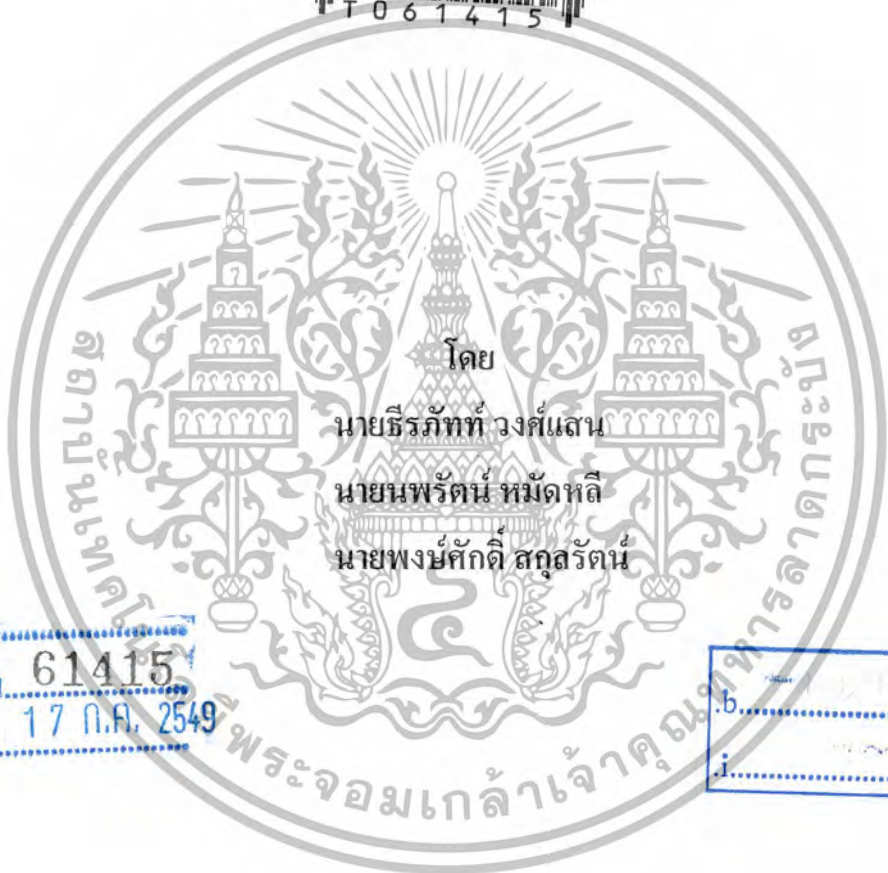


โทรศัพท์สำหรับพื้นที่ห่างไกลผ่านคลื่นวิทยุ  
TELEPHONE FOR DISTANCE AREA BY RADIO FREQUENCY



รหัสหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 61415  
วัน,เดือน,ปี..... 17 ก.ค. 2549

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรศัพท์สำหรับพื้นที่ห่างไกลผ่านคลื่นวิทยุ  
TELEPHONE FOR DISTANCE AREA BY RADIO FREQUENCY

1-ไดนามิค  
ไดนามิค  
ไดนามิค



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา  
วิศวกรรมโทรคมนาคม

HW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรศัพท์สำหรับพื้นที่ห่างไกลผ่านคลื่นวิทยุ  
TELEPHONE FOR DISTANCE AREA BY RADIO FREQUENCY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เรื่อง โทรศัพทล์สำหรับพื้นที่ห่างไกลผ่านคลื่นวิทยุ

TELEPHONE FOR DISTANCE AREA BY RADIO FREQUENCY

ผู้จัดทำ

1. นายธีรภัทท์ วงศ์แสน 45015056
2. นายนพรัตน์ หมดทลี 45015057
3. นายพงษ์ศักดิ์ สกฤษรัตน์ 45015062

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รศ. นิกา ลีสารจ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รศ. ณรงค์ เขมกรณ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรศัพท์สำหรับพื้นที่ห่างไกลผ่านคลื่นวิทยุ

TELEPHONE FOR DISTANCE AREA BY RADIO

FREQUENCY

โดย นายธีรภัทท์ วงศ์แสน	45015056
นายพนรัตน์ หมัดหลิ	45015057
นายพงษ์ศักดิ์ สกุรัตน์	45015062

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. นิภา ลีลารุจิ

รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

#### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบ และสร้างการเชื่อมโยงโทรศัพท์ ไปยังพื้นที่ห่างไกลโดยผ่านคลื่นวิทยุย่าน UHF ความถี่ 883 เมกกะเฮิรตซ์ และความถี่ 928 เมกกะเฮิรตซ์ จำนวน 1 เลขหมาย ประกอบไปด้วยการทำงานหลักๆ 3 ส่วน โดยส่วนแรกคือ ส่วนที่ติดต่อกับชุมสายโทรศัพท์ที่มีภาคการทำงานคือ ภาครับ/ส่งคลื่นวิทยุ ภาคตรวจจับสัญญาณโทรศัพท์ วงจรแยกสัญญาณรับ/ส่ง ส่วนที่ 2 คือ ส่วนปลายทางที่จะเชื่อมโยงกับชุมสายโทรศัพท์ที่มีภาคการทำงานคือ ภาครับ/ส่ง คลื่นวิทยุ ภาคตรวจสอบ และกำเนิดสัญญาณโทรศัพท์ ส่วนที่ 3 คือ ระบบตู้ชุมสายปลายทางอัตโนมัติ ที่ให้บริการ 3 คู่สายใน 1 คู่สายนอก

#### ABSTRACT

This project is about how to designing and creating one line telephone linking to distance area by radio frequency UHF band 883 MHz and 928 MHz. The project include three main operations. The 1<sup>st</sup> section uses for connect to telephone exchange include both radio receiver and transmitter for detect telephone signal, receive and send radio signal. And the 2<sup>nd</sup> section is the part that links to the telephone set. Including a following operation. Receiving and sending the radio frequency part, the telephone checking and telephone signal generator. Third parts is PABX service for 3 extension line and 1 external line.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 โครงสร้างของโครงการ	1
1.2 คุณสมบัติของโครงการ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโทรศัพท์	4
2.1.1 ระบบโทรศัพท์	4
2.1.2 ชุมสายโทรศัพท์	4
2.1.2.1 ระบบเชื่อมต่อโทรศัพท์และชุมสาย	4
2.1.2.2 การอินเตอร์เฟสระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับชุมสาย	4
2.1.3 สัญญาณพื้นฐานที่ใช้ในระบบโทรศัพท์	7
2.1.3.1 สัญญาณที่ใช้ระหว่างผู้เข้ากับชุมสาย	7
2.1.3.2 สัญญาณที่ใช้ติดต่อระหว่างชุมสายกับชุมสาย	8
2.1.4 ระบบ DTMF (Dual Tone Multiple Frequency)	9
2.2 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของ MCS-51 แบบแฟลช	10
2.2.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 อนุกรม AT89xx	11
2.2.2 การจัดหาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	13
2.2.3 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต	14
2.2.4 การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต	15
2.2.5 การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต	15
2.2.6 การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ต	16
2.2.7 หน่วยความจำโปรแกรม	16
2.2.8 หน่วยความจำข้อมูล	17
2.2.9 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ	17
2.2.10 รีจิสเตอร์แสดงสถานะโปรแกรม	17
2.3 ระบบสังเคราะห์ความถี่	18
2.3.1 วิธีสังเคราะห์ความถี่	19
2.3.2 เฟสล็อกคูลูป	20
2.3.3 การใช้เฟสล็อกคูลูปในการสังเคราะห์ความถี่	21
2.3.3.1 พื้นฐานของเฟสล็อกคูลูป	22
2.3.4 วิธีสังเคราะห์ความถี่แบบมิกซิง	27
2.3.5 เทคนิคของการสังเคราะห์ความถี่	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.5.1 PLL แบบโดยตรง	30
2.3.5.2 PLL แบบคุณความถี่	30
2.3.5.3 PLL แบบพรีสเกลเลอร์	31
2.3.5.4 PLL แบบมิกซิงนอกloop	31
2.3.5.5 PLL แบบมิกซิงในloop	32
2.3.6 ระบบสังเคราะห์ความถี่ในเครื่องรับ/ส่งวิทยุ	32
2.3.7 คุณสมบัติของวงจรสังเคราะห์ความถี่	34
2.4 ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน	34
2.4.1 วงจรสมมูลของออปแอมป์	35
2.4.2 คุณสมบัติเด่นของออปแอมป์	36
2.4.3 ลักษณะอุดมคติของออปแอมป์	36
2.4.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่สำคัญของออปแอมป์	37
2.4.5 การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์	39
2.4.6 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบเชลเลนแอนด์คีย์	42
2.5 ไอซีถอยรหัสนัญญาณความถี่โทรศัพท์	44
2.5.1 คุณสมบัติของไอซี MT8870	44
2.5.2 โครงสร้างภายในของ MT8870	44
2.5.3 ฟังก์ชันการทำงานภายในของ MT8870	44
2.6 ไอซีบันทึกสัญญาณเสียง	48
2.6.1 คุณสมบัติของ ISD1420	49
2.7 ไฮบริดจ์	49
2.7.1 ลักษณะโครงสร้างของไฮบริดจ์	49
2.7.2 หลักการทำงานของ Hybrids Transformer	50
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	
3.1 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	52
3.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส	52
3.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ทชนิดเอกที่พ้อันดับ 8 ความถี่คัทออฟ 5 กิโลเฮิร์ตซ์	54
3.4 ส่วนของการรับ/ส่ง สัญญาณโดยใช้ RF-MODULE	56
3.5 การหาค่า Main divider coefficient และ Reference divider coefficient	60
3.6 วงจรในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
3.7 โครงสร้างตู้ชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทางอัตโนมัติ	64
3.7.1 ภาค External Line Interface And Automatic Answer Circuit	64
3.7.1.1 ภาค Line Interface & DC Loop & Network Circuit	64
3.7.1.2 ภาค Bi-Directional Amplifier Circuit	67
3.7.1.3 ภาค Ringing Signal Detector Circuit	68
3.7.1.4 ภาค DTMF Decoder Circuit	71
3.7.1.5 ภาค Automatic Answer Circuit	71
3.7.2 ภาค Tone Generator Circuit	73
3.7.3 ภาค Ringing Control Circuit	76
3.7.4 ภาค DTMF Decoder 2 Circuit	77
3.7.5 ภาค Cross Point Switch Circuit	77
3.7.6 ภาค Extension Interface Circuit	79
3.7.7 ภาค Control Circuit	81
3.8 ส่วนเชื่อมต่อวิทยุ	81
3.8.1 ส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับตู้ชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทางอัตโนมัติ	81
3.8.1.1 ภาค Hybrids Interface Circuit	83
3.8.1.2 ภาค Ring Detection Circuit	83
3.8.1.3 ภาค DTMF Generator Circuit	86
3.8.1.4 ภาค DTMF Detection And Control Circuit	86
3.8.2 ส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับเครื่องรับโทรศัพท์ปลายทาง	88
3.8.2.1 ภาค Hybrids Interface And Antenna System	90
3.8.2.2 ภาค Telephone Status Detection Circuit	90
3.8.2.3 ภาค Ring Generator Circuit	90
3.8.2.4 ภาค DTMF Code Generator Circuit	94
3.8.2.5 ภาค Control Circuit	94
3.8.2.6 วงจรทวีแรงดัน	97
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	
4.1 การทดลองส่วนวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส	99
4.1.1 การทดลองหาอัตราขยายสัญญาณ	99
4.1.2 การทดลองหาผลตอบสนองความถี่ของวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส	100
4.2 การทดลองของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตรเตอร์เวิร์ทชนิดแอกทีฟอันดับ 8	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การทดลองหาค่าความถี่เบี่ยงเบนของสเปคตรัมนาไลเซอร์	103
4.4 การทดลองหาค่ากำลัง (Power : P) และความถี่ของเครื่องส่ง	104
4.4.1 การทดลองหาค่ากำลังและความถี่ของเครื่องส่ง RF-MODULE CT918B	104
4.4.2 การทดลองหาค่ากำลังและความถี่ของเครื่องส่ง RF-MODULE CT918H	105
4.5 การทดลองหาเซนซิวิตี (Sensitivity) ของเครื่องรับ	106
4.5.1 การหาเซนซิวิตีของ RF MODULE CT918B	106
4.5.2 การหาเซนซิวิตีของ RF MODULE CT918H	108
4.6 การทดลองหาค่าความเข้มสัญญาณวิทยุ	108
4.6.1 การทดลองหาค่าความเข้มสัญญาณวิทยุที่ระยะทาง 2 เมตร	109
4.6.1.1 ใช้ CT918H เป็นตัวส่งที่ความถี่ 883 เมกกะเฮิร์ตซ์	109
4.6.1.2 ใช้ CT918B เป็นตัวส่งที่ความถี่ 928 เมกกะเฮิร์ตซ์	110
4.6.2 การทดลองหาค่าความเข้มสัญญาณวิทยุที่ระยะทาง 5 เมตร	110
4.6.2.1 ใช้ CT918H เป็นตัวส่งที่ความถี่ 883 เมกกะเฮิร์ตซ์	111
4.6.2.2 ใช้ CT918B เป็นตัวส่งที่ความถี่ 928 เมกกะเฮิร์ตซ์	112
4.7 การทดลองติดต่อสื่อสาร	113
4.8 การทดลองวงจรส่วนตู้ชุมสายโทรศัพท์	114
4.8.1 การทดลองวงจร Line Interface & DC Loop & Network Circuit	114
4.8.2 การทดลองวงจร Bi-Directional Amplifier Circuit	114
4.8.3 การทดลองวงจร Ringing Signal Detector Circuit	115
4.8.4 การทดลองวงจร DTMF Decoder Circuit	116
4.8.5 การทดลองวงจร Automatic Answer Circuit	116
4.8.6 การทดลองวงจร Tone Generator Circuit	117
4.8.7 การทดลองวงจร Cross Point Switch Circuit	118
4.9 การทดลองวงจร Extension Interface Circuit	118
4.9.1 กำหนดสถานะของขา 2 (BELL) เป็นลอจิก “1”	118
4.9.2 กำหนดสถานะของขา 2 (BELL) เป็นลอจิก “0”	119
4.10 การทดลองวงจรส่วนเชื่อมต่อวิทยุ	119
4.10.1 การทดลองวงจร Ring Detection Circuit	119
4.10.2 การทดลองวงจร DTMF Generator Circuit	120
4.10.3 การทดลองวงจร DTMF Detection And Control Circuit	120
4.10.4 การทดลองวงจร Ring Generator Circuit	121
4.10.5 การทดลองวงจร DTMF Code Generator Circuit	121

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.10.6 การทดลองวงจรทวิแรงดัน	122
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์	123
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงแผนผังของระบบทั้งหมด	3
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของวงจร SLIC	5
รูปที่ 2.2 ส่วนรับรู้ความต้องการใช้โทรศัพท์ด้วยวิธีรูปสตาร์ท	6
รูปที่ 2.3 ส่วนรับรู้ความต้องการใช้โทรศัพท์ด้วยวิธีกราวด์สตาร์ท	7
รูปที่ 2.4 แสดงสัญญาณพื้นฐานของโทรศัพท์	8
รูปที่ 2.5 การจัดปุ่มสัญญาณและระบบสัญญาณ DTMF	10
รูปที่ 2.6 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Cxx	12
รูปที่ 2.7 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Sxx	13
รูปที่ 2.8 แสดงวิธีสังเคราะห์ความถี่โดยตรง	19
รูปที่ 2.9 แสดงแผนผังของเฟสล็อกคูลูป	20
รูปที่ 2.10 แสดงแผนผังของหน่วยสังเคราะห์ความถี่	22
รูปที่ 2.11 แสดงบล็อกไดอะแกรมและทรานเฟอร์ฟังก์ชันของเฟสล็อกคูลูป	24
รูปที่ 2.12 ทรานเซียนของเฟสล็อกคูลูปอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณอ้างอิง	25
รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างวงจรรูปฟิลเตอร์	26
รูปที่ 2.14 แสดงแผนผัง Programmable divider โดยใช้ไอซีตระกูล TTL	27
รูปที่ 2.15 แสดงหน่วยสังเคราะห์ความถี่แบบมิกซิงสำหรับเครื่องรับ/ส่งวิทยุย่าน 2 เมตร (ความถี่ 150 MHz)	28
รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างแผนผังของหน่วยสังเคราะห์ความถี่ในทางปฏิบัติ	29
รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างแผนผังของหน่วยสังเคราะห์ความถี่แบบมิกซิงที่ใช้แร่เพียงตัวเดียวเพื่อเลื่อนความถี่ระหว่างสภาวะรับกับสภาวะส่ง	29
รูปที่ 2.18 แสดง PLL แบบโดยตรง	30
รูปที่ 2.19 แสดง PLL แบบคูณความถี่	31
รูปที่ 2.20 แสดง PLL แบบปริสเทลเลอร์	31
รูปที่ 2.21 แสดง PLL แบบมิกซิงนอกคูลูป	31
รูปที่ 2.22 แสดง PLL แบบมิกซิงในคูลูป	32
รูปที่ 2.23 แสดงแผนผังของเครื่องรับ/ส่งวิทยุแบบต่าง ๆ	33
รูปที่ 2.24 สัญลักษณ์ของออปแอมป์	35
รูปที่ 2.25 วงจรเทียบเคียงออปแอมป์	35
รูปที่ 2.26 ลักษณะถ่ายโอนของออปแอมป์	37
รูปที่ 2.27 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายกับความถี่	38
รูปที่ 2.28 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส	39
รูปที่ 2.29 วงจรลิมิตของวงจรถ่ายสัญญาณแบบกลับเฟส 180 องศา	40

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.30 วงจรสมมูลในรูปที่ 2.29 เมื่อแทนด้วยแหล่งกำเนิดกระแสตามทฤษฎีโนร์ตัน	40
รูปที่ 2.31 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส	41
รูปที่ 2.32 วงจรบัฟเฟอร์และวงจรสมมูลของบัฟเฟอร์	42
รูปที่ 2.33 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสองแบบ แชนเส้นแอนคัลย์	42
รูปที่ 2.34 แสดงรายละเอียดขาต่างๆ ของ MT8870	45
รูปที่ 2.35 แสดงโครงสร้างภายในของ MT8870	46
รูปที่ 2.36 แสดงความถี่ที่ได้จากภาคกรองความถี่	46
รูปที่ 2.37 แสดงวงจรตรวจสอบสัญญาณอย่างง่ายและแสดงการกำหนดเวลาการ์ดใหม่	48
รูปที่ 2.38 แสดงการเชื่อมต่อของวงจรไฮบริดจ์	50
รูปที่ 2.39 แสดงโครงสร้างของ Hybrids Transformer	51
รูปที่ 3.1 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	52
รูปที่ 3.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส	53
รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสที่ออกแบบได้	53
รูปที่ 3.4 วงจรต้นแบบของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ แชนเส้นแอนคัลย์	54
รูปที่ 3.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบเอกที่พีทีความถี่คัทออฟ 5 กิโลเฮิรตซ์ที่ออกแบบได้	56
รูปที่ 3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรภายใน RF-MODULE	57
รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งขาของ RF-MODULE	57
รูปที่ 3.8 แสดง Timing Diagram ที่ใช้ในการโปรแกรมค่า N และ REF	58
รูปที่ 3.9 วงจรในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการโปรแกรมค่า N และ REF	61
รูปที่ 3.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมโครงสร้างตู้ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ	65
รูปที่ 3.11 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ External Line Interface and Answer Circuit	66
รูปที่ 3.12 แสดงวงจร Line Interface & DC Loop & Network Circuit	67
รูปที่ 3.13 แสดงวงจร Bi – Directional Amplifier Circuit	68
รูปที่ 3.14 แสดงวงจร Ringing Signal Detector Circuit	69
รูปที่ 3.15 แสดงวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	70
รูปที่ 3.16 แสดงวงจร DTMF Decoder Circuit	71
รูปที่ 3.17 แสดงวงจร Automatic Answer Circuit	72
รูปที่ 3.18 แสดงวงจรสร้างสัญญาณ Dial Tone	73
รูปที่ 3.19 แสดงวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	74
รูปที่ 3.20 แสดงวงจรสร้างสัญญาณ Ringback Tone	75
รูปที่ 3.21 แสดงวงจรสร้างสัญญาณ Busy Tone	76
รูปที่ 3.22 แสดงวงจร Ringing Control Circuit	77

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.23 แสดงวงจร Cross Point Switch Circuit	78
รูปที่ 3.24 แสดงวงจร Extension Interface Circuit	80
รูปที่ 3.25 แสดงบล็อกไดอะแกรมส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับตู้ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ	82
รูปที่ 3.26 แสดงวงจร Hybrids Interface Circuit	84
รูปที่ 3.27 แสดงวงจร Ring Detection Circuit	85
รูปที่ 3.28 แสดงวงจร DTMF Generator Circuit	86
รูปที่ 3.29 แสดงวงจร DTMF Detection And Control Circuit	87
รูปที่ 3.30 แสดงบล็อกไดอะแกรมส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับเครื่องรับโทรศัพท์ปลายทาง	89
รูปที่ 3.31 แสดงวงจร Hybrids Interface And Antenna System	91
รูปที่ 3.32 แสดงวงจร Telephone Status Detection Circuit	92
รูปที่ 3.33 แสดงวงจร Ring Generator Circuit	93
รูปที่ 3.34 แสดงวงจร DTMF Code Generator Circuit	95
รูปที่ 3.35 แสดงวงจร Control Circuit	96
รูปที่ 3.36 แสดงวงจรการสร้างความถี่ในทวีโอซี MC14060	97
รูปที่ 3.37 แสดงวงจรทวีโอซี	98
รูปที่ 4.1 แสดงการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณเสียงแบบไม่กลับเฟส	99
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่อัตราขยายเท่ากับ 6	99
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลตอบสนองของความถี่ของวงจรขยายสัญญาณ	101
รูปที่ 4.4 แสดงการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	101
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลตอบสนองของความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทิฟ	103
รูปที่ 4.6 แสดงการทดสอบหาค่าเบี่ยงเบนของสเปคตรัมอนาไลเซอร์	103
รูปที่ 4.7 แสดงความเบี่ยงเบนของสเปคตรัมอนาไลเซอร์	104
รูปที่ 4.8 แสดงการวัดเพื่อทดลองหาค่ากำลังและความถี่ที่ใช้ส่ง	104
รูปที่ 4.9 แสดงสเปคตรัมเอาต์พุตที่ของเครื่องส่ง RF MODULE CT918B	105
รูปที่ 4.10 แสดงสเปคตรัมเอาต์พุตที่ของเครื่องส่ง RF MODULE CT918H	106
รูปที่ 4.11 แสดงการทดลองหาเซนซิวิตีของเครื่องรับ	107
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบสัญญาณที่ไข่มอดดูเลคกับที่ตีเทคได้ของ RF MODULE CT918B	107
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบสัญญาณที่ไข่มอดดูเลคกับที่ตีเทคได้ของ RF MODULE CT918H	108
รูปที่ 4.14 แสดงการทดลองวัดความเข้มสัญญาณที่ระยะทาง 2 เมตร	109
รูปที่ 4.15 แสดงสเปคตรัมที่วัดได้ที่อินพุตของภาครับของ RF-MODULE CT918B	109
รูปที่ 4.16 แสดงสเปคตรัมที่วัดได้ที่อินพุตของภาครับของ RF-MODULE CT918H	110
รูปที่ 4.17 แสดงการทดลองวัดความเข้มสัญญาณวิทยุที่ระยะทาง 5 เมตร	111

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.18 แสดงสเปกตรัมที่วัดได้ที่อินพุตของภาครับของ RF-MODULE CT918B	111
รูปที่ 4.19 แสดงสัญญาณที่ตีเทคได้ของ RF-MODULE CT918B	112
รูปที่ 4.20 แสดงสเปกตรัมที่วัดได้ที่อินพุตของภาครับของ RF-MODULE CT918H	112
รูปที่ 4.21 แสดงสัญญาณที่ตีเทคได้ของ RF-MODULE CT918H	113
รูปที่ 4.22 แสดงเครื่องที่นำไปทดลองนอกสถานที่	114
รูปที่ 4.23 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจร Bi-Directional Amplifier	115
รูปที่ 4.24 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 3 ของ IC104 เมื่อมีการทรigger 1 ครั้ง	115
รูปที่ 4.25 แสดงสัญญาณ Dial Tone	117
รูปที่ 4.26 แสดงสัญญาณ Ringback Tone	117
รูปที่ 4.27 แสดงสัญญาณ Busy Tone	118
รูปที่ 4.28 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 5 ของ IC201 และขา 8 ของ IC202D	119
รูปที่ 4.29 แสดงสัญญาณที่วัดได้ที่ขาคอลเล็กเตอร์ของ TR201	120
รูปที่ 4.30 แสดงสัญญาณ DTMF “1” ที่ขา 7 ของ IC301	120
รูปที่ 4.31 แสดงสัญญาณกระดิ่งที่วัดได้ที่หม้อแปลงไฟฟ้า	121
รูปที่ 4.32 แสดงสัญญาณพัลส์ที่ใช้สร้างแรงดันไฟกระแสตรงที่เป็นแรงดันตกคร่อม C611 เทากับ -30 โวลต์	122

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดหน่วยความจำโปรแกรม, หน่วยความจำข้อมูลและจำนวนไทเมอร์/เคาน์เตอร์ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 อนุกรม AT89xx	12
ตารางที่ 2.2 แสดงหน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์	14
ตารางที่ 2.3 แสดงการเลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่างเพื่อติดต่อกับรีจิสเตอร์แบงก์ R0-R7	18
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าที่ถอดรหัสได้จากความถี่ต่างๆ	47
ตารางที่ 3.1 ค่า Q ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ทที่อันดับต่างๆ	54
ตารางที่ 3.2 ค่าของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ความถี่คัทออฟ 5 กิโลเฮิรตซ์	55
ตารางที่ 3.3 แสดงรูปแบบข้อมูลที่ใช้ในการโปรแกรม	59
ตารางที่ 3.4 ตารางการเลือกค่า บิท OLA,OLB	59
ตารางที่ 3.5 ตารางการเลือกค่า บิท CRA,CRB	60
ตารางที่ 3.6 ตารางการเลือกค่า บิท SR	60
ตารางที่ 3.7 แสดงตำแหน่งการเชื่อมต่อสวิทช์	79
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการตอบสนองของวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ	100
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟ	102
ตารางที่ 4.3 แสดงความสามารถในการรับ/ส่ง	113
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองวงจร Line Interface & DC Loop & Network Circuit	114
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองวงจร DTMF Decoder Circuit	116
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองเมื่อขา BELL มีสถานะลอจิก "1"	118
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองเมื่อขา BELL มีสถานะลอจิก "0"	119
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองวงจร DTMF Detection And Control Circuit	121
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองวงจร DTMF Code Generator Circuit	122

## บทที่ 1

### บทนำ

ในสภาวะปัจจุบัน การสื่อสารถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นมาก มีการพัฒนารูปแบบในการติดต่อสื่อสารอยู่ตลอดเวลา เพื่อช่วยให้เกิดความสะดวกในธุรกิจ และความเป็นอยู่มากขึ้น การสื่อสารที่มีให้บริการมีหลายระดับด้วยกันทั้งวิทยุติดตามตัว โทรศัพท์มือถือ โทรศัพท์พื้นฐาน ตลอดจนเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารไร้สายอื่นๆ แต่การติดต่อสื่อสารที่เป็นนิยมใช้กันมากคือ ระบบโทรศัพท์พื้นฐาน เราสามารถที่จะติดต่อกันได้ไม่ว่าจะอยู่ที่ใดในโลกนี้ แต่การให้บริการโทรศัพท์ยังครอบคลุมไม่ถึงถึงทุกพื้นที่ เนื่องจากพื้นที่บางแห่งยังอยู่ห่างไกลพื้นที่ให้บริการมาก นอกจากนั้นยังมีสภาพภูมิประเทศที่เป็นอุปสรรคในการดำเนินการหรือปริมาณใช้งานพื้นที่นั้นยังไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนของผู้ประกอบการ

ด้วยเหตุนี้เพื่อให้ประสิทธิภาพ ใช้งานของอุปกรณ์ดังกล่าว มีประโยชน์สูงขึ้น จึงได้คิดสร้างโครงการการเชื่อมโยงโทรศัพท์สำหรับพื้นที่ห่างไกลขึ้นมา เพื่อขยายความสามารถของระบบโทรศัพท์พื้นฐาน ให้สามารถใช้งานออกไปจากจุดที่มีคู่สายไปให้บริการ ในการติดต่อสื่อสารกันจะใช้คลื่นวิทยุ

#### 1.1 โครงสร้างของโครงการ

ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ คือ

##### 1.1.1 โครงสร้างชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ ซึ่งจะมี 2 ส่วนดังนี้

- ส่วนฮาร์ดแวร์ (Hardware)
- ส่วนซอฟต์แวร์ (Software)

##### 1.1.2 โครงสร้างระบบเชื่อมต่อผ่านคลื่นวิทยุ

#### 1.2 คุณสมบัติของโครงการ

- บริการเชื่อมต่อระหว่าง 1 คู่สายภายนอกกับ 3 คู่สายภายใน
- บริการติดต่อระหว่าง คู่สายภายใน
- บริการตอบรับอัตโนมัติ

เนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์จะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ คือ

บทที่ 1 “บทนำ” จะกล่าวถึงลักษณะของปฏิญานิพนธ์อย่างกว้างๆ และบอกให้ทราบถึงส่วนประกอบของเนื้อหาของปฏิญานิพนธ์

บทที่ 2 “ทฤษฎีและหลักการ” ในส่วนนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานของระบบโทรศัพท์ส่วนประกอบของระบบโทรศัพท์ ชุมสายโทรศัพท์ การเชื่อมต่อระหว่างชุมสายกับผู้ใช้สัญญาณต่างๆ ที่ใช้ในระบบโทรศัพท์ ระบบ DTMF โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน การมอดคูเลตและการทำงานของเครื่องรับวิทยุแบบต่างๆ

บทที่ 3 “การออกแบบและการสร้าง” แสดงบล็อกไดอะแกรมโดยรวมของปฏิญานิพนธ์วิธีการสร้างวงจรในส่วนต่างๆ และการทำงานของวงจร

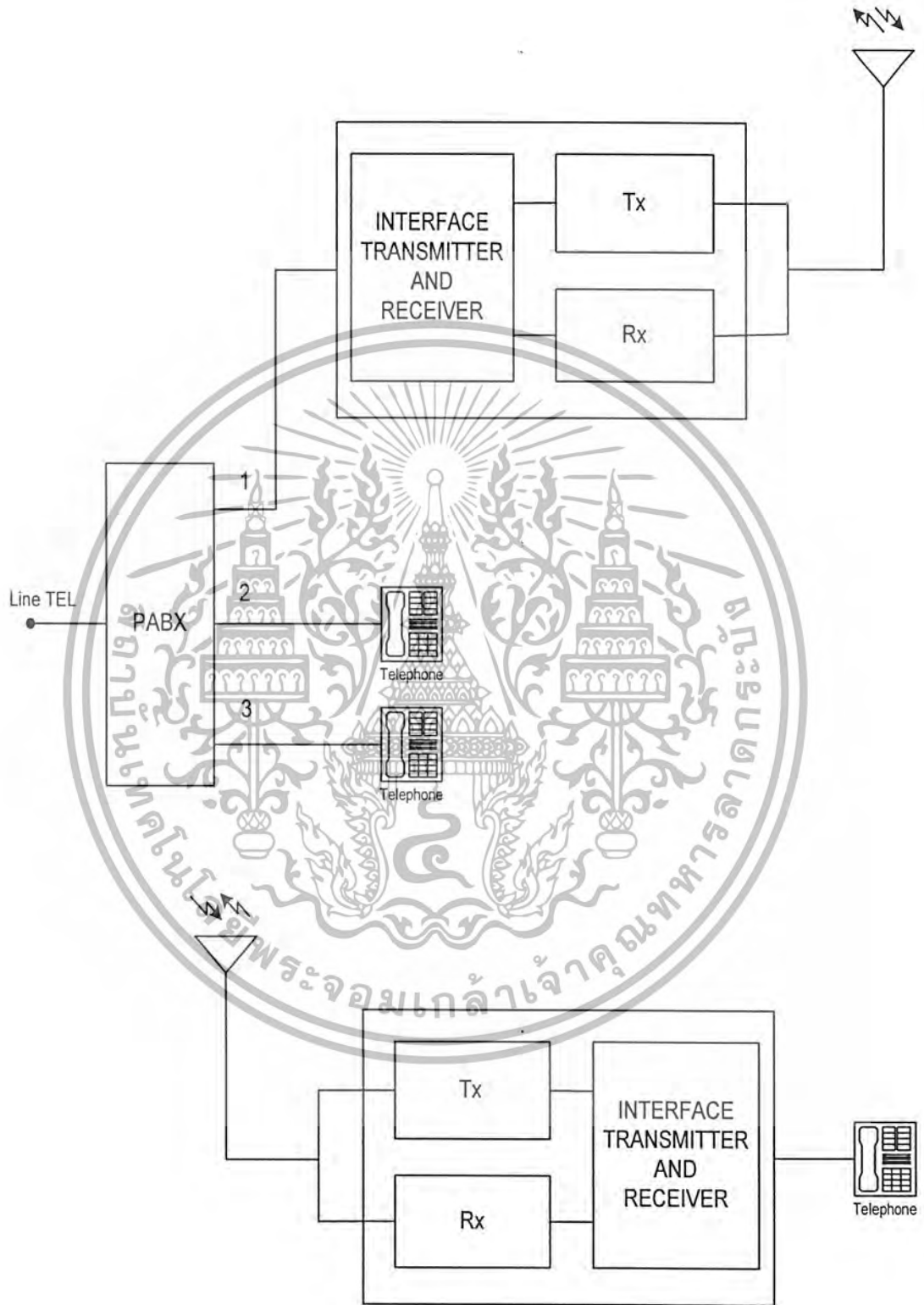
บทที่ 4 “ผลการทดลอง” ในส่วนนี้จะแสดงผลการทำงานของวงจรที่ทำการทดลองในโครงการตามบล็อกไดอะแกรมที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 “บทสรุปและวิจารณ์” ในบทนี้จะกล่าวถึงผลจากการทำโครงการและปัญหาอุปสรรคต่างๆ ในการทำโครงการ และแนวทางในการพัฒนาต่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แสดงแผนผังของระบบทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโทรศัพท์

#### 2.1.1 ระบบโทรศัพท์

การสื่อสารทางโทรศัพท์ เป็นการเชื่อมโยงสัญญาณเสียงพูดระหว่างฝ่ายเรียกกับฝ่ายผู้ถูกเรียกให้สามารถติดต่อพูดคุยถึงกันได้ในปัจจุบันวิวัฒนาการของการสื่อสารทางโทรศัพท์นี้ นอกจากสัญญาณเสียงแล้ว ก็สามารถที่จะส่งสัญญาณภาพและข้อมูลไปพร้อมกันด้วยการสื่อสารทางโทรศัพท์ที่มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ

- เครื่องรับโทรศัพท์ (Telephone Set) เป็นอุปกรณ์ที่ผู้ใช้จะใช้ในการติดต่อพูดคุยระหว่างกัน ประกอบด้วย เครื่องส่ง (Transmitter) เครื่องรับ (Receiver) กระจิ่ง (Ringing) ฮุกสวิทช์ (Hook Switch) และหน้าปัทม์สำหรับหมุนหรือกดหมายเลข เครื่องส่งและเครื่องรับรวมกันเรียกว่า แฮนด์เซต (Hand Set)

- สายโทรศัพท์ (Telephone Line) เครื่องรับโทรศัพท์แต่ละเครื่องจะมีสายโทรศัพท์ 1 คู่ เพื่อเชื่อมโยงและเป็นสื่อนำสัญญาณต่าง ๆ จากชุมสายมายังเครื่องรับโทรศัพท์ สายโทรศัพท์ที่ต่อเชื่อมโยงระหว่างชุมสายเพื่อให้บริการระหว่างชุมสาย เรียกว่า ทังก์ (Trunk)

- ชุมสายโทรศัพท์ (Telephone Exchange) เป็นสถานที่ที่รวมคู่สายของเครื่องรับโทรศัพท์แต่ละเครื่องในพื้นที่ และทำหน้าที่เชื่อมต่อคู่สายให้กับผู้ใช้โทรศัพท์ พร้อมทั้งส่งสถานะการใช้งานต่างๆ ให้กับผู้ใช้โทรศัพท์ทราบ

#### 2.1.2 ชุมสายโทรศัพท์

ฟังก์ชันการทำงานหลักๆ ของชุมสายโทรศัพท์ คือ การส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์อินเตอร์เฟส การรับหมายเลขจากผู้เรียกไปยังผู้ถูกเรียก การควบคุมระบบสวิทช์ซึ่ง การกำหนดมาตรฐานของสัญญาณที่ใช้

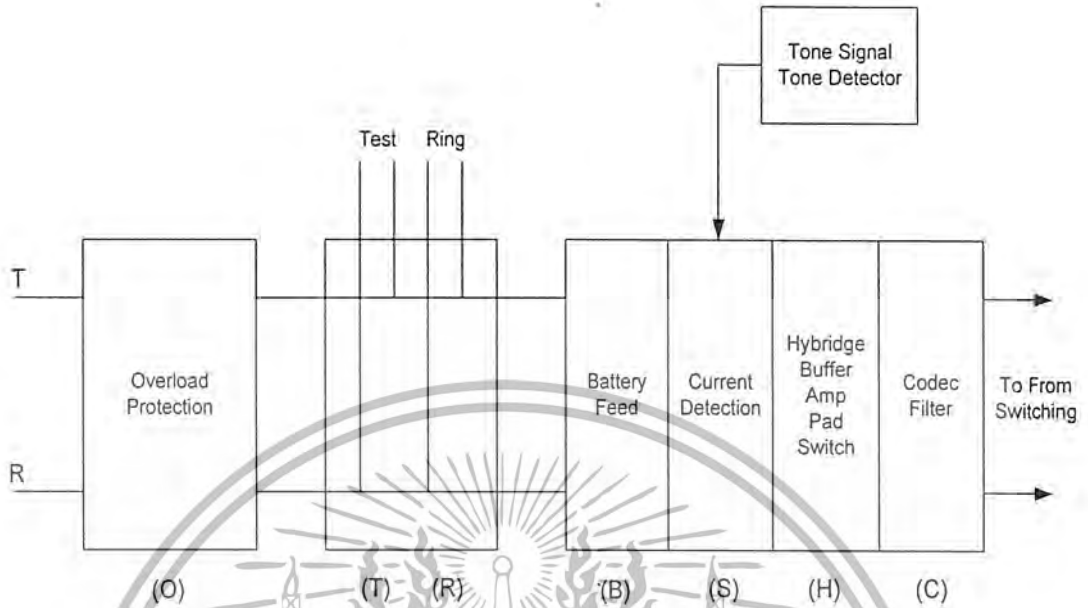
##### 2.1.2.1 ระบบการเชื่อมต่อโทรศัพท์และชุมสาย

ภายในชุมสายโทรศัพท์จะประกอบด้วยลูกข่ายหรือผู้ใช้ (Subscriber) หลายๆ จุดสายสัญญาณที่ใช้ในการเชื่อมต่อจากผู้ใช้มายังชุมสาย คือ สายทิป (Tip) และสายริง (Ring) ซึ่งจะเรียกการติดต่อโดยผ่านสายสัญญาณเหล่านี้ว่า ระบบไลน์ไซด์ (Line Side) ซึ่งการเชื่อมต่อโทรศัพท์ของผู้ใช้เข้ากับชุมสาย โดยการผ่านฮุกสวิทช์ ภายในเครื่องรับโทรศัพท์

ส่วนวงจรไฮบริดจ์จะทำหน้าที่แยกสัญญาณออกเป็นสองส่วนคือ เป็นสายสัญญาณที่ใช้สำหรับรับสัญญาณเพียงอย่างเดียวและส่งเพียงอย่างเดียว ดังนั้นสัญญาณตั้งแต่ส่วนนี้ไปเรียกว่า ทังก์ไซด์ (Trunk Side) ซึ่งทังก์ไซด์เป็นการติดต่อระหว่างชุมสายเท่านั้น สำหรับเหตุผลที่ต้องแยกสัญญาณรับและส่งออกจากกันก็เพื่อที่จะให้สามารถปรับระดับสัญญาณให้มีระดับที่เหมาะสมกับระยะทางระหว่างชุมสายได้อย่างเป็นอิสระนั่นเอง ซึ่งทำให้เกิดผลดีต่อประสิทธิภาพการได้ยินของผู้ใช้

##### 2.1.2.2 การอินเตอร์เฟสระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับชุมสาย

การอินเตอร์เฟสในส่วนของไลน์ไซด์นับว่าเป็นส่วนสำคัญมากที่สุดของระบบโทรศัพท์ ฟังก์ชันการทำงานในส่วนนี้ก็คือ ฟังก์ชัน BORSCHT ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของวงจร SLIC

1. แบตเตอรี่ฟีด (Battery Feed : B) วงจรในส่วนนี้ทำหน้าที่คือเป็นแหล่งจ่ายแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ให้แก่เครื่องโทรศัพท์ที่สามารถทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณต่างๆ ได้โดยมีความต้านทานต่ำและมีอิมพีแดนซ์สูง

2. ส่วนป้องกันแรงดันเกิน (Over Voltage Protection : O) จะทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากสัญญาณทรานเซียนสูงๆ เช่นแรงดันที่เหนี่ยวนำเข้ามาในวงจรขณะเกิดฟ้าผ่าหรืออันตรายที่เกิดจากการลัดวงจร

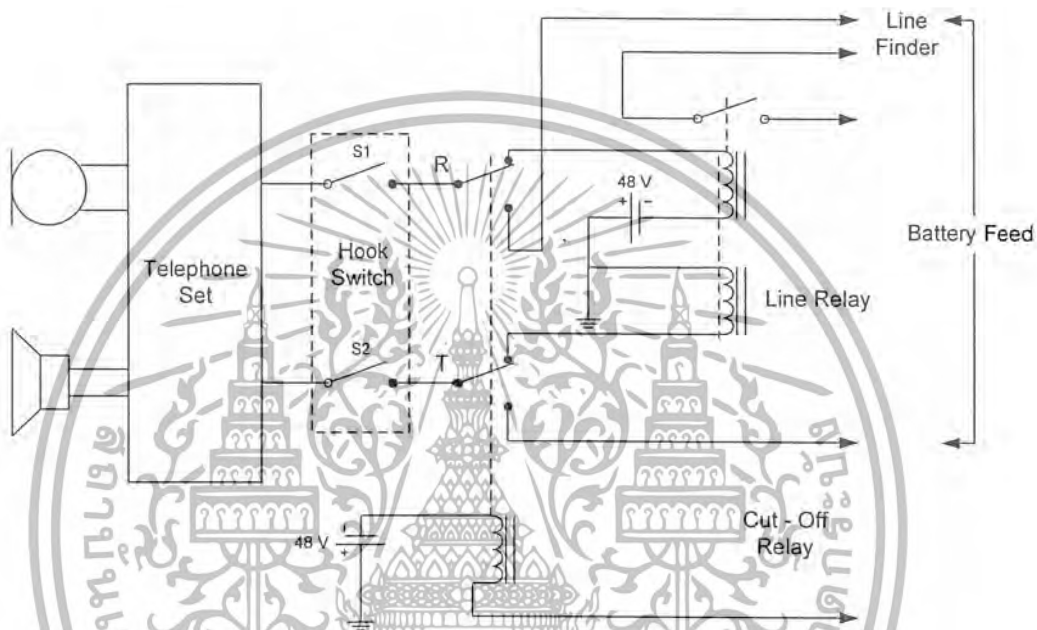
3. ส่วนกำเนิดสัญญาณกระดิ่ง (Ringing : R) หลังจากทีระบบสวิตซ์ซึ่งได้ทำการต่อวงจรของผู้เรียกเข้ากับหุ้มสายแล้ว หุ้มสายก็จะส่งสัญญาณกระดิ่งไปยังโทรศัพท์เครื่องนั้น วิธีการจะใช้รีเลย์เป็นตัวช่วยในการต่อวงจรสร้างสัญญาณเข้ากับสายทึบและริง

4. ส่วนรับรู้การทำงานของโทรศัพท์ (Supervision : S) หน้าที่ในส่วนนี้คือรับรู้การขอใช้โทรศัพท์เมื่อมีการยกหู การรับรู้เลขหมายโทรศัพท์ที่ถูกส่งมาโดยเป็นระบบที่ใช้สัญญาณพัลส์แทนหมายเลขตลอดจนตรวจสอบสถานะการใช้งาน เช่นกำลังสนทนากันอยู่หรือสิ้นสุดการสนทนาวงจรในส่วนนี้จะต้องแยกแยะระหว่างผลอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนกระแสรั่วไหลและผลอันเนื่องมาจากความยาวของสายสัญญาณที่จะลดทอนกระแสไปบางส่วน เนื่องจากวงจรในส่วนรับรู้สภาพการทำงานของโทรศัพท์ใช้การตรวจสอบการทำงานจากปริมาณกระแสที่ไหลสำหรับวิธีการนี้มี 2 วิธี คือลูปสตาร์ทและกราวด์สตาร์ท

- วิธีลูปสตาร์ท (Loop Start) ดังรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นวงจรสมมูลของวิธีการลูปสตาร์ท ในวงจรใช้รีเลย์ 2 ตัวทำหน้าที่ตรวจสอบการทำงานของโทรศัพท์โดยในสถานะ ออบน-ฮุก (On Hook) ทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการฝ่าฝืนหรือไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

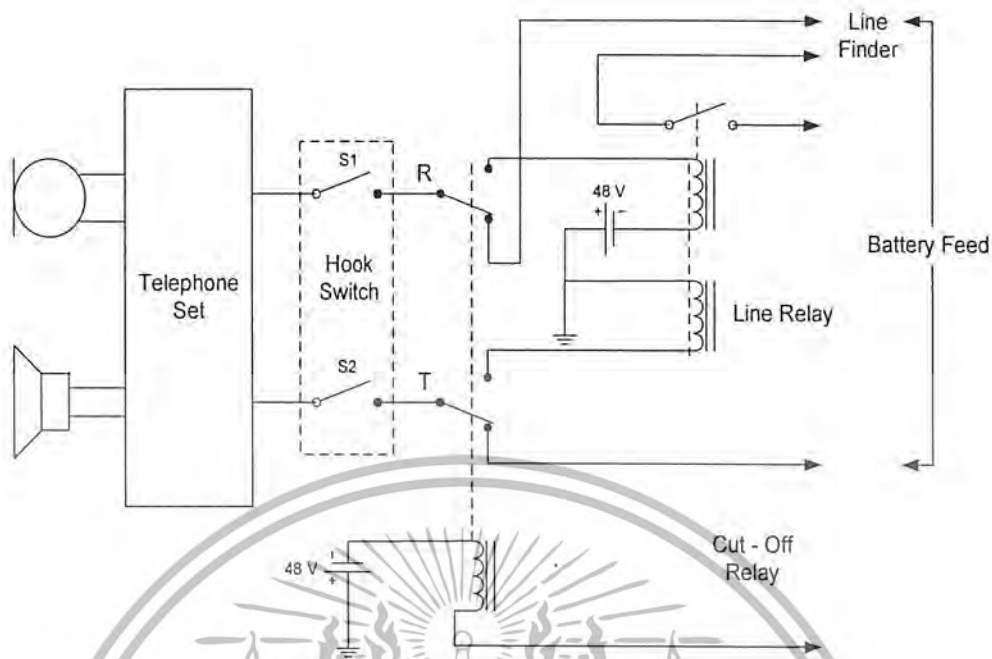
เข้าสู่เครื่องรับโทรศัพท์เพราะวงจรถูกเปิดอยู่ เมื่อผู้ใช้ยกหู โทรศัพท์ขึ้น จะมีกระแสจากแบตเตอรี่ไหลผ่านไปยังขดลวดของไลน์รีเลย์ ทำให้รีเลย์ทำงานหน้าสัมผัสของรีเลย์จะถูกต่อเข้ากับส่วนตรวจสอบการขอใช้โทรศัพท์ (Line Finder) จากนั้นวงจรกำเนิดสัญญาณให้หมุน ก็จะส่งสัญญาณให้หมุนออกไปซึ่งสัญญาณนี้จะไปกระตุ้นให้ คัทออฟรีเลย์ทำงาน และทำให้สายนำสัญญาณทึบและริงที่คอนแรกต่อกับไลน์รีเลย์ไปต่อกับส่วนแบตเตอรี่ฟีด



รูปที่ 2.2 ส่วนรับรู้ความต้องการใช้โทรศัพท์ด้วยวิธีลูปสตาร์ท

- วิธีการดสตาร์ท (Ground Start) วิธีนี้ใช้ตรวจสอบความต้องการใช้สายอุปกรณ์ PBXs (Private Branch Exchanges) ดังรูปที่ 2.3 เป็นวงจรสมมูลของวิธีการดสตาร์ทจะเห็นว่าวงจรสวิทช์ของอุปกรณ์ใน PBXs จะทำหน้าที่เชื่อมต่อไลน์รีเลย์เข้ากับอุปกรณ์ PBXs และสวิตช์ต่อเข้ากับอุปกรณ์สวิทช์ซึ่งของ PBXs อีกที่หนึ่งภายใน PBXs จะทำหน้าที่ต้องวงจรให้กระแสไหลครบวงจรโดยผ่านกราวด์ ดังนั้นทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดรีเลย์เพียงขดเดียว ซึ่งก็เพียงพอให้รีเลย์ทำงานได้แล้ว หลังจากนั้นการทำงานก็เหมือนลูปสตาร์ท เมื่ออุปกรณ์ PBXs ได้รับสัญญาณให้หมุนจากชุมสายแล้ว สวิทช์ของอุปกรณ์ PBXs ที่ต่อกับกราวด์จะถูกปลดออกเป็นอันสิ้นสุด การทำงานในส่วนนี้

5. การเข้ารหัสและถอดรหัส (Coding : C) หน้าที่ของส่วนนี้คือ การเข้ารหัสข้อมูลดิจิทัลที่ใช้กันก็คือ PCM (Pulse Code Modulation) ซึ่งภาครับจะต้องใช้วงจรถอดรหัสและแปลงรหัสให้อยู่ในรูปของสัญญาณอนาลอกต่อไป



รูปที่ 2.3 ส่วนรับรู้ความต้องการใช้โทรศัพท์ด้วยวิธีการวัดสสารท์

6. วงจรไฮบริดจ์ (Hybrids : H) ทำหน้าที่แปลงระบบสายส่งจาก 2 สายให้เป็น 4 สาย เพื่อจะแยกสัญญาณรับ/ส่งออกจากกันทำให้ใช้วงจรมายสัญญาณที่จะรับ/ส่งให้เหมาะสมได้

7. ส่วนทดสอบ (Test - T) เป็นส่วนที่ออกแบบไว้สำหรับใช้ในการตรวจสอบหาจุดบกพร่องของการทำงานในวงจรอินเตอร์เฟส ตรวจสอบอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งที่อยู่กับคู่สายนั้นๆ ซึ่งทั้งหมดก็คือฟังก์ชัน BORSCHT ส่วนการใช้งานจริงนั้นปัจจุบันอยู่ในรูปไอซีเป็นส่วนใหญ่ โดยวงจรอินเตอร์เฟสที่มีฟังก์ชันการทำงาน BORSCHT ครบเรียกว่า SLIC (Subscriber Line Interface Circuit)

### 2.1.3 สัญญาณพื้นฐานที่ใช้ในระบบโทรศัพท์

สัญญาณพื้นฐานที่ใช้ในระบบโทรศัพท์ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ประเภท คือ สัญญาณที่ใช้ภายในชุมสาย (Inter Exchange Signaling) และสัญญาณระหว่างชุมสายกับผู้ใช้ (Subscriber Signaling)

#### 2.1.3.1 สัญญาณที่ใช้ระหว่างผู้เข้ากับชุมสาย

แบ่งออกได้ 2 อย่าง คือ สัญญาณที่ผู้ใช้ส่งให้ชุมสายและสัญญาณที่ส่งมาจากชุมสายอันได้แก่

1. สัญญาณ ออฟ-ฮุก คือ สภาพผู้ใช้ยกหูโทรศัพท์จะมีสภาพเป็นลูปปิด (Close Loop)
2. สัญญาณ ออน-ฮุก คือ สภาพผู้ใช้งานยกหูโทรศัพท์จะมีสภาพเป็นลูปเปิด (Open Loop)
3. สัญญาณหมุนเลขหมาย (Drilling) คือ สภาพที่ผู้เข้าหมุนเลขหมายซึ่งถ้าเป็นเครื่องโทรศัพท์

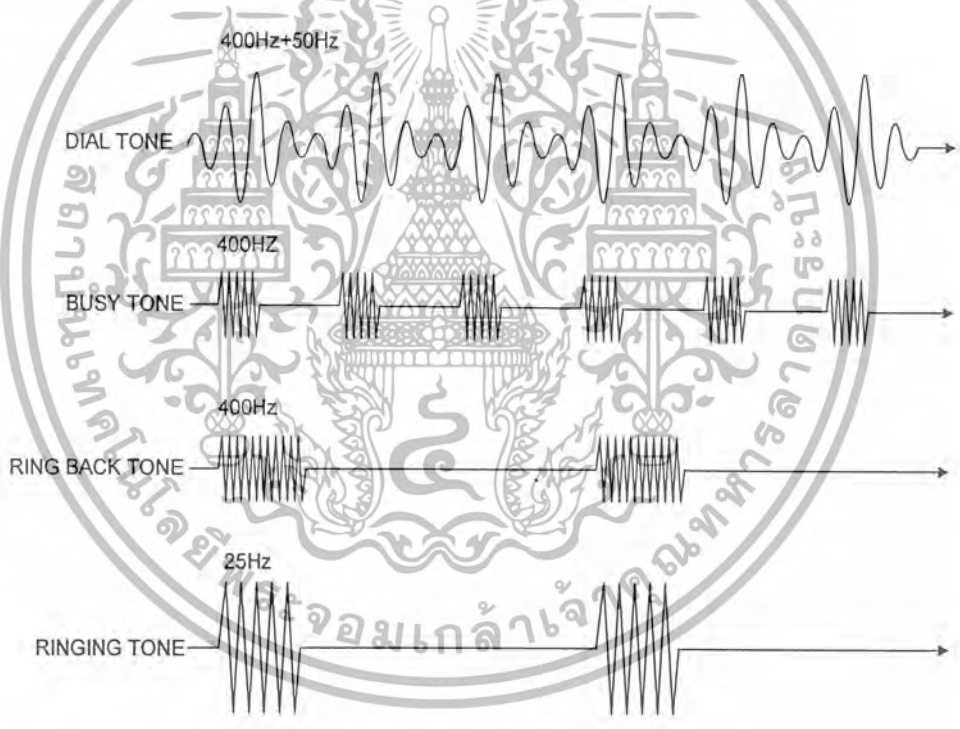
แบบ Rotary Dial สัญญาณจะเป็นพัลส์ถ้าเป็นระบบกดปุ่ม (Touch Tone) สัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณ DTMF ส่งไปยังชุมสายและสัญญาณที่ชุมสายส่งกลับมาให้ผู้ใช้โทรศัพท์

4. สัญญาณพร้อมให้หมุน (Dial Tone) เป็นสัญญาณที่ทางชุมสายใช้แจ้งไปยังผู้ใช้โทรศัพท์ว่า อุปกรณ์ต่างๆ ภายในชุมสายพร้อมที่จะทำการต่อ โทรศัพท์ให้แก่ผู้ใช้โทรศัพท์ ซึ่งเป็นสัญญาณต่อเนื่อง ความถี่ 425 เฮิรตซ์ มอดูเลตด้วยความถี่ 50 เฮิรตซ์ ผู้เช่าจะได้ยินโทนนี้เมื่อทำการยกหู โทรศัพท์

5. สัญญาณเรียกกลับ (Ringback Tone) เป็นสัญญาณบอกผู้เรียกให้ทราบว่าทางสายของผู้ถูกเรียกว่าง และกำลังเรียกอยู่เป็นสัญญาณไซน์ (Sine Wave) ความถี่ 425 เฮิรตซ์ โดยจะส่ง 1 วินาทีหยุด 4 วินาที

6. สัญญาณกระดิ่ง (Ringing Tone) เป็นสัญญาณที่ทางชุมสายส่งไปยังเครื่องรับเพื่อบอกให้ทราบว่ามีการติดต่อเข้ามาเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 25 เฮิรตซ์ ค่าแรงดัน 70-90 Vrms โดยจะส่ง 1 วินาทีหยุด 4 วินาที

7. สัญญาณแจ้งว่าสายไม่ว่าง (Busy Tone) เป็นสัญญาณที่บอกให้ผู้เรียกทราบว่ายังไม่สามารถติดต่อกับเครื่องรับโทรศัพท์หมายเลขนั้นในเวลานั้นได้ โดยจะส่ง 0.5 วินาที หยุด 0.5 วินาที ความถี่ของสัญญาณไซน์ 425 เฮิรตซ์ ภายในเวลา 45 วินาทีแล้วเกิดสภาวะเงียบ (Line lock out)



รูปที่ 2.4 แสดงสัญญาณพื้นฐานของโทรศัพท์

2.1.3.2 สัญญาณที่ใช้ติดต่อระหว่างชุมสายกับชุมสาย

1. สัญญาณจับวงจร (Seizure) เป็นสัญญาณให้ชุมสายปลายทางทราบว่าคู่สายขณะนั้นถูกใช้งานอยู่ ชุมสายปลายทางจะทำการเตรียมอุปกรณ์ที่รับเลขหมายของผู้ถูกเรียกที่จะส่งมา
2. สัญญาณบอกเลขหมาย (Address Information)
3. สัญญาณตอบรับ (Answer Signal) สัญญาณนี้จะถูกส่งเมื่อผู้ถูกเรียกยกหูรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สัญญาณยกเลิกการติดต่อ (Clear Forward) จะถูกส่งเมื่อฝ่ายเรียกเป็นฝ่ายวางหู ผลของสัญญาณนี้ทำให้วงจรทางด้านปลายทางทำการยกเลิกการต่อวงจรต่างๆ

5. สัญญาณยกเลิกการติดต่อกลับ (Clear back) จะถูกส่งเมื่อฝ่ายถูกเรียกวางหู ผลของสัญญาณนี้ทำให้ชุมสายด้านต้นทางเริ่มจับเวลา เมื่อเวลาผ่านไป 90-120 วินาทีชุมสายด้านต้นทางก็จะยกเลิกการติดต่อออกไปเพื่อให้ชุมสายปลายทางยกเลิกเช่นกัน

**2.1.4 ระบบ DTMF (Dual Tone Multiple Frequency)**

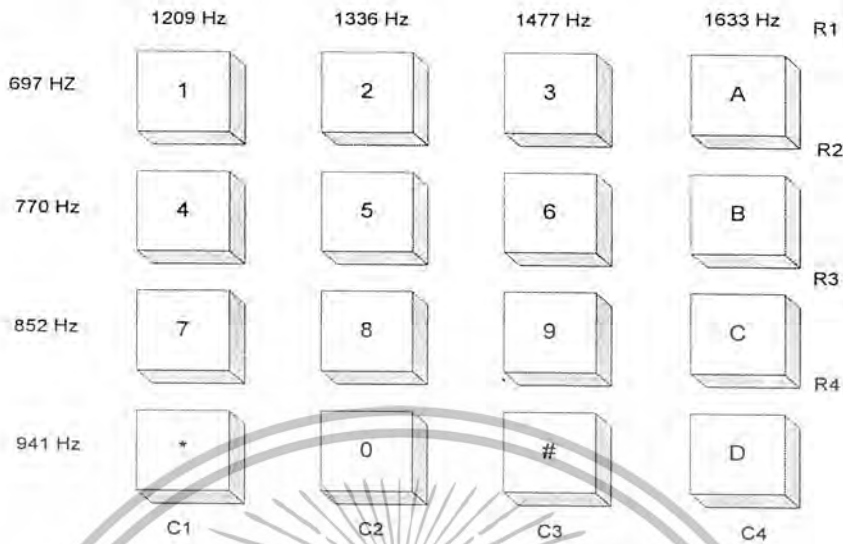
ในยุคแรกเริ่มของการใช้โทรศัพท์ เครื่องรับโทรศัพท์ที่ใช้จะเป็นแบบหน้าปัดหมุน ซึ่งการหมุนเลขหมายจะทำให้เกิดพัลส์ของกระแสในจำนวนเท่ากับหมายเลขที่หมุน จำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปยังชุมสายด้วยความเร็ว 10 พัลส์ต่อวินาที (Pulse Per Second : PPS) หรือ 20 พัลส์ต่อวินาที

เนื่องจากโทรศัพท์ที่ใช้หน้าปัดหมุน สำหรับการติดต่อผ่านชุมสายไม่ค่อยจะอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้โทรศัพท์เท่าใดนัก เพราะเป็นระบบเชิงกล ทำงานค่อนข้างช้า ดังนั้นจึงได้มีการคิดสร้างโทรศัพท์ชนิดกดปุ่มขึ้น ระบบโทรศัพท์ชนิดกดปุ่มนี้เรียกว่า DTMF เนื่องจากการกดปุ่มหมายเลขแต่ละปุ่มบนหน้าปัดเครื่องรับโทรศัพท์นั้น ทำให้เกิดสัญญาณที่ประกอบขึ้นจากความถี่ 2 ความถี่ ส่งออกไปตามสายโทรศัพท์ไปยังชุมสาย เพื่อเรียกให้ชุมสายรู้ว่า ผู้ใช้โทรศัพท์ต้องการติดต่อกับโทรศัพท์เครื่องใด แทนการส่งพัลส์ของกระแสการหมุนหน้าปัดของเครื่องรับโทรศัพท์หน้าปัดหมุน

ระบบ DTMF นี้จะมีความถี่มาตรฐานในย่านความถี่เสียงที่แตกต่างกัน 8 ความถี่ โดยจะแบ่งความถี่เหล่านี้ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มความถี่ต่ำ 4 ความถี่และความถี่สูง 4 ความถี่ และสัญญาณ DTMF นี้จะมาจากการรวมสัญญาณความถี่จากกลุ่มความถี่ต่ำ 1 ความถี่ และความถี่สูงอีก 1 ความถี่ ดังนั้นสัญญาณ DTMF จึงมีได้ทั้งหมด 16 สัญญาณ (4 ความถี่ต่ำ คูณ 4 ความถี่สูง)

การเลือกความถี่มาตรฐานของระบบ DTMF นี้ผู้ออกแบบระบบได้ใช้ความพยายามอย่างมากในการเลือกความถี่ที่จะใช้ เพราะเนื่องจากต้องระวังไม่ให้สัญญาณเสียงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในสายโทรศัพท์ เช่น สัญญาณการแจ้งสภาวะต่างๆ สัญญาณรบกวนภายในสายโทรศัพท์ มีความถี่อยู่ในช่วงความถี่ DTMF และยังคงระวังความถี่ที่อาจเกิดขึ้นจากการรวมตัวกันแบบฮาร์โมนิก ของค่าความถี่ใดความถี่หนึ่งของความถี่ DTMF และในที่สุดก็ได้ความถี่มาตรฐานทั้ง 8 ความถี่ ดังรูปที่ 2.5 ระบบ DTMF นี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบ 4 x 4 ในการสร้างสัญญาณ DTMF ได้กำหนดปุ่มแต่ละปุ่มเหล่านั้นไว้ด้วย ตัวเลข 0-9, \* (Star หรือ Sterisk), # (Pound), A, B, C, D ซึ่งในการกดปุ่ม ปุ่มหนึ่งจะให้สัญญาณความถี่คู่หนึ่งออกมา ในการใช้งานทั่วไป จะใช้เฉพาะปุ่มตัวเลข 0-9 เท่านั้น ส่วนปุ่ม \*, #, A, B, C, D สามารถนำมาใช้งานอื่นๆ ได้ โทรศัพท์ที่ใช้ระบบ DTMF ผู้ใช้สามารถฟังเสียงสัญญาณ DTMF ได้โดยการยกหูโทรศัพท์ขึ้นฟังแล้วกดปุ่มใดปุ่มหนึ่งบนหน้าปัด เช่น การกดปุ่มหมายเลข 8 จะเกิดสัญญาณความถี่ 825 เฮิรตซ์และ 1336 เฮิรตซ์ ขึ้นพร้อมกันสัญญาณจะถูกส่งผ่านคู่สายไปยังชุมสาย เพื่อทำการตรวจสอบเลขหมายที่ต้องการติดต่อ โดยการถอดรหัสความถี่ของสัญญาณที่ถูกส่งเข้าไป ระบบ DTMF ทำให้สามารถลดเวลาการเรียกลงได้อย่างมาก สามารถใช้วงจรสารกึ่งตัวนำมาทำงานแทนอุปกรณ์เชิงกล ทำให้มีขนาดเล็กลง อายุการใช้งานมากขึ้น ความผิดพลาดในการใช้งานน้อยลง และสามารถให้บริการอื่นๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การจัดไปสัญญาณและระบบสัญญาณ DTMF

## 2.2 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของ MCS-51 แบบแฟลช

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ที่ใช้ในโครงการนี้จะอ้างถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบแฟลช (Flash memory) ของ Atmel Corporation มีเบอร์ขึ้นต้นด้วย AT89S9 เหตุผลที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบนี้ มีด้วยกันหลายประการ

- หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นแบบแฟลช ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปแบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก ส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุตเอาต์พุต ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- ต้นทุนและเวลาในการพัฒนาระบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์ลดลงอย่างมากเนื่องจากไม่ต้องใช้เครื่องมือพัฒนาจำพวกอิมูเลเตอร์ และเครื่องโปรแกรมอีพรอม

- บริษัทผู้ผลิตได้ทำการผลิต ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ออกมาหลายเบอร์และความสามารถแตกต่างกันไป ทำให้มีทางเลือกในการใช้งานสูง

- ด้วยการใช้หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้สามารถป้องกันการคัดลอกข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมได้เป็นอย่างดี

- ในบางเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผลิตโดย Atmel สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมได้ โดยที่ไม่ต้องถอดตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ออกมาทำการโปรแกรมใหม่หรือเรียกว่า การโปรแกรมในวงจรหรือในระบบ (In System Programming) โดยใช้ลักษณะการติดต่อแบบ SPI (Serial Peripheral Interface) ทำให้การพัฒนาหรือการซ่อมบำรุง ตลอดจนการปรับปรุงหรืออัปเดตข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมทำได้สะดวกภายใต้งบประมาณที่ไม่สูงมากนัก

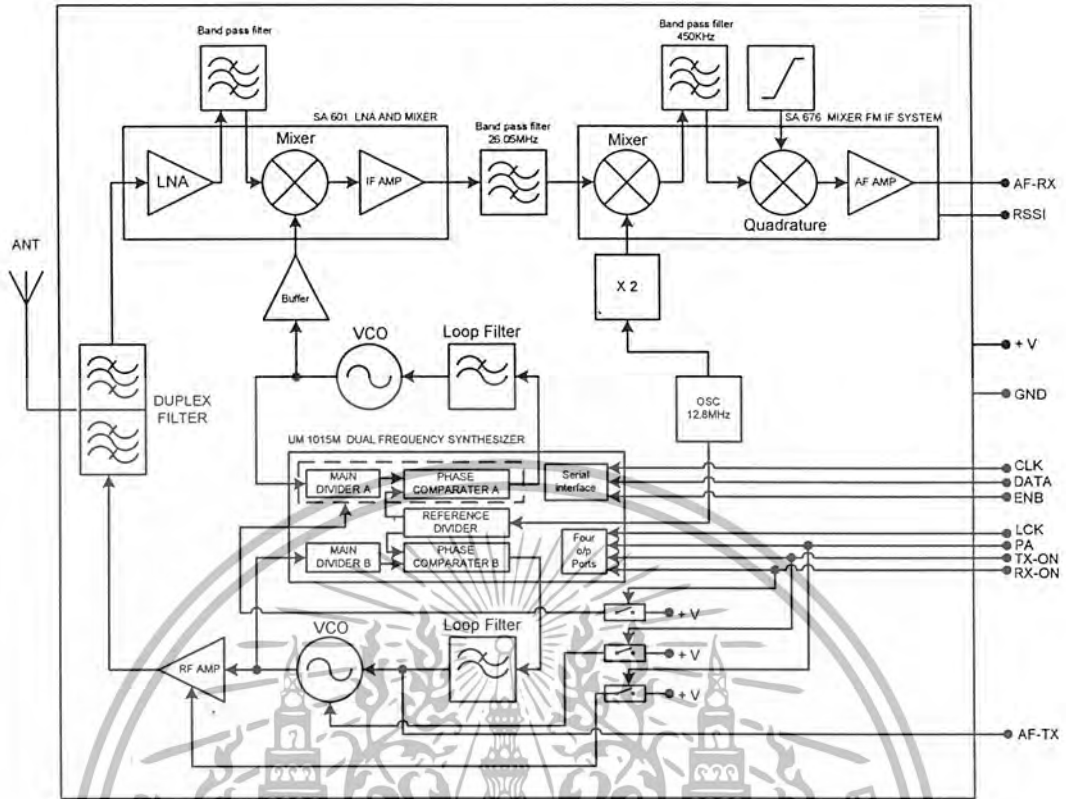
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมพื้นฐาน เหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของผู้ผลิตอื่น  
ไม่ว่าจะเป็นอินเทล ซิเมนส์ หรือคัลลัส

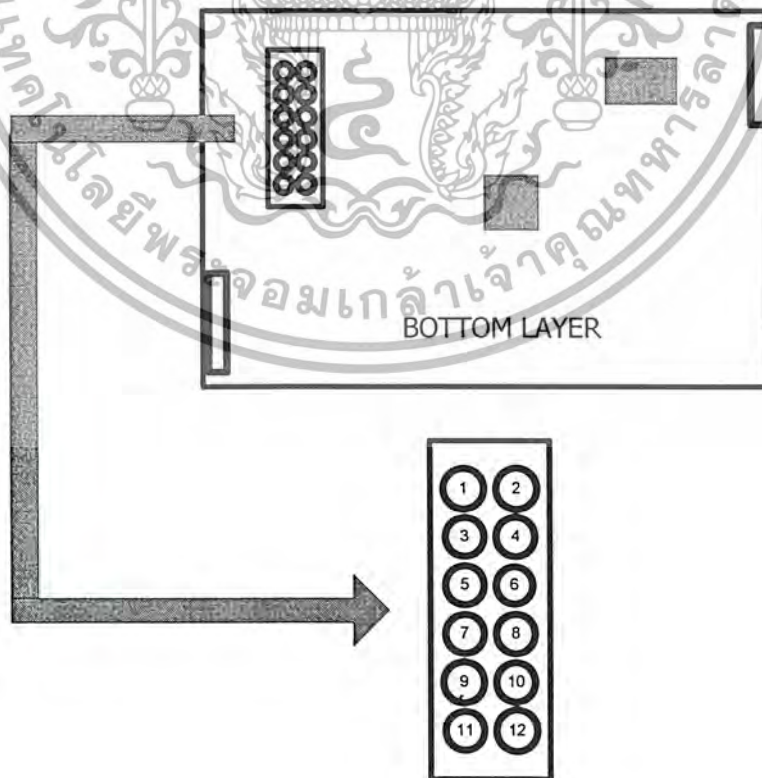
### 2.2.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 อนุกรม AT89xx

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียู ขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้ทันที
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรมในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบอีพรอมเพิ่มเติม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทางสามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทมเมอร์/คาน์เตอร์ขนาด 16 บิต อย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในชิป
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ SPI สำหรับในอนุกรม AT89Sxx
- มีวอตซ์ดีค็อกไทเมอร์ในตัว สำหรับอนุกรม AT89Sxx

ในรูปที่ 2.6 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89Cxx จะเห็นได้ว่า โครงสร้างของ AT89Cxx จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 พื้นฐาน หากแต่แตกต่างกันเฉพาะหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชที่เพิ่มเติมเข้ามาหากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ในอนุกรม 87xx หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะเป็นแบบอีพรอม และบางเบอร์สามารถโปรแกรมได้เพียงครั้งเดียว สำหรับรูปที่ 2.7 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของอนุกรม AT89Sxx จะเห็นได้ว่ามีส่วนประกอบที่เพิ่มเติมแตกต่างจาก AT89Cxx อยู่หลายส่วน เช่น วงจรเชื่อมต่ออนุกรมแบบ SPI ซึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ อนุกรมนี้ในการเขียนข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรม โดยไม่ต้องถอดตัวชิปออกไปจากระบบหรือเรียกว่าการ โปรแกรมในวงจรร ไทมเมอร์/คาน์เตอร์ ขนาด 16 บิต ที่เพิ่มเติมเข้ามาอีกหนึ่งตัวเป็นไทมเมอร์ 2 และวงจรวอตซ์ดีค็อก ที่ใช้ในการตรวจสอบการทำงานผิดพลาดของซีพียู



รูปที่ 3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรภายใน RF MODULE

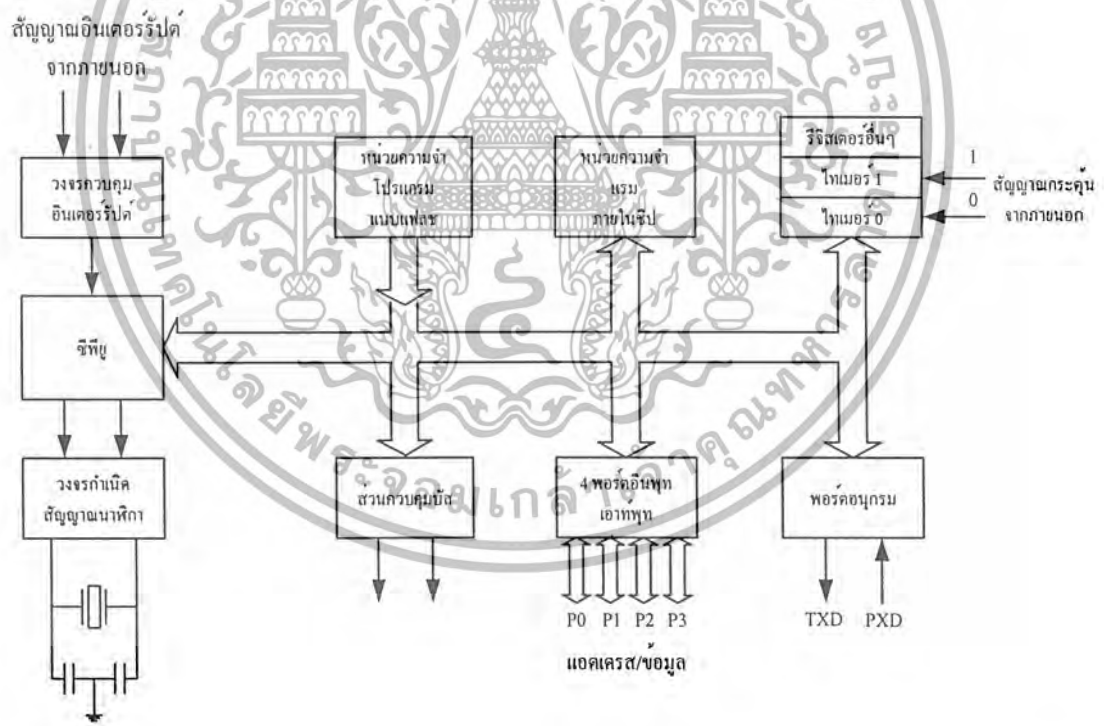


รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งขาของ RF MODULE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

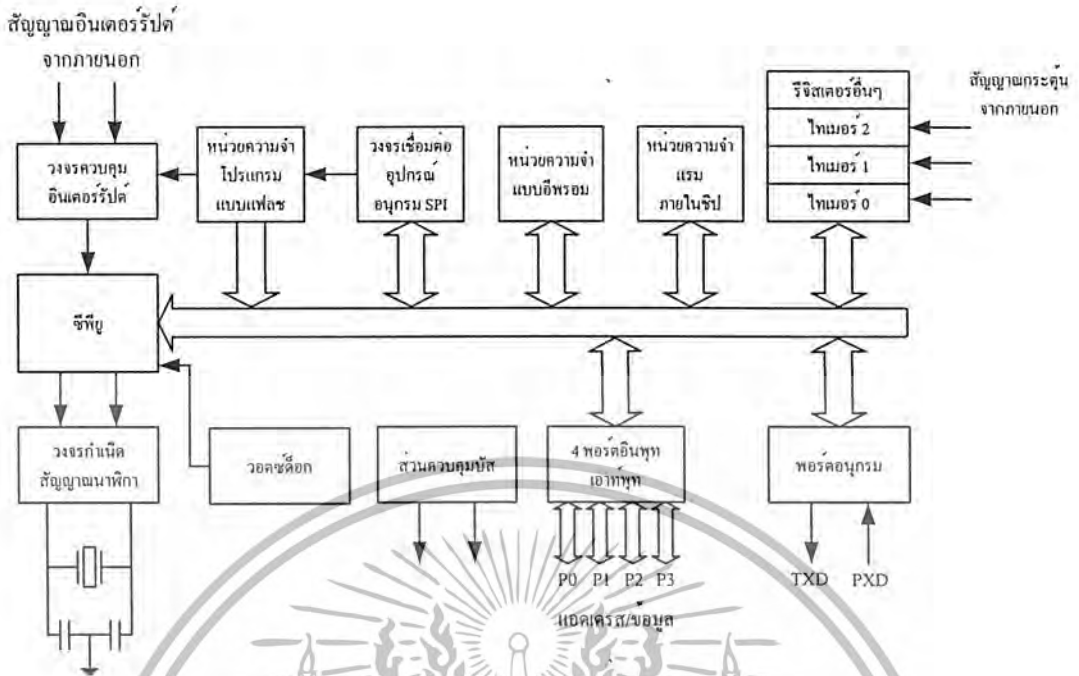
ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดหน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูลและจำนวนไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 อนุกรม AT89xx

เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	หน่วยความจำโปรแกรม	หน่วยความจำข้อมูล	จำนวนไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต
AT89C1051	แบบแฟลชขนาด 1 กิโลไบต์	แรม 64 ไบต์	1
AT89C2051	แบบแฟลชขนาด 2 กิโลไบต์	แรม 128 ไบต์	2
AT89C51	แบบแฟลชขนาด 4 กิโลไบต์	แรม 128 ไบต์	3
AT89C52	แบบแฟลชขนาด 8 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3
AT89C55	แบบแฟลชขนาด 20 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3
AT89S8252	แบบแฟลชขนาด 8 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์ อีอีพรอม 2 KB	3
AT89S53	แบบแฟลชขนาด 12 กิโลไบต์	แรม 64 ไบต์	3



รูปที่ 2.6 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Cxx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Sxx

2.2.2 การจัดการของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกันดังแสดงในรูปที่ 2.6 และ 2.7 โดยมีรายละเอียดขั้นต้นดังนี้

- ขา Vcc ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5V
- ขา GND เป็นขาราวด์สำหรับต่อกราวด์ของระบบ
- ขาพอร์ต (P0.0-P0.7) มี 8 ขาแต่สามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อกับขั้ว ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานให้เป็นที่ขาติดต่อกับแอดเดรสและขาข้อมูล

- ขาพอร์ต (P1.0-P1.7) มี 8 ขาแต่สามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 1 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อกับขั้ว นอกจากนี้ในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุต สำหรับนับค่าของไทมเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทมเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

- ขาพอร์ต (P2.0-P2.7) มี 8 ขาแต่สามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 2 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นใบโฆษณาระยะสั้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอยจึงมีอินพุตคิมพีแคนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15) ไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ที่ขา n1 ยังเป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูงสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม +12V

- ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตอลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.2.3 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีพอร์ตให้ใช้งานได้ทั้งสิ้น 4 พอร์ต คือ พอร์ต 0 ถึง พอร์ต 3 แต่ละพอร์ตมีขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบ 2 ทิศทาง กล่าวคือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตสำหรับรับสัญญาณข้อมูลเข้าและเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณข้อมูลออก ทุกพอร์ต ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีวงจรถัก (Latch) และวงจรถักลอจิกอินพุต ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงหน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ขา	เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	หน้าที่พิเศษ
PI.0	AT89C52/AT89Sxx	ขา T2 เป็นขาอินพุตนับค่าของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 และเป็นขาเอาต์พุตของการกำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยไทเมอร์ 2 (clock out)
PI.1	AT89C52/AT89Sxx	ขา T2EX เป็นขาอินพุตทริกเกอร์สำหรับการแคปเจอร์/รีโหลดและการควบคุมทิศทางของสัญญาณ
PI.4	AT89Sxx	ขา SS (Slave Select) เป็นขาเลือกการติดต่อในกรณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์สเลฟ ในระบบการติดต่อแบบ SPI
PI.5	AT89Sxx	ขา MOSI (Master data output, Slave data data input) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
PI.6	AT89Sxx	ขา MOIS (Master data input, Slave data data input) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
PI.7	AT89Sxx	ขา SCK (Master clock output) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการติดต่อกับพอร์ต SPI

ที่พอร์ต 0 และพอร์ต 2 จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตสำหรับงานทั่วไป และใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก สำหรับพอร์ต 3 ทั้งพอร์ตและพอร์ต 1 บางงานนอกจากจะใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตตามปกติแล้ว ยังสามารถใช้งานในหน้าที่พิเศษได้อีก ขึ้นอยู่กับว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอไรด์ ดังสรุปได้ในตารางที่ 2.2

วงจรรภายในของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเป็นวงจรรของพอร์ต 0 วงจรแลตช์ของแต่ละบิตในแต่ละพอร์ตก็คือ วงจรดีฟลิปฟล็อป นั่นเอง การอ่านค่าสถานะของพอร์ตและสถานะของวงจรรแลตช์สามารถกระทำได้อย่างอิสระต่อกันด้วยสัญญาณที่แยกจากกัน นั่นคือสัญญาณอ่านข้อมูลจากขาพอร์ตและสัญญาณอ่านข้อมูลจากวงจรรแลตช์ส่วนการเขียนข้อมูลมายังพอร์ตต้องส่งสัญญาณ มายัง ขา CLK ของดีฟลิปฟล็อปในขณะที่ข้อมูลจะส่งผ่านมาทางขาบัส ข้อมูลภายในเข้าสู่ขา D ของดีฟลิปฟล็อป

ที่พอร์ตนี้มีวงจรมัลติเพล็กซ์สำหรับกำหนดลักษณะการทำงานของพอร์ตว่าต้องการให้เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติหรือใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์

เนื่องจากที่ขาพอร์ต 0 ไม่มีวงจรรพูล์อ์ภายในหากมีการนำพอร์ต 0 ไปใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตจะต้องต่อตัวต้านทานพูล์อ์ภายนอกเข้าที่ขาพอร์ต 0 ทุกขาด้วย

#### 2.2.4 การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องทำความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุตต้องเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล “1” มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของเฟดที่ใช้ในการขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้นๆ ทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรรพูล์อ์ภายใน โดยตรง ส่งผลให้ขาของพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น “1” สามารถรับสัญญาณลอจิก “0” จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาเก็บไว้ในวงจรรบิเฟอ์ภายในพอร์ต แล้วรอให้ซีพียูมาอ่านค่าเข้าไป เมื่อเป็นเช่นนี้อุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชควรกำหนดให้ทำงานในสภาวะลอจิก “0” จะดีและสะดวกที่สุด (ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์อินพุตที่เชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เกือบทั้งหมดทำงานที่ลอจิก “0” แล้ว)

#### 2.2.5 การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

โดยปกติแล้ว ขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้ว ดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลออกไปได้อย่างง่ายดายและตรงไปตรงมา กล่าวคือเมื่อต้องการส่งข้อมูล “0” ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล “0” ไปยังวงจรรแลตช์ ซึ่งก็จะส่งต่อไปยังเฟดทำงาน ที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงาน ก็จะเกิดลอจิก “0” ขึ้น ในทางตรงกันข้าม หากต้องการส่งข้อมูล “1” ออกไป ก็ให้เขียนข้อมูล “1” ไปยังวงจรรแลตช์ วงจรรบิเฟอ์ก็จะหยุดทำงาน ทำให้ที่ขาพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรรพูล์อ์ ภายในเกิดเป็นลอจิก “1” ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งจะคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมากเพียงแต่แตกต่างกันที่กระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเคลื่อนย้ายของข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณมาอ่านข้อมูลที่บัพเฟอร์ เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาต์พุต

เมื่อใช้งานพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเป็นพอร์ตเอาต์พุตแต่ละขา (หรือแต่ละบิต) ของแต่ละพอร์ตมีความสามารถในการจ่ายกระแสหรือที่เรียกว่า กระแสซอร์ส ได้สูงสุด 10 mA และทุกขารวมกันในแต่ละพอร์ต (ทั้ง 8 บิต) สูงสุด 26 mA สำหรับพอร์ต 0 ได้สูงสุด 15 mA และสำหรับพอร์ต 1 ถึง 3 ในกรณีที่ใช้งานทุกพอร์ตเอาต์พุตจะสามารถจ่ายกระแสได้รวมกันสูงสุด 71 mA ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการจ่ายกระแสจึงควรต่อวงจรบัพเฟอร์ทางเอาต์พุต เพื่อช่วยในการขับกระแสอีกทางหนึ่ง

#### 2.2.6 การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ต

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช สามารถอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตได้ 2 ลักษณะ คือ อ่านจากขาพอร์ตโดยตรง และอ่านจากวงจรแลตช์ของแต่ละพอร์ต

ในกรณีที่พอร์ตต่อกับขาเบสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวนั้น ต่อลงกราวด์ หากมีการส่งข้อมูล “1” ไปยังทรานซิสเตอร์ทำงานในสถานะลอจิกที่ขาพอร์ตจะเป็น “0” เนื่องจากเมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน จะเสมือนขาพอร์ตนั้นถูกต่อลงกราวด์ ทำให้อ่านค่าลอจิกจะได้ผลตรงข้ามกับที่ส่งออกมา แต่ถ้าทำงานอ่านค่าลอจิกที่วงจรถ่ายแลตช์จะได้ค่าตรงกับที่ต้องการส่งจริง ดังนั้นในการอ่านค่าลอจิกพอร์ต จึงต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่นำมาต่อดัวย

#### 2.2.7 หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory)

การจัดหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในเบอร์ต่างๆ ที่นิยมใช้งาน อันประกอบด้วยเบอร์ AT89C51 และ AT89C52 จะเห็นได้ว่าทั้งสองเบอร์สามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยสามารถเลือกหน่วยความจำ โปรแกรมภายในอย่างเดียว หรือรวมกับภายนอกหรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกอย่างเดียวก็ได้ โดยภายใน AT89C51 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน 4 กิโลไบต์ ในขณะที่ AT89C52 จะมีขนาด 8 กิโลไบต์

ในกรณีที่ใช้หน่วยความจำภายในและภายนอกรวมกัน หากใช้ AT89C51 ก็สามารติดต่อหน่วยความจำภายนอกได้ 60 กิโลไบต์และถ้าใช้เบอร์ AT89C52 จะสามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 56 กิโลไบต์

หน่วยความจำโปรแกรมมีแอดเดรสเริ่มต้นที่ 0000H เมื่อซีพียูได้รับการรีเซ็ตให้เริ่มต้นการทำงานจะต้องเริ่มต้นการทำงานที่แอดเดรส 0000H นี้เสมอ อย่างไรก็ตามในพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมไม่ว่าจะใช้จากภายนอกหรือภายในก็ตาม ต้องมีการสงวนพื้นที่บางตำแหน่งไว้ สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ 6 ประเภท ประเภทละ 8 ไบต์ ประกอบด้วย

- พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 0 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0003H
- พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 0 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH
- พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 1 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 001BH
- พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ของการสื่อสารอนุกรม กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH

พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 2 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 002BH ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8 หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)

มีด้วยกัน 2 แบบ คือ หน่วยความจำข้อมูลภายนอกและภายใน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89xx สามารถติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยการใช้คำสั่ง MOVX ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก การติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช จะเห็นได้ว่า มีลักษณะคล้ายกับการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกแตกต่างกันที่มีสัญญาณที่ใช้สำหรับอ่านและเขียนหน่วยความจำข้อมูลภายนอก นั่นคือ ขา  $\overline{RD}$  และ  $\overline{WR}$

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89xx ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในเป็นแบบแรม โดยแต่ละเบอร์จะมีขนาดแตกต่างกันไป ในเบอร์ AT89C51 มีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์ ในขณะที่เบอร์ AT89C52 มีขนาด 256 ไบต์ สำหรับการจัดสรรความจำข้อมูลภายในแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง ส่วนบน และรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ แต่ละส่วนมีขนาด 128 ไบต์

2.2.9 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register : SFR)

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชทั้งหมดมี 22 ตัว สำหรับในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C51 และ 28 ตัวในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89Sxx ทั้งนี้เนื่องจากใน AT89C52 และ AT89Sxx มีจำนวนไทมเมอร์/เคาน์เตอร์มากกว่า AT89C51 รีจิสเตอร์ SFR มีแอดเดรสอยู่ระหว่าง 80H-FFH

2.2.10 รีจิสเตอร์สถานะของโปรแกรม

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต นั้นหมายถึงสามารถกระทำคำสั่งหรือกำหนดค่าในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ตัวนี้ได้โดยอิสระ มีแอดเดรสอยู่ที่ D0H เป็นรีจิสเตอร์ที่เก็บสถานะของการทำงานของโปรแกรมในขณะนั้น จะเรียกสถานะต่างๆของโปรแกรมว่า แฟล็ก (flag) เมื่อซีพียูกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์ และลอจิกแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะขึ้น ผลของการเปลี่ยนแปลงนั้นจะมาปรากฏที่บิตต่างๆ ของรีจิสเตอร์ PSW รายละเอียดของแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ PSW

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	-	P

- CY : แฟล็กทด เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแล้วค่าของแอดคิวมูลเตอร์เกิน 255 (ฐานสิบ) หรือ FFH

- AC : แฟล็กทดเสริมเป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์แล้วทำให้เกิดทดข้ามจากบิต 3 มายังบิต 4 มักใช้ในการแปลงค่าเป็นเลขฐานสิบ

- F0: แฟล็กใช้งานทั่วไป เมื่อผู้เขียนโปรแกรมกำหนดค่าที่บิตแล้ว ไม่ว่าจะกระทำคำสั่งใดๆ ที่บิตนี้ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

- RS1 : บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ ใช้งานร่วมกับบิต RS0 เพื่อเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ R0-R7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องสมุดเท่านั้น ไม่ควรนำออกนอกรั้วมหาวิทยาลัยไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- RS0 : บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ใช้งานร่วมกับบิต RS1 เพื่อเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ R0-R7
- OV: บิตกิน เป็น “1” เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์แล้วทำให้เกิดทศข้ามจากบิต 7 ของแอกคิวมูลเตอร์ หรือแอกคิวมูลเตอร์มีค่าเกิน 127 (ฐานสิบ) นอกจากนั้นยังใช้เป็นการแสดงค่าลบด้วย
- P: บิตพาริตี ใช้ในการตรวจสอบจำนวนค่า “1” ภายในแอกคิวมูลเตอร์ ถ้าหากในแอกคิวมูลเตอร์มีจำนวนบิตที่เป็น “1” รวมกันเป็นเลขคู่ บิตนี้จะเป็น “1”

จะเห็นได้ว่านอกจากรีจิสเตอร์ PSW ถูกใช้ในการเก็บสถานะของโปรแกรมแล้วที่บิต RS0 และ RS1 ยังใช้ในการเลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่างซึ่งเป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ R0-R7 ด้วย แสดงดังรายละเอียดในตารางที่ 2.3 โดยปกติแล้วในการใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 มักนิยมเลือกใช้แบงก์ 0 เป็นลำดับแรก หากไม่เพียงพอจึงเลือกแบงก์อื่นๆ มาใช้แต่ต้องระมัดระวังในการกำหนดค่าและลำดับการติดต่อให้ดี ดังนั้นสำหรับผู้เริ่มใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จึงควรเลือกใช้รีจิสเตอร์ R0-R7 ในแบงก์ 0 เพียงแบงก์เดียวให้ชำนาญก่อน

ตารางที่ 2.3 แสดงการเลือกแบงก์ ของหน่วยความจำส่วนล่าง เพื่อติดต่อกับรีจิสเตอร์แบงก์ R0-R7

RS1	RS0	แบงก์ของรีจิสเตอร์	ช่วงแอดเดรส
0	0	แบงก์ 0	00H-07H
0	1	แบงก์ 1	08H-0FH
1	0	แบงก์ 2	10H-17H
1	0	แบงก์ 3	18H-1FH

การกำหนดค่ารีจิสเตอร์ PWS เพื่อเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 ควรกำหนดไว้ที่ตอนต้นโปรแกรมเสมอ เพื่อจะได้เขียนโปรแกรมติดต่อรีจิสเตอร์ R0-R7 ได้อย่างสะดวกและไม่ผิดพลาด

### 2.3 ระบบสังเคราะห์ความถี่

เครื่องรับ/ส่งวิทยุในปัจจุบันส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีสังเคราะห์ความถี่แบบทั้งสิ้น วงจรที่ทำหน้าที่สังเคราะห์ความถี่จะเรียกว่า ซินธิไซเซอร์ ซึ่งแปลว่าสังเคราะห์ (ความถี่) วิธีสังเคราะห์ความถี่นี้ทำให้เครื่องรับ/ส่งวิทยุเปลี่ยนโฉมหน้าไปอย่างมาก โดยเฉพาะรูปร่างของตัวเครื่องจะมีปุ่มควบคุมต่างๆ มากขึ้น เนื่องจากมีขีดความสามารถเพิ่มขึ้น สามารถโปรแกรมเลือกความถี่ใช้งานได้มาก จึงทำให้เกิดความคล่องตัวในการวางขายการสื่อสาร

ความจริงแล้วหลักการสังเคราะห์ความถี่ได้คิดค้นกันมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2475 แล้วและได้พัฒนามาโดยลำดับ แต่เริ่มแพร่หลายกันจริงๆ ก็เมื่อประมาณปี พ.ศ.2513 เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตไอซีช่วยให้การออกแบบใช้งานมีความสะดวกสบายมากกว่าแต่ก่อน

วงการแรกที่นำระบบสังเคราะห์ความถี่มาใช้ก็คือ วงการทหาร (Military) และกิจการเดินอากาศ (Aviation) แล้วจึงค่อยๆ นำมาใช้ในวงการเครื่องรับ/ส่งวิทยุสื่อสารทั่วไปตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการสังเคราะห์ความถี่แต่ละแบบมีความซับซ้อนแตกต่างกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับช่วงความถี่ (Frequency range) ช่วงห่างระหว่างขั้น (Step size หรือ Resolution)

### 2.3.1 วิธีสังเคราะห์ความถี่

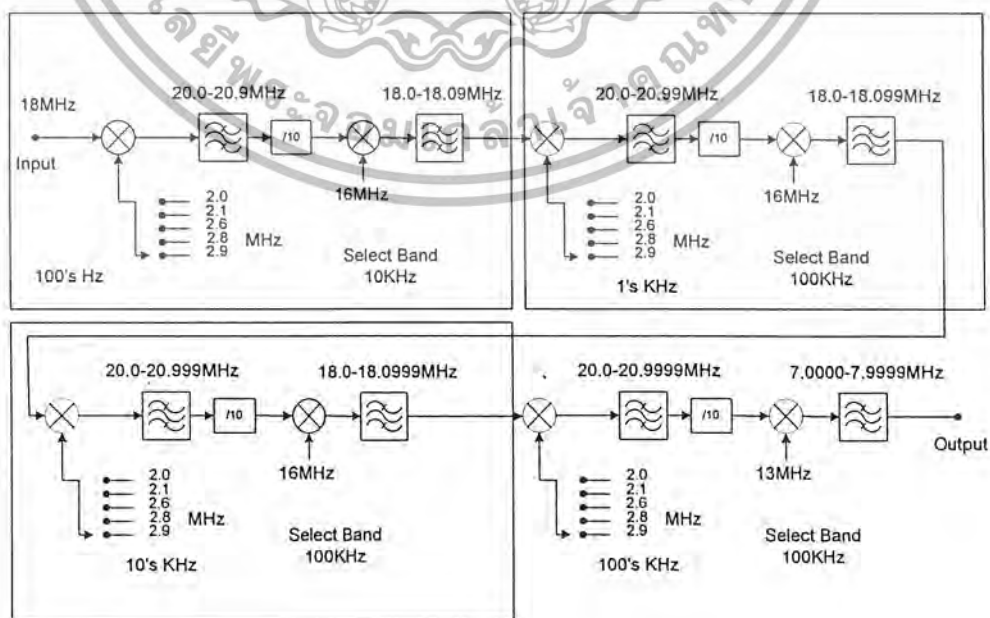
ความจริงวงจรสังเคราะห์ความถี่ก็คือ วงจรที่ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณความถี่ขนาดพอเหมาะ และให้มีความถี่ตามที่เรต้องการ (คือสั่งหรือโปรแกรมได้) การโปรแกรมสามารถทำได้โดยการตั้งสวิตช์ หรือกดปุ่ม แต่ในปัจจุบันนิยมสั่งงานด้วยคอมพิวเตอร์ ช่วงความถี่ที่ใช้งานของวงจร สังเคราะห์ความถี่จะจำกัดอยู่ในช่วงความถี่ที่แน่นอน แล้วแต่การใช้งานและความละเอียดของความถี่ที่เปลี่ยนได้ทีละขั้น เรียกว่า รีโซลูชัน (Resolution)

วิธีสังเคราะห์ความถี่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ

1. วิธีสังเคราะห์โดยตรง (Direct synthesis) ซึ่งต้องใช้ความถี่หลายค่ามาผสมกันเพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการโดยปกติจะใช้เร้าเรียงกับความถี่หลายชุด

2. วิธีสังเคราะห์โดยอ้อม (Indirect synthesis) วิธีนี้จะอาศัยเฟสล็อกคิปรู (Phase Locked Loop) เรียกว่า PLL

จากรูปที่ 2.8 แสดงวิธีการสังเคราะห์ความถี่โดยตรง ในที่นี้เราต้องการให้เอาต์พุตมีความถี่อยู่ระหว่าง 7 ถึง 8 MHz และมีค่าของรีโซลูชัน 100 Hz นั่นคือเราต้องสามารถตั้งความถี่ได้ดังนี้ คือ 7.000, 7.001, 7.002, 7.003,... ขึ้นไปจนถึง 7.999 MHz สังเกตว่าเราใช้ความถี่หลัก 10 ความถี่ คือ 2.0, 2.1, ... ถึง 2.9 MHz เป็นตัวกำหนดความถี่ ความถี่หลักดังกล่าวนี้สามารถผลิตมาจากการผสมสัญญาณ 100 Hz และ พาหะ 2 MHz จะเห็นว่าสวิตช์เลือกความถี่ทั้งสิบความถี่นี้ก็คือสวิตช์ตั้งโปรแกรมเลือกความถี่ที่ต้องการ จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่ามี 4 ตัว ตัวหนึ่งเลือกความถี่ขั้นละ 100 Hz ตัวถัดไปเลือกขั้นและ 1 KHz ต่อไป 10 KHz และ 100 KHz ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกา... รูปที่ 2.8 แสดงวิธีสังเคราะห์ความถี่โดยตรง... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากความถี่หลัก 10 ความถี่ดังกล่าวแล้วเราจะต้องอาศัยการผสมความถี่อื่นอีกด้วย จากรูปที่ 2.8 เราใช้ความถี่ 18 KHz ผสมกับความถี่ใดความถี่หนึ่งในความถี่หลักทั้งสิบความถี่ ผลรวมของการผสมจะผ่านฟิลเตอร์กรองเอาเฉพาะความถี่ย่าน 20 ถึง 20.9 MHz แล้วผ่านการหารด้วยสิบที่วงจรเคาน์เตอร์เพื่อผสมกับความถี่ 16 MHz แล้วกรองเอาเฉพาะที่เป็นความถี่ในย่าน 18 MHz ตามเดิม สังเกตว่าเอาต์พุตจากชุดนี้เราสามารถสังเคราะห์ความถี่ได้ระหว่าง 18.00, 18.01, ... ถึง 18.09 MHz

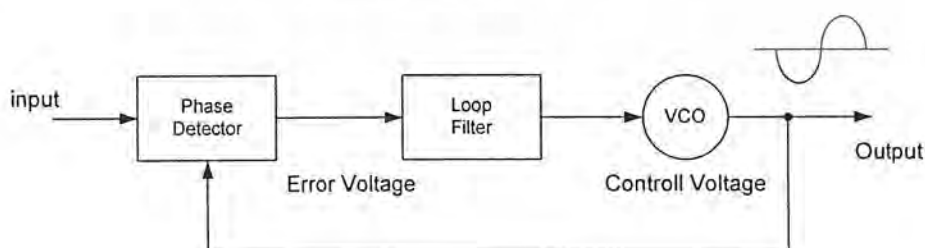
เอาต์พุตจากชุดแรกนี้เมื่อผ่านเข้าชุดต่อไป จะเอาสัญญาณความถี่ระหว่าง 18.00 ถึง 18.09 MHz ไปผสมกับความถี่หลัก 2.0 ถึง 2.9 MHz อีก ซึ่งเราทำการเลือกหรือโปรแกรมได้โดยการเปิดสวิตช์ จากนั้นก็ผ่านการกรองแล้วหารสิบและผสมกับสัญญาณ 16 MHz เอาต์พุตของชุดที่สอง (จุด A ก็จะได้ความถี่ได้ระหว่าง 18.000, 18.001, ..., 18.099 MHz) เมื่อเราทำการผสมคลื่นเช่นนี้อีกครั้ง เราก็จะสังเคราะห์ความถี่ได้ระหว่าง 18.000, 18.0001, ... ถึง 18.0999 MHz ในชุดสุดท้ายเราจะทำแตกต่างจากเดิมโดยเมื่อผสมกับสัญญาณ 2.0 ถึง 2.9 MHz แล้วเราก็ไปผ่านการกรองเอาเฉพาะสัญญาณ 20 ถึง 20.9999 MHz และผสมกับสัญญาณ 13 MHz ก็จะได้เอาต์พุตเป็น 7.000 ถึง 7.9999 MHz ตามที่ต้องการ

สังเกตชุดผสมและหารความถี่ส่วนใหญ่ (ที่เขียน DECADE) จะซ้ำๆ กันอย่างไรก็ดีวิธีสังเคราะห์ความถี่โดยตรงไม่ค่อยจะเป็นที่นิยมนัก เพราะความสิ้นเปลืองแร่ และยังคงต้องใช้ผสมคลื่นหลายๆ ครั้ง

วิธีสังเคราะห์ความถี่โดยอ้อมหรือวิธีเฟสล็อกคูลูปนั้น เราจะอาศัยการกำเนิดสัญญาณจากวงจรออสซิลเลเตอร์ ซึ่งควบคุมความถี่โดยการปรับแรงดันที่เรียกว่า VCO สัญญาณจาก VCO จะถูกป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับ ความถี่อ้างอิงแล้วนำผลลัพธ์ความถี่คลาดเคลื่อนมาแปลงเป็นแรงดันไปควบคุมการออสซิลเลทของ VCO อีกครั้งหนึ่ง

### 2.3.2 เฟสล็อกคูลูป

เฟสล็อกคูลูป (Phase Locked Loop) เป็นระบบป้อนกลับที่บังคับให้วงจรออสซิลเลเตอร์มีความถี่หรือเฟสเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่หรือเฟสของสัญญาณอ้างอิงภายนอก เฟสล็อกคูลูปประกอบด้วยภาคสำคัญ 3 ภาค คือ ภาคเทียบเฟสหรือเฟสดีเทคเตอร์ (Phase Detector) ภาคฟิลเตอร์ (Loop filter) และภาค VCO ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ในที่นี้สมมติว่าเราต่อเอาต์พุตจากวงจร VCO



รูปที่ 2.9 แสดงแผนผังของเฟสล็อกคูลูป

สมมติว่ามีสัญญาณความถี่อ้างอิงภายนอกเป็นสัญญาณมีคาบ (Periodic) เข้ามาที่อินพุตภาค เทียบเฟสทำหน้าที่เปรียบเทียบเฟสระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณจาก VCO เอาต์พุตที่ได้จากภาค เฟสดีเทคเตอร์จะเป็นแรงดันที่มีแอมพลิจูดเป็นสัดส่วนกับผลต่างในเฟสของสัญญาณทั้งสองที่ทำการ เปรียบเทียบ แรงดันผลต่างนี้จะป้อนไปยังวงจรรูปฟิลเตอร์ซึ่งเป็นฟิลเตอร์ชนิด โลว์พาสกรองเอาแต่เฉพาะ ความถี่ต่ำ ตามที่ต้องการ เพื่อส่งไปควบคุมการออสซิลเลทของ VCO ต่อไป

เมื่อลูปอยู่ในสภาวะล็อก (Lock) ความถี่ของ VCO จะเท่ากับความถี่ของสัญญาณที่อินพุตพอดี อาจจะมีเฟสที่แตกต่างกันออกไป แต่เฟสที่แตกต่างกันออกไปนั้นจะมีค่าคงที่ (Constant phase difference) ในกรณีที่มีเฟสไม่ตรงกับภาคเฟสดีเทคเตอร์จะจ่ายแรงดันคลาดเคลื่อน (Error voltage) ไปควบคุมการ ทำงานของ VCO เพื่อมิให้เฟสคลาดเคลื่อนจนกว่าจะเข้าสู่สภาวะล็อกเอาต์พุตของ VCO จะมีแอมพลิจูด คงที่เสมอ แต่ความถี่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณที่อินพุต

เราสามารถนำเฟสล็อกกลับไปสังเคราะห์ (หรือผลิต) ความถี่ที่มีความเที่ยงตรงและเสถียรภาพ เทียบเท่าสัญญาณอ้างอิงได้ วงจรนี้จะเรียกว่า วงจรสังเคราะห์ความถี่ ระบบสังเคราะห์ความถี่จะช่วยให้เรา สามารถสังเคราะห์สัญญาณเอาต์พุต (จาก VCO) ให้มีความถี่ตามที่ต้องการ ได้หลายความถี่ โดยจะมี ความเที่ยงตรงและเสถียรภาพสูงเทียบเท่าคริสตอลออสซิลเลเตอร์

ความจริงเฟสล็อกลูปยังมีประโยชน์อื่นอีก (เช่น ในการติมอดสัญญาณ FM (หรือ PM) เนื่องจาก เอาต์พุตของเฟสดีเทคเตอร์มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนเฟสของคลื่นพาหะ

### 2.3.3 การใช้เฟสล็อกลูปในการสังเคราะห์ความถี่

ไม่ว่าระบบสังเคราะห์ความถี่จะมีความซับซ้อนเพียงใดเมื่อทำการพิจารณาลึกลงไปแล้วเราจะ พบว่ามีเฟสล็อกลูปเป็นหัวใจในการสังเคราะห์อยู่เสมอ จากรูปที่ 2.10 เป็นตัวอย่างของระบบสังเคราะห์ ความถี่อย่างง่ายประกอบด้วย 5 ภาค คือภาค VCO เป็นออสซิลเลเตอร์กำเนิดสัญญาณที่เอาต์พุตของ ระบบสังเคราะห์ความถี่ภาคหาร N ทำหน้าที่หารความถี่แบบตั้งโปรแกรมให้หารด้วยค่าตัวเลขตามที่ ต้องการได้ (Programmable divider) ภาคกำเนิดความถี่อ้างอิง คริสตอลออสซิลเลเตอร์หรือสัญญาณอื่นๆ (Reference generator) ภาคเทียบเฟสและภาคลูปฟิลเตอร์ซึ่งทำหน้าที่กรองเอาเฉพาะความถี่ต่ำไปใช้

จากแผนผังในรูปที่ 2.10 จะเห็นว่า สัญญาณอินพุตของภาคเทียบเฟสมาจาก 2 แหล่งคือ จาก VCO มีความถี่เท่ากับ  $F_0/N$  และจากสัญญาณอ้างอิงมีความถี่เท่ากับ  $F_R$  เอาต์พุตจากการเปรียบเทียบก็คือ ผลต่างระหว่างสัญญาณ  $F_0/N$  กับ  $F_R$  ซึ่งจะกรองเอาเฉพาะความถี่ต่ำเท่านั้น เพื่อบังคับการออสซิลเลท ของวงจรร VCO ให้ทำการปรับแก้ความถี่ (หรือเฟส) ให้ตรงจนกว่าความถี่ของสัญญาณทั้งสองจะเท่ากัน ในสภาวะล็อก ความถี่ของ VCO เมื่อผ่านวงจรรหาร N จะเท่ากับความถี่อ้างอิงนั่นคือ

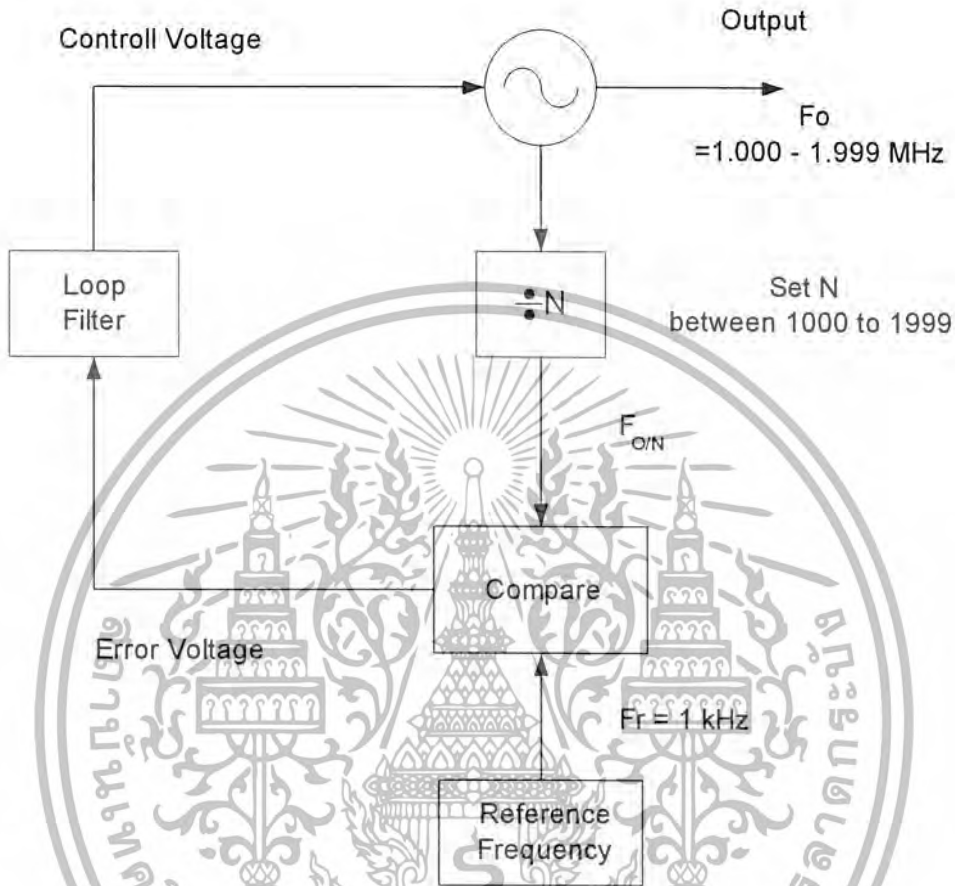
$$F_0 = NF_R$$

(คำนวณจาก  $F_0/N = F_R$  ที่วงจรเทียบเท่า)

หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ เอาต์พุตจะมีความถี่เป็น N เท่าของความถี่อ้างอิง สมมติว่าค่าของ ความถี่  $F_R$  และค่าของ N เป็นดังนี้  $F_R = 1 \text{ KHz}$ ,  $N = 1000$  จะได้  $F_0 = 1 \text{ MHz}$  ถ้าเพิ่ม N ขึ้นทีละ 1 เป็น 1001, 1002, 1003, ... ค่า  $F_0$  จะเพิ่มขึ้นทีละ 1 KHz ไปเรื่อยๆ เป็น 1.001, 1.002, 1.003, ... MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารลับ  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอให้สังเกตว่าเฟสล็อคลูปดังกล่าว สามารถผลิตความถี่ได้เฉพาะในช่วงความถี่ที่วงจร VCO และ วงจรหาร N สามารถทำงานได้เท่านั้น และค่าตัวเลขในการหาร (คือ N) ย่อมเป็นตัวเลขจำนวนเต็มเสมอ



รูปที่ 2.10 แสดงแผนผังของหน่วยสังเคราะห์ความถี่

2.3.3.1 พื้นฐานของเฟสล็อคลูป

เฟสล็อคลูป ได้ถูกคิดค้นขึ้นมาครั้งแรกตั้งแต่ก่อนปี ค.ศ. 1932 โดยวิศวกรชาวฝรั่งเศส De Bellescize ซึ่งเขาได้รับการยกย่องว่าเป็นผู้คิดค้น “Coherent Communication” เฟสล็อคลูปถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรมเมื่อมันถูกผลิตมาในรูปแบบของวงจรรวมแล้ว ไอซีเฟสล็อคลูปตัวแรกเกิดขึ้นราวๆ ปี ค.ศ. 1965 เป็นอุปกรณ์อนาลอกล้วนๆ โดยใช้ Analog multiplier (Four-quadrant multiplier) เป็นเฟสดีเทคเตอร์ และรูปฟิลเตอร์ใช้วงจรกรองความถี่ RC แบบพาสซีฟ หรือแอคทีฟ และใช้ออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมด้วยแรงดัน (VCO) ในการผลิตความถี่เอาต์พุตของเฟสล็อคลูป ทุกวันนี้เฟสล็อคลูปชนิดนี้เรียกว่า ลิเนียร์เฟสล็อคลูป (LPLL) หลายปีผ่านไปเฟสล็อคลูปไม่มีการเปลี่ยนแปลงอะไรมากนัก แต่ก็เริ่มเข้าสู่ส่วนที่เป็นดิจิทัล ดิจิตอลเฟสล็อคลูปตัวแรกเกิดขึ้นราวปี ค.ศ. 1970 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ผสม (hybrid device) นั่นคือ เฉพาะส่วนที่เป็นเฟสดีเทคเตอร์เท่านั้นที่สร้างจากวงจรรีจิสตรอลซึ่งสร้างมาจากเอ็กซ์คลูซีฟออร์เกทหรือ เจเคฟลิปฟลอป

ส่วนที่เหลือยังคงเป็นวงจรถอดเฟสล็อกชนิดนี้เรียกว่า กลาสติคคอสติจิตอลเฟสล็อก (DPLL) ไม่กี่ปีต่อมาเฟสล็อก ที่เป็นดิจิทัลทั้งหมดได้ถูกสร้างขึ้น (ADPLL) จะไม่มีตัวต้านทานหรือตัวเก็บประจุอยู่ภายในเลย เฟสล็อกจะไม่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์ แต่จะเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เฟสล็อกชนิดนี้เรียกว่า ซอฟต์แวร์เฟสล็อก (SPLL) ในปัจจุบัน DPLL นิยมใช้กันมากเนื่องจากนำมาประยุกต์ใช้งานได้โดยทั่วไปจึงมีราคาถูก

เฟสล็อก คือวงจรที่จะทำการซิงโครไนซ์ (Synchronize) ความถี่หรือเฟสของสัญญาณเอาต์พุต (ที่ผลิตโดยออสซิลเลเตอร์) กับสัญญาณอ้างอิงหรือสัญญาณอินพุต เมื่อซิงโครไนซ์กันแล้วซึ่งมักจะเรียกกันว่าอยู่ในสภาวะล็อก (Lock State) ความแตกต่างระหว่างเฟสของสัญญาณเอาต์พุตของออสซิลเลเตอร์ กับสัญญาณอ้างอิงจะมีค่าเท่ากับศูนย์หรือน้อยมาก

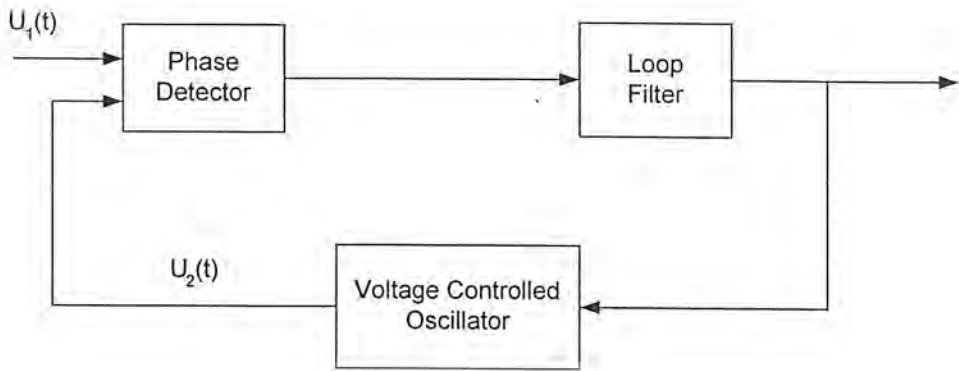
บล็อกไดอะแกรมของเฟสล็อก แสดงได้ดังรูปที่ 2.11 (a) ซึ่งประกอบด้วยบล็อกการทำงานพื้นฐานดังนี้

1. ออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator :VCO)
2. เฟสดีเทคเตอร์ (Phase Detector :PD)
3. ลูปฟิลเตอร์ (Loop Filter :LP)

วงจรถอดเฟสล็อกบางวงจรจะใช้ ออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมด้วยกระแสแทนที่ VCO ในกรณีนี้ เฟสดีเทคเตอร์จะประพฤติตัวเป็นแหล่งจ่ายกระแสแทนที่จะเป็นแหล่งจ่ายแรงดันแต่อย่างไรก็ตาม หลักการทำงานก็ยังคงเหมือนกัน

ก่อนที่จะกล่าวถึงหลักการทำงานของ PLL จะขอกำหนดสัญญาณต่าง ๆ ในเฟสล็อก ดังต่อไปนี้

- $U_1(t)$  คือสัญญาณอ้างอิง (หรือสัญญาณอินพุต)
- $\omega_1$  คือความถี่เชิงมุมของสัญญาณอ้างอิง
- $U_2(t)$  คือสัญญาณเอาต์พุตของ VCO
- $\omega_2$  คือความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต
- $U_d(t)$  คือสัญญาณเอาต์พุตของเฟสดีเทคเตอร์
- $U_f(t)$  คือสัญญาณเอาต์พุตของลูปฟิลเตอร์
- $\theta_e$  คือความต่างเฟส (phase error) ระหว่างสัญญาณ  $U_1(t)$  กับสัญญาณ  $U_2(t)$



(a)



รูปที่ 2.11 แสดงบล็อกไดอะแกรมและทรานเฟอร์ฟังก์ชันของเฟสล็อกคูล

- (a) บล็อกไดอะแกรมของเฟสล็อกคูล
- (b) ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของ VCO
- (c) ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของเฟสดีเทคเตอร์

จากบล็อกไดอะแกรมของเฟสล็อกคูล VCO จะผลิตความถี่เชิงมุม  $\omega_2$  ซึ่งกำหนดโดยสัญญาณเอาต์พุตของลูปฟิลเตอร์ หรือเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$\omega_2(t) = \omega_0 + K_0 U_f(t)$$

เมื่อ  $\omega_2$  คือความถี่เชิงมุมกลางของ VCO (VCO Gain) มีหน่วยเป็น  $s^{-1} V^{-1}$  สมการข้างต้นสามารถพล็อตเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 2.11 (b)

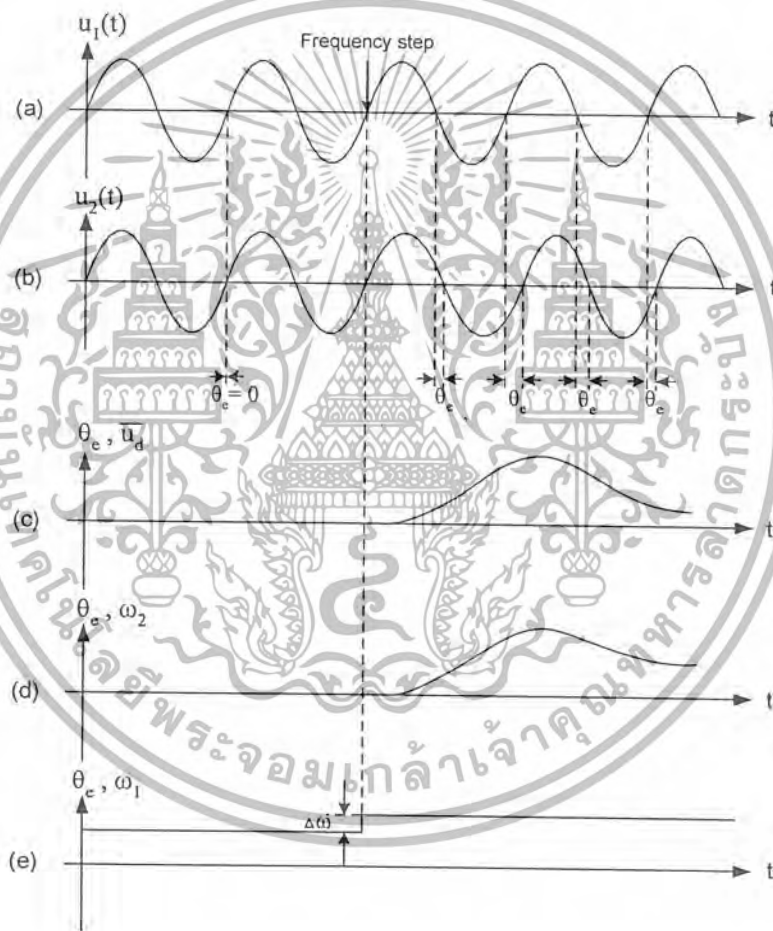
เฟสดีเทคเตอร์ (หรืออาจเรียกว่าเฟสคอมพาราเตอร์) จะทำหน้าที่เปรียบเทียบเฟสของสัญญาณเอาต์พุตกับเฟสของสัญญาณอินพุตและทำให้เกิดสัญญาณเอาต์พุต  $U_d(t)$  ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยประมาณกับความต่างเฟส  $\theta_e$  เขียนสมการได้เป็น

$$U_d(t) = K_d \theta_e$$

เมื่อ  $K_d$  คือเกนของเฟสดีเทคเตอร์ มีหน่วยเป็น  $V \cdot rad^{-1}$   
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเอาต์พุตของเฟสล็อกเตอร์จะเป็นสัญญาณ AC ที่จี (Superimposed) อยู่บนส่วนประกอบทาง DC แต่สัญญาณ AC เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ ดังนั้นฟิลเตอร์จะทำหน้าที่กำจัดสัญญาณ AC ออกไปเพื่อเหลือแต่แรงดัน DC ไปควบคุมความถี่ของ VCO

พิจารณาการทำงานโดยรวมของเฟสล็อกอินทรีย์ อันดับแรกสมมติให้ความถี่เชิงมุม  $\omega_1$  ของสัญญาณอินพุต  $U_1(t)$  เท่ากับความถี่กลาง  $\omega_0$  ในสภาวะนี้ VCO จะทำงานโดยผลิตความถี่ที่ความถี่กลางของมัน และจะเห็นว่าความต่างเฟส  $\theta_e$  เท่ากับศูนย์ สัญญาณเอาต์พุต  $U_2(t)$  ของเฟสล็อกเตอร์จะเป็นศูนย์ด้วย ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตของฟิลเตอร์  $U_f$  จะเท่ากับศูนย์ ซึ่งสภาวะที่ความถี่อินพุต  $\omega_1$  เท่ากับความถี่กลางของมัน VCO นี้จะเป็นเงื่อนไขที่ทำให้ VCO ผลิตความถี่ที่ความถี่กลางของ VCO



รูปที่ 2.12 ทราจเขียนของเฟสล็อกอินทรีย์เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณอ้างอิง

- (a) สัญญาณอ้างอิง
- (b) สัญญาณเอาต์พุต  $U_1(t)$  ของ VCO
- (c) สัญญาณ  $U_d(t)$  ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา
- (d) ความถี่เชิงมุม  $\omega_2$  ของ VCO ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา
- (e) ความถี่เชิงมุม  $\omega_1$  ของสัญญาณอ้างอิง  $U_1(t)$

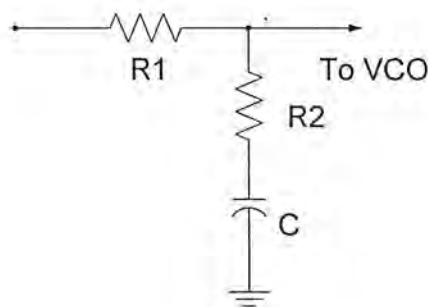
สมมติให้ในสถานะเริ่มต้นความต่างเฟส  $\theta_c$  ไม่เท่ากับศูนย์ สัญญาณเอาต์พุตของเฟสดีเทคเตอร์  $U_o(t)$  ก็จะไม่เท่ากับศูนย์ หลังจากช่วงเวลาหนึ่ง สัญญาณเอาต์พุตของลูปีลเตอร์ก็จะมีค่าหนึ่ง ๆ (ที่ไม่เท่ากับศูนย์) ทำให้ VCO ผลิตความถี่ขึ้นมาค่าหนึ่ง ซึ่งในที่สุดจะทำให้ความต่างเฟส  $\theta_c$  เท่ากับศูนย์

ต่อไปสมมติให้ความถี่ของสัญญาณอินพุตเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดที่เวลา  $t_0$  เป็นจำนวน  $\Delta\omega$  ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งจะทำให้เฟสของสัญญาณอินพุตเริ่มจะนำ (leading) เฟสของสัญญาณเอาต์พุต และทำให้เกิดความต่างเฟสขึ้นตามเวลาทำให้สัญญาณเอาต์พุต  $U_o(t)$  ของเฟสดีเทคเตอร์เพิ่มขึ้นตามเวลาด้วย หลังจากช่วงเวลาหนึ่งที่กำหนดโดยลูปีลเตอร์สัญญาณเอาต์พุต  $U_o(t)$  ของลูปีลเตอร์ก็จะเพิ่มขึ้นและมีผลทำให้ VCO ก็จะมีผลผลิตความถี่ที่สูงขึ้นซึ่งจะทำให้ความต่างเฟสมีค่าน้อยลง หลังจากช่วงเวลาหนึ่ง VCO ก็จะผลิตความถี่ที่เท่ากับความถี่ของสัญญาณอินพุตค่าความต่างเฟสในสถานะนี้จะมีค่าเท่ากับศูนย์หรือค่าใดค่าหนึ่ง ขึ้นอยู่กับชนิดของลูปีลเตอร์ที่ใช้

จะเห็นว่าในขณะนี้ VCO จะผลิตความถี่มากกว่าความถี่กลาง  $\omega_0$  ของ VCO เป็นจำนวน  $\Delta\omega$  ซึ่งจะทำให้สุดท้ายสัญญาณ  $U_o(t)$  มีค่า  $U_o = \Delta\omega/K_0$  ถ้าความถี่กลางของสัญญาณอินพุตถูกมอดูเลตทางความถี่ (FM) โดยสัญญาณความถี่ต่ำใดๆแล้ว สัญญาณเอาต์พุตของลูปีลเตอร์จะเป็นสัญญาณที่ถูกดีมอดูเลตแล้ว (demodulated signal) ดังนั้นเราอาจใช้เฟสล็อกคูปเป็น FM ดีเทคเตอร์ได้ การพิจารณาอย่างง่าย ๆ ที่ผ่านมานี้แสดงให้เห็นว่าเฟสล็อกคูปไม่มีอะไรซับซ้อนเป็นเพียงแต่ระบบเซอร์โว (servo system) ซึ่งควบคุมเฟสของสัญญาณเอาต์พุต  $U_o(t)$

ดังได้แสดงมาแล้วในรูปที่ 2.12 เฟสล็อกคูปของสัญญาณเอาต์พุตเท่ากับเฟสของสัญญาณอินพุตเสมอ ระบบนี้จะล๊อคอยู่ตลอดเวลา อย่างไรก็ตามในบางกรณีที่ความถี่ของสัญญาณอินพุตเปลี่ยนแปลงไปมากอย่างทันทีทันใด อาจจะทำให้ระบบไม่ล๊อคก็ได้ ซึ่งกลไกภายในของเฟสล็อกคูปจะพยายามกลับมาอยู่ที่สถานะล๊อคอีกครั้ง แต่จะล๊อคได้หรือไม่ขึ้นกับองค์ประกอบอย่างอื่นอีกด้วย

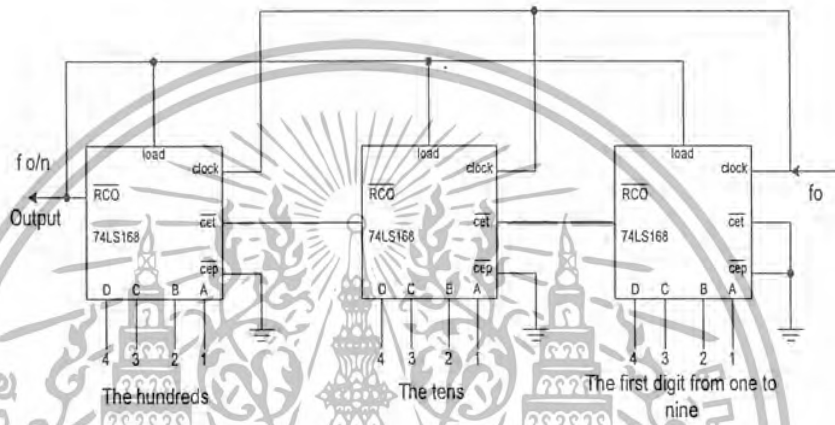
ลูปีลเตอร์ เป็นวงจรชนิดโลว์พาสธรรมดา ซึ่งทำหน้าที่กรองเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ต่ำมาควบคุมความถี่ของ VCO โดยทั่วไปมักใช้ลูปีลเตอร์ชนิดพาสซีฟ (มีแค่ R กับ C หรืออาจใช้ฟิลเตอร์ชนิดแอคทีฟก็ได้) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ลูปีลเตอร์นี้เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความถี่ก่อนเข้าสู่สถานะล๊อคที่เรียกว่าคุณสมบัติชั่วคราว (Transient) ถ้าเลือกอัตราขยายลูปี (Loop gain) และค่าคงตัวเวลาของลูปี (Loop time constant) ไม่เหมาะสมความถี่ของเฟสล็อกคูปจะไม่ล๊อคและจะเปลี่ยนแปลงขึ้นมา



รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างวงจรลูปีลเตอร์

ยังมีอีกภาคหนึ่งที่มีผลต่อช่วงเวลาที่ใช้ในการถือความถี่นั้นก็คือ ภาคหาร N (Programmable divider) เวลาที่ใช้ในการถือความถี่เมื่อ N มีค่าน้อยสุดจะไม่เท่ากับเมื่อ N มีค่ามากที่สุด วงจรหาร N เกิดจากวงจรนับฐานสิบ (Decade counter) หลาย ๆ ชุดมาต่อร่วมกับเกทต่างๆเพื่อให้สามารถเลือกสั่งให้วงจรนับทำหน้าที่หารความถี่ได้ตามตัวเลขที่ตั้งไว้

วงจรหาร N นี้เป็นตัวที่รับคำสั่งเกี่ยวกับความถี่ไปควบคุม VCO เพื่อให้กำเนิดสัญญาณตามที่ต้องการ ตัว N จะเป็นตัวที่กำหนดย่านความถี่และจำนวนช่วงของความถี่ในวงจรรูปที่ 2.14 แสดงวงจรหารชนิดที่ใช้ไอซีตระกูล TTL



รูปที่ 2.14 แสดงแผนผัง Programmable divider โดยใช้ IC ตระกูล TTL

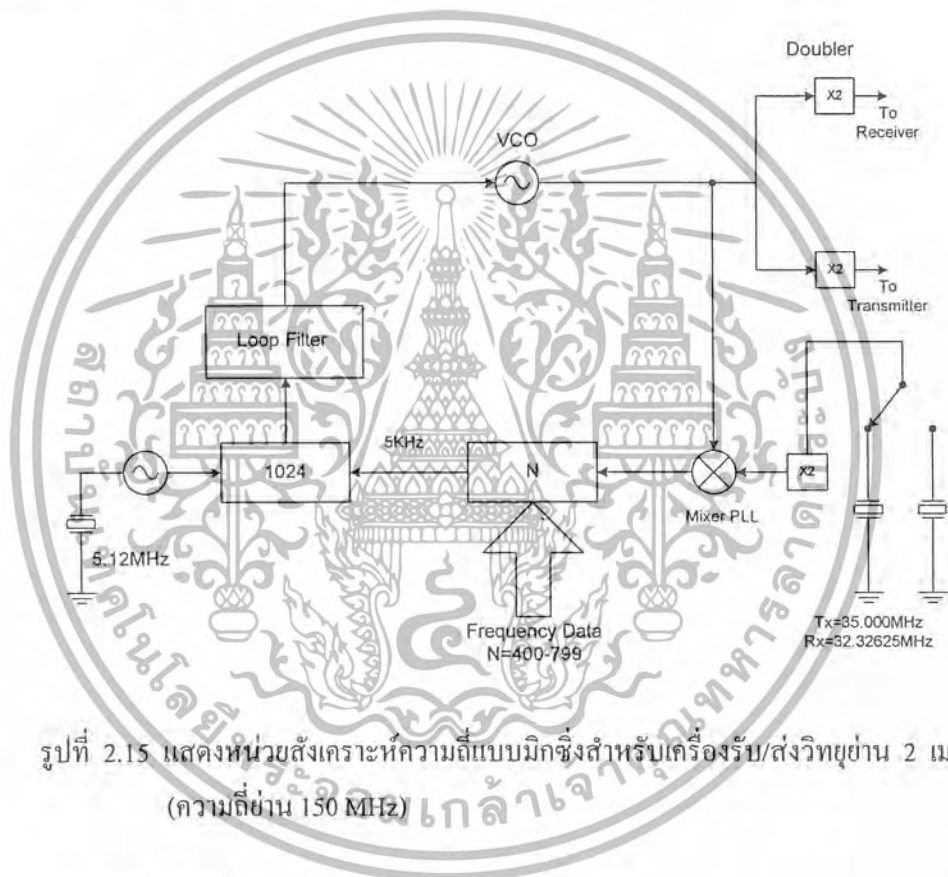
วงจรหาร N บางชนิดใช้วิธีป้อนข้อมูล N เป็นแบบอนุกรม (Serial) วงจรหารประเภทนี้จะมี ความซับซ้อน เพราะต้องมีสัญญาณนาฬิกา (Clock) มีวงจรแลตซ์ในการป้อนข้อมูล วงจรหาร N ประเภทนี้จะถูกควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

ปัญหาสำคัญของวงจรสังเคราะห์ความถี่อีกอย่างหนึ่งก็คือ วงจรหาร N (หรือวงจรที่ตั้ง โปรแกรมาได้) ไม่สามารถทำงานที่ความถี่สูงกว่า 25 MHz ได้ ฉะนั้นเราจึงต้องหาทางลดทอนความถี่ที่ ป้อนแก่วงจรหาร N ลง เพื่อให้วงจรโลจิกของวงจรหาร N ทำงานได้วิธีต่าง ๆ ที่นิยมได้แก่ ใช้ความถี่ จากออสซิลเลเตอร์พิเศษ มามิกซ์กับ VCO ให้ความถี่ลดลงก่อนที่จะป้อนให้แก่วงจรหาร อีกวิธีหนึ่งก็คือ ใช้วิธีปริสเทิลแบบสองโมดูลัสหารล่วงหน้าโดยใช้ตัวหาร 2 ค่า

### 2.3.4 วิธีสังเคราะห์ความถี่แบบมิกซิ่ง

วิธีสังเคราะห์ความถี่แบบมิกซิ่งนี้จะแตกต่างจากเฟสล็อกคัลเลอร์ N แบบที่กล่าวมาแล้วตรงที่ เอาต์พุตของ VCO ผ่านการผสมหรือมิกซ์กับสัญญาณจากออสซิลเลเตอร์ ก่อนที่จะป้อนให้วงจรหาร N รูปที่ 2.15 แสดงแผนผังของระบบสังเคราะห์ความถี่ของเครื่องรับ/ส่งวิทยุระยะย่าน 2 เมตร ความถี่ของ VCO ในสภาวะรับกับสภาวะส่งจะไม่เท่ากัน (เพราะเลื่อนความถี่ให้ห่างกันเท่ากับ IF) VCO จะทำงานใน ย่านความถี่ 72 MHz แล้วทวีคูณ 2 เท่าทั้งสภาวะรับและสภาวะส่งเป็นความถี่ระหว่าง 144 ถึง 148 MHz ซึ่งจะตรงกับความถี่ของ VCO สภาวะส่งคือ 72 ถึง 74 MHz และ VCO ในสภาวะรับ 66.6525 ถึง

68.6525 MHz (ใช้ป้อนด้านต่ำโดยมี IF เท่ากับ 10.695 MHz) จะสังเกตว่า VCO จะมิกซ์กับ PLL ออสซิลเลเตอร์ซึ่งทวีคูณความถี่ด้วยวงจรทวีคูณความถี่ 2 เท่าทำให้ความถี่ถูกลดทอนลงเป็น 2 และ 4 MHz ย่านความถี่นี้บางทีเรียกว่าเป็นความถี่ IF ของ PLL (นิยมเรียก PLL-IF) จากนั้นจะป้อนเข้าสู่วงจรหาร N โดย N มีค่าระหว่าง 400 ถึง 799 MHz เหตุผลสำคัญที่ต้องลดทอนความถี่ VCO ลงมาเป็นความถี่ PLL-IF ก็เพื่อทำให้วงจรหาร N ทำงานในย่านความถี่ต่ำลงมาได้ ความถี่อ้างอิงเกิดจากรับกับความถี่ 5.12 MHz แล้วหารด้วย 1,024 เป็น 5 KHz ซึ่งเมื่อ VCO ถูกทวีคูณ 2 เท่ารีโซลูชันจะกลายเป็นขั้นละ 10 KHz ความถี่อ้างอิงกับความถี่เอาต์พุตของวงจรหาร N จะเทียบเฟสกันแล้วป้อนไปยังลูปฟิลเตอร์และ VCO ตามลำดับ



รูปที่ 2.15 แสดงหน่วยสังเคราะห์ความถี่แบบมิกซ์ซึ่งสำหรับเครื่องรับ/ส่งวิทยุย่าน 2 เมตร (ความถี่ย่าน 150 MHz)

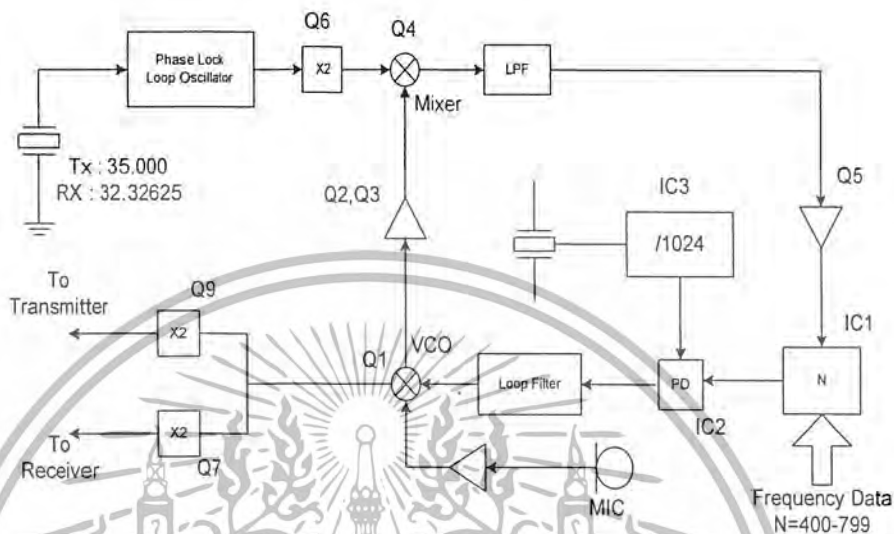
จากแผนผังในรูปที่ 2.15 จะเห็นว่าค่าของ N ที่ป้อนให้แก่วงจรหาร N ในสภาวะรับและสภาวะส่งมีค่าเท่าเดิม แต่ความถี่ของ VCO เปลี่ยนไปได้เพราะความถี่ของ PLL ออสซิลเลเตอร์เปลี่ยน (ด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์สวิทช์) โดยทำให้ VCO เลื่อนความถี่ไป 5.3475 MHz (คือ IF 10.695 MHz หารด้วย 2) การที่ VCO ต้องเปลี่ยนความถี่จากสภาวะรับเป็นสภาวะส่ง (หรือกลับกัน) นั้นเฟสล็อกคูลูปจะต้องล็อกความถี่ใหม่ ฉะนั้นการออกแบบวงจรจะต้องคำนึงถึงคุณลักษณะการล็อกความถี่ด้วย

สำหรับวงจรในรูปที่ 2.16 เป็นวงจรในทางปฏิบัติ ซึ่งใกล้เคียงกับหน่วยสังเคราะห์ความถี่ในรูปที่ 2.17 เพื่อทำการเปรียบเทียบและทำความเข้าใจหลักการสำคัญต่างๆ ในกรณีสังเคราะห์ความถี่แบบมิกซ์ซึ่งนั้นความถี่เอาต์พุตจะเลื่อนไปเท่ากับความถี่ที่ผสม (ในที่นี้คือ  $35 \times 2 = 70$  MHz และ  $32.32625 \times 2 = 64.6525$  MHz เรนเรียกความถี่ที่เลื่อนไปนี้ว่า ความถี่ออฟเซต) เราจะให้ความสำคัญดังนี้

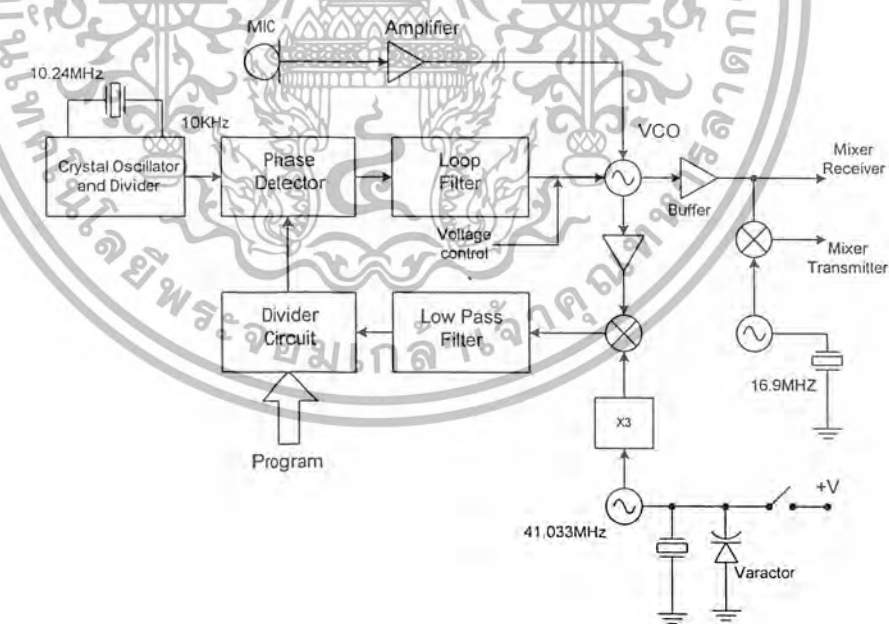
$$F_0 = F_{\text{offset}} + NF_{\text{ref}}$$

คำนวณจาก

$$(F_0 = F_{\text{offset}}) / N = F_{\text{ref}} \text{ ที่วงจรเทียบเฟส}$$



รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างแผนผังของหน่วยสังเคราะห์ความถี่ในทางปฏิบัติ



รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างแผนผังของหน่วยสังเคราะห์ความถี่แบบมิกซิ่ง ที่ใช้แร่เพียงตัวเดียวเพื่อเลื่อนความถี่ระหว่างสภาวะรับกับสภาวะส่ง

กรรมมอดูเลตนิยามทำที่เฟสล็อกคูลูป บางวงจรถาจะมivaricapeอีกตัวหนึ่งเพื่อใช้ในการมอดูเลต โดยเฉพาะ ตัวอย่างของการสังเคราะห์ความถี่แบบมิกซิ่งอีกตัวอย่างหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ก็ จะคล้ายคลึงกับตัวอย่างแรก (ดูรูปที่ 2.15) เว้นแต่จะใช้แรงแ้งกับความถี่เพียงตัวเดียวในการมิกซิ่งกับสัญญาณ จาก VCO ที่มีกซ์เซอร์ภาคส่งเพื่อส่งออกอากาศสำหรับในกรณีของการรับ/ส่งผ่านรีพีทเตอร์ซึ่งความถี่ เลื่อนไป  $\pm 600$  KHz ทำได้โดยการป้อนข้อมูล N ตัวใหม่จากไมโครคอมพิวเตอร์ให้แก่วงจรหาร N จะเห็นว่าวงจรสังเคราะห์ความถี่จะต้องเสียเวลาในการลือกความถี่ที่เลื่อนไป 600 KHz เวลาที่ใช้ในการ ลือกความถี่เมื่อเลื่อนความถี่ไปน้อยๆ เช่นนี้ จำเป็นที่จะต้องมีความแน่นอนและรวดเร็วเพียงพอ

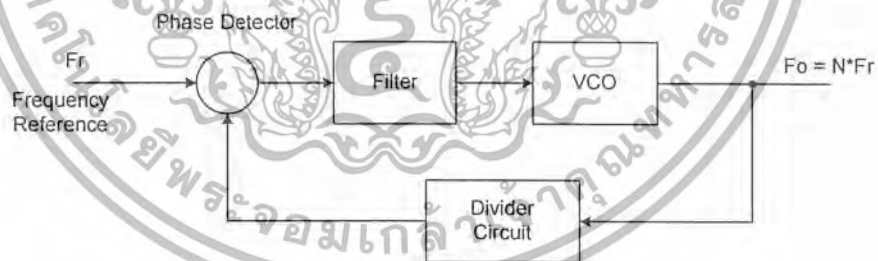
ข้อเสียของระบบนี้ก็คือ การเลื่อนความถี่ยุ่งยากและต้องคำนวณตัวเลขที่ซับซ้อนขึ้น แต่ โดยทั่วไปแล้วเครื่องรับ/ส่งวิทยุที่ควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ เราจะต้องใช้ตัวคอมพิวเตอรืเป็นตัว ป้อนข้อมูลเพื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ของภาคสังเคราะห์ความถี่เอง

2.3.5 เทคนิคของการสังเคราะห์ความถี่

การสังเคราะห์ความถี่มีอยู่หลายแบบ ตัวอย่างที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นหน่วยสังเคราะห์ความถี่ซึ่ง มีขั้นตอนการตั้งความถี่ขึ้นละ  $f_r$  เท่ากับความถี่อ้างอิง

2.3.5.1 PLL แบบโดยตรง

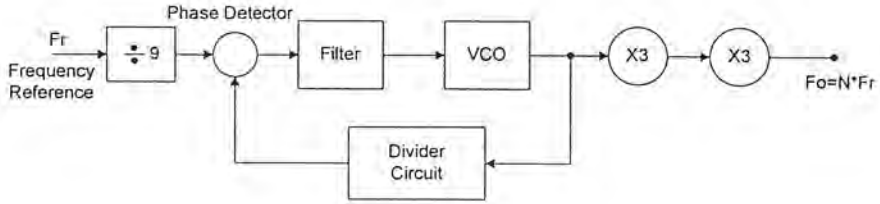
วิธีการสังเคราะห์ความถี่วิธีการนี้จะใช้ PLL โดยตรงนับว่าเป็นวิธีที่ง่าย ความถี่เอาต์พุต มีค่าเป็น N เท่าของความถี่อ้างอิง (ดูรูปที่ 2.18) ในที่นี้ VCO ต้องสามารถทำงานได้ตลอดย่านความถี่ เอาต์พุต ความถี่อาจจะขึ้นไปได้ถึง 200 MHz อย่างไรก็ตามวิธีนี้เหมาะสำหรับโปรแกรมหาดหาร N นั้นมีราคาแพง เราจึงจำเป็นต้องปรับปรุงวิธีสังเคราะห์ความถี่เป็นแบบอื่น



รูปที่ 2.18 แสดง PLL แบบโดยตรง

2.3.5.2 PLL แบบคูณความถี่

จะสังเกตเห็นว่าในรูปที่ 2.19 เราทำการหารความถี่อ้างอิง  $f_r$  ลง 9 เท่า ก่อนที่จะป้อน ให้แก่วงจรเฟสล็อกคูลูป และเอาต์พุตจาก VCO ก็คูณความถี่ขึ้นไป 9 เท่า วิธีนี้จะช่วยลดความถี่ การทำงานของวงจรหาร N ลง แต่ก็ทำให้ผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่ใช้ในการเทียบเฟส ต่ำลง

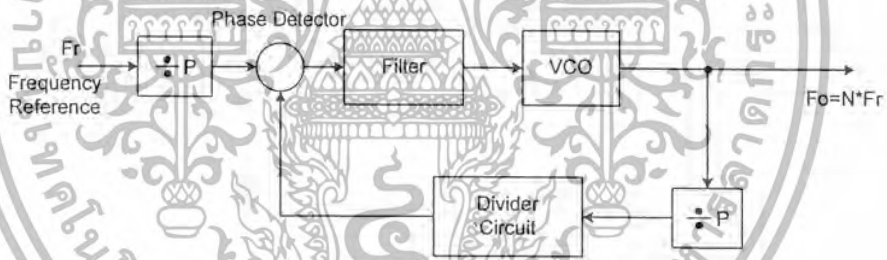


รูปที่ 2.19 แสดง PLL แบบคูณความถี่

2.3.5.3 PLL แบบปริสเกลเลอร์

PLL ในรูปที่ 2.20 ใช้วิธีการหารความถี่อ้างอิง  $f_r$  ลง  $P$  เท่า ก่อนที่จะป้อนให้แก่ วงจรเฟสดีเทกเตอร์ และใช้วิธีการคูณความถี่ขึ้นไป  $P$  เท่าภายในรูป แทนที่จะคูณความถี่ภายนอกูปดัง เช่น PLL แบบคูณความถี่ วงจร VCO ในกรณีนี้ต้องทำงานขึ้นไปถึงความถี่ใช้งาน โดยไม่ต้องมีวงจร มัลติพลาย

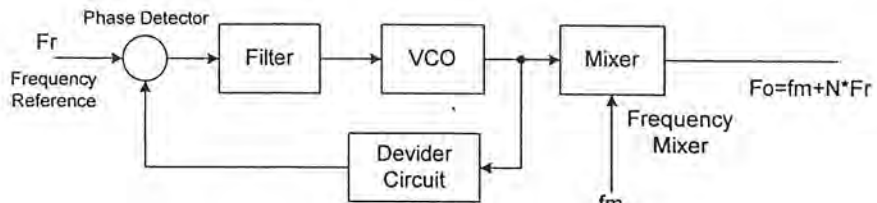
วงจรมหาร  $P$  เป็นชุดวงจรฟลิปฟล็อปธรรมดาซึ่งตัวหารกำหนดไว้ตายตัวและสามารถ ทำงานที่ความถี่สูงได้ เราเรียกว่า วงจรปริสเกลเลอร์ ส่วนวงจรมหาร  $N$  ซึ่งโปรแกรมตัวหาร ได้นั้นทำงาน ที่ความถี่ต่ำลงเช่นเดียวกับ PLL ในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.20 แสดง PLL แบบปริสเกลเลอร์

2.3.5.4 PLL แบบมิกซิงนอกคู่

PLL ในรูปที่ 2.21 อาศัยความถี่อีกความถี่หนึ่งเพื่อผสมกับความถี่ VCO ให้เอาต์พุต ของ PLL มีค่าความถี่ที่สูงขึ้น ในที่นี้เราปรับขึ้นความถี่ได้ขึ้นละ  $f_r$  เท่ากับความถี่อ้างอิงและความถี่เอาต์พุต เท่ากับผลรวมความถี่ที่นำมามิกซ์กับความถี่จาก VCO

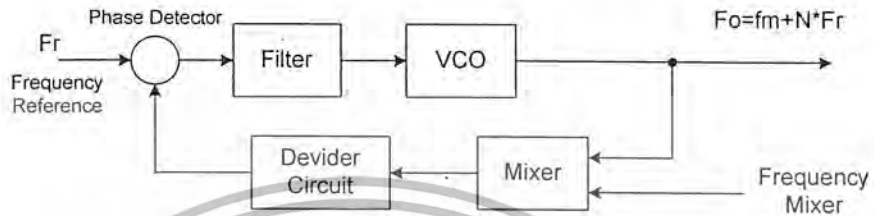


รูปที่ 2.21 แสดง PLL แบบมิกซิงนอกคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกร... อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า... ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.5.5 PLL แบบมิกซิงในลูป

PLL ในรูปที่ 2.22 เป็นการมิกซ์อีกแบบหนึ่ง ซึ่งได้นำการมิกซ์มาไว้ในลูป สัญญาณ จาก VCO และความถี่มิกซ์  $f_m$  จะมีทันได้ความถี่ต่ำลง แล้วจึงป้อนเข้าสู่วงจรนับหาร N ความถี่เอาต์พุต เท่ากับผลรวมของความถี่ที่นำมามิกซ์  $f_m$  กับความถี่ VCO เช่นเดียวกับในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.22 แสดง PLL แบบมิกซิงในลูป

### 2.3.6 ระบบสังเคราะห์ความถี่ในเครื่องรับ/ส่งวิทยุ

ข้อดีที่เห็นได้ชัดของระบบสังเคราะห์ความถี่ก็คือ ทำให้จำนวนช่องใช้งานเพิ่มขึ้นมหาศาลซึ่ง เครื่องรับ/ส่งในสมัยก่อนมีจำนวนช่องใช้งานเพียงไม่กี่ช่อง แต่เครื่องรับ/ส่งรุ่นใหม่มีจำนวนช่องใช้งานได้ นับร้อยช่อง ทำให้สามารถเลือกใช้ความถี่ได้หลายความถี่ และเปลี่ยนความถี่ได้สะดวก

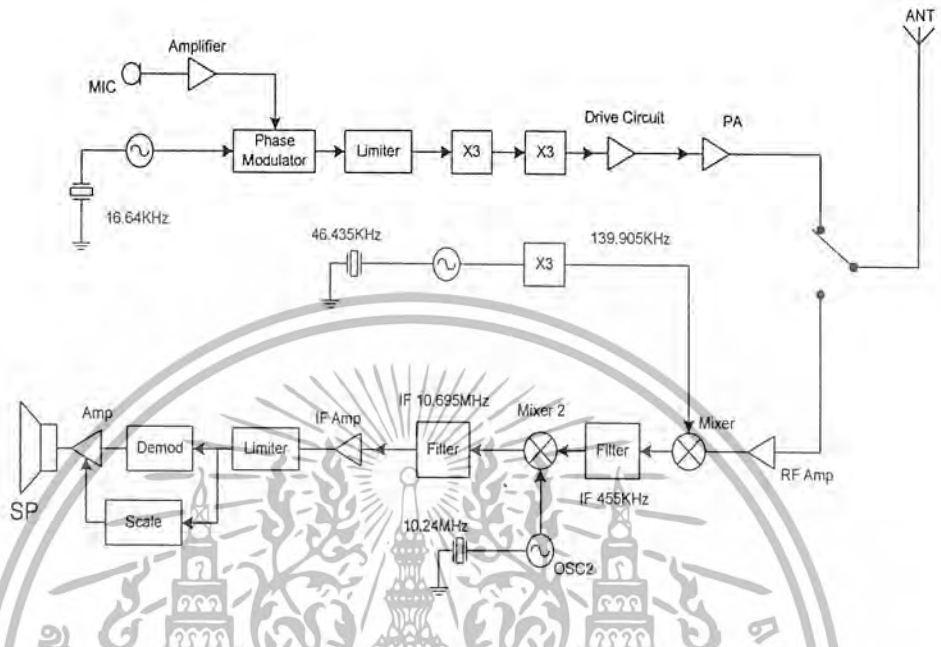
ถ้าสำหรับเครื่องรับ/ส่งวิทยุที่ใช้รับบังคับความถี่นั้น หากทำการเพิ่มจำนวนช่องใช้งานจะต้องใช้แร่ เพิ่มเติมอีกหลายก้อน และเมื่อเปลี่ยนความถี่ก็ต้องเปลี่ยนแร่ใหม่ทำให้ไม่สะดวกตัวในการใช้งาน

นอกจากนี้ระบบสังเคราะห์ความถี่เป็นระบบที่ผสมเอาวงจรจิจิตอลมาใช้งานด้วยจึงทำให้การใช้งาน เครื่องรับ/ส่งวิทยุยังสะดวกขึ้นไปอีก เพราะเมื่อเอาไมโครคอมพิวเตอร์มาต่อรวมกับวงจรสังเคราะห์ ความถี่เพื่อควบคุมการทำงานของวงจรสังเคราะห์ความถี่แล้ว ยิ่งทำให้เครื่องรับ/ส่งวิทยุมีความสามารถ ต่างๆเพิ่มขึ้นมากมาย เช่น มีหน่วยความจำ (Memory) สามารถสแกนความถี่ได้

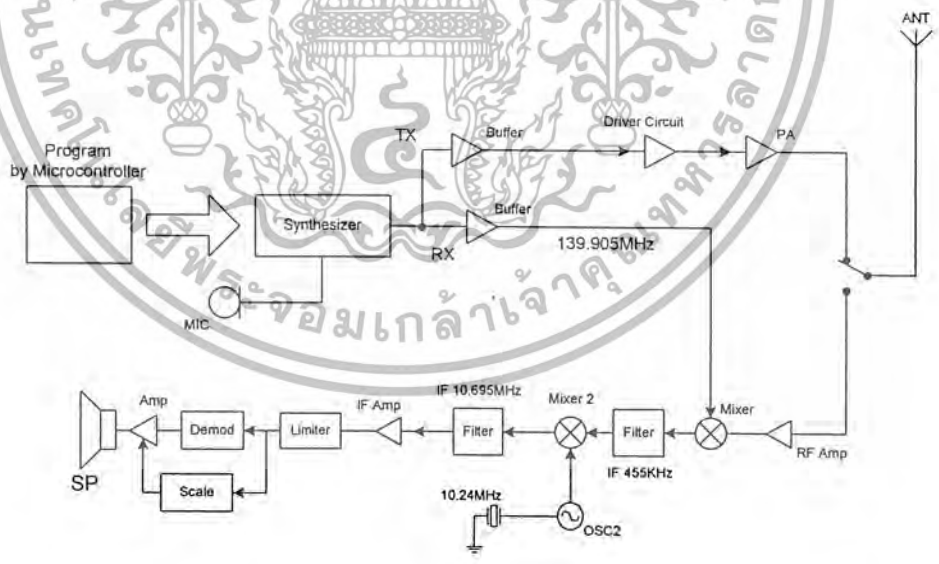
การตั้งความถี่ภายในเครื่องได้แก่การ การตั้ง โปรแกรมโดยใช้ไดโอดหรือจัมเปอร์ หรือใช้ หน่วยความจำ เช่น ROM, EPROM, RAM หรืออุปกรณ์อื่นๆ แทน

ลองเปรียบเทียบระหว่างแผนผังของเครื่องรับ/ส่งวิทยุ VHF/FM ชนิดใช้แร่บังคับความถี่กับ ชนิดที่ใช้แร่สังเคราะห์ความถี่ในรูปที่ 2.23 จะเห็นว่าทั้งสองชนิดจะมีความแตกต่างกันที่ตรงที่ภาค ออสซิลเลเตอร์เป็นส่วนใหญ่ นั่นคือ หน่วยออสซิลเลเตอร์ทั้งภาครับและส่ง (ของชนิดสังเคราะห์ความถี่) กลายเป็นหน่วยสังเคราะห์ความถี่ ซึ่งสามารถรับคำสั่งหรือ โปรแกรมได้จากภายนอก โดยหน่วยสังเคราะห์ ความถี่ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณป้อนไปให้ทั้งภาครับและภาคส่งแทน ขอให้สังเกตดูว่าในสภาวะส่ง ในรูปที่ 2.23 (a) สัญญาณก่อนที่จะป้อนให้แก่ภาคขยายภาคสุดท้าย (ขยายกำลัง) จะต้องเป็นสัญญาณ ความถี่ที่ต้องการเหมือนกันคือ 150 MHz และในสภาวะรับดังแสดงในรูปที่ 2.23 (b) ก็เช่นเดียวกัน สัญญาณป้อนหรืออินเจกชัน (Injection) เข้าที่มิกเซอร์ก็จะต้องเป็นสัญญาณความถี่เดียวกันคือ

139.905 MHz เพื่อบีบให้เกิด IF นอกจากนี้การมอดคูเลตสัญญาณ FM (ในกรณีสังเคราะห์ความถี่) ก็ยังสามารถทำได้ทั้งจร VCO ของภาคสังเคราะห์ความถี่ได้เลย



(a) แสดงตัวอย่างแผนผังของเครื่องรับ/ส่งวิทยุที่ใช้เรียงกับความถี่



(b) แสดงตัวอย่างแผนผังของเครื่องรับ/ส่งวิทยุที่ใช้ระบบสังเคราะห์ความถี่  
รูปที่ 2.23 แสดงแผนผังของเครื่องรับ/ส่งวิทยุแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.7 คุณสมบัติของวงจรสังเคราะห์ความถี่

นอกจากวงจรสังเคราะห์ความถี่จะต้องมีคุณสมบัติที่เกี่ยวกับช่วงความถี่ (Frequency range) ที่ต้องผลิตและรีโซลูชันระหว่างขั้นแล้ว คุณสมบัติอื่นๆ ของวงจรสังเคราะห์ความถี่ก็มีความสำคัญสำหรับเครื่องรับ/ส่งวิทยุอีกด้วย ดังจะได้อธิบายต่อไปนี้

โดยปกติวงจรสังเคราะห์ความถี่จะสามารถกำเนิดสัญญาณเพียงสัญญาณเดียว แต่เลือกความถี่ได้หลายค่า (ในช่วงความถี่ที่ใช้งาน) และมีความละเอียดของความถี่ขึ้นอยู่กับรีโซลูชันในกรณีที่เราเปลี่ยนความถี่จากค่าหนึ่งไปยังอีกค่าหนึ่ง วงจรสังเคราะห์ความถี่จะต้องเปลี่ยนได้เร็วตามทันที หรือจะกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งก็คือ ล็อกค่าของความถี่ได้ในเวลาอันรวดเร็ว นั่นคือ ช่วงเวลาล็อก (Lock-up time) ต่ำ คุณสมบัติการล็อกความถี่ใหม่ได้รวดเร็วที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับเครื่องรับ/ส่งวิทยุ โดยเฉพาะระหว่างการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะส่ง มาเป็นสภาวะรับ หรือในกรณีสแกนความถี่

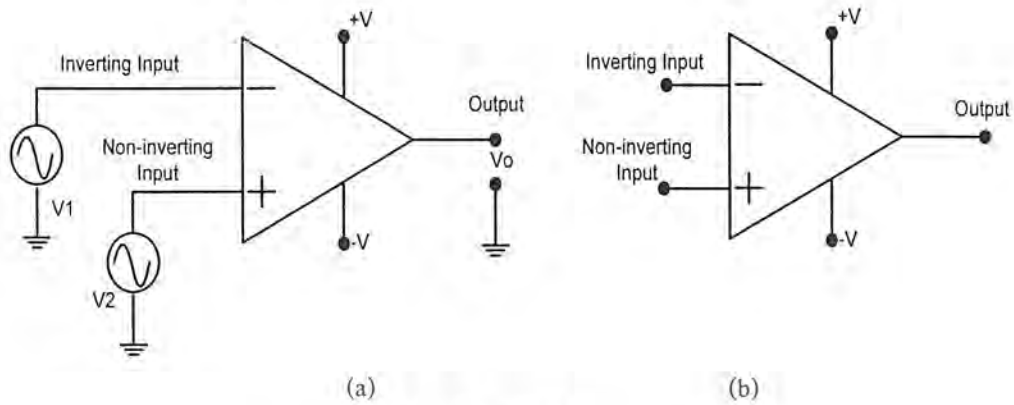
วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ดีจะต้องผลิตสัญญาณความถี่เดียว โดยปราศจากความถี่แปลกปลอมต่าง ๆ คุณสมบัตินี้เรียกว่า ความบริสุทธิ์ของสเปกตรัม (Spectrum purity) นั่นคือความถี่ฮาร์โมนิกส์และสปีวเรียสต่างๆ จะต้องถูกกำจัดให้เหลือน้อยที่สุด นอกจากนี้บนยอดขั้ววงจรออสซิลเลเตอร์จะทำให้วงจรสังเคราะห์ความถี่มีความถี่ไม่บริสุทธิ์ ไม่ใช่เพียงความถี่เดียว ในช่วงใกล้เคียงกับความถี่ที่ต้องการ นอยส์ดังกล่าวนี้จะเรียกว่า เฟส นอยส์ (Phase noise)

ความเที่ยงตรง (Accuracy) และเสถียรภาพ (Stability) ทางความถี่ของวงจรสังเคราะห์ความถี่จะขึ้นอยู่กับสัญญาณอ้างอิง โดยทั่วไปสัญญาณอ้างอิงมักจะเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ชนิดที่ใช้แร่บังกิต ความถี่ของสัญญาณสังเคราะห์ความถี่จะมีเสถียรภาพและความเที่ยงตรงเทียบเท่ากับคริสตอลออสซิลเลเตอร์

วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ใช้กับเครื่องรับ/ส่งวิทยุในย่านความถี่ HF (3 ถึง 30 MHz) ก่อนข้างที่จะมีความซับซ้อน เพราะการใช้งานในย่านความถี่นี้เราต้องการรีโซลูชันที่ละเอียดถึง 100 Hz เป็นอย่างน้อย บางเครื่องสามารถทำได้ถึง 10 Hz นอกจากนี้ช่วงความถี่ 3 ถึง 30 MHz ก่อนข้างที่จะกว้างมาก ๆ วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ครอบคลุมช่วงความถี่ที่กว้างๆ และมีรีโซลูชันที่สั้นรวดเร็ว โดยทั่วไปอัตราส่วนของความถี่สูงสุดและต่ำสุดระหว่างช่วงความถี่ที่ใช้งานจะมีค่าความถี่ไม่เกิน 2 เท่า ในกรณีที่มีอัตราส่วนเกิน 2 เท่าเราต้องใช้วงจร VCO หลายชุดแล้วมีสวิตช์เลือกเพื่อป้องกันการล็อกความถี่ฮาร์โมนิกส์ และเพื่อให้ได้คุณสมบัติ นอยส์ที่ดีสำหรับช่วงเวลาล็อกที่รวดเร็วนั้น เราทำได้โดยการใช้ลูบซ้อนกันหลายๆ ลูป (Multi loop)

### 2.4 ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้งาน (Op-Amp and Applications)

ออปแอมป์ (Operational Amplifier : Op-Amp) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ให้อัตราขยายสูงขณะทำงานที่ลูบปิด (close loop gain) และสามารถควบคุมคุณสมบัติการทำงานของออปแอมป์ได้จากค่าของอุปกรณ์ที่ต่อภายนอก จากรูปที่ 2.24 (a) แสดงสัญลักษณ์ของออปแอมป์ซึ่งประกอบด้วยขาสัญญาณอินพุตจำนวน 2 ขาสัญญาณ (ขาสัญญาณอินพุตบวกและขาสัญญาณอินพุตลบ) และขาสัญญาณเอาต์พุตอีก 1 ขาสัญญาณ

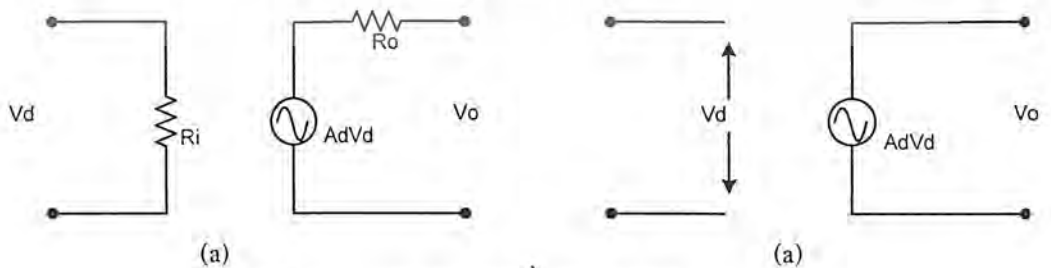


รูปที่ 2.24 สัญลักษณ์ของออปแอมป์

สัญญาณอินพุตแต่ละขาสัญญาณจะมีผลต่อสัญญาณเอาต์พุตและในการใช้สัญญาณโดยทั่วไปมักจะละขาที่ต่อแรงดันไฟเลี้ยง (voltage supply) บวกและลบเข้าตัวออปแอมป์ในฐานะที่เข้าใจว่าจะต้องมีอยู่เสมอจึงทำให้สัญลักษณ์ของออปแอมป์ง่ายขึ้นดังรูปที่ 2.24 (b) การทำงานของออปแอมป์แบ่งออกเป็น 2 กรณีคือการทำงานกรณีที่มีอินพุตด้านเดียว (single-end mode) และการทำงานกรณีที่มีอินพุตสองด้าน (differential mode)

2.4.1 วงจรสมมูลของออปแอมป์ (Op-Amp Equivalent Circuit)

ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอัตราขยาย (gain) และอิมพีแดนซ์อินพุต ( $Z_i$  หรือ  $R_i$ ) สูงมากมักมีค่าเป็นเมกะโอห์ม ( $M\Omega$ ) และอิมพีแดนซ์เอาต์พุต ( $Z_o$  หรือ  $R_o$ ) ต่ำ (ต่ำกว่า  $100\Omega$ ) วงจรอย่างง่ายของออปแอมป์ประกอบด้วยขั้วอินพุต 2 ขั้วและขั้วเอาต์พุต 1 ขั้ว ดังรูปที่ 2.24 (b) หากจ่ายสัญญาณอินพุตให้กับขั้วบวกของออปแอมป์ จะได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีมุมเฟสเดียวกับสัญญาณอินพุต แต่ถ้าจ่ายสัญญาณอินพุตให้กับขั้วลบของออปแอมป์ จะได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีมุมต่างเฟสกับสัญญาณอินพุต 180 องศาหรือมีมุมตรงข้าม (out of phase) สามารถเขียนวงจรสมมูลทางกระแสสลับของออปแอมป์ในทางปฏิบัติได้ดังรูปที่ 2.25 (a) ส่วนวงจรสมมูลทางกระแสสลับของออปแอมป์ในอุดมคติ (กำหนดให้  $R_i = \infty$  และ  $R_o = 0$ ) เป็นดังรูปที่ 2.25 (b)



รูปที่ 2.25 วงจรเทียบเคียงของออปแอมป์

(a) วงจรสมมูลของออปแอมป์ในทางปฏิบัติ

(b) วงจรสมมูลของออปแอมป์ในอุดมคติ

## 2.4.2 คุณสมบัติเด่นของออปแอมป์ (Op-Amp's Dominant Characteristics)

ออปแอมป์ที่เป็นวงจรรขยายที่มีอัตราขยายสูงมาก โดยปกติจะมีอัตราขยายสูงถึงหลายหมื่นหลายแสนเท่า ข้อเด่นของออปแอมป์ก็คือ เราสามารถกำหนดอัตราขยายให้กับออปแอมป์ได้ง่ายตามต้องการด้วยการต่อวงจรในลักษณะการป้อนกลับแบบลบซึ่งออปแอมป์ในอุดมคติ จะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ

1. มีอัตราขยายแรงดัน ( $A_d \longrightarrow \infty$ ) เป็นอนันต์
2. มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เป็นอนันต์ ( $R_i \longrightarrow \infty$ ) หรือกล่าวได้ว่ากระแสอินพุตเป็นศูนย์นั่นเอง
3. มีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์ ( $R_o \longrightarrow 0$ )
4. มีผลตอบสนองต่อความถี่ได้จากสัญญาณไฟตรงถึงความถี่อนันต์

จากคำจำกัดความของออปแอมป์ ในอุดมคติทำให้เราทราบอย่างไม่ว่าสัญญาณจะเป็นอย่างไร สัญญาณนั้นสามารถทำให้ออปแอมป์ทำงานได้ตามปกติ และถ้าเชื่อมต่อการทำงานออปแอมป์กับวงจรอื่นก็จะมีผลทำให้วงจรอื่นทำงานผิดพลาดไป อันเนื่องมาจากค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์ที่มีค่าเป็นอนันต์นั่นเอง

## 2.4.3 ลักษณะอุดมคติของออปแอมป์ (Op-Amp's Ideal Characteristic)

ในที่นี้เราจะสมมติว่าออปแอมป์ในอุดมคตินั้น มีความต้านทานทางด้านเข้าเป็นอนันต์ และความต้านทานทางด้านออกมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นลักษณะการถ่ายโอนสามารถแสดงดังในรูปที่ 2.26 (a) การมีความต้านทานทางด้านเข้าเป็นอนันต์นั้นหมายความว่ากระแสขาเข้า  $i_1$  และ  $i_2$  เท่ากับศูนย์ทั้งคู่ การมีความต้านทานทางด้านออกเท่ากับศูนย์ หมายความว่าลักษณะถ่ายโอนของออปแอมป์สามารถแทนด้วยแหล่งกำเนิดแรงดันพึ่งพิง (dependent voltage source) ดังรูปที่ 2.26 (b) ลักษณะถ่ายโอนของรูปที่ 2.26 (a) แสดงช่วงการทำงาน 3 ช่วงของออปแอมป์คือ ช่วงเชิงเส้น 1 ช่วง และช่วงอิ่มตัวอีก 2 ช่วงในช่วงเชิงเส้นนั้นแรงดันออก  $V_o$  จะอยู่ระหว่างแรงดันของแหล่งจ่ายทั้งสอง ( $+V$  และ  $-V$ )

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันออก  $V_o$  และความแตกต่างระหว่างแรงดันเข้า ( $V_2 - V_1$ ) นั้นเป็นเชิงเส้นตามสมการ

$$V_o = A_d (V_2 - V_1)$$

โดยที่  $A_d$  คืออัตราขยายแรงดันซึ่งมักจะมีค่าเกินกว่าหนึ่งหมื่น แต่เนื่องจากอัตราขยายมีค่ามาก และช่วงของสัญญาณเอาต์พุตก็มีจำกัด  $|V_o| < |V|$  ดังนั้นช่วงของสัญญาณเข้าในเชิงเส้นจึงมีขนาดเล็กมาก

$$\left| V_2 - V_1 \right| = \left| \frac{V}{A_d} \right|$$

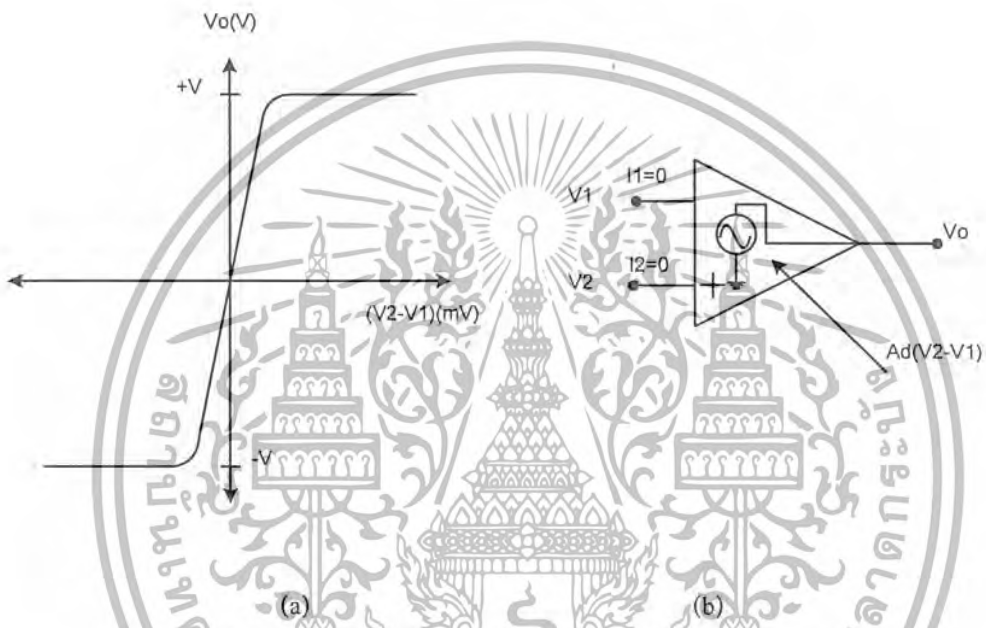
ออปแอมป์ทั่วๆ ไปอัตราขยายวงรอบเปิด ( $A_d$ : open loop gain) มักจะมีค่าระหว่างหนึ่งหมื่นถึงหลายล้านเท่า ดังนั้นสำหรับแหล่งจ่ายกระแสตรงขนาด 10 ถึง 15 โวลต์ ความกว้างของเขตเชิงเส้นสำหรับสัญญาณเข้าจะมีประมาณ 1 mV หรือน้อยกว่าเท่านั้นซึ่งนิยามของการทำงานในเขตเชิงเส้นก็คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กระแสเข้าเป็นศูนย์

2. แรงดันเข้า  $V_1$  และ  $V_2$  ต่างกันไม่เกิน 1 mV หรือน้อยกว่านั้น

ในเขตอิมิตัวความแตกต่างระหว่างแรงดันขาเข้าทั้งสองจะมีค่ามากกว่าขอบเขตจำกัดของสัญญาณ ในเขตเชิงเส้นนั้น คือ  $|V_2 - V_1| = \left| \frac{V}{Ad} \right|$  ถ้า  $V_1 > V_2$  ออปแอมป์จะอิมิตัวทางลบหรือเราอาจกล่าวได้ว่า ถ้า  $|V_2 - V_1| > 1\text{mV}$  ออปแอมป์จะอยู่ในสภาพอิมิตัวทางลบและน่าสังเกตว่าถ้า  $V_2 > V_1$  ออปแอมป์จะอิมิตัวที่ทางบวก



รูปที่ 2.26 ลักษณะถ่ายโอนของออปแอมป์

(a) กราฟแสดงจุดอิมิตัว

(b) วงจรสมมูลของออปแอมป์

#### 2.4.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่สำคัญของออปแอมป์ (Op-Amp Importance Characteristics)

ก่อนการออกแบบวงจรที่ใช้ออปแอมป์ในการประยุกต์ใช้งานนั้นสิ่งหนึ่งที่ทำให้วงจรแต่ละวงจรมีผลตอบสนองที่ต่างกันนั้นคือคุณสมบัติของออปแอมป์แต่ละตัวที่แตกต่างกัน คุณสมบัติของออปแอมป์ที่ควรรู้เพื่อการเลือกใช้งานออปแอมป์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

**แรงดันออฟเซตด้านอินพุต (Input Offset Voltage)** คือค่าแรงดันที่จะต้องป้อนเข้าที่อินพุตของออปแอมป์ผ่านตัวต้านทานที่เท่ากันทั้งสองตัวทั้งทางด้านอินพุตบวกและอินพุตลบเพื่อให้แรงดันเอาต์พุตเป็นศูนย์

**กระแสออฟเซตที่อินพุต (Input Offset Current:  $I_{os}$ )** คือค่าความต่างของกระแสที่ไหลเข้าทางอินพุตของออปแอมป์เมื่อแรงดันที่อินพุตมีค่าเป็นศูนย์ค่ากระแสออฟเซตปกติจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.8-500 nA

กระแสไบอัสที่อินพุต (Input Bias Current:  $I_b$ ) คือกระแสอินพุตที่เข้าไปยังขาอินพุตของ ออปแอมป์ซึ่งโดยปกติแล้วออปแอมป์จะมีขาอินพุต 2 ขา ดังนั้นจึงให้กระแสไบอัสที่อินพุตเป็นกระแส เล็กๆ ของกระแสอินพุตทั้งสองด้าน

อัตราขยายแบนด์วิดท์ (Gain Bandwidth Product) คือความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายกับ ความถี่โดยมีการกำหนดค่าคุณสมบัติสูงสุดของอัตราขยายเมื่อลูเปิด ( $A_{VD}$ ) ไว้ในรูปของอัตราขยาย ดิฟเฟอเรนเชียล (voltage differential gain) และเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึง  $f_1$  อัตราขยายลูเปิดจะ มีค่าลดลงเท่ากับ 1 เราจึงเรียกความถี่ที่  $f_1$  นี้ว่าความถี่ที่อัตราขยายเท่ากับ 1 หรือเรียกว่า แบนด์วิดท์ที่อัตรา ขยายเท่ากับ 1 (unity gain bandwidth)



รูปที่ 2.27 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายกับความถี่

จากรูป 2.27 สังเกตว่าความถี่ที่ตำแหน่งที่มีอัตราขยายลดลงเป็น  $0.707A_{VD}$  เราเรียกว่าความถี่ คัทออฟ (cutoff frequency:  $f_c$ ) ของออปแอมป์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ  $f_1$  ดังนี้คือ

$$f_1 = A_{VD} f_c$$

ความต้านทานเอาต์พุต (Output Resistance:  $R_o$ ) คือค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน เอาต์พุตเมื่อเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสเอาต์พุตขณะป้อนสัญญาณขนาดเล็กเมื่อพิจารณา จากภายนอกวงจรเข้าไปที่ขั้วเอาต์พุตขณะทำงานที่ลูปิดและแรงดันเอาต์พุตคี่ซีเท่ากับศูนย์โดยปกติมีค่า เอาต์พุตอิมพีแดนซ์จะมีค่าประมาณ  $0.75 - 1000 \Omega$

ความต้านทานอินพุต (Input Resistance:  $R_i$ ) คือความต้านทานของขั้วอินพุตขั้วใดขั้วหนึ่งของ ออปแอมป์โดยมีขั้วหนึ่งที่เหลือต่อลงกราวด์โดยทดสอบขณะทำงานที่รูปเปิด

อัตราขยายสัญญาณเมื่อสัญญาณมีขนาดใหญ่ (Large Signal Voltage Gain) คืออัตราส่วน ระหว่างระดับแรงดันเอาต์พุตต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับอินพุต

กระแสป้อนกลับ (Feedback Current) คือปริมาณกระแสทั้งหมดพิจารณาที่ขั้วที่มีการป้อนกลับของ สัญญาณ (ขั้วลบ) เมื่อออปแอมป์อยู่ในช่วงที่สามารถทำงานได้ตามปกติ

กระแสซัพพลาย (Supply Current) คือกระแสจากแหล่งกำเนิดกำลังภายนอกเมื่อออปแอมป์ ทำการขยายสัญญาณแล้วซึ่งอ้างอิงกับสัญญาณเอาต์พุตที่ปราศจากโหลดและพิจารณาออปแอมป์ทำงาน ในช่วงที่ทำงานเป็นเชิงเส้น

ซัพพลายโวลต์เตจรีเจ็ชัน (Supply Voltage Rejection) คืออัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลง ระดับแรงดันไฟเลี้ยงภายนอกต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันออฟเซตภายใน

โหลดเรกูเลชัน (Load Regulation) คืออัตราการเปลี่ยนแปลงค่าระดับแรงดันเอาต์พุตเมื่อ โหลด มีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมตั้งแต่ไม่มีโหลดจนกระทั่งมีโหลด

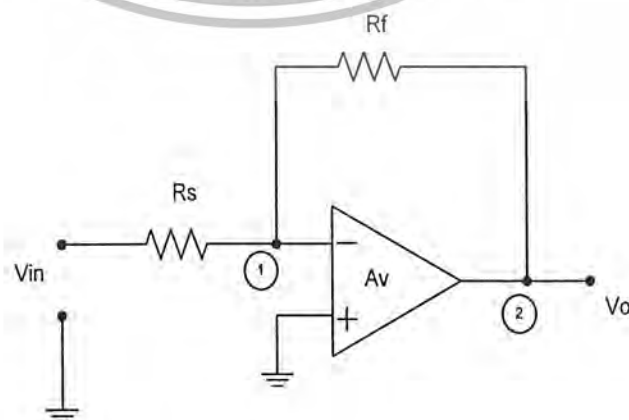
อัตราส่วนคอมมอนโมดรีเจ็ชัน (Common Mode Rejection Ratio: CMRR) บางทีเรียกว่า อัตราส่วนการขจัดสัญญาณ โหมดร่วมซึ่งก็คืออัตราส่วนของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการขยายสัญญาณ อินพุตที่ต่างกันต่อสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการขยายสัญญาณอินพุตที่เหมือนกัน

#### 2.4.5 การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์ (Op-Amp Applications)

ออปแอมป์นำมาประกอบเป็นวงจร ได้หลายวงจรซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งาน ออปแอมป์ในวงจรบางประเภทเช่น วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส, วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส และวงจรบัฟเฟอร์

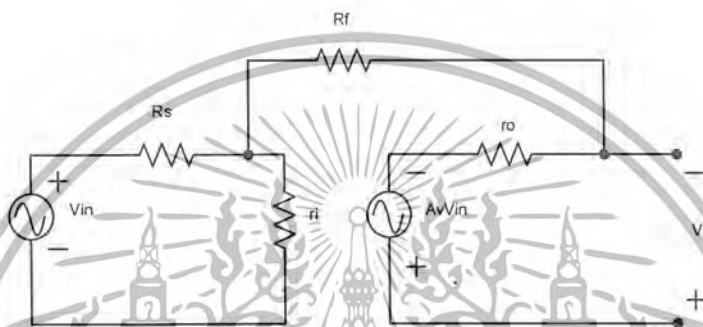
##### วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส ซึ่งให้อัตราขยายหลังการป้อนกลับที่คงที่และได้รับความนิยม มากแบบหนึ่ง

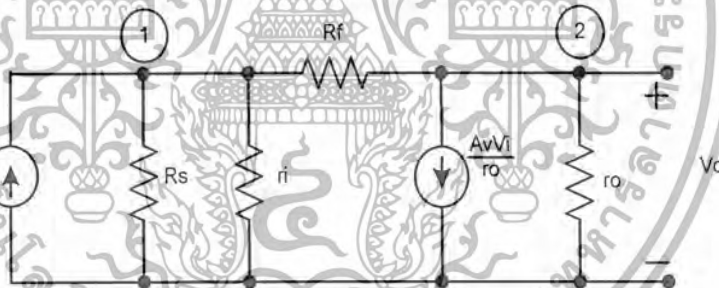


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 2.28 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนวงจรมูลของออปแอมป์ที่มีการป้อนกลับจากเอาต์พุตมายังอินพุตในรูปที่ 2.28 โดยแทนวงจรมูลของออปแอมป์ในทางปฏิบัติ จะได้วงจรมูลของวงจรรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสดังรูปที่ 2.29 เมื่อแทนแหล่งกำเนิดสัญญาณแรงดันและความต้านทานอนุกรมในรูปที่ 2.29 ด้วยแหล่งกำเนิดกระแสและความต้านทานขนานของนอร์ตัน (Norton's equivalent circuit) จะได้วงจรมูลดังรูปที่ 2.30 หลังจากนั้นใช้การวิเคราะห์แบบโหนด (node analysis) เพื่อหาค่าของอัตราส่วนระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับแรงดันอินพุต (อัตราขยาย) ในรูปความต้านทานอินพุต ความต้านทานเอาต์พุต ความต้านทานป้อนกลับและอัตราขยายของออปแอมป์



รูปที่ 2.29 วงจรมูลของวงจรรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส 180 องศา



รูปที่ 2.30 วงจรมูลในรูปที่ 2.29 เมื่อแทนด้วยแหล่งกำเนิดกระแสตามทฤษฎีนอร์ตัน

จากรูปที่ 2.30 จะได้ว่า

Node 1: 
$$V_1 \left( \frac{1}{R_s} + \frac{1}{r_i} + \frac{1}{R_f} \right) - V_o \left( \frac{1}{R_f} \right) = \frac{V_{in}}{R_s} \tag{2.1}$$

Node 2: 
$$-V_1 \left( \frac{1}{R_f} \right) + V_o \left( \frac{1}{R_f} + \frac{1}{r_o} \right) = \frac{-A_v V_1}{r_o} \tag{2.2}$$

$$-V_1 \left( \frac{1}{R_f} - \frac{A_v}{r_o} \right) + \left( \frac{1}{R_f} + \frac{1}{r_o} \right) V_o = 0 \tag{2.3}$$

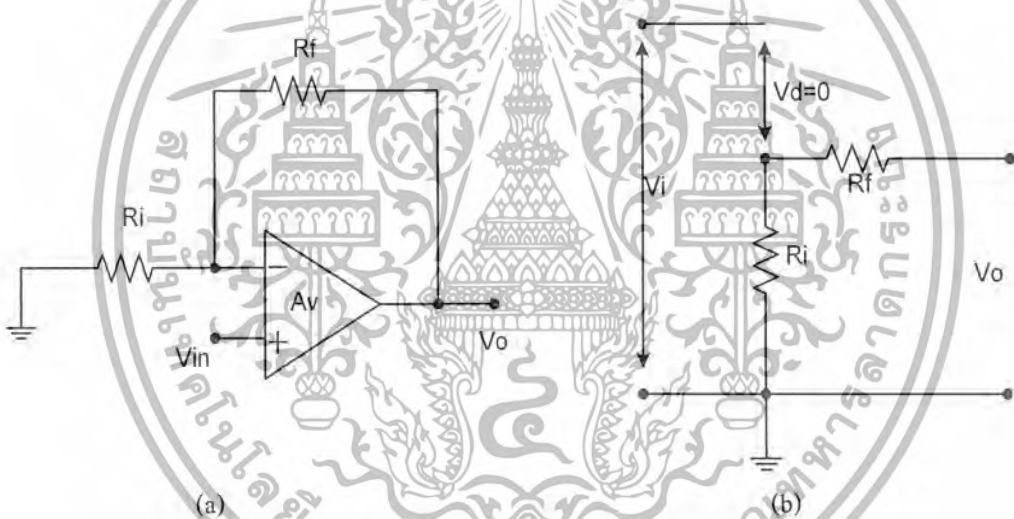
จากสมการที่ 2.1 และสมการที่ 2.3 เมื่อแก้สมการจะได้อัตราขยายของออปแอมป์ที่มีค่าสูงมากคือ

$$\frac{V_o}{V_{in}} = -\left(\frac{R_f}{R_i}\right) \tag{2.4}$$

จากสมการอัตราขยายพบว่าอัตราขยายจะมีค่าเป็นลบซึ่งแสดงว่าสัญญาณเอาต์พุตกับสัญญาณอินพุตมีความต่างเฟสกันอยู่ 180 องศาซึ่งทั้งหมดนั้นวงจรขยายกลับเฟสจะทำงานได้โดยสมมุติฐานบนสมมติฐาน (Assumption) ที่ว่าอัตราขยายของออปแอมป์มีค่าสูงมาก, ความต้านทานทางดำนอินพุตมีค่ามาก, ความต้านทานเอาต์พุตมีค่าน้อยมากจึงจะได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.4

วงจขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)

วงจขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสมีลักษณะดังรูปที่ 2.31 (a) ซึ่งเขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 2.31 (b)



รูปที่ 2.31 วงจขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)

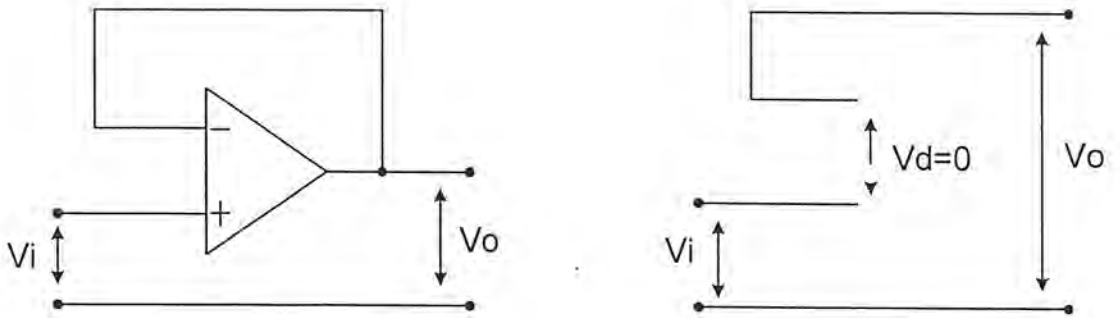
เนื่องจาก  $V_d=0$  จึงหาค่า  $V_i$  ได้โดยกฎการแบ่งแรงดันไฟฟ้าดังนี้ คือ

$$V_i = \left[ \frac{R_i}{R_i + R_f} \right] V_o \tag{2.5}$$

ดังนั้น

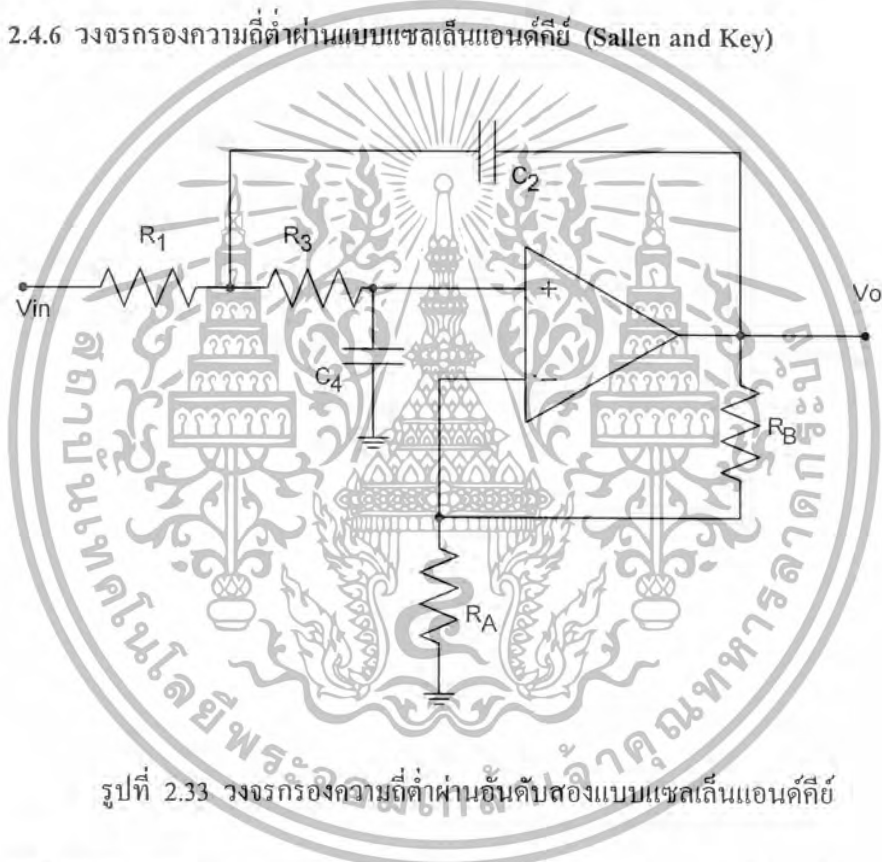
$$\frac{v_i}{v_o} = \frac{R_i + R_f}{R_i} = 1 + \frac{R_f}{R_i} \tag{2.6}$$

ดังนั้นหากให้ค่า  $R_f=0$  จะทำให้ได้วงจขยายที่มีอัตราขยายเท่ากับ 1 หรือเป็นวงจรับฟเฟอร์นั่นเอง



รูปที่ 2.32 วงจรบัฟเฟอร์และวงจรสมมูลของบัฟเฟอร์

2.4.6 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแซลไลน์แอนดคีย์ (Sallen and Key)



รูปที่ 2.33 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสองแบบแซลไลน์แอนดคีย์

รูปที่ 2.33 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง แบบแซลไลน์แอนดคีย์ ซึ่งก็คือ วงจรกรองที่ใช้ ออปแอมป์ตัวเดียวที่มี

$$Y_1 = G_1 \quad Y_2 = sC_2 \quad Y_3 = G_3 \quad Y_4 = sC_4$$

$$Y_5 = Y_6 = 0 \quad \text{และ} \quad K = 1 + (R_B / R_A)$$

ซึ่งเมื่อแทนค่าอุปกรณ์ตามสมการข้างบนนี้ลงในสมการที่ 2.7

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{KY_1Y_3}{(Y_1 + Y_2 + Y_5)(Y_3 + Y_4 + Y_6) + Y_3(Y_4 + Y_6) - K\{Y_6(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_5) + Y_2Y_3\}} \quad (2.7)$$

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\frac{V_o(s)}{V_i(s)} &= \frac{KG_1G_3}{(G_1 + sG_2)(G_3 + sC_4) + G_3(sC_4) - K\{sC_2C_3\}} \\ &= \frac{KG_1G_3}{s^2C_2C_4 + s(G_3C_2 + G_1C_4 + G_3C_4 - KG_3C_2) + G_1C_3}\end{aligned}$$

เมื่อแทนค่า  $G_1 = 1/R_1$  และ  $G_2 = 1/R_2$  ลงไปในสมการข้างบนและทำการจัดรูปใหม่ จะได้

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{K}{R_1R_3C_2C_4} \cdot \frac{1}{s^2 + s\left(\frac{1}{R_1C_2} + \frac{1}{R_3C_2} + \frac{1-K}{R_3C_4}\right) + \frac{1}{R_1R_3C_2C_4}} \quad (2.8)$$

เนื่องจากวงจรในรูปที่ 2.33 เป็นวงจรที่มีการป้อนกลับแบบบวกอยู่ด้วย ดังนั้นวงจรดังกล่าวอาจขาดเสถียรภาพได้โดยเราสามารถแสดงได้ว่าเงื่อนไขที่ทำให้วงจรเสถียรภาพ (โพลทุกตัวอยู่ด้านซ้ายของระนาบเชิงซ้อน) คือ

$$\begin{aligned}\text{หรือ} \quad & \frac{1}{R_1C_2} + \frac{1}{R_3C_2} + \frac{1-K}{R_3C_4} > 0 \\ & K < 1 + \frac{C_4}{C_2} \left(1 + \frac{R_3}{R_1}\right)\end{aligned} \quad (2.9)$$

เมื่อเทียบกับสมการที่ 2.8 กับสมการไปควบคุมความถี่ต่ำผ่านแบบมาตรฐาน

$$H_{LP}(s) = \frac{H_o \omega_o^2}{s^2 + (\omega_o/Q)s + \omega_o^2}$$

เราจะเห็นได้ว่าวงจรรูปที่ 2.33 คือวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสองที่มีอัตราขยายไฟตรง

$$H_o = K \quad (2.10)$$

และความถี่ธรรมชาติแบบไร้การหน่วง

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{R_1R_3C_2C_4}} \quad (2.11)$$

นอกจากนี้เราจะพบว่า

$$\frac{\omega_o}{Q} = \frac{1}{R_1C_2} + \frac{1}{R_3C_2} + \frac{1-K}{R_3C_4}$$

ซึ่งเมื่อแทนค่า  $\omega_o$  จากสมการที่ 2.11 ลงในสมการข้างบนแล้วจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\begin{aligned}Q &= \frac{1}{\sqrt{R_1R_3C_2C_4}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{R_1C_2} + \frac{1}{R_3C_2} + \frac{1-K}{R_3C_4}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{\frac{R_3C_4}{R_1C_2} + \frac{R_1C_4}{R_3C_2} + (1-K)\sqrt{\frac{R_1C_2}{R_3C_4}}}}\end{aligned} \quad (2.12)$$

จากสมการข้างบนเราสามารถนำไปออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบเชลล์เลนแอนด์ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์ กระทรวงโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ไอซีถอดรหัสสัญญาณความถี่โทรศัพท์ (DTMF Decoder)

การถอดรหัสความถี่โทรศัพท์ หมายถึง การแปลงสัญญาณความถี่ซึ่งเกิดจากการกดปุ่มตัวเลขของโทรศัพท์ชนิดกดปุ่ม (DTMF : Dual Tone Multiple Frequency) ให้เป็นระบบตัวเลขทางดิจิทัล ซึ่งใช้ไอซี MT8870 ใช้แปลงความถี่โทรศัพท์ให้เป็นเลขฐานสองขนาด 4 บิตในยุทก่อนการออกแบบวงจรถอดรหัสความถี่โทรศัพท์ มักใช้ไอซีพวงเฟสล็อกคูล์ ซึ่งสร้างปัญหาในเรื่องของความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป การปรับแต่ง และขนาดของวงจร

### 2.5.1 คุณสมบัติของไอซี MT8870

- เป็นตัวรับและถอดรหัสความถี่ (DTMF Receiver)
- กินไฟน้อยใช้ไฟเลี้ยงระดับเดียวกับไอซี TTL
- สามารถตั้งอัตราขยายภายในตัวไอซีได้
- สามารถปรับคาร์ดไทม์ได้ (Guard Time)
- เป็นไอซีคุณภาพสูง

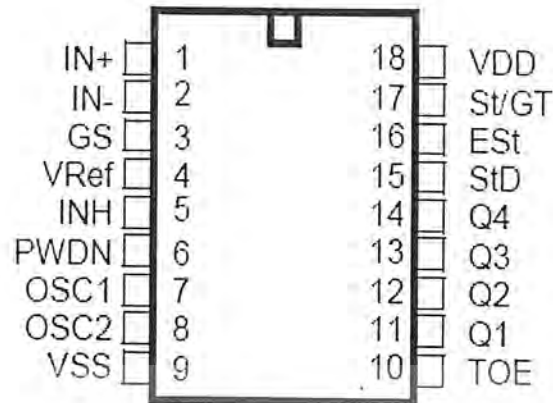
### 2.5.2 โครงสร้างภายในของ MT8870

ประกอบไปด้วยวงจรกรองความถี่และวงจรถอดรหัสฟังก์ชันทางดิจิทัล เป็นไอซีที่สร้างโดยใช้เทคโนโลยี IS-MOS ในส่วนของวงจรกรองความถี่ใช้เทคนิคของสวิทช์คาปาซิเตอร์สำหรับกรองความถี่สูง ความถี่ต่ำ ส่วนวงจรถอดรหัสใช้เทคนิคการนับทางดิจิทัลเพื่อตรวจจับและถอดรหัสทั้ง 16 ความถี่ ออกเป็นเลขฐานสองขนาด 4 บิตและเซตช่วงเวลาสัญญาณเข้ามา ส่วนภาคอินพุตเป็นออปแอมป์ ซึ่งสามารถปรับอัตราขยายได้โดยต่ออุปกรณ์ภายนอกเอาต์พุตเป็นวงจรแลตซ์ 3 สถานะ

### 2.5.3 ฟังก์ชันการทำงานภายในของ MT8870

โครงสร้างภายในของ MT8870 ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วนคือ

- ภาคกรองความถี่ (Filter Section)
- ภาคถอดรหัส (Decoder Section)
- ภาคตรวจสอบสัญญาณ (Steering Circuit)
- ภาคกำเนิดความถี่ (Oscillator)
- ภาคขยายสัญญาณความแตกต่าง (Differential Input)



### 18 PIN CERDIP/PLASTIC DIP/SOIC

รูปที่ 2.34 แสดงรายละเอียดขาต่างๆ ของ MT8870

#### - ภาคกรองความถี่

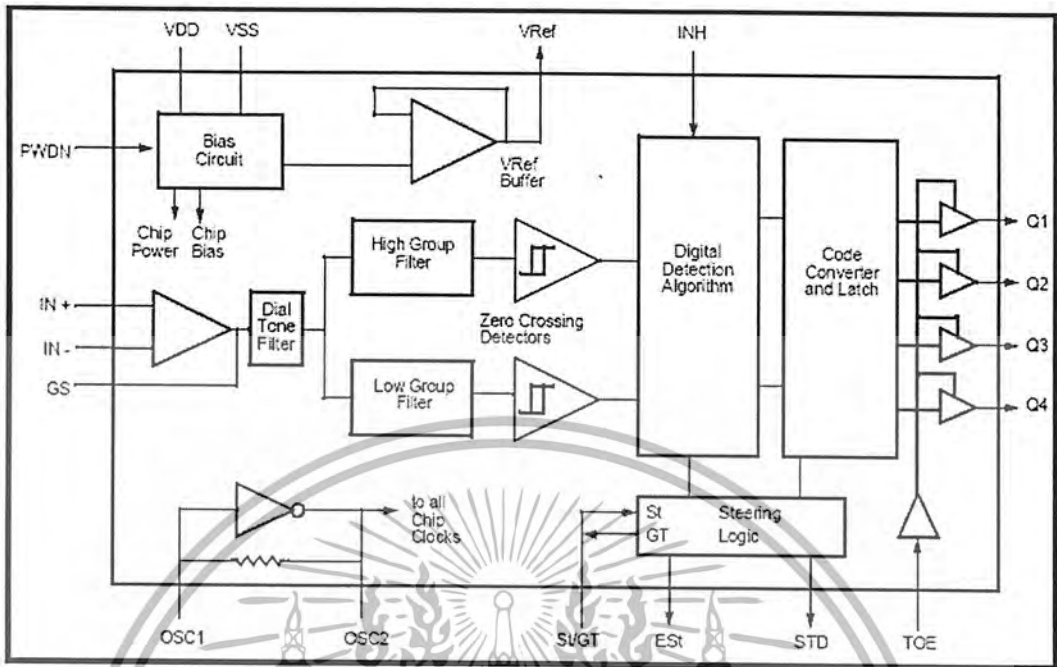
ในส่วนนี้จะแยกสัญญาณ DTMF ที่เข้ามาออกเป็นสองกลุ่มความถี่คือช่วงความถี่สูงและช่วงความถี่ต่ำ โดยใช้วงจรกรองความถี่อันดับ 6 ชนิดสวิทช์คาปาซิเตอร์ (Six-Order Switched Capacitor Band Pass Filter) ซึ่งความถี่ที่แยกได้มี 2 ช่วง คือ ช่วงความถี่สูง และ ช่วงความถี่ต่ำ

#### - ภาคถอดรหัส

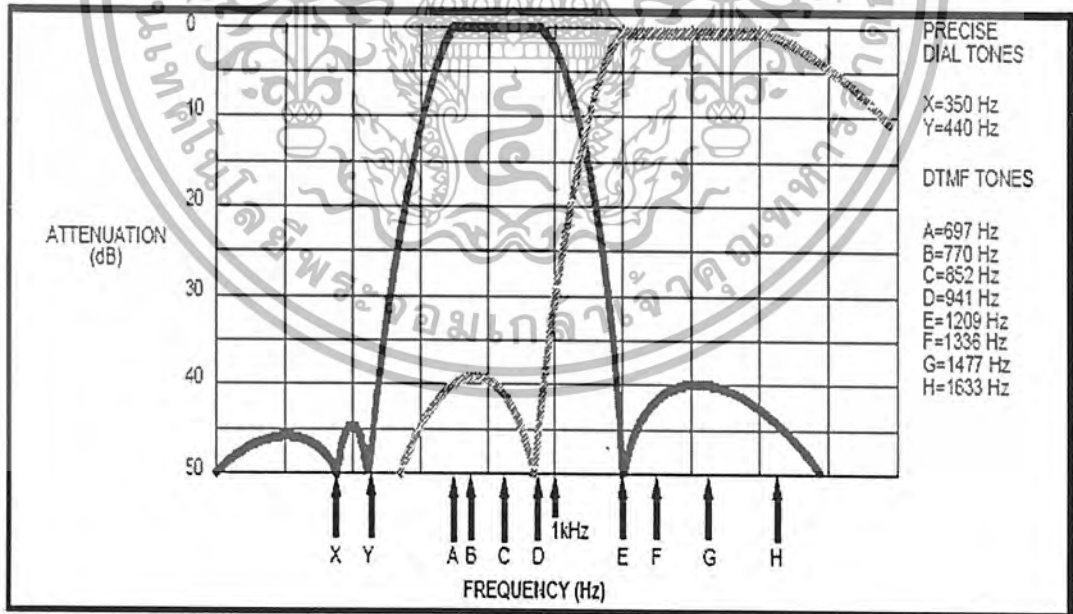
ความถี่ DTMF ที่ถูกกรองเรียบร้อยแล้วจะผ่านเข้าวงจรถอดรหัสความถี่ออกเป็นตัวเลข โดยใช้เทคนิคการนับแบบดิจิทัล และมีการตรวจสอบความถี่ที่เข้ามาว่าเป็นความถี่มาตรฐาน DTMF หรือไม่ เพื่อป้องกันความถี่อื่นเข้ามาผสม เมื่อตรวจสอบว่าความถี่นั้นถูกต้อง สัญญาณที่เข้า Est (Early Steering) ก็จะแยกที่ฟ สำหรับค่าที่ถอดรหัสได้ความถี่ต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.4

#### - ภาคตรวจสอบสัญญาณ

ก่อนที่จะมีการถอดรหัสความถี่ออกไปที่เอาต์พุต จะมีการตรวจสอบช่วงความถี่ที่เข้ามาว่ามีระยะเวลาตามที่กำหนดหรือไม่ โดยสังเกตจากระยะเวลาการกดปุ่มโทรศัพท์ ซึ่งต้องกดปุ่มให้มีความถี่ออกมาเป็นช่วงเวลาพอสมควร มิฉะนั้นวงจรส่วนนี้จะไม่รับ โดยถือว่าสัญญาณนั้นไม่ถูกต้องส่วนช่วงเวลายาวเท่าใดสามารถตั้งได้โดยใช้ RC ต่อภายนอก สัญญาณที่ Est จะเป็น "High" นานใกล้เคียงกับระยะเวลาที่มีความถี่ DTMF เข้ามา จากรูปที่ 2.11 เมื่อขา Est เป็น "High" ทำให้ Vc สูงขึ้นตัวเก็บประจุจะคายประจุทำให้แรงดัน Vc สูงขึ้นจนถึงค่าเทรชโฮลด์ วงจรถอดรหัสจึงจะถอดรหัสออกมาเป็นตัวเลขขนาด 4 บิต รายละเอียดการทำงานดูได้จากแผนภูมิเวลาหรือไทม์มิงไดอะแกรม (Timing Diagram) สำหรับค่าว่าการ์ดใหม่ หมายถึง ช่วงคาบเวลาของความถี่ที่เข้ามา ซึ่งจะต้องนานเท่ากับหรือมากกว่าช่วงเวลาที่เรารตั้งไว้ จึงจะได้รับการยอมรับว่าสัญญาณความถี่นั้นถูกต้อง จึงจะสามารถแปลงเป็นตัวเลขได้ ถ้าสัญญาณความถี่เข้ามาสั้นกว่าก็จะไม่มีการถอดรหัสเป็นตัวเลขออกไป



รูปที่ 2.35 แสดงโครงสร้างภายในของ MT8870



รูปที่ 2.36 แสดงความถี่ที่ได้จากภาคกรองความถี่

- ภาควิทยาสัญญาณความแตกต่าง

วงจรส่วนอินพุตของ MT8870 เป็นภาควิทยาสัญญาณความแตกต่างที่สามารถปรับอัตราขยายโดยต่อวงจรภายนอกเพิ่มเข้ากับอินพุต ซึ่งสามารถคำนวณอัตราขยายความแตกต่างของอินพุต และอิมพีแดนซ์ได้ดังนี้

$$\text{อัตราขยาย (Avdiff)} = R5/R1$$

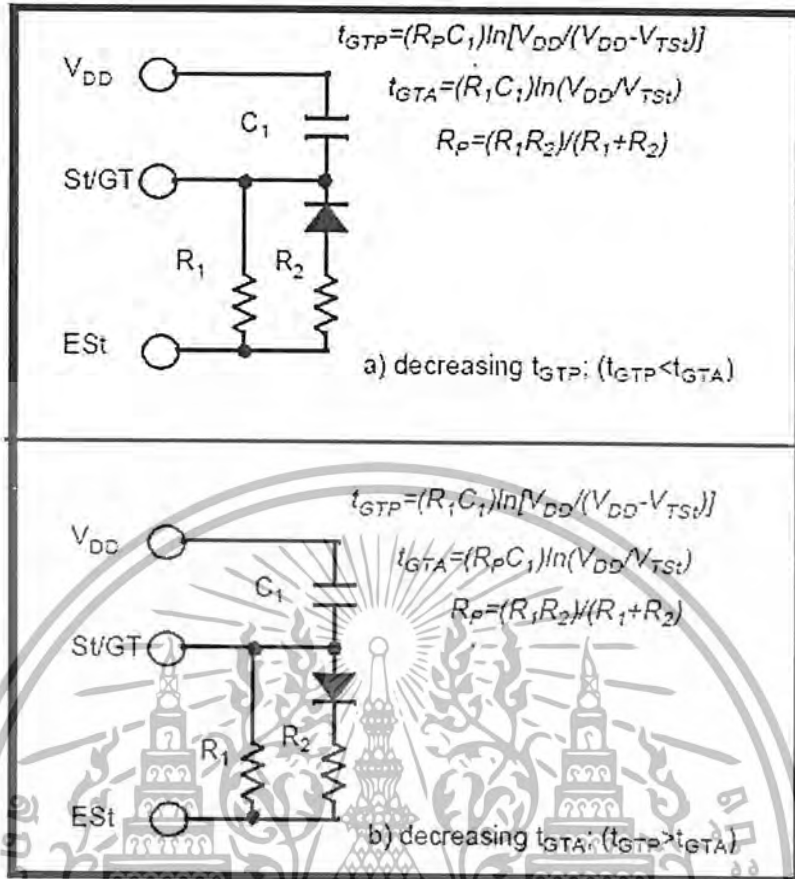
$$\text{อินพุตอิมพีแดนซ์ (Zindiff)} = 2\sqrt{R1^2 + (1/\omega c)^2}$$

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าที่ถอดรหัสได้จากความถี่ต่างๆ

F <sub>LOW</sub>	F <sub>HIGH</sub>	NO	TOE	Q4	Q3	Q2	Q1
697	1209	1	H	0	0	0	1
697	1336	2	H	0	0	1	0
697	1477	3	H	0	0	1	1
770	1209	4	H	0	1	0	0
770	1336	5	H	0	1	0	1
770	1477	6	H	0	1	1	0
852	1209	7	H	0	1	1	1
852	1336	8	H	1	0	0	0
852	1477	9	H	1	0	0	1
941	1336	0	H	1	0	1	0
941	1209	*	H	1	0	1	1
941	1477	#	H	1	1	0	0
697	1633	A	H	1	1	0	1
770	1633	B	H	1	1	1	0
852	1633	C	H	1	1	1	1
941	1633	D	H	0	0	0	0
-	-	ANY	L	Z	Z	Z	Z

- ภาคกำเนิดความถี่

ในภาคนี้ภายในวงจรไอซีจะมีวงจรเวลาอยู่ภายใน เพียงแต่ต่อแร่คริสตอลขนาด 3.58 เมกกะเฮิร์ตซ์ก็สามารถใช้งานได้ที่ทันที



รูปที่ 2.37 แสดงวงจรตรวจสอบสัญญาณอย่างง่ายและแสดงการกำหนดเวลาคาร์ดใหม่

2.6 ไอซีบันทึกสัญญาณเสียง

ในอุปกรณ์สื่อสารหรืออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน จะเห็นว่ามีความทันสมัยมากขึ้น อย่างเช่น อุปกรณ์โทรศัพท์ที่สมัยก่อนต้องมีคนทำหน้าที่เป็นโอเปอเรเตอร์ คอยตอบรับโทรศัพท์เมื่อมีผู้โทรเข้ามา และต่อหมายเลขตามความต้องการของผู้เรียก แต่ในปัจจุบันนี้ไม่ต้องใช้คนอีกต่อไปเพราะความทันสมัยของการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้เข้ามามีบทบาททำงานแทนคนได้ เราสามารถใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ เข้ามาทำหน้าที่ตอบรับโทรศัพท์ที่แทนคน สามารถตอบรับโทรศัพท์ได้ด้วยเสียงพูด ในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ก็สามารถให้คอมพิวเตอร์พูดแนะนำขั้นตอนต่างๆ ในการใช้คอมพิวเตอร์ให้เข้ากับผู้ใช้ ในอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการทำงานซับซ้อนทั่วไป ก็นิยมใช้อุปกรณ์บันทึกเสียงพูดกันมากขึ้นเพราะสะดวก ทำให้ผู้ใช้บริการไม่สับสน เนื่องจากมีสัญญาณเสียงพูดคอยแนะนำขั้นตอนต่างๆ ตลอดเวลา สัญญาณเสียงพูดกันนั้นไม่ได้บันทึกไว้ในเทปคาสเซตแต่หากว่ามันถูกบันทึกไว้ในตัวไอซี ซึ่งมีขนาดเล็กกะทัดรัด ใช้งานง่าย เพียงแต่ต่ออุปกรณ์ประกอบวงจรเพียงเล็กน้อยไว้นอกตัวไอซีก็สามารถใช้งานได้ โดยโครงงานนี้จะใช้ไอซี ISD1420

### 2.6.1 คุณสมบัติของ ISD1420

- สามารถบันทึกสัญญาณเสียงเก็บไว้ได้ โดยไม่ต้องต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าเลี้ยงวงจร (Nonvolatile Memory)
- สามารถบันทึกซ้ำ (Re - Record) ได้มากกว่าจำนวน 100,000 ครั้ง
- สามารถบันทึกข้อความที่ติดต่อกันได้นานถึง 20 วินาที
- การบันทึก (Record) และเล่นกลับ (Play Back) ทำได้ง่าย
- สามารถเชื่อมต่อ (interface) กับอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้
- ให้เสียงตอบสนองที่เป็นธรรมชาติ

จากคุณสมบัติต่างๆ ที่รวบรวมอยู่ในตัวไอซีเพียงตัวเดียว ทำให้ง่ายแก่การใช้งานตั้งแต่วงจรขยายสัญญาณจากไมโครโฟน จนถึงหน่วยจัดเก็บข้อมูลที่บันทึกและขับออกลำโพงที่ถูกรวบรวมไว้ในตัวไอซี เพียงตัวเดียว ในโหมดการบันทึกจะจัดเก็บข้อมูลต่างๆ ไว้ในหน่วยความจำที่เป็นเซลล์แบบไม่ต้องการแรงดันสำรองเพื่อรักษาข้อมูลไม่ให้อายุสั้น

### 2.7 ไฮบริดจ์ (Hybrids)

#### 2.7.1 ลักษณะโครงสร้างของไฮบริดจ์

ไฮบริดจ์เป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์เชื่อมโยงระหว่างชุมสายที่ต่างเขตกันหรือเรียกว่า วงจรทางไกล (Toll Circuit) ซึ่งอุปกรณ์เชื่อมโยงประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

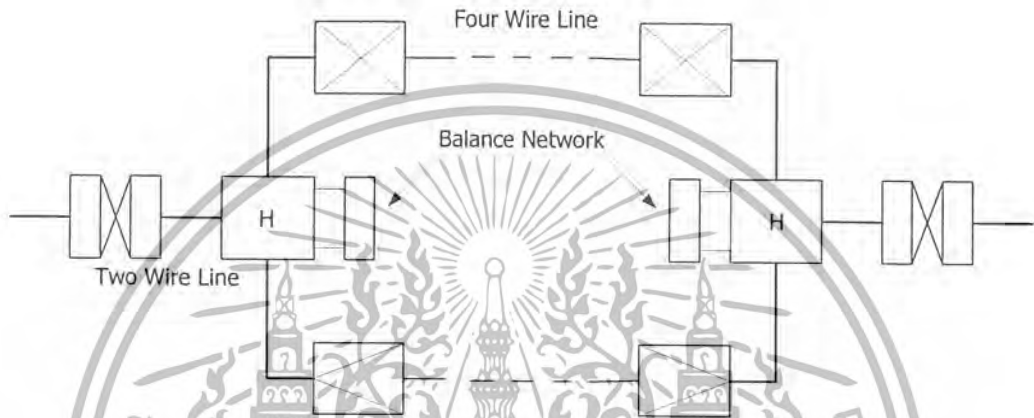
- วงจรไฮบริดจ์ (Hybrids Circuit)
- วงจรสมดุล (Balance Circuit)
- ขดลวดคดทอนสัญญาณ

หากพิจารณาถึงองค์ประกอบของข่ายสายโทรศัพท์ สามารถแบ่งเป็นส่วนใหญ่ๆ ได้ 2 ส่วนด้วยกันคือวงจรท้องถิ่น (Local Circuit or Local Exchange) และวงจรทางไกล จากรูปที่ 2.38 ชุมสาย A, B และ C ต่างก็อยู่ในเขตเดียวกันถูกเชื่อมต่อกันด้วย Local Line รวมเป็น 1 วงจรท้องถิ่นเช่นเดียวกับชุมสาย D และ E ต่างก็อยู่เขตเดียวกัน แต่จะต่างเขตกันกับชุมสาย A, B และ C ถ้าหากเชื่อมต่อ 2 เขตนี้เข้าด้วยกันเรียกส่วนที่เชื่อมต่อว่า วงจรทางไกลโดยมี Toll Line เป็นสายเชื่อมต่อ

ในการส่งสัญญาณภายในเขตเดียวกันหรือภายในชุมสายท้องถิ่น (Local Exchange) เดียวกัน โดยมากจะอาศัยการส่งสัญญาณเสียงโดยตรง ซึ่งสามารถใช้สายส่งเพียง 1 คู่สายเท่านั้น แต่ในการส่งสัญญาณทางไกล ระยะทางของในแต่ละชุมสายห่างกันมากดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยการส่งสัญญาณโดยการใช้พาหะเป็นตัวการนำสัญญาณเสียงไป โดยการผสมสัญญาณเสียงเข้ากับสัญญาณพาหะแล้วส่งเข้าสายส่งเพื่อให้ระยะทางในการรับส่งสัญญาณไกลมากขึ้นการสื่อสารด้วยโทรศัพท์ เป็นการสื่อสาร 2 ทางแบบฟูลดูเพล็กซ์ ดังนั้นการรับส่งสัญญาณโดยอาศัยคลื่นพาหะต้องใช้สัญญาณ 2 คู่เพื่อแยกการส่ง และรับสัญญาณออกจากกัน แต่อย่างไรก็ตามแต่ละชุมสายท้องถิ่น จะรับส่งสัญญาณจาก 1 คู่สายเท่านั้นเพื่อให้ชุมสายท้องถิ่น สามารถต่อกับวงจรทางไกลได้จึงต้องมีวงจรเปลี่ยนจาก 2 คู่สายให้เป็น 1 คู่สายขณะที่รับสัญญาณจากวงจรทางไกล และในขณะเดียวกันก็ต้องทำหน้าที่เปลี่ยนจาก 1 คู่สายให้เป็น 2 คู่สายด้วยในกรณี

ที่ส่งสัญญาณ ซึ่งวงจรดังกล่าวก็คือวงจรไฮบริดจ์นั่นเอง ท่านนั้น ไม่น่าจะอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของบาลานซ์เน็ตเวิร์ก (Balance Network) มีไว้สำหรับปรับกระแสในวงจรไฮบริดจ์อยู่ในภาวะสมดุลโดยปรับให้มีอิมพีแดนซ์ เท่ากับ Characteristic Impedance ของสายโทรศัพท์คือ 600 โอห์ม ผลที่เกิดจากบาลานซ์เน็ตเวิร์ก ไม่สมดุล คือการที่อิมพีแดนซ์ของวงจรบาลานซ์เน็ตเวิร์ก ไม่เท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายโทรศัพท์ทำให้เกิดไซด์โทน (Side Tone) หรือเสียงข้างเคียงลักษณะของไซด์โทนคือ ผู้พูดจะได้ยินเสียงตัวเองในหูฟังด้วย การแก้ไขก็ต้องปรับอิมพีแดนซ์ของบาลานซ์เน็ตเวิร์ก ให้เท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายโทรศัพท์



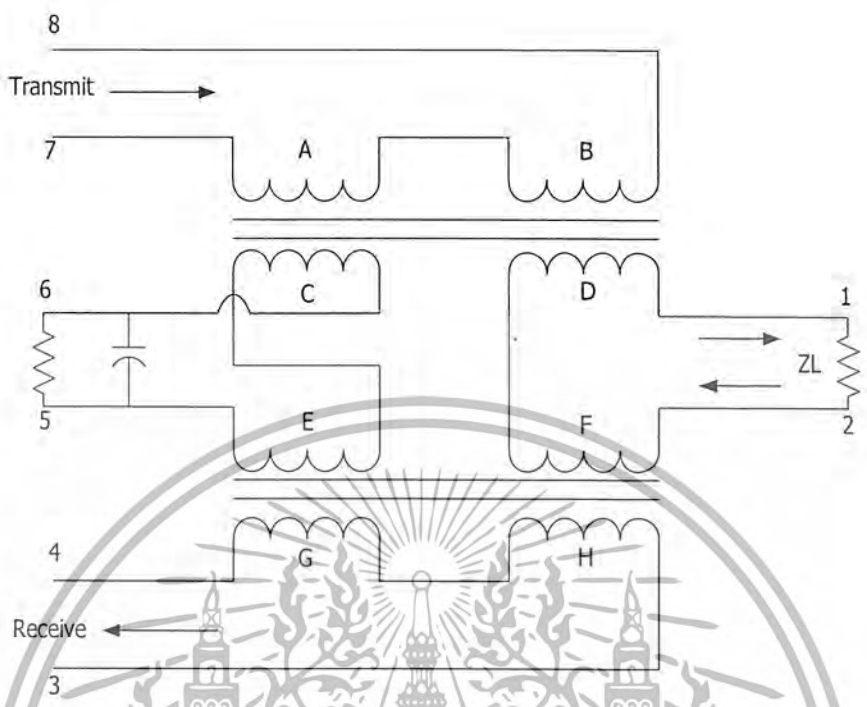
รูปที่ 2.38 แสดงการเชื่อมต่อของวงจรไฮบริดจ์

### 2.7.2 หลักการทำงานของ Hybrids Transformer

วงจรไฮบริดจ์ ประกอบด้วยหม้อแปลงแกนร่วม 2 ชุดคือ A, B, C, D และ E, F, G, H ดังแสดงในรูปที่ 2.39 ในตอนแรกสมมติให้มีสัญญาณเข้ามาทางขั้ว 7-8 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ส่งมาจากอีกชุมสายหนึ่ง กระแสไหลผ่านขดลวด B และขดลวด A ทำให้เกิดโวลต์เตจเหนี่ยวนำไปยังขดลวด D และ C ที่ขดลวด D กระแสที่เกิดจากโวลต์เตจเหนี่ยวนำของขดลวด B จะไหลไปยังเครื่องรับ สัญญาณที่ได้จะเหมือนสัญญาณที่เข้ามาทุกประการและ กระแสดังกล่าวจะไหลผ่านขดลวด F เกิดเป็นโวลต์เตจเหนี่ยวนำไปยังขดลวด H เกิดกระแสไหลในส่วนวงจรของ H แต่ขณะเดียวกันที่ขดลวด C จะเกิดกระแสด้วย เพราะโวลต์เตจเหนี่ยวนำจากขดลวด A กระแสไหลเข้าสู่ บาลานซ์เน็ตเวิร์ก และผ่านขดลวด E ด้วย ทำให้เกิดโวลต์เตจเหนี่ยวนำ มาที่ขดลวด G เกิดกระแสไหลในวงจรส่วนของ G ซึ่งขดลวด G และขดลวด H มีทิศทางตรงข้ามกัน กระแสจึงหักล้างกันหมดพอดีไม่มีกระแสไหลออกทางขั้ว 3-4

ในกรณีที่สัญญาณถูกส่งมาจากขั้ว 1-2 เมื่อไปยังเครื่องรับอีกสายหนึ่ง กระแสจะไหลผ่านขดลวด F กับ D ทำให้เกิดโวลต์เตจเหนี่ยวนำไปยัง B และ H เกิดกระแสไหล โดยกระแสจากขดลวด H จะไหลออกไปยังขั้ว 3 และไหลกลับเพื่อครบวงจรทางขั้ว 4 ผ่านขดลวด G เกิดโวลต์เตจเหนี่ยวนำไปยัง E ทำให้มีกระแสไหลในบาลานซ์เน็ตเวิร์ก และไหลผ่านขดลวด C เกิดโวลต์เตจเหนี่ยวนำไปยังขดลวด A และมีกระแสไหลที่ A ส่วนกระแสที่ B จะไหลไปยังขดลวด A จึงหักล้างกันหมดพอดีทำ

ให้ไม่มีกระแสไหลไปยังขั้ว 7-8



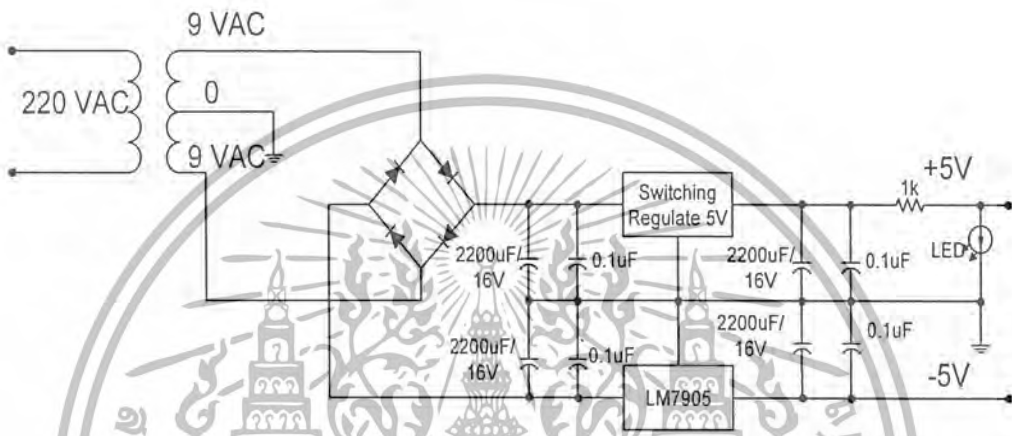
รูปที่ 2.39 แสดงโครงสร้างของ Hybrids Transformer

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

ในบทนี้จะเป็นเรื่องของการคำนวณและการสร้างวงจรขึ้นมา โดยอาศัยบล็อกไดอะแกรมที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 มาใช้ในการสร้างวงจร โดยในการสร้างวงจรจะทำให้ได้ใกล้เคียงกับทฤษฎีและผลการทำงานที่ต้องการมากที่สุด

3.1 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย (Power Supply)



รูปที่ 3.1 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

จากรูปเป็นวงจรในส่วนของเพาเวอร์ซัพพลาย ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับส่วนต่างๆ ของวงจรหม้อแปลงจะแปลงแรงดันจาก 220 โวลต์เป็นแรงดัน 9 โวลต์ผ่านไดโอดบริดจ์ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ +12 โวลต์และ -12 โวลต์ จากนั้นแรงดันทางด้านบวก ได้ใช้โมดูลสวิทซ์ซึ่งเรกกูเลตได้เอาต์พุตเป็นแรงดัน +5 โวลต์ ทางด้านแรงดันลบใช้ไอซีเรกกูเลต 7905 ได้เอาต์พุตเป็นแรงดัน -5 โวลต์

3.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

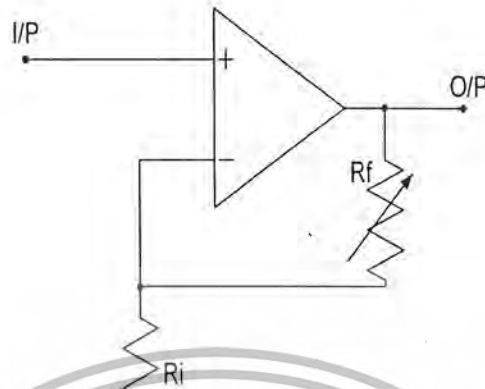
เนื่องจากการรับ/ส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุสัญญาณจะต้องผ่านการมอดคูเลตและดีมอดคูเลต ดังนั้นความแรงของสัญญาณอาจจะไม่เพียงพอกับความถี่ที่ต้องการ จึงต้องมีวงจรขยายสัญญาณเข้ามาช่วย ในการออกแบบได้เลือกใช้วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสเพราะสามารถปรับอัตราขยายเป็น 1 เพื่อใช้เป็นบัฟเฟอร์ได้ โดยเลือกใช้ออปแอมป์ LF 351 สามารถคำนวณหาอัตราขยายได้จาก

$$A_{v(max)} = 1 + \frac{R_f}{R_i} \tag{3.1}$$

เลือกใช้  $R_f = 50 \text{ k}\Omega$  เป็นชนิดปรับค่าได้

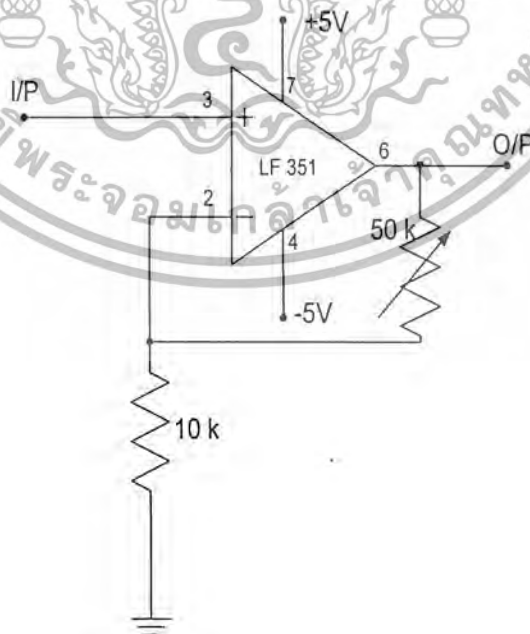
$R_i = 10 \text{ k}\Omega$  เป็นชนิดค่าคงที่

ตั้งนั้นจากวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส



รูปที่ 3.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

โดยที่  $R_f = 50\text{ k}\Omega$  และ  $R_i = 10\text{ k}\Omega$  ตั้งนั้นจากสมการที่ 3.1 จะได้วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสที่มีอัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 6 เท่า



รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสที่ออกแบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

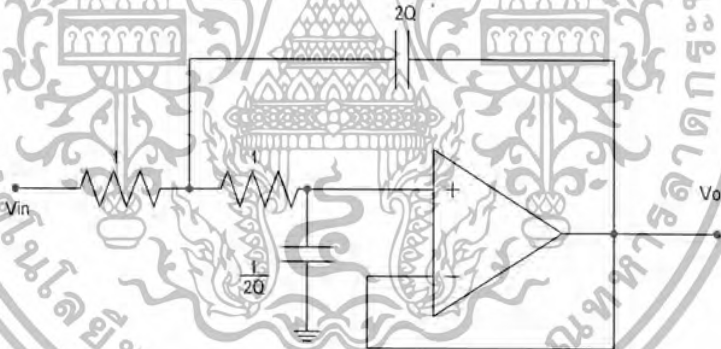
3.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ทชนิดเอกที่พ้อันดับ 8 ความถี่ค้ทอพอ 5 กิโลเฮิรตซ์ (Active Lowpass Filter)

ทำการออกแบบเป็นวงจกรองความถี่แบบบัตเตอร์เวิร์ทชนิดเอกที่พ้อันดับ 8 และมีความถี่ค้ทอพอ 5 กิโลเฮิรตซ์ โดยค่า Q ของวงจกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ทที่พ้อันดับต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่า Q ของวงจกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ทที่พ้อันดับต่างๆ

Even-Order	2	4	6	8	10	Odd-Order	3	5	7	9	11
Q1	0.71	0.54	0.52	0.51	0.51	Q1	1.00	0.62	0.55	0.53	0.52
Q2		1.31	0.71	0.6	0.56	Q2		1.62	0.8	0.56	0.59
Q3			1.93	0.9	0.71	Q3			2.24	1	0.76
Q4				2.56	1.1	Q4				2.88	1.2
Q5					3.2	Q5					3.51

เลือกใช่วงจกรองความถี่ต่ำผ่านที่มีอัตราขยายเป็น 1 แบบแชนเส้นแอนดคีถ์ที่มีการนอม่ลโศษค่าความถี่ไว้ที่ 1 เรเดียน/วินาที และค่าอินพีแดนซ์ที่ 1 โอห์มมีวงจรถนแบบเป็นดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรถนแบบของวงจกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ แชนเส้นแอนดคีถ์

เมื่อ

$$C1 = 2Q$$

$$C2 = 1/2Q \tag{3.2}$$

เมื่อทำการคำนวณค่า C จากค่า Q ตามตารางที่ 3.1 แล้วทำการสเกลความถี่และสเกลค่าอินพีแดนซ์ไปเป็นค่าที่ใช้งานจริงตามความถี่ที่ต้องการได้โดยใช้สมการดังนี้

$$R_{new} = R_{old} R_m \tag{3.3}$$

$$C_{new} = \frac{C_{old}}{2\pi f_c R_m} \tag{3.4}$$

เมื่อ  $f_c$  คือความถี่คัทออฟ และ  $R_m$  คือความต้านทานที่ต้องการเปลี่ยนค่าไปจากเดิมเป็นจำนวนเท่า  
วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟฟิลเตอร์อันดับ 8 มีค่า  $Q$  ทั้งหมด 4 ค่า ซึ่งมีการคำนวณดังนี้

ที่  $Q_1 = 0.51$  จะได้  $R = 1\Omega$

$$C_1 = 2Q = 2(0.51) = 1.02$$

$$C_2 = 1/2Q = 1/2 (0.51) = 0.98$$

ที่  $Q_2 = 0.60$  จะได้  $R = 1\Omega$

$$C_1 = 2Q = 2(0.60) = 1.20$$

$$C_2 = 1/2Q = 1/2 (0.60) = 0.83$$

ที่  $Q_3 = 0.90$  จะได้  $R = 1\Omega$

$$C_1 = 2Q = 2(0.90) = 1.80$$

$$C_2 = 1/2Q = 1/2(0.90) = 0.56$$

ที่  $Q_4 = 2.56$  จะได้  $R = 1\Omega$

$$C_1 = 2Q = 2(2.56) = 5.12$$

$$C_2 = 1/2Q = 1/2(2.56) = 0.195$$

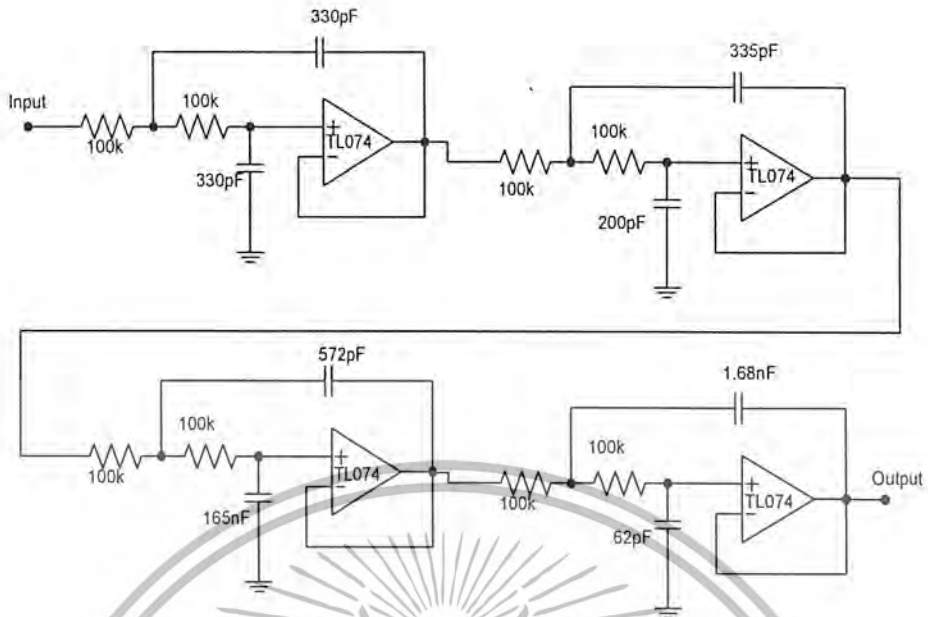
เมื่อกำหนดค่า  $R_m = 100\text{ k}\Omega$

และนำค่าที่ได้ไปแทนในสมการ 3.3 และ 3.4 จะได้ผลตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ความถี่คัทออฟ 5 กิโลเฮิร์ตซ์

ความถี่		$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$
5 kHz	$R_1=R_2$	$100\text{ k}\Omega$	$100\text{ k}\Omega$	$100\text{ k}\Omega$	$100\text{ k}\Omega$
	$C_{1\text{new}}$	324pF	382pF	572.9pF	1.62nF
	$C_{2\text{new}}$	312pF	265pF	172pF	62pF

เมื่อนำค่าต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณทำการสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านของแต่ละชุดจะได้วงจร  
ในแต่ละชุดดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอคทีฟที่ความถี่คutoff 5 กิโลเฮิรตซ์ที่ออกแบบได้

3.4 ส่วนของการรับ/ส่ง สัญญาณโดยใช้ RF MODULE

ในโครงการนี้จะต้องมีการเชื่อมโยงสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุแบบพูลดูเพล็กซ์ในการออกแบบได้นำเอาโมดูลทรานซีฟเวอร์ของ PHILIPS CT918B และ CT918H ซึ่งเป็นโมดูลที่ทำหน้าที่รับ/ส่งสัญญาณแบบเอฟเอ็มแบนด์แคบ (FM Narrow Band) ในย่านความถี่ 900 MHz

คุณสมบัติของ RF MODULE

ความถี่ใช้งาน

CT-918B	TX	928-929 MHz
	RX	883-884 MHz
CT-918H	TX	883-884 MHz
	RX	928-929 MHz

B/W ของ 1 ช่องสัญญาณ 5 KHz, 10 KHz, 20 KHz, 25 KHz ขึ้นอยู่กับการโปรแกรมของค่า REF (Reference Divider Coefficient)

กำลังส่ง 10 dBm

ลักษณะการผสมสัญญาณ แบบเอฟเอ็มแบนด์แคบ

ไฟเลี้ยง 3.7V-5.5V DC

ความถี่ IF 1<sup>st</sup> 26.05 MHz

ความถี่ IF 2<sup>nd</sup> 450 KHz

วงจรหาร N (Main Divider Coefficient) ของทั้งภาครับ/ส่งเริ่มจาก 1024 ถึง 131071 (ต้องแปลงเป็น Binary 17 บิต)

ความถี่ฐานเวลา 12.8 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

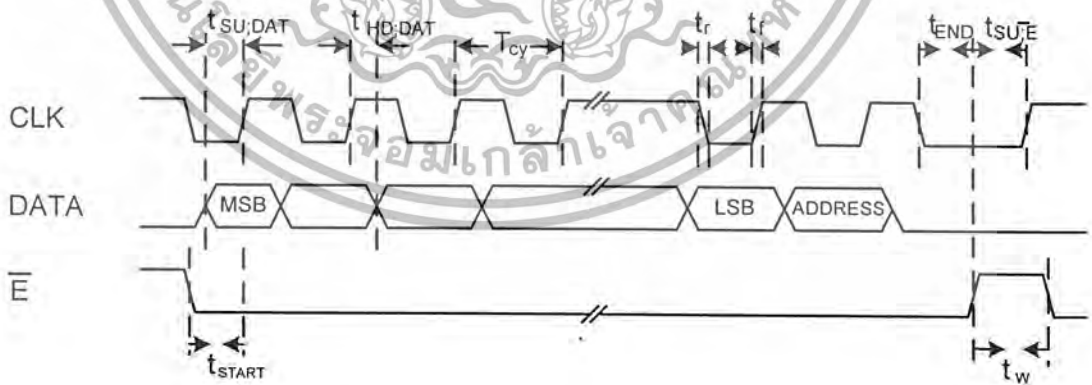
### รายละเอียดตำแหน่งขาของ RF MODULE

PIN	NAME	รายละเอียด
1	PA	เป็นขาที่ใช้ควบคุมภาค PA (low = on , high = off)
2	AF-TX	เป็นขาอินพุต
3	LCK	เป็นขาแสดงสถานะของเฟสล็อกคูลรูป เมื่อความถี่ล็อก (high = lock)
4	TX-ON	เป็นขาควบคุมการทำงานของภาคส่ง (low = on , high = off)
5	ENB	เป็นขาที่ใช้ในการโปรแกรมค่าหาร N,REF (ตาม Timing Diagram)
6	CLK	เป็นขาที่ใช้ในการโปรแกรมค่าหาร N,REF (ตาม Timing Diagram)
7	DATA	เป็นขาที่ใช้ในการโปรแกรมค่าหาร N,REF (ตาม Timing Diagram)
8	+VCC	เพาเวอร์ซัพพลายอินพุต
9	RX-ON	เป็นขาควบคุมการทำงานของภาครับ (low = off , high = on)
10	GND	กราวด์
11	AF-RX	เป็นขาเอาต์พุต
12	RSSI	เป็นขาแสดงความแรงของสัญญาณที่รับได้

### การคำนวณค่า N และ REF

ภายในโมดูลจะใช้การคำนวณและการโปรแกรมตามรูปแบบของไอซีตั้งตระกูลความถี่เบอร์ UMA1015M ของบริษัท 필ิปส์

ในการโปรแกรมค่าต่างๆจะเป็นไปในลักษณะของการส่งขบวนพัลส์เข้าไปซึ่งมี Timing Diagram ดังนี้



รูปที่ 3.8 แสดง Timing Diagram ที่ใช้ในการโปรแกรมค่า N และ REF

และรูปแบบข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงรูปแบบข้อมูลที่ใช้ในการโปรแกรม

FIRST		REGISTER BIT ALLOCATION																			LAST
p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	p17	p18	p19	p20	p21	
DATA																	ADDRESS				
X	X	V DON	P0	OLA	OLB	CRA	CRB	X	X	sPDA	sPDB	P3	P2	P1	X	X	0	0	0	1	
MA16	SYNTHESIZER A MAIN DIVIDER COEFFICIENT															MA0	0	1	0	0	
0	0	0	0	SR	R11	REFERENCE DIVIDER COEFFICIENT										R0	0	1	0	1	
MA16	SYNTHESIZER B MAIN DIVIDER COEFFICIENT															MB0	0	1	1	0	

จาก Timing Diagram และตารางรูปแบบข้อมูล ลักษณะการเขียนโปรแกรม จะเป็นแบบการส่ง ขบวนพัลส์ ทั้งหมด 4 ชุด ชุดละ 21 บิต โดยแต่ละชุดเมื่อส่งครบ 21 บิต จะต้องส่งพัลส์เข้าขา ENB 1 ลูก ซึ่งพัลส์แต่ละลูกจะถูกเก็บเข้ารีจิสเตอร์ขณะขอบขาขึ้นของสัญญาณ CLK

รายละเอียดบิตข้อมูลตามตารางที่ 3.3

การโปรแกรมเริ่มจาก MSB ก่อน (บิต p1)

sPDA,sPDB Software Power Down for Synthesizer A and B (0=Power Down)

P3,P2,P1,P0 Output bit (1= High Impedance)

V DON Voltage Doubler Enable (1= Enable)

OLA,OLB Out of Lock Synthesizer A and B (ดูตารางที่ 3.4)

CRA,CRB Charge Pump A/B Current to I<sub>ser</sub> Ratio Select (ดูตารางที่ 3.5)

SR Referent Frequency Ratio Select (ดูตารางที่ 3.6)

SYNTHESIZER A MAIN DIVIDER COEFFICIENT

เป็นค่า N ของภาครับ 17 บิต

SYNTHESIZER A MAIN DIVIDER COEFFICIENT

เป็นค่า N ของภาคส่ง 17 บิต

REFERENCE DIVIDER COEFFICIENT

เป็นค่า REF ของโมดูล 12 บิต

ตารางที่ 3.4 ตารางการเลือกค่า บิต OLA,OLB

OLA	OLB	OUT PUT TO PIN LCK
0	0	P0
0	1	Lock status of synthesizer B
1	0	Lock status of synthesizer A
1	1	Lock status of synthesizer A and B

ตารางที่ 3.5 ตารางการเลือกค่า บิต CRA,CRB

CRA,CRB	CURRENT AT PUMP
0	$I_{cp} = 12 \times I_{set}$
1	$I_{cp} = 24 \times I_{set}$

ตารางที่ 3.6 ตารางการเลือกค่า บิต SR

SR	SYNTHESIZER A	SYNTHESIZER B
0	R	R
1	R	2R

## 3.5 การหาค่า Main divider coefficient และ Reference divider coefficient

- ภาดส่ง ( $F_{TX}$ )

$$N_{ref} = \frac{F_{ref}}{F_{st}} \quad ; \text{สำหรับโมดูล 918B และ 918H} \quad (3.5)$$

โดยที่  $N_{ref}$  คือ Reference divider coefficient $F_{ref}$  คือ ความถี่อ้างอิง (Reference frequency) = 12.8 เมกกะเฮิร์ตซ์ $F_{st}$  คือ ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ (Channel spacing)

$$N_{tx} = \frac{F_{tx}}{F_{st}} \quad ; \text{สำหรับโมดูล 918B และ 918H} \quad (3.6)$$

โดยที่  $N_{tx}$  คือ Main divider coefficient ของภาดส่ง $F_{tx}$  คือ ความถี่ที่ต้องการส่ง- ภากรับ ( $F_{RX}$ )

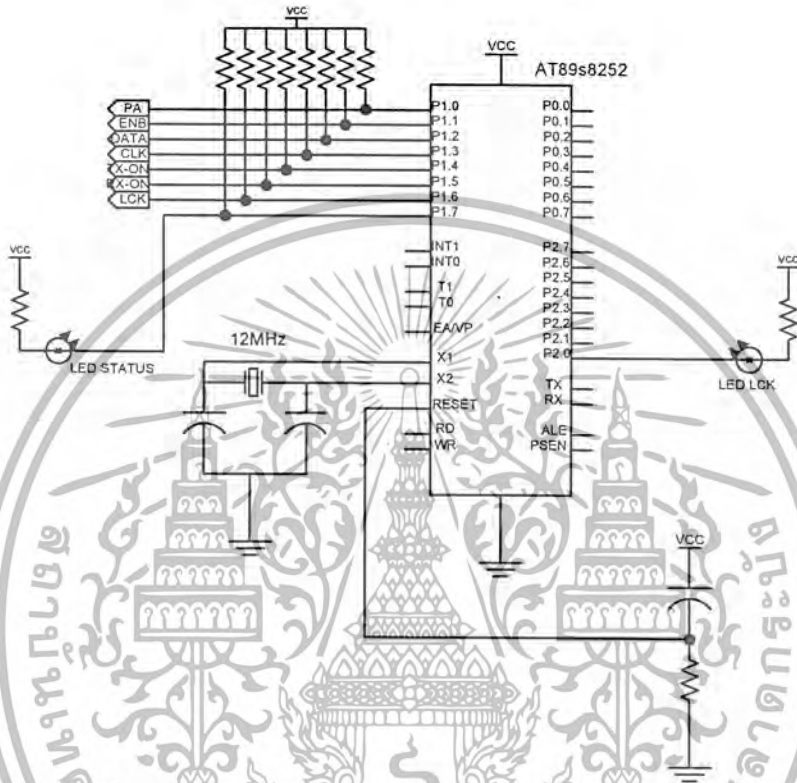
$$N_{rx} = \frac{F_{rx} - F_{if}}{F_{st}} \quad ; \text{สำหรับโมดูล 918B} \quad (3.7)$$

$$N_{rx} = \frac{F_{rx} + F_{if}}{F_{st}} \quad ; \text{สำหรับโมดูล 918H} \quad (3.7)$$

โดยที่  $N_{rx}$  คือ Main divider coefficient ของภากรับ $F_{rx}$  คือ ความถี่ที่ต้องการรับ $F_{if}$  คือ ความถี่ไอเอฟสเตจที่หนึ่ง = 26.05 เมกกะเฮิร์ตซ์

3.6 วงจรในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

วงจรส่วนนี้เป็นการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาทำหน้าที่โปรแกรมค่า Main Divider และ Reference Divider ของไอซีสังเคราะห์ความถี่ เพื่อกำหนดความถี่และแบนด์วิดท์ที่ต้องการใช้ในการรับ/ส่ง



รูปที่ 3.9 วงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้โปรแกรมค่า N และ REF

จากวงจรได้ใช้พอร์ต 1 ทั้งพอร์ตเป็นตัวโปรแกรมค่า REF และค่า N พร้อมทั้งกำหนดคอนฟิกูเรชัน (Configuration) ของโมดูล ดังนั้นตามรายละเอียดที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นสามารถคำนวณค่าต่างๆ ดังนี้

การคำนวณค่าของโมดูล CT918B

ความถี่ที่ใช้ส่ง 928 MHz

ความถี่ที่รับ 883 MHz

Channel Space 25 KHz

จากสมการที่ 3.5 จะได้

$$REF = \frac{12.8MHz}{25KHz} = 512$$

แปลงเป็นเลขฐานสอง = 0010 0000 0000

จากสมการที่ 3.6 จะได้

$$N_{TX} = \frac{928MHz}{25KHz} = 37120$$

แปลงเป็นเลขฐานสอง = 0.1001 0001 0000 0000

จากสมการที่ 3.7 จะได้

$$N_{RX} = \frac{883MHz - 26.05MHz}{25KHz} = 34278$$

แปลงเป็นเลขฐานสองได้ = 0 1000 0101 1110 0110

ดังนั้นจากตารางที่ 3.3 ได้ค่าที่ใช้โปรแกรมสำหรับโมดูล CT918B ดังนี้

REF = 0010 0000 0000

Synthesizer A Main divider coefficient (RX) = 0 1000 0101 1110 0110

Synthesizer B Main divider coefficient (TX) = 0 1001 0001 0000 0000

#### การคำนวณค่าของโมดูล CT918H

ความถี่ที่ใช้ส่ง 883 MHz

ความถี่ที่รับ 928 MHz

Channel Space 25 KHz

จากสมการที่ 3.5 จะได้

$$REF = \frac{12.8MHz}{25KHz} = 512$$

แปลงเป็นเลขฐานสอง = 0010 0000 0000

จากสมการที่ 3.6 จะได้

$$N_{TX} = \frac{883MHz}{25KHz} = 35320$$

แปลงเป็นเลขฐานสอง = 0 1000 1001 1111 1000

จากสมการที่ 3.7 จะได้

$$N_{RX} = \frac{928MHz + 26.05MHz}{25KHz} = 38162$$

แปลงเป็นเลขฐานสองได้ = 0 1001 0101 0001 0010

ดังนั้นจากตารางที่ 3.3 ได้ค่าที่ใช้โปรแกรมสำหรับโมดูล CT918H ดังนี้

REF = 0010 0000 0000

Synthesizer A Main divider coefficient (RX) = 0 1001 0101 0001 0010

Synthesizer B Main divider coefficient (TX) = 0 1000 1001 1111 1000

ทำการตั้งค่าต่างผ่านพอร์ต 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งโมดูล CT918B และ CT918H ดังนี้

- พอร์ต 1.0 ต่อเข้าขา PA ทำการเซ็ตบิตเป็น 0
- พอร์ต 1.1 ต่อเข้าขา ENB ใช้โปรแกรมค่า N และ REF
- พอร์ต 1.2 ต่อเข้าขา DATA ใช้โปรแกรมค่า N และ REF
- พอร์ต 1.3 ต่อเข้าขา CLK ใช้โปรแกรมค่า N และ REF
- พอร์ต 1.4 ต่อเข้าขา TX-ON ทำการเซ็ตบิตเป็น 0
- พอร์ต 1.5 ต่อเข้าขา RX-ON ทำการเซ็ตบิตเป็น 1
- พอร์ต 1.6 ต่อเข้าขา LCK เพื่อใช้ตรวจสอบการล๊อคของไอซีสังเคราะห์ความถี่
- พอร์ต 1.7 ใช้เป็น LED แสดงผลการตรวจสอบการล๊อคความถี่ของไอซีสังเคราะห์ความถี่โดยแสดงผลเป็นการกระพริบโดยผ่านการเขียนโปรแกรม
- พอร์ต 2.0 ใช้เป็น LED แสดงผลว่ากรโปรแกรมค่า REF และค่า N แล้วไอซีสังเคราะห์ความถี่ล๊อคหรือไม่ หากล๊อค LED จะสว่างค้าง

เนื่องจากคุณสมบัติของโมดูลที่กล่าวไปแล้วลักษณะของโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาจะเริ่มการทำงานจากการตั้งค่าการทำงานของโมดูล จากนั้นก็จะเริ่มส่งพัลส์เพื่อโปรแกรมเมื่อส่งพัลส์หมดแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบขา LCK ว่ามีสถานะเป็น High หรือเปล่า หากไม่ใช่ก็จะโปรแกรมใหม่ซึ่งแสดงการตรวจสอบโดยสังเกตจาก LED STATUS จะมีการกระพริบและ หากโมดูลล๊อคความถี่แล้ว LED LCK จะสว่างค้าง

สำหรับส่วนนี้ เป็นโครงสร้างและการออกแบบวงจรโทรศัพท์ทางไกลผ่านคลื่นวิทยุซึ่งประกอบด้วย ส่วนวงจรชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ, ส่วนเชื่อมต่อวิทยุกับชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติกับเครื่องโทรศัพท์, ส่วนเชื่อมต่อวิทยุกับเครื่องโทรศัพท์ปลายทาง โดยแต่ละส่วนมีหลักการการทำงานและการออกแบบดังต่อไปนี้

### 3.7 โครงสร้างชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ

ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติมีหน้าที่หลักๆ คือ จะทำการรับสายอัตโนมัติเมื่อมีสัญญาณเรียกจากภายนอกเข้ามา แล้วทำการเชื่อมต่อระหว่างคู่สายโทรศัพท์ภายนอกเข้ากับคู่สายโทรศัพท์ภายใน และจะทำการเชื่อมต่อคู่สายโทรศัพท์ภายในกับคู่สายโทรศัพท์ภายในเข้าด้วยกัน หากมีความต้องการที่จะติดต่อซึ่งกันและกัน ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างและหลักการการทำงานทั้งหมดได้ดังรูปที่ 3.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมของชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ สามารถแบ่งเป็นภาคต่างๆ ได้ดังนี้

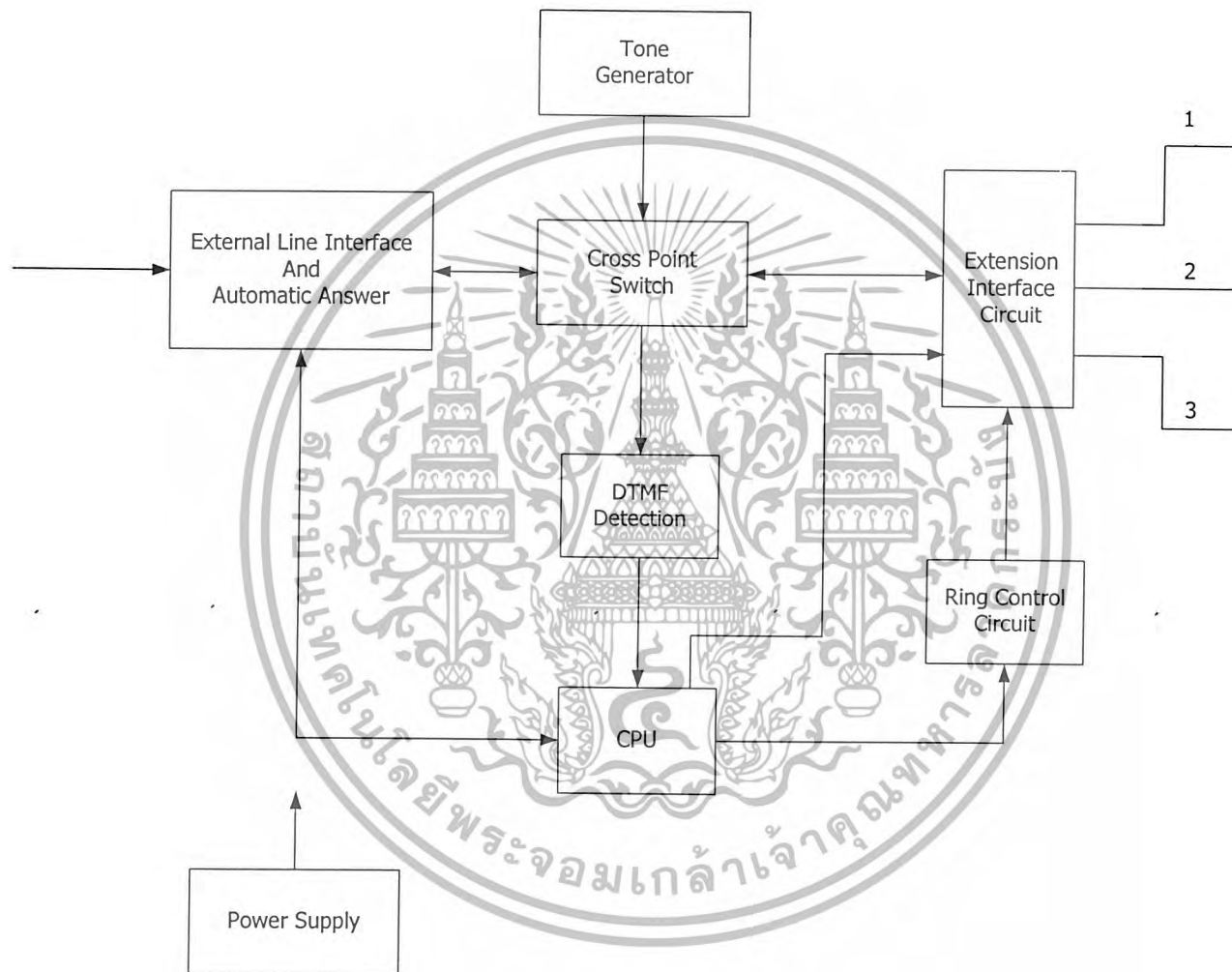
1. External Line Interface And Automatic Answer Circuit
2. Tone Generator Circuit
3. Ringing Control Circuit
4. DTMF Decoder Circuit
5. Cross Point Switch Circuit
6. Extension Interface Circuit
7. Power Supply Circuit
8. Control Circuit

#### 3.7.1 ภาค External Line Interface And Automatic Answer Circuit

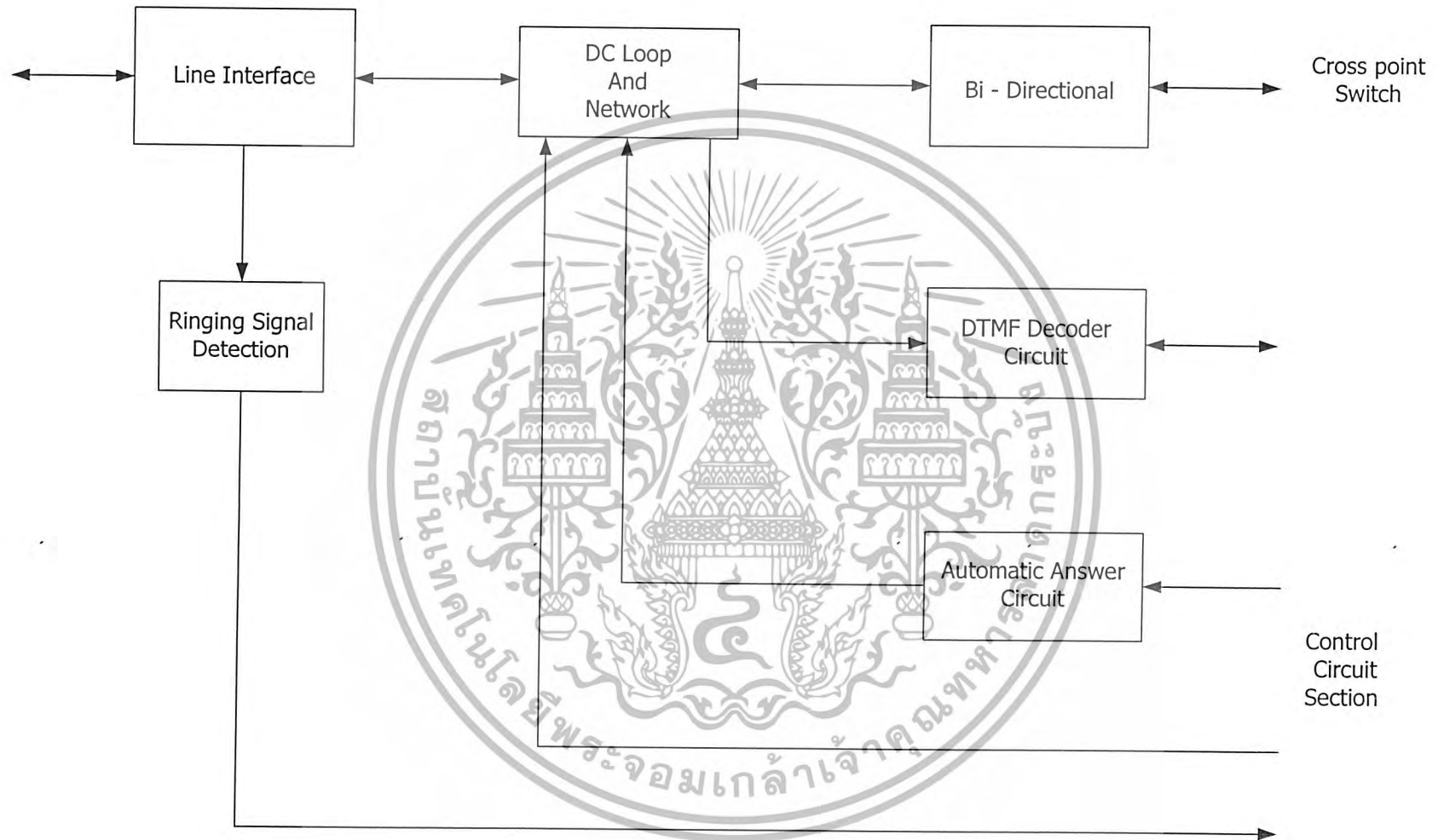
ภาคนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อกับระบบกับคู่สายขององค์การโทรศัพท์ โดยการปรับอิมพีแดนซ์ของวงจรให้มีสภาพเหมือนกับการยกหูและการวางหู โดยใช้หลักการทางโทรศัพท์ คือ ในสถานะสายว่าง คู่สายโทรศัพท์จะมีแรงดันประมาณ 48 โวลต์ ซึ่งส่งมาจากชุมสายโทรศัพท์จ่ายให้แก่เครื่องรับโทรศัพท์ และมีผู้เรียกเข้ามา ชุมสายโทรศัพท์จะส่งสัญญาณกระดิ่ง เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับประมาณ 70 Vrms 25 เฮิรตซ์ เป็นเวลา 1 วินาที หยุด 4 วินาที มายังเครื่องรับโทรศัพท์ทำให้ฝ่ายผู้ถูกเรียกได้ยินสัญญาณกระดิ่ง และเมื่อทำการยกหูโทรศัพท์เพื่อรับสาย ชุมสายโทรศัพท์จะทำการต่อคู่สายเข้ากับวงจรภายในที่มีความต้านทานกระแสคงที่ ทำให้เกิดการครบวงจรขึ้น และแรงดัน 48 โวลต์ จะลดลงเหลือประมาณ 6-10 โวลต์ ซึ่งภาค External Line Interface And Automatic Answer Circuit นี้ สามารถแบ่งย่อยได้ดังรูปที่ 3.11

##### 3.7.1.1 ภาค Line Interface & DC Loop & Network Circuit

ส่วนนี้จะทำหน้าที่ปรับอิมพีแดนซ์ของระบบให้เท่ากับอิมพีแดนซ์ของคู่สายโทรศัพท์เป็นวงจรยกหูอัตโนมัติ และปรับแรงดันกระแสให้มีค่าคงที่ (25 mA) เสมือนกับการยกหูโทรศัพท์ในการติดต่อปกติ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม ซึ่งการปรับอิมพีแดนซ์ใช้ทรานฟอเมอร์เป็นตัวคัปปลิงสัญญาณเพื่อรักษาอิมพีแดนซ์ให้เท่ากับ 600 โอห์ม



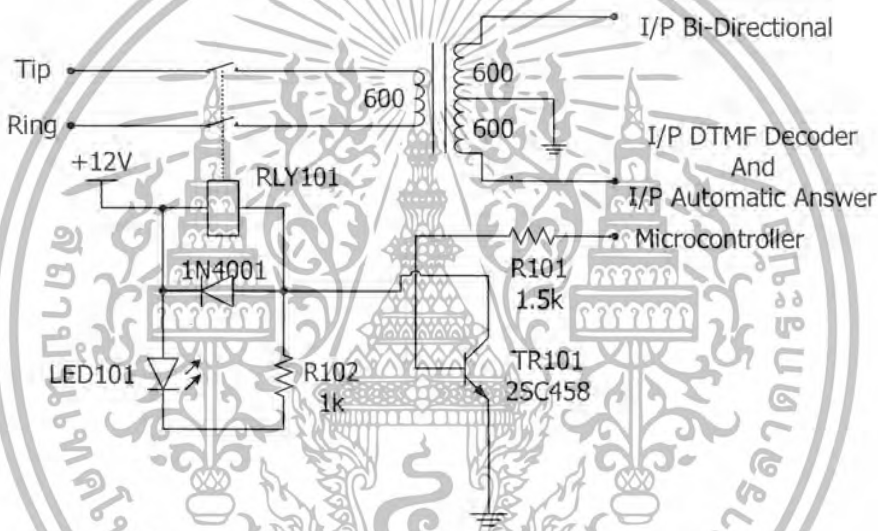
รูปที่ 3.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมโครงสร้างตู้ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ



รูปที่ 3.11 แสดงบล็อกไดอะแกรมภาค External Line Interface and Answer Circuit

หลักการการทำงานของวงจร

วงจรภาค Line Interface & DC Loop & Network Circuit แสดงดังรูปที่ 3.12 สัญญาณจากคู่สายโทรศัพท์ภายนอกต่อกับ BD101 ซึ่งทำหน้าที่จัดชั่วแรงดันไฟตรงจากชุมสายโทรศัพท์ให้ถูกต้องเพื่อป้องกันการต่อสลับขั้วของคู่สาย ในสถานะที่ไม่มีการใช้งาน รีเลย์จะอยู่ในสถานะออฟ ทำให้เมื่อมองเข้ามาจากคู่สายภายนอกมีอิมพีแดนซ์สูง เสมือนกับสถานะวางหู แต่เมื่อมีการโทรเข้ามาหรือมีการยกหูเพื่อโทรออก ภาค Control Circuit จะส่งสัญญาณลอจิก “1” ไปอัสให้ขา เบสของทรานซิสเตอร์ ส่งผลให้กระแสไหลจาก ขาอิมิตเตอร์ไปยังขาคอลเลคเตอร์ได้ รีเลย์ทำการต่อคู่สายเข้ากับหม้อแปลงอิมพีแดนซ์ 600 โอห์ม ทำให้เป็นสถานะยกหู ที่เอาต์พุตของหม้อแปลงชุดแรกจะถูกต่อเข้ากับวงจร Bi-Directional Amplifier อีกชุดต่ออยู่กับวงจรตอบรับอัตโนมัติและวงจรถอดรหัสสัญญาณ เพื่อทำการถอดรหัสสัญญาณเลขหมายภายในที่คู่สายภายนอกต้องการติดต่อด้วย



รูปที่ 3.12 แสดงวงจร Line Interface & DC Loop & Network Circuit

3.7.1.2 ภาค Bi-Directional Amplifier Circuit

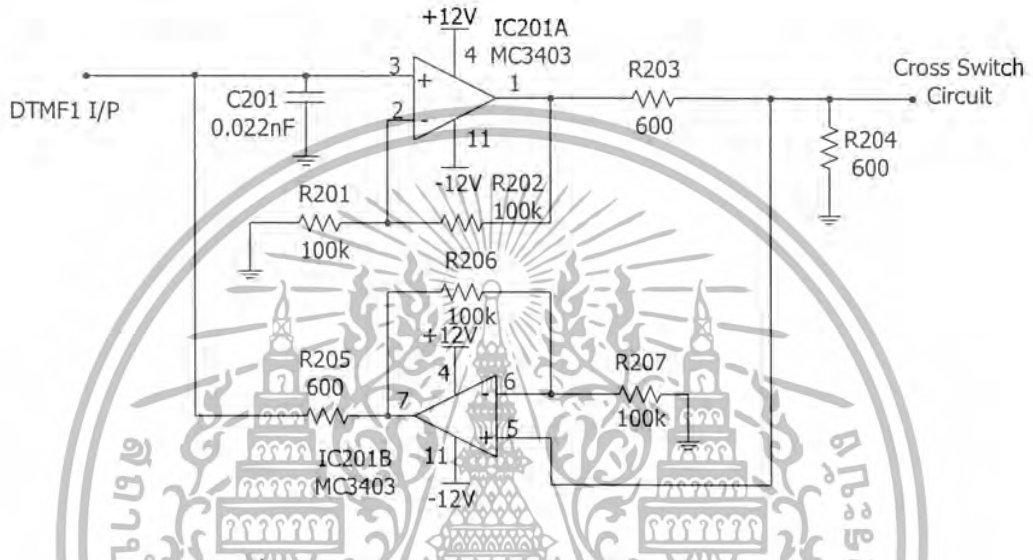
ส่วนนี้เป็นวงจรขยายสัญญาณ 2 ทิศทางโดยใช้สายส่งสัญญาณเพียงคู่เดียวสามารถขยายสัญญาณได้ทั้งทางด้านส่งและด้านรับโดยใช้อปแอมป์เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณแบบนอนอินเวอร์ตึง

หลักการการทำงานของวงจร

วงจรภาค Bi-Directional Amplifier แสดงดังรูปที่ 3.13 ประกอบด้วย ออปแอมป์ 2 ตัว แต่ละตัวจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่เข้ามาทางอินพุตแบบนอนอินเวอร์ตึง ซึ่งสามารถคำนวณ อัตราการขยาย (A) ได้จาก

$$A = 1 + R2/R1$$

ออกแบบวงจรขยายให้มีอัตราขยายเท่ากับ 2 เท่า เพราะฉะนั้นเลือกใช้  $R_1 = R_2 = 100\text{ k}\Omega$  สัญญาณที่ออกมาจากเอาต์พุตของภาค External Line Interface จะเข้ามาเป็นอินพุต IC201A (MC3403) เพื่อทำการขยายและส่งไปยังภาค Cross Point Switch จะเข้ามาเป็นอินพุตของ IC201B เพื่อทำการขยายและส่งไปยังภาค External Line Interface ในการออกแบบเพื่อให้อุปกรณ์เกิดการแมทช์ระหว่างภาคส่งและภาครับจะออกแบบใช้เอาต์พุตของออปแอมป์แต่ละตัวมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 600 โอห์ม ซึ่งจะมีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ของทรานฟอร์มเมอร์

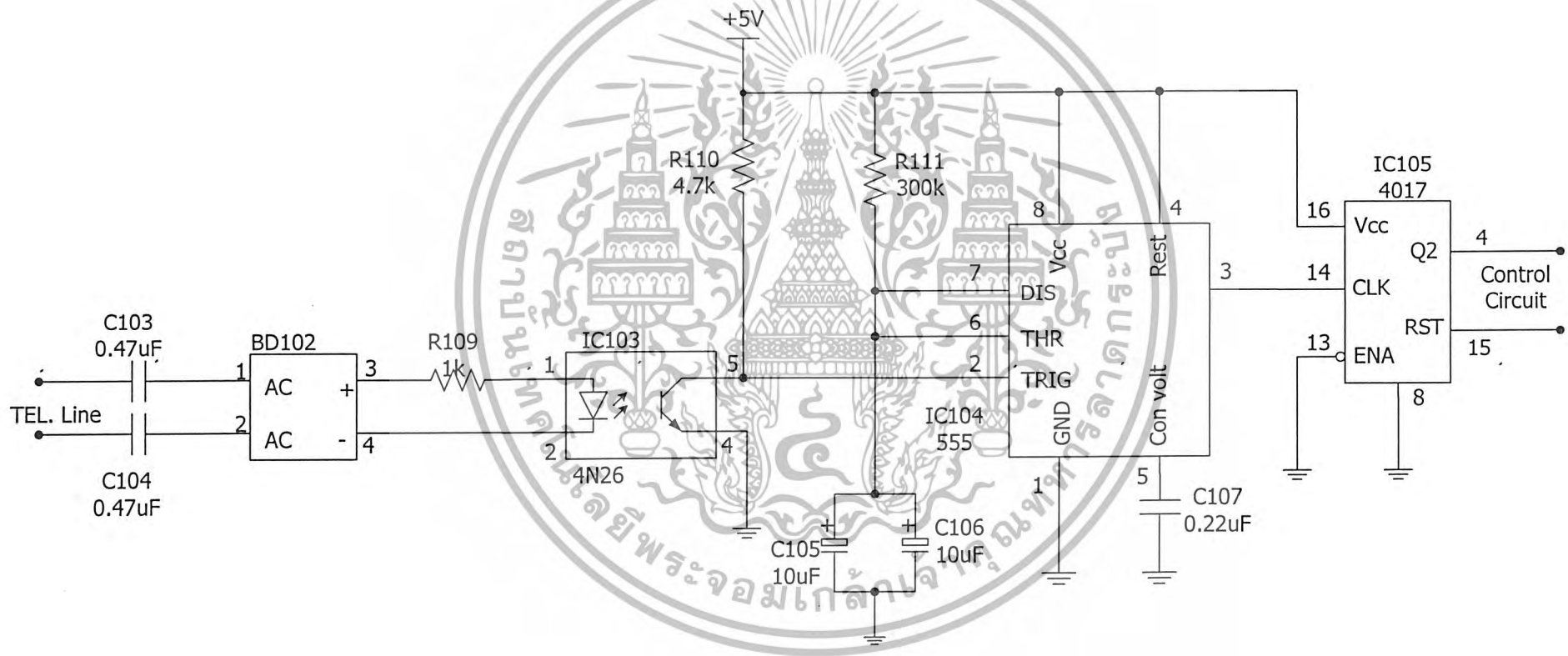


รูปที่ 3.13 แสดงวงจร Bi-Directional Amplifier Circuit

### 3.7.1.3 ภาค Ringing Signal Detector Circuit

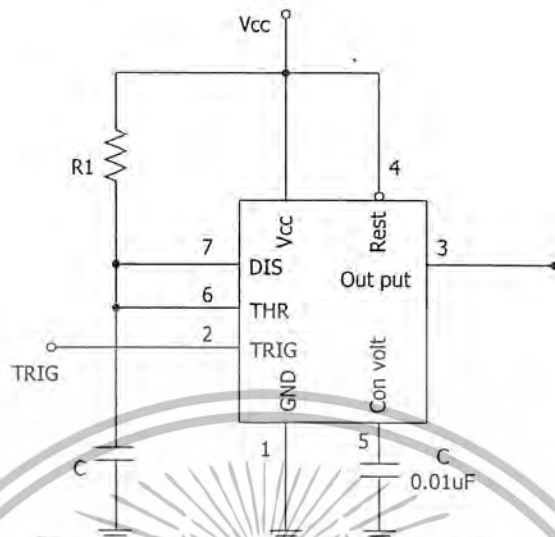
ส่วนนี้จะทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณกระดิ่งซึ่งส่งมาจากชุมสายโทรศัพท์เมื่อมีการเรียกเข้ามา หลักการทำงานของวงจร

วงจรตรวจจับสัญญาณกระดิ่ง แสดงดังรูปที่ 3.14 เมื่อมีการเรียกเข้ามา ชุมสายโทรศัพท์จะส่งสัญญาณกระดิ่ง เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 25 เฮิรตซ์ 70 Vrms ส่ง 1 วินาที หยุด 4 วินาที สัญญาณกระดิ่งจะผ่านวงจร ถ่ายทอดสัญญาณกระดิ่งประกอบด้วย C103 กับ C104 โดยยอมให้สัญญาณกระแสสลับไหลผ่านได้เท่านั้น จากนั้น BD102 จะทำการเรกติไฟายเป็นสัญญาณพัลสเวฟ 50 เฮิรตซ์ และลดระดับด้วย R109 เพื่อให้ได้แรงดันที่เหมาะสมจ่ายให้ขา 1 ของ IC103 (4N26) ทำให้แรงดันที่ขา 5 ของ IC103 เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นระดับแรงดันต่ำไปทริกขา 2 ของ IC104 (555) ซึ่งเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณแบบโมโนสเตเบิลมีสติไวเบเรเตอร์ ให้ทำงาน



รูปที่ 3.14 แสดงวงจร Ringing Signal Detector Circuit

IC104 (555:Timer) สร้างเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณแบบโมโนสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์



รูปที่ 3.15 แสดงวงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์

เนื่องจากสัญญาณกระตุ้นส่ง 1 วินาที หยุด 4 วินาที จะสร้างสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก ดังนั้นจะออกแบบให้การสร้างพัลส์ของวงจร เพื่อป้อนเป็นสัญญาณนาฬิกาให้แก่ IC105 กำหนดคาบเวลาของการเกิดพัลส์ได้จาก

$$t_p = 1.1 R_1 C$$

$$R_1 = 300 \text{ k}\Omega$$

$$C = 11 \text{ }\mu\text{F}$$

$$t_p = 1.1 \times 300 \text{ k}\Omega \times 11 \text{ }\mu\text{F} = 3.63 \text{ sec}$$

จะได้

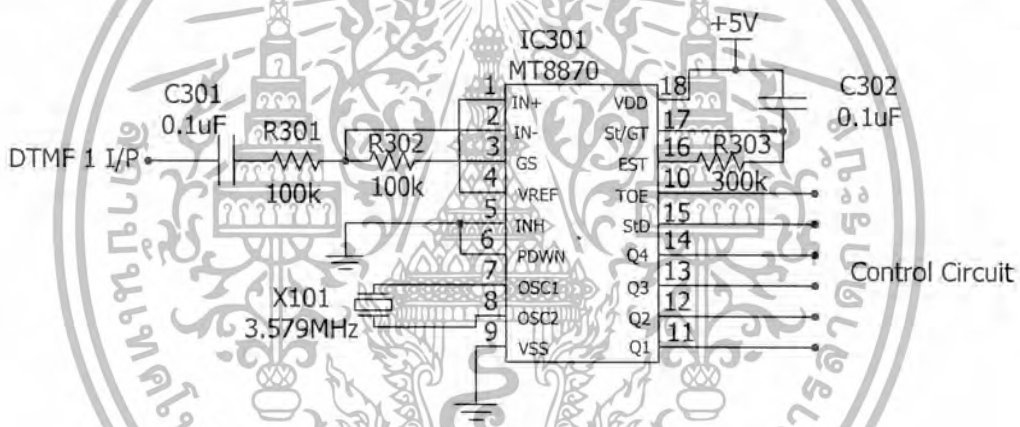
สัญญาณจากเอาต์พุตจากขา 3 ของ IC104 จะถูกป้อนให้ IC105 (4017) ซึ่งเป็นวงจรนับหรือวงจรหารความถี่ซึ่งการออกแบบวงจรเมื่อมีสัญญาณนาฬิกาถูกแรกเข้ามาจะทำให้ขา 3 ของ IC105 เปลี่ยนสภาวะลอจิก “1” เป็นลอจิก “0” สัญญาณที่ได้จากขา 3 ของ IC104 จะส่งไปยังภาค Control Circuit เพื่อให้ภาค Control Circuit ส่งสัญญาณควบคุมให้เกิดการยกหูอัตโนมัติ และวงจรส่งสัญญาณเสียงตอบรับอัตโนมัติให้ทำงาน

### 3.7.1.4 ภาค DTMF Decoder Circuit

วงจรในส่วนนี้ จะทำหน้าที่ถอดรหัสสัญญาณจากการกดเลขหมายของเครื่องโทรศัพท์ ต้นทางที่ทำการติดต่อเข้ามา โดยใช้ไอซีเบอร์ MT8870 เป็นตัวถอดรหัสสัญญาณการกดปุ่มเลขหมาย โทรศัพท์เป็นรหัสไบนารี 4 บิต เพื่อส่งไปยังภาค Control Circuit

หลักการทำงานของวงจร

วงจรถอดรหัสสัญญาณแสดงดังรูปที่ 3.16 การทำงานของ IC301 (MT8870) จะถูกควบคุมด้วยขา 10 (TOE) และขา 15 (STD) ส่วนขา 11-15 (Q<sub>1</sub>-Q<sub>4</sub>) จะเป็นเอาต์พุตรหัสไบนารี การทำงานตอนแรกขา 10 (TOE) จะมีระดับแรงดันเป็นลอจิก “0” ทำให้เอาต์พุตของ IC301 (Q<sub>1</sub>-Q<sub>4</sub>) เป็นไฮอิมพีแดนซ์ (High Impedance) แต่เมื่อมีอินพุตเข้ามา IC301 จะทำการถอดรหัส แล้วเปลี่ยนสถานะทางลอจิกของขา 15 (STD) จากลอจิก “0” เป็นลอจิก “1” เพื่อแจ้งให้ภาค Control Circuit ทราบว่าได้มีการถอดรหัสแล้วภาค Control Circuit จะทำการส่งลอจิก “1” มาที่ขา 10 (TOE) ปรับสภาพอิมพีแดนซ์ของขาเอาต์พุตของ IC301 ให้ต่ำลงทำให้ภาค Control Circuit สามารถอ่านรหัสไบนารีที่ทำการถอดรหัสได้



รูปที่ 3.16 แสดงวงจร DTMF Decoder Circuit

### 3.7.1.5 ภาค Automatic Answer Circuit

ส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นวงจรตอบรับอัตโนมัติ เมื่อมีการเรียกเข้ามาจากภายนอก โดยใช้ไอซีเบอร์ ISD1420 ซึ่งสามารถบันทึกเสียงได้นาน 20 วินาที โดยภายในไอซีเบอร์ ISD1420 ประกอบด้วย EEPROM, Amplifier, วงจร Sampling

หลักการทำงานของวงจร

วงจรตอบรับทางโทรศัพท์อัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 3.17 การทำงานจะมี 2 สถานะ คือการบันทึกและการเล่นกลับ

การบันทึก จะสามารถทำการบันทึกได้โดยจะทำให้ขา 27 (REC) มีสถานะเป็น “0” ก็สามารถบันทึกเสียงเข้าไปใน IC401 (ISD1420) โดยมีคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (MIC) ทำหน้าที่รับสัญญาณเสียง ขา 25 (RECLED) เป็นขาแสดงสถานะขณะทำการบันทึกแสดงผลโดย LED ซึ่งการ

บันทึกสามารถบันทึกเสียงได้นาน 20 วินาที การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การเล่นกลับ จะสามารถเล่นกลับข้อความที่บันทึกได้โดยควบคุมขา 23 (PLAY) ด้วยระดับลอจิก "0" สัญญาณเอาต์พุตจะออกมาทางขา 14 แล้วทำการขยายสัญญาณด้วย IC402 ก่อนส่งไปยังส่วน Line Interface Circuit

### 3.7.2 ภาค Tone Generator Circuit

วงจรกำเนิดสัญญาณ (Tone Generator Circuit) จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณต่างๆ ที่ต้องใช้ได้แก่สัญญาณให้หมุน, สัญญาณเรียกกลับ, สัญญาณสายไม่ว่าง ซึ่งจะใช้วงจร Wein-Bridge Oscillator และวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์ ทำงานร่วมกัน

หลักการทำงานของวงจร

วงจรกำเนิดสัญญาณ ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณต่างๆ ดังนี้

- สัญญาณให้หมุน

วงจรกำเนิดสัญญาณให้หมุนแสดงดังรูปที่ 3.18 สัญญาณให้หมุนเป็นสัญญาณความถี่ประมาณ 425 เฮิรตซ์ จะใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF351 เป็นวงจร Wein-Bridge Oscillator ซึ่งสามารถคำนวณหาความถี่ของวงจรได้จาก

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

ให้

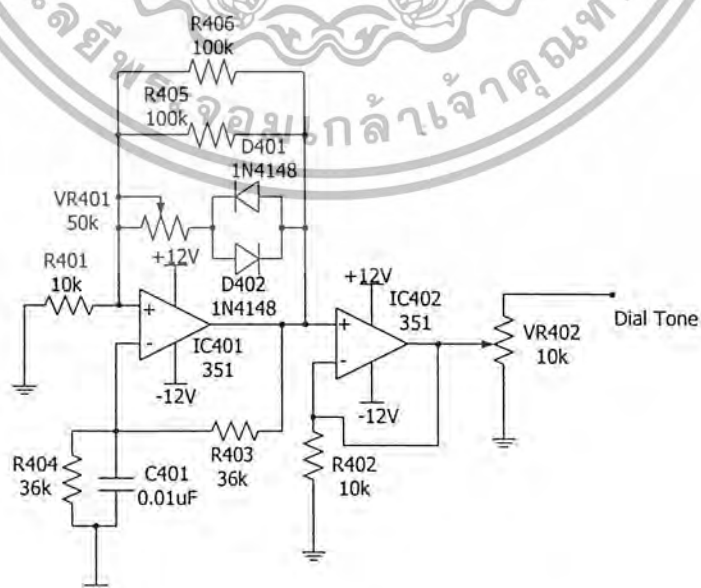
$$R = 37.4 \text{ k}\Omega$$

$$C = 0.01 \mu\text{F}$$

จะได้

$$f = \frac{1}{2\pi \times 37.4 \text{ k}\Omega \times 0.01 \mu\text{F}}$$

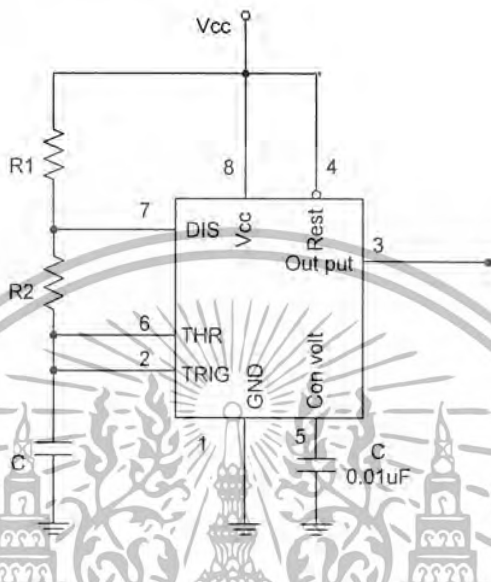
$$= 425.76 \text{ Hz}$$



รูปที่ 3.18 แสดงวงจรสร้างสัญญาณ Dial Tone

- สัญญาณเรียกกลับ

ส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ 425 เฮิรตซ์ จะใช้วงจรเดียวกับวงสัญญาณให้หมุน ส่วนวงจรที่ควบคุมให้ ดัง 1 วินาที หยุด 4 วินาที จะใช้ไอซีเบอร์ 555 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณใน ลักษณะของวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์



รูปที่ 3.19 แสดงวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์

การคำนวณคาบเวลาของวงจรได้จาก

$$t_{on} = 0.693 (R_1 + R_2) C$$

$$t_{off} = 0.693 R_2 C$$

ซึ่งจะเห็นว่าคาบของ  $t_{on}$  ต้องมากกว่า  $t_{off}$  แต่เนื่องจากสัญญาณเรียกกลับมีคาบเวลา  $t_{on}$  เท่ากับ 1 วินาที  $t_{off}$  เท่ากับ 4 วินาที ดังนั้นจึงต่อไดโอดคร่อม  $R_2$  เพื่อไม่ให้มีผลต่อคาบเวลา  $t_{on}$  ดังนั้นจะได้วงจรที่ใช้งานจริงดังรูปที่ 3.20

การคำนวณคาบเวลาของวงจรได้จาก

$$t_{on} = 0.693 R_1 C$$

$$t_{off} = 0.693 R_2 C$$

ให้

$$R_1 = 3 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 12 \text{ k}\Omega$$

$$C_2 = 470 \text{ uF}$$

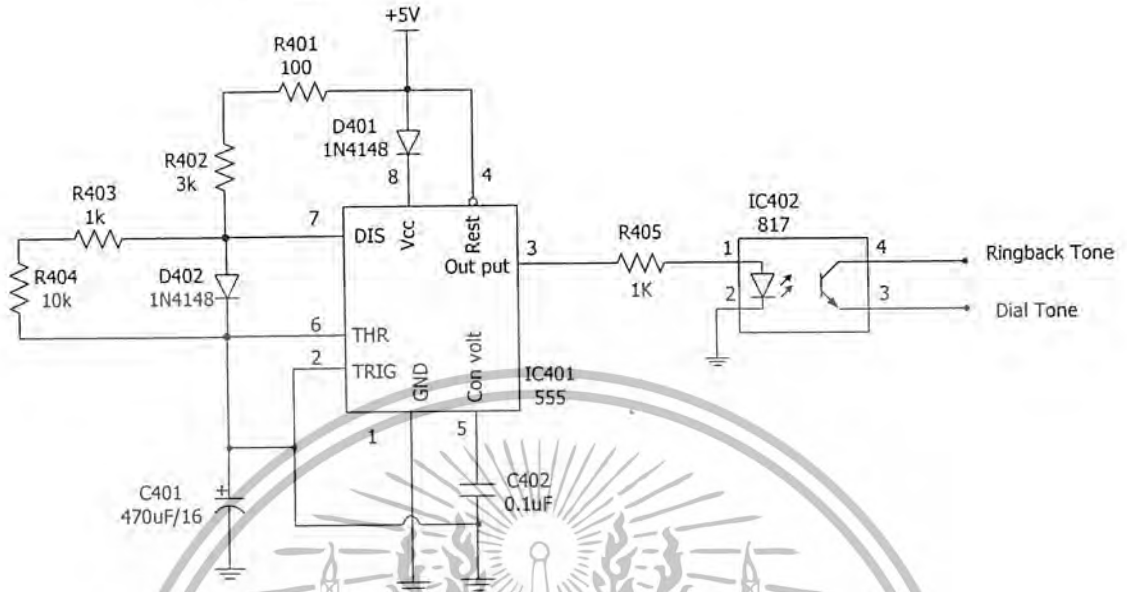
จะได้

$$t_{on} = 0.693 \times 3 \text{ k}\Omega \times 470 \text{ uF}$$

$$= 977 \text{ msec}$$

$$t_{off} = 0.693 \times 12k\Omega \times 470 \mu F$$

$$= 3.8 \text{ sec}$$



รูปที่ 3.20 แสดงวงจรสร้างสัญญาณ Ringback Tone

- สัญญาณสายไม่ว่าง

ดังรูปที่ 3.21 เป็นวงจรส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ 425 เฮิรตซ์ จะใช้วงจรเดียวกับวงจรสัญญาณให้หมุนและควบคุมให้ ตั้งและคืบ 0.5 วินาทีสลับกัน โดยใช้ IC401 (555) เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณในลักษณะของวงจรอะสเตเบิล มีลิตัวแปรเตอร์ การคำนวณคาบเวลาของวงจรได้จาก

$$t_{on} = 0.693 R_1 C$$

$$t_{off} = 0.693 R_2 C$$

ให้

$$R_1 = 7.15 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 7.15 \text{ k}\Omega$$

$$C_2 = 100 \mu F$$

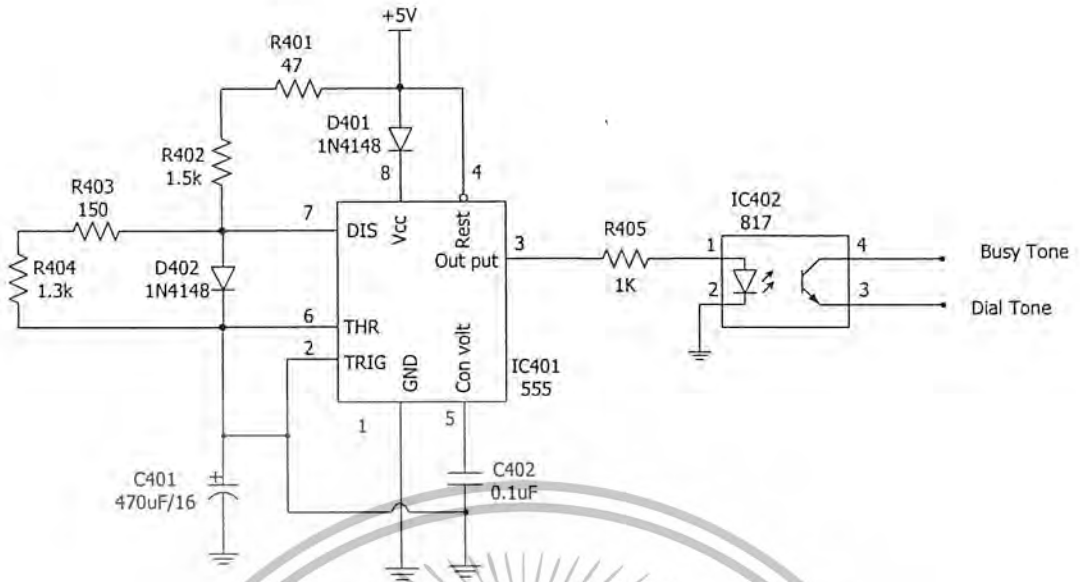
จะได้

$$t_{on} = 0.693 \times 7.15k \Omega \times 100 \mu F$$

$$= 0.5 \text{ sec}$$

$$t_{off} = 0.693 \times 7.15k\Omega \times 100 \mu F$$

$$= 0.5 \text{ sec}$$



รูปที่ 3.21 แสดงวงจรสร้างสัญญาณ Busy Tone

3.7.3 ภาค Ringing Control Circuit

วงจรควบคุมสัญญาณกระดิ่ง (Ringing Control Circuit) จะทำหน้าที่ควบคุมสัญญาณกระดิ่งคือเป็นตัวให้จังหวะในการต่อวงจรให้สัญญาณกระดิ่งจ่ายไปยังเครื่องโทรศัพท์ที่ตั้ง 1 วินาที และหยุด 4 วินาที ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้สัญญาณไฟกระแสสลับ 50 เฮิรตซ์ 70 Vrms เป็นสัญญาณกระดิ่งจ่ายให้แก่โทรศัพท์ หลักการทำงานของวงจร

วงจรควบคุมสัญญาณกระดิ่งแสดงดังรูปที่ 3.22 วงจรกำเนิดสัญญาณควบคุมจะใช้ไอซีเบอร์ 555 เป็นวงจรอะอสเตบิล มัลติไวเบรเตอร์ เพื่อควบคุมให้มี ดิจ 1 วินาที ดับ 4 วินาที

การคำนวณคาบเวลาของวงจรได้จาก

$$t_{on} = 0.693 (R_1 + R_2)C$$

$$t_{off} = 0.693 R_2 C$$

ให้

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 3 \text{ k}\Omega$$

$$C_1 = 470 \text{ uF}$$

จะได้

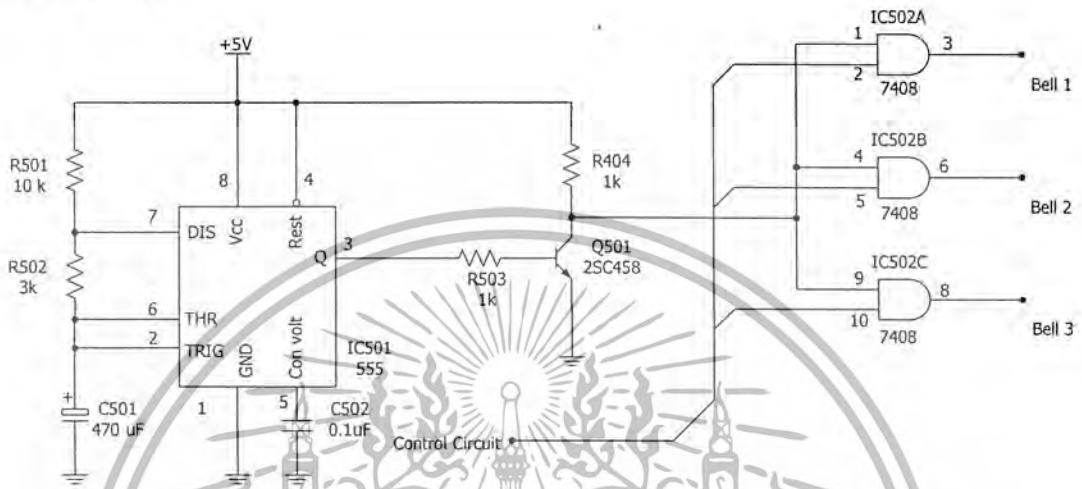
$$t_{on} = 0.693 \times (10 \text{ k}\Omega + 3 \text{ k}\Omega) \times 470 \text{ uF}$$

$$= 4.23 \text{ sec}$$

$$t_{on} = 0.693 \times 3 \text{ k}\Omega \times 470 \text{ uF}$$

$$= 0.98 \text{ sec}$$

สัญญาณพัลส์จากขา 3 ของ IC501 ( 555) ซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีช่วงเกิดพัลส์เท่ากับ 4 วินาที และช่วงไม่มีพัลส์ 1 วินาที จะไปออสให้แก่ทรานซิสเตอร์ Q501 (2SC458) เกิดสถานะนำกระแสและหยุดนำกระแส ได้เอาต์พุตที่ขาออกเลกเตอร์เป็นสัญญาณพัลส์ที่มีช่วงเกิดพัลส์เท่ากับ 1 วินาทีและช่วงไม่มีพัลส์ 4 วินาที เพื่อควบคุมสัญญาณกระดิ่งโดยส่งผ่าน IC502 (7408) ซึ่งจะควบคุมการตัด/ต่อ สวิทช์ โดยภาค Control Circuit



รูปที่ 3.22 แสดงวงจร Ringing Control Circuit

3.7.4 ภาค DTMF Decoder 2 Circuit

วงจรถอดรหัสสัญญาณการกดปุ่มโทรศัพท์ (DTMF Decoder Circuit) นี้จะใช้วงจรเหมือนกลับวงจรถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์ในภาค External Line Interface ซึ่งจะทำหน้าที่ถอดรหัสเพื่อการวิเคราะห์เลขหมายที่กดว่าต้องการติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์ภายนอกหรือเครื่องโทรศัพท์ภายใน

3.7.5 ภาค Cross Point Switch Circuit

ส่วนนี้จะทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณจากภาคต่างๆ เข้าไปยังตู้สวิตซ์โทรศัพท์ที่ต้องการโดยใช้ไอซีเบอร์ MT8816 (8 x 16 Analog Switch) โดยการเชื่อมต่อจะแสดงดังตารางที่ 3.7

หลักการทำงานของวงจร

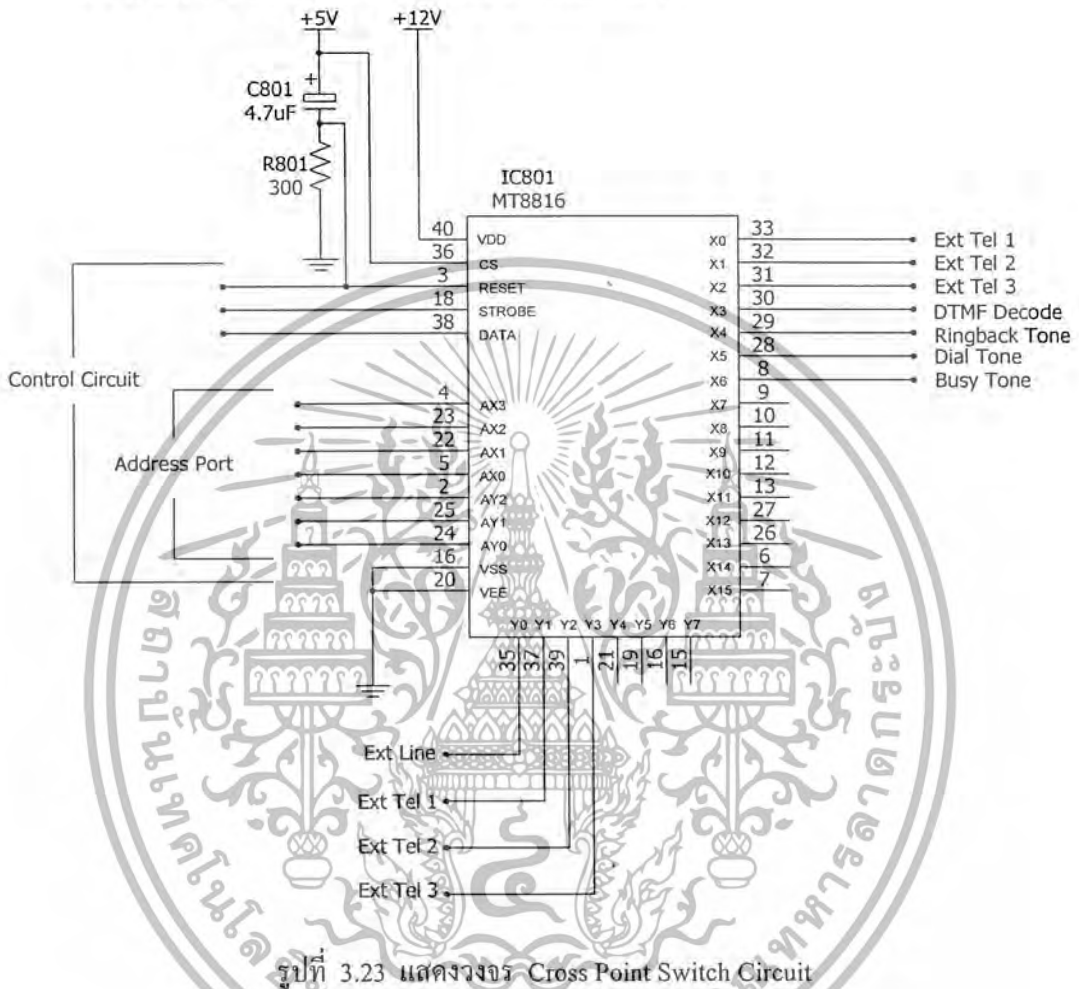
วงจร Cross point switch ดังรูปที่ 3.23 ไอซีเบอร์ MT8816 มีลักษณะเป็น Cross Point Switch (8 x 16)โดยที่มีไฟเลี้ยงไอซี +12 โวลต์ วงจรจะออกแบบให้มีการรีเซ็ตตัวไอซีโดยวงจรดีเฟอว์เรนเชียล ส่วนการต่อสวิทช์แต่ละชุดนั้นสามารถกำหนดค่าแอดเดรสเพื่อส่งให้สวิทช์แต่ละจุดต่อไปตามต้องการ โดยมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

1. AX0, AX1, AX2, AX3 จะเป็นแอดเดรสที่ชี้ตำแหน่งในแนวนอน
2. AY0, AY1, AY2 จะเป็นแอดเดรสที่ชี้ตำแหน่งในแนวตั้ง
3. DATA จะเป็นขาควบคุมการต่อสวิทช์เมื่อป้อน ลอจิก “1” หรือตัดสวิทช์เมื่อป้อน ลอจิก “0”
4. STROBE จะเป็นขาทำหน้าที่รับสัญญาณจากภาค Control Circuit เพื่อควบคุมการ ตัด/ต่อสวิทช์

5. CS และ RESET จะทำหน้าที่ควบคุมการใช้งาน MT8816 ซึ่งจะต่ออยู่กับวงจรดีเฟอรัเรนเชียล เมื่อมีการเปิดเครื่องใหม่ภาค Cross Point Switch จะมีการรีเซ็ตสวิตช์เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

6. X0, X1, X2, X3, X4, X5, X6 จะเป็นขาตำแหน่งสวิตช์ด้านแนวนอน

7. Y0, Y1, Y2, Y3 จะเป็นขาตำแหน่งสวิตช์ด้านแนวตั้ง



การต่อสวิตช์จะทำการกำหนดแอดเดรสที่จะต่อที่ขา AX0 - AX3 และ AY0 - AY2 และให้ขา DATA เป็นลอจิก "1" แล้วเปลี่ยนสถานะขา STROBE จากลอจิก "0" เป็น "1" และเปลี่ยนเป็น "0" อีกครั้งส่วนการตัดสวิตช์ก็จะทำเหมือนกันแต่จะให้ขา DATA เป็นลอจิก "0"

ตารางที่ 3.7 แสดงตำแหน่งการเชื่อมต่อสวิทช์

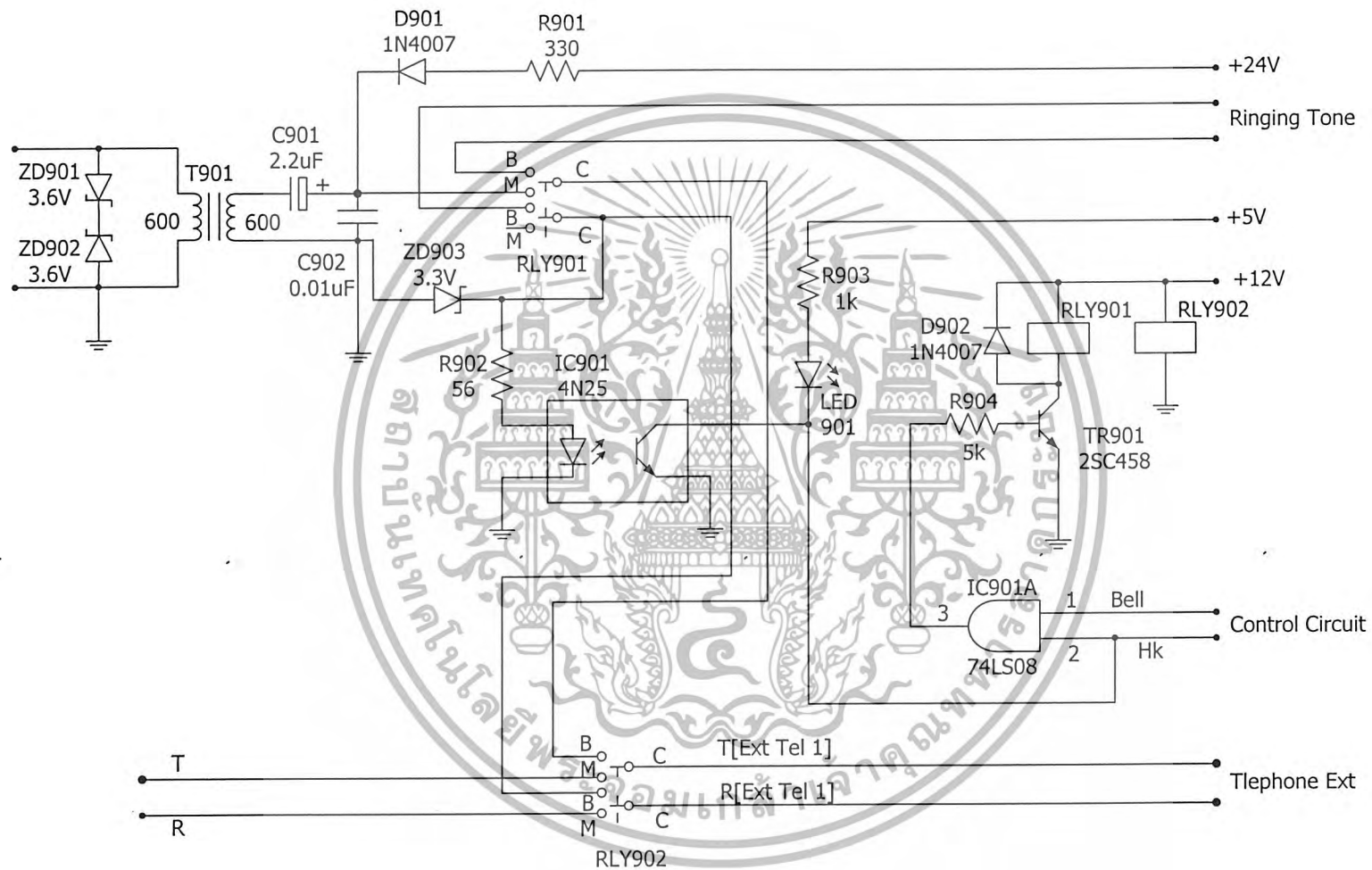
ตำแหน่งการต่อสวิทช์	สถานะแอดเดรส						
	AY2	AY1	AY0	AX3	AX2	AX1	AX0
External Line - Ext TEL1	0	0	0	0	0	0	0
External Line - Ext TEL2	0	0	0	0	0	0	1
External Line - Ext TEL3	0	0	0	0	0	1	0
External Line- Ring Back Tone	0	0	0	0	1	0	0
External Line- Busy Tone	0	0	0	1	0	0	0
Ext TEL1- Ext TEL2	0	0	1	0	0	0	1
Ext TEL1- Ext TEL3	0	0	1	0	0	1	0
Ext TEL1- DTMF2 Decoder	0	0	1	0	0	1	1
Ext TEL1- Ring Back Tone	0	0	1	0	1	0	0
Ext TEL1- Dial Tone	0	0	1	0	1	0	1
Ext TEL1- Busy Tone	0	0	1	1	0	0	0
Ext TEL2- Ext TEL1	0	1	0	0	0	0	0
Ext TEL2- Ext TEL3	0	1	0	0	0	1	0
Ext TEL2- DTMF2 Decoder	0	1	0	0	0	1	1
Ext TEL2- Ring Back Tone	0	1	0	0	1	0	0
Ext TEL2- Dial Tone	0	1	0	0	1	0	1
Ext TEL2- Busy Tone	0	1	0	1	0	0	0
Ext TEL3- Ext TEL1	0	1	1	0	0	0	0
Ext TEL3- Ext TEL2	0	1	1	0	0	0	1
Ext TEL3- DTMF2 Decoder	0	1	1	0	0	1	1
Ext TEL3- Ring Back Tone	0	1	1	0	1	0	0
Ext TEL3- Dial Tone	0	1	1	0	1	0	1
Ext TEL3- Busy Tone	0	1	1	1	0	0	0

3.7.6 ภาค Extension Interface Circuit

ส่วนนี้จะต่ออยู่กับเครื่องโทรศัพท์ ทำหน้าที่ตรวจสอบเช็คการยกหูโทรศัพท์ การจ่ายสัญญาณกระดิ่งให้แก่โทรศัพท์ การส่งผ่านสัญญาณต่างๆให้กับเครื่องโทรศัพท์

หลักการทำงานของวงจร

วงจรเชื่อมต่อคู่สายภายใน (Extension Interface Circuit) แสดงดังรูปที่ 3.24 เครื่องโทรศัพท์ที่ต่ออยู่กับเขาเอาต์พุตของหน้าสัมผัสรีเลย์ RLY602 ซึ่งต่ออยู่กับแหล่งจ่าย +12 โวลต์ เมื่อไฟฟ้าดับจะทำให้โทรศัพท์ภายในต่อกับคู่สายโทรศัพท์ภายนอกโดยตรง ทำให้เมื่อเกิดไฟดับจะมีเครื่องโทรศัพท์ 1 เครื่องที่สามารถใช้งานได้ ในการทำงานปกติ สภาวะที่ไม่มีการยกหูโทรศัพท์ เมื่อมีการเรียกเข้ามาจะมีการจ่ายสัญญาณกระดิ่งไปยังเครื่องโทรศัพท์ซึ่งต่ออยู่กับ ขา B ของรีเลย์ RLY901 จะมีการจ่ายสัญญาณควบคุม



รูปที่ 3.24 แสดงวงจร Extension Interface Circuit

เสียงกระดิ่งจากภาค Ringing Control Circuit เข้าที่ BELL โดยสัญญาณนี้จะนำไป AND กับ สัญญาณที่ขา HK ซึ่งมีสถานะลอจิก “1” อยู่เนื่องจาก IC901 (4N25) ยังไม่นำกระแสทำให้เอาต์พุต IC901A (74LS08) ที่ได้เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่ขา BELL ไปไปอัสให้แก่ทรานซิสเตอร์ Q901 (2SC458) เพื่อขับรีเลย์ RLY901 เมื่อสัญญาณ BELL มีสถานะลอจิก “1” จะทำให้หน้าสัมผัสของ RLY901 ต่ออยู่กับขา B ทำให้สัญญาณกระดิ่งจ่ายไปยังโทรศัพท์แต่เมื่อสัญญาณ BELL มีสถานะลอจิก “0” จะทำให้หน้าสัมผัสของ RLY901 ต่ออยู่กับขา M ทำให้ไม่มีสัญญาณกระดิ่งปรากฏที่ เครื่องโทรศัพท์ เมื่อมีการยกหูโทรศัพท์ซึ่งต่ออยู่กับแรงดัน +24 โวลต์ ที่ขา M จะทำให้ IC901 นำกระแสเนื่องจากเมื่อยกหูโทรศัพท์จะทำให้ค่าความต้านทานในเครื่องโทรศัพท์ต่ำลงส่งผลให้สัญญาณที่ ขา HK มีสถานะลอจิก “0” ทำให้ Q901 อยู่ในสภาวะคัทออฟ โดยไม่สนใจว่าสัญญาณที่ขา BELL เป็นอย่างไร หน้าสัมผัสของ RLY901 จะต่ออยู่ที่ขา M ตลอดเวลาที่มีการยกหู ทำให้สัญญาณกระดิ่งไม่สามารถเข้าไปยังเครื่องโทรศัพท์ได้ ภาค Control Circuit ตรวจสอบสถานะการยกหูจากขา HK สัญญาณ ของคู่สนทนาก็จะถูกต่อผ่าน Cross Point Switch เข้ามายัง T901 คับปลั๊กสัญญาณผ่าน C901 มายังขา M ของ RLY901 เข้าเครื่องโทรศัพท์ในกรณีเรียกออกสัญญาณต่างๆ ที่ถูกควบคุมการต่อจาก Cross Point Switch ก็จะผ่านเข้า เครื่องโทรศัพท์ทาง T901 ซึ่งจะถูกควบคุมโดยภาค Control Circuit

### 3.7.7 ภาค Control Circuit

ส่วนของภาค Control Circuit จะเป็นบอร์ดคอนโทรลเลอร์รุ่น ANT-3172 ซึ่งจะใช้ ไอซีเบอร์ 89A51 เป็น ไอซีคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นไอซีตระกูล MCS-51 จะมีหน่วยความจำภายในตัวไอซี สำหรับการบันทึกโปรแกรมที่ใช้งานไว้ในตัวไอซี

## 3.8 ส่วนเชื่อมต่อวิทยุ

ประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับตู้ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติและส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับเครื่องรับโทรศัพท์ปลายทาง

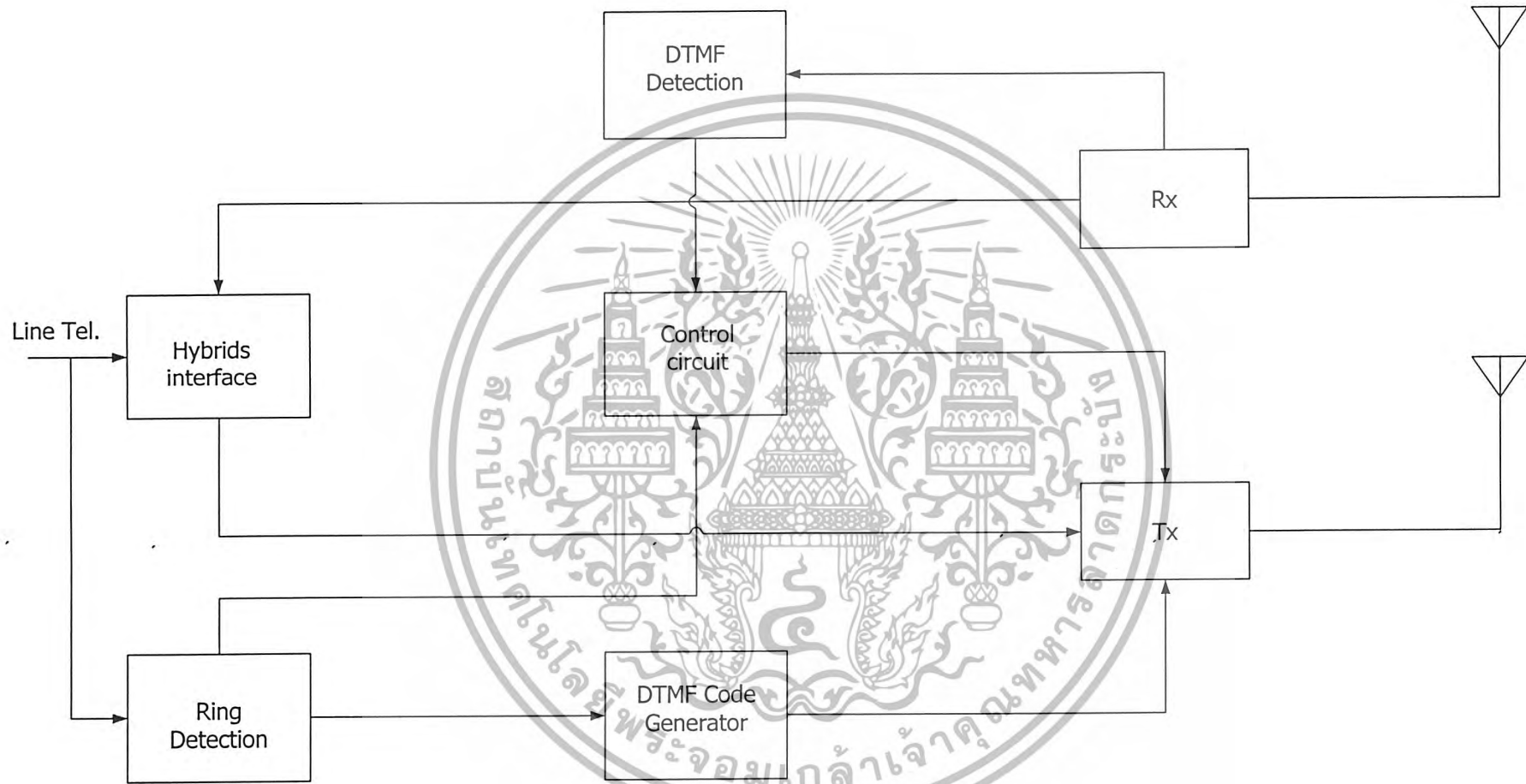
### 3.8.1 ส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับตู้ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ

ทำหน้าที่เชื่อมต่อและควบคุมระบบการติดต่อระหว่างตู้ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติกับเครื่องรับโทรศัพท์ปลายทาง

#### หลักการทำงานตามบล็อกไดอะแกรม

ดังรูปที่ 3.25 จะแบ่งลักษณะการทำงานเป็น 2 โหมดคือโหมดการเรียกเข้าและโหมดการเรียกออก

โหมดการเรียกเข้า เมื่อมีผู้เรียกเข้ามาจากคู่สายภายในหรือภายนอกจะมีสัญญาณกระดิ่ง ส่งเข้ามาตามคู่สายโทรศัพท์ที่ส่วนเชื่อมต่อทางวิทยุส่วนนี้ต่ออยู่ จากนั้นสัญญาณกระดิ่ง จะถูกตรวจจับโดยภาค Ring Detection และถูกทำการดีเทคให้เป็นระดับแรงดัน เพื่อส่งไปให้ภาค DTMF Generator สร้างเป็น DTMF Code รหัสสัญญาณกระดิ่งป้อนเข้าสู่เครื่องส่ง ส่งไปยังส่วนเชื่อมต่อวิทยุเครื่องรับโทรศัพท์ปลายทาง ให้รับทราบว่ามี การเรียกเข้า ขณะเดียวกันระดับแรงดันที่ได้จากการดีเทคสัญญาณกระดิ่งถูกส่งไปยังภาค Control Circuit เพื่อควบคุมเครื่องส่งให้ทำการส่งรหัสที่สร้างขึ้นมาด้วย



รูปที่ 3.25 แสดงบล็อกไดอะแกรมส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับตู้ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ

โหมตการเรียกออกหรือโหมตการเชื่อมต่อ เมื่อฝ่ายถูกเรียกขงหู ส่วนเชื่อมต่อวิทยุ ทางด้านปลายทางจะสร้าง DTMF Code รหัสการขงหูจะถูกส่งเข้ามาขงสายอากาศผ่าน เครื่องรับวิทยุเข้าสู่ภาค DTMF Detection ซึ่งจะทำกรตรวจสอบว่าตรงกับโค้ดรหัสที่ได้กำหนดไว้หรือไม่หากตรงกัน จะทำกรตีเทคได้ระดับแรงดันออกมา ส่งไปขงภาค Control Circuit เพื่อให้ภาค Control Circuit ทำกรควบคุมภาค Hybrids Interface ให้เชื่อมต่อเครื่องรับ/ส่ง เข้ากับคู่สายโทรศัพท์ สามารถพูดคุยสนทนาได้ตอบกันได้ ซึ่งขณะนั้นภาค Control Circuit ก็ขงควบคุมให้เครื่องส่งทำกรส่ง อยู่ตลอดเวลา

เมื่อฝ่ายถูกเรียกขงสายโทรศัพท์ DTMF Code รหัสสำหรับการขงหูจะถูกส่งกลับมา ทำให้ภาค Control Circuit รับรู้และทำกรตัดการเชื่อมต่อระหว่งคู่สายโทรศัพท์กับเครื่องรับ/ส่ง และควบคุมให้ เครื่องส่งหยุดส่ง

### 3.8.1.1 ภาค Hybrids Interface Circuit

วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่เชื่อมต่อเครื่องรับ/ส่ง เข้ากับคู่สายโทรศัพท์

หลักการท่งงานของวงจร

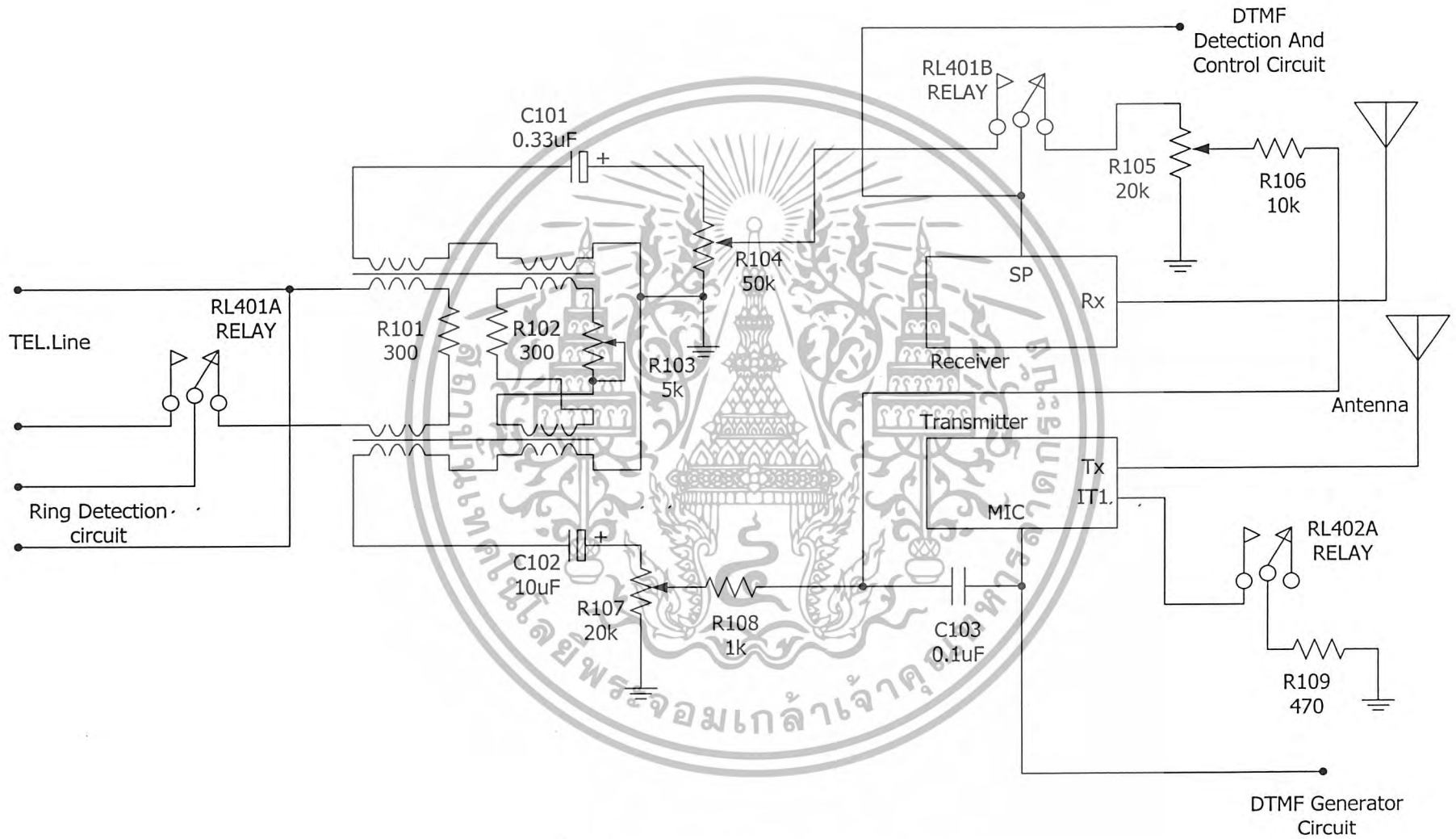
แสดงวงจรดังรูปที่ 3.26 Hybrids Transformer จะทำหน้าที่ปรับอิมพีแดนซ์ของวงจรภายใน ให้เท่ากับอิมพีแดนซ์ของคู่สายโทรศัพท์ คือ 600 โอห์ม และขงทำหน้าที่บาลานซ์เฟสของสัญญาณ ระหว่งเครื่องรับ/ส่ง ไม่ให้รบควนขงกันและกันโดยเฟสจะหักล้างกันหมด ซึ่งมี VR103 เป็นตัวปรับ บาลานซ์ VR104 เป็นตัวปรับระดับสัญญาณที่รับมาจากเครื่องรับ VR107 เป็นตัวปรับระดับสัญญาณ ที่มาจากเครื่องส่ง

### 3.8.1.2 ภาค Ring Detection Circuit

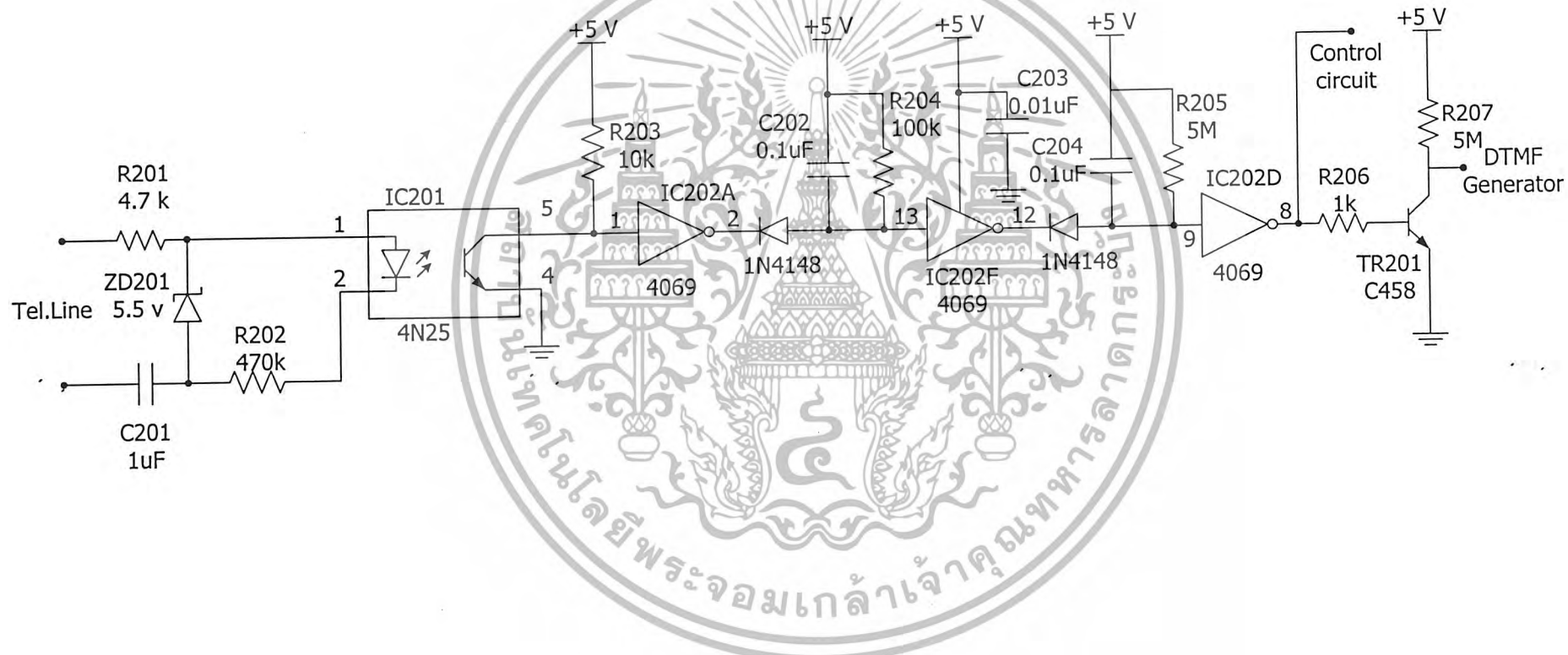
วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่ตรวจสอบและตีเทคสัญญาณกระดิ่งเมื่อมีการเรียกเข้าเพื่อส่ง เอาต์พุตที่ได้ไปขงส่วนต่งๆ ให้ทำกรเชื่อมต่อกับส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับเครื่องรับโทรศัพท์ปลายทาง หลักการท่งงานของวงจร

แสดงวงจรดังรูปที่ 3.27 เมื่อมีสัญญาณกระดิ่ง ซึ่งมีแรงดันประมาณ 70 Vrms 25 เฮิร์ตซ์ จาก ขุมสายโทรศัพท์ หรือสัญญาณกระดิ่งที่สร้างจากขุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ เข้ามาตามคู่สาย สัญญาณดังกล่าวจะถูกลดระดับลงเหลือประมาณ 5 โวลต์ โดย ZD201 เพื่อขงไปอัสให้แก่ขา 1 ของ IC201 (4N25) โดยมี R201 และ R202 เป็นตัวจำกัดกระแส C201 ป้องกันแรงดันไฟตรงที่เข้ามาตาม คู่สายไม่ให้ผ่านไปได้ เมื่อ IC201 นำกระแสจะทำให้ขา 5 มีระดับแรงดันประมาณ 0 โวลต์ หรือ ลอจิก “0” ซึ่งเป็นลักษณะของการนำกระแสและหยุดนำกระแส ตามความถี่ของสัญญาณกระดิ่งที่เข้ามา ป้อนเป็นอินพุตให้กับ IC202A ซึ่งเป็นเกทอินเวอร์เตอร์ ให้เอาต์พุตที่ขา 2 เป็นลอจิก “1” การจัดเรียง D201, C202, R204, IC202F, D202, C204, R205 และ IC202D เพื่อทำกรแปลงสัญญาณพัลส์ที่เกิดจาก การนำกระแสและหยุดนำกระแส ของ IC201 ให้เป็นระดับแรงดันไฟตรง ทำให้ได้เอาต์พุตที่ขา 8 ของ IC202 (4069) เป็นระดับลอจิก “1” ช่วงเวลา 1 วินาที และระดับลอจิก “0” ตามจังหวะการดังของ สัญญาณกระดิ่งเพื่อไปอัสให้แก่ TR201 ให้นำกระแสเป็นอินพุตเข้าสู่ภาค DTMF Generator และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จะเป็นอินพุตป้อนเข้าสู่ภาค Control Circuit ด้วย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 แสดงวงจร Hybrids Interface Circuit

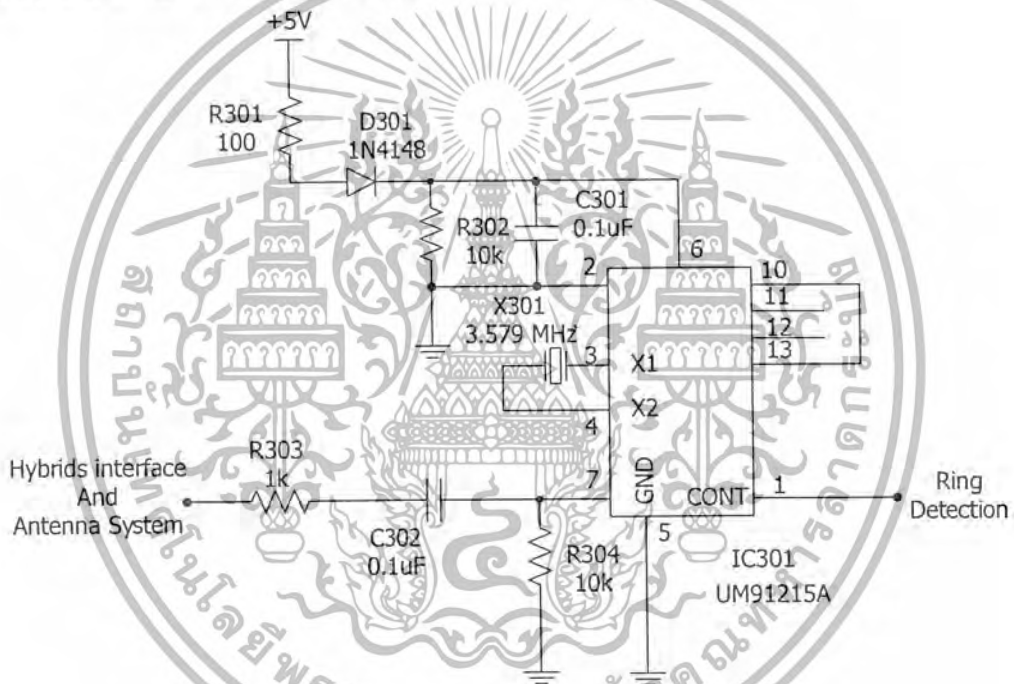


รูปที่ 3.27 แสดงวงจร Ring Detection Circuit

### 3.8.1.3 ภาค DTMF Generator Circuit

วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่สร้าง DTMF Code เป็นรหัสแทนสัญญาณกระดิ่งเพื่อส่งไปยังส่วนวงจรเชื่อมต่อวิทยุ ที่ต่ออยู่กับเครื่องรับโทรศัพท์ปลายทางให้สร้างสัญญาณกระดิ่งจ่ายให้แก่โทรศัพท์ หลักการทำงานของวงจร

แสดงวงจรดังรูปที่ 3.28 ใช้ IC301 (UM91215A) เป็นตัวสร้างสัญญาณ DTMF โดยการควบคุมที่ขา 1 ให้มีสถานะลอจิก “0” IC301 จะสร้างสัญญาณ DTMF ขึ้นมาให้อาต์พุตที่ขา 7 และสามารถเลือกรหัสสัญญาณ DTMF ได้โดยการเลือกคู่ของขา IC301 ที่ขา 10, 11, 12 ซึ่งอยู่ในแนวตั้งกับขา 13, 14, 15, 16 ที่อยู่ในแนวนอน เช่นเดียวกับหน้าปัทม์โทรศัพท์แบบกดปุ่ม โดยการต่อขาแนวตั้งและแนวนอนให้ถึงกัน ซึ่งในโครงการนี้จะใช้สัญญาณ DTMF “1” สำหรับแทนสัญญาณกระดิ่งโดยจะต่อขา 10 และขา 13 ของ IC301 ให้ถึงกัน



รูปที่ 3.28 แสดงวงจร DTMF Generator Circuit

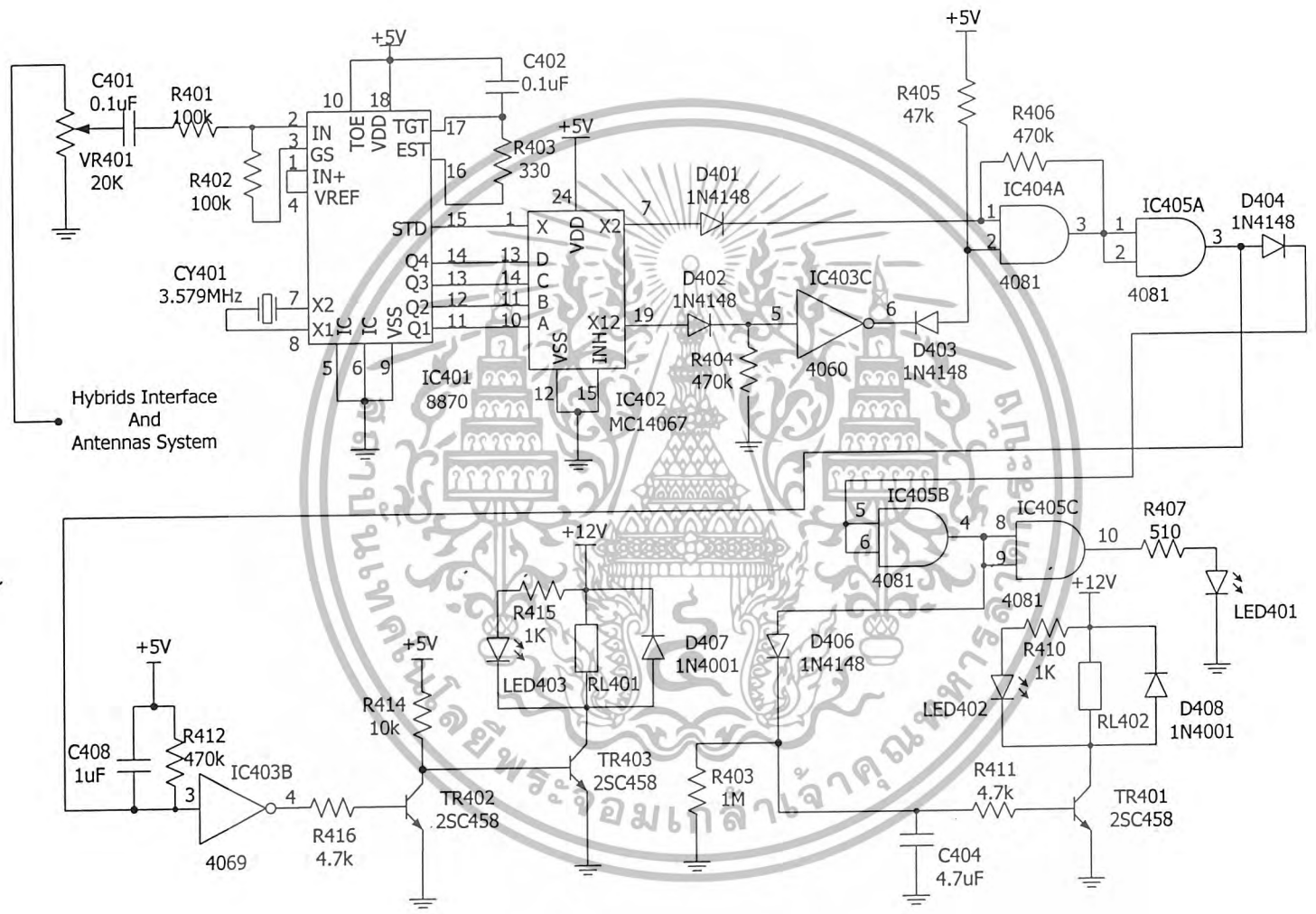
### 3.8.1.4 ภาค DTMF Detection And Control Circuit

ภาคนี้มีหน้าที่หลักคือ ควบคุมการเชื่อมต่อของภาค Hybrids Interface

หลักการทำงานของวงจร

วงจรแสดงดังรูปที่ 3.29 เมื่อมี DTMF Code รหัสสัญญาณการยกหูหรือวางหูมายังเครื่องรับ VR201 จะเป็นตัวปรับระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับ ได้แก่ IC401 (MT8870) เป็นตัวดีเทคสัญญาณให้เป็นเลขไบนารี 4 บิต ป้อนเข้าสู่ IC402 (MC14067) ซึ่งเป็นมัลติเพล็กซ์สวิตช์ (Multiplex Switch) ให้เอาต์พุตเป็นระดับแรงดันลอจิก “1” ที่ใช้งานในวงจร ให้สัญญาณ DTMF “2” สำหรับการยกหูและสัญญาณ DTMF “#” สำหรับการวางหูของโทรศัพท์ปลายทางจะให้เอาต์พุตที่ขา 7 และขา 19 ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 แสดงวงจร DTMF Detection And Control Circuit

IC402 ตามลำดับคือ กรณีเมื่อโทรศัพท์ปลายทางมีการยกหู เอาต์พุตที่ขา 7 ของ IC402 จะเป็นสถานะลอจิก “1” เป็นอินพุตให้แก่ขา 1 ของ IC404A และที่อินพุตขา 2 ของ IC404A มีสถานะเป็น “1” ทำให้ได้เอาต์พุตที่ขา 3 เป็น “1” เป็นอินพุตขา 5 และขา 6 ให้เอาต์พุตที่ขา 4 ของ IC404B เป็น “1” ไปเป็นอินพุตของขา 3 ของ IC403B ให้เอาต์พุตที่ขา 4 มีสถานะลอจิก “0” ทำให้ TR402 ไม่นำกระแสส่งผลให้ TR403 นำกระแสทำให้ RL401 ทำงานเกิดการเชื่อมต่อของคู่สายโทรศัพท์กับส่วน Hybrids Interface และเชื่อมต่อเครื่องรับเข้ากับ Hybrids Transformer ซึ่งสภาวะปกติที่ TR402 จะนำกระแสอยู่ทำให้ TR403 ไม่นำกระแส RL401 ไม่ทำงาน

เอาต์พุตที่ขา 4 ของ IC404B ซึ่งมีสภาวะเป็นลอจิก “1” ยังไปเป็น อินพุตที่ขา 1 และขา 2 ให้เอาต์พุตเป็นลอจิก “1” ที่ขา 3 ของ IC405A นำไปเป็นอินพุตที่ขา 8 และขา 9 ให้เอาต์พุต “1” ที่ขา 10 ของ IC405C เช่นเดียวกัน ทำให้ TR401 นำกระแส RL402 ทำงาน คือต่อเครื่องส่งเพื่อให้ออกการส่ง และมี LED401 เป็นตัวแสดงสภาวะการยกหูของโทรศัพท์ปลายทาง

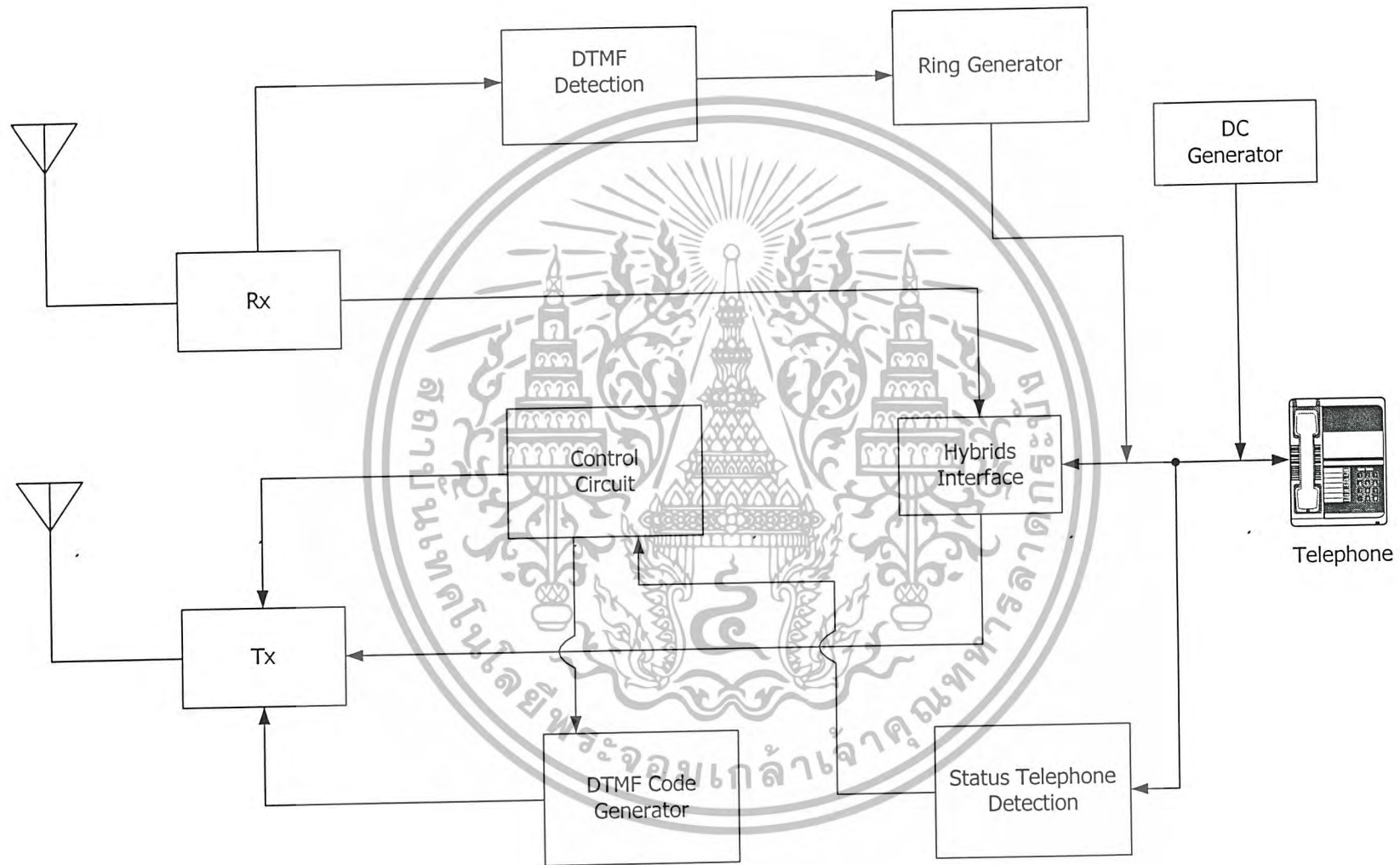
ในสภาวะที่โทรศัพท์ปลายทางมีการวางหูสัญญาณ DTMF “#” จะถูกรับเข้ามาซึ่งจะได้เอาต์พุตที่ขา 19 ของ IC402 เป็นสภาวะลอจิก “1” ผ่านขา 5 ให้เอาต์พุตที่ขา 6 ของ IC406C มีสภาวะเป็นลอจิก “0” ทำให้อินพุตที่ขา 2 ของ IC404A เป็นลอจิก “0” ด้วยทำให้ได้เอาต์พุตขา 3 เป็น “0” เช่นเดียวกัน และไปเป็นอินพุตขา 5 และขา 6 ของ IC404B ให้เอาต์พุตที่ขา 4 เป็น “0” ส่งผลให้อินพุตที่ขา 3 ของ IC403B เป็น “0” ด้วยทำให้ได้เอาต์พุต “1” ที่ขา 4 ทำให้ TR402 นำกระแสส่งผลให้ TR403 ไม่นำกระแส RL401 ที่ทำงานอยู่จะหยุดทำงาน และในลักษณะเช่นเดียวกันข้างต้นก็จะได้เอาต์พุตที่ขา 10 ของ IC405C เป็น “0” ทำให้ TR401 ไม่นำกระแส RL402 หยุดทำงาน คือเครื่องส่งหยุดทำการส่ง

### 3.8.2 ส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับเครื่องรับโทรศัพท์ปลายทาง

แบ่งลักษณะการทำงานเป็น 2 โหมดเช่นเดียวกัน คือ โหมดการเรียกเข้า และโหมดการเรียกออก บล็อกไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 3.30

โหมดการเรียกเข้า เมื่อมีโทรศัพท์สัญญาณกระดิ่ง ผ่านสายอากาศเข้ามายังเครื่องรับ ซึ่งจะผ่านเข้าสู่ภาค DTMF Detection จะทำการดีเทคต์สัญญาณกระดิ่งที่เข้ามาให้เป็นระดับแรงดันป้อนเข้าสู่ภาค Ring Generator ซึ่งทำการสร้างสัญญาณกระดิ่งป้อนเข้าสู่สายโทรศัพท์ไปยังเครื่องรับ โทรศัพท์เพื่อให้ผู้ถูกเรียกได้ยินสัญญาณกระดิ่งว่ามีผู้เรียกเข้ามา

โหมดการเรียกออกหรือโหมดการตอบรับ เมื่อผู้ถูกเรียกทำการยกหูโทรศัพท์ส่วนของ Status Telephone Detection ทำหน้าที่ตรวจสอบสภาวะการยกหู แล้วแจ้งเป็นระดับแรงดันไปให้ภาค Control Circuit รับรู้ภาค Control Circuit จะทำการควบคุมส่วน Hybrids Interface ทำการเชื่อมต่อเครื่องรับโทรศัพท์ปลายทางเข้ากับคู่สายโทรศัพท์ ขณะเดียวกันก็ทำการส่งระดับแรงดันไปควบคุมภาค DTMF Generator ให้สร้างโทรศัพท์การยกหูส่งผ่านเข้าเครื่องส่งไปให้ส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับตู้ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติทราบ และพร้อมกันก็จะควบคุมให้เครื่องส่งทำการส่ง เมื่อส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับตู้ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติรับทราบและทำการเชื่อมต่อคู่สาย ก็จะ



รูปที่ 3.30 แสดงบล็อกไดอะแกรมส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับเครื่องรับโทรศัพท์หลายทาง

สามารถหยุดยุบสนทนาตอบโต้กันได้ ภาค Control Circuit จะทำการจับเวลาในการสนทนา ซึ่งได้ตั้งเวลาไว้ เพื่อให้ไม่สนทนาถาวรเกินไป เป็นการถนอมอายุการใช้งานของเครื่องส่ง

เมื่อผู้ใช้ต้องการใช้งานในการเรียกออกต่อโทรศัพท์ไปยังคู่สายภายนอกหรือคู่สายภายในอื่น ลักษณะการทำงานเช่นเดียวกันเพียงแต่เป็นการสลับขั้นตอนการทำงานเท่านั้น

ภาค DC Generator ทำหน้าที่สร้างไฟตรง 48 โวลต์ป้อนเข้าสู่สายโทรศัพท์สำหรับจ่ายให้เครื่องรับโทรศัพท์หรือเลียนแบบการทำงานของคู่สายโทรศัพท์ขององค์การโทรศัพท์

### 3.8.2.1 ภาค Hybrid Interface And Antenna System

วงจรแสดงดังรูปที่ 3.31 ภาคนี้จะทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างคู่สายโทรศัพท์กับเครื่องรับและเครื่องส่ง โดยการปรับอิมพีแดนซ์ของวงจรภายในให้เท่ากับอิมพีแดนซ์ของคู่สายโทรศัพท์ คือ 600 โอห์ม ซึ่งใช้ Hybrids Transformer เป็นแมทซ์อิมพีแดนซ์และยังทำหน้าที่บาลานซ์เฟสของสัญญาณของเครื่องส่งไม่ให้รบกวนซึ่งกันและกัน โดยเฟสจะหักล้างกันหมดซึ่งมี VR101 เป็นตัวปรับบาลานซ์เฟส VR102 เป็นตัวปรับระดับสัญญาณที่รับมาจากเครื่องรับ VR103 เป็นตัวปรับระดับสัญญาณที่มาจากเครื่องส่ง ภาคนี้จะมีส่วนของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 48 โวลต์สำหรับจ่ายให้แก่โทรศัพท์ ไดโอด D101-D103 จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมจ่ายให้กับ ภาค Telephone Status Detection Circuit เพื่อตรวจสอบการยกหูของโทรศัพท์

### 3.8.2.2 ภาค Telephone Status Detection Circuit

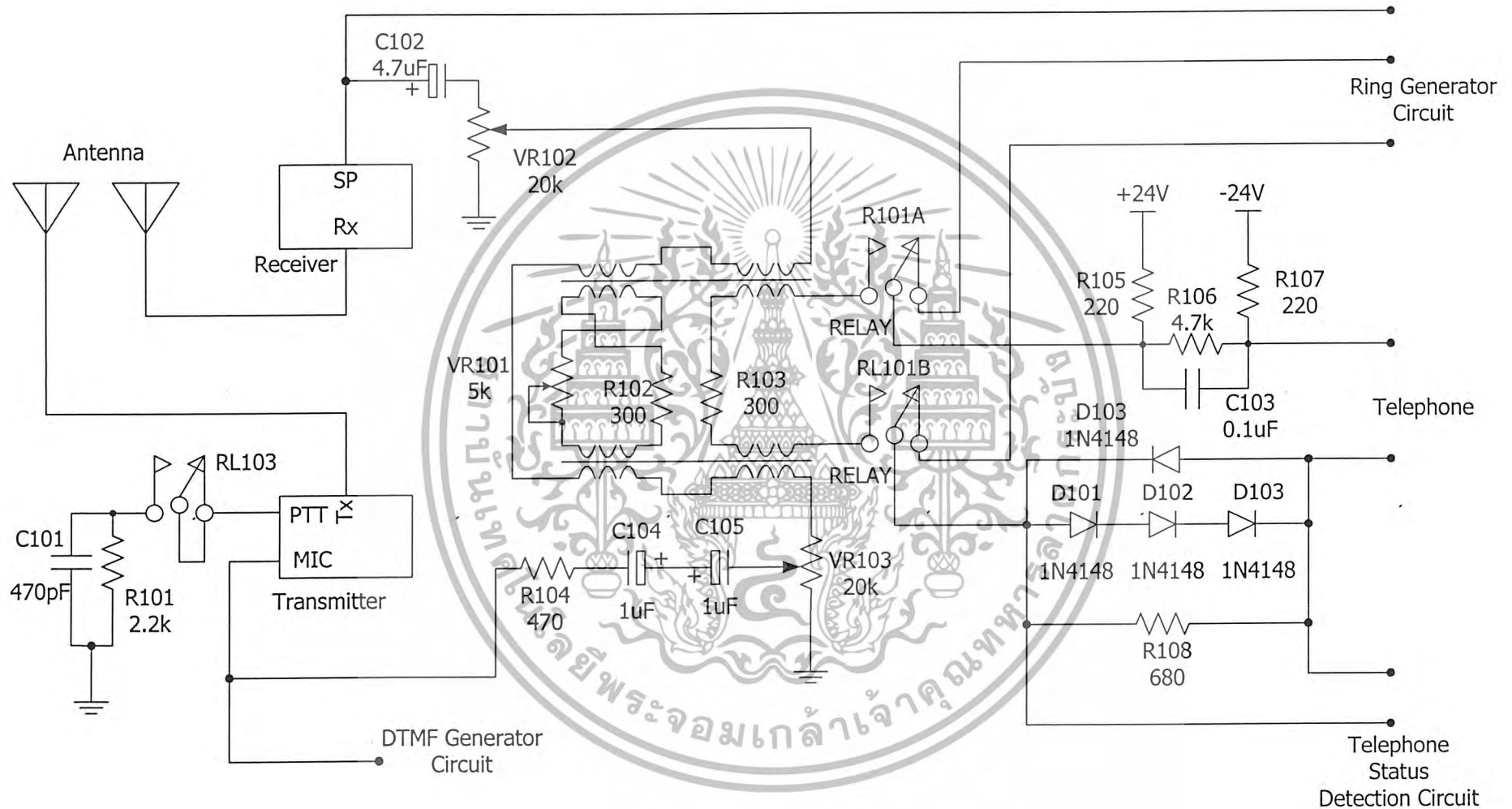
วงจรแสดงดังรูปที่ 3.32 เมื่อมีการยกหูโทรศัพท์ทำให้เกิดแรงดันส่วนหนึ่งตกคร่อมที่อินพุตของภาค Telephone Status Detection Circuit จ่ายให้แก่ IC201 (4N25) โดยมี R201 เป็นตัวจำกัดกระแส ได้แรงดันที่ขา 5 ของ IC201 เป็นระดับสัญญาณลอจิก "0" จ่ายให้แก่วงจรหน่วงเวลาซึ่งประกอบด้วย IC202A (40106), IC202F, IC202B, R203, R204, C201 และ C202 ได้สัญญาณเอาต์พุตที่ขา 4 ของ IC202B เป็นระดับสัญญาณลอจิก "1" เป็นอินพุตให้กับ ภาค Control Circuit

### 3.8.2.3 ภาค Ring Generator Circuit

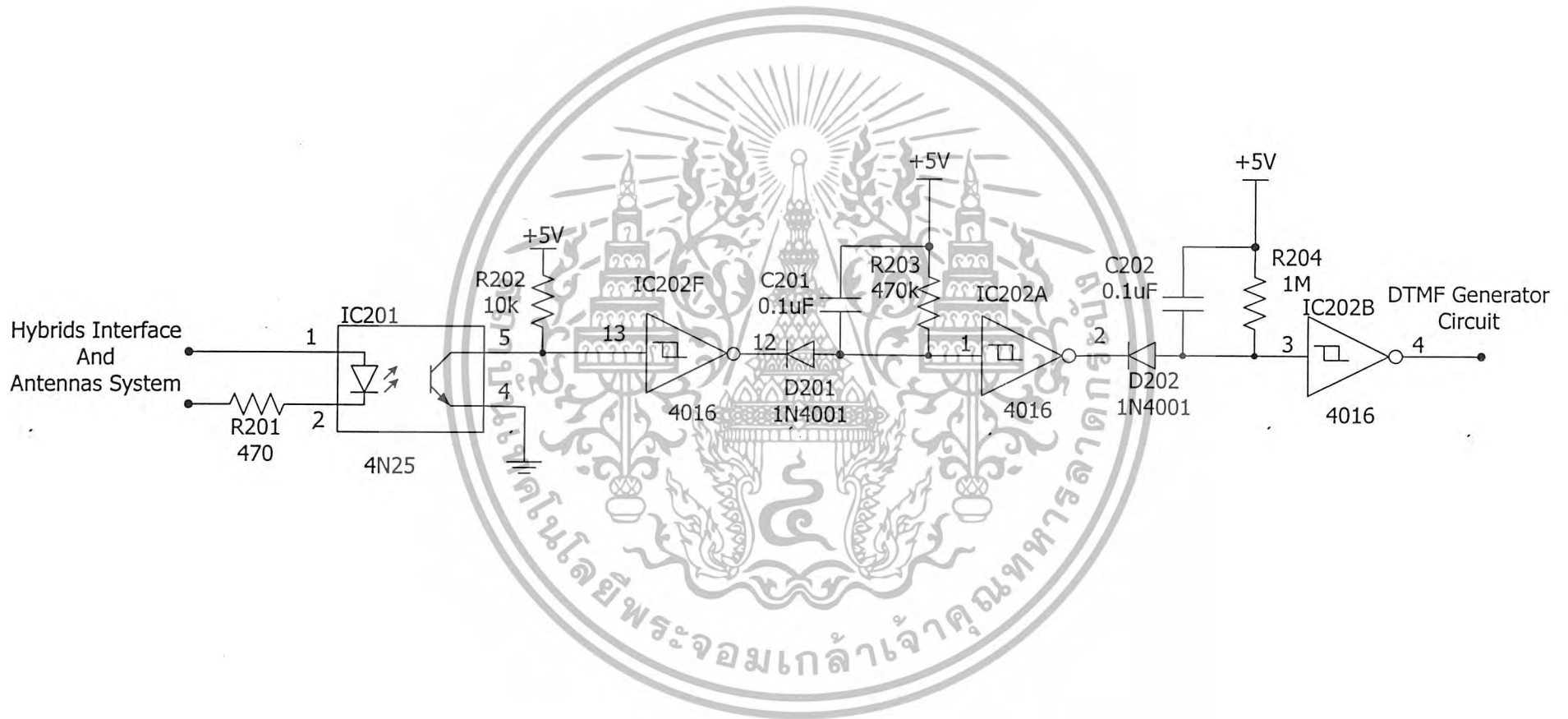
วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่ถอดรหัสสัญญาณ DTMF ที่ส่งมาจากส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับตู้ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ และส่งสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ไปยังส่วนวงจรสร้างสัญญาณกระดิ่งจ่ายให้แก่โทรศัพท์ เมื่อมีการเรียกเข้ามายังเครื่องรับโทรศัพท์

หลักการการทำงานของวงจร

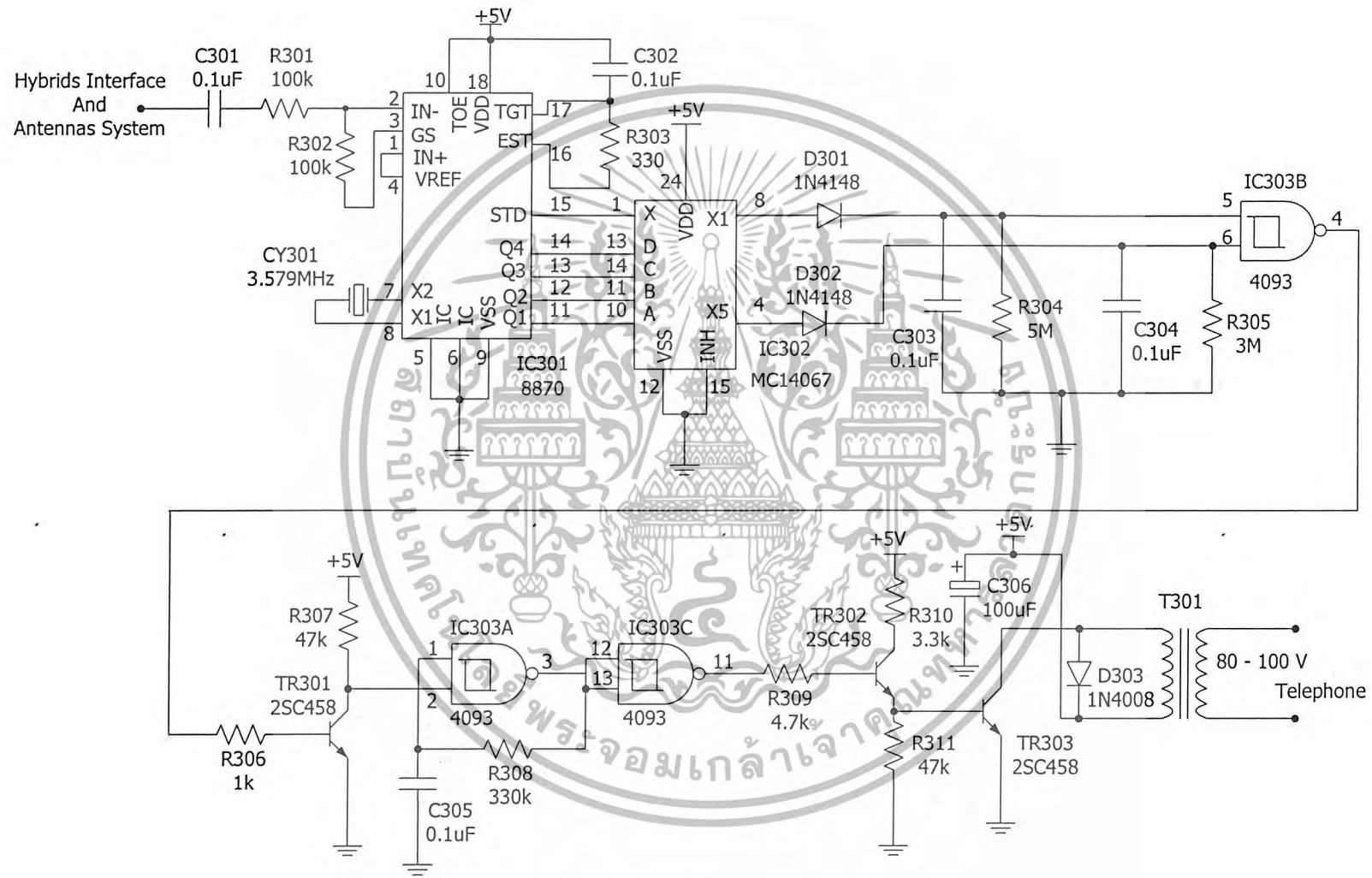
วงจรแสดงดังรูปที่ 3.33 เมื่อมีสัญญาณ DTMF "1" ช่วงเวลา 1 วินาที เข้ามา IC301 (MT8870) จะทำการถอดรหัสสัญญาณเพื่อเป็นอินพุตให้แก่ IC302 (MC14067) ซึ่งเป็นอนาลอกดีมัลติเพล็กซ์เซอร์ (Analog Demultiplexers) ได้เอาต์พุตที่ขา 8 เป็น "1" จ่ายให้แก่ IC303B (4093) ได้เอาต์พุตที่ขา 4 เป็น "0" ทำให้ TR301 อยู่ในสถานะหยุดนำกระแส IC303A เป็นวงจรสร้างพัลส์ 25 เฮิร์ตซ์ ไบอัสให้แก่ TR302 และ TR303 ทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองทำงานในสถานะนำกระแสและหยุดนำกระแส เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน T301 ซึ่งเป็นหม้อแปลงแบบแปลงไฟขึ้นเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ เพื่อเป็นสัญญาณกระดิ่งจ่ายให้แก่โทรศัพท์



รูปที่ 3.31 แสดงวงจร Hybrids Interface And Antenna System



รูปที่ 3.32 แสดงวงจร Telephone Status Detection Circuit



รูปที่ 3.33 แสดงวงจร Ring Generator Circuit

### 3.8.2.4 ภาค DTMF Code Generator Circuit

วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณ DTMF เพื่อควบคุมการรอกหูและวางหูไปยังส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับตู้ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ ซึ่งกำหนดให้สัญญาณ DTMF “2” หมายถึงการรอกหู และสัญญาณ DTMF “#” หมายถึงการวางหู

**หลักการทำงานของวงจร**

วงจรแสดงดังรูปที่ 3.34 เมื่อมีการรอกหูสภาวะแรกจะทำให้เกิดอินพุตที่ขา 1 ของ IC403A (40106) เป็นลอจิก “1” ได้เอาต์พุตที่ขา 2 เป็นลอจิก “0” ส่วน R407 และ C404 จะเป็นวงจรหน่วงเวลาทำให้ได้เอาต์พุตที่ขา 8 ของ IC404D มีสภาวะลอจิก “1” อยู่ช่วงเวลาหนึ่งก่อนจะกลับมาเป็นสภาวะลอจิก “0” เพื่อเป็นอินพุตให้แก่ขา 13 ของ IC402B (4066) ซึ่งเป็นอนาล็อกสวิทช์ทำให้ขา 16 และขา 12 ของ IC401 (UM91215A) ต่อถึงกันทำให้ได้เอาต์พุตที่ขา 7 เป็นสัญญาณ DTMF “#” ส่งไปยังส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับตู้ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ ทำให้อยู่ในสภาวะวางหู ในขณะเดียวกันเอาต์พุตที่ขา 8 ของ IC404D จะส่งผ่าน R408 และ C405 ซึ่งเป็นวงจรหน่วงเวลาเป็นอินพุตให้แก่ขา 3 ของ IC403B ทำให้เอาต์พุตที่ขา 4 เปลี่ยนสภาวะลอจิกจาก “0” เป็นลอจิก “1” อยู่ช่วงระยะเวลาหนึ่งก่อนจะกลับมาเป็นสภาวะลอจิก “0” ส่งผ่านวงจรหน่วงเวลา R409 และ C406 เป็นอินพุตให้แก่ขา 5 ของ IC403C ทำให้เอาต์พุตที่ขา 6 เปลี่ยนจากสภาวะลอจิก “0” เป็นลอจิก “1” ช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะกลับสภาวะเป็นลอจิก “1” อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งช่วงที่เอาต์พุตที่ขา 6 มีสภาวะเป็นลอจิก “1” นี้จะเป็นอินพุตป้อนให้แก่ขา 12 ของ IC402A ทำให้ขา 11 และขา 13 ของ IC401 ต่อถึงกันได้เอาต์พุตที่ขา 7 ของ IC401 เป็นสัญญาณ DTMF “2” ส่งไปยังส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับตู้ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ เพื่อควบคุมให้วงจรอยู่ในสภาวะรอกหู

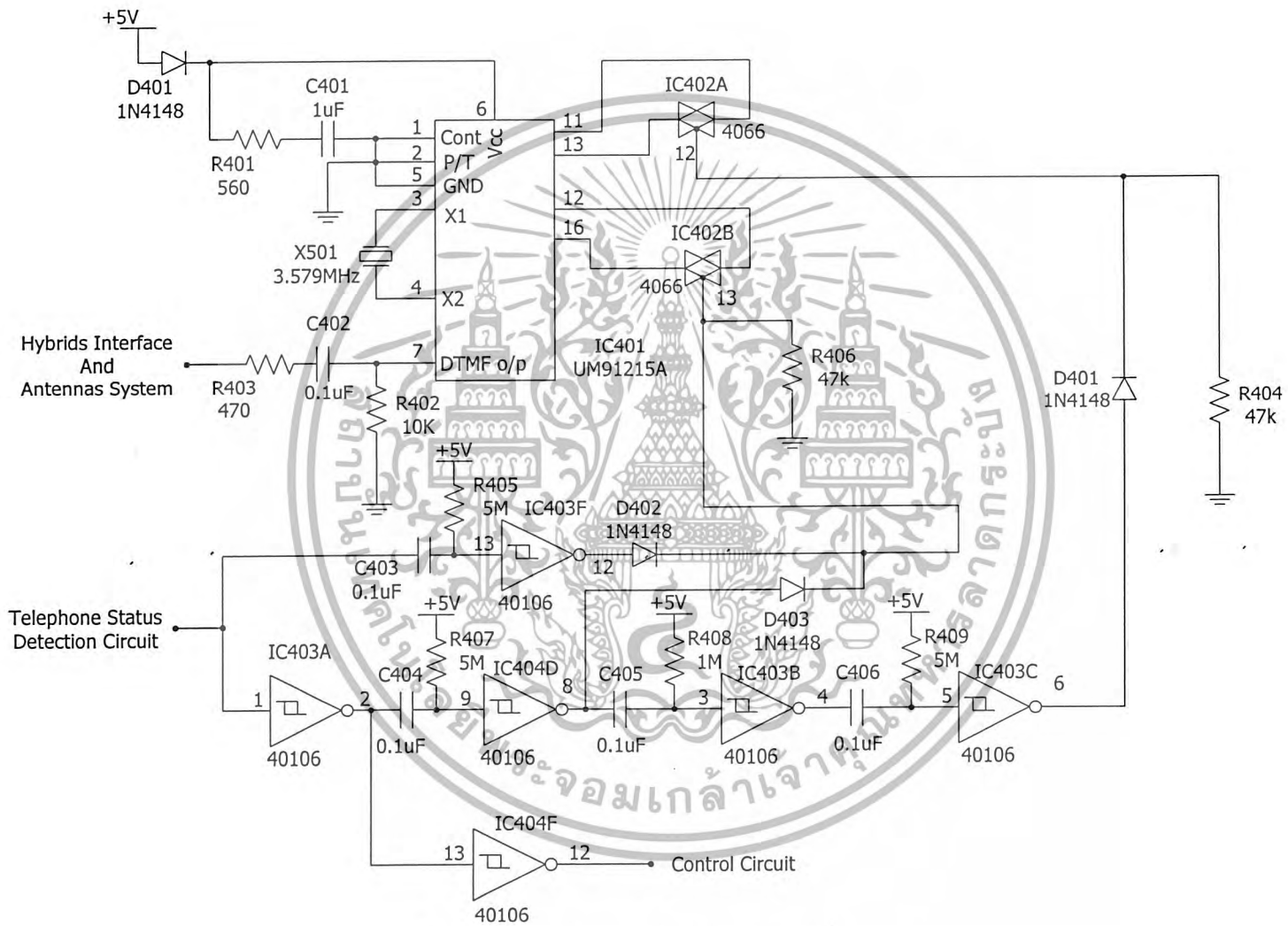
เมื่อมีการวางหูโทรศัพท์จะทำให้อินพุตวงจรหน่วงเวลา R405 และ C403 เป็นลอจิก “0” ทำให้ขา 13 ของ IC403F เปลี่ยนสภาวะลอจิก “1” เป็นลอจิก “0” ช่วงเวลาหนึ่งได้เอาต์พุตที่ขา 12 เปลี่ยนจากสภาวะลอจิก “0” เป็นลอจิก “1” ช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะกลับสภาวะเป็นลอจิก “0” อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งช่วงที่เอาต์พุตที่ขา 12 มีสภาวะเป็นลอจิก “1” นี้จะเป็นอินพุตป้อนให้แก่ขา 13 ของ IC402B ทำให้ขา 12 และขา 16 ของ IC401 ต่อถึงกันได้เอาต์พุตที่ขา 7 ของ IC401 เป็นสัญญาณ DTMF “#” ส่งไปยังส่วนเชื่อมต่อวิทยุที่ต่ออยู่กับตู้ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ เพื่อควบคุมให้วงจรอยู่ในสภาวะวางหู

### 3.8.2.5 ภาค Control Circuit

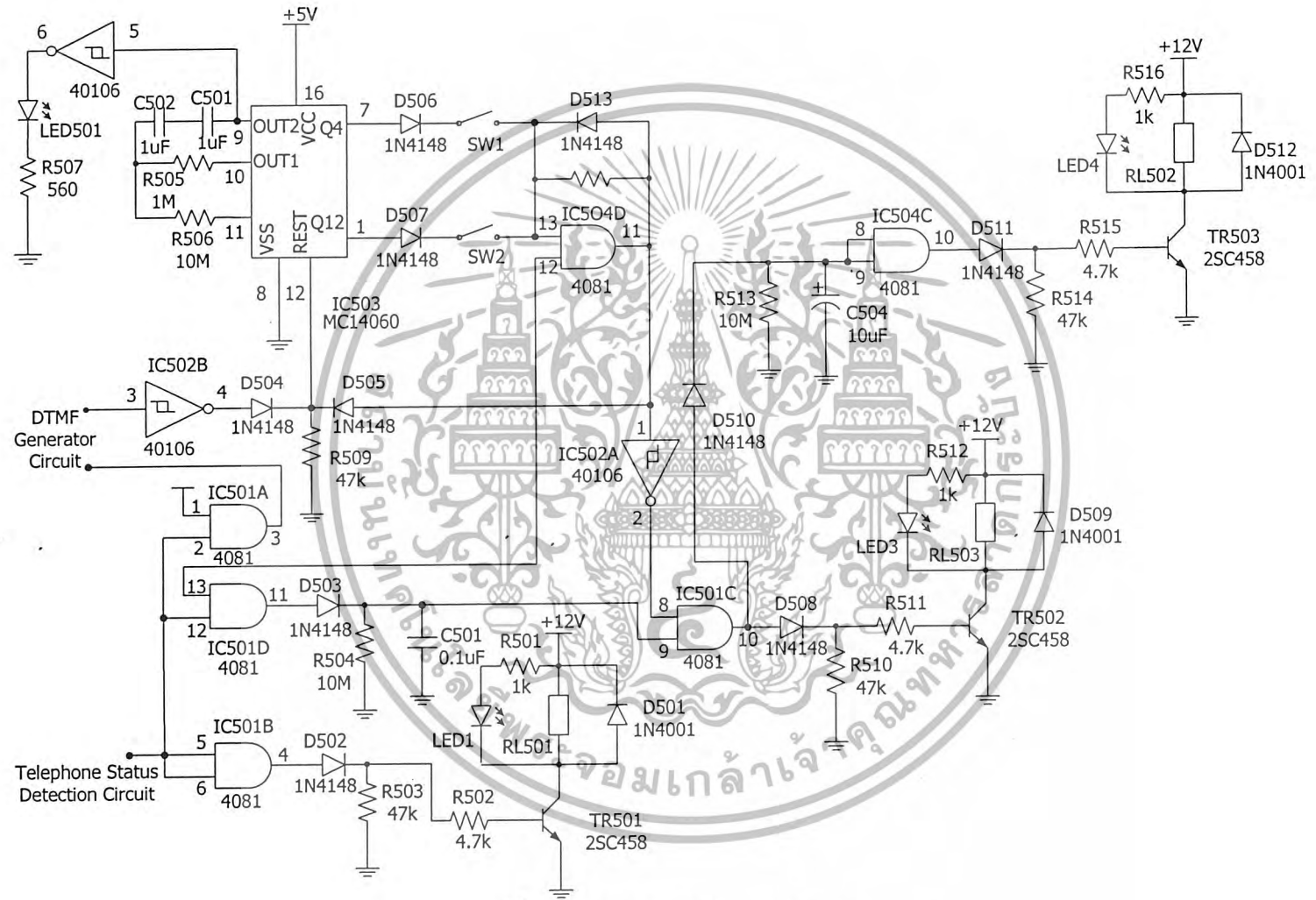
วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่ตรวจสอบสภาวะการใช้งานโทรศัพท์และควบคุมการตัด/ต่อรีเลย์ ให้ถูกต้องตามสภาวะการใช้งานรวมทั้งกำหนดเวลาการใช้งานโทรศัพท์ไว้ด้วย

**หลักการทำงานของวงจร**

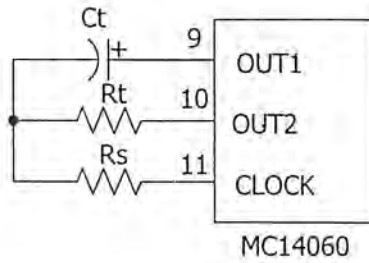
วงจรแสดงดังรูปที่ 3.35 เมื่อมีการรอกหูโทรศัพท์จะทำให้เกิดแรงดันอินพุตสภาวะลอจิก “1” จ่ายให้แก่ขา 5 และขา 6 ของ IC501B (4081) ได้เอาต์พุตที่ขา 4 เป็นลอจิก “1” จ่ายไปอัสให้แก่ TR501 ทำให้รีเลย์ RL501 ต่อวงจรโทรศัพท์เข้ากับหม้อแปลงไฮบริดจ์ ส่วนของการเชื่อมต่อวงจรรับ/ส่งสัญญาณจะถูกควบคุมโดย IC503 (MC14060) ซึ่งเป็นไอซีเคาน์เตอร์และออสซิลเลเตอร์ การออกแบบความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่สร้างขึ้นสามารถคำนวณได้จากค่า  $C_t$  และ  $R_t$  ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.34 แสดงวงจร DTMF Code Generator Circuit



รูปที่ 3.35 แสดงวงจร Control Circuit



รูปที่ 3.36 แสดงวงจรการสร้างสัญญาณนาฬิกาในตัวไอซี MC14060

$$f = 1/2.3RtCt$$

ให้

$$Rt = 1\text{ M}\Omega$$

$$Ct = 0.5\ \mu\text{F}$$

จะได้

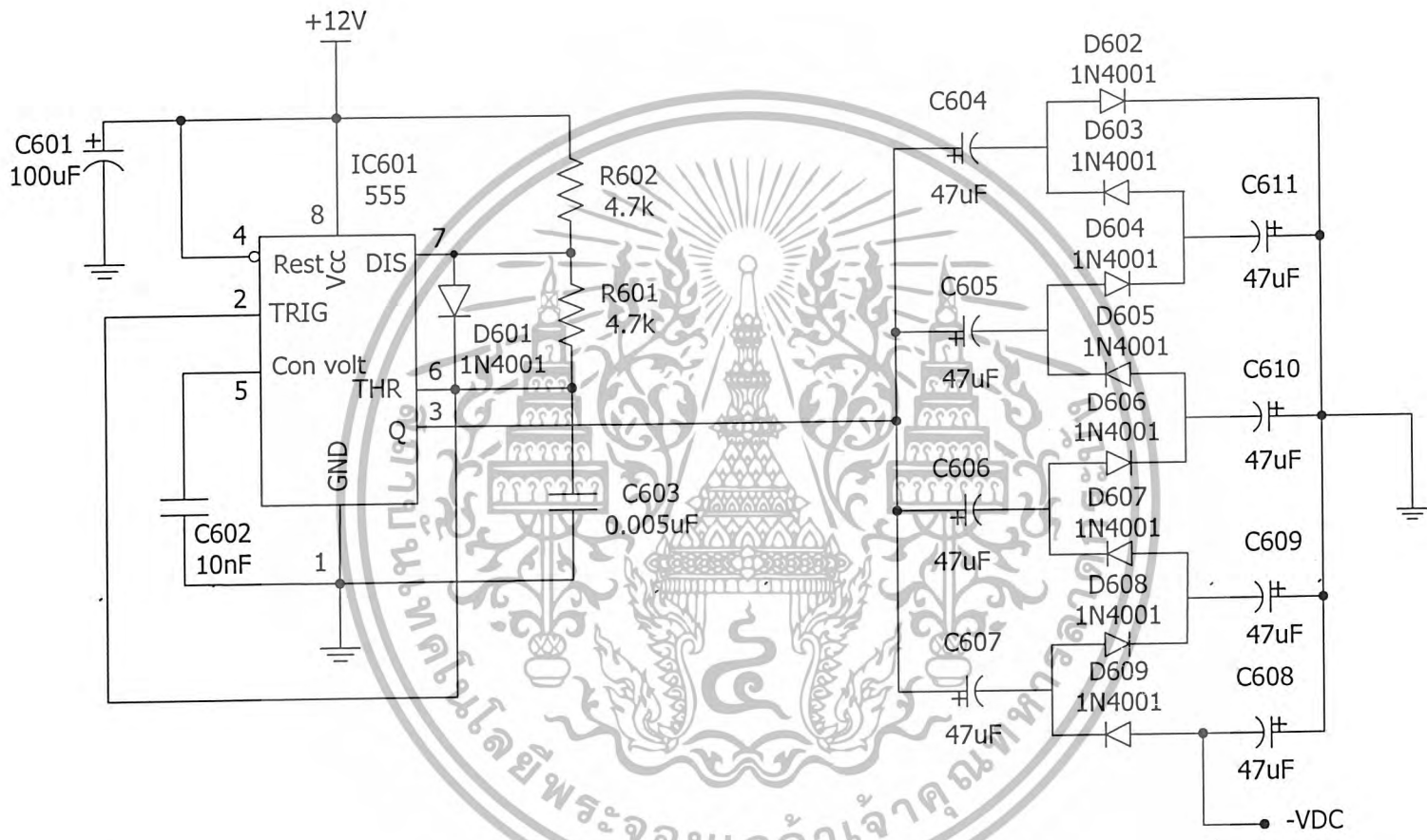
$$f = 1/(2.3 \times 1\text{ M}\Omega \times 0.5\ \mu\text{F})$$

$$= 0.9\ \text{Hz}$$

ซึ่งจะใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาสำหรับการนับเวลา โดยจะต่อวงจรเวลาไว้ 2 ส่วน คือเอาต์พุต Q4 สำหรับการทดลองวงจรซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 8 วินาที และเอาต์พุต Q12 สำหรับการใช้งานจริงประมาณ 30 นาที เมื่อมีการยกหูโทรศัพท์สัญญาณอินพุตจากการตรวจสอบสถานะการยกหูมีสถานะลอจิก “1” เป็นอินพุตให้แก่ขา 5 และขา 6 ของ IC501B ได้เอาต์พุตที่ขา 4 เป็นลอจิก “1” จ่ายไบอัสให้แก่ TR501 ส่งผลให้รีเลย์ RL501 ต่อวงจร โทรศัพท์เข้ากับหม้อแปลงไฮบริดจ์ สัญญาณเชิงบวกจะเป็นอินพุตป้อนให้แก่ขา 12 และขา 13 ของ IC501D ได้เอาต์พุตที่ขา 11 เป็นลอจิก “1” จ่ายไบอัสให้กับ TR502 ส่งผลให้รีเลย์ RL503 ต่อกับเครื่องส่ง เพื่อทำการส่งสัญญาณ เมื่อมีการยกหูประมาณ 30 นาที จะทำให้ Q12 ของ IC503 มีสถานะเป็นลอจิก “1” เป็นอินพุตให้แก่ขา 1 ของ IC502A ได้เอาต์พุตที่ขา 2 เป็นลอจิก “0” เป็นอินพุตให้แก่ขา 8 ของ IC501C ได้เอาต์พุตที่ขา 10 เป็นลอจิก “0” ส่งผลให้ TR502 และ TR503 ทำให้ RL503 ตัดส่วนที่เชื่อมต่อกับเครื่องส่ง ทำให้เครื่องส่งหยุดทำการส่ง

### 3.8.2.6 วงจรทวีแรงดัน

วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่สร้างแรงดันไฟตรง 48 โวลต์ เพื่อจ่ายให้แก่เครื่องโทรศัพท์ เมื่อมีการยกหูเพื่อใช้งานเครื่องโทรศัพท์โดยการสร้างสัญญาณพัลส์ 12 โวลต์ จากวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ แล้วนำสัญญาณพัลส์นี้ ไปผ่านวงจรทวีแรงดัน 3 เท่าเพื่อให้ได้เป็นแรงดันไฟกระแสตรง -36 โวลต์โดยใช้การเก็บประจุและคายประจุเพื่อเพิ่มระดับแรงดันให้สูงขึ้น และแรงดัน +12 โวลต์ จากแหล่งจ่ายไฟตรง ทำให้ได้แรงดันรวม 48 โวลต์ วงจรแสดงดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 แสดงวงจรทวีแรงดัน

## บทที่ 4

## การทดลองและผลการทดลอง

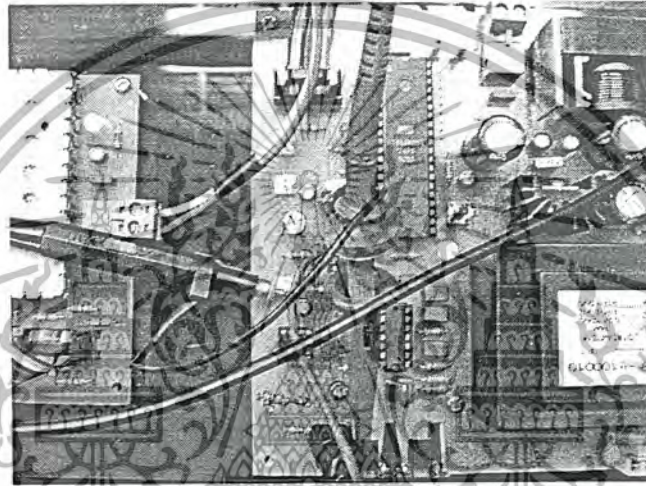
จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 เป็นการออกแบบวงจรในส่วนต่างๆ ตามบล็อกไดอะแกรม ในบทนี้จะเป็นผลการทดลองของวงจรในส่วนต่างๆ

## 4.1 การทดลองส่วนของวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

จุดประสงค์ เพื่อการทดลองการทำงานของวงจรขยายสัญญาณ

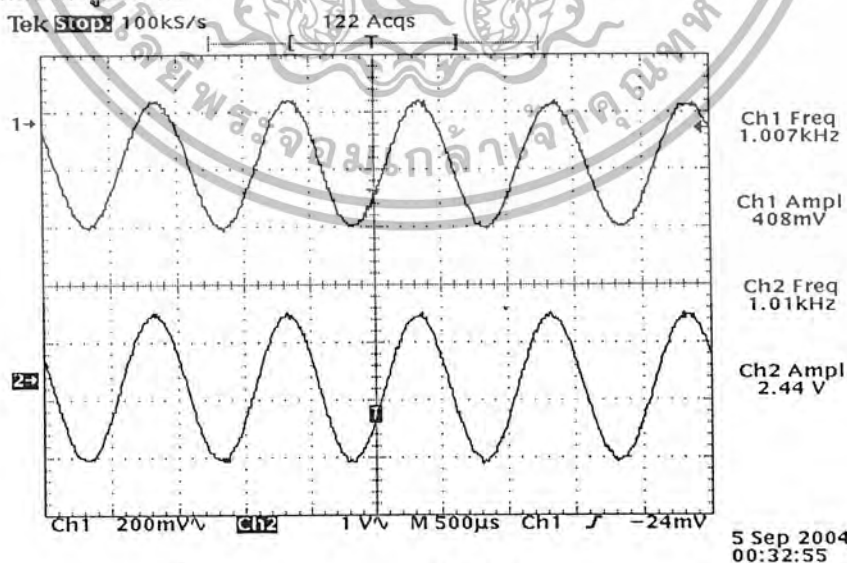
## 4.1.1 การทดลองหาอัตราขยายสัญญาณ

โดยการป้อนอินพุตเป็นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์และแอมพลิจูด 400 mV แสดงการวัดดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่อัตราขยายเท่ากับ 6

Ch.1 สัญญาณอินพุตขนาด 400 mV<sub>pp</sub>

Ch.2 สัญญาณเอาต์พุตขนาด 2.4V<sub>pp</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะที่ระบุไว้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองจะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตมีขนาดเพิ่มเป็น  $2.4V_{p-p}$  เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตขนาด  $400 mV_{p-p}$  แสดงให้เห็นว่าขนาดสัญญาณเพิ่มขึ้น 6 เท่าของอินพุต และไม่กลับเฟสซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกับการคำนวณและการสร้างวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสในบทที่ 3

#### 4.1.2 การทดลองหาผลตอบสนองความถี่ของวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

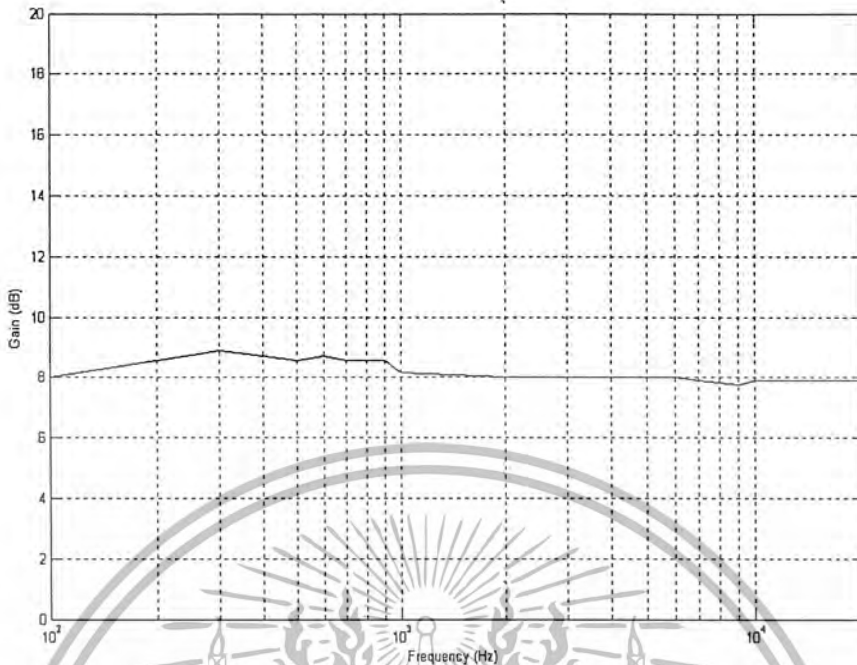
โดยป้อนอินพุตเป็นสัญญาณไซน์ ที่มีแอมพลิจูดเท่ากับ  $400 mV$  แล้วทำการเปลี่ยนค่าความถี่ไปตั้งแต่  $100 Hz - 10000 Hz$  โดยได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการตอบสนองของวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ

ความถี่ (Hz)	แอมพลิจูด (Volt)	อัตราขยาย (Gain)
100	2.52	8.028010816
200	2.68	8.562695881
300	2.78	8.880895918
400	2.72	8.691378081
500	2.68	8.562695881
600	2.72	8.691378081
700	2.68	8.562695881
800	2.68	8.562695881
900	2.68	8.562695881
1000	2.56	8.164799306
2000	2.52	8.028010816
3000	2.52	8.028010816
4000	2.523	8.03834501
5000	2.52	8.028010816
6000	2.52	8.028010816
7000	2.48	7.889033617
8000	2.46	7.818702142
9000	2.44	7.747796527
10000	2.48	7.889033617
15000	2.48	7.889033617
20000	2.48	7.889033617

นำผลที่ได้ไปพล็อตกราฟผลตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ของวงจรขยายสัญญาณได้ดังรูปที่ 4.3

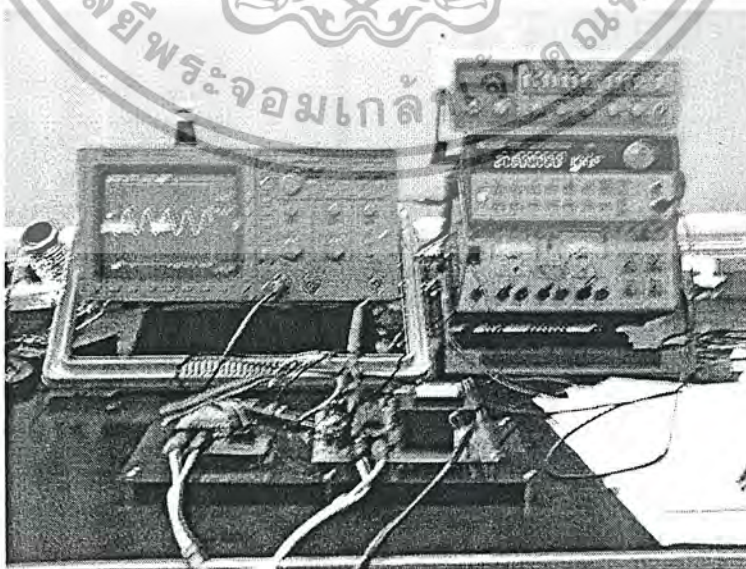
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรขยายสัญญาณ

4.2 การทดลองของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ทชนิดเอกที่โฟอินต์ 8 ความถี่คัทออฟ 5 กิโลเฮิร์ตซ์

จุดประสงค์ เพื่อทดลองหาผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ทชนิดเอกที่โฟอินต์โดยใช้วงจร เซลล์เส้นแอนดคีย์ มีความถี่คัทออฟที่ 5 กิโลเฮิร์ตซ์ ในการทดลองได้ป้อนสัญญาณที่มีแอมพลิจูดขนาด 1 โวลต์



รูปที่ 4.4 แสดงการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่โรงเรียนแห่งนี้ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

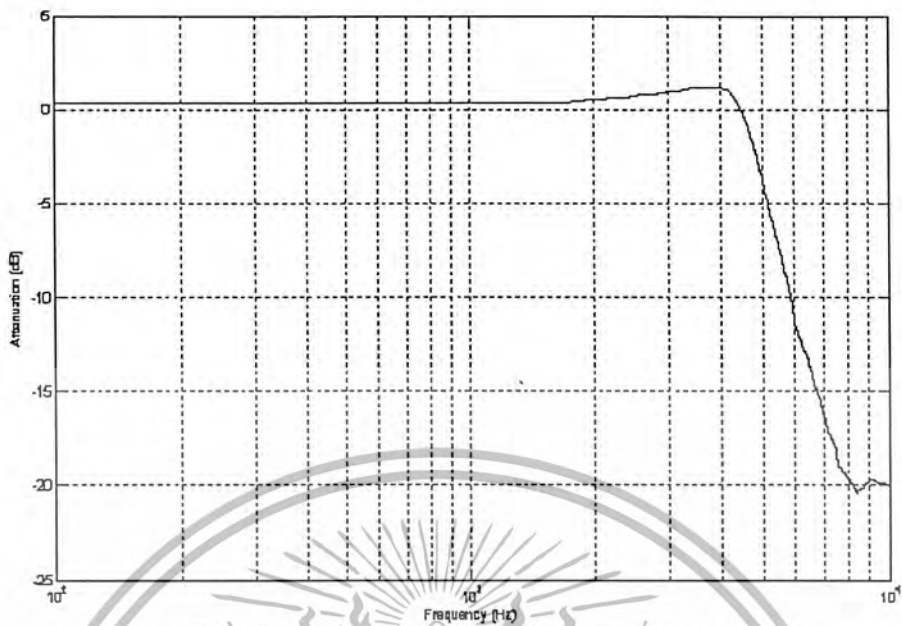
ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการตอบสนองความถี่ของวงจรองความถี่ต่ำผ่านแบบเอกทึฟ

ความถี่ (เฮิรตซ์)	แรงดันเอาต์พุต (โวลต์)	อัตราการใช้ สคทอน(ดีบี)	ความถี่ (เฮิรตซ์)	แรงดันเอาต์พุต (โวลต์)	อัตราการใช้ สคทอน(ดีบี)
100	1.04	0.341	4800	0.79	-2.047
200	1.04	0.341	5000	0.66	-3.609
300	1.04	0.341	5200	0.53	-5.514
400	1.04	0.341	5400	0.46	-6.745
600	1.04	0.341	5600	0.38	-8.404
800	1.04	0.341	5800	0.33	-9.630
1000	1.04	0.341	6000	0.26	-11.701
1200	1.04	0.341	6200	0.23	-12.765
1400	1.04	0.341	6400	0.21	-13.556
1600	1.04	0.341	6600	0.18	-14.895
1800	1.05	0.424	6800	0.17	-15.391
2000	1.06	0.506	7000	0.15	-16.478
2200	1.07	0.588	7200	0.13	-17.721
2400	1.08	0.668	7400	0.12	-18.416
2600	1.09	0.749	7600	0.11	-19.172
2800	1.10	0.828	7800	0.1	-20.000
3000	1.12	0.984	8000	0.1	-20.000
3200	1.12	0.984	8200	0.1	-20.000
3400	1.14	1.138	8400	0.09	-20.915
3600	1.15	1.214	8600	0.09	-20.915
3800	1.15	1.214	8800	0.1	-20.000
4000	1.14	1.138	9000	0.1	-20.000
4200	1.12	0.984	1000	0.1	-20.000
4400	1.03	0.257			
4600	0.92	-0.724			

เมื่อทำการทดสอบป้อนความถี่ตั้งแต่ 100 เฮิรตซ์ไปจนถึง 10 กิโลเฮิรตซ์ วงจรองความถี่ต่ำผ่านมีความถี่คัทออฟประมาณ 4.7 กิโลเฮิรตซ์ นำผลที่ได้ไปพล็อตกราฟผลตอบสนองความถี่ ได้ดังรูปที่ 4.5

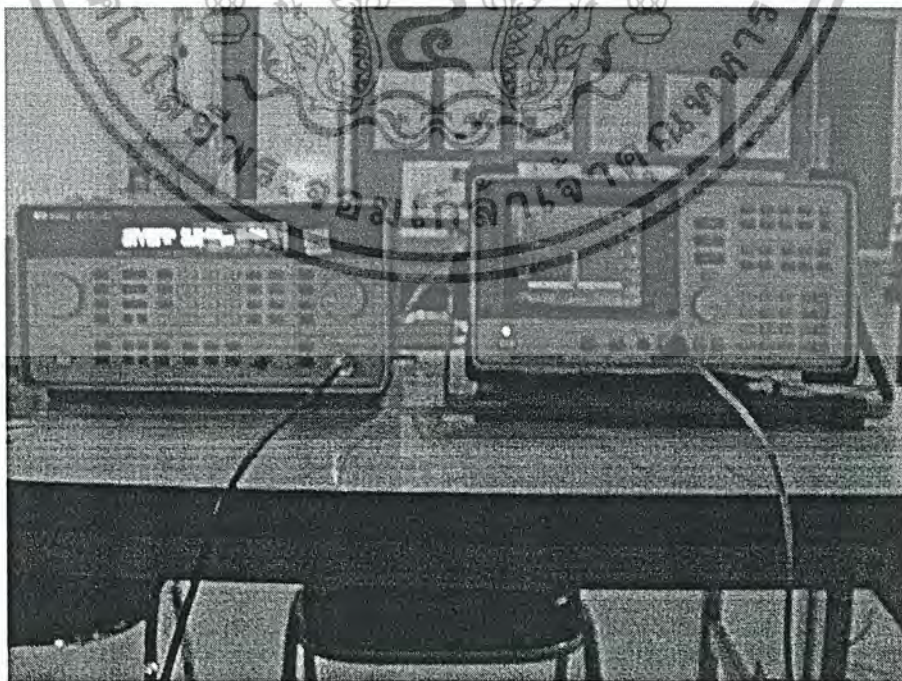
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟ

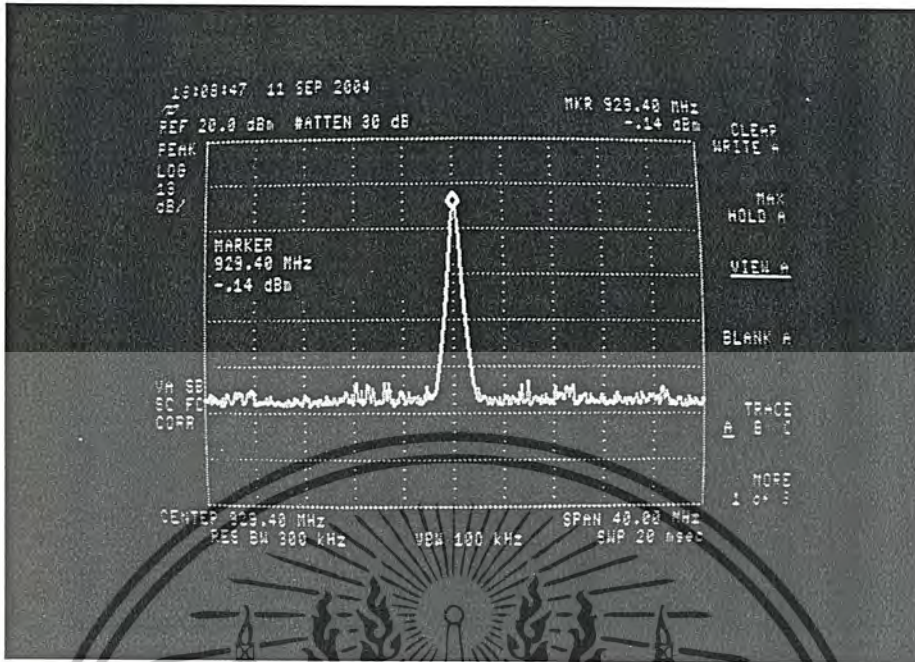
#### 4.3 การทดลองหาค่าความถี่เบี่ยงเบนของสเปกตรัมอนาลิเซอร์ (Spectrum Analyzer)

จุดประสงค์ เนื่องจากสเปกตรัมที่ใช้ในการทดลองมีความถี่เบี่ยงเบนในการวัดมากจึงนำมาทดลองหาค่าความถี่เบี่ยงเบนเป็นเท่าไร โดยใช้ซิกแนลเจนเนอเรเตอร์ (Signal Generator) ป้อนสัญญาณที่อินพุต ขนาด 0dBm ความถี่ 928 เมกกะเฮิรตซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 4.6 แสดงการทดสอบหาค่าความถี่เบี่ยงเบนของสเปกตรัมอนาลิเซอร์ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงความเบี่ยงเบนของสเปกตรัมอนาไลเซอร์

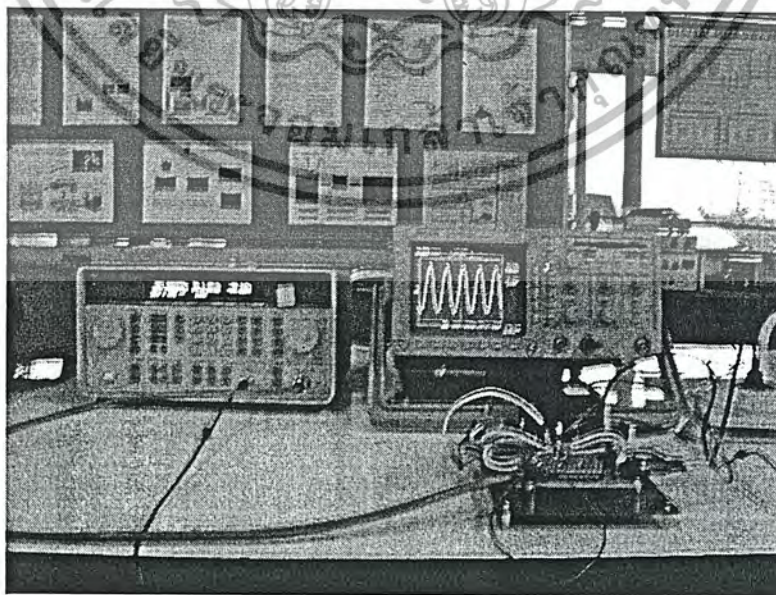
จากรูปที่ 4.7 สเปกตรัมวัดความถี่เบี่ยงเบนไปมากกว่าอินพุตที่ป้อน 1.4 เมกกะเฮิรตซ์

4.4 การทดลองหาค่ากำลัง (Power: P) และความถี่ของเครื่องส่ง

จุดประสงค์ เพื่อทดลองหาค่ากำลังและความถี่ที่ส่งออกจากเครื่องส่ง

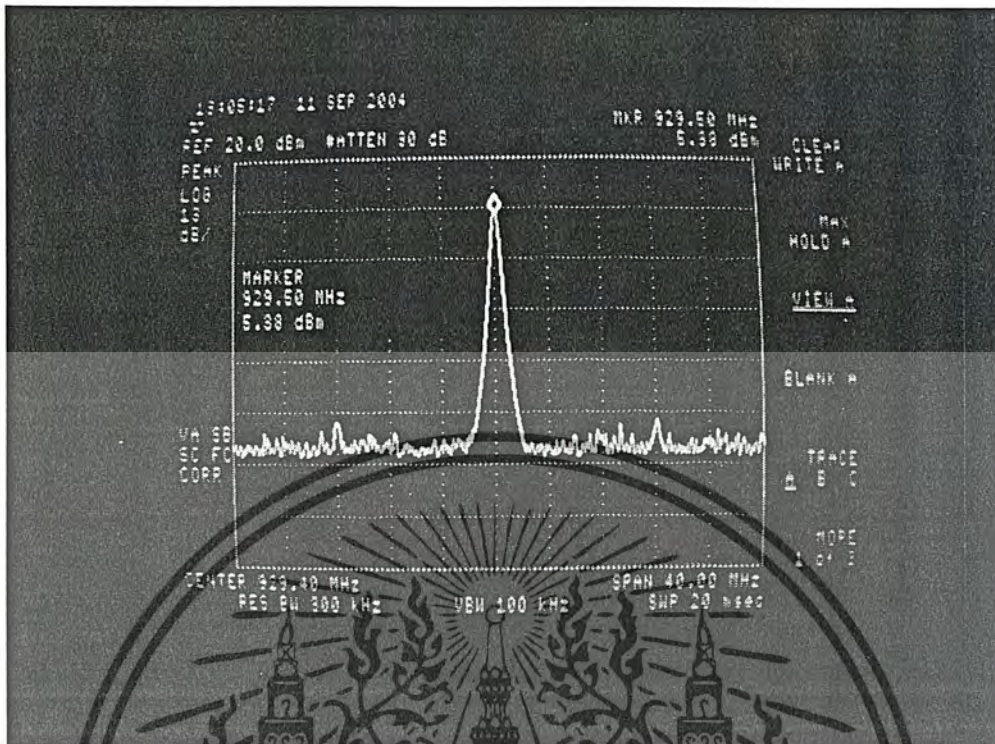
4.4.1 การทดลองหาค่ากำลังและความถี่ของเครื่องส่ง RF MODULE CT918B

โดยใช้สเปกตรัมอนาไลเซอร์วัดที่เอาต์พุตของเครื่องส่งโดยแสดงการวัดดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงการวัดเพื่อทดลองหาค่ากำลังและความถี่ที่ใช้ส่ง

ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงสเปกตรัมเอาต์พุตของเครื่องส่ง RF MODULE CT918B

จากรูปที่ 4.9 RF MODULE CT918B รัศมีความถี่ที่ใช้ในการส่งได้ 929.50 เมกะเฮิรตซ์ แต่เนื่องจากสเปกตรัมที่ใช้ในการทดลองมีค่าเบี่ยงเบนจากอินพุตอยู่ 1.4 เมกะเฮิรตซ์ ดังนั้นความถี่ที่ส่งจริงคือ  $929.50 - 1.40 = 928.10$  เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความถี่ที่ออกแบบไว้คือ 928 เมกะเฮิรตซ์ การหาค่ากำลังส่ง

จากรูปที่ 4.9 รัศขนาดสัญญาณได้ 5.38dBm ดังนั้น หาค่ากำลังที่ส่งได้

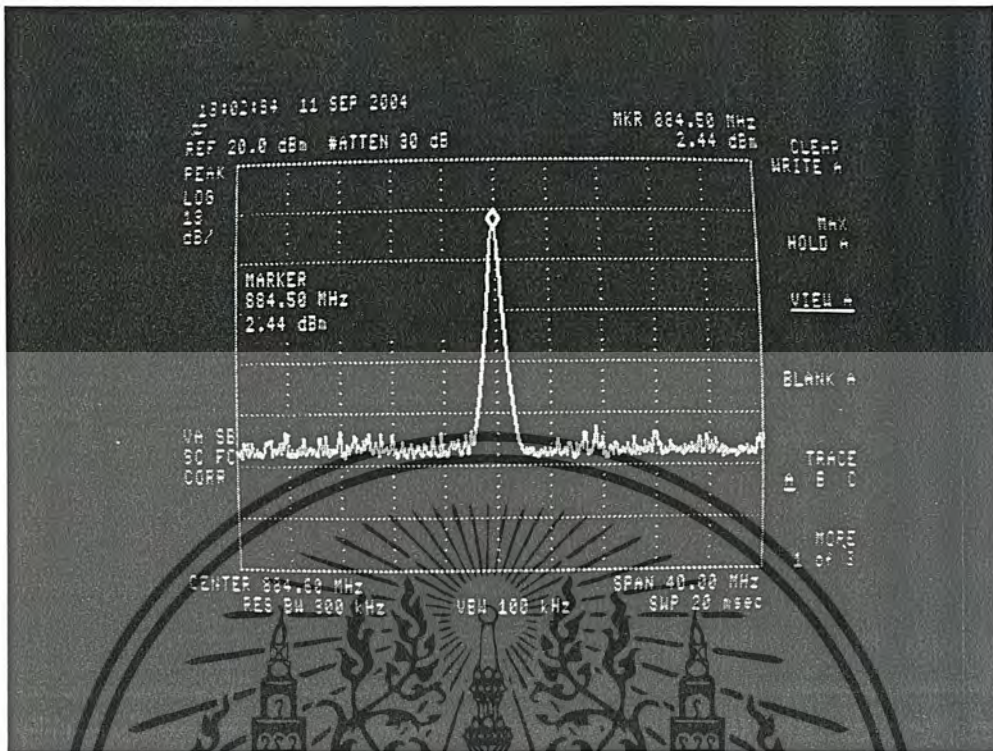
$$5.38\text{dBm} = 10 \log\left(\frac{P}{1\text{mW}}\right)$$

$$P = 3.45 \text{ มิลลิวัตต์ (mWatt)}$$

#### 4.4.2 การทดลองหาค่ากำลังและความถี่ของเครื่องส่ง RF MODULE CT918H

โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับ RF MODULE CT918B

ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมเอาต์พุตของเครื่องส่ง RF MODULE CT918H

จากรูปที่ 4.10 RF MODULE CT918H วัดความถี่ที่ใช้ในการส่งได้ 884.50 เมกกะเฮิรตซ์ แต่เนื่องจากสเปกตรัมที่ใช้ในการทดลองมีค่าเบี่ยงเบนจากอินพุตอยู่ 1.4 เมกกะเฮิรตซ์ ดังนั้นความถี่ที่ส่งจริงคือ  $884.50 - 1.40 = 883.10$  เมกกะเฮิรตซ์ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความถี่ที่ออกแบบไว้คือ 883 เมกกะเฮิรตซ์

การหาค่ากำลังส่ง

จากรูปที่ 4.10 วัดขนาดสัญญาณได้ 2.44dBm ดังนั้นหาค่ากำลังที่ส่งได้

$$2.44\text{dBm} = 10 \log\left(\frac{P}{1\text{mW}}\right)$$

$$P = 1.75 \text{ มิลลิวัตต์ (mWatt)}$$

#### 4.5 การทดลองหาเซนซิวิตี (Sensitivity) ของเครื่องรับ

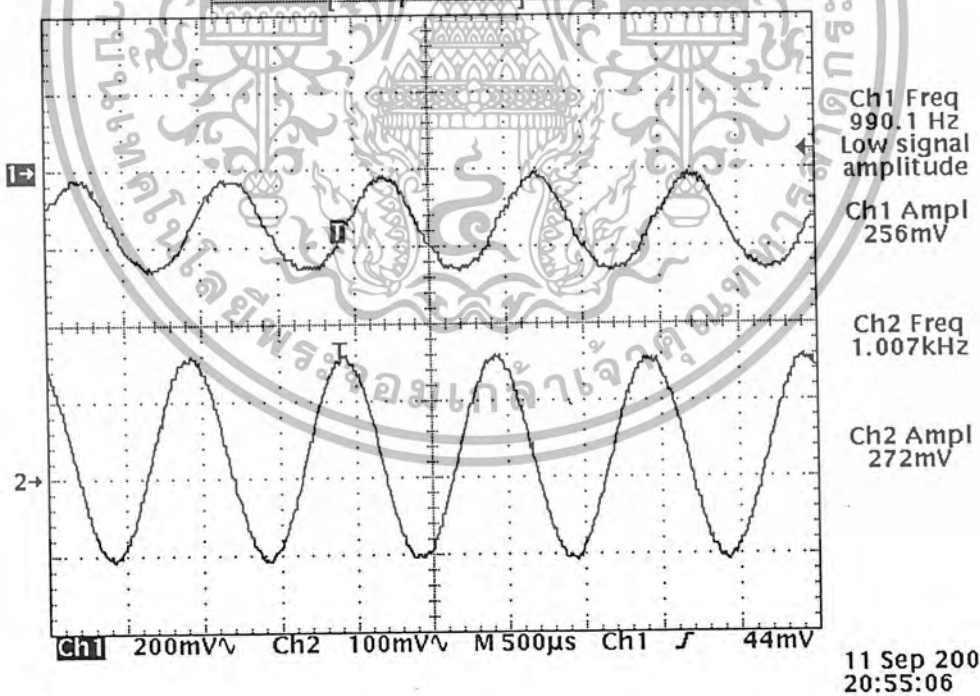
จุดประสงค์เพื่อหาเซนซิวิตีของภาครับโดยใช้ซิกแนลเจนเนเรเตอร์ HP8648B ป้อนเข้าอินพุตของเครื่องรับดังรูปที่ 4.11

##### 4.5.1 การหาเซนซิวิตีของ RF MODULE CT918B

ใช้ซิกแนลเจนเนเรเตอร์ป้อนความถี่ 883 เมกกะเฮิรตซ์ มอดดูเลตกับสัญญาณไซน์ 1 กิโลเฮิรตซ์ โดยเริ่มปรับแอมพลิจูดตั้งแต่ -100dBm จนกว่าเครื่องรับจะดีเทคสัญญาณไซน์ 1 กิโลเฮิรตซ์ได้



รูปที่ 4.11 แสดงการทดลองหาแชนจิตวิตซ์ของเครื่องรับ  
 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.12  
 Tek STOP 100kS/s 183 Acqs



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบสัญญาณที่ใช้มอดคูเลตกับสัญญาณที่ตีเทคได้ของ RF MODULE CT918B

Ch 1 สัญญาณที่ใช้มอดคูเลตด้านซิกแนลเจนเนเรเตอร์

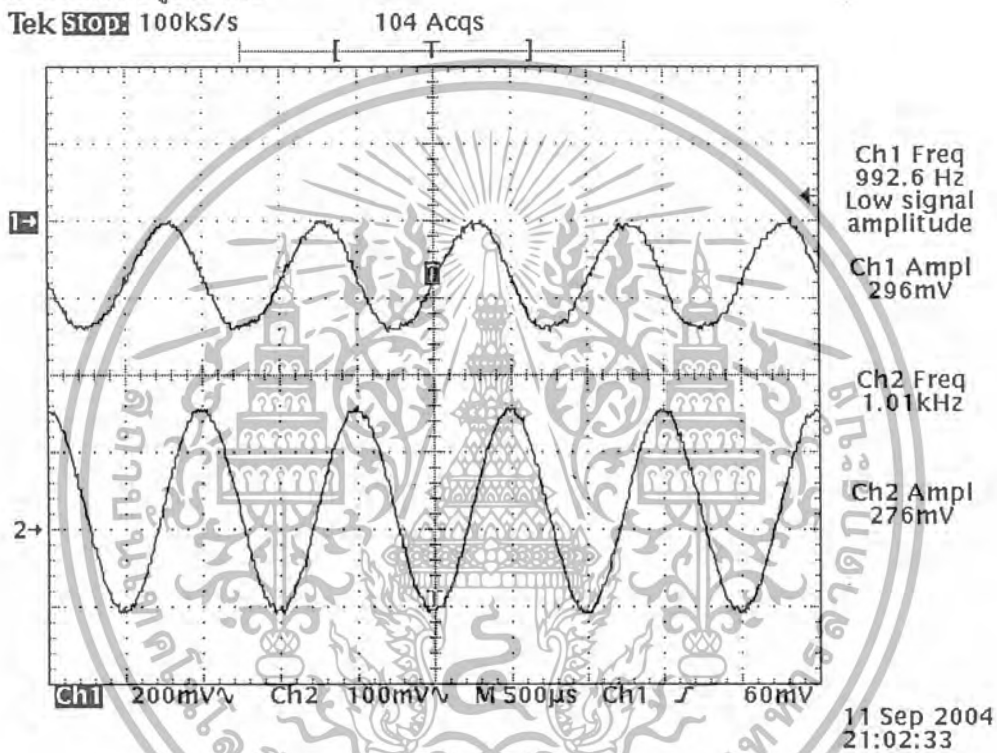
Ch 2 สัญญาณที่ตีเทคได้ด้านเครื่องรับ

จากการทดลองโดยเริ่มปรับแอมพลิจูดตั้งแต่ -100dBm ที่ซิกแนลเจนเนเรเตอร์ได้ผลคือ ที่ -80dBm เครื่องรับจะเริ่มดีเทคสัญญาณได้โดยไม่มีควมผิดเพี้ยน ดังรูปที่ 4.12 ดังนั้นเซนซิวิตีของเครื่องรับ RF MODULE CT918B คือ -80dBm

**4.5.2 การหาเซนซิวิตีของ RF MODULE CT918H**

ใช้ซิกแนลเจนเนเรเตอร์ป้อนความถี่ 928 เมกกะเฮิร์ตซ์ มอดคูเลตกับสัญญาณไซน์ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยเริ่มปรับแอมพลิจูดตั้งแต่ -100dBm จนกว่าเครื่องรับจะดีเทคสัญญาณไซน์ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ได้ ใช้ผลการทดลองเช่นเดียวกับ RF MODULE CT918B

ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบสัญญาณที่ใช้มอดคูเลตกับสัญญาณที่ดีเทคได้ของ RF MODULE CT918H

Ch 1 สัญญาณที่ใช้มอดคูเลตด้านซิกแนลเจนเนเรเตอร์

Ch 2 สัญญาณที่ดีเทค ได้ด้านเครื่องรับ

จากการทดลองโดยเริ่มปรับแอมพลิจูดตั้งแต่ -100dBm ที่ซิกแนลเจนเนเรเตอร์ได้ผลคือ ที่ -80dBm เครื่องรับจะเริ่มดีเทคสัญญาณได้โดยไม่มีควมผิดเพี้ยน ดังรูปที่ 4.13 ดังนั้นเซนซิวิตีของเครื่องรับ RF MODULE CT918H คือ -80dBm เท่ากับ RF MODULE CT918B

**4.6 การทดลองหาค่าความเข้มสัญญาณวิทยุ (RF Field Strength)**

จุดประสงค์ เพื่อทดสอบหาค่าความเข้มสัญญาณวิทยุของเครื่องส่ง ที่ระยะต่างๆ

เนื่องจากการทดลองไม่มีเครื่องวัดความเข้มสัญญาณวิทยุความถี่ 883 เมกกะเฮิร์ตซ์และ 928 เมกกะเฮิร์ตซ์ จึงทำการทดลองโดยใช้สเปคตรัมวัดความถี่ที่อินพุตของภาครับของ RF MODULE แต่ละตัวที่ระยะต่างๆ ดังนี้

ซึ่งในการทดลองนั้นได้ใช้สายอากาศแบบเส้นลวด ทั้งเครื่องรับ/ส่งโดยทดลองภายในบริเวณห้องทดลอง

4.6.1 การทดลองหาค่าความเข้มสัญญาณวิทยุที่ระยะทาง 2 เมตร

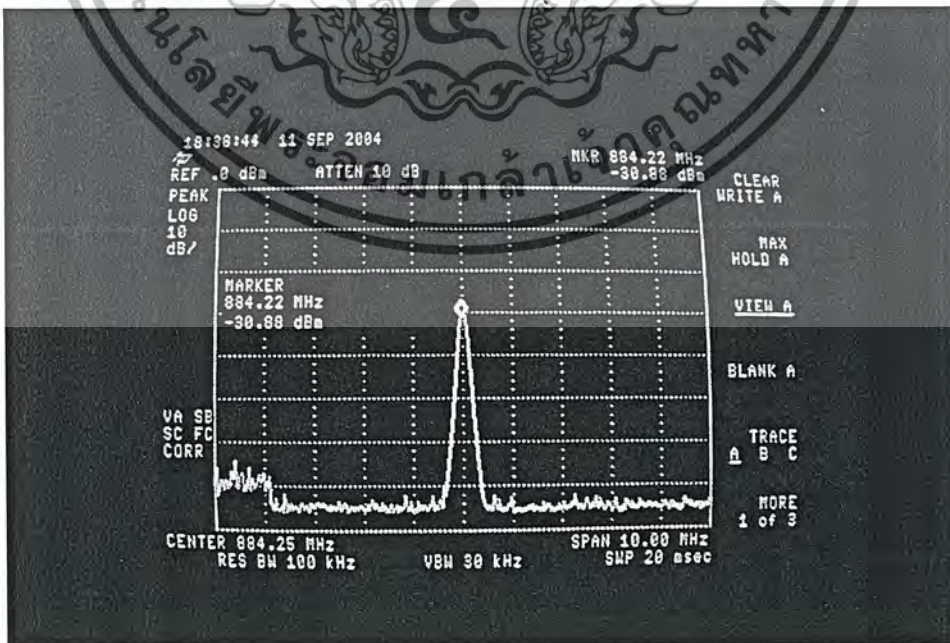


รูปที่ 4.14 แสดงการทดลองวัดความเข้มสัญญาณวิทยุที่ระยะทาง 2 เมตร

4.6.1.1 ใช้ CT918H เป็นตัวส่งที่ความถี่ 883 เมกะเฮิรตซ์ มอดูเลตด้วยสัญญาณไซน์

1 กิโลเฮิรตซ์ 100 mV

ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.15

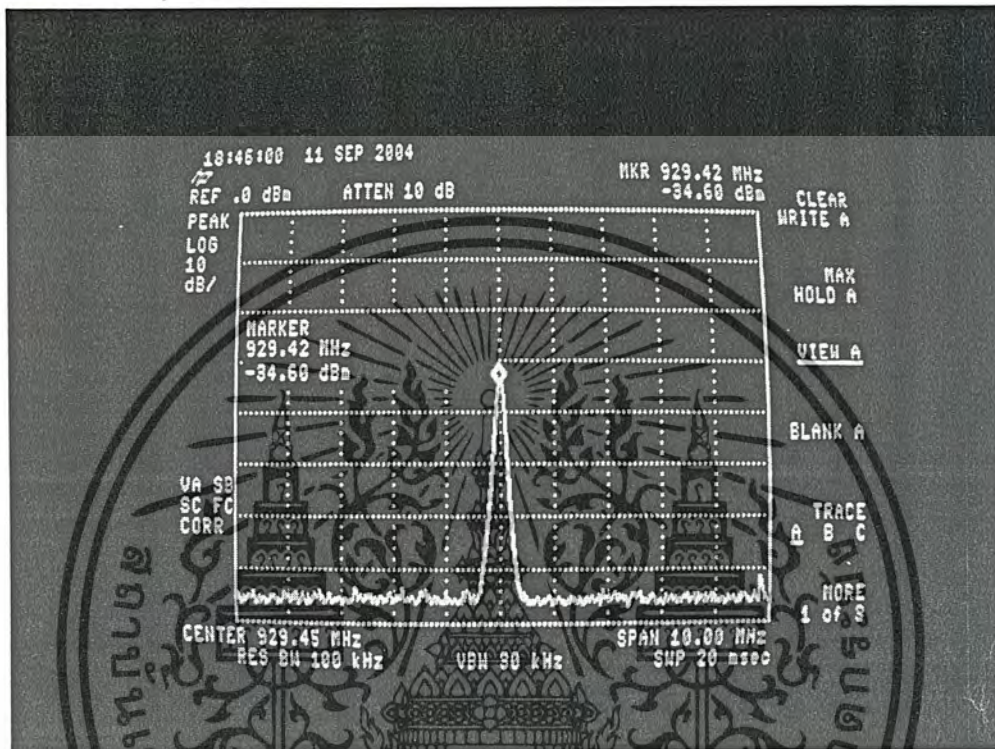


รูปที่ 4.15 แสดงสเปกตรัมที่วัดได้ที่อินพุตของภากรับของ RF-MODULE CT918B

จากรูปที่ 4.15 เป็นผลของการวัดความเข้มของสัญญาณวิทยุที่ภาครับของ RF-MODULE CT918B ได้ความถี่ 884.22 เมกะเฮิรตซ์ มีความแรงของสัญญาณ -30.88dBm

4.6.1.2 ใช้ CT918B เป็นตัวส่งที่ความถี่ 928 เมกะเฮิรตซ์ มอดูเลตด้วยสัญญาณไซน์ 1 กิโลเฮิรตซ์ 100 mV

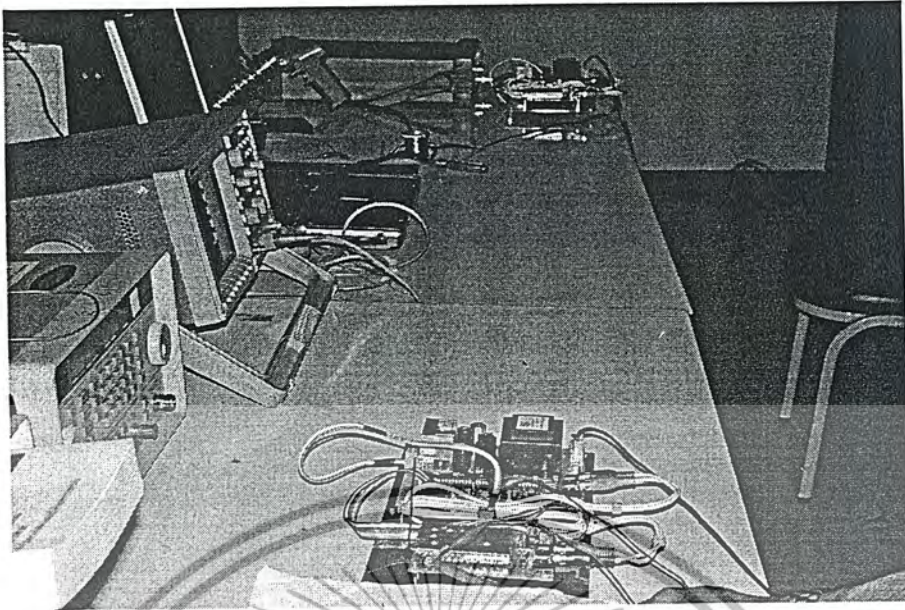
ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงสเปกตรัมที่วัดได้ที่อินพุตของภาครับของ RF-MODULE CT918H

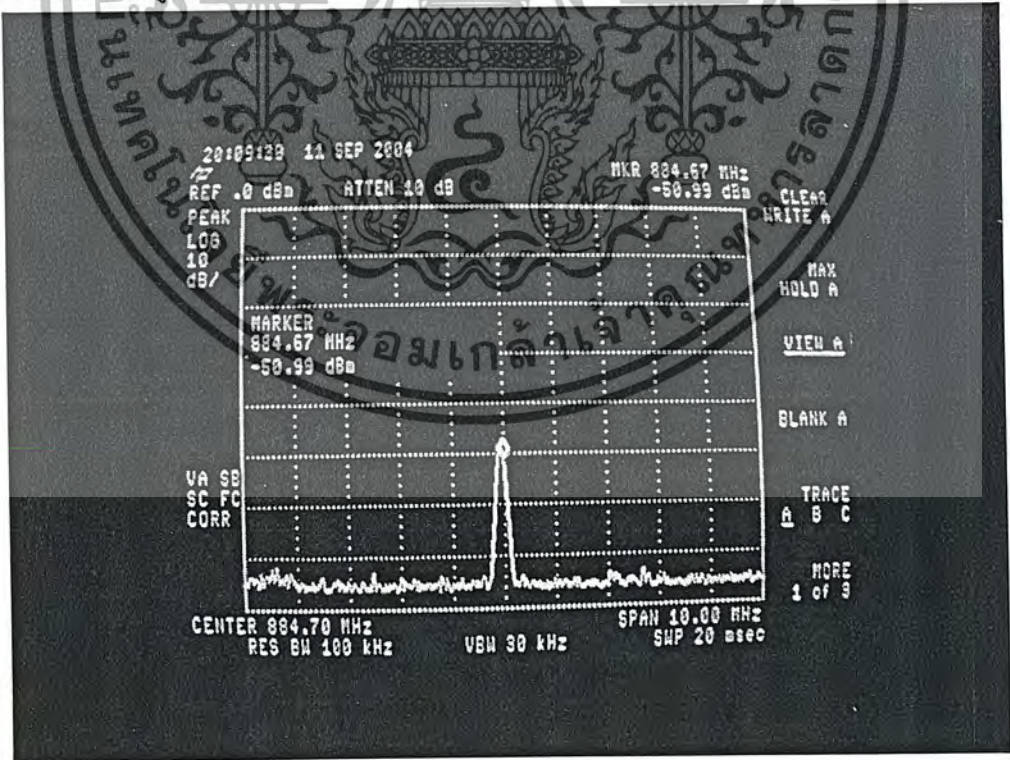
จากรูปที่ 4.16 เป็นผลของการวัดความเข้มของสัญญาณวิทยุที่ภาครับของ RF-MODULE CT918H ได้ความถี่ 929.42 เมกะเฮิรตซ์ มีความแรงของสัญญาณ -34.60 dBm

4.6.2 การทดลองหาค่าความเข้มสัญญาณวิทยุที่ระยะทาง 5 เมตร  
ทำการทดลองเช่นเดิมแต่เพิ่มระยะทางเป็น 5 เมตร ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงการทดลองวัดความเข้มสัญญาณวิทยุที่ระยะทาง 5 เมตร

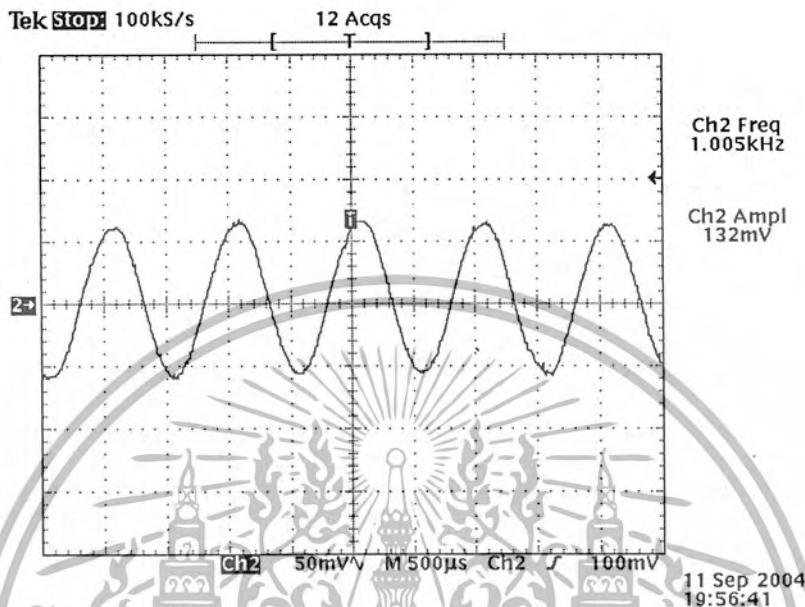
4.6.2.1 ใช้ CT918H เป็นตัวส่งที่ความถี่ 883 เมกกะเฮิร์ตซ์ มอดูเลตด้วยสัญญาณไซน์ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 mV ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงสเปกตรัมที่วัดได้ที่อินพุตของภาครับของ RF-MODULE CT918B

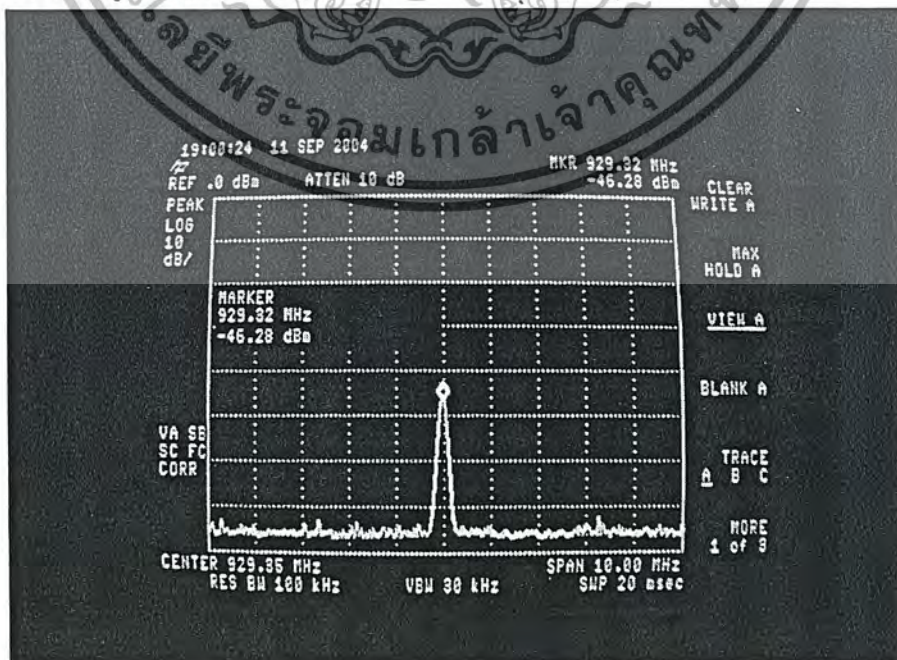
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 เป็นผลของการวัดความเข้มของสัญญาณวิทยุที่ภาครับของ RF-MODULE CT918B ได้ความถี่ 884.67 เมกะเฮิร์ตซ์ มีความแรงของสัญญาณ -50.99dBm โดยสัญญาณที่ตีเทคได้ แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.19



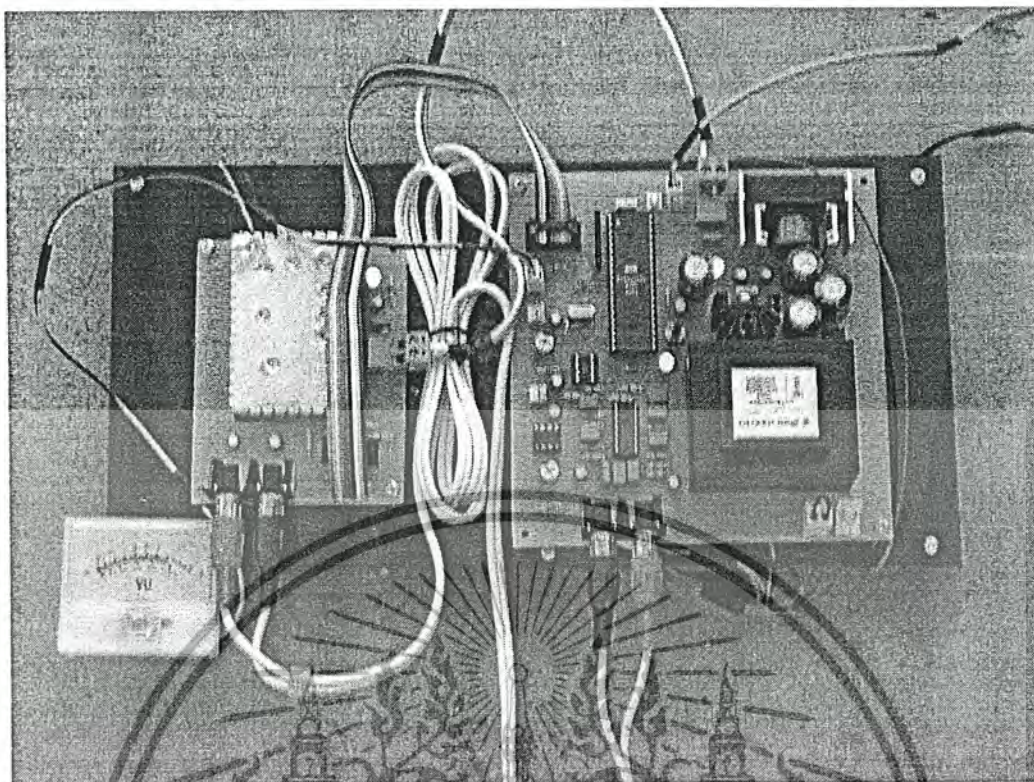
รูปที่ 4.19 แสดงสัญญาณที่ตีเทคได้ของ RF-MODULE CT918B

4.6.2.2 ใช้ CT918B เป็นตัวส่งที่ความถี่ 928 เมกะเฮิร์ตซ์ มอดูเลตด้วยสัญญาณไซน์ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 mV ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.20 แสดงสเปกตรัมที่วัดได้ที่อินพุตของภาครับของ RF-MODULE CT918B ระเบียบชนด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 4.22 แสดงเครื่องที่นำไปทดลองนอกสถานที่

จากการทดลองพบว่าหากตำแหน่งของสายอากาศอยู่ต่ำเกินไป การสื่อสารจะมีสัญญาณเข้ามา  
รบกวนอย่างมาก หากยกตำแหน่งของสายอากาศให้สูงขึ้น สัญญาณรบกวนจะน้อยลง

#### 4.8 การทดลองวงจรตัวคุมสายโทรศัพท์

##### 4.8.1 การทดลองวงจร Line Interface & DC Loop & Network Circuit

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.12 และต่อคู่สายโทรศัพท์เข้าที่จุด ทิป และ รिंग ทำการป้อนสัญญาณลอจิกที่  
R101 ซึ่งจ่ายไบอัสให้กับขาเบสของ TR101

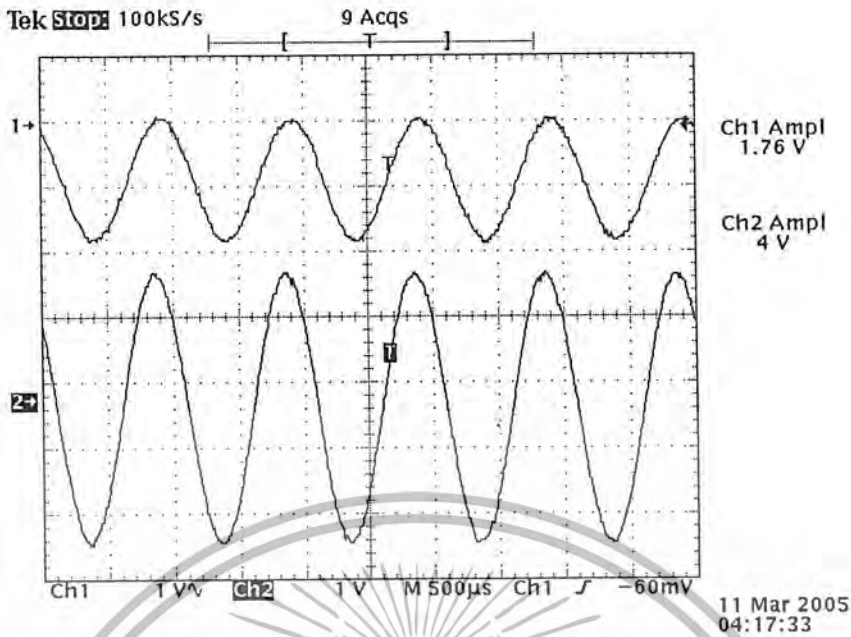
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองวงจร Line Interface & DC Loop & Network Circuit

สัญญาณอินพุต	สภาวะ
ขา R101	อิมพีแดนซ์
ลอจิก "0" (0 V)	สภาวะวางหู
ลอจิก "1" (4.6 V)	สภาวะยกหู

##### 4.8.2 การทดลองวงจร Bi-Directional Amplifier Circuit

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.13 ป้อนสัญญาณไซน์ เข้าที่ขา 3 และ ขา 5 ของ MC3403 วัดสัญญาณ  
เอาต์พุตที่ขา 1 และขา 7 ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ตามรูปที่ 4.23

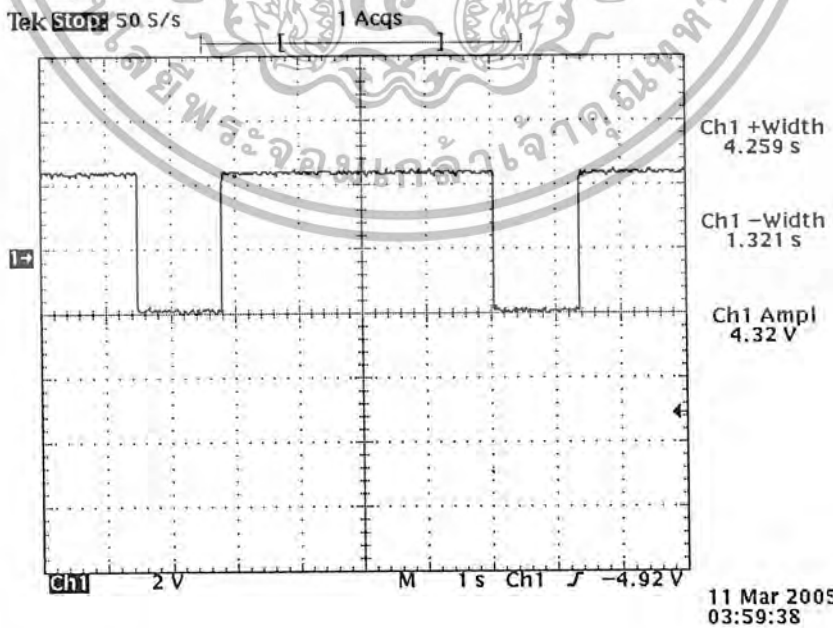
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจร Bi-Directional Amplifier  
 Ch1. เป็นสัญญาณอินพุต Ch2. สัญญาณเอาต์พุตที่วัดได้ซึ่งจะมีขนาดเป็น 2 เท่าของสัญญาณ  
 อินพุตที่เข้ามา ซึ่งเมื่อวัดทั้ง 2 เอาต์พุตของวงจรนี้จะได้สัญญาณที่มีขนาดเท่ากัน

4.8.3 การทดลองวงจร Ringing Signal Detector Circuit

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.14 ต่ออินพุตเข้ากับคู่สายโทรศัพท์ ใช้โทรศัพท์ที่อีกเครื่องเรียกเข้ามายัง  
 เครื่องโทรศัพท์ที่ต่อกับวงจร Ringing Signal Detector เพื่อให้เกิดสัญญาณกระดิ่ง วัดสัญญาณที่ขา 3  
 ของ IC104 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 3 ของ IC104 เมื่อมีการโทร 1 ครั้ง

จากรูปที่ 4.24 ช่วงของคาบเวลาของสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 3 ของ IC104 1 ลูกจะเท่ากับ 5 วินาที เนื่องจากขา 2 ของ IC104 จะถูกทริกทุกครั้งเมื่อมีสัญญาณกระดิ่งเข้ามาและเปลี่ยนสถานะเป็นลอจิก “1” ตามช่วงเวลาที่คำนวณไว้

**4.8.4 การทดลองวงจร DTMF Decoder Circuit**

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.16 แล้วนำ LED มาต่อที่ขา 11-14 (Q1-Q4) ของ IC301 เพื่อแสดงผล จากนั้นนำเครื่องโทรศัพท์ที่มีไฟเลี้ยงอยู่ต่อเข้ากับอินพุต จากนั้นทำการป้อนสัญญาณที่ขา 10 (TOE) เป็นลอจิก “1” ทำการกดปุ่มต่างๆ ผลการทดลองที่ได้ตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองวงจร DTMF Decoder Circuit

ปุ่มหมายเลข	สถานะลอจิก			
	Q1	Q2	Q3	Q4
บนแป้นโทรศัพท์	ขา11	ขา12	ขา13	ขา14
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

**4.8.5 การทดลองวงจร Automatic Answer Circuit**

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.17 ทำการบันทึกเสียงลงใน IC401 (ISD1420) โดยกดสวิทซ์ที่ขา 27 ให้มีสถานะเป็นลอจิก “0” ทำการบันทึกเสียงผ่านคอนเดนเซอร์ไมค์ เมื่อต้องการเล่นกลับ ต่อลำโพงเข้ากับเอาต์พุตของ IC402 ทำการกดสวิทซ์ที่ขา 23 ให้มีสถานะ “0” จะได้ยินเสียงที่ได้บันทึกไว้โดยสามารถปรับระดับสัญญาณได้ที่ VR401 และวงจรจะทำการเล่นกลับทุกครั้งที่มีการกดสวิทซ์ที่ขา 23

**ผลการทดลอง**

ในขณะที่ทำการบันทึกเสียง LED ที่ต่ออยู่ที่ขา 25 (RECLD) ซึ่งแสดงสถานะการบันทึกจะสว่างขึ้น จนกระทั่งทำการบันทึกเสร็จ เมื่อทำการเล่นกลับโดยการกดสวิทซ์ที่ขา 23 ให้มีสถานะลอจิก “0” จะได้ยินเสียงที่บันทึกไว้

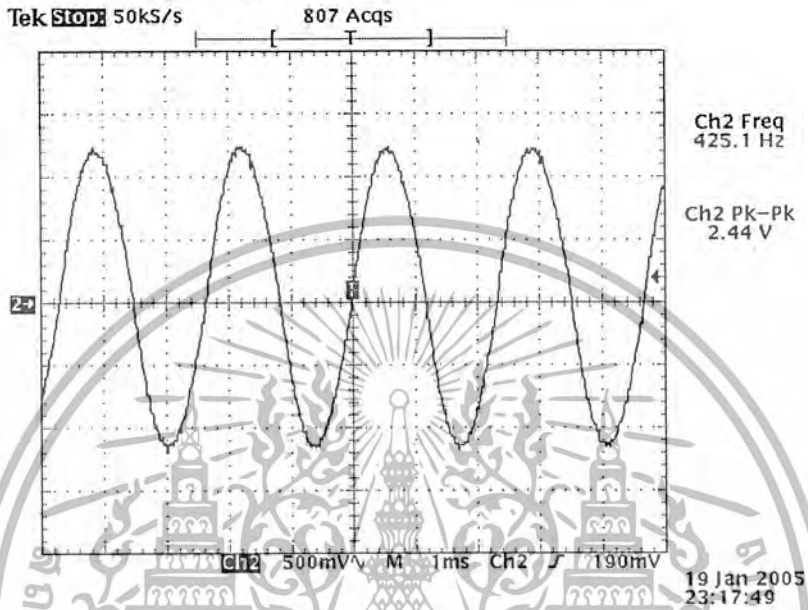
### 4.8.6 การทดลองวงจร Tone Generator Circuit

วงจรส่วนกำเนิดสัญญาณประกอบด้วยสัญญาณต่างๆ ดังต่อไปนี้

#### - สัญญาณ Dial Tone

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.18 วัดสัญญาณเอาต์พุตของ IC402

ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.25

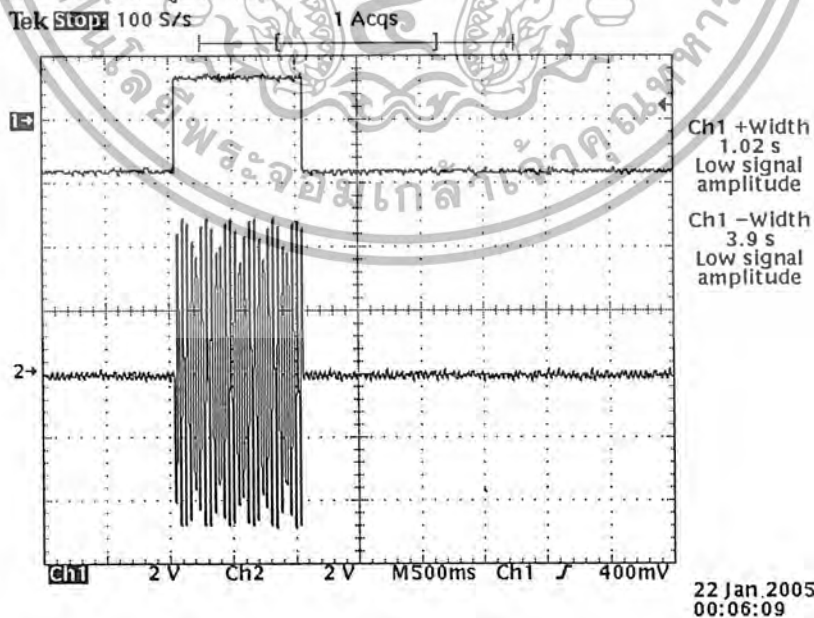


รูปที่ 4.25 แสดงสัญญาณ Dial Tone

#### - สัญญาณ Ringback Tone

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.20 วัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 3 ของ IC401 และขา 4 ของ IC402

ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.26



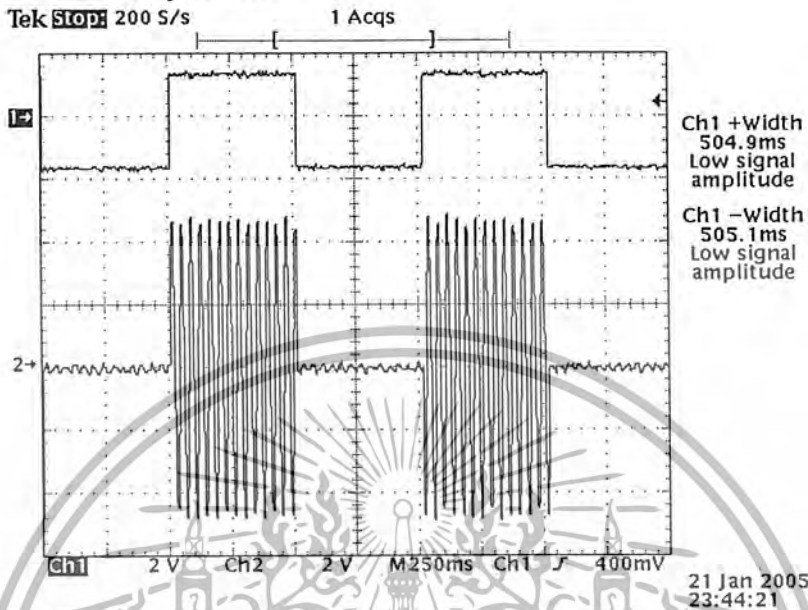
รูปที่ 4.26 Ch1. แสดงสัญญาณควบคุมการดัง 1 วินาที หยุด 4 วินาที

Ch2. แสดงสัญญาณ Ringback Tone

- สัญญาณ Busy Tone

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.21 วัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 3 ของ IC401 และขา 4 ของ IC402

ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 Ch1 แสดงสัญญาณควบคุมการตั้ง 0.5 วินาที หยุด 0.5 วินาที  
Ch2 แสดงสัญญาณ Busy Tone

4.8.7 การทดลองวงจร Cross Point Switch Circuit

ผลการทดลอง

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.23 ทำการกำหนดสถานะของขาแอกเดอเรส AX0-AX3 และ AY0-AY2 และกำหนดสถานะของขา DATA เป็น “1” สำหรับการต่อสวิตช์ และ DATA เป็น “0” สำหรับการตัดสวิตช์ จากนั้นทำการเปลี่ยนสถานะของขา STROBE เปลี่ยนจาก “0” เป็น “1” และเปลี่ยนเป็น “0” เนื่องจากสัญญาณขา STROBE จะทำการคงสภาวะการตัด/ต่อสวิตช์ที่ขอบขาของสัญญาณ STROBE ตามสถานะลอจิกของสัญญาณ DATA ซึ่งจากการทดลองแต่ละตำแหน่งของสวิตช์สามารถต่อได้อย่างถูกต้อง

4.9 การทดลองวงจร Extension Interface Circuit

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.24 ทำการทดลองตามขั้นตอนต่อไปนี้

4.9.1 กำหนดสถานะของขา 2 (BELL) เป็นลอจิก “1”

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองเมื่อขา BELL มีสถานะลอจิก “1”

	สภาวะวงหุ	สภาวะยกหุ
โวลต์ ขา 1 ของ 4N35	0 V	3.3 V
ลอจิกที่ ขา 5 ของ 4N35	“1”	“0”
ลอจิกที่ ขา 3 ของ IC901A	“1”	“0”
หน้าสัมผัสรีเลย์ RLY901	ขา C ต่อกับขา B	ขา C ต่อกับขา M

#### 4.9.2 กำหนดสถานะของขา 2 (BELL) เป็นลอจิก “0”

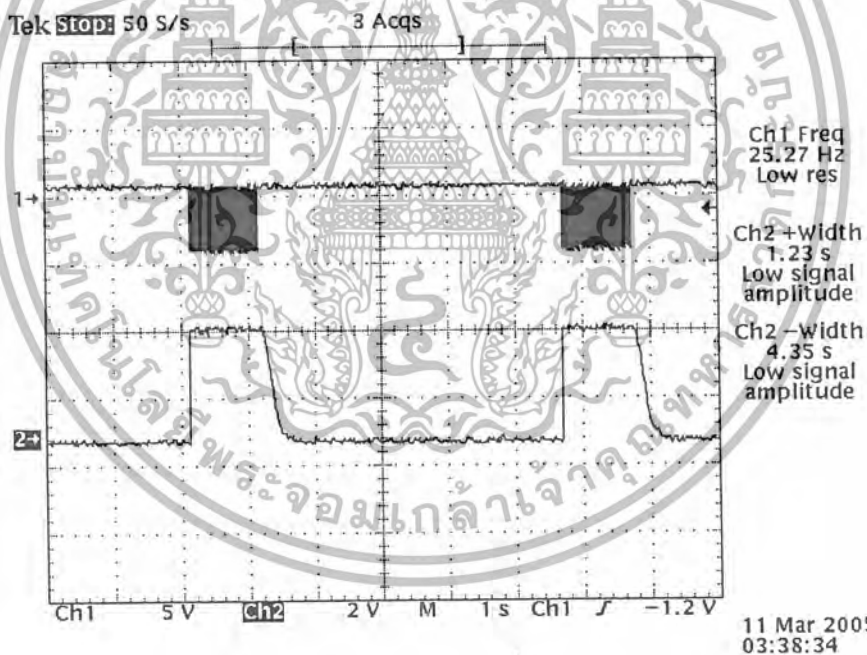
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองเมื่อขา BELL มีสถานะลอจิก “0”

	สภาวะวางหู	สภาวะยกหู
โวลต์ ขา 1 ของ 4N35	0 V	3.3 V
ลอจิกที่ ขา 5 ของ 4N35	“1”	“0”
ลอจิกที่ ขา 3 ของ IC901A	“0”	“0”
หน้าสัมผัสรีเลย์ RLY901	ขา C ต่อกับขา M	ขา C ต่อกับขา M

#### 4.10 การทดลองวงจรส่วนเชื่อมต่อวิทยุ

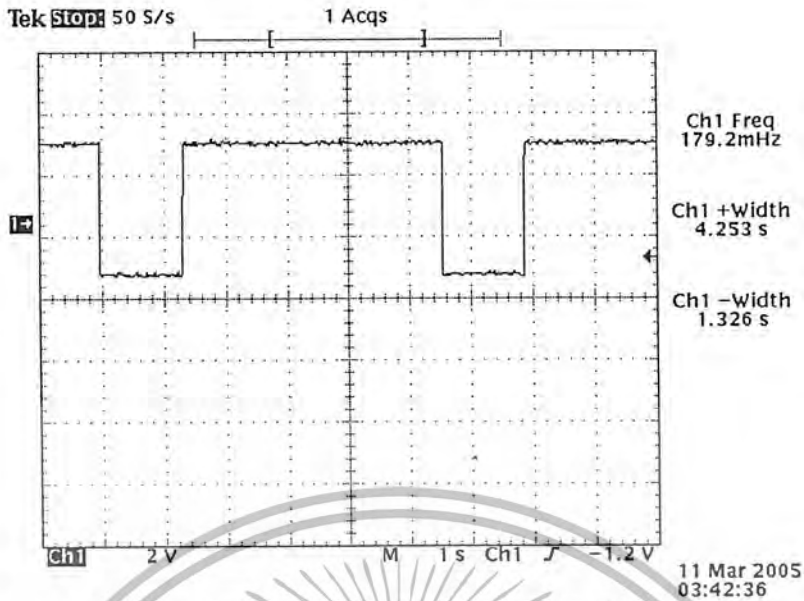
##### 4.10.1 การทดลองวงจร Ring Detection Circuit

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.27 ป้อนสัญญาณกระดิ่งเข้าที่อินพุตของวงจร Ring Detection Circuit วัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 5 ของ IC201 กับสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 8 ของ IC202D และขาคอลเล็กเตอร์ของ TR201 ผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 4.28 และ รูปที่ 4.29



รูปที่ 4.28 Ch1. แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 5 ของ IC201

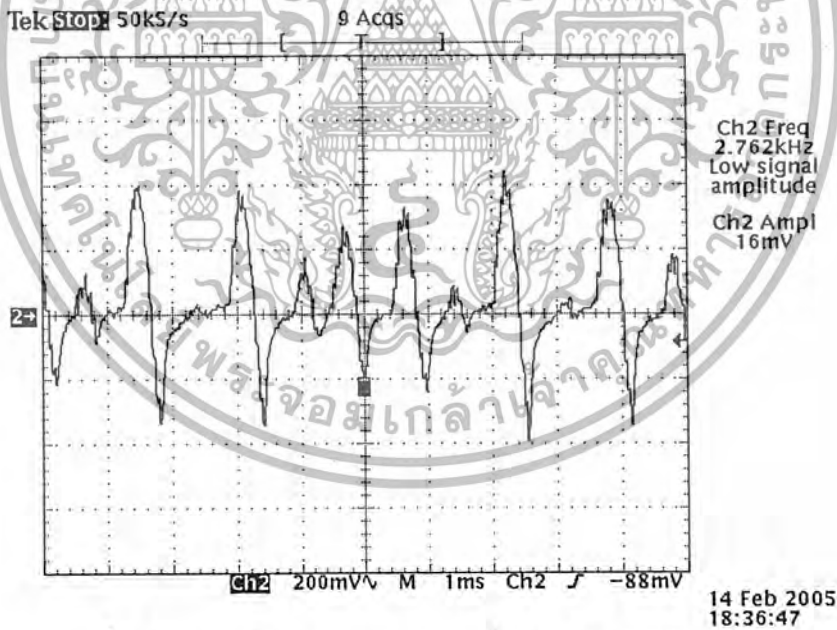
Ch2. แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 8 ของ IC202D



รูปที่ 4.29 แสดงสัญญาณที่วัดได้ที่ขาออกสเต็ปเตอร์ของ TR201

4.10.2 การทดลองวงจร DTMF Generator Circuit

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.28 ป้อนแรงดันที่ขา 1 ของ IC301 มีสถานะลอจิก “0” วัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 7 ของ IC301 ผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 แสดงสัญญาณ DTMF “1” ที่ขา 7 ของ IC301

4.10.3 การทดลองวงจร DTMF Detection And Control Circuit

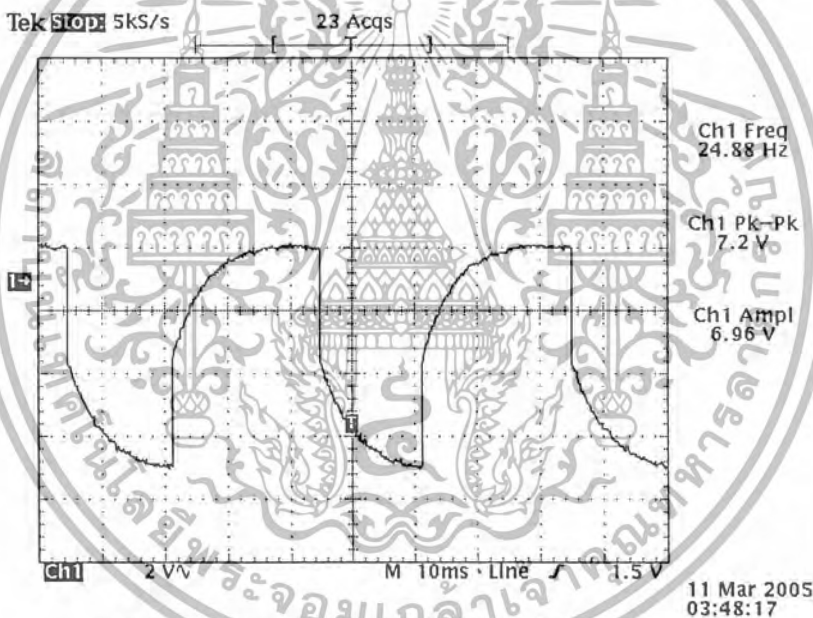
ต่อวงจรตามรูปที่ 3.29 ป้อนสัญญาณ DTMF “2” และสัญญาณ DTMF “#” วัดแรงดันที่ขา 7 และขา 19 พร้อมทั้งสังเกตการต่อของรีเลย์ RL401 และ RL402 เมื่อป้อนสัญญาณ DTMF “2” จะทำให้รีเลย์เชื่อมต่อวงจรให้อยู่ในสถานะการยกหู และเมื่อป้อนสัญญาณ DTMF “#” จะทำให้รีเลย์ตัดการเชื่อมต่อวงจรจะอยู่ในสถานะวางหู ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองวงจร DTMF Detection And Control Circuit

อินพุต	เอาต์พุตขา 7 IC402	เอาต์พุตขา 19 IC402	สถานะ LED 402	สถานะ LED 403
DTMF " 2 "	ลอจิก " 1 "	ลอจิก " 0 "	ติด	ติด
DTMF " # "	ลอจิก " 0 "	ลอจิก " 1 "	ดับ	ดับ

#### 4.10.4 การทดลองวงจร Ring Generator Circuit

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.33 ป้อนสัญญาณ DTMF "1" ทำการวัดแรงดันที่หม้อแปลงไฟฟ้า (T301) ด้านเอาต์พุต โดยปรับโพรบไปที่  $\times 10$  ผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 แสดงสัญญาณกระดิ่งที่วัดได้ที่หม้อแปลงไฟฟ้า

#### 4.10.5 การทดลองวงจร DTMF Code Generator Circuit

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.34 และทำการต่อเอาต์พุตของ R403 เข้าที่อินพุตของวงจร DTMF Detection And Control Circuit จากนั้นป้อนอินพุตเป็นลอจิก "1" แทนการยกหูและลอจิก "0" แทนการวางหูเป็นอินพุตให้แก่ส่วนวงจร DTMF Generator Circuit วัดเอาต์พุตที่ขา 2 และ 19 ของ IC402 ที่ภาค DTMF Detection And Control Circuit ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองวงจร DTMF Code Generator Circuit

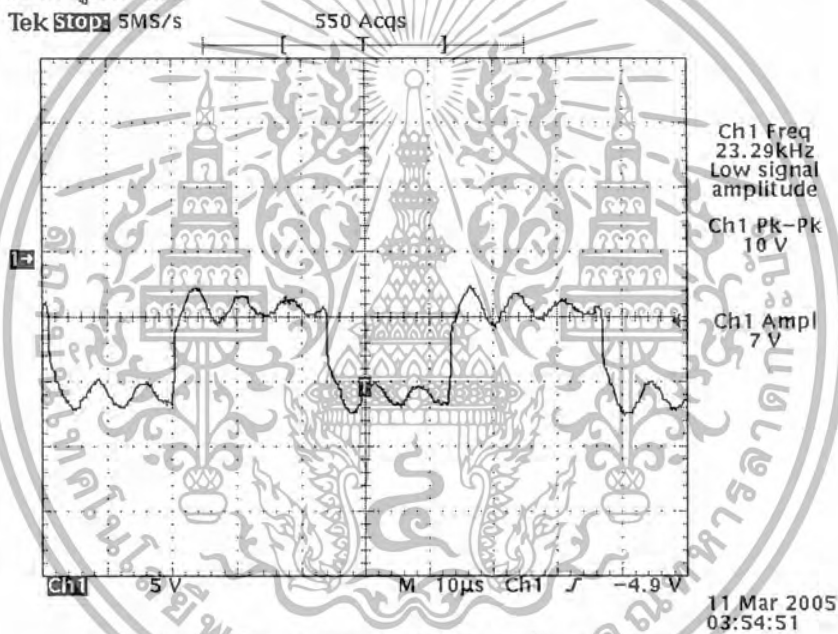
อินพุต	เอาต์พุตขา 2 U402	เอาต์พุตขา 19 U402	สถานะ LED 402	สถานะ LED 403
ลอจิก “ 1 ”	ลอจิก “ 1 ”	ลอจิก “ 0 ”	ติด	ติด
ลอจิก “ 0 ”	ลอจิก “ 0 ”	ลอจิก “ 1 ”	ดับ	ดับ

#### 4.10.6 การทดลองวงจรทวีแรงดัน

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.37 วัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 3 ของ IC601 และวัดแรงดันที่ C611

ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.32

Tek 5100x 5MS/s



รูปที่ 4.32 แสดงสัญญาณพัลส์ที่ใช้สร้างแรงดันไฟกระแสตรง  
ที่เป็นแรงดันตกคร่อม C611 เท่ากับ -30 โวลต์

## บทที่ 5

### บทสรุปและวิจารณ์

โครงการการเชื่อมโยงโทรศัพท์ทางไกลผ่านคลื่นวิทยุ สร้างขึ้นมาเพื่อช่วยให้พื้นที่ห่างไกล หรือพื้นที่ ที่คู่สายโทรศัพท์พื้นฐานเข้าไปไม่ถึง ให้สามารถใช้โทรศัพท์พื้นฐานได้ โดยใช้การเชื่อมโยงสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุ

โครงการที่สร้างขึ้นจะประกอบด้วย

- ชุดอินเตอร์เฟสระบบโทรศัพท์เข้ากับระบบวิทยุ
- ระบบ PABX
- ระบบสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุ

โดยชุดอินเตอร์เฟสระบบโทรศัพท์ จะทำหน้าที่เชื่อมต่อกับระบบโทรศัพท์เข้ากับระบบวิทยุจะประกอบไปด้วย 2 ชุด คือ ชุดที่เชื่อมต่อกับคู่สายโทรศัพท์ซึ่งอยู่ที่จุดมีคู่สายโทรศัพท์ และ ชุดที่เชื่อมต่อกับเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานซึ่งอยู่ที่จุดไม่มีคู่สายโทรศัพท์

ระบบ PABX เป็น PABX ขนาด 1 สายภายนอก 3 สายภายใน ทำการตอบรับอัตโนมัติเมื่อมีการเรียกเข้า และโอนสายไปยังเลขหมายที่ต้องการติดต่อ

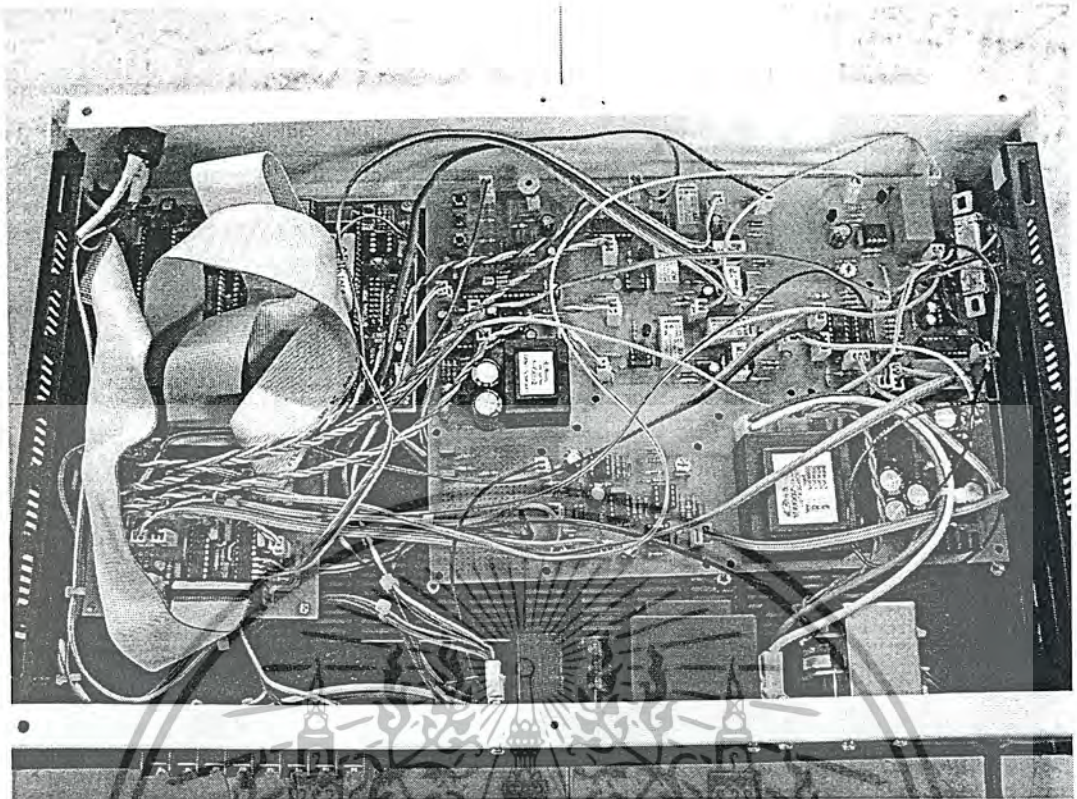
ระบบสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุ ทำหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณต่างๆ ในระบบโทรศัพท์ เพื่อให้ชุดอินเตอร์เฟสทั้งสองส่วนสามารถติดต่อสื่อสารกันได้

จากการทดลองโครงการที่สร้างขึ้น สามารถที่จะทำการใช้โทรศัพท์ ติดต่อเข้าไปยังพื้นที่ที่ไม่มีคู่สายได้ โดยผ่านชุดอินเตอร์เฟสได้ รวมถึงสามารถโทรออกไปยังหมายเลขอื่นๆ ได้ และในระบบยังได้นำ PABX ที่เป็น 1 สายนอก 3 สายในเข้ามาช่วยเพื่อให้เครื่องโทรศัพท์ในจุดไม่มีคู่สาย สามารถที่จะติดต่อมายังต้นทางได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายและเพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นในการใช้งาน ในการสร้างโครงการเชื่อมโยงโทรศัพท์ทางไกลผ่านคลื่นวิทยุนี้ ทุกส่วนนั้นจะทำงานเป็นอิสระต่อกัน จึงสามารถนำส่วนต่างๆ ที่สร้างขึ้นไปใช้งานได้ตามต้องการ

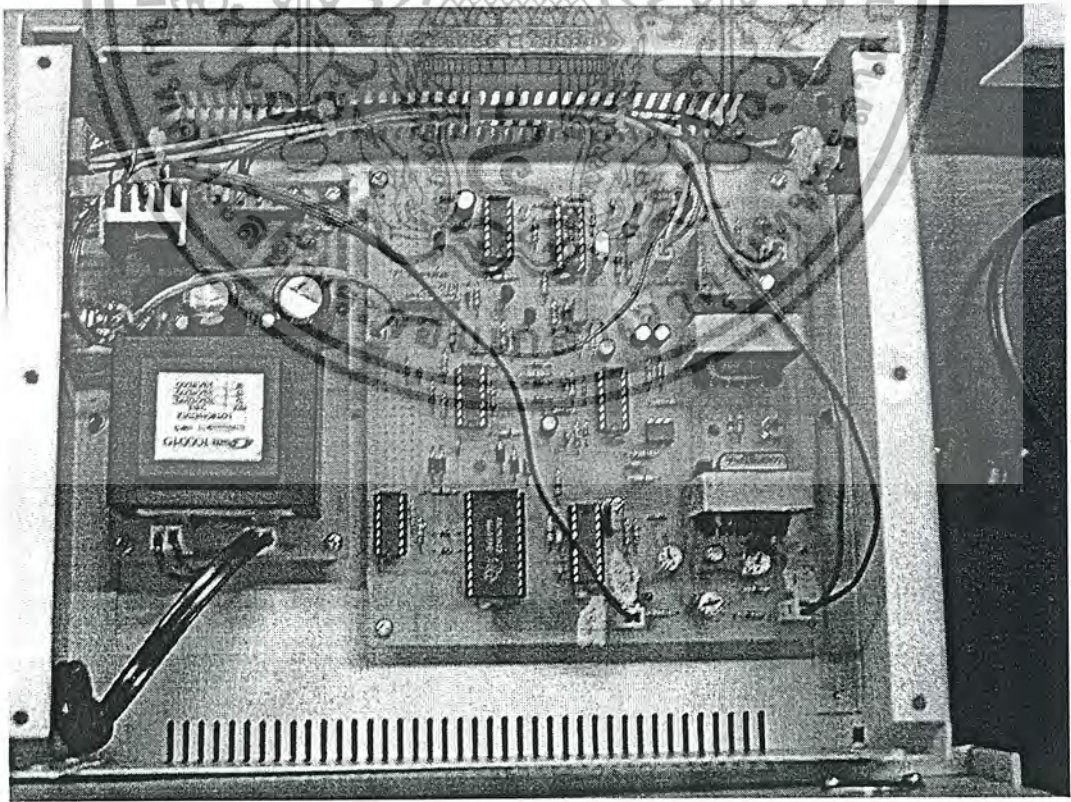


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

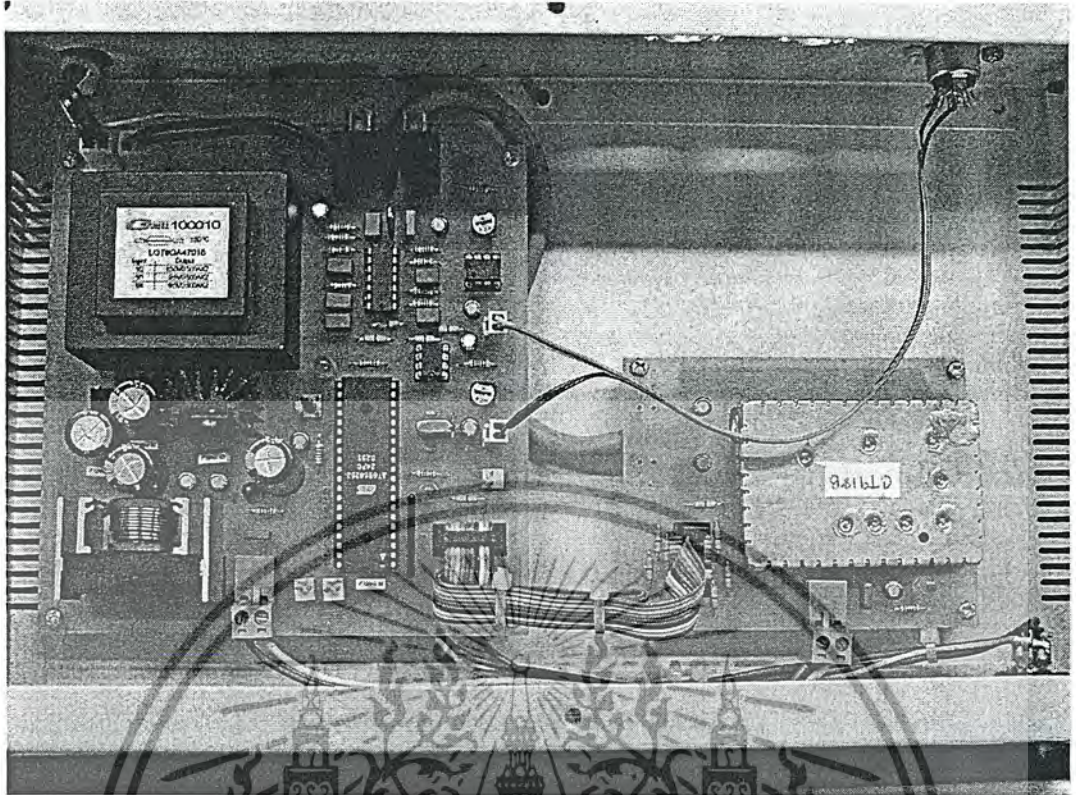


รูปถ่ายภายในตัวเครื่องของ PABX

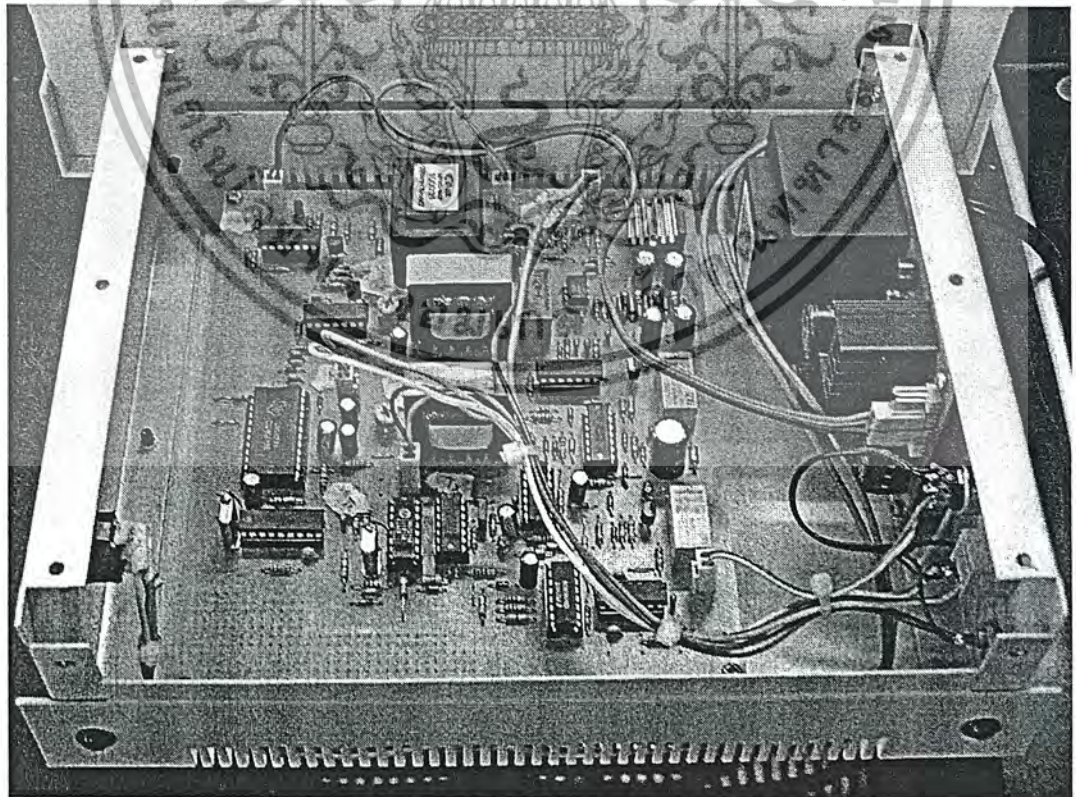


รูปถ่ายของชุดเชื่อมต่อ(ด้านต้นทาง)

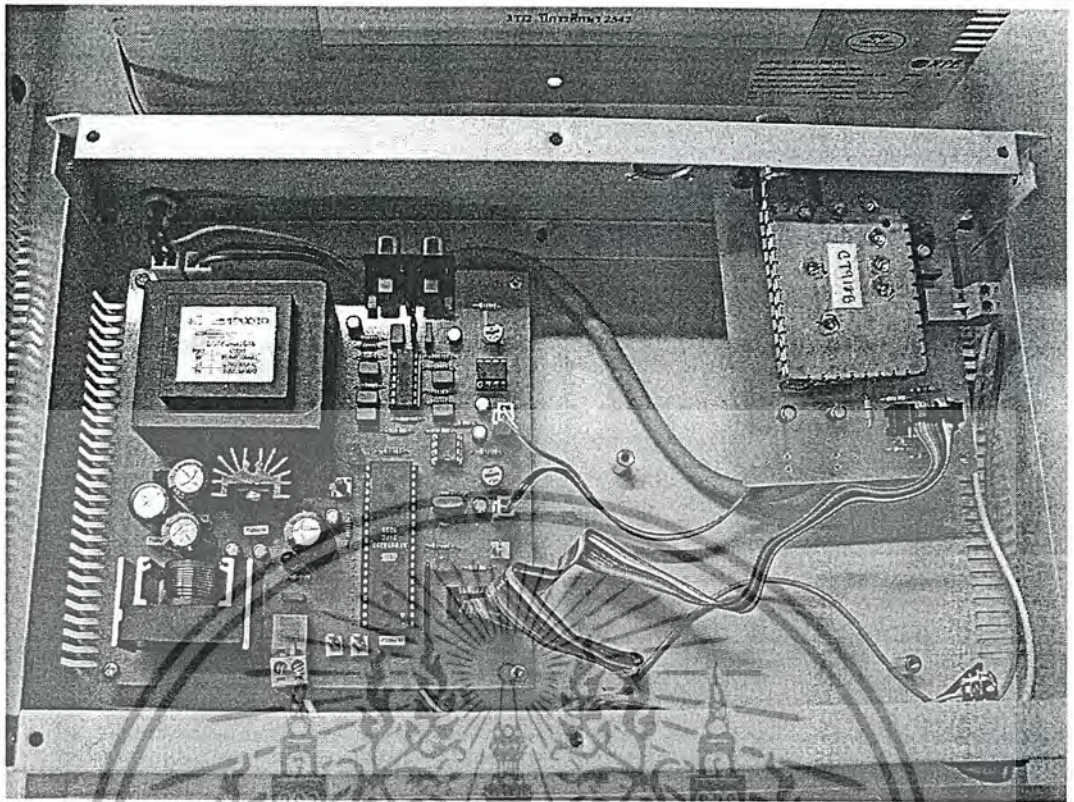
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



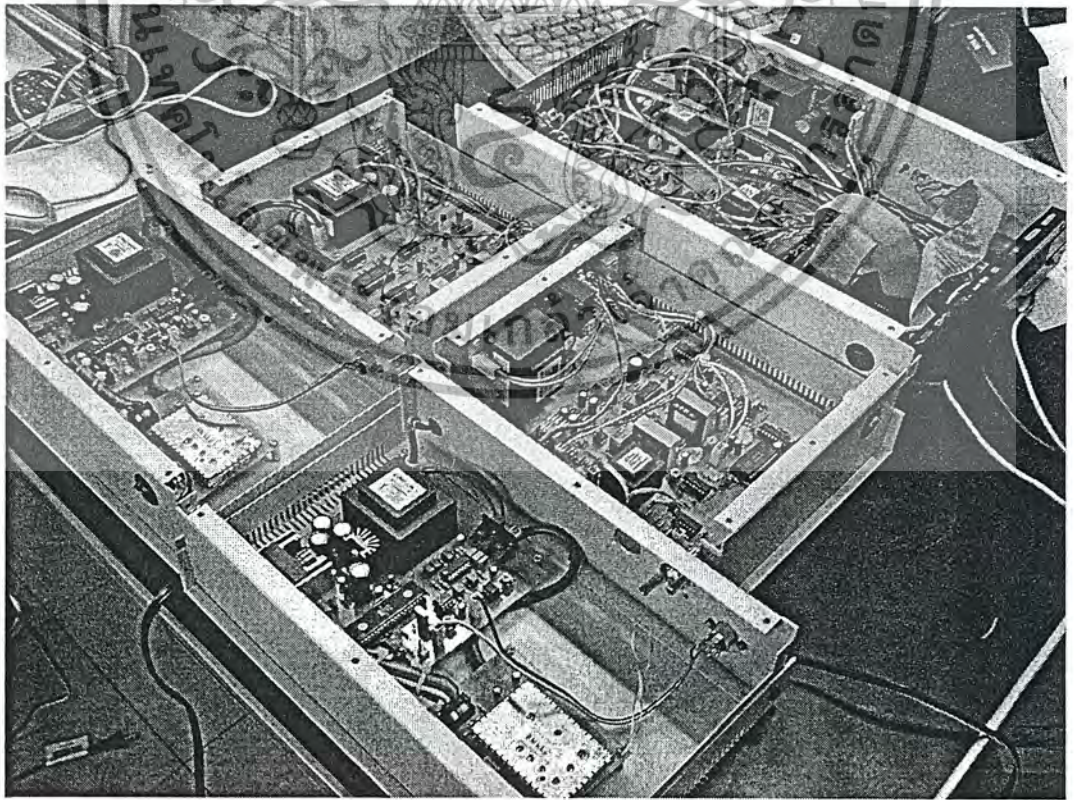
รูปถ่ายของชุดรับ/ส่งด้านต้นทาง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการถ่ายภาพของชุดเชื่อมต่อ(ด้านปลายทาง)อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

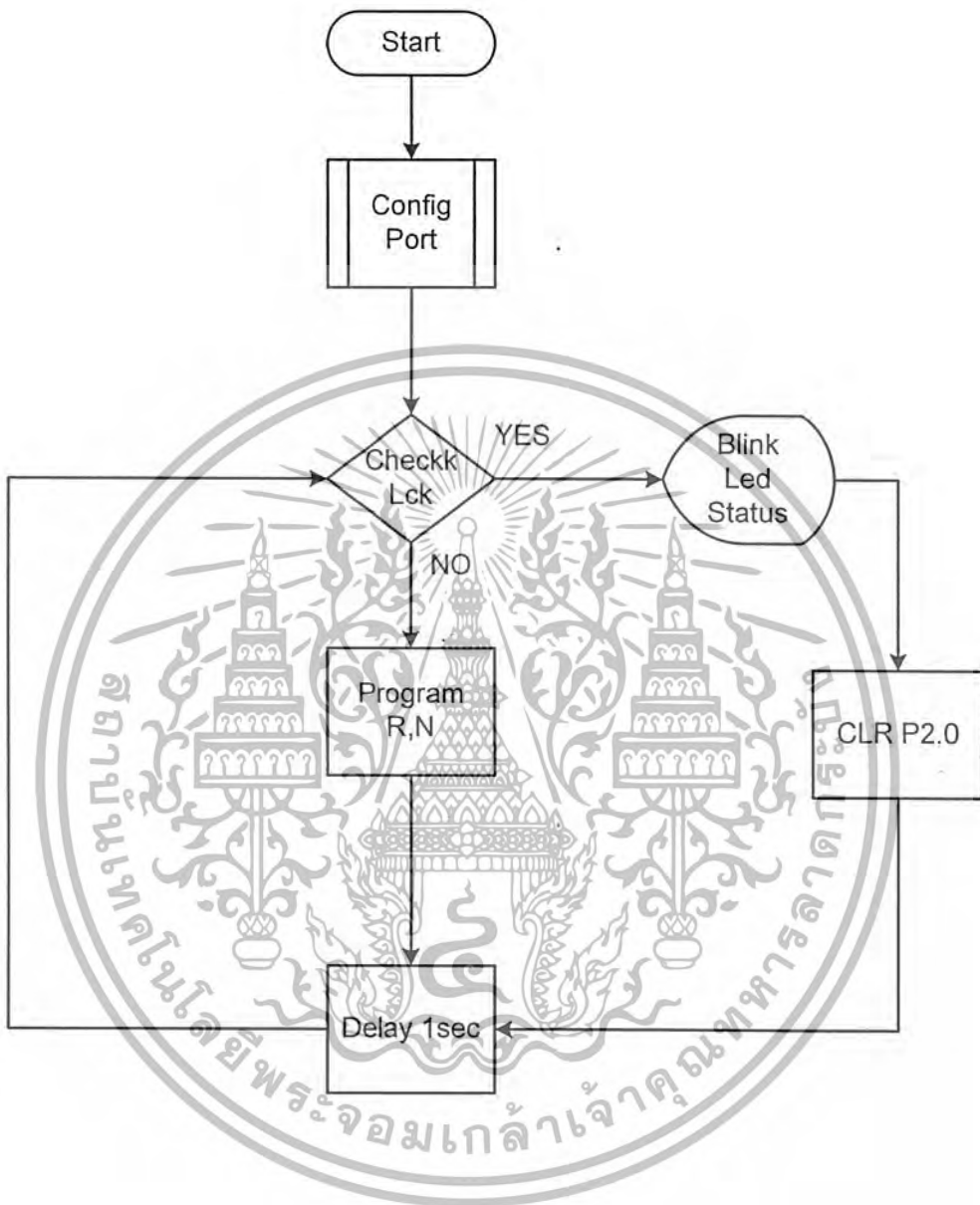


รูปถ่ายของชุดรับ/ส่งด้านปลายทาง

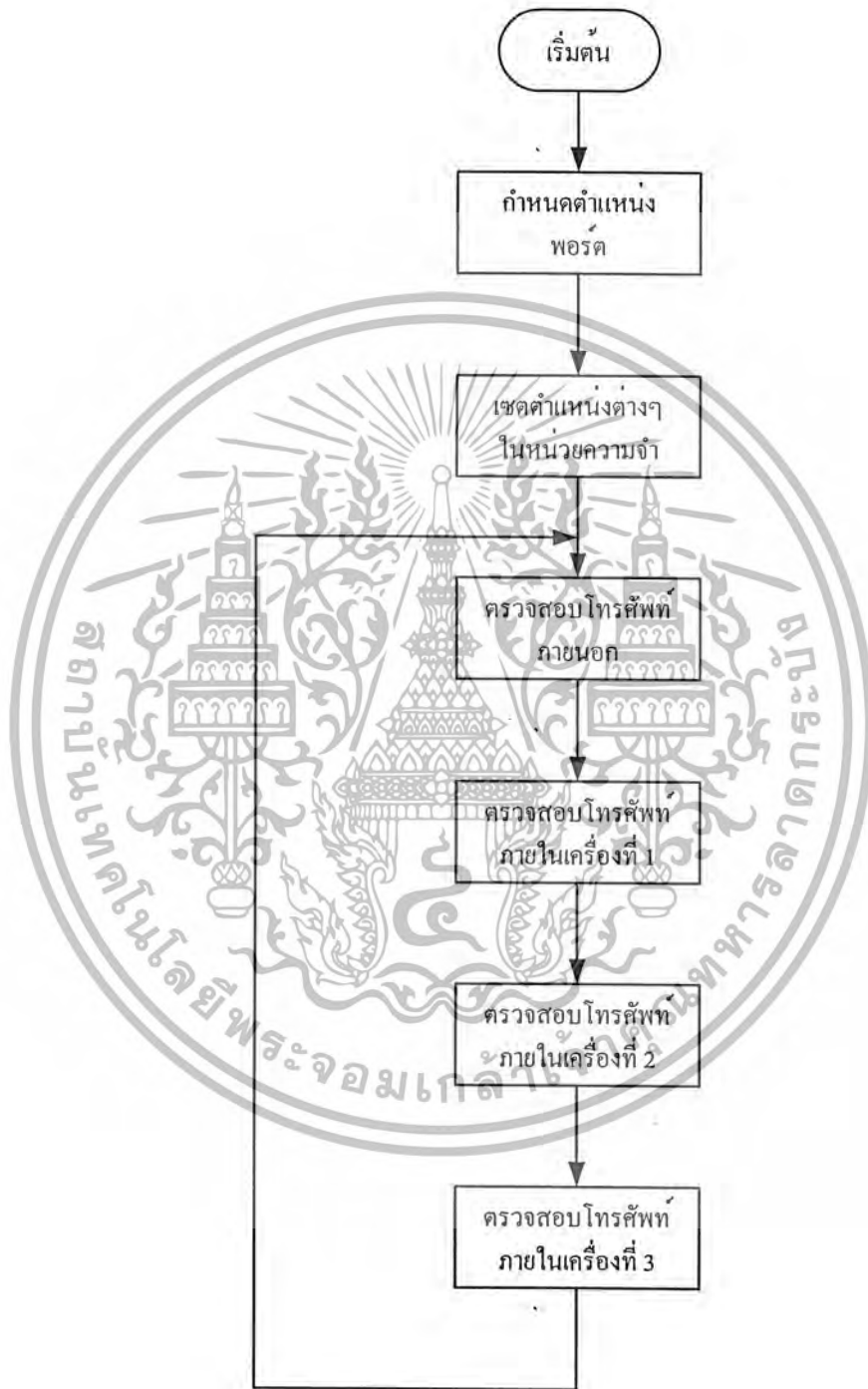


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปถ่ายส่วนประกอบทั้งหมดไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังโปรแกรมที่ใช้ควบคุมโมดูล



แผนผังระบบโปรแกรมของส่วนผู้หุ้มสายโทรศัพท์ที่ปลายทางอัตโนมัติ



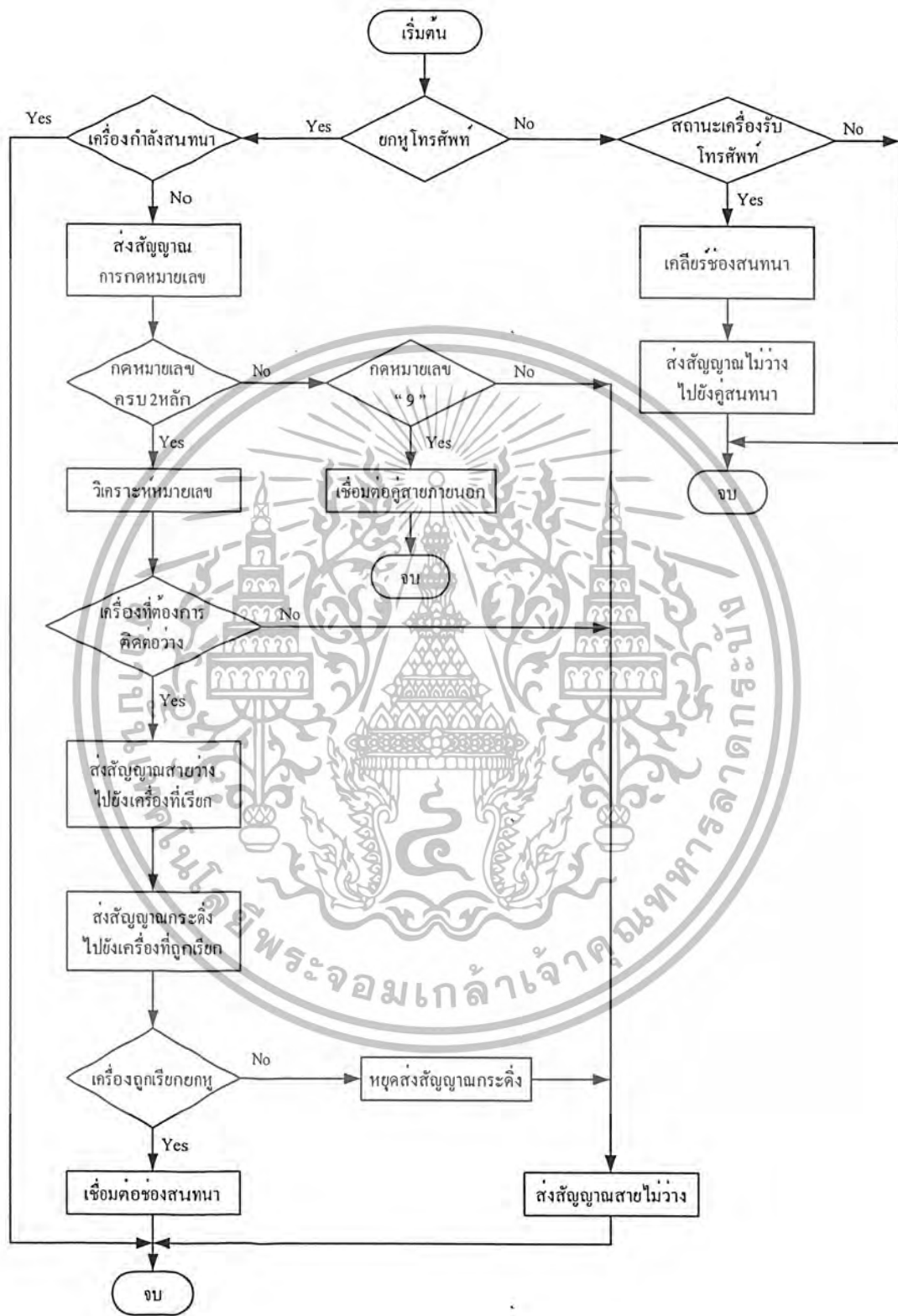
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังโปรแกรมของโทรศัพท์ภายนอก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### แผนผังโปรแกรมของโทรศัพท์ภายใน



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์นิภา ตีลารุจิ และ อาจารย์ณรงค์ เหมกรณ์ เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และช่วยเหลือตลอดมา ตลอดจนคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้แก่ผู้จัดทำ ขอบคุณพ่อและแม่ที่คอยเป็นกำลังใจเสมอมา และให้การช่วยเหลือทางด้านทุนทรัพย์ขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ร่วมทำงานกันมาโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ร่วมทำโปรเจ็ค ที่เสียสละเป็นอย่างมากในการทำโปรเจ็คครั้งนี้

คณะผู้จัดทำ



### หนังสืออ้างอิง

1. หลักการทำงาน เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร, สุชาติ กังวารจิตต์, ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 2541.
2. วิโรจน์ อิศวรังสี, ชัชวาท เต็มฤทธิวงศ์, กรชฎิ ไร่สดีชัย, “การใช้งานอปแอมป์และลิเนียร์ไอซี”, ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 2536.
3. รศ. สมยศ จุณณะปิยะ, “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 5, 2546.
4. ดร. จิรยุทธ์ มหัทธนกูล, “การออกแบบวงจรกรองแอนะลือก”, แมคกรอ-ฮิล, กรุงเทพฯ, 2544.

