{19}$  และ  $L_4$  ทำหน้าที่เป็นวงจรถูกในขณะ  $C_{20}$ ,  $C_{21}$ ,  $C_{22}$  และ  $L_5$  ทำหน้าที่กรองความถี่ฮาร์โมนิกที่สูงกว่าความถี่ 250 เมกะเฮิร์ตซ์ออกไป

ทรานซิสเตอร์  $Q_4$  ก็ทำหน้าที่เป็นวงจรถยายเกินขอบเขตเช่นเดียวกับ  $Q_3$  โดยมี  $C_{21}$  และ  $C_{22}$  เป็นชุดแบ่งแรงดันไบแอสให้กับขาเบส  $Q_4$  วงจรถยายความถี่ประกอบด้วย  $C_{24}$  และ  $L_6$  ในส่วนของวงจรถยาย  $Q_4$  จะสังเกตเห็นว่าที่ขาอิมิตเตอร์ของ  $Q_4$  ไม่มีตัวเก็บประจุหรือตัวต้านทานบายพาสเลย ทั้งนี้ก็เนื่องมาจาก เป็นเรื่องยากที่จะหาค่าความต้านทานหรือตัวเก็บประจุบายพาส มาไบแอสให้กับขาอิมิตเตอร์ที่ใช้งานในย่านความถี่สูงประมาณ 500-650 เมกะเฮิร์ตซ์ และที่ความถี่สูงๆ นั้นค่าความต้านทานที่ขาอิมิตเตอร์ควรมีค่าน้อยมาก เพราะมันมีผลต่ออัตราขยายกำลังของ  $Q_4$  ถ้าหากค่าความต้านทานมากจะทำให้อัตราขยายของ  $Q_4$  ลดลง ดังนั้นทางแก้ปัญหาที่ดีที่สุดคือต่อขาอิมิตเตอร์ของ  $Q_4$  ลงกราวด์แทน

ภาคขยายความถี่วิทยุออกสายแชนร่วมประกอบด้วย  $Q_5$  ทำหน้าที่ขยายกำลัง โดยมี  $Q_4$  เป็นตัวขับและทำหน้าที่เป็นวงจรถูกสองชั้นให้กับ  $Q_5$  ไปในตัวด้วย วงจรถูกสองชั้นประกอบด้วย  $C_{24}$ ,  $C_{26}$ ,  $C_{27}$  และ  $L_6$ ,  $L_7$  ทรานซิสเตอร์  $Q_4$ ,  $Q_5$  จะสามารถทำงานได้ก็ต้องอาศัยแรงดันที่ผ่าน การสวิตช์ทำงานจากทรานซิสเตอร์  $Q_7$  ซึ่งจะผ่านแรงดัน +4.5 – 6.5 โวลต์ ผ่าน  $L_9$  และ  $L_{10}$  ไป ไบแอสให้กับ  $Q_4$ ,  $Q_5$  โดยขณะที่ไม่มีสัญญาณเสียงและสัญญาณวิดีโอป้อนเข้ามาที่อินพุตของวงจรถูก จะทำให้ขาอิมิตเตอร์ของ  $Q_7$  มีแรงดันตกคร่อมอยู่ประมาณ +4.5 – 6.5 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดัน จุดทำงานของ  $Q_7$  ขณะทำงานปกติ

ทรานซิสเตอร์  $Q_7$  ทำหน้าที่เป็นภาคมอดูเลเตอร์สัญญาณภาพด้วย โดยมีทรานซิสเตอร์  $Q_6$  เป็นตัวขยายสัญญาณก่อน และอัตราขยายสัญญาณก็กำหนดได้ที่  $Q_6$  ซึ่งมีค่าประมาณ 8 เท่า มีแบนด์วิดท์มากกว่า 10 เมกะเฮิร์ตซ์ สามารถขับโหลดได้เต็มที่ 75 โอห์ม ที่ระดับความแรงสัญญาณ 10 โวลต์พีคทูพีค สัญญาณภาพที่เข้ามาทางอินพุตไม่ว่ามาจากกล้องถ่ายวิดีโอหรือจากเครื่องเล่นวิดีโอ จะถูกขับไปถึงโดยตรงมาเข้าสู่จุดต่อ  $R_{22}$ ,  $R_{21}$  โดยผ่าน  $VR_1$  เป็นตัวปรับอัตราขยายสัญญาณภาพ ตัวต้านทาน  $R_{24}$  เป็นตัวช่วยในการกำหนดอัตราขยายและกำหนดจุดทำงานของ  $Q_6$  ส่วนตัวต้านทาน  $R_{23}$  เป็นตัวรักษาระดับความต้านทานทางอินพุตให้มีค่าเท่ากับ 75 โอห์ม

ส่วนของการมอดูเลตสัญญาณเสียงทำงานโดย  $Q_8$  จะต่อวงจรร่วมกับ  $C_{37}$ ,  $C_{41}$ ,  $R_{29}$ ,  $VC_1$  และ  $T_1$  ในส่วนนี้จะทำหน้าที่กำเนิดความถี่ออสซิลเลเตอร์ ซึ่งเป็นคลื่นพาห้ของเสียงความถี่ 5.5 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยมีลักษณะการทำงานในแบบควบคุมความถี่ด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator : VCO) มีตัวต้านทาน  $R_{26}$ ,  $R_{27}$ ,  $R_{28}$  เป็นตัวไบแอสให้  $Q_8$  ชุดตัวเก็บประจุความถี่  $C_{40}$  ใช้ปรับความถี่ออสซิลเลเตอร์ให้ได้ค่าที่แน่นอน ขณะเดียวกัน  $Q_8$  ก็ทำหน้าที่เป็นตัวมอดูเลเตอร์ของสัญญาณเสียงด้วย เมื่อมีความถี่เสียงเข้ามาทางอินพุต มี  $VR_2$  เป็นตัวปรับระดับความแรงของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

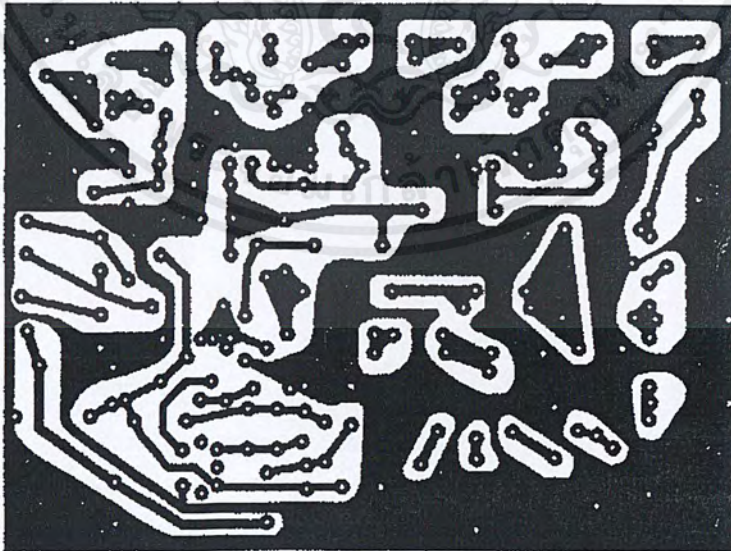
สัญญาณ สัญญาณที่ถูกขยายด้วย  $Q_8$  จะทำให้วารีแคป  $VC_1$  เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุตาม สัญญาณความถี่เสียง ทำให้ความถี่ออสซิลเลเตอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ลักษณะเช่นนี้ เรียกว่าการมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม

วารีแคป  $VC_1$  จะถูกไบแอสด้วยแรงดัน +9 โวลต์ ซึ่งได้จากซีเนอร์ไดโอด  $ZD_1$  ตัวความต้านทาน  $R_{25}$  และ  $R_{29}$  แรงดันนี้ยังเป็นแรงดันไบแอสแก่  $Q_8$  ด้วยสัญญาณคลื่นพาห้ของเสียงจะไป รวมกับสัญญาณภาพที่ขาเบสของ  $Q_6$

การรักษาเสถียรภาพของแบนด์วิดท์ของสัญญาณภาพ ทำได้โดยการต่อตัวเก็บประจุค่าน้อยๆ ครอบตัวต้านทาน  $R_{24}$  เพื่อรักษาค่าความต้านทาน เมื่อความถี่สัญญาณภาพสูงๆ จะทำให้ ความต้านทานของตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานของ  $R_{24}$

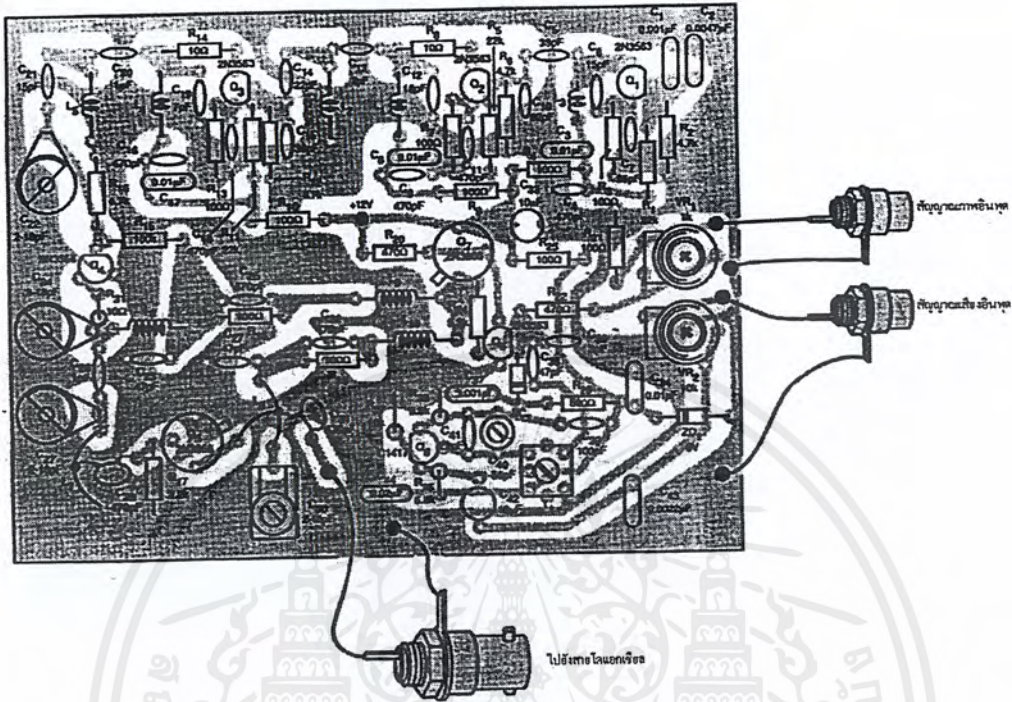
### 3.5 การสร้าง

การสร้างให้ทำแผ่นวงจรพิมพ์ตามรูปที่ 3.5 สำหรับแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องส่งสัญญาณ วิดีโอนี้ควรจะใช้ชนิดอีพ็อกซี (Epoxy) จะเหมาะกว่า เนื่องจากการทำงานของวงจรนี้เกี่ยวข้องกับ ความถี่ค่อนข้างสูง แผ่นวงจรชนิดอีพ็อกซีนี้อาจให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าได้สูง มีการสูญเสียทาง ไฟฟ้าต่ำ มีความแข็งแรงทนทาน และมีลักษณะการดูคลื่นความถี่ต่ำ เมื่อได้แผ่นวงจรพิมพ์ตาม ต้องการแล้วทำการลงอุปกรณ์ตามรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.4 ลายแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุโอ

สำหรับอุปกรณ์จำพวกตัวเหนี่ยวนำและขดลวดต่างๆ ที่ใช้ในวงจรให้ทำการพันดังนี้  
 $T_1$  ใช้หม้อแปลงออสซิลเลเตอร์ชนิดกระป๋องแกนคอยล์สี่แดง

$L_1$  และ  $L_2$  ใช้ลวดอบน้ำยาเบอร์ 22 พันบนแกนอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.6 - 3 มิลลิเมตร จำนวน 7 รอบ

$L_3$  ใช้ลวดอบน้ำยาเบอร์ 32 พันบนแกนสลักจูนเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 - 5 มิลลิเมตร จำนวน 3 รอบ

$L_4$  และ  $L_5$  ใช้ลวดอบน้ำยาเบอร์ 22 พันบนแกนอากาศเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.6 - 3 มิลลิเมตร จำนวน 3 รอบ

$L_6$ ,  $L_7$  และ  $L_8$  ใช้ขดลวดเบอร์ 22 ลักษณะการใส่จะขดลวดให้สูงจากแผ่นวงจรพิมพ์ ประมาณ 1.5 เซนติเมตร ส่วน  $L_7$ ,  $L_8$  ต้องมีการทับกลางด้วย

$L_9$  และ  $L_{10}$  เป็นลวดอาร์เอฟซี (RFC) ค่าประมาณ 5.6 ไมโครเฮนรี่ หรือใช้ลวดอบน้ำยาเบอร์ 40 พันบนตัวต้านทานค่า 1 เมกะโอห์ม ขนาด 0.5 วัตต์ จนเต็มแล้วบัดกรีขาของขดลวดเข้ากับขาของตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดต่ออินพุตนั้นเป็นขั้วต่อ RCA แบบยึดแทน และตรงจุดต่อสายแกนร่วมเป็นขั้วต่อ F-Type แบบตัวรับ ตัวกล่องเป็นกล่องอะลูมิเนียม เพื่อประโยชน์ในการใช้ตัวถังเป็นชิลด์ป้องกันสัญญาณรบกวน

### 3.6 การปรับแต่ง

เมื่อประกอบอุปกรณ์ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ครบหมดทุกตัวแล้ว ต้องตรวจทานดูความถูกต้องของค่าและขั้วจนแน่ใจว่าไม่มีการผิดพลาดแน่นอน จากนั้นก็จ่ายไฟ 12 โวลต์เข้าเครื่องเปิดสวิตช์  $S_1$  ให้ต่อวงจร จะสังเกตเห็น  $LED_1$  ติดสว่างจากนั้นใช้โวลต์มิเตอร์ตั้งย่านการวัดมาที่ ดีซีโวลต์ 50 V แล้ววัดแรงดันตามจุดต่างๆ ดังนี้

- 1) ที่ตัวต้านทาน  $R_4, R_9, R_{10}, R_{25}$  และขาคอลเล็กเตอร์ของ  $Q_7$  จะได้เท่ากับ +12 โวลต์
- 2) ที่ขาคิมิตเตอร์ของ  $Q_1, Q_2$  และ  $Q_3$  จะได้แรงดันเท่ากับ +1 ถึง +1.5 โวลต์
- 3) ที่ขาคอลเล็กเตอร์ของ  $Q_4$  และ  $Q_5$  จะมีแรงดันเท่ากับ +4.5 ถึง +6.5 โวลต์

ต่อไปเป็นการปรับแต่งโดยใช้อาร์เอฟโพรบช่วย ซึ่งจะใช้ร่วมกับดีซีโวลต์มิเตอร์ เมื่อต่ออาร์เอฟโพรบเข้ากับมิเตอร์เรียบร้อยแล้ว ตั้งย่านตั้งย่านการวัดไว้ที่ 10 VDC แล้วเอาปลายของโพรบวัดที่ขาเบสของ  $Q_2$  เทียบกับกราวด์ จูน  $L_1$  จนกว่า  $Q_1$  จะเริ่มผลิตความถี่ออกมา ซึ่งจะอ่านค่าแรงดันที่โวลต์มิเตอร์ ได้ประมาณ 0.5 – 1 โวลต์ แล้วย้ายไปวัดที่ขาเบสของ  $Q_3$  แล้วจูน  $L_1$  และ  $L_2$  ให้อ่านแรงดันที่โวลต์มิเตอร์ได้แรงดันสูงสุด แล้วย้ายไปวัดที่ขาเบสของ  $Q_4$  จูน  $L_4, L_5$  ให้อ่านแรงดันได้สูงที่สุด และไปจูน  $L_1, L_2$  และ  $L_4$  อีกรอบ ให้โวลต์มิเตอร์อ่านแรงดันได้สูงที่สุด จากนั้นย้ายไปวัดที่ขาเบสของ  $Q_5$  ปรับทริมเมอร์  $C_{22}, C_{24}$  และ  $C_{27}$  ให้อ่านแรงดันได้สูงที่สุด พร้อมกับย้อนมาปรับ  $L_4, L_5$  ซ้ำ อีกรอบ

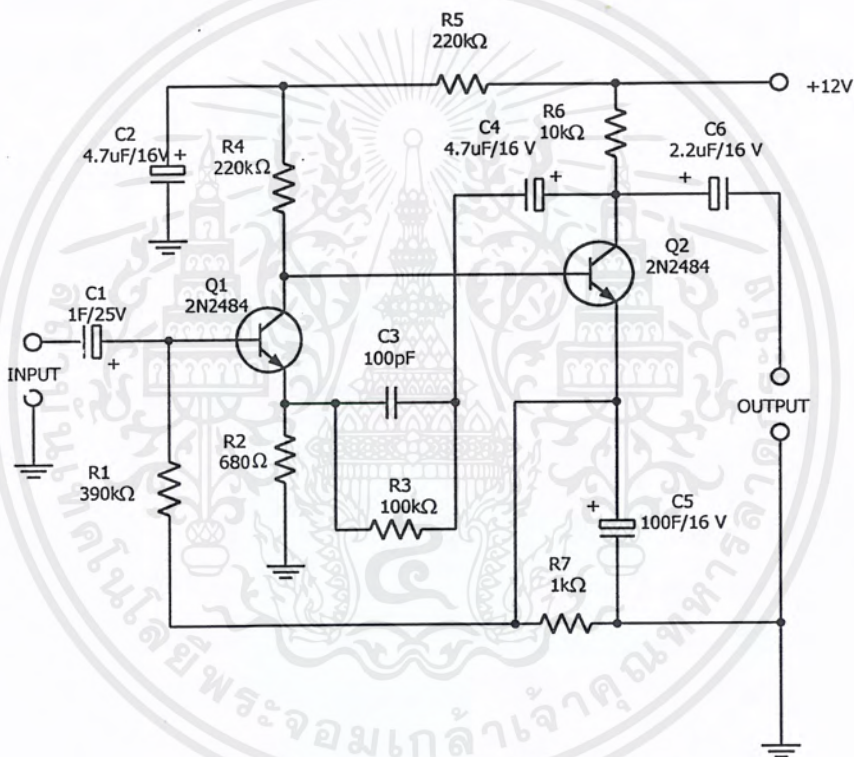
นำเครื่องรับโทรทัศน์และเครื่องเล่นวิดีโอมาต่อเข้ากับเครื่องส่งนี้ โดยต่อสายแกนร่วมกับโทรทัศน์ก่อนเพื่อจ่ายแก่การจูนช่อง จากนั้นเปิดเครื่องรับโทรทัศน์ เลือกย่านการรับช่องโทรทัศน์มาที่ย่าน UHF เปิดเครื่องเล่นวิดีโอแล้วปรับตัวจูนละเอียดของโทรทัศน์ จนสามารถรับสัญญาณภาพได้ แล้วปรับ  $VR_1, C_{27}, C_{30}$  จนภาพที่รับได้มีความชัดเจน ที่สุด จากนั้นมาทำการจูน  $T_1$  เพื่อให้ได้เสียงที่ดังและดีที่สุด ถ้าเสียงดังหรือแตกให้ลดความแรงสัญญาณได้ด้วย  $VC_2$  ให้ทดลองปรับซ้ำอีกรอบ

### 3.7 วงจรปริ๊มคัล

วงจรปริ๊มคัลที่ใช้ในการขยายสัญญาณเสียงที่ได้จากไมโครโฟนเป็นวงจรปริ๊มคัลชนิดสองทรานซิสเตอร์ ใช้กับไมโครโฟนที่มีความต้านทานภายในต่ำ ประมาณ 200 – 600 โอห์ม เนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรได้รับการออกแบบให้มีอัตราขยายสูง แต่ในกรณีที่นำไปใช้กับไมโครโฟนแบบที่มีความต้านทานภายในสูง ซึ่งปกติจะให้สัญญาณแรงกว่าไมโครโฟนที่มีความต้านทานภายในต่ำ ดังนั้นควรใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ลดความแรงของไมโครโฟนเสียก่อนเสียก่อน เพราะสัญญาณเสียงอาจแรงเกินไปจนเสียงเพี้ยนได้ หรือเปลี่ยนค่า  $R_3$  เป็น  $10\text{ k}\Omega$  ก็ได้ เพื่อลดอัตราขยายของวงจร

ภาคจ่ายไฟของวงจรปริ๊โมคเป็นแหล่งจ่ายไฟตรง +12 โวลต์ สามารถนำมาจากภาคจ่ายไฟที่มีเรกูเลเตอร์ เพื่อป้องกันการรบกวนจากแรงดัน



รูปที่ 3.6 วงจรปริ๊โมค

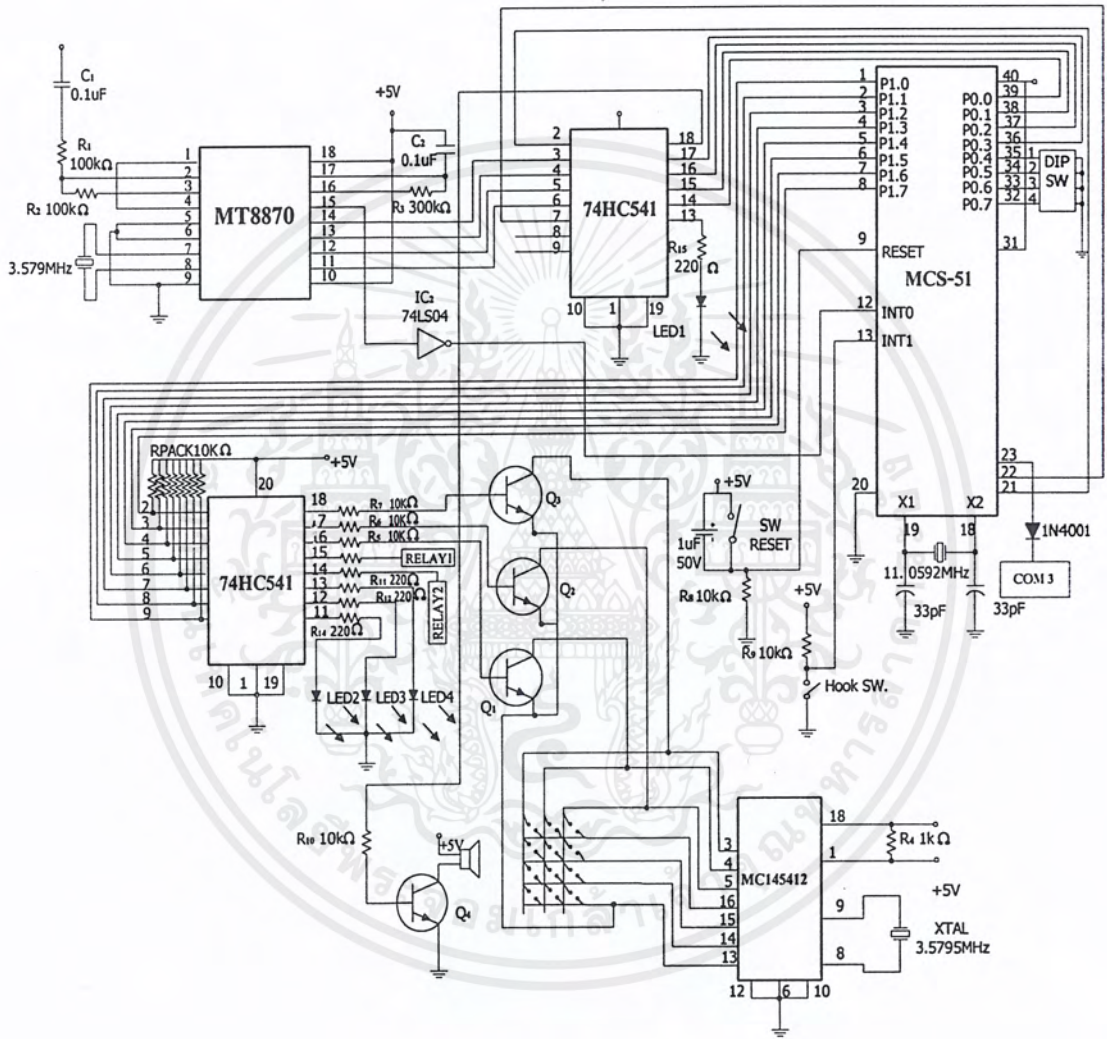
### 3.8 การทำงานของวงจรปริ๊โมค 2 TR

จากวงจรในรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าทรานซิสเตอร์  $TR_1$  และ  $TR_2$  จะต่อกันอยู่ในลักษณะของวงจรคาลิงตัน เมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามาที่ไมโครโฟนผ่านมายังอินพุตของวงจรปริ๊โมค  $C_1$  จะเป็นตัวกรองริปเปิลของสัญญาณที่เกิดจากภาคจ่ายไฟของวงจรปริ๊โมค ส่งผ่านไปยัง  $TR_1$  สัญญาณเสียงจะถูกขยายให้แรงขึ้นและเอาต์พุตที่ขาคอลเลกเตอร์ของ  $TR_1$  ก็จะส่งผ่านไปเป็นอินพุตให้กับขาเบสของ  $TR_2$  สัญญาณเสียงจะถูกขยายด้วยอัตราส่วนเท่าเดิมอีก แล้วส่งผ่าน  $C_6$  ซึ่งเป็นตัวกรองสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีปเปิดโวลต์เตจที่เกิดขึ้นในวงจรอันเป็นสาเหตุของการรบกวนของเสียง แล้วส่งไปทำการมอดูเลตที่วงจร AV มอดูเลตต่อไป

### 3.9 วงจรเรียกการติดต่อ



รูปที่ 3.7 วงจรเรียกการติดต่อ

### 3.10 การทำงานของวงจรเรียกการติดต่อ

วงจรเรียกการติดต่อ ที่แสดงดังในรูปที่ 3.8 จะประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์ และส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.10.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วยสองส่วน คือ

ส่วนถอดรหัสความถี่โทรศัพท์ โดยมีหัวใจหลักอยู่ที่ IC<sub>1</sub> เบอร์ MT8870 เป็นไอซีถอดรหัสความถี่โทรศัพท์หรือเรียกว่าความถี่โทน DTMF โดย C<sub>1</sub> กับ R<sub>1</sub> จะทำหน้าที่คัปปลิ่งสัญญาณ DTMF ที่รับเข้ามาของไอซีเพื่อถอดรหัสออกมาเป็นรหัสดิจิทัลเลขฐานสอง ออกมาที่ขาเอาต์พุตทั้ง 4 ขา หรือ เรียกว่า 4 บิต เรียงจากขาที่มีบิตนัยสำคัญสูงสุด คือ Q4, Q3, Q2 และ Q1 (ขา 14, 13, 12 และ 11) ตามลำดับ

IC<sub>1</sub> จะต้องมีตัวต้านทานและตัวเก็บประจุต่อรวมอยู่ด้วยรวมทั้งคริสตอล 3.579 เมกะเฮิรตซ์ จะเป็นส่วนช่วยให้การถอดรหัสความถี่ภายในถูกต้องแน่นอน ไอซีเบอร์ MT8870 สามารถจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงสูงสุดได้แค่ 6 โวลต์เท่านั้น จึงต้องรักษาระดับแรงดันที่จ่ายให้คงที่อยู่ที่ 5 โวลต์

สัญญาณเอาต์พุต 4 บิตที่ถอดรหัสออกมาทางขา 14,13,12,11 ตามลำดับจะถูกส่งเข้าอินพุตของ IC<sub>3</sub> เบอร์ 74HC541 เพื่อรักษาระดับสัญญาณให้คงที่แล้วส่งสัญญาณออกที่เอาต์พุตไปเข้า IC<sub>4</sub> เบอร์ 8051 เข้าพอร์ต P0.0 - P0.3 (ขา 39 - 36) ตามลำดับ

ในส่วนเข้ารหัสความถี่โทรศัพท์ หัวใจหลักจะอยู่ที่ IC<sub>6</sub> เบอร์ MC145412 ซึ่งจะทำหน้าที่เข้ารหัสจากการกดสวิทช์ที่คีย์โทรศัพท์ที่ติดกับเครื่องควบคุมให้เอาต์พุตออกมาทางขา 18 เป็นสัญญาณ DTMF โดยได้รับแรงดันไฟจาก R<sub>13</sub> ซึ่งสวิทช์คีย์โทรศัพท์จะมีการต่อทรานซิสเตอร์ Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub> เบอร์ 945 เพื่อเป็นอิเล็กทรอนิกส์สวิทช์ โดยต่อเข้าขา P1.5, P1.6, P1.7 ของ IC<sub>4</sub> เบอร์ 8051 โดยคีย์สวิทช์โทรศัพท์ที่ต่อกับ Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub> คือ \*, #, 0 ตามลำดับ ซึ่งคีย์สวิทช์เหล่านี้จะทำการกดอัดโน้มนัดเมื่อ 8051 มีป้อนไฟเข้ามา ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องก็ต่อเมื่อมีโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาควบคุมใน 8051

### 3.10.2 ส่วนของซอฟต์แวร์

สำหรับโครงสร้างในส่วนของซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมการเรียกติดต่อนั้นแสดงในลักษณะผังการทำงานดังรูปที่ 3.10 จากโครงสร้างทางด้านซอฟต์แวร์มีหลักการทำงาน คือ เมื่อผู้เรียกเป็นเครื่องหมายเลขหนึ่ง ต้องการติดต่อกับเครื่องหมายเลขสอง เครื่องหมายเลขหนึ่งกดสวิทช์ฮุก (Switch Hook) จะได้ยินเสียงสัญญาณให้หมุน เพื่อบอกให้ผู้ใช้รู้ว่าขณะนี้เครื่องว่างพร้อมจะติดต่อ จากนั้นให้ทำการกดเลขหมายเครื่องที่ต้องการจะติดต่อ ซึ่งเป็นเลขหมายสองหลัก เช่น 01 02 03 และ 04 เป็นต้น เมื่อเครื่องรับได้รับสัญญาณก็จะส่งเสียงเรียกพร้อม ทั้งแสดงเป็นไฟสัญญาณให้รู้ว่าเครื่องหมายเลขใดติดต่อมา ส่วนทางฝ่ายผู้เรียกก็จะได้ยินเสียงเรียกเช่นเดียวกัน เมื่อฝ่ายผู้รับปลายทางกดสวิทช์ สัญญาณเรียกทั้งสองข้างก็จะหายไป รีเลย์ก็จะตัดต่อไฟให้กับโทรศัพท์

ฝ่ายหนึ่งฝ่ายใดยกเลิกการติดต่อโดยการกดสวิทช์อีกฝ่ายก็จะได้ยินเสียงสัญญาณสายไม่ว่าง เพื่อบอกให้ทราบว่ายานนี้ฝ่ายตรงข้ามยกเลิกการติดต่อแล้วให้ทำการกดสวิทช์สุกเพื่อยกเลิกค่าต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

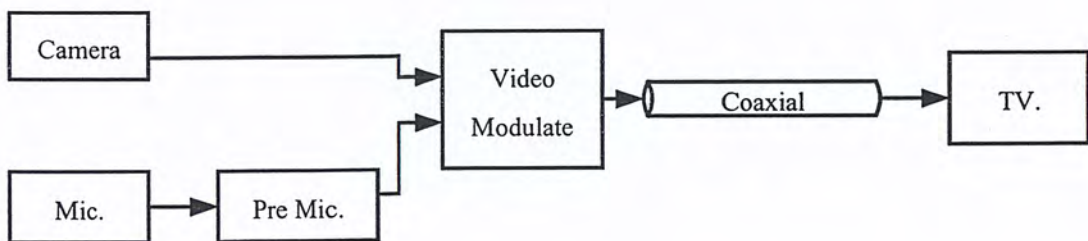
#### 4.1 ลักษณะการต่อใช้งาน

ระบบโทรศัพท์ภาพจะส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านสายแกนร่วม ลักษณะการทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของภาคการเรียกติดต่อและส่วนของภาคการรับส่งสัญญาณภาพและเสียง ซึ่งส่วนของภาคการเรียกติดต่อจะประกอบด้วย วงจรถอดรหัสความถี่โทรศัพท์ วงจรเข้ารหัสความถี่โทรศัพท์ โปรแกรม MCS-51 และวงจรการควบคุมการทำงานของวงจรส่วนของภาครับ-ส่งสัญญาณภาพประกอบด้วย โทรศัพท์ กิ่งอวิดีโอ ไมโครโฟน และวงจรเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ

สายนำสัญญาณที่ใช้ระบบโทรศัพท์เป็นสายโคแอกเซียล RG-6/U มีค่าความต้านทานภายในสาย (Characteristic Impedance) 75 โอห์ม และความยาวของสายนำสัญญาณที่ใช้มีความยาวของระยะห่างสูงสุด 100 เมตร ถ้าหากต้องการเพิ่มความยาวของสายนำสัญญาณให้มีความยาวกว่านี้จะต้องคำนึงถึงอัตราการลดทอนภายในสายด้วย

#### 4.2 การทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียงทางเดียว

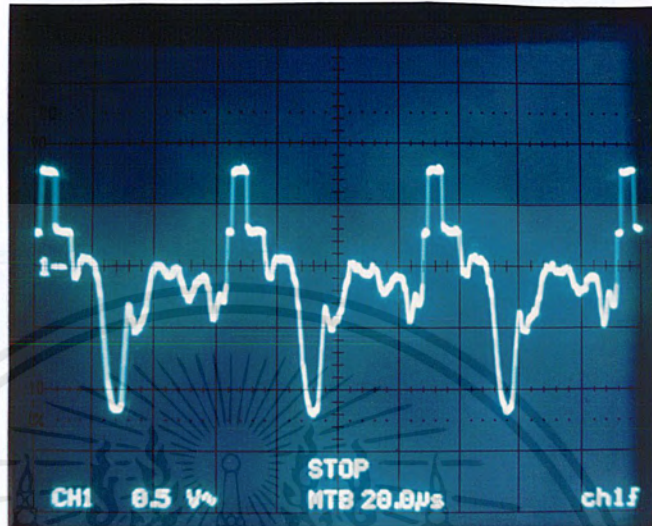
รูปที่ 4.1 เป็นลักษณะของการต่อเพื่อการทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียงเพียงด้านเดียว ที่ละเครื่องทั้งนี้เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรต่างๆ ในระบบ ซึ่งสัญญาณภาพและเสียงที่ใช้ในการทดลองส่งอาจได้มาจาก กล้องถ่ายสัญญาณโทรทัศน์กับไมโครโฟนโดยตรง หรืออาจได้มาจากเครื่องเล่นวิดีโอเทป ผ่านสายโคแอกเซียลไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ โดยการทดลองจะทำการส่งสัญญาณทีละเครื่อง เริ่มมาจากเครื่องที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ผลการทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียงทางเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียงทางเดียว



รูปที่ 4.2 สัญญาณจากกล้องวิดีโอ

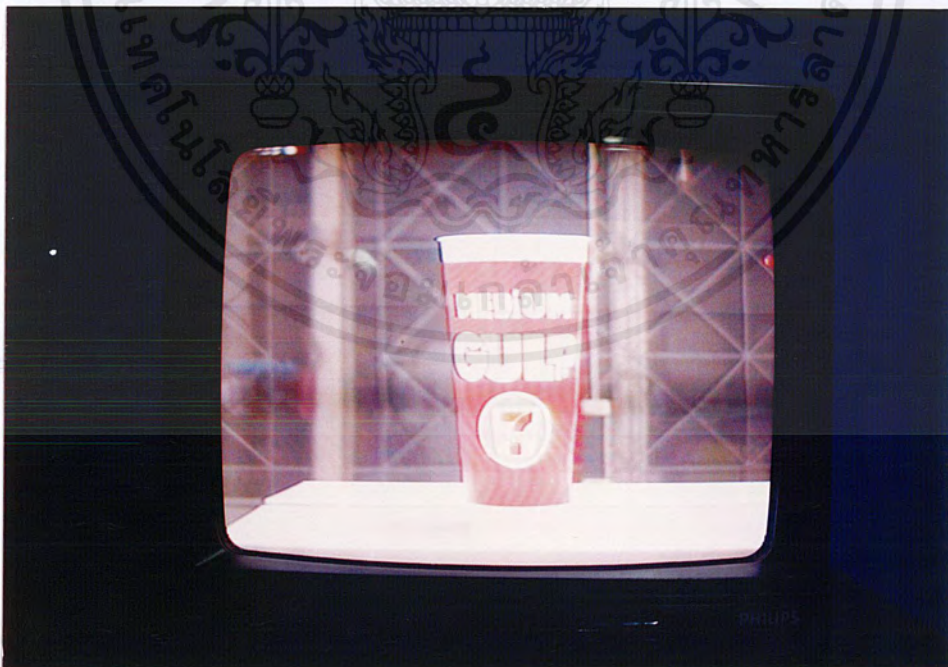


รูปที่ 4.3 สัญญาณจากไมโครโฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

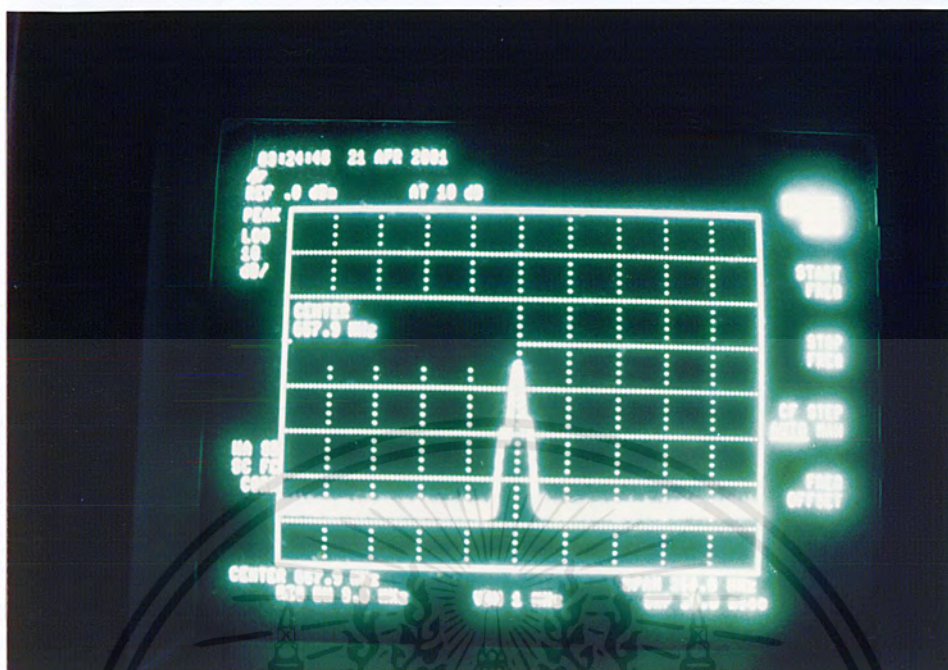


รูปที่ 4.4 สัญญาณอาร์เอฟวัดได้จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมที่ปลายสาย ด้วยระยะทาง 100 เมตร โดยการส่งจากเครื่องที่ 1

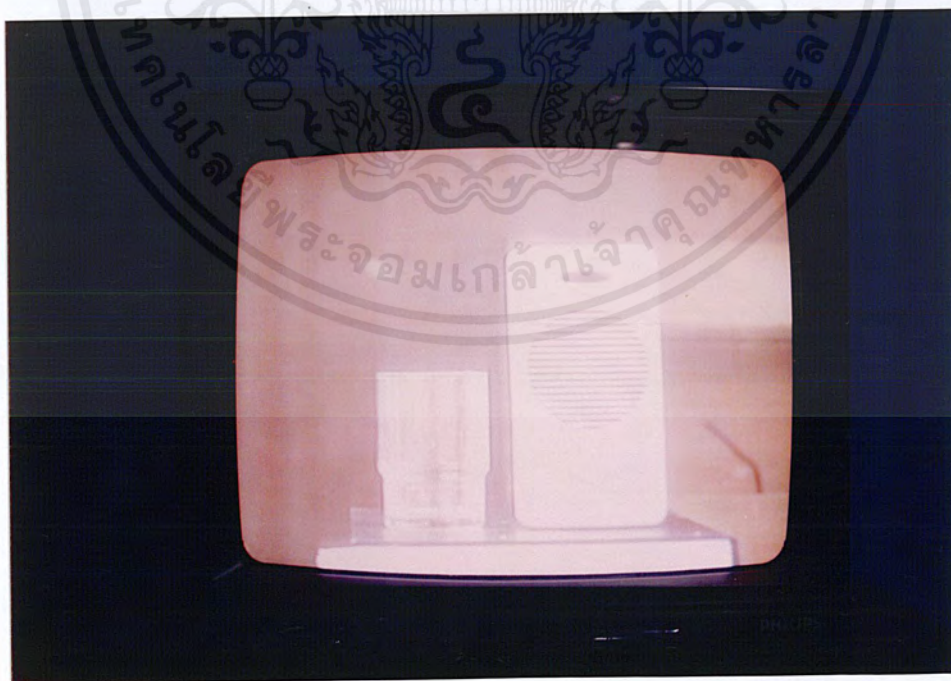


รูปที่ 4.5 สัญญาณภาพที่รับได้ที่ปลายสายด้วยระยะห่าง 100 เมตร โดยการส่งจากเครื่องที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

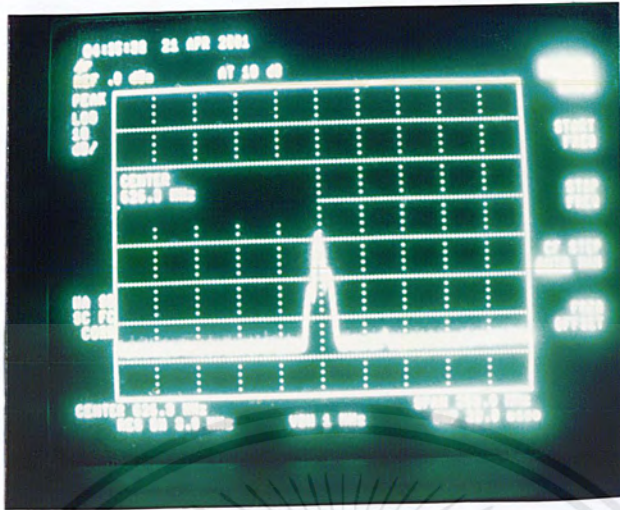


รูปที่ 4.6 สัญญาณอาร์เอฟวีคได้จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมที่ปลายสาย ด้วยระยะทาง 100 เมตร โดย การส่งจากเครื่องที่ 2

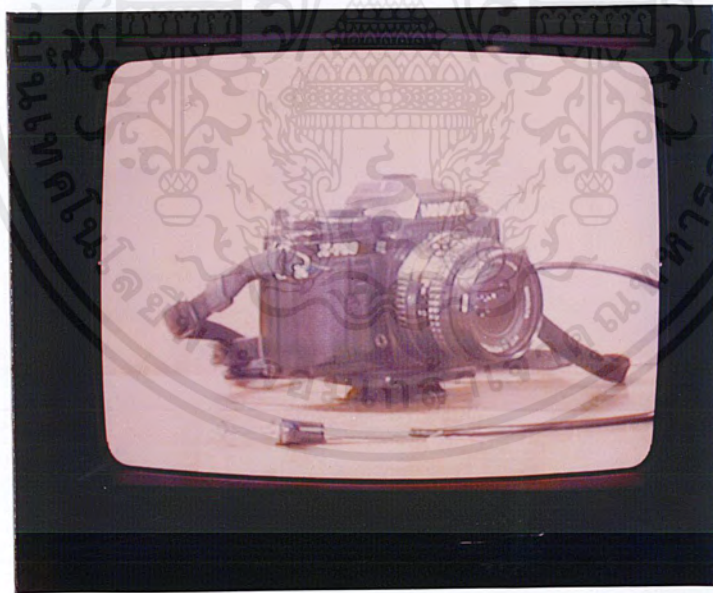


รูปที่ 4.7 สัญญาณภาพที่รับได้ที่ปลายสายด้วยระยะห่าง 100 เมตร โดยการส่งจากเครื่องที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

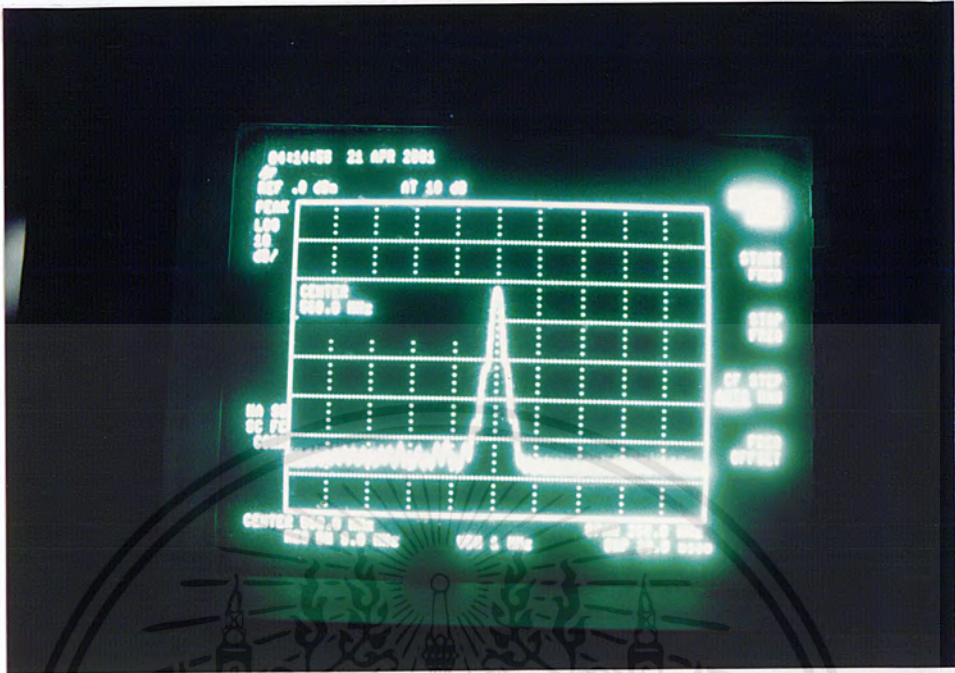


รูปที่ 4.8 สัญญาณอาร์เอฟวัดได้จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมที่ปลายสาย ด้วยระยะทาง 100 เมตร โดยการส่งจากเครื่องที่ 3

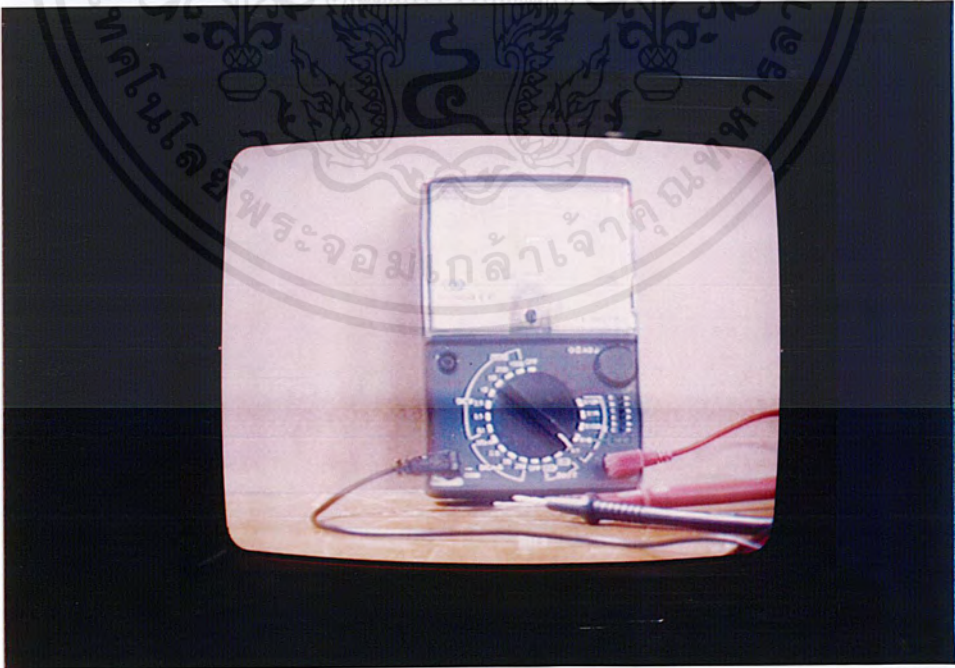


รูปที่ 4.9 สัญญาณภาพที่รับได้ที่ปลายสายด้วยระยะห่าง 100 เมตร โดยการส่งจากเครื่องที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

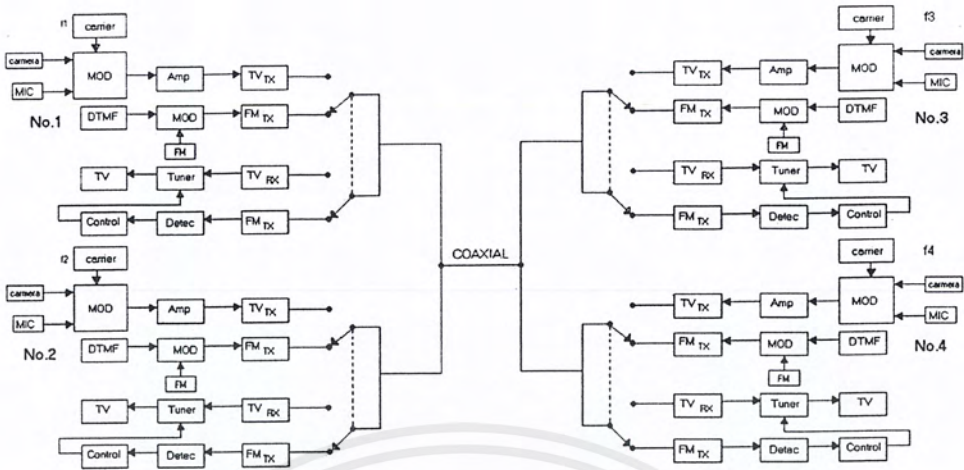


รูปที่ 4.10 สัญญาณอาร์เอฟวัดได้จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมที่ปลายสาย ด้วยระยะทาง 100 เมตร โดยการส่งจากเครื่องที่ 4



รูปที่ 4.11 สัญญาณภาพที่รับได้ที่ปลายสายด้วยระยะห่าง 100 เมตร โดยการส่งจากเครื่องที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แผนผังการทดลองรับส่งสัญญาณภาพและเสียง 4 เครื่องในเวลาเดียวกัน

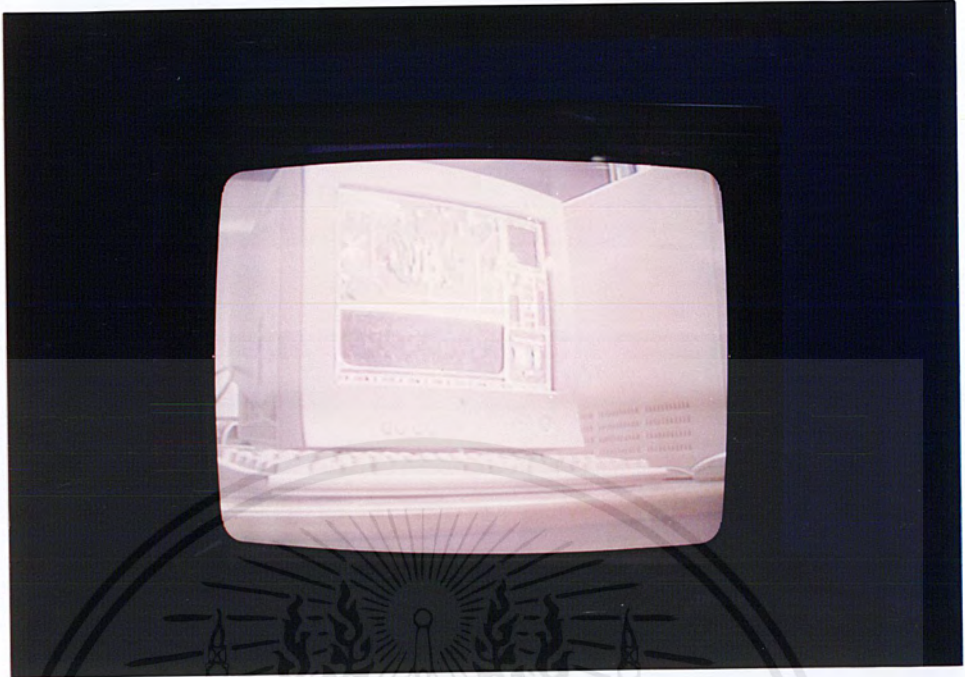
รูปที่ 4.12 เป็นการทดลองรับส่งสัญญาณภาพและเสียง 4 เครื่องในเวลาเดียวกัน โดยระยะห่างระหว่างเครื่องระยะสูงสุดไม่เกิน 100 เมตร เพื่อการทดสอบว่าวงจรทำงานได้ปกติหรือไม่และทำการวัดสัญญาณต่างๆ ดังรูปต่อไปนี้

4.4.1 วัดสัญญาณภาพที่เครื่องรับของเครื่องที่ 1



รูปที่ 4.13 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



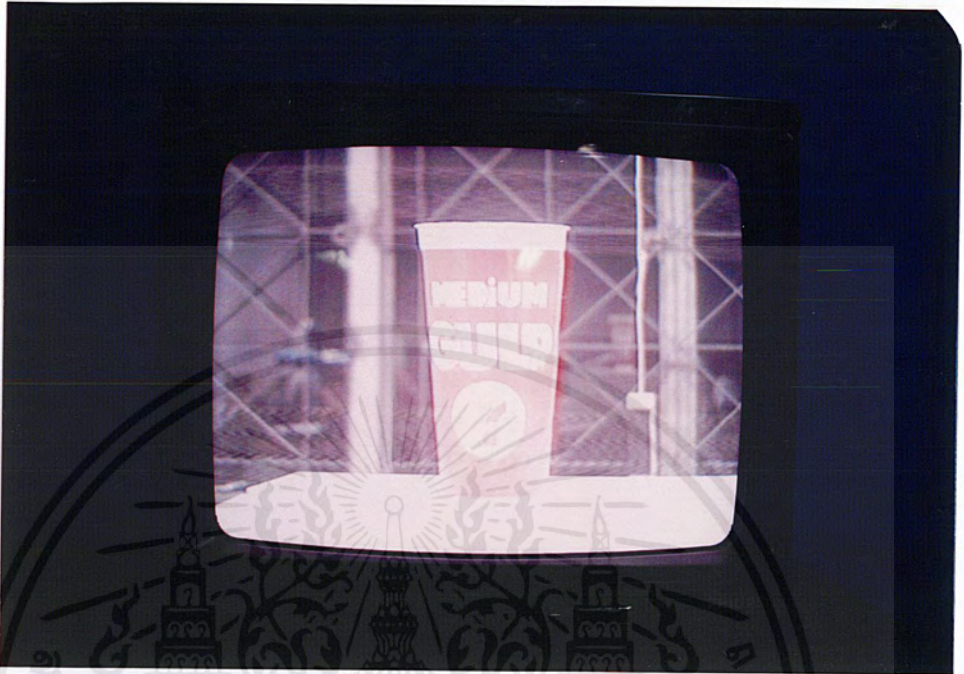
รูปที่ 4.14 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 3



รูปที่ 4.15 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 วัตถุประสงค์ภาพที่เครื่องรับของเครื่องที่ 2

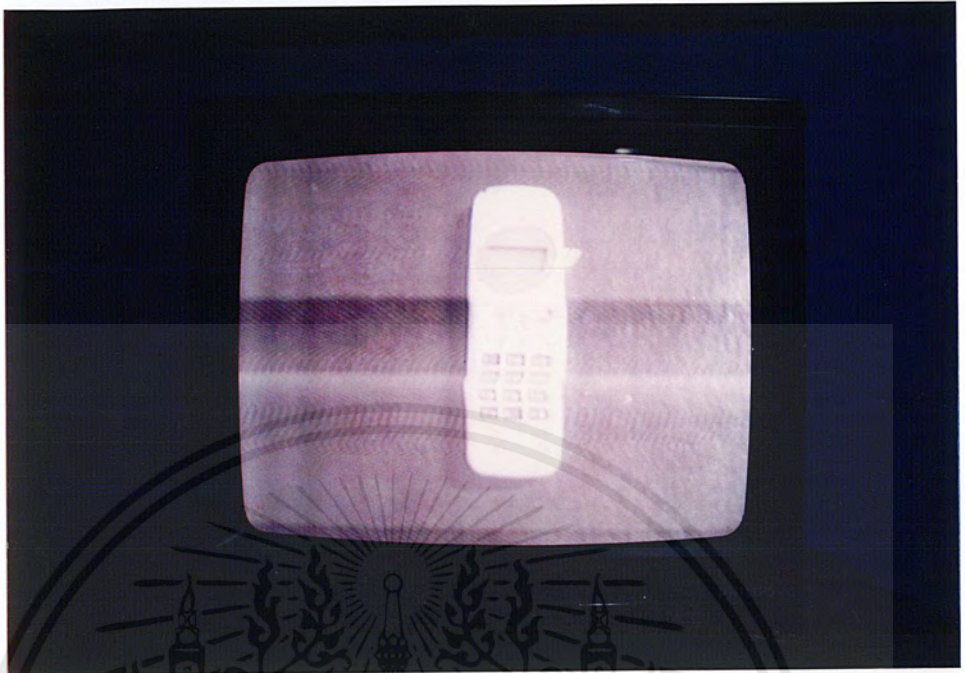


รูปที่ 4.16 วัตถุประสงค์ภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 1



รูปที่ 4.17 วัตถุประสงค์ภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



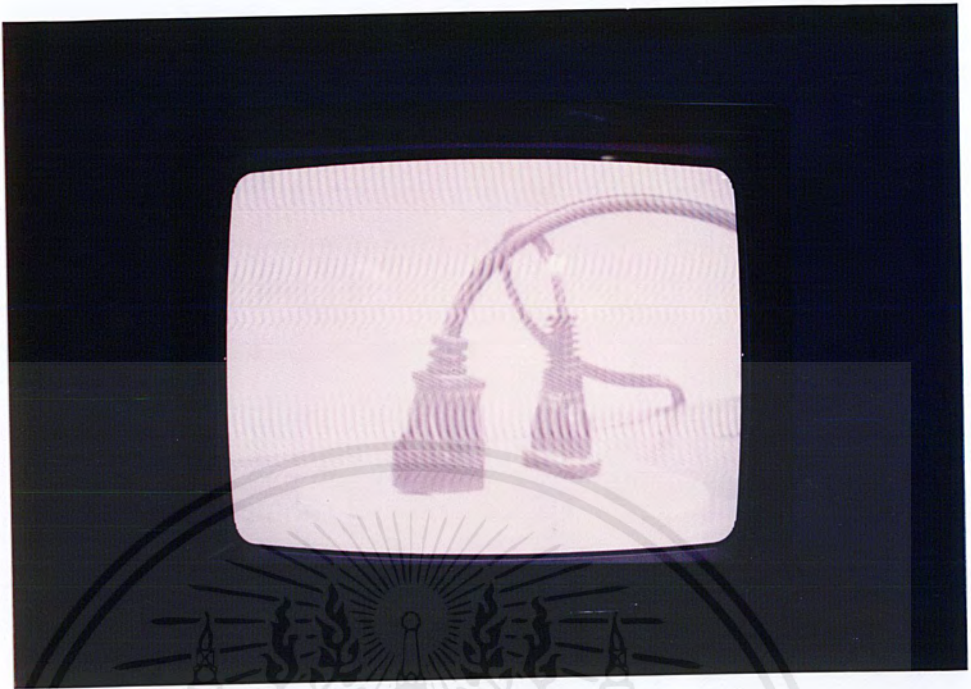
รูปที่ 4.18 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 4

#### 4.4.3 วัตถุประสงค์ของภาพที่เครื่องรับของเครื่องที่ 3



รูปที่ 4.19 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 2



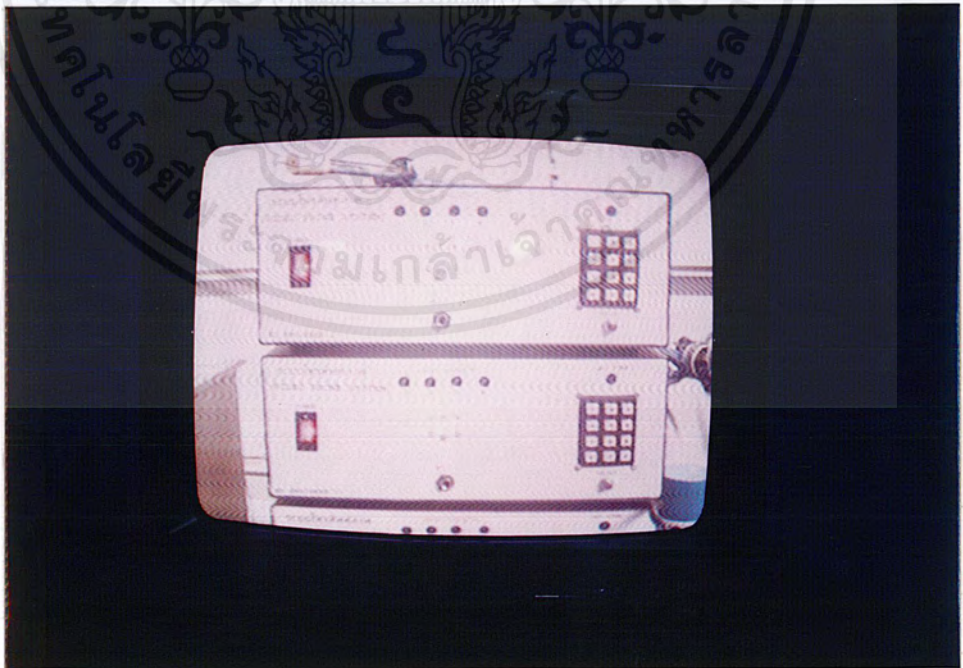
รูปที่ 4.21 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.4 วัตถุประสงค์ภาพที่เครื่องรับของเครื่องที่ 4

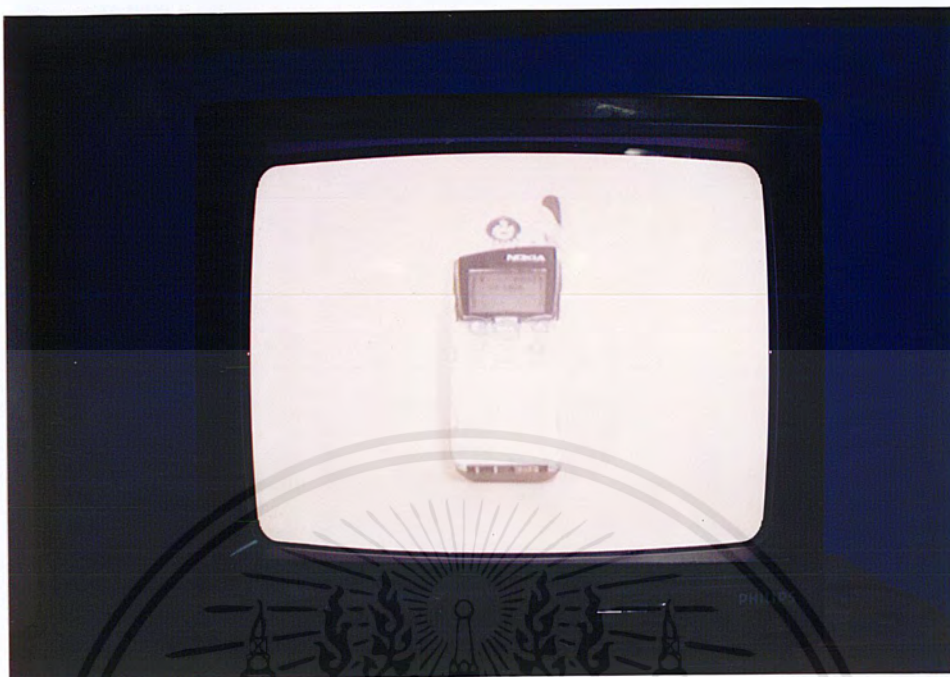


รูปที่ 4.22 วัตถุประสงค์ภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 1



รูปที่ 4.23 วัตถุประสงค์ภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 สัญญาณภาพที่รับมาจากเครื่องที่ 3

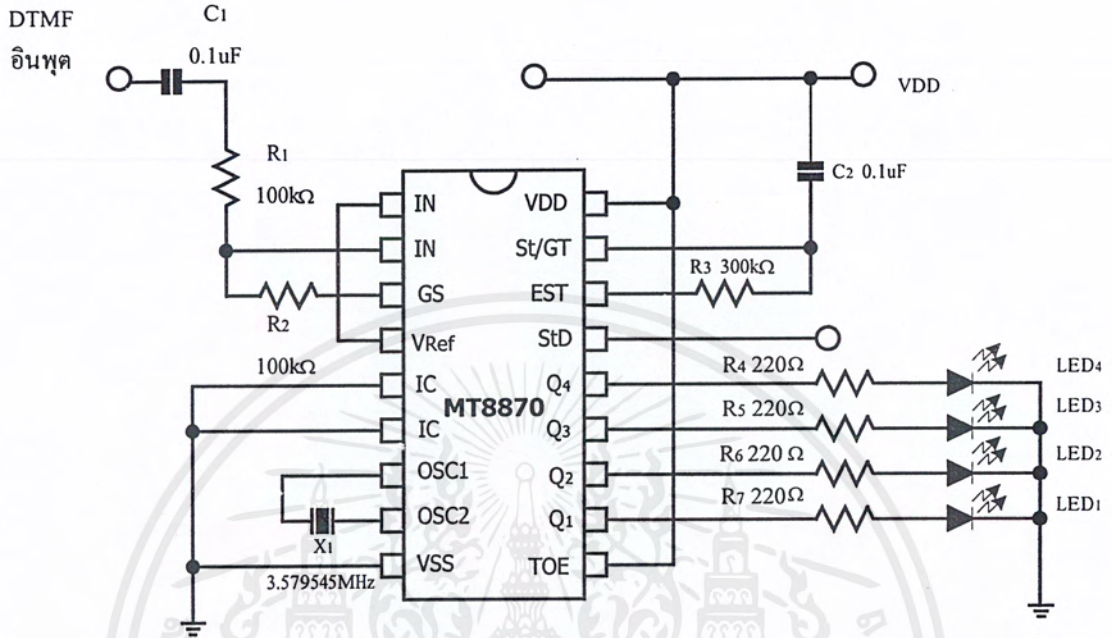
#### 4.5 วงจรเรียกติดต่อ

เพื่อให้การทำงานง่ายขึ้นในการทดลอง และตรวจสอบการทำงาน จึงได้แบ่งการทดลอง ออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการทดลองของวงจรแต่ละชุดที่ยังไม่ได้ประกอบรวมกัน และส่วนที่สองเป็นการทดลองการทำงานของวงจรเรียกการติดต่อที่ใช้งานจริง

##### 4.5.1 วงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่

ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบวงจรตามรูปที่ 4.25
2. ตรวจสอบความถูกต้องของวงจรที่ต่อเสร็จแล้ว ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ให้กับวงจรพร้อมกับต่อคู่สายโทรศัพท์เข้ากับวงจร
3. ทดลองกดหมายเลขโทรศัพท์เข้ามาที่วงจรถอดรหัสความถี่โทรศัพท์ LED ที่ต่อไว้ จะต้องเปลี่ยนแปลงไปตามหมายเลขที่กดเข้ามา



รูปที่ 4.25 วงจรถอดรหัสความถี่โทรศัพท์

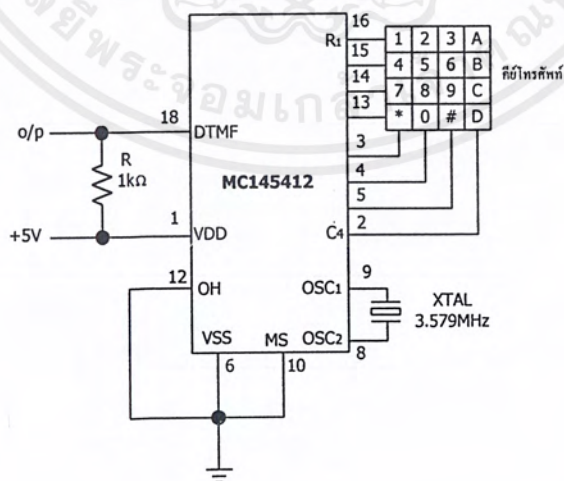
#### ผลการทดลอง

เมื่อทดลองกดหมายเลขโทรศัพท์จากเครื่องโทรศัพท์โดยป้อน TIP กับ RING จากคู่สายโทรศัพท์มาป้อนให้กับวงจรที่ได้ต่อไว้ซึ่งผลที่ได้จากการกดคีย์ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 4

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองกดหมายเลข โทรศัพท์จากเครื่อง โทรศัพท์โดยป้อน TIP กับ RING จาก คู่สายโทรศัพท์มาป้อนให้กับวงจร

หมายเลขที่หน้าปัด โทรศัพท์	Q4	Q3	Q2	Q1
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
0	1	0	1	0
*	1	0	1	1
#	1	1	0	0

#### 4.5.2 วงจรเข้ารหัสความถี่โทรศัพท์



รูปที่ 4.26 วงจรการเข้ารหัสความถี่โทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบวงจรตามรูปที่ 4.26
2. ตรวจสอบความถูกต้องของวงจร ป้อนแรงดันไฟกระแสตรง 5 โวลต์ให้กับวงจรพร้อม กับต่อเข้ากับ วงจรถอดรหัสความถี่โทรศัพท์
3. ทดลองกดคีย์หมายเลขโทรศัพท์ที่วงจรเข้ารหัส ความถี่โทรศัพท์มายังวงจรถอดรหัส ความถี่โทรศัพท์ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของ LED

### ผลการทดลอง

จากการทดลองวงจรเข้ารหัสความถี่โทรศัพท์ ให้ทำการนำเอาสัญญาณ DTMF IN ไปต่อ เข้ากับ DTMF OUT สังเกตการเปลี่ยนแปลงของ LED ที่วงจรเข้ารหัสความถี่โทรศัพท์

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวงจรเข้ารหัสความถี่โทรศัพท์

หมายเลขที่หน้าปิดโทรศัพท์	Q4	Q3	Q2	Q1
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
0	1	0	1	0
*	1	0	1	1
#	1	1	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LED แสดงหมายเลขผู้เรียกที่เครื่องรับและมีสัญญาณต่างๆ คล้ายโทรศัพท์ จากการทดลองหลายๆ ครั้ง โดยเริ่มจากการติดต่อกันระหว่างเครื่องสองเครื่อง เมื่อสามารถติดต่อกันได้ก็ทดลองติดต่อกันเป็นคู่ว่าสามารถติดต่อกันได้หรือไม่ แล้วทำการทดลองซ้ำจนสามารถติดต่อกันได้

#### ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ในการทดลองวงจรเรียกการติดต่อปัญหาส่วนมากจะอยู่ในตัวของโปรแกรมโดยขั้นแรกที่ทดลองเรียกติดต่อกัน 2 ชุด โดยทำการแก้ไขโปรแกรมจนสามารถติดต่อกันได้คล้ายสัญญาณโทรศัพท์และแสดงหมายเลขผู้เรียกที่เครื่องรับได้แล้ว แต่เมื่อทำการติดตั้งเครื่องอีก 2 ชุดเป็น 4 ชุดเมื่อทดลองเรียกติดต่อกันสัญญาณติดต่อ DTMF ไม่สามารถติดต่อกันได้เนื่องจากทุกเครื่องได้รับสัญญาณ DTMF ที่เหมือนกันโดยแยกสัญญาณ DTMF ของแต่ละเครื่องไม่ได้ จึงได้ทำการแก้ไขโดยการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติม ทดลองจนสามารถติดต่อกันได้ระหว่างชุด 2 ชุด โดยมีสัญญาณต่างๆ คล้ายโทรศัพท์และแสดงหมายเลขผู้เรียกที่เครื่องรับ

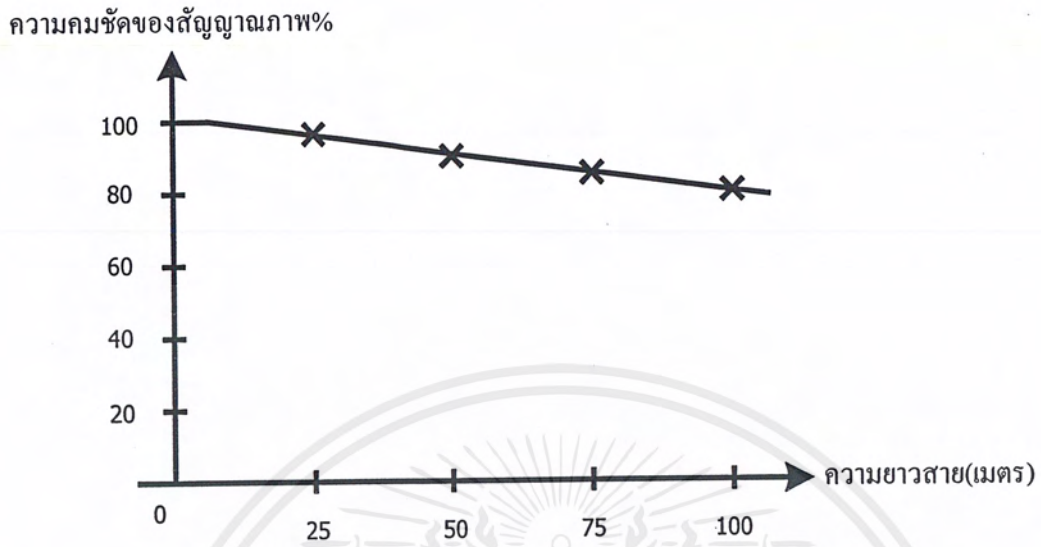


## บทที่ 5

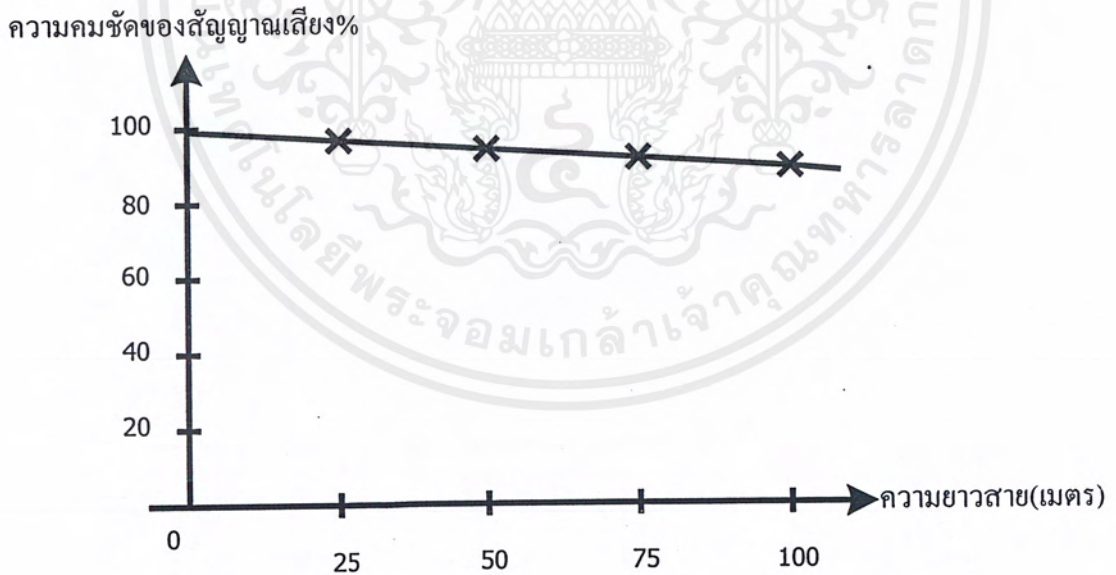
### บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา

#### 5.1 บทสรุป

จากการทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านสายแกนร่วม ที่ความยาวของสายนำสัญญาณยาวประมาณ 1 เมตร โดยการทดลองส่งครั้งละเครื่องผลที่ได้คือสัญญาณภาพที่เครื่องรับสามารถรับได้อย่างคมชัด จากนั้นทำการรับพร้อมกัน 4 เครื่อง ที่ระยะความยาว 1 เมตร ผลที่ได้คือสัญญาณภาพสามารถส่งพร้อมกัน 4 เครื่องได้ แต่จะเกิดการรบกวนกัน กล่าวคือ จะมีสโนว์เกิดขึ้นเล็กน้อย และบางช่องจะเกิดเงาของช่องข้างเคียงแทรกเข้ามา ทั้งนี้อาจเกิดจากจุดต่อลงกราวด์ไม่ค้อยดี และช่องสัญญาณมีความถี่ใกล้กัน ส่วนสัญญาณเสียงจะมีความคมชัดดี จากนั้นจึงได้ทำการต่อจุดลงกราวด์ใหม่ และจนความถี่ให้มีช่องสัญญาณห่างกันมากขึ้น โดยทั้ง 4 เครื่อง มีช่องสัญญาณความถี่ดังนี้คือ 533 MHz, 575 MHz, 610 MHz และ 643 MHz ตามลำดับผลที่ได้คือ สัญญาณภาพสามารถส่งได้โดยไม่มีเงาเกิดขึ้น แต่ยังมีสโนว์เกิดขึ้นเล็กน้อย จึงทำให้ได้ข้อสันนิษฐานว่า ที่ความถี่สูงๆ ในย่าน UHF จะทำให้เกิดการรบกวนกันได้ง่าย จากนั้นจึงทำการทดลองส่งที่ความยาว 25 เมตร 50 เมตร 75 เมตร และ 100 เมตร ผลที่ได้สามารถส่งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงสวนทางกันได้ และความคมชัดสัญญาณภาพและเสียงที่เครื่องรับสามารถรับได้จะมีลักษณะแปรผกผันกับความยาวของสายนำสัญญาณ คือเมื่อสายนำสัญญาณมีความยาวเพิ่มขึ้น ความคมชัดของสัญญาณภาพและเสียงจะมีค่าลดลงตามความยาวของสายนำสัญญาณที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่สามารถวัดความชัดเจนออกมาเป็นตัวเลขได้ นอกจากการประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์ด้วยสายตา ผลของการประเมิน ดังแสดงในรูป 5.1 และรูปที่ 5.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ทั้งกราฟแสดงความคมชัดของภาพและเสียงโดยการประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์ ต่อความยาวของสายนำสัญญาณ เห็นว่ากราฟของสัญญาณภาพและเสียง จะมีความชันเป็นเส้นตรงในลักษณะค้งลง เมื่อเปรียบเทียบกราฟแสดงความคมชัดของสัญญาณภาพกับสัญญาณเสียงแล้ว จะเห็นว่ากราฟของสัญญาณเสียงจะมีความชันน้อยกว่าของสัญญาณภาพ หมายความว่าสัญญาณเสียงจะมีความชัดเจนกว่าสัญญาณภาพนั่นเอง



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความคมชัดของสัญญาณภาพประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อความยาวของสายนำสัญญาณ



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความคมชัดของสัญญาณเสียงเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อความยาวของสายนำสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1) ความถี่ที่ใช้ในระบบส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านสายแกนร่วมเป็นความถี่ย่าน UHF ซึ่งความถี่ย่าน UHF จะเป็นย่านความถี่สูงจึงทำให้เกิดสัญญาณรบกวนได้ง่าย

**แนวทางแก้ไข** ช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้ในการรับ-ส่งจะต้องอยู่ห่างกันมากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการรบกวนกัน

2) เกิดการรบกวนของสัญญาณภาพและเสียง เนื่องจากจุดต่อลงกราวด์ที่แผ่นวงจรพิมพ์ไม่ค่อยดี

**แนวทางแก้ไข** เพื่อลดสัญญาณรบกวน ดังนั้นจุดต่อกราวด์ทุกจุดต้องต่อร่วมกันและต้องติดกับกล่องโลหะด้วย

3) เครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับทำการวัดสัญญาณความถี่สูงมีจำนวนน้อยทำให้ไม่สามารถใช้งานในการทดลองได้อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เช่น กล้องถ่าย สัญญาณภาพ โทรทัศน์ โทรทัศน์ และเครื่องมือวัดสัญญาณมีไม่จำนวนเพียงพอ

**แนวทางแก้ไข** เครื่องมือที่ใช้สำหรับทำการวัดสัญญาณความถี่สูงและอุปกรณ์ต้องหมุนเวียนกันใช้และยืมจากที่อื่น

4) การลดทอนสัญญาณในสายมีผลต่อเอาต์พุตมาก ถ้าสายมีความยาวมากขึ้นความคมชัดของสัญญาณภาพและเสียงยิ่งน้อยลง

**แนวทางแก้ไข** เลือกสายนำสัญญาณที่มีการลดทอนต่ำ

5) กำลังของสัญญาณเอาต์พุตของระบบรับส่งสัญญาณภาพและเสียงมีระดับต่ำมาก

**แนวทางแก้ไข** ขยายสัญญาณให้แรงขึ้นหรือใช้บูสเตอร์ยกกระดับกำลังสัญญาณเอาต์พุตให้สูงขึ้น

## 5.3 แนวทางในการพัฒนา

1) พัฒนาให้สามารถส่งสัญญาณภาพและเสียงได้ไกลขึ้น โดยเพิ่มวงจรขยายสัญญาณ RF ประสิทธิภาพและไม่ส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนต่อระบบ

2) พัฒนาเป็นส่ง 8 ช่องโดยแบ่งหน้าจอของเครื่องรับโทรทัศน์ออกเป็น 8 ส่วน และสร้างวงจรมอดูเลตขึ้น 8 ชุด ทำการมอดูเลตสัญญาณภาพและเสียงด้วยคลื่นพาหะที่ต่างกัน แล้วส่งไปในสายเคเบิลแกนร่วมเส้นเดียวกัน

3) พัฒนาจากการใช้สายเคเบิลแกนร่วมเป็นสายเคเบิลใยแก้ว เพราะการลดทอนภายในสายเคเบิลใยแก้วน้อยกว่าเคเบิลแกนร่วม ทำให้สามารถส่งไปได้ไกลกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) พัฒนาจากการรับส่งโดยใช้สายเคเบิลแกนร่วมเป็นการรับส่งโดยการกระจายคลื่นออก

อากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ลักษณะของเครื่องโทรศัพท์ภาพ

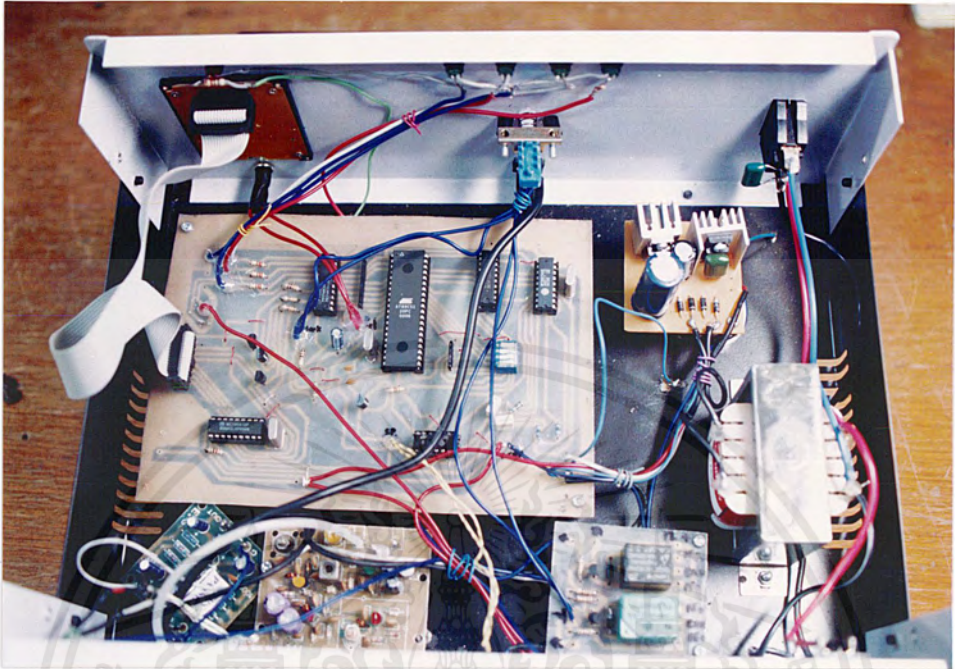


รูปที่ ก.1 ด้านหน้าของระบบโทรศัพท์ภาพ



รูปที่ ก.2 ด้านหลังของระบบโทรศัพท์ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 วงจรภายในของระบบ โทรศัพท์ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข  
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการอุปกรณ์เครื่องส่งสัญญาณวิทยุ UHF

อุปกรณ์	ค่า/เบอร์	จำนวน
R1, R5, R11	22k $\Omega$	3 ตัว
R2, R6, R12, R16	4.7k $\Omega$	4 ตัว
R4, R7, R9, R10, R13, R18, R19, R12 , R25	100 $\Omega$	10 ตัว
R8, R14, R31	10 $\Omega$	3 ตัว
R15	100k $\Omega$	1 ตัว
R17, R30	2.2 k $\Omega$	2 ตัว
R20, R22	470 $\Omega$	2 ตัว
R29	560 $\Omega$	1 ตัว
R24	3.3 k $\Omega$	1 ตัว
R26, R28	6.8 k $\Omega$	2 ตัว
R27	10k $\Omega$	1 ตัว
R23	82 $\Omega$	1 ตัว
VR1 ตัวความต้านทานปรับค่าได้แบบเกือก ม้านอนตัวเล็ก	1 k $\Omega$	1 ตัว
VR2 ตัวความต้านทานปรับค่าได้แบบเกือก ม้านอนตัวเล็ก	10 k $\Omega$	1 ตัว
C1 ชนิดเซรามิกส์	0.0047 $\mu$ F 50 V	1 ตัว
C2, C37 ชนิดเซรามิกส์	0.001 $\mu$ F 50V	2 ตัว
C3, C8, C17, C34 ชนิดเซรามิกส์	0.01 $\mu$ F 50V	4 ตัว
C4, C9, C11, C16, C18, C25, C28, C31, C32 ชนิดเซรามิกส์	470 pF 50 V	9 ตัว
C5 ชนิดเซรามิกส์	33 pF 50V	1 ตัว
C6, C21 ชนิดเซรามิกส์	15 pF 50V	2 ตัว
C7 ชนิดเซรามิกส์	56 pF 50 V	1 ตัว
C10, C41 ชนิดเซรามิกส์	82 pF 50 V	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์		ค่า/เบอร์	จำนวน
C12	ชนิดเซรามิกส์	18 pF 50 V	1 ตัว
C13	ชนิดเซรามิกส์	2 pF 50V	1 ตัว
C14	ชนิดเซรามิกส์	24 pF 50 V	1 ตัว
C15	ชนิดเซรามิกส์	39 pF 50V	1 ตัว
C19	ชนิดเซรามิกส์	7 pF 50V	1 ตัว
C20, C26	ชนิดเซรามิกส์	1 pF 50V	2 ตัว
C36	ชนิดเซรามิกส์	5 pF 50V	1 ตัว
C23, C38	ชนิดเซรามิกส์	47 pF 50V	2 ตัว
C22, C24, C27	ทริมเมอร์	2-18 pF	3 ตัว
C30	ทริมเมอร์	2-8 pF	1 ตัว
C33, C35	แทนทาลัม	10 $\mu$ F 25 V	2 ตัว
C39	ชนิดเซรามิกส์	100 pF 50 V	1 ตัว
C40	ทริมเมอร์	5-56 pF	1 ตัว
C42	ชนิดอิเล็กทรอนิกส์	16 V	1 ตัว
C43	ชนิดเซรามิกส์	0.0022 $\mu$ F 50 V	1 ตัว
C44	ชนิดเซรามิกส์	0.02 $\mu$ F 50 V	1 ตัว
Q1, Q3, Q6		2N3563	4 ตัว
Q4		2N3564	1 ตัว
Q5, Q7		2N3866	2 ตัว
Q8		C1417 หรือ 2N3563	1 ตัว
ZD1		9 V 0.5 W	1 ตัว
VC1		MV2108	1 ตัว
D1		1N4002	1 ตัว
LED1		ไดโอดเปล่งแสง	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการอุปกรณ์วงจรปริโมค (2ชุด)

อุปกรณ์	ค่า/เบอร์	จำนวน
R1	390 k $\Omega$	2 ตัว
R2	680 $\Omega$	2 ตัว
R3	100 k $\Omega$	2 ตัว
R4, R5	100 k $\Omega$	4 ตัว
R6	10 k $\Omega$	2 ตัว
R7	1 k $\Omega$	2 ตัว
C1	ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ 1 $\mu$ F 16V	2 ตัว
C2	ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ C4 - 4.7 $\mu$ F 16V	2 ตัว
C4	ชนิดเซรามิกส์ 100 pF	2 ตัว
C4	ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ 100 $\mu$ F 16V	2 ตัว
C6	ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ 2.2 $\mu$ F 16V	2 ตัว
C10	ทริมเมอร์ 5-60 pF	2 ตัว
TR1, TR2	2N2484	4 ตัว
RF	คอนเวอร์เตอร์ NEC 14325	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

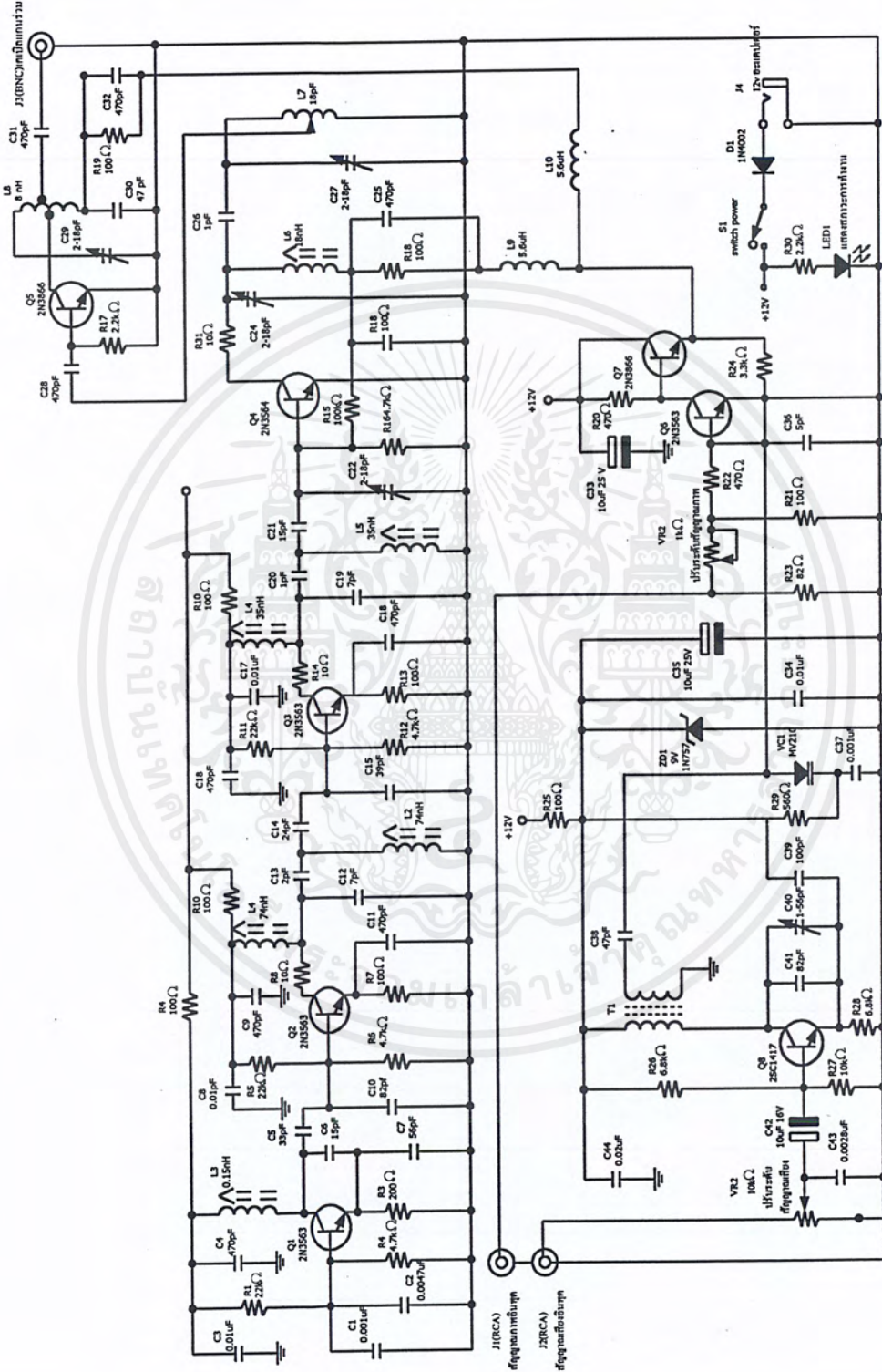
## วงจรรภาคเรียก

อุปกรณ์	ค่า/เบอร์	จำนวน
R1, R2	100 k $\Omega$	2 ตัว
R3	300 k $\Omega$	1 ตัว
R4	1 k $\Omega$	1 ตัว
R5, R6, R7, R8	1 k $\Omega$	4 ตัว
R9, R10	10 k $\Omega$	2 ตัว
R11, R12, R13	220 $\Omega$	3 ตัว
C1, C2	ชนิดเซรามิกส์ 1 $\mu$ F 50V	2 ตัว
C3	ชนิดอิเล็กโทรไลต์ 1 $\mu$ F 50V	1 ตัว
C4, C5	ชนิดเซรามิกส์ 33 pF 50V	1 ตัว
Y1, Y3	3.57895 MHz	2 ตัว
Y2	11MHz	1 ตัว
Q1, Q2, Q3, Q4	C945	4 ตัว
D1-D5	LED	5 ตัว
IC1	MT8870	1 ตัว
IC2	7404	1 ตัว
IC3, IC5	74541	2 ตัว
IC4	8051	1 ตัว
IC6	145412	1 ตัว
RPACK	10 k $\Omega$ 9 ขา	1 ตัว
RPACCK	10 k $\Omega$ 5 ขา	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

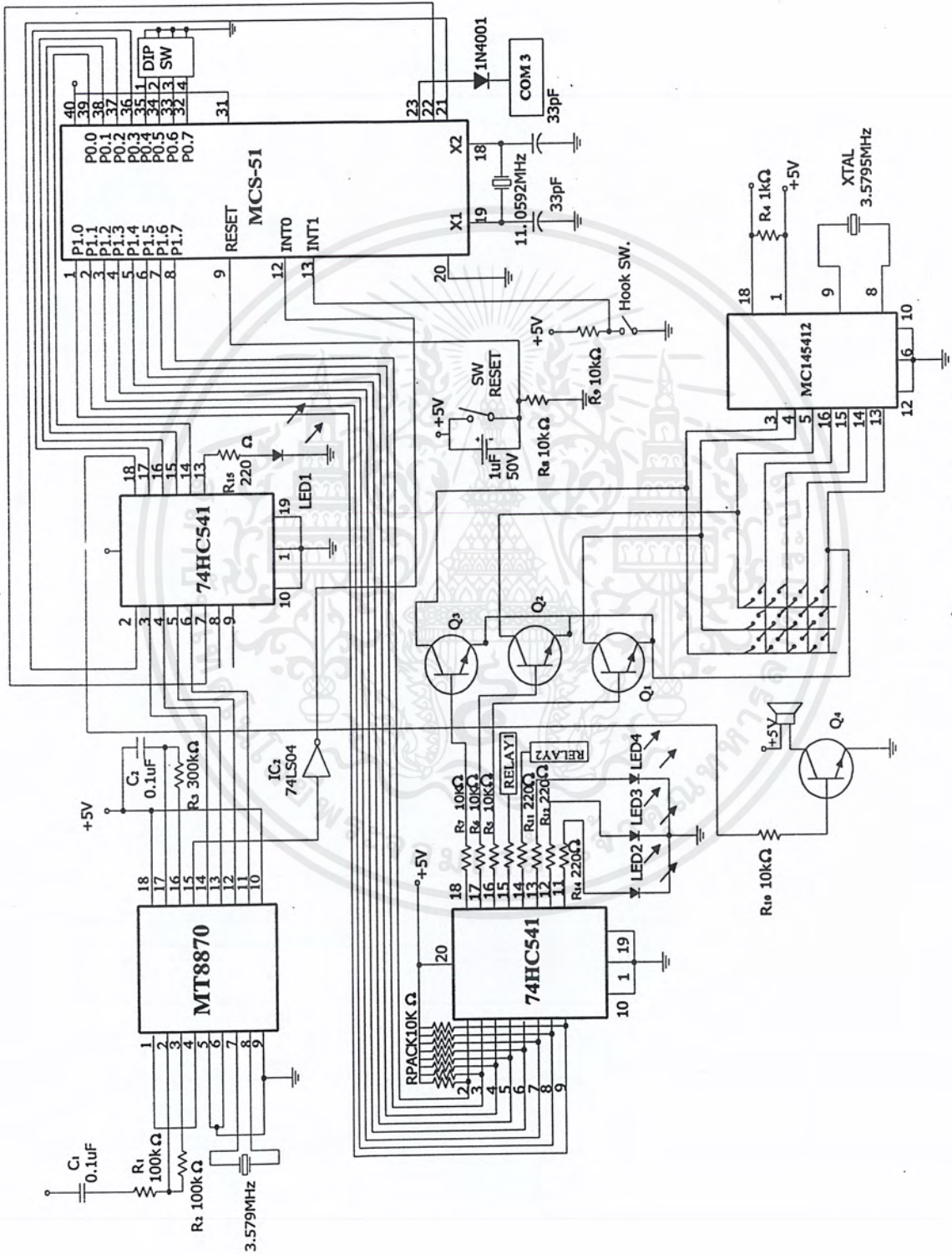


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



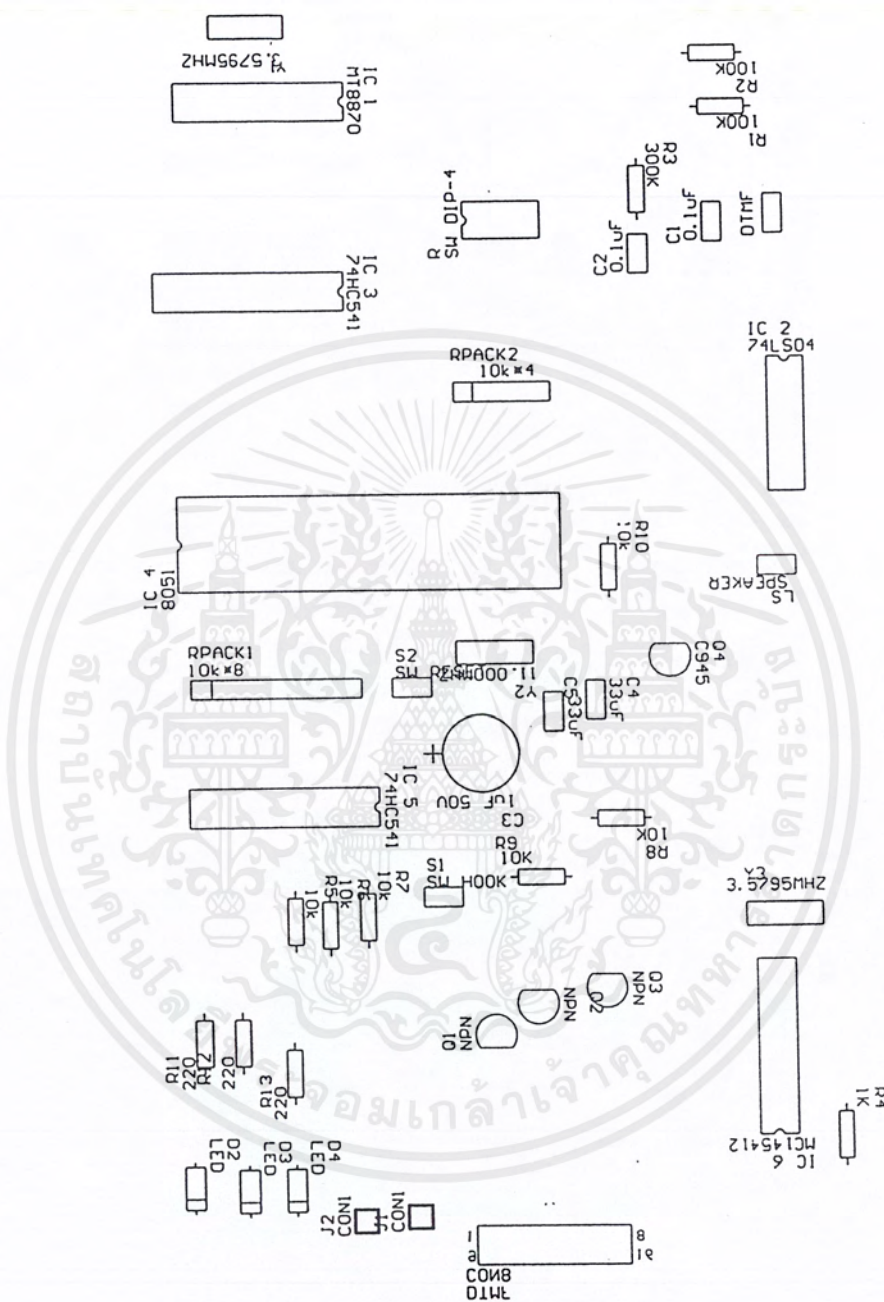
รูปที่ ค.1 วงจรส่งสัญญาณวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



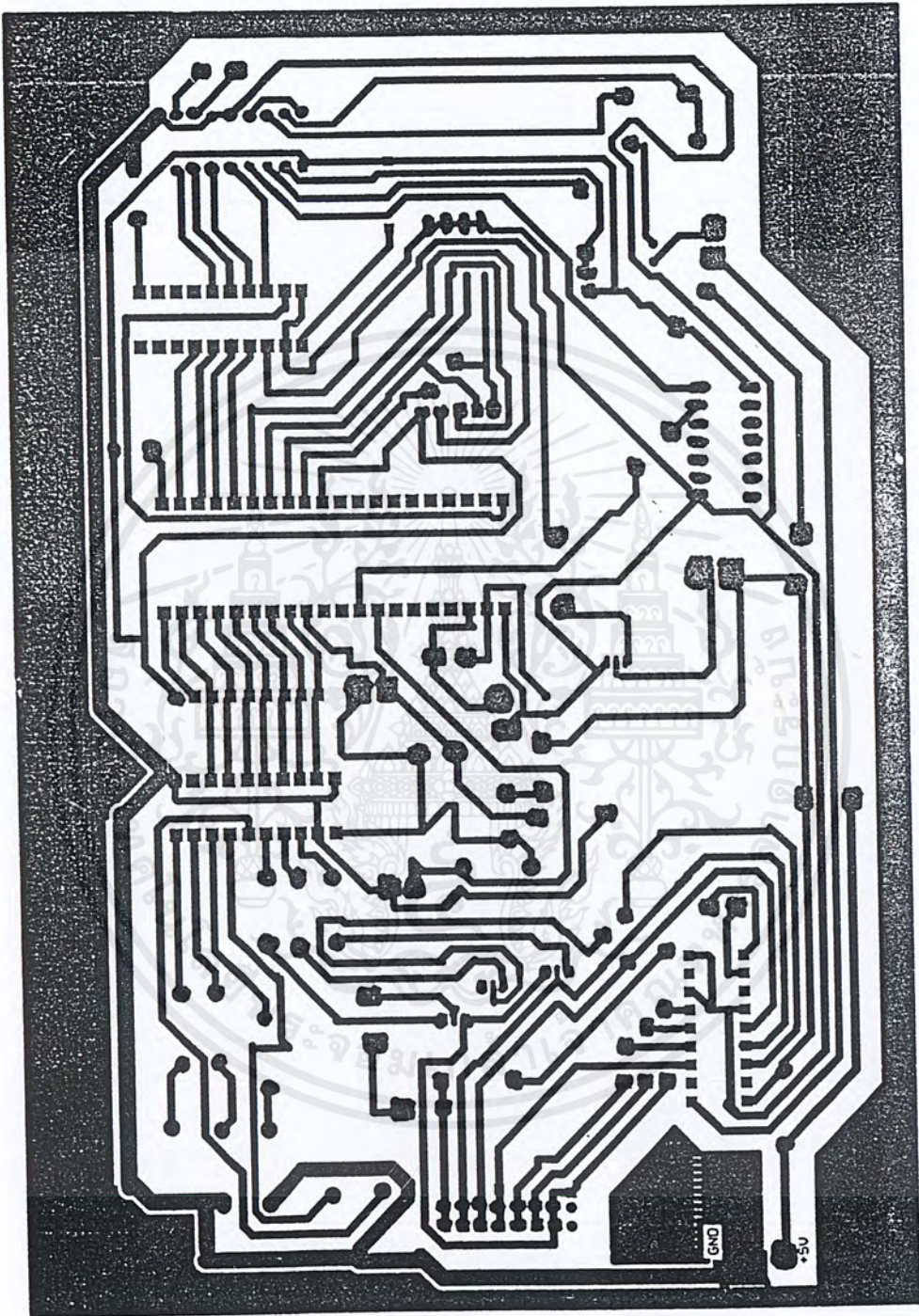
รูปที่ ค.2 วงจรเรียกการติดต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



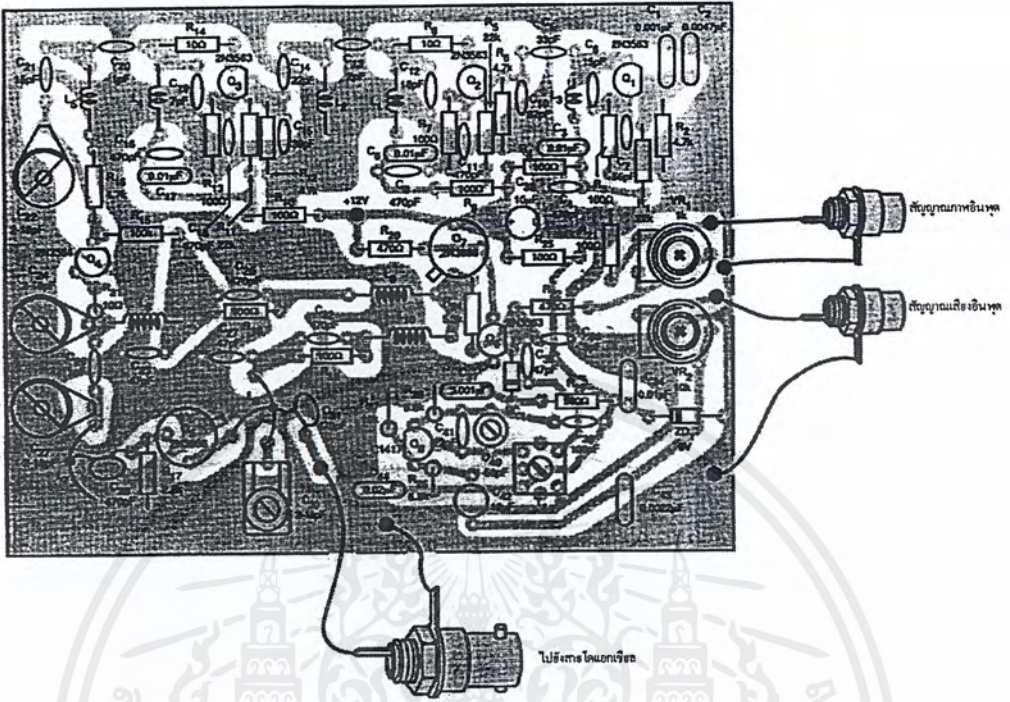
รูปที่ ๓.3 อุปกรณ์สำหรับลงแผ่นวงจรพิมพ์วงจรเรียกการติดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

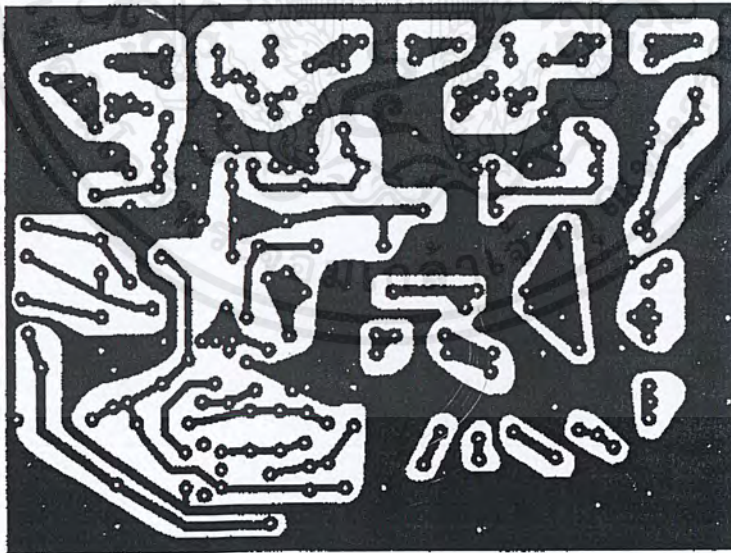


รูปที่ ค.4 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรเรียกการติดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.5 อุปกรณ์ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุไอ

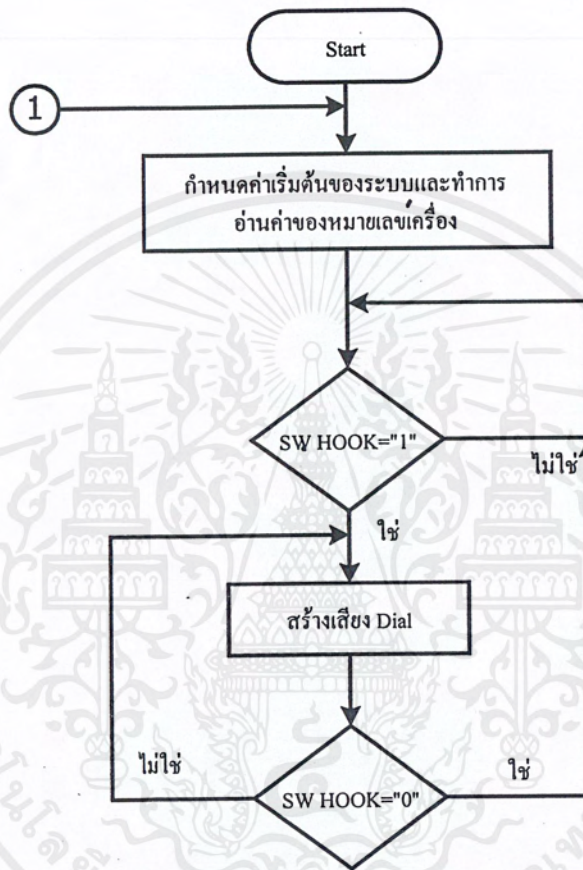


รูปที่ ค.6 ลายแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



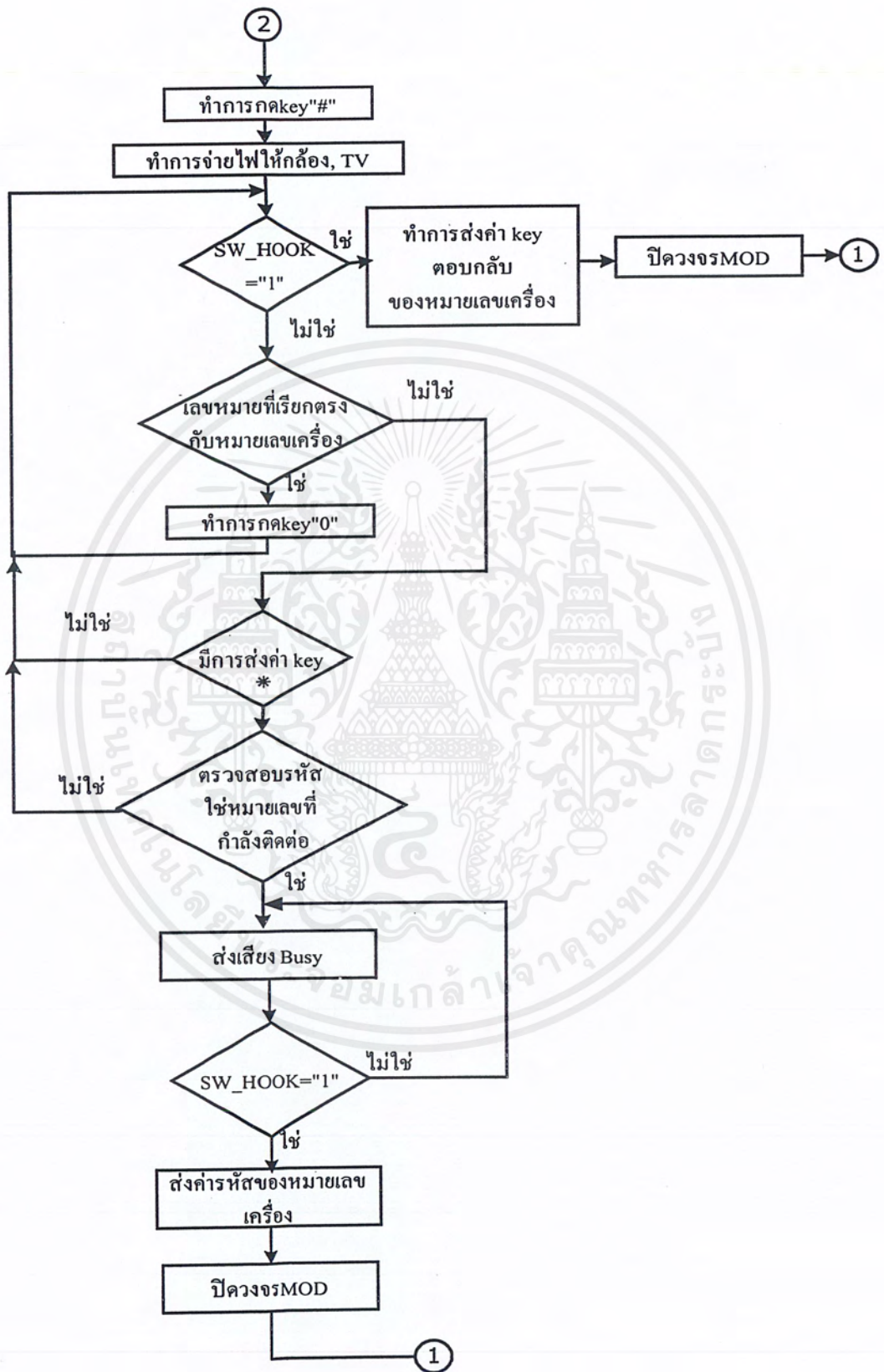
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 แผนผังการทำงาน โปรแกรมควบคุมระบบ โทรศัพท์ภาพ

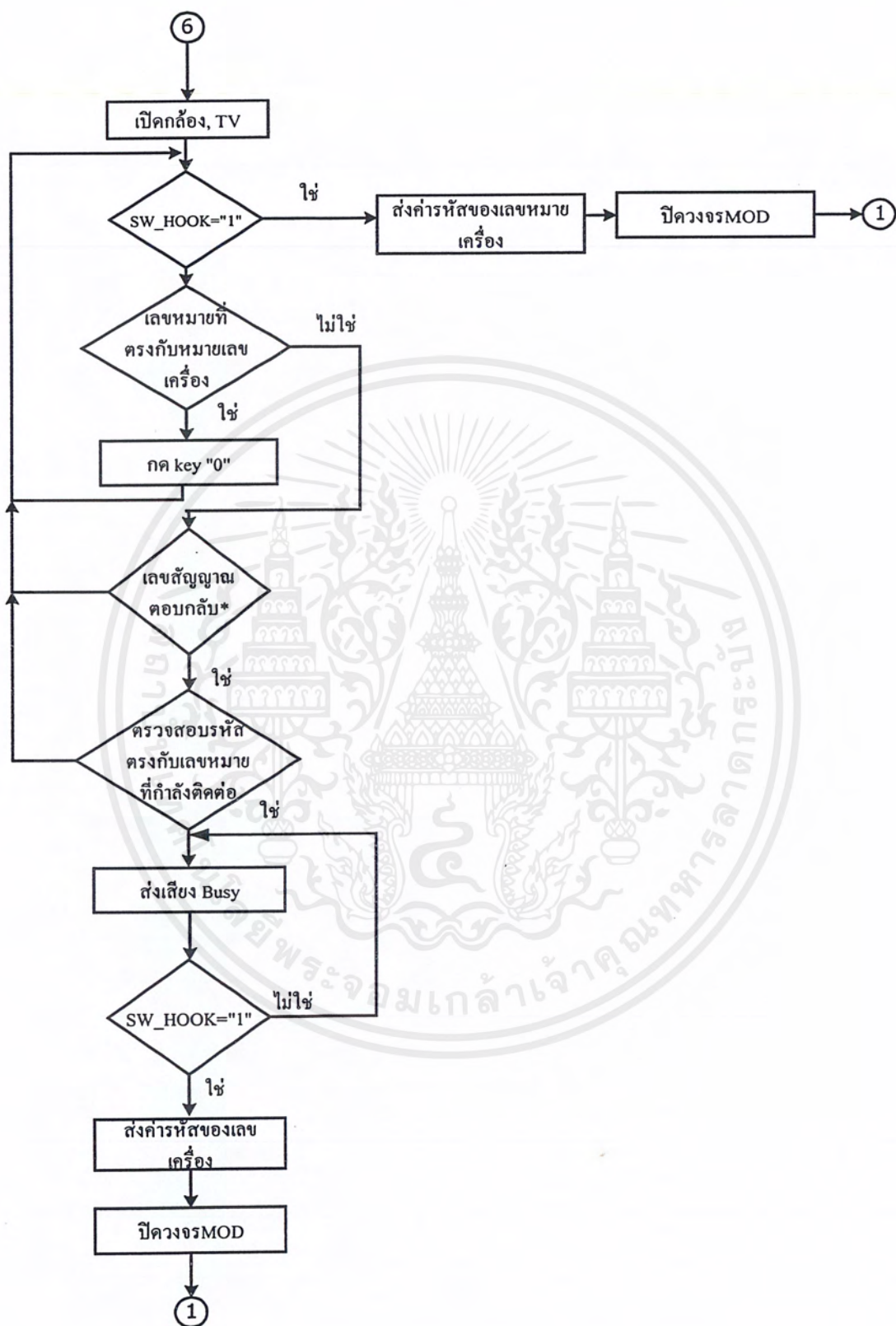
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ ง.1 (ต่อ) แผนผังการทำงาน โปรแกรมควบคุมระบบโทรทัศน์ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 (ต่อ) แผนผังการทำงาน โปรแกรมควบคุมระบบ โทรศัพท์ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

; FILENAME      : TELEPHONE
; HARDWARE      : GORN
; SOFTWARE      : CHAI
; DATE          : 21/04/44
; VALUE *****
LED_1           BIT P2.1
LED_2           BIT P1.0
LED_3           BIT P1.1
LED_4           BIT P1.2
RY_1            BIT P1.3
RY_2            BIT P1.4
RY_3            BIT P2.2
KEY_STAR        BIT P1.5
KEY_SHARP       BIT P1.6
KEY_0           BIT P1.7
KEY_1           BIT P2.3
KEY_2           BIT P2.4
KEY_3           BIT P2.5
KEY_4           BIT P2.6
STD             BIT P3.2
SW_HOOK        BIT P3.3
RE_SET         BIT P3.4
CH_1           BIT P3.0
CH_2           BIT P3.1
CH_3           BIT P3.6
CH_4           BIT P3.7
BUSY           BIT 01H
KEY_DATA       EQU 50H
ID_USER        EQU 51H
ID_CALL        EQU 52H
; INTERRUPT VECTOR *****
                ORG 0000H
                LJMP MAIN
                ORG 0003H
                LJMP INT_EX0
; MAIN PROGRAM *****
                ORG 0040H
MAIN:           MOV SP,#30H
                MOV P0,#11110000B
                MOV P1,#00000000B
                MOV P2,#00000000B
                MOV KEY_DATA,#00H
                MOV ID_CALL,#00H
                CLR BUSY
                CLR RE_SET
                MOV IE,#81H
                MOV A,P0
                ANL A,#0F0H
                SWAP A
                MOV ID_USER,A
                SETB RY_3
                JB SW_HOOK,$
MAIN_1:        SETB P2.0
                CALL DELAY_8ms
                CLR P2.0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                JNB SW_HOOK,MAIN_1
                                JMP MAIN
; INTERRUPT /INTO *****
INT_EX0:                        CLR EA
                                JB SW_HOOK,CHECK_CALL
                                JMP TX
INT_EX0_1:                      SETB EA
                                CLR RY_3
                                MOV P1,#00H
                                MOV KEY_DATA,#00H
                                MOV ID_CALL,#00H
                                CALL DISPLAY
                                RETI
; FUNCTION RECEIVE *****
CHECK_CALL:                     MOV A,P0
                                ANL A,#0FH
                                CJNE A,#0AH,INT_EX0_1
                                MOV A,ID_USER
                                MOV R0,#00H
CHECK_1:                        CJNE A,#01H,CHECK_2
                                MOV A,P0
                                ANL A,#0FH
                                CJNE A,#0AH,CHECK_1_2
                                MOV R0,#04H
CHECK_1_1:                      CALL DELAY_250ms
                                MOV A,P0
                                ANL A,#0FH
                                CJNE A,#01H,CHECK_1_2
                                JMP CHECK_7
CHECK_1_2:                      DEC R0
                                CJNE R0,#00H,CHECK_1_1
                                JMP CHECK_5
CHECK_2:                        CJNE A,#02H,CHECK_3
                                MOV A,P0
                                ANL A,#0FH
                                CJNE A,#0AH,CHECK_2_2
                                MOV R0,#04H
CHECK_2_1:                      CALL DELAY_250ms
                                MOV A,P0
                                ANL A,#0FH
                                CJNE A,#02H,CHECK_2_2
                                JMP CHECK_7
CHECK_2_2:                      DEC R0
                                CJNE R0,#00H,CHECK_2_1
                                JMP CHECK_5
CHECK_3:                        CJNE A,#03H,CHECK_4
                                MOV A,P0
                                ANL A,#0FH
                                CJNE A,#0AH,CHECK_3_2
                                MOV R0,#04H
CHECK_3_1:                      CALL DELAY_250ms
                                MOV A,P0
                                ANL A,#0FH
                                CJNE A,#03H,CHECK_3_2
                                JMP CHECK_7

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CHECK_3_2:      DEC R0
                 CJNE R0, #00H, CHECK_3_1
                 JMP CHECK_5
CHECK_4:        CJNE A, #04H, CHECK_5
                 MOV A, P0
                 ANL A, #0FH
                 CJNE A, #0AH, CHECK_4_2
                 MOV R0, #04H
CHECK_4_1:     CALL DELAY_250ms
                 MOV A, P0
                 ANL A, #0FH
                 CJNE A, #04H, CHECK_4_2
                 JMP CHECK_7
CHECK_4_2:     DEC R0
                 CJNE R0, #00H, CHECK_4_1
CHECK_5:        SETB EA
                 CLR RY_3
                 MOV P1, #00H
                 MOV KEY_DATA, #00H
                 MOV ID_CALL, #00H
                 CALL DISPLAY
                 RETI
CHECK_7:        CALL DELAY_1s
                 CALL DELAY_1s
                 MOV A, P0
                 ANL A, #0FH
                 MOV KEY_DATA, A
                 MOV ID_CALL, KEY_DATA
                 SETB RY_3
                 SETB KEY_STAR
                 CALL DELAY_250ms
                 CLR KEY_STAR
                 CALL DISPLAY
                 MOV R0, #0FH
                 MOV A, P0
                 ANL A, #0FH
CHECK_8:        CJNE A, #0AH, CHECK_9
                 JMP CHECK_5
CHECK_9:        CJNE R0, #00H, CHECK_10
                 JMP CHECK_5
CHECK_10:       JNB SW_HOOK, CHECK_11
                 CALL BEEP_LONG
                 CALL DELAY_4s
                 DEC R0
                 JMP CHECK_8
CHECK_11:      SETB KEY_SHARP
                 CALL DELAY_250ms
                 CLR KEY_SHARP
                 SETB RY_1
                 SETB RY_2
CHECK_12:      JB SW_HOOK, CHECK_15
                 MOV A, P0
                 ANL A, #0FH
                 CJNE A, #0AH, CHECK_13
                 MOV A, P0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ANL A, #0FH
CJNE A, ID_USER, CHECK_13
CALL DELAY_1s
SETB KEY_0
CALL DELAY_250ms
CLR KEY_0
JMP CHECK_12
CHECK_13: CJNE A, #0BH, CHECK_12
SETB BUSY
JMP CHECK_ID
CHECK_14: CALL BEEP
CALL DELAY_500ms
JB SW_HOOK, CHECK_15
JMP CHECK_14
CHECK_15: CALL SENT_ID
CLR RY_1
CLR RY_2
CLR RY_3
SETB RE_SET
CALL DELAY_250ms
CLR RE_SET
RETI
; FUNCTION TRANSMITTER *****
TX: JNB STD, $
JB STD, $
JNB STD, $
CALL DELAY_250ms
MOV A, P0
ANL A, #0FH
MOV ID_CALL, A
TX_1: MOV A, ID_USER
CJNE A, #01H, TX_2
SETB KEY_1
CALL DELAY_250ms
CLR KEY_1
JMP TX_5
TX_2: CJNE A, #02H, TX_3
SETB KEY_2
CALL DELAY_250ms
CLR KEY_2
JMP TX_5
TX_3: CJNE A, #03H, TX_4
SETB KEY_3
CALL DELAY_250ms
CLR KEY_3
JMP TX_5
TX_4: CJNE A, #04H, TX_5
SETB KEY_4
CALL DELAY_250ms
CLR KEY_4
TX_5: CALL DELAY_500ms
INT_TX: JNB SW_HOOK, INT_TX_1
SETB RY_3
SETB KEY_0
CALL DELAY_250ms

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CLR KEY_0
CLR RY_3
SETB EA
MOV P1, #00H
MOV KEY_DATA, #00H
MOV ID_CALL, #00H
CALL DISPLAY
RETI
INT_TX_1: CALL DELAY_1s
CALL BEEP_SHORT
MOV A, P0
ANL A, #0FH
CJNE A, #0BH, INT_TX_7
INT_TX_2: JB SW_HOOK, INT_TX
CALL BEEP_LONG
CALL DELAY_4s
MOV A, P0
ANL A, #0FH
CJNE A, #0CH, INT_TX_2
SETB RY_1
SETB RY_2
INT_TX_3: MOV A, P0
ANL A, #0FH
JB SW_HOOK, INT_TX_6
CJNE A, #0AH, INT_TX_4
MOV A, P0
ANL A, #0FH
CJNE A, ID_USER, INT_TX_4
CALL DELAY_1s
SETB KEY_0
CALL DELAY_250ms
CLR KEY_0
JMP INT_TX_3
INT_TX_4: CJNE A, #0BH, INT_TX_3
JMP CHECK_ID
INT_TX_5: CALL BEEP
CALL DELAY_500ms
JB SW_HOOK, INT_TX_6
JMP INT_TX_5
INT_TX_6: CALL SENT_ID
CLR RY_1
CLR RY_2
CLR RY_3
SETB RE_SET
CALL DELAY_250ms
CLR RE_SET
RETI
INT_TX_7: CJNE A, #0AH, INT_TX_9
INT_TX_8: CALL BEEP
CALL DELAY_500ms
JNB SW_HOOK, INT_TX_8
CLR RY_1
CLR RY_2
CLR RY_3
SETB RE_SET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL DELAY_250ms
CLR RE_SET
RETI
JMP INT_TX
INT_TX_9:
; *****
CHECK_ID:      MOV R0,#05H
               MOV A,ID_CALL
CHECK_ID_1:    CJNE A,#01H,CHECK_ID_2
CHECK_ID_1_1:  DEC R0
               MOV A,P0
               ANL A,#0FH
               CALL DELAY_250ms
               CJNE A,#0AH,CHECK_ID_1_2
               MOV R0,#04H
               JMP CHECK_ID_1_4
CHECK_ID_1_2:  CJNE R0,#00H,CHECK_ID_1_1
               JB BUSY,CHECK_ID_1_3
               JMP INT_TX_3
CHECK_ID_1_3:  CLR BUSY
               JMP CHECK_12
CHECK_ID_1_4:  DEC R0
               MOV A,P0
               ANL A,#0FH
               CALL DELAY_250ms
               CJNE A,#0BH,CHECK_ID_1_6
               JB BUSY,CHECK_ID_1_5
               JMP INT_TX_5
CHECK_ID_1_5:  CLR BUSY
               JMP CHECK_14
CHECK_ID_1_6:  CJNE R0,#00H,CHECK_ID_1_4
               JB BUSY,CHECK_ID_1_7
               JMP INT_TX_3
CHECK_ID_1_7:  CLR BUSY
               JMP CHECK_12
CHECK_ID_2:    CJNE A,#02H,CHECK_ID_3
CHECK_ID_2_1:  DEC R0
               MOV A,P0
               ANL A,#0FH
               CALL DELAY_250ms
               CJNE A,#0AH,CHECK_ID_2_2
               MOV R0,#04H
               JMP CHECK_ID_2_4
CHECK_ID_2_2:  CJNE R0,#00H,CHECK_ID_2_1
               JB BUSY,CHECK_ID_1_3
               JMP INT_TX_3
CHECK_ID_2_3:  CLR BUSY
               JMP CHECK_12
CHECK_ID_2_4:  DEC R0
               MOV A,P0
               ANL A,#0FH
               CALL DELAY_250ms
               CJNE A,#0CH,CHECK_ID_2_6
               JB BUSY,CHECK_ID_2_5
               JMP INT_TX_5
CHECK ID 2 5:  CLR BUSY

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                JMP CHECK_14
CHECK_ID_2_6:  CJNE R0,#00H,CHECK_ID_2_4
                                JB BUSY,CHECK_ID_2_7
                                JMP INT_TX_3
CHECK_ID_2_7:  CLR BUSY
                                JMP CHECK_12
CHECK_ID_3:    CJNE A,#03H,CHECK_ID_4
CHECK_ID_3_1:  DEC R0
                                MOV A,P0
                                ANL A,#0FH
                                CALL DELAY_250ms
                                CJNE A,#0CH,CHECK_ID_3_2
                                MOV R0,#04H
                                JMP CHECK_ID_3_4
CHECK_ID_3_2:  CJNE R0,#00H,CHECK_ID_3_1
                                JB BUSY,CHECK_ID_3_3
                                JMP INT_TX_3
CHECK_ID_3_3:  CLR BUSY
                                JMP CHECK_12
CHECK_ID_3_4:  DEC R0
                                MOV A,P0
                                ANL A,#0FH
                                CALL DELAY_250ms
                                CJNE A,#0AH,CHECK_ID_3_6
                                JB BUSY,CHECK_ID_3_5
                                JMP INT_TX_5
CHECK_ID_3_5:  CLR BUSY
                                JMP CHECK_14
CHECK_ID_3_6:  CJNE R0,#00H,CHECK_ID_3_4
                                JB BUSY,CHECK_ID_3_7
                                JMP INT_TX_3
CHECK_ID_3_7:  CLR BUSY
                                JMP CHECK_12
CHECK_ID_4:    CJNE A,#04H,CHECK_ID_5
CHECK_ID_4_1:  DEC R0
                                MOV A,P0
                                ANL A,#0FH
                                CALL DELAY_250ms
                                CJNE A,#0CH,CHECK_ID_4_2
                                MOV R0,#04H
                                JMP CHECK_ID_4_4
CHECK_ID_4_2:  CJNE R0,#00H,CHECK_ID_4_1
                                JB BUSY,CHECK_ID_4_3
                                JMP INT_TX_3
CHECK_ID_4_3:  CLR BUSY
                                JMP CHECK_12
CHECK_ID_4_4:  DEC R0
                                MOV A,P0
                                ANL A,#0FH
                                CALL DELAY_250ms
                                CJNE A,#0BH,CHECK_ID_4_6
                                JB BUSY,CHECK_ID_4_5
                                JMP INT_TX_5
CHECK_ID_4_5:  CLR BUSY
                                JMP CHECK_14

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CHECK_ID_4_6:    CJNE R0,#00H,CHECK_ID_4_4
                  JB  BUSY,CHECK_ID_4_7
                  JMP INT_TX_3
CHECK_ID_4_7:    CLR  BUSY
                  JMP  CHECK_12
CHECK_ID_5:      JB  BUSY,CHECK_ID_5_1
                  MOV  R0,#00H
                  JMP INT_TX_3
CHECK_ID_5_1:    CLR  BUSY
                  MOV  R0,#00H
                  JMP  CHECK_12
; *****
SENT_ID:         MOV  A, ID_USER
SENT_ID_1:       CJNE A,#01H,SENT_ID_2
                  SETB KEY_STAR
                  CALL DELAY_250ms
                  CLR  KEY_STAR
                  CALL DELAY_250ms
                  SETB KEY_0
                  CALL DELAY_250ms
                  CLR  KEY_0
                  CALL DELAY_250ms
                  SETB KEY_STAR
                  CALL DELAY_250ms
                  CLR  KEY_STAR
                  RET
SENT_ID_2:       CJNE A,#02H,SENT_ID_3
                  SETB KEY_STAR
                  CALL DELAY_250ms
                  CLR  KEY_STAR
                  CALL DELAY_250ms
                  SETB KEY_0
                  CALL DELAY_250ms
                  CLR  KEY_0
                  CALL DELAY_250ms
                  SETB KEY_SHARP
                  CALL DELAY_250ms
                  CLR  KEY_SHARP
                  RET
SENT_ID_3:       CJNE A,#03H,SENT_ID_4
                  SETB KEY_STAR
                  CALL DELAY_250ms
                  CLR  KEY_STAR
                  CALL DELAY_250ms
                  SETB KEY_SHARP
                  CALL DELAY_250ms
                  CLR  KEY_SHARP
                  CALL DELAY_250ms
                  SETB KEY_0
                  CALL DELAY_250ms
                  CLR  KEY_0
                  RET
SENT_ID_4:       CJNE A,#04H,SENT_ID_5
                  SETB KEY_STAR
                  CALL DELAY_250ms

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        CLR KEY_STAR
        CALL DELAY_250ms
        SETB KEY_SHARP
        CALL DELAY_250ms
        CLR KEY_SHARP
        CALL DELAY_250ms
        SETB KEY_STAR
        CALL DELAY_250ms
        CLR KEY_STAR
        RET
SENT_ID_5:      RET
                ; DISPLAY *****
DISPLAY:        MOV A,KEY_DATA
                CJNE A,#01H,DISPLAY_1
                SETB LED_1
                SETB CH_1
                RET
DISPLAY_1:      CJNE A,#02H,DISPLAY_2
                SETB LED_2
                SETB CH_2
                RET
DISPLAY_2:      CJNE A,#03H,DISPLAY_3
                SETB LED_3
                SETB CH_3
                RET
DISPLAY_3:      CJNE A,#04H,DISPLAY_4
                SETB LED_4
                SETB CH_4
                RET
DISPLAY_4:      CLR LED_1
                CLR LED_2
                CLR LED_3
                CLR LED_4
                CLR CH_1
                CLR CH_2
                CLR CH_3
                CLR CH_4
                RET
                ; SOUND *****
BEEP:          MOV R1,#40H
                MOV R2,#05H
                CALL SOUND
                RET
BEEP_SHORT:    MOV R1,#30H
                MOV R2,#01H
                CALL SOUND
                RET
BEEP_LONG:     MOV R1,#40H
                MOV R2,#10H
                CALL SOUND
                RET
SOUND:         PUSH ACC
                MOV R3,#80H
                MOV R4,#0H
SOUND 1:       CALL SOUND 2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        CJNE R4, #1H, SOUND_1
        MOV R3, #0H
        POP ACC
        RET
SOUND_2:   SETB P2.0
          CALL SOUND_3
          CLR P2.0
          CALL SOUND_3
          RET
SOUND_3:   DJNZ R3, SOUND_4
          JMP SOUND_6
SOUND_4:   MOV A, R1
SOUND_5:   DEC A
          JNZ SOUND_5
          RET
SOUND_6:   MOV R3, #80H
          DJNZ R2, SOUND_3
          MOV R4, #1
          RET
; FUNCTION DELAY *****
DELAY_4s:  MOV R5, #16
DELAY_4s_1: MOV R6, #250
DELAY_4s_2: MOV R7, #0E6H
DELAY_4s_3: NOP
          DJNZ R7, DELAY_4s_3
          DJNZ R6, DELAY_4s_2
          DJNZ R5, DELAY_4s_1
          RET
DELAY_1s:  MOV R5, #4
DELAY_1s_1: MOV R6, #250
DELAY_1s_2: MOV R7, #0E6H
DELAY_1s_3: NOP
          DJNZ R7, DELAY_1s_3
          DJNZ R6, DELAY_1s_2
          DJNZ R5, DELAY_1s_1
          RET
DELAY_500ms: MOV R5, #02
DELAY_500ms_1: MOV R6, #250
DELAY_500ms_2: MOV R7, #0E6H
DELAY_500ms_3: NOP
          DJNZ R7, DELAY_500ms_3
          DJNZ R6, DELAY_500ms_2
          DJNZ R5, DELAY_500ms_1
          RET
DELAY_250ms: MOV R6, #250
DELAY_250ms_1: MOV R7, #0E6H
DELAY_250ms_2: NOP
          DJNZ R7, DELAY_250ms_2
          DJNZ R6, DELAY_250ms_1
          RET
DELAY_8ms:  MOV R6, #8

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DELAY_8ms_1:	MOV R7, #0E6H
DELAY_8ms_2:	NOP
	NOP
	DJNZ R7, DELAY_8ms_2
	DJNZ R6, DELAY_8ms_1
	RET
	END

## รูปที่ ง.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานระบบโทรศัพท์ภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ  
รายละเอียดและคุณสมบัติอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

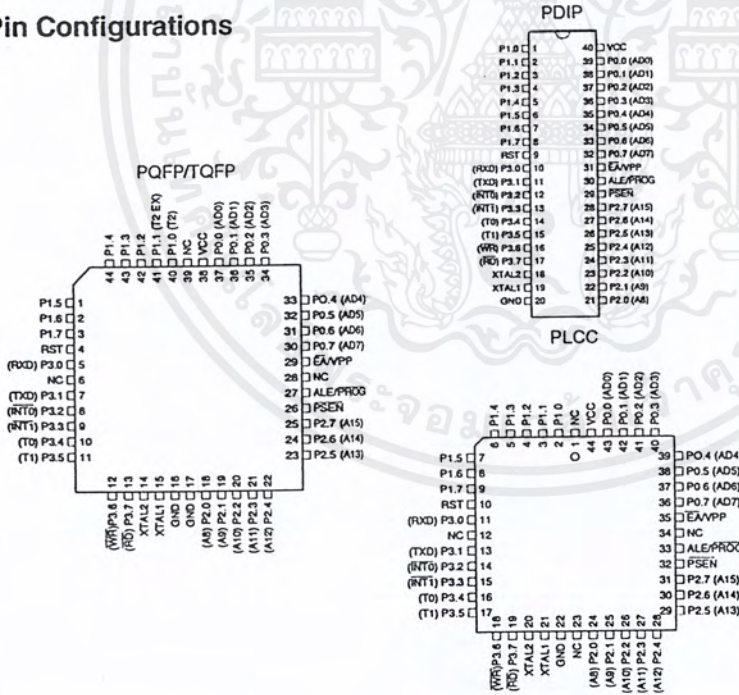
**Features**

- Compatible with MCS-51™ Products
- 4K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes

**Description**

The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C51 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

**Pin Configurations**



**8-bit  
Microcontroller  
with 4K Bytes  
Flash**

**AT89C51**

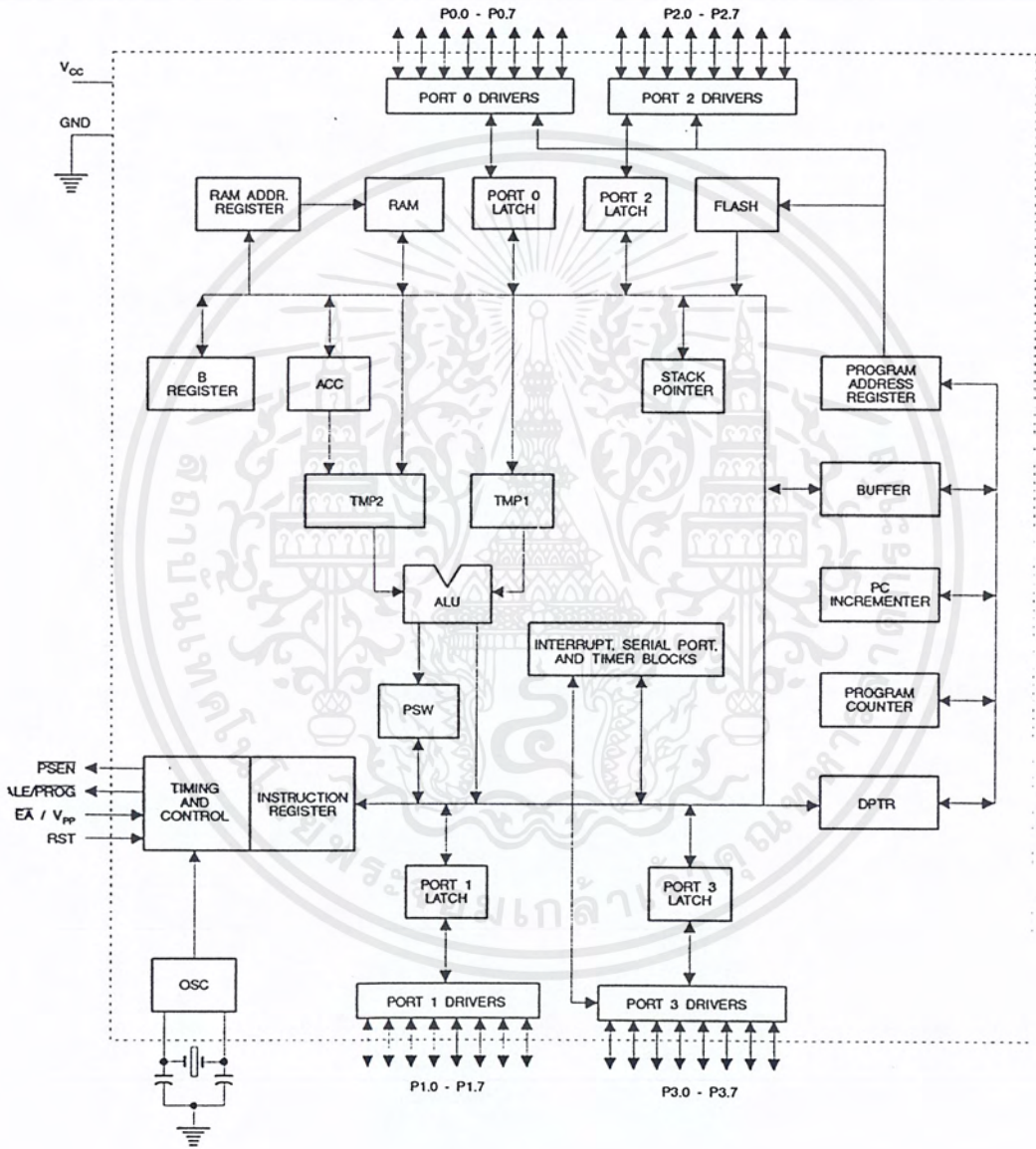
Rev. 0265G-02.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## AT89C51

The AT89C51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power-down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

### Pin Description

#### VCC

Supply voltage.

#### GND

Ground.

#### Port 0

Port 0 is an 8-bit open-drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 may also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming, and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

#### Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

#### Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs,

Port 2 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, it uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

#### Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{INT0}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{INT1}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{WR}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{RD}$ (external data memory read strobe)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

#### RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

#### ALE/ $\overline{PROG}$

Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ( $\overline{PROG}$ ) during Flash programming.

In normal operation ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE





pulse is skipped during each access to external Data Memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

#### $\overline{\text{PSEN}}$

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89C51 is executing code from external program memory,  $\overline{\text{PSEN}}$  is activated twice each machine cycle, except that two  $\overline{\text{PSEN}}$  activations are skipped during each access to external data memory.

#### $\overline{\text{EA/VPP}}$

External Access Enable.  $\overline{\text{EA}}$  must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed,  $\overline{\text{EA}}$  will be internally latched on reset.

$\overline{\text{EA}}$  should be strapped to  $V_{\text{CC}}$  for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage ( $V_{\text{PP}}$ ) during Flash programming, for parts that require 12-volt  $V_{\text{PP}}$ .

#### XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

#### XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

### Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left

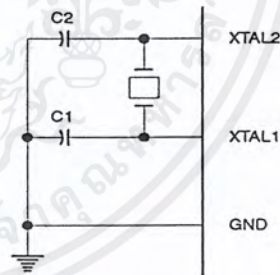
unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

### Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Figure 1. Oscillator Connections



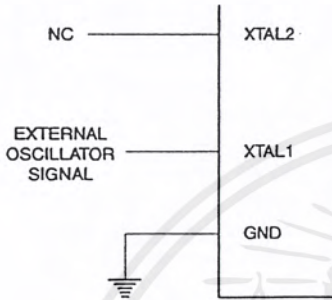
Note: C1, C2 = 30 pF  $\pm$  10 pF for Crystals  
= 40 pF  $\pm$  10 pF for Ceramic Resonators

### Status of External Pins During Idle and Power-down Modes

Mode	Program Memory	ALE	$\overline{\text{PSEN}}$	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power-down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power-down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

## AT89C51

Figure 2. External Clock Drive Configuration



### Power-down Mode

In the power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Regis-

ters retain their values until the power-down mode is terminated. The only exit from power-down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before  $V_{CC}$  is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

### Program Memory Lock Bits

On the chip are three lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below.

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the  $\overline{EA}$  pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until reset is activated. It is necessary that the latched value of  $\overline{EA}$  be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

### Lock Bit Protection Modes

	Program Lock Bits			Protection Type
	LB1	LB2	LB3	
1	U	U	U	No program lock features
2	P	U	U	MOVC instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, $\overline{EA}$ is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash is disabled
3	P	P	U	Same as mode 2, also verify is disabled
4	P	P	P	Same as mode 3, also external execution is disabled



## Programming the Flash

The AT89C51 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage ( $V_{CC}$ ) program enable signal. The low-voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C51 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89C51 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Top-Side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxx-5 yyww
Signature	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = FFH	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = 05H

The AT89C51 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. *To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.*

**Programming Algorithm:** Before programming the AT89C51, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figure 3 and Figure 4. To program the AT89C51, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise  $\overline{EAV}_{PP}$  to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse  $\overline{ALE}/\overline{PROG}$  once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address

and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

**Data Polling:** The AT89C51 features  $\overline{Data}$  Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin.  $\overline{Data}$  Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

**Ready/Busy:** The progress of byte programming can also be monitored by the  $\overline{RDY}/\overline{BSY}$  output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

**Program Verify:** If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

**Chip Erase:** The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding  $\overline{ALE}/\overline{PROG}$  low for 10 ms. The code array is written with all "1"s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be re-programmed.

**Reading the Signature Bytes:** The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H, 031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

- (030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (031H) = 51H indicates 89C51
- (032H) = FFH indicates 12V programming
- (032H) = 05H indicates 5V programming

## Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

**AT89C51**

**Flash Programming Modes**

Mode	RST	PSEN	ALE/PROG	EA/V <sub>pp</sub>	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data	H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data	H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	H		H/12V	H	H	H	H
	Bit - 2	H		H/12V	H	H	L	L
	Bit - 3	H		H/12V	H	L	H	L
Chip Erase	H	L	(1)	H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte	H	L	H	H	L	L	L	L

Note: 1. Chip Erase requires a 10 ms PROG pulse.

Figure 3. Programming the Flash

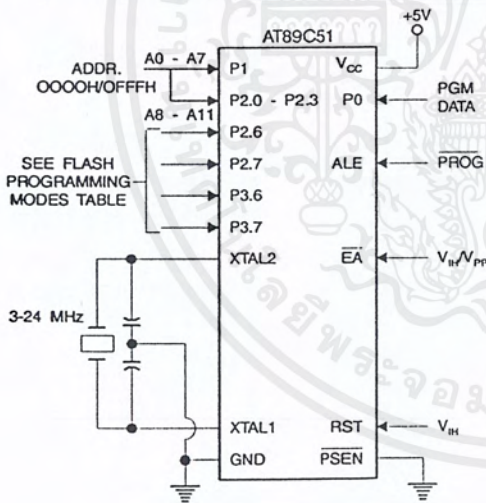
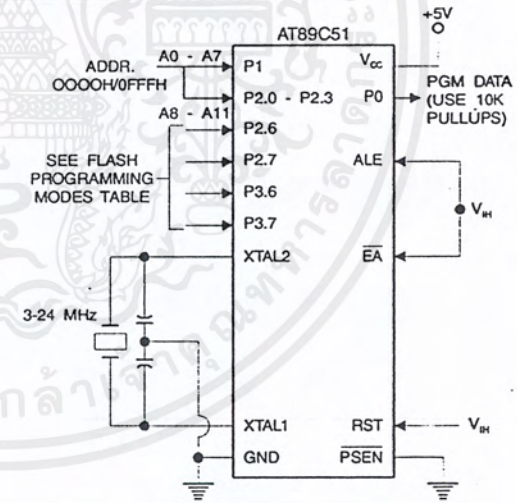


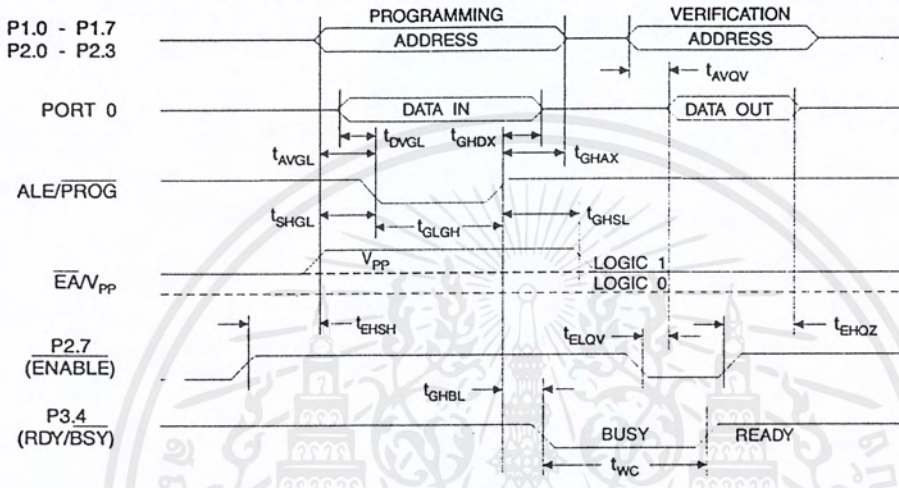
Figure 4. Verifying the Flash



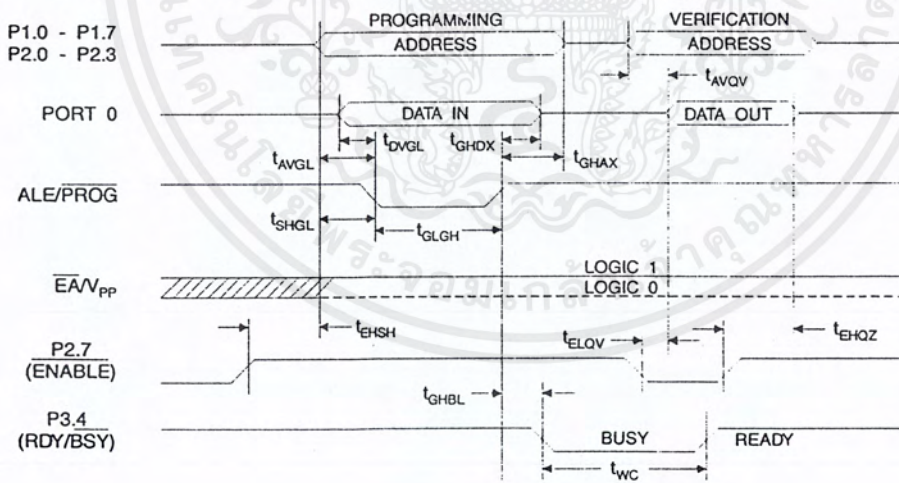
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Flash Programming and Verification Waveforms - High-voltage Mode ( $V_{PP} = 12V$ )**



**Flash Programming and Verification Waveforms - Low-voltage Mode ( $V_{PP} = 5V$ )**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Flash Programming and Verification Characteristics

 $T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}, V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$ 

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$V_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
$I_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Current		1.0	mA
$1/f_{CLCL}$	Oscillator Frequency	3	24	MHz
$t_{AVGL}$	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
$t_{GHAX}$	Address Hold After $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
$t_{DVGL}$	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
$t_{GHDX}$	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
$t_{EHS}$	P2.7 (ENABLE) High to $V_{PP}$	$48t_{CLCL}$		
$t_{SHGL}$	$V_{PP}$ Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		$\mu\text{s}$
$t_{GHSL}^{(1)}$	$V_{PP}$ Hold After $\overline{\text{PROG}}$	10		$\mu\text{s}$
$t_{GLGH}$	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	$\mu\text{s}$
$t_{AVOV}$	Address to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
$t_{ELOV}$	ENABLE Low to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
$t_{EHOZ}$	Data Float After ENABLE	0	$48t_{CLCL}$	
$t_{GHBL}$	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		1.0	$\mu\text{s}$
$t_{WC}$	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.



### Absolute Maximum Ratings\*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground.....	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage.....	6.6V
DC Output Current.....	15.0 mA

**\*NOTICE:** Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### DC Characteristics

$T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 20\%$  (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
$V_{IL}$	Input Low-voltage	(Except $\bar{E}A$ )	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
$V_{IL1}$	Input Low-voltage ( $\bar{E}A$ )		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V
$V_{IH}$	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
$V_{IH1}$	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
$V_{OL}$	Output Low-voltage <sup>(1)</sup> (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.45	V
$V_{OL1}$	Output Low-voltage <sup>(1)</sup> (Port 0, ALE, PSEN)	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.45	V
$V_{OH}$	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, PSEN)	$I_{OH} = -60 \mu\text{A}$ , $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -25 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
$V_{OH1}$	Output High-voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800 \mu\text{A}$ , $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -300 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
$I_{L}$	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	$\mu\text{A}$
$I_{TL}$	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}$ , $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	$\mu\text{A}$
$I_{L1}$	Input Leakage Current (Port 0, $\bar{E}A$ )	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		$\pm 10$	$\mu\text{A}$
RRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	$\text{K}\Omega$
$C_{IO}$	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
$I_{CC}$	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		20	mA
		Idle Mode, 12 MHz		5	mA
	Power-down Mode <sup>(2)</sup>	$V_{CC} = 6\text{V}$		100	$\mu\text{A}$
		$V_{CC} = 3\text{V}$		40	$\mu\text{A}$

- Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions,  $I_{OL}$  must be externally limited as follows:  
 Maximum  $I_{OL}$  per port pin: 10 mA  
 Maximum  $I_{OL}$  per 8-bit port: Port 0: 26 mA  
 Ports 1, 2, 3: 15 mA  
 Maximum total  $I_{OL}$  for all output pins: 71 mA  
 If  $I_{OL}$  exceeds the test condition,  $V_{OL}$  may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
2. Minimum  $V_{CC}$  for Power-down is 2V.

## AT89C51

### AC Characteristics

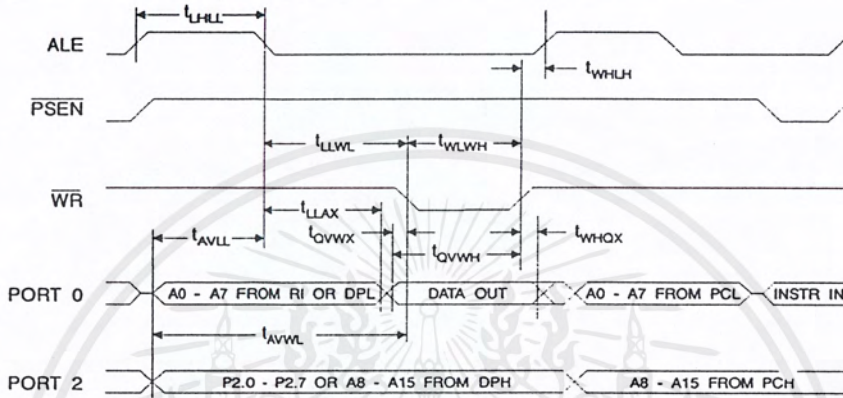
Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/ $\overline{\text{PROG}}$ , and  $\overline{\text{PSEN}}$  = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

### External Program and Data Memory Characteristics

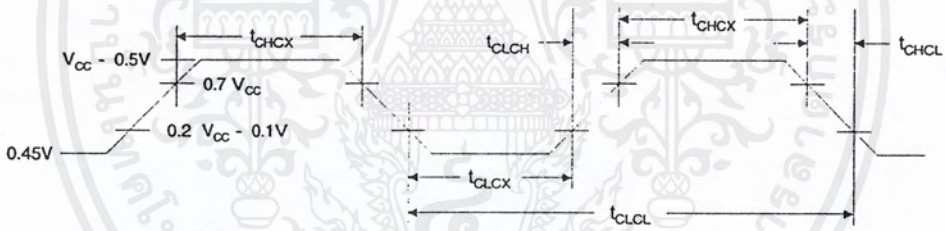
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{\text{CCL}}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
$t_{\text{LHL}}$	ALE Pulse Width	127		$2t_{\text{CCL}}-40$		ns
$t_{\text{AVL}}$	Address Valid to ALE Low	43		$t_{\text{CCL}}-13$		ns
$t_{\text{LAX}}$	Address Hold After ALE Low	48		$t_{\text{CCL}}-20$		ns
$t_{\text{LLV}}$	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{\text{CCL}}-65$	ns
$t_{\text{LPL}}$	ALE Low to $\overline{\text{PSEN}}$ Low	43		$t_{\text{CCL}}-13$		ns
$t_{\text{PLPH}}$	$\overline{\text{PSEN}}$ Pulse Width	205		$3t_{\text{CCL}}-20$		ns
$t_{\text{PLIV}}$	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Valid Instruction In		145		$3t_{\text{CCL}}-45$	ns
$t_{\text{PIX}}$	Input Instruction Hold After $\overline{\text{PSEN}}$	0		0		ns
$t_{\text{PIXZ}}$	Input Instruction Float After $\overline{\text{PSEN}}$		59		$t_{\text{CCL}}-10$	ns
$t_{\text{PXAV}}$	$\overline{\text{PSEN}}$ to Address Valid	75		$t_{\text{CCL}}-8$		ns
$t_{\text{AVV}}$	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{\text{CCL}}-55$	ns
$t_{\text{PLAZ}}$	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Address Float		10		10	ns
$t_{\text{RLRH}}$	$\overline{\text{RD}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CCL}}-100$		ns
$t_{\text{WLWH}}$	$\overline{\text{WR}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CCL}}-100$		ns
$t_{\text{RLDV}}$	$\overline{\text{RD}}$ Low to Valid Data In		252		$5t_{\text{CCL}}-90$	ns
$t_{\text{RHDX}}$	Data Hold After $\overline{\text{RD}}$	0		0		ns
$t_{\text{RH0Z}}$	Data Float After $\overline{\text{RD}}$		97		$2t_{\text{CCL}}-28$	ns
$t_{\text{LLDV}}$	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{\text{CCL}}-150$	ns
$t_{\text{AVDV}}$	Address to Valid Data In		585		$9t_{\text{CCL}}-165$	ns
$t_{\text{LLWL}}$	ALE Low to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	200	300	$3t_{\text{CCL}}-50$	$3t_{\text{CCL}}+50$	ns
$t_{\text{AVWL}}$	Address to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	203		$4t_{\text{CCL}}-75$		ns
$t_{\text{QVWX}}$	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ Transition	23		$t_{\text{CCL}}-20$		ns
$t_{\text{QVWH}}$	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ High	433		$7t_{\text{CCL}}-120$		ns
$t_{\text{WH0X}}$	Data Hold After $\overline{\text{WR}}$	33		$t_{\text{CCL}}-20$		ns
$t_{\text{RLAZ}}$	$\overline{\text{RD}}$ Low to Address Float		0		0	ns
$t_{\text{WHLH}}$	$\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ High to ALE High	43	123	$t_{\text{CCL}}-20$	$t_{\text{CCL}}+25$	ns



External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/\Lambda_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
$t_{CLCL}$	Clock Period	41.6		ns
$t_{CHCX}$	High Time	15		ns
$t_{CLCX}$	Low Time	15		ns
$t_{CLCH}$	Rise Time		20	ns
$t_{CHCL}$	Fall Time		20	ns



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

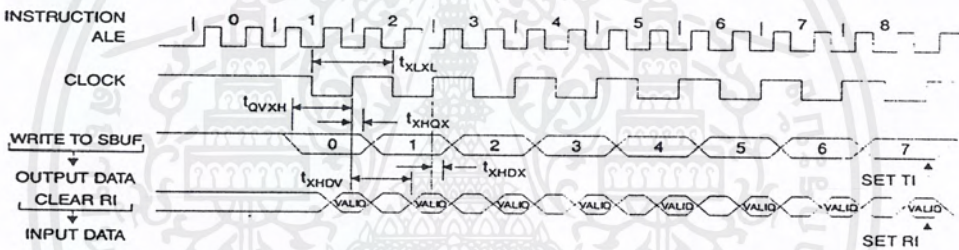


**Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions**

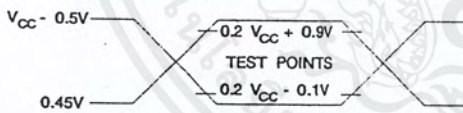
(V<sub>CC</sub> = 5.0 V ± 20%; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t <sub>XLXL</sub>	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		12t <sub>CLCL</sub>		μs
t <sub>QVXH</sub>	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		10t <sub>CLCL</sub> -133		ns
t <sub>XHQX</sub>	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		2t <sub>CLCL</sub> -117		ns
t <sub>XHDX</sub>	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t <sub>XHDV</sub>	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		10t <sub>CLCL</sub> -133	ns

**Shift Register Mode Timing Waveforms**

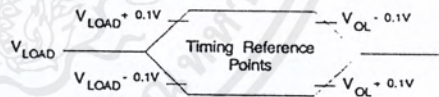


**AC Testing Input/Output Waveforms<sup>(1)</sup>**



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at V<sub>CC</sub> - 0.5V for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at V<sub>IH</sub> min. for a logic 1 and V<sub>IL</sub> max. for a logic 0.

**Float Waveforms<sup>(1)</sup>**



Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded V<sub>OH</sub>/V<sub>OL</sub> level occurs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## AT89C51

### Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	5V ± 20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-12JC	44J	
		AT89C51-12PC	40P6	
		AT89C51-12QC	44Q	
		AT89C51-12AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-12JI	44J	
		AT89C51-12PI	40P6	
		AT89C51-12QI	44Q	
16	5V ± 20%	AT89C51-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-16JC	44J	
		AT89C51-16PC	40P6	
		AT89C51-16QC	44Q	
		AT89C51-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-16JI	44J	
		AT89C51-16PI	40P6	
		AT89C51-16QI	44Q	
20	5V ± 20%	AT89C51-20AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-20JC	44J	
		AT89C51-20PC	40P6	
		AT89C51-20QC	44Q	
		AT89C51-20AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-20JI	44J	
		AT89C51-20PI	40P6	
		AT89C51-20QI	44Q	
24	5V ± 20%	AT89C51-24AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-24JC	44J	
		AT89C51-24PC	40P6	
		AT89C51-24QC	44Q	
		AT89C51-24AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-24JI	44J	
		AT89C51-24PI	40P6	
		AT89C51-24QI	44Q	

Package Type	
44A	44-lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
44J	44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
40P6	40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44Q	44-lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISO<sup>2</sup>-CMOS **MT8870D/MT8870D-1**  
Integrated DTMF Receiver

**Features**

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

**Applications**

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

ISSUE 5 March 1997

Ordering Information	
MT8870DE/DE-1	18 Pin Plastic DIP
MT8870DS/DS-1	18 Pin SOIC
MT8870DN/DN-1	20 Pin SSOP
-40 °C to +85 °C	

**Description**

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

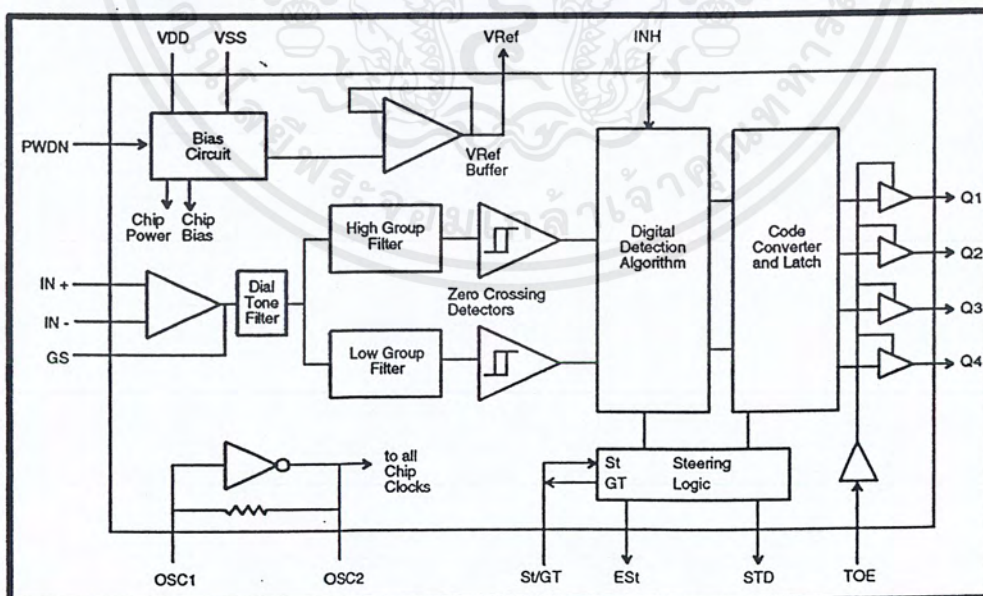


Figure 1 - Functional Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MT8870D/MT8870D-1 ISO<sup>2</sup>-CMOS

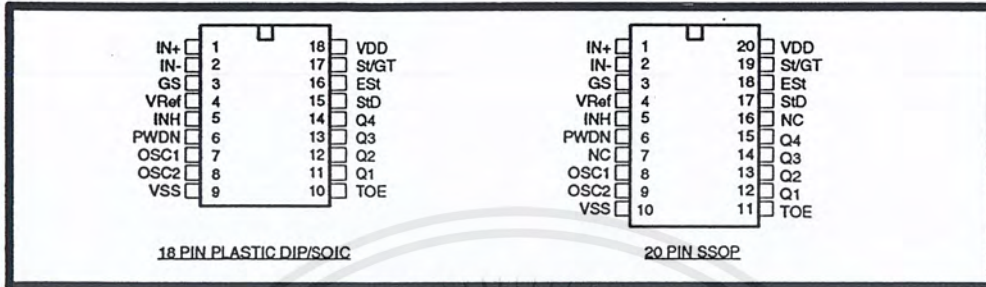


Figure 2 - Pin Connections

### Pin Description

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

**Functional Description**

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

**Filter Section**

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

**Decoder Section**

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

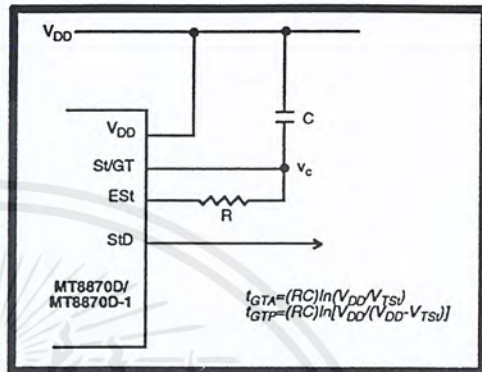


Figure 4 - Basic Steering Circuit

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

**Steering Circuit**

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

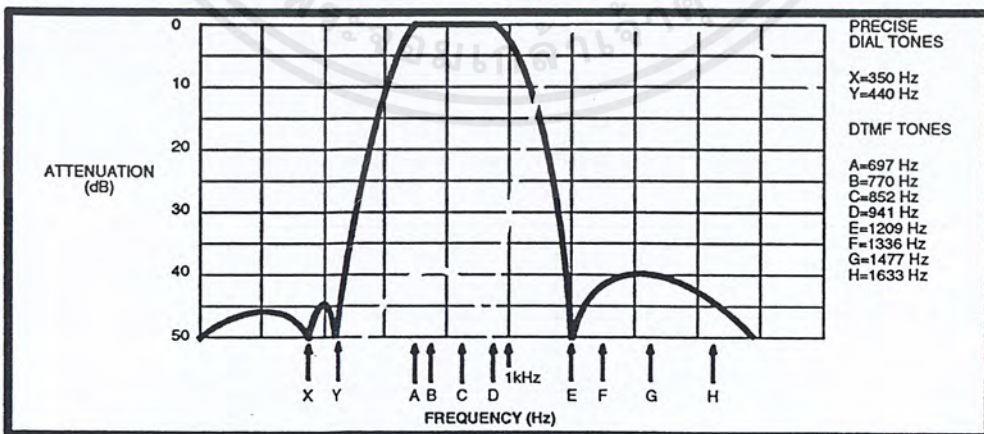


Figure 3 - Filter Response

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MT8870D/MT8870D-1 ISO<sup>2</sup>-CMOS

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

Guard Time Adjustment

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

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

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

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

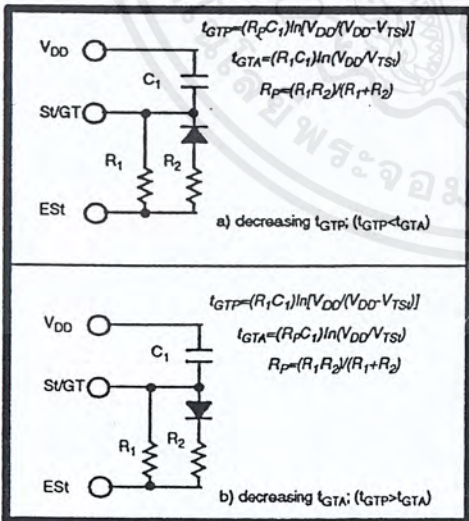


Figure 5 - Guard Time Adjustment

4-14

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

Table 1. Functional Decode Table

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Power-down and Inhibit Mode**

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

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

**Differential Input Configuration**

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

**Crystal Oscillator**

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

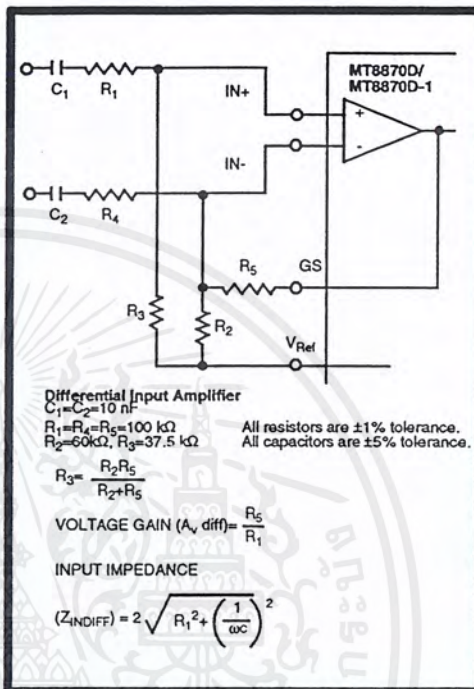


Figure 6 - Differential Input Configuration

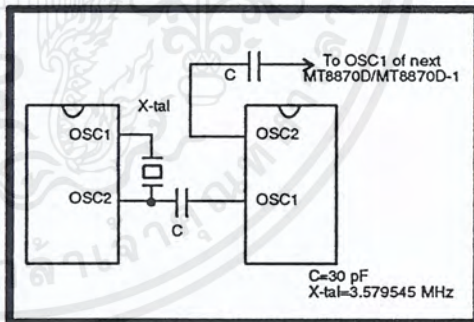


Figure 7 - Oscillator Connection

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

Table 2. Recommended Resonator Specifications  
 Note: Qm=quality factor of RLC model, i.e.,  $1/2\pi fR1C1$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MT8870D/MT8870D-1 ISO<sup>2</sup>-CMOS**

**Applications**

**RECEIVER SYSTEM FOR BRITISH TELECOM SPEC POR 1151**

The circuit shown in Fig. 9 illustrates the use of MT8870D-1 device in a typical receiver system. BT Spec defines the input signals less than -34 dBm as the non-operate level. This condition can be attained by choosing a suitable values of R<sub>1</sub> and R<sub>2</sub> to provide 3 dB attenuation, such that -34 dBm input signal will correspond to -37 dBm at the gain setting pin GS of MT8870D-1. As shown in the diagram, the component values of R<sub>3</sub> and C<sub>2</sub> are the guard time requirements when the total component tolerance is 6%. For better performance, it is recommended to use the non-symmetric guard time circuit in Fig. 8.

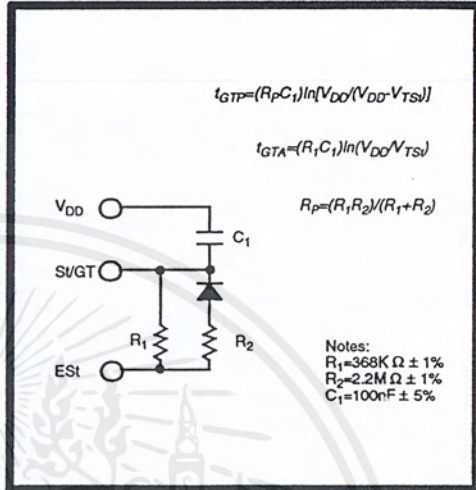


Figure 8 - Non-Symmetric Guard Time Circuit

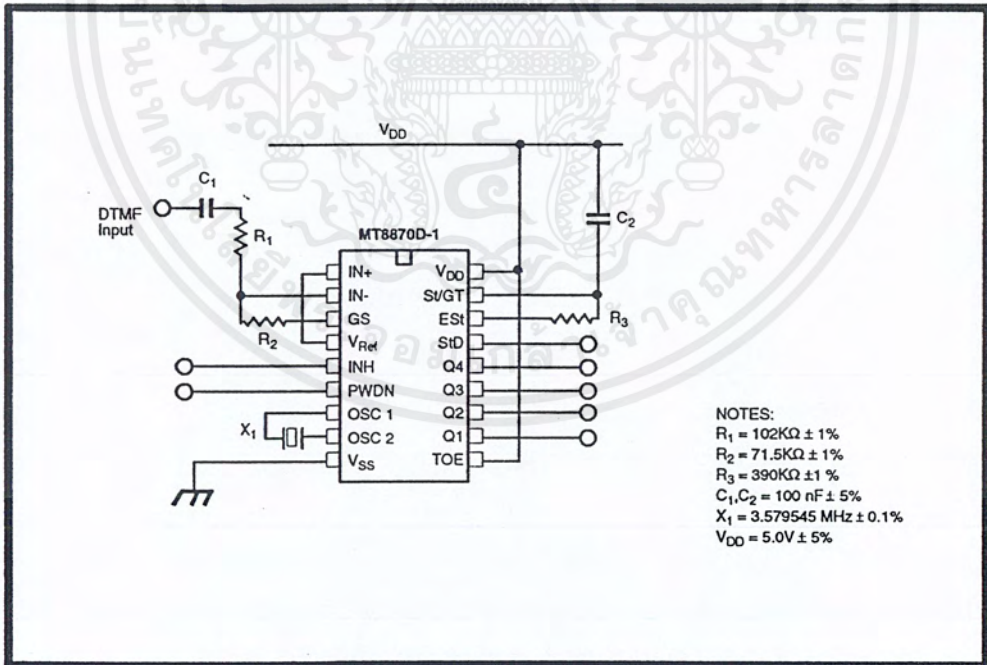


Figure 9 - Single-Ended Input Configuration for BT or CEPT Spec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISO<sup>2</sup>-CMOS MT8870D/MT8870D-1

## Absolute Maximum Ratings†

	Parameter	Symbol	Min	Max	Units
1	DC Power Supply Voltage	$V_{DD}$		7	V
2	Voltage on any pin	$V_I$	$V_{SS}-0.3$	$V_{DD}+0.3$	V
3	Current at any pin (other than supply)	$I_I$		10	mA
4	Storage temperature	$T_{STG}$	-65	+150	°C
5	Package power dissipation	$P_D$		500	mW

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

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

	Parameter	Sym	Min	Typ†	Max	Units	Test Conditions
1	DC Power Supply Voltage	$V_{DD}$	4.75	5.0	5.25	V	
2	Operating Temperature	$T_O$	-40		+85	°C	
3	Crystal/Clock Frequency	$f_c$		3.579545		MHz	
4	Crystal/Clock Freq. Tolerance	$\Delta f_c$		±0.1		%	

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MT8870D/MT8870D-1 ISO<sup>2</sup>-CMOS

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

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

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

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

<sup>‡</sup> Typical figures are at 25 °C and are for design aid only; not guaranteed and not subject to production testing.

**\*NOTES**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISO<sup>2</sup>-CMOS MT8870D/MT8870D-1

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

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

<sup>‡</sup> Typical figures are at 25 °C and are for design aid only; not guaranteed and not subject to production testing.

## \*NOTES

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MT8870D/MT8870D-1 ISO<sup>2</sup>-CMOS

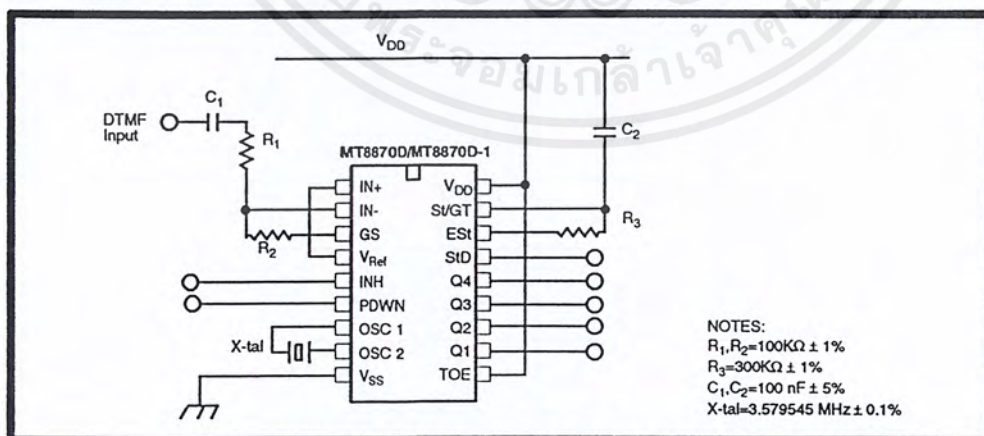
AC Electrical Characteristics -  $V_{DD}=5.0V\pm 5\%$ ,  $V_{SS}=0V$ ,  $-40^{\circ}C \leq T_o \leq +85^{\circ}C$ , using Test Circuit shown in Figure 10.

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

<sup>‡</sup> Typical figures are at 25°C and are for design aid only; not guaranteed and not subject to production testing.

### \*NOTES:

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

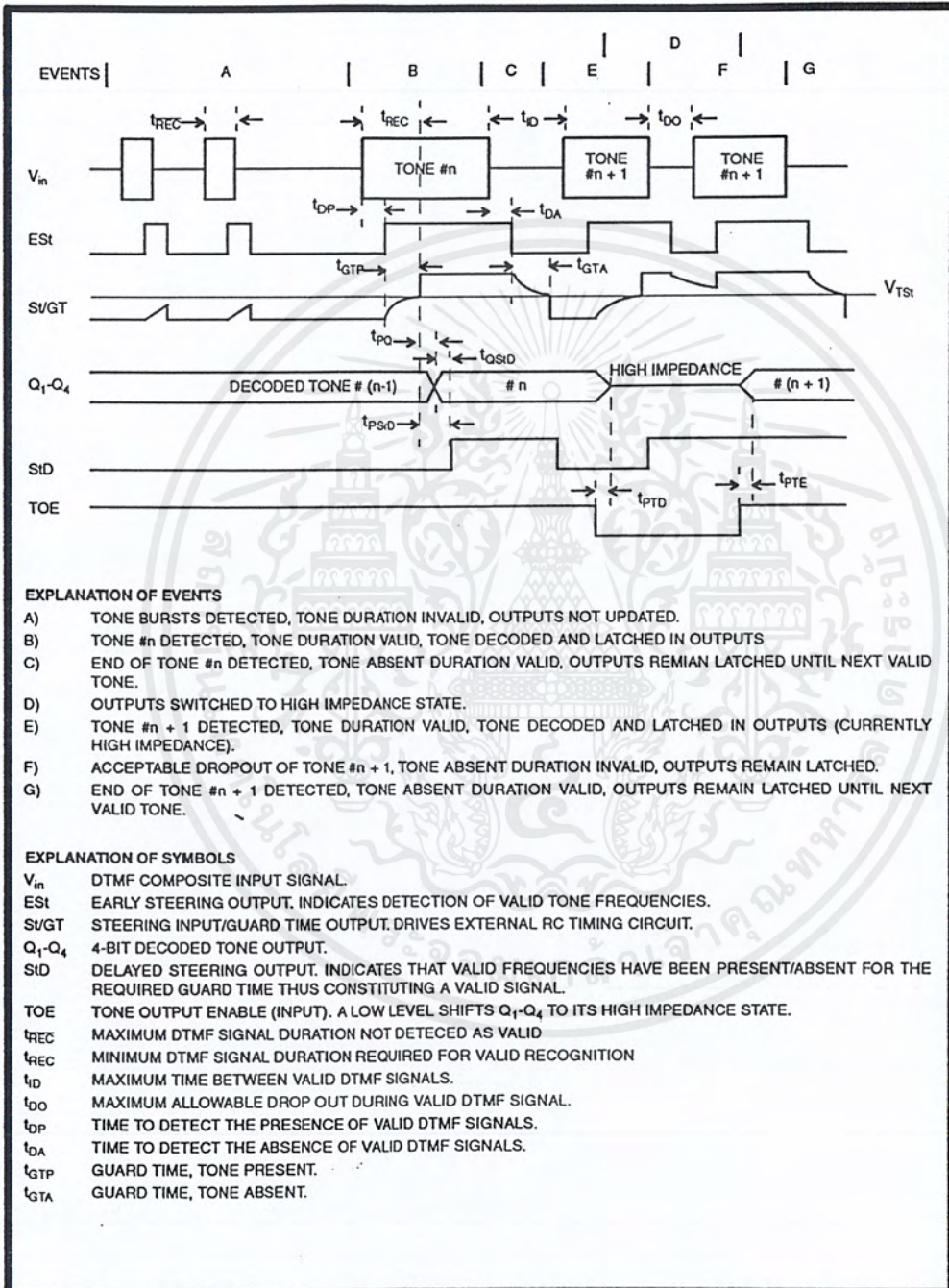
ISO<sup>2</sup>-CMOS MT8870D/MT8870D-1

Figure 11 - Timing Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- ขจรศักดิ์ ป้อมสนาม และคณะ. “ระบบรับส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบพูลคูเพล็กซ์ผ่านสายเคเบิล  
แกนร่วม.” ปรินูญานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม,  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2538
- ฉกาจ ลือชาเกียรติศักดิ์. “ทฤษฎีเครื่องรับวิทยุ.” รวมโครงการอิเล็กทรอนิกส์วิทยุและเครื่องรับส่ง.  
3(2) : หน้า 91-119. 2539
- ธีรวัฒน์ ประกอบผล. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เซท  
โพรปริ้นติ้ง. 2541
- บัณฑิต โรจน์อารยานนท์. หลักการไฟฟ้าสื่อสาร. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.  
2541
- ปิยะกมล บรรเทิงสุข. “เครื่องส่งสัญญาณวีดีโอ UHF.” วารสารเคมีคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์.  
11(132) : หน้า 57-63. 2538
- พรเทพ เลิศบัวรักษ์. “โทรศัพท์อิตเตอร์คอม รุ่น 2.” HOBBY ELECTRONIC. 8(101) : หน้า 25-29.  
2543
- สมนึก สุวรรณจิตร และคณะ. “เครื่องถือโทรศัพท์ระบบดิจิตอล.” รวมโครงการอิเล็กทรอนิกส์  
โทรศัพท์และอินเตอร์คอม. 3(1) : หน้า 56-64. 2539
- สุชาติ กังวาลจิตต์ และสมศักดิ์ เตชะเศรษฐ์ชนะ. โทรศัพท์ระบบ PAL. กรุงเทพฯ : เอช เอ็น การ  
พิมพ์. 2535
- MITEL. Integrated DTMF Receiver. [Online]. Available :  
<http://www.mitelsemi.com/datasheet/MT8870.html>. 2001

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญยานิพนธ์	นายชำนาญกิจ นพคุณ
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 30 เมษายน 2521
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลภูมิพล จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนาเดิม	135/95 หมู่ 3 แขวงสีกัน เขตดอนเมือง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 20210
ที่อยู่ปัจจุบัน	183/95 หมู่ 3 แขวงสีกัน เขตดอนเมือง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 20210
โทรศัพท์	(02) 9285746
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดนาวง
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนดอนเมืองทหารอากาศบำรุง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	โรงเรียนช่างฝีมือทหาร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
คติพจน์	การกระทำทุกสิ่ง มีใจเป็นใหญ่ ใจเป็นประธาน สำเร็จได้ด้วยใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญยานิพนธ์	นายทิพากร กาญจน โสภาค
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 21 มกราคม 2521
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช
ภูมิลำเนาเดิม	150/2 หมู่ 1 ตำบลสิชล อำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช 80120
ที่อยู่ปัจจุบัน	150/2 หมู่ 1 ตำบลสิชล อำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช 80120
โทรศัพท์	(075)53652,(02) 7228716-2
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดประทุมทายการาม
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสิชลคุณาธารวิทยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
คติพจน์	ทำวันนี้ให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายสมคิด คอน โสม
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 15 กรกฎาคม 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดหนองคาย
ภูมิลำเนาเดิม	40 หมู่ 5 ตำบลนุ่งคล้า อำเภอนุ่งคล้า จังหวัดหนองคาย 43140
ที่อยู่ปัจจุบัน	40 หมู่ 5 ตำบลนุ่งคล้า อำเภอนุ่งคล้า จังหวัดหนองคาย 43140
โทรศัพท์	(042) 499-140
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านคอนแพง
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนนุ่งคล้านคร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมวิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
คติพจน์	จงชอบในสิ่งที่ทำ เพื่อรอเวลาทำในสิ่งที่รัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายเอกพร วสุธาร
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 21 กันยายน 2522
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลสยาม จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนาเดิม	33/1290 หมู่ 10 ซอยโชคชัย 4 แขวงลาดพร้าว เขตลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร 10230
ที่อยู่ปัจจุบัน	33/1290 หมู่ 10 ซอยโชคชัย 4 แขวงลาดพร้าว เขตลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร 10230
โทรศัพท์	539-1423
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนป่านะพันธุฯ
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสตรีวิทยา 2
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	โรงเรียนช่างฝีมือทหาร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
คติพจน์	ลำบากวันนี้มีงมีในวันหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้