

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง
สำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ

ปริญญานิพนธ์
ของ
วิริยะ จรรย์วิทยานนท์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
กุมภาพันธ์ 2547
ลิขสิทธิ์เป็นของ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง
สำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ

บทคัดย่อ

ของ

วิริยะ จริยวิทยานนท์

25 ก.พ. 2547

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
กุมภาพันธ์ 2547

h. 937 2547

วิริยะ จริยวิทยานนท์. (2547). การออกแบบและสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ. ปรินซ์นิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา.

ความมุ่งหมายของการวิจัยครั้งนี้ เพื่อออกแบบและศึกษาประสิทธิภาพของ อุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองในการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ อุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง ซึ่งประกอบวงจรแปลงสัญญาณ 4 ชนิด คือ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ ส่วนที่สองคือ คู่มือทดสอบการทำงาน สำหรับใช้ในการปรับแต่งวงจรแปลงสัญญาณ การต่อวงจรสำหรับการทดสอบ และตารางบันทึกผลการทดสอบ ของวงจรแปลงสัญญาณทั้ง 4 ชนิด

การทดสอบประสิทธิภาพวงจรแปลงสัญญาณทั้ง 4 ชนิดแบ่งออกเป็น 2 ด้านคือ ด้านคุณลักษณะทางไฟฟ้า คือ การตอบสนองความถี่ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว อัตราขยาย และสัญญาณรบกวน และด้านความสามารถในการทำงานคือ เวลาในการตอบสนองและความถูกต้องของการเชื่อมต่อ

ผลการทดสอบอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองในการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศพบว่ามีประสิทธิภาพตามที่มาตรฐานสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ และองค์การบริหารการบินสหรัฐอเมริกากำหนด ดังนี้

การตอบสนองความถี่ในช่วงความถี่ 300 ถึง 3400Hz มีค่า -1.88 ถึง +0.35dB

การสูญเสียย้อนกลับในช่วงความถี่ 500 ถึง 2000Hz มีค่ามากกว่า 21.05dB

การสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวในช่วงความถี่ 600 ถึง 3400 Hz มีค่ามากกว่า 50.93dB

การปรับอัตราขยายจาก -8dB ถึง +7dB มีค่าผิดพลาด -0.25 ถึง +0.40dB

สัญญาณรบกวน มีค่าน้อยกว่า -77dB

เวลาตอบสนองในการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสาร มีค่าน้อยกว่า 0.038 วินาที

ความถูกต้องของการเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ ตู้สาขา และช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น จำนวน 1,000 ครั้ง และเครื่องรับส่งวิทยุ จำนวน 10,000 ครั้ง ได้ผลร้อยละ 100

**A DESIGN OF A VOICE COMMUNICATION SIMULATOR ADAPTER
FOR AERONAUTICAL TELECOMMUNICATION NETWORK**

**AN ABSTRACT
BY
WIRIYA JARIYAVIDYANONT**

**Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot University
February 2004**

Wiriya Jariyavidyanont. (2004). *A Design of a Voice Communication Simulator Adapter for Aeronautical Telecommunication Network* . Master thesis, M.Ed. (Industrial Education). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Dr. Pairust Vongyuttakrai, Assist. Prof. Dr.Threraphon Thephasadin Na Ayuthya.

The objective of this research was to design and study the efficiency of a voice communication simulator adapter for Aeronautical Telecommunication Network.

Two kinds of tools were used to study in this research: a voice communication simulator adapter and a testing manual. For the first tool, a voice communication simulator adapter, consists of 4 types of subscriber line interface circuit, central office interface circuit, 4-wire E&M interface circuit and radio interface circuit. The second one is a testing manual providing the information on alignment, measurement circuit and result table of the above mentioned 4 types of a voice communication simulator adapter.

For efficiency of 4 types of voice communication simulator adapter, this research divided into 2 testing aspects: Electrical characteristics and Performance test. Electrical characteristics test describes frequency response, return loss, longitudinal conversion loss, gain and noise. Performance test describes response time and event completions.

Results of the study showed that the efficiency of voice communication simulator adaptor for aeronautical telecommunication network complies with International Telecommunication Union or ITU and Federal Aviation Administration or FAA standard as follows.

Frequency response between 300 to 3400Hz is -1.88 to +0.35dB.

Return loss at frequency between 500 to 2000Hz more than 21.05dB.

Longitudinal conversion loss at frequency between 600 to 3400 Hz more than 50.93dB.

Gain adjustable from -8dB to +7dB has an error -0.25 to +0.40dB.

Noise level less than -77dB.

Connection response time less than 0.038 second.

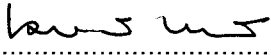
For 100% event completions of Subscriber line interface, Central Office Interface and 4-Wire E&M Interface at 1,000 time testing and Radio Interface at 10,000 time testing.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง
สำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ

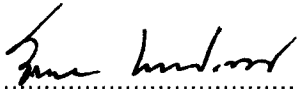
ของ
นายวิริยะ จรรย์วิทยานนท์

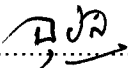
ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

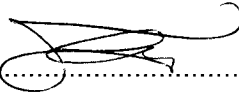

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพร หะวานนท์)
วันที่ ๔ เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2547

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์


..... ประธาน
(อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)


..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุคันธกุล)


..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ โอภาส สุขหวาน)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาของ อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการศึกษาค้นคว้า แนะนำแหล่งการศึกษาค้นคว้า ตลอดจนการปรับปรุงแก้ไขข้อความ และรูปแบบของปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ สุดใจ เหง้าสีไพร อาจารย์ และ วิโรจน์ เอ็งสุโสภณ คณะกรรมการสอบเค้าโครงปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการทำปริญญานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุคันธกุล และ อาจารย์ โอภาส สุขหวาน คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงปริญญานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือในการวิจัยทุกท่าน ที่ได้กรุณาตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นข้อมูลในการปรับปรุงแก้ไขอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ และคู่มือทดสอบการทำงานให้มีคุณภาพสูงขึ้น

ผู้วิจัยขอระลึกคุณมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่กรุณามอบทุนอุดหนุนการทำวิจัย และบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด ที่กรุณาให้การสนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ตลอดจนสถานที่ในการทำวิจัย

คุณประโยชน์ใดๆ ที่พึงจะได้รับจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องสักการะบูชาต่อพระคุณของบิดา มารดา และครูอาจารย์ และขอมอบความดีให้แก่ผู้มีส่วนร่วมในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ทุกท่าน

วิริยะ จริยวิทยานนท์

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ.....	1
	ภูมิหลัง	1
	ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	4
	ความสำคัญของการวิจัย	4
	ขอบเขตของการวิจัย.....	4
	ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	4
	ตัวแปรที่ศึกษา	4
	นิยามศัพท์เฉพาะ	5
	กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	6
	สมมุติฐานการวิจัย.....	6
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
	การควบคุมจราจรทางอากาศ	7
	การควบคุมจราจรทางอากาศของประเทศไทย.....	7
	เทคโนโลยีทางการสื่อสาร	13
	ระบบควบคุมการสื่อสารร่วม	21
	ระบบสื่อสารจำลอง	28
	ส่วนประกอบคอนโซลปฏิบัติการ	29
	การเชื่อมต่อคอนโซลปฏิบัติการ	29
	ลักษณะการทำงานและการเชื่อมต่อ	30
	คุณสมบัติทางไฟฟ้า	31
	หลักการออกแบบอุปกรณ์แปลงสัญญาณ.....	32
	การเปลี่ยนการรับส่งสัญญาณเสียง 2/4-Wire.....	32
	การปรับระดับสัญญาณ.....	40
	การเปรียบเทียบระดับสัญญาณ	45
	มาตรฐานในระบบสื่อสาร และการทดสอบ.....	47
	เงื่อนไขในการวัด.....	49
	คุณลักษณะเฉพาะของการเชื่อมต่อแบบ 2-Wire.....	49
	คุณลักษณะเฉพาะของการเชื่อมต่อแบบ 4-Wire.....	52
	ความถูกต้องและความเร็วในการตอบสนอง.....	54
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	54

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3	วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า 56
	การศึกษาข้อมูลพื้นฐาน 57
	การออกแบบและสร้างเครื่องมือ 58
	การทดลองการทำงาน 73
	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 73
	ขั้นตอนการทดลอง 73
	การวิเคราะห์ข้อมูล 74
	สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล 77
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 78
5	สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ 87
	ความมุ่งหมาย สมมุติฐาน และวิธีการศึกษาค้นคว้า 87
	สรุปผลการศึกษาค้นคว้า 87
	อภิปรายผล 89
	ข้อเสนอแนะ 91
	ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป 91
บรรณานุกรม	 92
ภาคผนวก	 96
	ภาคผนวก ก. จดหมายขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ 97
	ภาคผนวก ข. โครงสร้าง และวงจร 99
	ภาคผนวก ค. ลำดับสถานะการทำงาน 112
	ภาคผนวก ง. คู่มือการใช้งาน และคู่มือทดสอบการทำงาน 117
	ภาคผนวก จ. แผนภูมิแสดงผลการทดสอบ 145
	ภาคผนวก ฉ. ภาพประกอบ 149
ประวัติย่อผู้วิจัย	 155

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 การตอบสนองความถี่ทางด้านส่งของชุดแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด	79
2 การตอบสนองความถี่ทางด้านรับของชุดแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด	80
3 การสูญเสียย้อนกลับของชุดแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด	81
4 การสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวของชุดแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง ทั้ง 4 ชนิด	82
5 อัตราขยายทางด้านส่งของชุดแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด	83
6 อัตราขยายทางด้านรับของชุดแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด	84
7 สัญญาณรบกวนของชุดแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด	85
8 เวลาในการตอบสนองของชุดแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด	86
9 ความถูกต้องในการเชื่อมต่อ ของชุดแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด	86

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	6
2 การแบ่งการให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศ	9
3 การส่งสัญญาณทางเดียว	13
4 การส่งสัญญาณที่ละทาง.....	14
5 การส่งสัญญาณสองทาง.....	14
6 วงจรแบบ Two-Wire.....	15
7 วงจรแบบ Four-Wire.....	15
8 เครือข่ายแบบจุดต่อจุด.....	16
9 เครือข่ายแบบดาว.....	16
10 เครือข่ายแบบดาข่าย	17
11 การลดทอนของสายคู่ตีเกลียว.....	17
12 ลักษณะของวงจร.....	19
13 ลักษณะของวงจร Loop-Start.....	19
14 ลักษณะของวงจร E&M Lead.....	20
15 ระบบสื่อสารที่ใช้ในการควบคุมจราจรทางอากาศ.....	21
16 คอนโซลปฏิบัติการ	22
17 ชุดปากพูดหูฟัง.....	22
18 ลำโพง	23
19 อุปกรณ์เลือกเครื่องรับ-ส่งวิทยุ	23
20 อุปกรณ์เลือกเครือข่ายสื่อสาร.....	24
21 อุปกรณ์ควบคุมกลาง	24
22 การเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ.....	25
23 การเชื่อมต่อแบบ Loop Start และแบบ Station	26
24 ลักษณะสัญญาณแบบ Loop Start และแบบ Station.....	26
25 ระบบสื่อสารจำลอง	28
26 ส่วนประกอบคอนโซลปฏิบัติการ	29
27 การเชื่อมต่อระบบวิทยุ.....	29
28 การเชื่อมต่อระบบโทรศัพท์	30
29 ลักษณะการทำงานและการเชื่อมต่อ	30
30 วงจร Hybrid.....	32
31 วงจร Hybrid ชนิด Two-Transformer	33
32 วงจร Hybrid ชนิด Single Transformer	33
33 วงจร Hybrid ชนิด Op-amp.....	34
34 ส่วนประกอบวงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire สำหรับอุปกรณ์ 2-Wire	35

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
35 ส่วนประกอบวงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire สำหรับอุปกรณ์ 4-Wire	35
36 การลดสัญญาณย้อนกลับ	36
37 วงจรลดสัญญาณย้อนกลับ	36
38 วงจรเสมือนของวงจรหักล้างสัญญาณ.....	37
39 วงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire สำหรับต่อระบบสื่อสารจำลอง.....	37
40 วงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire แบบ SLIC.....	38
41 วงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire แบบ COIC.....	38
42 วงจร Subscriber Line Interface Circuit.....	39
43 วงจร Central Office Interface Circuit.....	39
44 "I" Pad และ "O" Pad.....	40
45 "T" Pad และ "Pi" Pad.....	40
46 ลักษณะการต่อ Pad.....	41
47 การเปลี่ยนค่า Pad.....	41
48 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	42
49 วงจรขยายแบบกลับเฟส	42
50 วงจรปรับระดับสัญญาณ.....	43
51 วงจรแบ่งแรงดัน	43
52 วงจรปรับระดับสัญญาณ 16 ระดับ.....	44
53 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบที่ใช้ขาอินเวิร์ทติ้งเป็นแรงดันอ้างอิง	45
54 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบที่ใช้ขานอนอินเวิร์ทติ้งเป็นแรงดันอ้างอิง	45
55 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน.....	46
56 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน 3 โวลต์	46
57 ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ชุมสาย.....	48
58 ค่า Attenuation/Frequency Distortion ของวงจรแบบ 2-Wire	49
59 ค่า Return Loss ที่ต่ำที่สุด.....	50
60 แสดงลักษณะการวัด Longitudinal Conversion Loss.....	50
61 ค่า Longitudinal Conversion Loss ที่ต่ำที่สุด.....	51
62 ค่า Attenuation/Frequency Distortion ของวงจรแบบ 4-Wire	52
63 แสดงลักษณะการวัด Longitudinal Conversion Loss.....	53
64 ขั้นตอนการศึกษาค้นคว้า	56
65 ลักษณะของอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง	58
66 โครงสร้างของอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง	59
67 ภาพแสดงตำแหน่งจุดวัดและปรับแต่งสัญญาณ.....	62

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
68 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านส่ง ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ โทรศัพท์	63
69 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านส่ง ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ ตู้สาขา	63
70 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านส่ง ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อ ช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น.....	63
71 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านส่ง ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ เครื่องรับส่งวิทยุ	63
72 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านรับ ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ โทรศัพท์	64
73 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านรับ ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ ตู้สาขา	64
74 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านรับ ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อ ช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น.....	64
75 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านรับ ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ เครื่องรับส่งวิทยุ	64
76 การทดสอบการสูญเสียย้อนกลับ ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์.....	65
77 การทดสอบการสูญเสียย้อนกลับ ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา.....	65
78 การทดสอบการสูญเสียย้อนกลับ ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสาร แบบ 4 เส้น.....	65
79 การทดสอบการสูญเสียย้อนกลับ ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่ง วิทยุ.....	65
80 การทดสอบการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับ เชื่อมต่อกับโทรศัพท์.....	66
81 การทดสอบการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับ เชื่อมต่อกับตู้สาขา.....	66
82 การทดสอบการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับ เชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น	66
83 การทดสอบการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับ เชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ.....	66
84 การทดสอบอัตราขยายทางด้านส่ง ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์	67
85 การทดสอบอัตราขยายทางด้านส่ง ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา	67
86 การทดสอบอัตราขยายทางด้านส่ง ของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสาร แบบ 4 เส้น	67

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

[illegible]

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
106 มาตรฐานการสูญเสียย้อนกลับ	75
107 มาตรฐานการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว	75

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศที่กำหนดโดยองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (International Civil Aviation Organization หรือ ICAO) เป็นการให้คำแนะนำข้อมูลต่างๆ แก่นักบิน เพื่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติการบิน ทำให้การจราจรทางอากาศเกิดความคล่องตัวรวดเร็วปลอดภัย ป้องกันการเฉี่ยวชนระหว่างอากาศยาน และอากาศยานกับสิ่งกีดขวางอื่นๆ โดยผู้ให้บริการต้องมีการเตรียมปัจจัยต่างๆ เช่น การกำหนดเขตน่านฟ้า การแบ่งเขตการบิน วิธีปฏิบัติงาน ประสานงานระหว่างเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศกับนักบิน หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อุปกรณ์สำหรับการติดต่อสื่อสาร ระบบติดตามอากาศยาน เครื่องช่วยการเดินอากาศ สิ่งอำนวยความสะดวก บุคลากร งบประมาณ ตลอดจนการฝึกอบรมการปฏิบัติงาน ควบคุมจราจรทางอากาศ การให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนตามการแบ่งเขตการบินคือ การให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศบริเวณสนามบิน (Aerodrome Control Service) การให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศเขตประชิดสนามบิน (Approach Control Service) และการให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศตามเส้นทางการบิน (Area Control Service) ในทางปฏิบัติเมื่อมีอากาศยานเดินทางเข้ามาในเขตน่านฟ้า เจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศตามเส้นทางการบิน จะเป็นผู้ควบคุม กำหนดเส้นทาง ความเร็ว ความสูง ให้ข้อมูลข่าวการบิน และคำแนะนำต่างๆ แก่นักบิน จนกระทั่งอากาศยานเข้าใกล้สนามบินก็จะมีคำสั่งการควบคุมให้กับเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศเขตประชิดสนามบินเป็นผู้ควบคุม เพื่อจัดตำแหน่งอากาศยานให้พร้อมที่จะลงจอด จากนั้นก็จะส่งการควบคุมให้กับเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศบริเวณสนามบินเป็นผู้ควบคุมการลงจอด และในทางกลับกัน เมื่ออากาศยานจะขึ้นจากสนามบินเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศบริเวณสนามบินเป็นผู้ควบคุมการขึ้นบิน เมื่ออากาศยานพ้นเขตสนามบินก็จะถูกส่งการควบคุมให้กับเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศเขตประชิดสนามบิน และส่งการควบคุมให้กับเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศตามเส้นทางการบินเมื่ออากาศยานเข้าสู่เส้นทางการบินต่อไป (ราชวณ นกิตะภักดิ์. 2540 : 73-75)

บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด เป็นหน่วยงานที่จัดตั้งขึ้นตามประกาศของรัฐบาลไทย ฉบับลงวันที่ 6 พฤศจิกายน 2491 รัฐบาลอนุมัติให้บริษัทสายการบินต่างๆ ร่วมออกทุนดำเนินกิจการก่อตั้งบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด ขึ้น ต่อมาในปี พ.ศ. 2506 รัฐบาลได้ซื้อหุ้นใหญ่คืนจากบริษัทสายการบิน บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด จึงมีสภาพเป็นรัฐวิสาหกิจในสังกัดกระทรวงคมนาคม มีหน้าที่ให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศและสื่อสารการบินในเส้นทางพาณิชย์ บริการเป็นที่ปรึกษาให้การฝึกอบรมด้านการควบคุมจราจรทางอากาศและด้านสื่อสารการบิน และผลิตอุปกรณ์สื่อสารให้ผู้ประกอบการขนส่งทางอากาศ โดยดำเนินการตามภาระหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพตลอด 24 ชั่วโมงทุกวัน โดยไม่คำนึงถึงและคิดค่าบริการจากผู้ใช้บริการอย่างยุติธรรมไม่เลือกปฏิบัติแก่ผู้ใช้บริการ และยึดถือปฏิบัติตามนโยบายของรัฐบาล (บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด(บวท.). 2538 : 22) นั่นคือการพัฒนาคุณภาพ และปรับปรุง ประสิทธิภาพการให้บริการขนส่งทางอากาศเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้บริการ การส่งเสริมการท่องเที่ยว และการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ตลอดจนผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการขนส่งทางอากาศในภูมิภาค (พ.ต.ท.ทักษิณ ชินวัตร นายกรัฐมนตรีที่แถลงไว้ต่อสภา เมื่อวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2544)

จากสถิติการขนส่งทางอากาศ ประเทศไทยมีปริมาณการขนส่งผู้โดยสารทางอากาศจำนวน 2,493,224 คนต่อเดือน เป็นลำดับที่ 20 ของโลก และมีปริมาณการขนส่งสินค้าทางอากาศจำนวน 81,544 ตันต่อเดือน เป็นลำดับที่ 17 ของโลก (Airports Council International, August 2002 : www.airports.org) โดยมีเที่ยวบินตามเส้นทางบิน 22,321 เที่ยวบินต่อเดือน และจำนวนอากาศยานที่ขึ้นลงตามสนามบินต่างๆ ภายในประเทศ 41,279 ลำต่อเดือน (บวท. "รายงานประจำปีเดือน". สิงหาคม 2545ค) ในการที่ประเทศไทยจะเป็นศูนย์กลางจราจรทางอากาศของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้นั้น ต้องทำให้เกิดความเชื่อมั่นและการได้รับความสนับสนุนจากนานาประเทศ รวมถึงองค์กรระหว่างประเทศ เช่น องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศถึงความสามารถที่จะรองรับปริมาณจราจรทางอากาศที่จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด จึงมีการเตรียมความพร้อมในทุกด้าน ทั้งความพร้อมในการความพร้อมด้านบุคลากร และเป็นผู้นำด้านเทคโนโลยี

ด้านเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศของศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศ ท่าอากาศยานกรุงเทพ หรือศูนย์ควบคุมการบินตามจังหวัดต่างๆ นั้น นอกจากจะมีระบบติดตามอากาศยาน ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ และระบบสื่อสารข้อมูลแล้ว ยังจำเป็นต้องมีระบบสื่อสารทางเสียงซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลายชนิดและถือว่าเป็นระบบพื้นฐานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการติดต่อสื่อสารให้ข้อมูลกับนักบิน และประสานงานกับหน่วยงานต่างๆ เช่น หน่วยควบคุมจราจรทางอากาศที่เกี่ยวข้อง ศูนย์ข้อมูลการบิน หน่วยงานทหาร อุตุนิยมวิทยา ศูนย์ค้นหาและช่วยเหลือผู้ประสบภัย หรือหน่วยบริการฉุกเฉินเช่น โรงพยาบาล ดับเพลิง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รวมระบบสื่อสารทางเสียงชนิดต่างๆ เพื่อให้เจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศสามารถปฏิบัติงานด้วยความคล่องตัวและรวดเร็วนี้ เรียกว่า ระบบควบคุมการสื่อสารร่วม (Integrated Communication Control System หรือ ICCS) มีหน้าที่ควบคุมการติดต่อสัญญาณเสียงระหว่างเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศกับนักบินผ่านทางคลื่นวิทยุ (Air-Ground Communication) และหน่วยภาคพื้นดินผ่านทางเครือข่ายสื่อสารต่างๆ (Ground-Ground Communication) โดยผู้ควบคุมจราจรทางอากาศสามารถทำการติดต่อสื่อสารและควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ได้ด้วยการใช้คอนโซลปฏิบัติการ (Operator Console) ซึ่งประกอบด้วย ไมโครโฟน ชุดปากพูดหูฟัง(Headset) ลำโพง ปุ่มเลือกเครื่องรับ-ส่งวิทยุ (Radio Selector) และปุ่มเลือกเครือข่ายสื่อสาร (Telephone Selector) ในการจัดเตรียมระบบหรืออุปกรณ์สื่อสารต่างๆ เหล่านี้สิ่งที่ต้องคำนึงถึงและให้ความสำคัญคือ ระบบหรืออุปกรณ์ต้องมีความน่าเชื่อถือสูง(High Reliability) มีระบบความปลอดภัยที่ดี และต้องสามารถตรวจสอบข้อบกพร่องได้อย่างรวดเร็ว ช่อมแซมบำรุงรักษาได้ง่าย ในกรณีที่อุปกรณ์เกิดหยุดการทำงานหรือถูกขัดจังหวะไม่สามารถใช้งานได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีการจราจรหนาแน่น (ICAO Doc9426-AN/924 . 1984 : II-3.3.15-16) ส่วนด้านบุคลากรได้มีการพัฒนาบุคลากรด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ นอกจากจะทำการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ ควบคุมจราจรทางอากาศด้วยชุดสื่อสารจำลองอย่างสม่ำเสมอตามข้อกำหนดขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศแล้ว ยังมีการปรับกระบวนการผลิตบุคลากรด้านการควบคุมจราจรทางอากาศแนวทางใหม่ เพื่อให้ได้บุคลากรที่มีจำนวนเพียงพอและประสิทธิภาพในการทำงานตามความต้องการ วิธีการดังกล่าวนี้จะเป็นการพัฒนาบุคลากรจากจุดเริ่มต้นเดียวกัน และมีการจัดเส้นทางพัฒนาที่ทำให้สามารถหมุนเวียนการปฏิบัติงานกันได้ทั้งระบบ (บวท. "แผนวิสาหกิจ ฉบับที่ 9 ฉบับทบทวนครั้งที่ 1 (2545-2554)". 2545ก : 6.5-6.6) ในการสนับสนุนการพัฒนาบุคลากรด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด ได้มีการพัฒนาและผลิตชุดสื่อสารจำลองซึ่งมีคอนโซลปฏิบัติการประกอบด้วย ไมโครโฟน ชุดปากพูดหูฟัง ลำโพง ปุ่มเลือกเครื่องรับ-ส่งวิทยุ และปุ่มเลือกเครือข่ายสื่อสาร คล้ายกับระบบควบคุมการสื่อสารร่วม ไว้สำหรับฝึกเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศติดตั้งใช้งานประจำสนามบินต่างๆ

เช่น ศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศ ท่าอากาศยานกรุงเทพ ศูนย์ควบคุมการบินเชียงใหม่ ศูนย์ควบคุมการบินหาดใหญ่ ศูนย์ควบคุมการบินภูเก็ต ศูนย์ควบคุมการบินพิษณุโลก หอบังคับการบินหัวหิน รวมถึงหน่วยงานอื่นในประเทศ เช่น กองบินทหารเรือ กองทัพอากาศและสถาบันการบินพลเรือน และต่างประเทศ เช่น กรมการบินพลเรือนมองโกเลีย (Civil Aviation Authority of Mongolia) สำนักงานขนส่งทางอากาศ (Air Transportation Office) กรุงมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ และสนามบินโปเชนตง กรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา

ในการให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศได้ตลอด 24 ชั่วโมงทุกวันได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด ได้มีการจัดการบุคลากรทั้งด้านปฏิบัติการ โดยแบ่งผู้ควบคุมจราจรทางอากาศออกเป็น 4 ผลัดเพื่อปฏิบัติงานหมุนเวียน และบุคลากรด้านวิศวกรรมเพื่อดูแล ระบบติดตามอากาศยาน ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ ระบบสื่อสารข้อมูล และระบบสื่อสารทางเสียง ให้มีความพร้อมสามารถใช้งานได้อยู่ตลอดเวลา จากผลการปฏิบัติงานของระบบควบคุมการสื่อสารยังมีข้อขัดข้องอยู่บ้าง มีสาเหตุอันเนื่องมาจากความผิดพลาดของตัวอุปกรณ์เอง การใช้งานไม่ถูกต้อง ส่วนประกอบเสียหาย ถูกบรบกวนจากภายนอก เช่น สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ฟ้าผ่า หรืออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ผิดปกติ ความเสียหายเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้เวลาไม่นาน (บวท. "รายงานประจำปีเดือนด้านวิศวกรรมจราจรทางอากาศ ประจำปีงบประมาณ 2544". สิงหาคม 2545) แต่ความเสียหายขั้นร้ายแรงที่อาจเกิดขึ้นได้และต้องใช้ระยะเวลาในการแก้ไขนาน เช่น กรณีเกิดอัคคีภัยและทำความเสียหายให้กับระบบควบคุมการสื่อสาร จะทำให้เจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศไม่สามารถติดต่อสื่อสารกับนักบินและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ และต้องหยุดการให้บริการบินตามเส้นทางบิน ถึงวันละประมาณ 700 เที่ยวบิน ในขณะที่เดียวกันหากเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินขึ้นที่ศูนย์ควบคุมการบินต่างๆ ในประเทศจะทำให้ศูนย์ควบคุมการบินต้องหยุดให้บริการแก่อากาศยานที่จะขึ้นลงที่บริเวณสนามบินนั้นๆ หรืออากาศยานที่บินผ่านประเทศใกล้เคียงเพื่อที่จะเข้ามาขึ้นลงหรือบินผ่านประเทศไทยต้องเปลี่ยนเส้นทางการบินหรือยกเลิกเที่ยวบิน ทำให้เกิดความเสียหายในธุรกิจการขนส่งทางอากาศ

การป้องกันความเสียหายหากเกิดเหตุดังกล่าว บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด ได้มีการจัดสถานที่และสร้างระบบควบคุมการสื่อสารขึ้นจัดตั้งเป็นศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศสำรองเพื่อให้บริการตามเส้นทางบินในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้น ส่วนศูนย์ควบคุมการบินต่างๆ ซึ่งยังไม่มีศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศสำรอง จำเป็นต้องมีการเตรียมสถานที่และงบประมาณในการสร้างระบบควบคุมการสื่อสารสำรอง ในอีกทางหนึ่งหากสามารถนำอุปกรณ์ชุดสื่อสารจำลองสำหรับฝึกผู้ควบคุมจราจรทางอากาศที่ได้ติดตั้งในห้องฝึกประจำศูนย์ควบคุมการบินต่างๆ มาปรับปรุงหรือดัดแปลงให้ใช้งานเป็นระบบควบคุมการสื่อสารสำรองได้ ก็จะสามารถใช้งานห้องฝึกให้ทำหน้าที่เป็นศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศสำรองได้อีกหน้าที่หนึ่ง ซึ่งจะเป็นการใช้พื้นที่อย่างคุ้มค่าไม่ต้องเตรียมสถานที่เพิ่มและประหยัดงบประมาณ

ดังนั้นการสร้างอุปกรณ์เพื่อแปลงสัญญาณจากชุดสื่อสารจำลองสำหรับการฝึกเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศที่มีติดตั้งใช้งานประจำตามศูนย์ควบคุมการบินอยู่แล้ว ให้เชื่อมต่อกับระบบสื่อสารต่างๆ ที่ใช้สำหรับด้านการควบคุมจราจรทางอากาศได้ จะทำให้ศูนย์ควบคุมการบินมีระบบควบคุมการสื่อสารสำรองที่เจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศสามารถปฏิบัติงานได้ทันทีหากกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน เนื่องจากมีความคุ้นเคยกับการใช้งานชุดสื่อสารจำลองอยู่แล้ว นอกจากนี้ยังสามารถผลิตจำหน่ายให้กับหน่วยงานอื่นทั้งในและต่างประเทศที่มีชุดสื่อสารจำลองของบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด เพื่อใช้เป็นระบบควบคุมการสื่อสารสำรอง เป็นการประหยัดงบประมาณ สถานที่ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มความปลอดภัย ความเชื่อมั่นให้กับผู้ใช้บริการอีกด้วย

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองในการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ

ความสำคัญของการวิจัย

ผลที่ได้จากการวิจัยจะทำให้สามารถนำชุดสื่อสารจำลองที่มีใช้งานอยู่แล้วมาปรับปรุงให้เป็นระบบควบคุมการสื่อสารสำรองในกรณีระบบควบคุมการสื่อสารหลักเสียหายหรือเพื่อทำการซ่อมบำรุง ทำให้ธุรกิจการขนส่งทางอากาศดำเนินไปด้วยความต่อเนื่อง มีความปลอดภัย และเกิดความเชื่อมั่นต่อผู้ให้บริการ

ขอบเขตของการวิจัย

อุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองสร้างขึ้นสำหรับเชื่อมต่อชุดสื่อสารจำลอง รุ่น VCS.3802 ของบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด กับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศสำหรับ ให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศเขตประชิดสนามบิน (Approach Control Service) และการให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศตามเส้นทางการบิน (Area Control Service) ประกอบด้วย

1. วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ (Subscriber Line Interface Circuit : SLIC)
2. วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์ (Central Office Interface Circuit : COIC)
3. วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น (4-Wire E&M Interface Circuit)
4. วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ (Radio Interface Circuit)

ตัวแปรที่ศึกษา

ประสิทธิภาพการแปลงสัญญาณจากชุดสื่อสารจำลองชนิด 2 เส้น(2-wire) ให้มีคุณสมบัติในการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารแต่ละชนิด ด้านคุณลักษณะทางไฟฟ้า และความสามารถในการทำงาน ตามมาตรฐานของสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ (International Telecommunication Union – Telecommunication) ดังนี้

1. ด้านคุณลักษณะทางไฟฟ้า
 - 1.1 การตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ของ
 - 1.1.1 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ และตู้สาขา
 - ที่ช่วงความถี่ 300 ถึง 400 Hz ไม่เกิน -2.0dB ถึง +0.6dB
 - ช่วงความถี่ 400 ถึง 600 Hz ไม่เกิน -1.5dB ถึง +0.6dB
 - ช่วงความถี่ 600 ถึง 2400 Hz ไม่เกิน -0.7dB ถึง +0.6dB
 - ช่วงความถี่ 2400 ถึง 3000 Hz ไม่เกิน -1.1dB ถึง +0.6dB และ
 - ช่วงความถี่ 3000 ถึง 3400 Hz ไม่เกิน -3.0dB ถึง +0.6dB

- 1.1.2 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และเครื่องรับส่งวิทยุ
 ที่ช่วงความถี่ 300 ถึง 2400 Hz ไม่เกิน -0.5dB ถึง +0.5dB
 ช่วงความถี่ 2400 ถึง 3000 Hz ไม่เกิน -0.9dB ถึง +0.5dB และ
 ช่วงความถี่ 3000 ถึง 3400 Hz ไม่เกิน -1.8dB ถึง +0.5dB

1.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

ที่ช่วงความถี่ 500 ถึง 2000 Hz ไม่น้อยกว่า 18dB

1.3 ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (Longitudinal Conversion Loss)

ที่ช่วงความถี่ 600 ถึง 3400 Hz ไม่น้อยกว่า 46dB

1.4 อัตราขยาย (Gain) ปรับได้ตั้งแต่ -8dB ถึง +7dB ผิดพลาดไม่เกิน ± 0.5 dB

1.5 สัญญาณรบกวน (Noise) น้อยกว่า -65dB

2. ด้านความสามารถในการทำงาน คือ เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องของ

2.1 การเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ ใช้เวลาในการตอบสนองน้อยกว่า 0.3 วินาที มีความถูกต้องมากกว่าร้อยละ 99.9

2.2 การเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์ ใช้เวลาในการตอบสนองน้อยกว่า 0.3 วินาที มีความถูกต้องมากกว่าร้อยละ 99.9

2.3 การเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น ใช้เวลาในการตอบสนองน้อยกว่า 0.45 วินาที มีความถูกต้องมากกว่าร้อยละ 99.9

2.4 การเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ ใช้เวลาในการตอบสนองทางด้านส่งน้อยกว่า 0.07 วินาที ความถูกต้องมากกว่าร้อยละ 99.99 และทางด้านรับน้อยกว่า 0.2 วินาที ความถูกต้องร้อยละ 99.9

นิยามศัพท์เฉพาะ

ชุดสื่อสารจำลอง

หมายถึง ระบบควบคุมการสื่อสาร (ICCS) จำลองรุ่น VCS.3802 ที่ บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด สร้างขึ้นสำหรับใช้ในการฝึกเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศ

อุปกรณ์แปลงสัญญาณ

หมายถึง อุปกรณ์สำหรับแปลงสัญญาณเสียงและสัญญาณควบคุมจากชุดสื่อสารจำลองชนิด 2 เส้น (2-wire) ให้สามารถเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ 4 ชนิด คือ เชื่อมต่อกับโทรศัพท์ ตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์ ช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และเครื่องรับส่งวิทยุ

ระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ

หมายถึง อุปกรณ์รับส่งสัญญาณเสียงผ่านทางคลื่นวิทยุ (Air-Ground Communication) ใช้สำหรับติดต่อกับนักบิน และอุปกรณ์สื่อสารภาคพื้นดินผ่านทางเครือข่ายสื่อสารต่างๆ (Ground-Ground Communication) สำหรับติดต่อกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ประสิทธิภาพ

หมายถึง คุณลักษณะทางไฟฟ้า และความสามารถในการทำงานของชุดแปลงสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารแต่ละชนิดที่ได้มาตรฐานตามสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ (International Telecommunication Union – Telecommunication หรือ ITU-T) กำหนด

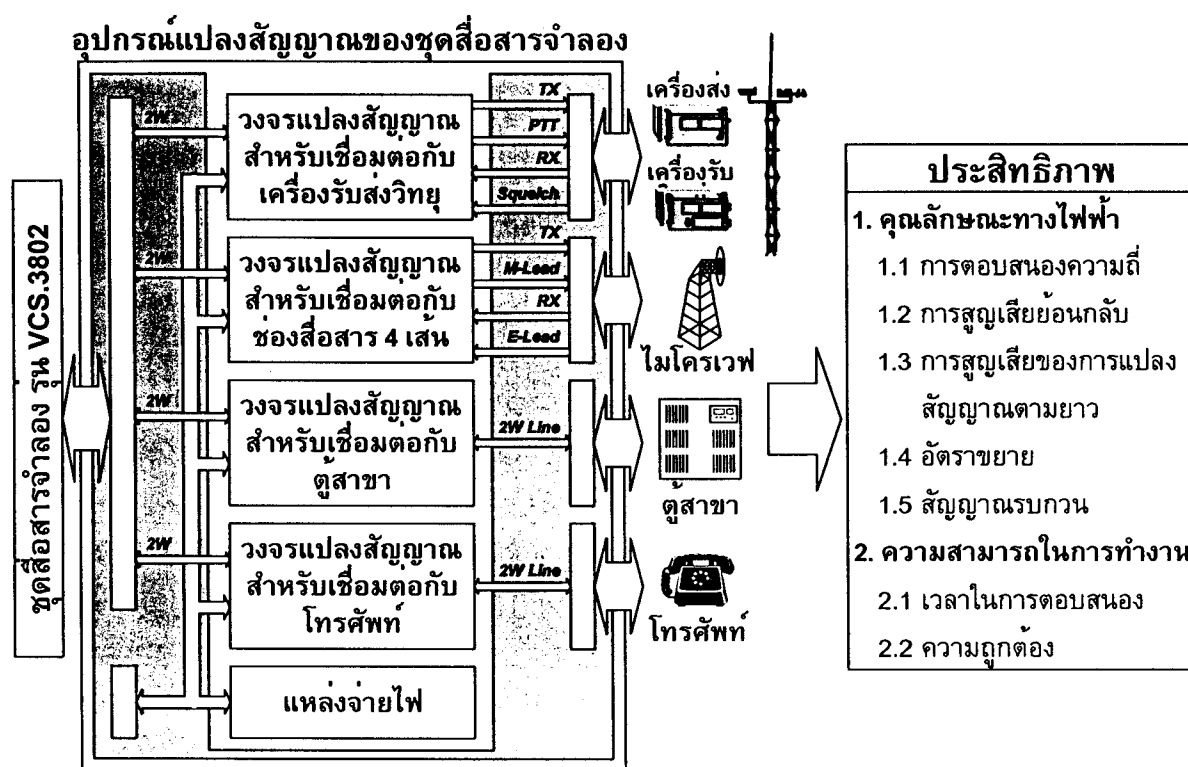
คุณลักษณะทางไฟฟ้า

หมายถึง คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวงจรแปลงสัญญาณด้าน การตอบสนองความถี่(Frequency Response) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ(Return Loss) ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (Longitudinal Conversion Loss) อัตราขยาย(Gain) และสัญญาณรบกวน(Noise) ตามมาตรฐานสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ (International Telecommunication Union – Telecommunication หรือ ITU-T)

ความสามารถในการทำงาน

หมายถึง ความเร็วในการตอบสนอง และความถูกต้องในการแปลงสัญญาณของวงจรแปลงสัญญาณ 4 ชนิด คือ เชื่อมต่อกับโทรศัพท์ ตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์ ช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และเครื่องรับส่งวิทยุ ตามมาตรฐานองค์การบริหารการบินสหรัฐอเมริกา (Federal Aviation Administration หรือ FAA)

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมุติฐานการวิจัย

อุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพตามมาตรฐานสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ และองค์การบริหารการบินสหรัฐอเมริกา

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

1. การควบคุมจราจรทางอากาศ
2. ระบบสื่อสารจำลอง
3. หลักการออกแบบอุปกรณ์แปลงสัญญาณ
4. มาตรฐานในระบบสื่อสาร และการทดสอบ
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การควบคุมจราจรทางอากาศ

การควบคุมจราจรทางอากาศประกอบด้วยหัวข้อที่เกี่ยวข้องแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ การควบคุมจราจรทางอากาศของประเทศไทย เทคโนโลยีทางการสื่อสาร และระบบควบคุมการสื่อสารรวม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 การควบคุมจราจรทางอากาศของประเทศไทย

หลังสงครามโลกครั้งที่ 1 กรมไปรษณีย์โทรเลข ได้รับมอบหมายจากรัฐบาล ให้ทำหน้าที่ให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศ และสื่อสารการบิน จนกระทั่งสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้เกิดขึ้นทางทวีปเอเชีย ส่งผลให้ อากาศยานพลเรือนไม่อาจทำการบินจึงต้องเลิกกิจการลง เมื่อสงครามโลกครั้งที่ 2 สิ้นสุดลง การประกอบธุรกิจการบิน ระหว่างประเทศเริ่มฟื้นตัวขึ้น บริษัท Aeronautical Radio Inc. หรือ ARINC จากสหรัฐอเมริกา บริษัท International Aeradio Ltd. หรือ IAL จากอังกฤษ และสายการบินต่างๆ ที่ทำการบินมายังประเทศไทย ได้ร่วมกันขออนุมัติรัฐบาลไทยจัดตั้ง บริษัทการบินแห่งสยามจำกัด Aeronautical Radio of Siam Ltd. หรือ AEROSIAM ในปี พ.ศ. 2491 เพื่อดำเนินกิจการบริการควบคุมจราจรทางอากาศ และสื่อสารการบินตามมาตรฐาน และข้อเสนอแนะขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (International Civil Aviation Organization) ภายใต้สัญญาที่ได้รับจากรัฐบาลไทย

จนกระทั่งต่อมารัฐบาลไทยซึ่งได้เล็งเห็นถึง ความสำคัญของภารกิจตลอดมาว่าเกี่ยวข้องกับ ความมั่นคงแห่งชาติ และการพัฒนากิจการบิน ประกอบกับมีความพร้อมในทุกๆด้าน แล้ว จึงได้ขอซื้อหุ้นทั้งหมดคืน เมื่อวันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2506 และเปลี่ยนชื่อเป็นบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด (Aeronautical Radio of Thailand Ltd. หรือ AEROTHAI) ในเวลาต่อมายังได้อนุญาตให้ สายการบินที่ทำการบินมายังประเทศไทย เป็นประจำ ร่วมเป็นผู้ถือหุ้นกับรัฐบาลด้วย บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด จึงได้มีสถานะเป็นรัฐวิสาหกิจ สังกัด กระทรวงคมนาคม ถึงแม้จะดำเนินการ ในรูปแบบบริษัทจำกัด แต่เนื่องจากมีข้อผูกพันในฐานะที่ปฏิบัติงานในนามรัฐบาล ซึ่งเป็นภาคีสมาชิกขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ และตามข้อตกลงที่มีไว้กับรัฐบาล บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด จึงดำเนินการแบบไม่ค้ากำไร ในการให้บริการภาคความปลอดภัย ได้แก่ บริการควบคุมจราจรทางอากาศ และสื่อสารการบิน ในอาณาเขต

ประเทศไทย โดยมีเครือข่ายเชื่อมโยงกับประเทศต่างๆ นอกจากนั้นยังมีบริการภาคธุรกิจ คือ บริการเกี่ยวเนื่องกับกิจการบินทั้งใน และต่างประเทศ (บวท. 2545? :15-21)

ปี พ.ศ. 2518 บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด ได้รับความไว้วางใจจากองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ มอบหมายภารกิจเพิ่มเติม ให้รับผิดชอบนำน้าบางส่วน เหนือทะเลจีนใต้ ซึ่งเป็นพื้นที่ของประเทศเวียดนาม ในช่วงสงครามเวียดนาม ต่อมาปี พ.ศ. 2537 ได้ส่งมอบพื้นที่บางส่วนคืน เมื่อเวียดนามมีความพร้อมที่จะดำเนินการเอง และในปี พ.ศ. 2536 จนถึงปี พ.ศ. 2544 บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด ได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบบริเวณน้าฟ้าระดับสูง เหนือประเทศกัมพูชา (บวท. 2545? : 27) ต่อมารัฐบาลมีนโยบายจะพัฒนากิจการขนส่งทางอากาศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ มุ่งเน้นให้ประเทศไทย เป็นศูนย์กลางการขนส่ง ทางภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตลอดจนพัฒนาท่าอากาศยานทุกแห่งในประเทศไทยให้มีประสิทธิภาพ และเกิดความสะดวกต่อประชาชนมากยิ่งขึ้น ตามมาตรฐานสากล จึงได้มอบหมาย ให้ความรับผิดชอบเพิ่มเติม ให้แก่บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด เช่นกัน ทั้งด้านบริการควบคุมจราจรทางอากาศ สื่อสารการบิน และบริการ ที่เกี่ยวเนื่องกับกิจการบิน ที่ท่าอากาศยานสากล ส่วนภูมิภาค คือท่าอากาศยานเชียงใหม่ หาดใหญ่และภูเก็ต และท่าอากาศยานพาณิชย์ทั่วประเทศ ซึ่งเดิมอยู่ในความรับผิดชอบของกรมการบินพาณิชย์ และท่าอากาศยานกรุงเทพ ซึ่งเดิมอยู่ในความรับผิดชอบของการท่าอากาศยานแห่งประเทศไทย ในส่วนของภาคเอกชน บริษัท การบินกรุงเทพ จำกัด ได้มอบหมายท่าอากาศยานสมุย และสุโขทัยให้บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด รับผิดชอบเช่นกัน ซึ่งการดำเนินการดังกล่าว ก่อให้เกิดความเป็นเอกภาพ ในการบริหารงาน จากการรวมงานไว้ที่องค์กรหลักเพียงหน่วยเดียว เป็นการลดค่าใช้จ่าย และก่อให้เกิดการพัฒนา ระบบ โครงสร้างพื้นฐานของ กิจการขนส่งทางอากาศที่สอดคล้อง และก้าวไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งประเทศ (บวท. 2545? : 57-59)

1.1.1 นโยบายหลัก

- 1.1.1.1 ดำเนินการตามภาระหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพตลอด 24 ชั่วโมง
- 1.1.1.2 ดำเนินกิจการโดยไม่ค้ากำไร และคิดค่าบริการจากผู้ใช้บริการอย่างยุติธรรม
- 1.1.1.3 ไม่เลือกปฏิบัติแก่ผู้ใช้บริการ
- 1.1.1.4 ยึดถือและปฏิบัติตามนโยบายของรัฐบาล

1.1.2 ภารกิจหลัก

1.1.2.1 บริการควบคุมจราจรทางอากาศ จัดระบบการบิน ให้ข้อมูลข่าวสาร คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ทั่วอาณาเขตประเทศไทย บริเวณท่าอากาศยานพาณิชย์ทุกแห่งทั่วประเทศ และบริเวณที่ได้รับมอบหมายพิเศษในต่างประเทศ (บวท. 2545? : 32)

1.1.2.2 บริการสื่อสารการบิน รับ-ส่ง-กระจาย-ถ่ายทอดข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในกิจการบิน ในฐานะเป็นศูนย์กลาง ในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก (บวท. 2545? : 33-34)

1.1.2.3 บริการเกี่ยวเนื่องกับกิจการบิน ประกอบไปด้วยบริการจัดหาอุปกรณ์สื่อสารการบินให้ผู้ประกอบกิจการขนส่งทางอากาศ ใช้ในการปฏิบัติงานบริเวณท่าอากาศยานทั้งในและต่างประเทศ บริการออกแบบ ผลิต ติดตั้ง ซ่อมบำรุงอุปกรณ์ จัดหา และวางระบบอุปกรณ์ที่ใช้ในกิจการบิน ตามความต้องการของผู้ใช้งาน บริการวางระบบเครือข่าย สื่อสารการบินผ่านดาวเทียม บริการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระบบงานต่างๆ บริการสอบเทียบเปรียบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด บริการเครือข่ายสื่อสารข้อมูลการบิน รวมถึงบริการเป็นที่ปรึกษา ให้การฝึกอบรมบุคลากรด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ

สื่อสารการบิน และวิศวกรรมจราจรทางอากาศ ให้กับหน่วยงานทั้งในประเทศและต่างประเทศ (บท. 2545? : 35-38)

1.1.3 บริการควบคุมจราจรทางอากาศ

การบริการควบคุมจราจรทางอากาศ เป็นภารกิจหลักหนึ่งของบริษัท ซึ่งเป็นการจัดระบบการขนส่งทางอากาศ ตามระเบียบและมาตรฐานสากล โดยมีหลักการสำคัญคือ ให้อากาศยานบินต่างเวลา ต่างความสูง หรือต่างทิศทางการบิน รวมทั้งแจ้งข่าวสารให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจของนักบิน (Flight Information Services) และบริการเตือนภัย (Alerting Services) เพื่อให้อากาศยาน ถึงที่หมายโดยปลอดภัย สะดวก และรวดเร็ว พร้อมทั้งให้ความร่วมมือ ในการค้นหาและช่วยเหลืออากาศยานที่ประสบอุบัติเหตุ การให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศของประเทศไทย จะให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศแก่อากาศยานพลเรือนทหาร และหน่วยราชการ ครอบคลุมเขตแกลงข่าวการบินของประเทศไทย (Bangkok Flight Information Region หรือ FIR) ,และบริเวณท่าอากาศยานทุกแห่งทั่วประเทศ รวมถึงบริเวณที่ได้รับมอบหมายพิเศษในต่างประเทศ โดยแบ่งการให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศ เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้ (บท. "บริการควบคุมจราจรทางอากาศ". พุทธศักราช 2546)

1. การควบคุมจราจรทางอากาศบริเวณท่าอากาศยาน (Aerodrome Control Service)
2. การควบคุมจราจรทางอากาศเขตประชิดท่าอากาศยาน (Approach Control Service)
3. การควบคุมจราจรทางอากาศตามเส้นทางบิน (Area Control Service)



ภาพประกอบ 2 การแบ่งการให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศ

1.1.3.1 การควบคุมจราจรทางอากาศบริเวณท่าอากาศยาน

การควบคุมจราจรทางอากาศบริเวณท่าอากาศยาน เป็นการให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศ ณ บริเวณท่าอากาศยานพาณิชย์ ทั่วประเทศ 30 จังหวัด (32 ท่าอากาศยาน) ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน ลำปาง พะเยา พิษณุโลก สุโขทัย เพชรบูรณ์ น่าน แพร่ ตาก แม่สอด อุบลราชธานี นครราชสีมา บุรีรัมย์ ร้อยเอ็ด อุดรธานี ขอนแก่น สกลนคร นครพนม เลย หาดใหญ่ ตรัง ปัตตานี นราธิวาส สุราษฎร์ธานี สมุย นครศรีธรรมราช ชุมพร ภูเก็ต ระนอง กระบี่ และหัวหิน โดยแต่ละ ท่าอากาศยานจะทำการควบคุมจราจรทางอากาศครอบคลุมรัศมี 5 - 10 ไมล์ทะเลโดยรอบท่าอากาศยาน ที่ความสูงตั้งแต่พื้นดินถึง 2,000 ฟุต

โดยเฉลี่ย นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ และความรับผิดชอบในการควบคุมจราจรทางอากาศให้กับอากาศยานบนทางวิ่ง ทางขับ ลานจอด ในพื้นที่รับผิดชอบบริเวณโดยรอบท่าอากาศยาน โดยผู้ควบคุมจราจรทางอากาศ จะปฏิบัติงานอยู่บนหอบังคับการบิน และมีงานที่รับผิดชอบดังนี้ คือ

การควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control) มีหน้าที่ความรับผิดชอบดังต่อไปนี้

1. รับผิดชอบการควบคุมจราจรทางอากาศของอากาศยานบนทางขับ และลานจอดให้ขับเคลื่อนด้วยความปลอดภัยเป็นระเบียบ และรวดเร็ว
2. ให้คำอนุญาตการขับเคลื่อนของอากาศยาน และพาหนะอื่นๆ บนทางขับ / ลานจอด
3. แจ้งข่าวสารข้อมูลแก่นักบิน และหน่วยสนับสนุนภาคพื้นดินหรือหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้องในการอำนวยความสะดวกให้แก่อากาศยานที่มาใช้บริการ

การควบคุมบริเวณหอบังคับการบิน (Local Control หรือ Tower Control) มีหน้าที่ความรับผิดชอบดังต่อไปนี้

1. รับผิดชอบการควบคุมจราจรทางอากาศบนทางวิ่งและอากาศยานโดยรอบท่าอากาศยาน หรือตามพื้นที่ที่กำหนดในเขตจราจร โดยรอบท่าอากาศยาน
2. กำหนดทางวิ่งขึ้น-ลง ให้เหมาะสมกับสภาพอากาศ (สวนทางกับทิศทางลม)
3. ติดต่อประสานงานกับผู้ควบคุมจราจรทางอากาศเขตประชิดท่าอากาศยาน ในการจัดลำดับให้แก่อากาศยานเข้า-ออก
4. แจ้งเตือนนักบินให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดการบิน

1.1.3.2 การควบคุมจราจรทางอากาศ เขตประชิดท่าอากาศยาน

การควบคุมจราจรทางอากาศเขตประชิดท่าอากาศยาน เป็นการให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศ ครอบคลุมรัศมี 30 ไมล์ทะเลโดยรอบท่าอากาศยาน ณ ที่ความสูงตั้งแต่ 2,000 - 11,000 ฟุต ยกเว้นการควบคุมจราจรทางอากาศ เขตประชิดท่าอากาศยาน ท่าอากาศยานกรุงเทพ จะขยายรัศมีทำการออกไปประมาณ 50 ไมล์ทะเลโดยรอบท่าอากาศยาน ณ ที่ความสูงตั้งแต่พื้นดินถึง 16,000 ฟุต เพื่อให้มีพื้นที่เพียงพอในการทำงาน เนื่องจากเป็นเขตที่มีจำนวนเที่ยวบินหนาแน่นที่สุด และเพื่อเป็นการลดขั้นตอนการทำงานให้สามารถส่งมอบความรับผิดชอบระหว่างท่าอากาศยานกรุงเทพ กับท่าอากาศยานใกล้เคียง เช่น อุ้งตะเภา และกำแพงแสนได้โดยตรง โดยไม่ต้องผ่านการควบคุมของผู้ควบคุมจราจรทางอากาศตามเส้นทางบิน ปัจจุบันการควบคุมจราจรทางอากาศ เขตประชิดสนามบิน จะปฏิบัติงานที่ท่าอากาศยานกรุงเทพ และสนามบินหลักภูมิภาค ได้แก่

ศูนย์ควบคุมการบินเชียงใหม่ รับผิดชอบควบคุมจราจรทางอากาศ เขตประชิดท่าอากาศยานของท่าอากาศยานเชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง และแม่สอด

ศูนย์ควบคุมการบินหาดใหญ่ รับผิดชอบควบคุมจราจรทางอากาศ เขตประชิดท่าอากาศยานของท่าอากาศยานหาดใหญ่ นราธิวาส ตรัง และปัตตานี

ศูนย์ควบคุมการบินภูเก็ต รับผิดชอบควบคุมจราจรทางอากาศ เขตประชิดท่าอากาศยานของท่าอากาศยานภูเก็ต ระนอง และกระบี่

ศูนย์ควบคุมการบินพิษณุโลก รับผิดชอบควบคุมจราจรทางอากาศ เขตประชิดท่าอากาศยานของท่าอากาศยานพิษณุโลก สุโขทัย และตาก

หอบังคับการบินหัวหิน รับผิดชอบการควบคุมจราจรทางอากาศ เขตประชิดท่าอากาศยาน ณ ท่าอากาศยานหัวหิน

และที่สำนักงานทุ่งมหาเมฆ ซึ่งรับผิดชอบบริการควบคุมจราจรทางอากาศ เขตประชิดสนามบิน 4 เขต ดังนี้

เขตเชียงราย (Chiang Rai Sector) รับผิดชอบควบคุมจราจรทางอากาศ เขตประชิดท่าอากาศยานของท่าอากาศยาน เชียงราย น่าน แพร่ และเพชรบูรณ์

เขตขอนแก่น (Khon Kaen Sector) รับผิดชอบควบคุมจราจรทางอากาศ เขตประชิดท่าอากาศยานของท่าอากาศยาน ขอนแก่น เลย สกลนคร นครพนม และอุดรธานี

เขตอุบลราชธานี (Ubon Ratchathani Sector) รับผิดชอบควบคุมจราจรทางอากาศ เขตประชิดท่าอากาศยานของ ท่าอากาศยานอุบลราชธานี บุรีรัมย์ นครราชสีมา และร้อยเอ็ด

เขตสมุย (Samui Sector) รับผิดชอบควบคุมจราจรทางอากาศ เขตประชิดท่าอากาศยาน ของท่าอากาศยานสมุย สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และชุมพร

1.1.3.3 การควบคุมจราจรทางอากาศตามเส้นทางบิน

การควบคุมจราจรทางอากาศตามเส้นทางบิน รับผิดชอบควบคุมจราจรทางอากาศ ตามเส้นทางบินทั่วอาณาเขตของประเทศไทย และพื้นที่ที่ได้รับมอบหมายพิเศษ ในต่างประเทศ ได้แก่ น่านฟ้าบางส่วนในทะเลจีนใต้ทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศไทย (Bangkok Area of Responsibility หรือ AOR) ความสูงตั้งแต่ 13,500 - 46,000 ฟุต ณ ศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศ สำนักงานใหญ่ (ทุ่งมหาเมฆ) สามารถแบ่งการควบคุมได้เป็น 7 ส่วน (Sectors) คือ

Sector 1 บริเวณภาคกลางด้านตะวันตกเฉียงใต้ และภาคใต้ตอนบนของไทย

Sector 2 บริเวณภาคกลางด้านตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ภาคตะวันออกเฉียงใต้ตอนบนของไทย

Sector 3 บริเวณภาคกลางด้านตะวันตกเฉียงใต้ ภาคตะวันตกเฉียงใต้ตอนล่าง และบริเวณอ่าวไทยด้านตะวันออก จนถึงทะเลจีนใต้บางส่วน

Sector 4 บริเวณภาคกลางด้านตะวันตกเฉียงเหนือ ภาคตะวันตก และภาคเหนือตอนล่างของไทย

Sector 5 บริเวณภาคใต้ตอนล่าง ผังตะวันตกของอ่าวไทย และทะเลอันดามัน

Sector 6 บริเวณภาคใต้ตอนล่าง ผังตะวันตกของอ่าวไทย

Sector 7 บริเวณภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของไทย

1.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร

ในการควบคุมจราจรทางอากาศ มีความจำเป็นที่จะต้องมีการประสานงานระหว่างเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศด้วยกันเองและนักบินเพื่อทำการแลกเปลี่ยนข่าวสาร ข้อมูลต่าง ๆ สำหรับการบิน เพื่อให้การบินเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดความปลอดภัยสูงสุด โดยแบ่งประเภทการสื่อสาร เป็น 2 ระบบ ได้แก่

1.1.4.1 การสื่อสารพื้นสู่อากาศ (Air / Ground)

สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่าง เจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศและนักบิน เพื่อประสานงานในการจัดการจราจรทางอากาศหรือแจ้งข่าวต่างๆ ให้นักบินทราบ โดยมีระบบอุปกรณ์ที่ให้บริการ ดังนี้

อุปกรณ์วิทยุสื่อสาร (Communication Radio) ประกอบด้วยเครื่องส่งวิทยุ เครื่องรับวิทยุ และระบบสายอากาศ ใช้สำหรับการติดต่อประสานงานในการควบคุมจราจรทางอากาศ ระหว่างผู้ควบคุมจราจรทางอากาศ กับนักบิน โดยแบ่งเป็นสองย่านความถี่ คือย่าน VHF (Very High Frequency) ความถี่ 118-137 MHz ใช้กับอากาศยานพาณิชย์ และย่าน UHF (Ultra High Frequency) ความถี่ 225-400 MHz ใช้กับอากาศยานทหาร โดยสถานวิทยุสื่อสารที่ติดตั้งใช้งานอยู่ภายในบริเวณศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศ และหอบังคับการสนามบินพาณิชย์ทั่วประเทศ โดยมีระยะทางการติดต่อครอบคลุมรัศมีประมาณ 200 ไมล์ทะเล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสิ่งกีดขวางและระดับความสูงของอากาศยาน

ระบบควบคุมวิทยุสื่อสารระยะไกล (Remote Control Air/Ground หรือ RCAG) เป็นสถานวิทยุสื่อสารที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่อื่นที่ห่างไกลออกไปจากสถานที่ปฏิบัติงานควบคุมจราจรทางอากาศทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณจากเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศไปออกอากาศบริเวณโดยรอบสถานี เนื่องจากพื้นที่การให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศมีอาณาเขตกว้างใหญ่เกินประสิทธิภาพของสถานวิทยุเพียงสถานีเดียวที่จะสามารถติดต่อได้ จึงจำเป็นต้องนำระบบควบคุมวิทยุสื่อสารระยะไกลมาใช้งาน เพื่อเป็นการขยายรัศมีการติดต่อให้ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการ สถานีควบคุมวิทยุสื่อสารระยะไกล นั้นนอกจากจะประกอบด้วยเครื่องส่ง และเครื่องรับวิทยุสื่อสารแล้ว ยังจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ (Digital Integrated Communication System and Monitoring หรือ D-ICSM) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน และตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ โดยทางด้านสำนักงานจะติดตั้งชุดหลัก (Main) เป็นตัวควบคุมและที่สถานีควบคุมวิทยุสื่อสารระยะไกล ติดตั้งชุด Remote ทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณผ่านข่ายสื่อสารเพื่อส่งออกอากาศที่สถานีควบคุมวิทยุสื่อสารระยะไกล และเนื่องจากสถานีดังกล่าวไม่มีผู้ดูแลอุปกรณ์จึงใช้ D-ICSM ในการตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องส่ง และเครื่องรับวิทยุได้ อีกทั้งยังสามารถทำการเปลี่ยนเครื่องส่งหรือเครื่องรับไปใช้เครื่องสำรองที่ติดตั้งอยู่ได้ในกรณีเครื่องใดเครื่องหนึ่งขัดข้อง ปัจจุบันมีสถานีควบคุมวิทยุสื่อสารระยะไกล ติดตั้งสำหรับบริการงานควบคุมจราจรทางอากาศตามเส้นทางบิน และงานควบคุมจราจรทางอากาศเขตประชิดท่าอากาศยาน ทั่วประเทศ รวม 17 และ 21 แห่งตามลำดับ

1.1.4.2 การสื่อสารพื้นภาคพื้นดิน (Ground / Ground)

สำหรับการติดต่อสื่อสารของเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศระหว่างหน่วยต่างๆ ได้แก่ ศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศ หอบังคับการบินต่างๆ ศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศของประเทศเพื่อนบ้าน หรือหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการบิน เพื่อประสานงานในการจัดการจราจรทางอากาศ หรือแจ้งข่าว และข้อมูลต่างๆ โดยมีระบบอุปกรณ์ที่ให้บริการ ดังนี้

เครือข่ายสื่อสารสายตรงสำหรับการจราจรทางอากาศ (Air Traffic Service Direct Speech Circuit หรือ ATS DSC) คือข่ายสื่อสารสายตรงสำหรับประสานงานจัดการจราจรทางอากาศและแจ้งข้อมูลต่างๆ ทางด้านการบินระหว่างเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศที่ปฏิบัติงาน ณ ศูนย์ควบคุมการบินและหอบังคับการบินต่างๆ โดยการใช้งานวงจรข่ายสื่อสารสายตรง จะคล้ายคลึงกับการใช้งานโทรศัพท์ทั่วไป แต่ข่ายสื่อสารจะเป็นข่ายสื่อสารที่ใช้งานเฉพาะด้านสื่อสารการบิน นอกจากระบบสื่อสารที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ที่ใช้สนับสนุนในการควบคุมจราจรทางอากาศดังเช่น

อุปกรณ์ควบคุมและเชื่อมต่อสัญญาณเสียง (Voice Communication Control System หรือ VCCS) คืออุปกรณ์ควบคุมและเชื่อมต่อสัญญาณเสียงระหว่างเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศกับนักบิน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยเป็นอุปกรณ์เลือกช่องสัญญาณการติดต่อสื่อสาร ไม่ว่าจะเป็น การสื่อสารพื้นภาคพื้นดิน หรือการสื่อสารผ่านสู่อากาศ ให้กับผู้ควบคุมจราจรทางอากาศ ตามต้องการ เพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วในการปฏิบัติงานลดจำนวนอุปกรณ์ที่ต้องติดตั้งบริเวณปฏิบัติงาน และในการซ่อมบำรุง อุปกรณ์สื่อสารจะไม่รบกวนการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศ ปัจจุบันระบบ VCCS ได้รับการติดตั้งไว้ทุกสนามบินทั่วประเทศ แต่อาจมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันตามบริษัทผู้ผลิต เช่น STVS, VCSS, ICCS, RCU อื่นๆ

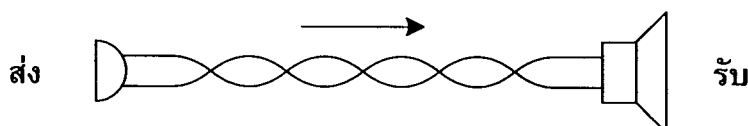
1.2 เทคโนโลยีทางการสื่อสาร

ระบบส่งสัญญาณสำหรับการสื่อสารระยะไกลมีการเจริญเติบโตเพื่อรองรับการติดต่อสื่อสารระหว่างจุดสองจุดไม่ว่าจะใกล้หรือไกลอยู่ถึงอีกด้านของโลก สัญญาณความถี่เสียง(Voice-Frequency) ที่ถูกส่งไปในระบบส่งสัญญาณจะมีช่วงความถี่แคบมากอยู่ระหว่าง 300-3,400 Hz ในขณะที่หูมนุษย์สามารถได้ยินตั้งแต่ 16-20,000 Hz และสามารถสร้างเสียงได้ตั้งแต่ 100-10,000 Hz ทั้งนี้เนื่องจากการยอมรับของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารระยะไกลจนกลายมาเป็นข้อเสนอแนะของ คณะกรรมการโทรเลขและโทรศัพท์ (International Telegraph and Telephone Consultative Committee หรือ CCITT) ถึงความเพียงพอของคุณภาพระดับที่ยอมรับได้ในการส่งสัญญาณเสียง ซึ่งมีเหตุผลจากสัญญาณเสียงเฉลี่ยของผู้ชายจะอยู่ในช่วงความถี่ 125-2,000 Hz ส่วนเสียงเฉลี่ยของผู้หญิงจะอยู่ในช่วงความถี่ 300-3,400 Hz ดังนั้นโครงสร้างโดยทั่วไปของระบบสื่อสารระยะไกลทั้งหมดจึงใช้ช่วงความถี่ค่านี้ในการกระจายหรือเชื่อมต่อสัญญาณต่างๆ (Talbot-Smith. 1994 : 6.19-20)

1.2.1 การส่งสัญญาณ

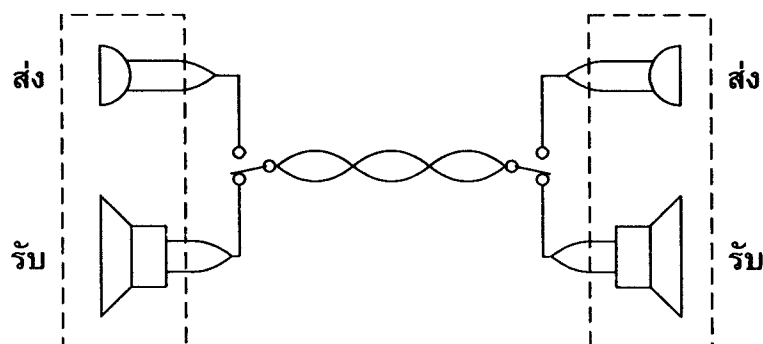
(Housley. 1987 : 24-32) คำจำกัดความของการส่งสัญญาณ สายส่งสัญญาณสำหรับการติดต่อสื่อสาร(Communication Line) คือตัวกลางในการนำข่าวสารสำหรับระบบการสื่อสารข้อมูล ซึ่งสาย (Line) ส่วนใหญ่มาจากเครือข่ายโทรศัพท์ จึงมักถูกเรียกว่าสายโทรศัพท์ การส่งสัญญาณแบ่งออกเป็น 3 แบบ

การส่งสัญญาณทางเดียว (One-way Transmission) ประกอบด้วยสายส่งสัญญาณสำหรับการติดต่อสื่อสารช่องทาง 1 ช่องหรือมากกว่า ที่สามารถนำข้อมูลไปได้ในทิศทางเดียว เช่นการส่งสัญญาณจากสถานีวิทยุหรือโทรทัศน์ เครื่องรับสามารถรับสัญญาณแต่ไม่สามารถส่งข้อมูลกลับไปยังสถานีได้



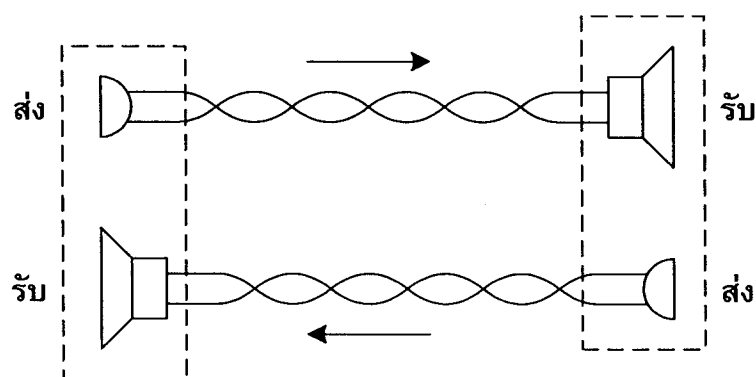
ภาพประกอบ 3 การส่งสัญญาณทางเดียว (Housley. 1987 : 25)

การส่งสัญญาณทีละทาง (Either-way Transmission) คือการส่งข้อมูลไปตามช่องสัญญาณสามารถทำได้ 2 ทิศทางเพียงแต่ไม่สามารถส่งได้ในเวลาเดียวกันต้องสลับทิศทางในการส่ง โดยปลายทางทั้งสองข้างจะมีอุปกรณ์ที่สามารถส่งหรือรับ เมื่อฝ่ายแรกเป็นผู้ส่งอีกฝ่ายจะเป็นผู้รับ และเมื่อต้องการตอบกลับฝ่ายหลังจะทำหน้าที่เป็นผู้ส่งและฝ่ายแรกเป็นผู้รับ เป็นการส่งข้อมูล 2 ทางโดยผลัดกันรับส่งข้อมูล ซึ่งโดยทั่วไปจะเรียกว่า การรับส่งแบบ Half-duplex



ภาพประกอบ 4 การส่งสัญญาณทีละทาง (Housley. 1987 : 27)

การส่งสัญญาณสองทาง (Both-way Transmission) ประกอบด้วยสายส่งสัญญาณสำหรับการติดต่อสื่อสาร 2 ช่อง ที่สามารถส่งข้อมูลทั้ง 2 ทางได้ในเวลาเดียวกัน โดยช่องหนึ่งสำหรับการส่ง และอีกช่องสำหรับการรับ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การรับส่งแบบ Full-duplex

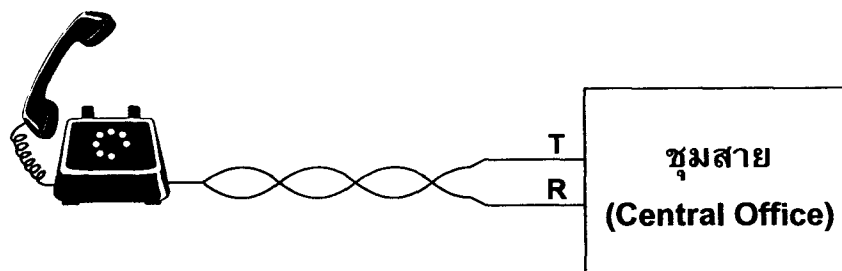


ภาพประกอบ 5 การส่งสัญญาณสองทาง (Housley. 1987 : 29)

1.2.2 ระบบการส่งสัญญาณ

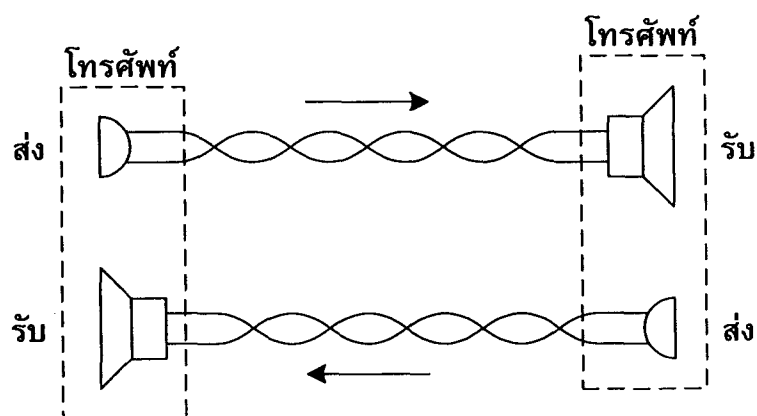
ระบบการส่งสัญญาณแบ่งออกเป็น 2 แบบ (Talbot-Smith, 1994 : 6.27-28)

Two-Wire Circuit คือระบบการรับส่งสัญญาณโดยใช้สายสัญญาณ 1 คู่ หรือ 2 เส้น ใช้มากในการต่อโทรศัพท์กับชุมสาย (Central Office : CO) (Gayler, 1989 : 115)



ภาพประกอบ 6 วงจรแบบ Two-Wire (Gayler, 1989 : 115)

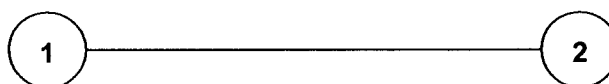
Four-Wire Circuit คือระบบการรับส่งสัญญาณโดยใช้สายสัญญาณ 2 คู่ หรือ 4 เส้น คู่หนึ่งสำหรับส่งและอีกคู่หนึ่งสำหรับรับ (Gayler, 1989 : 115)



ภาพประกอบ 7 วงจรแบบ Four-Wire (Gayler, 1989 : 115)

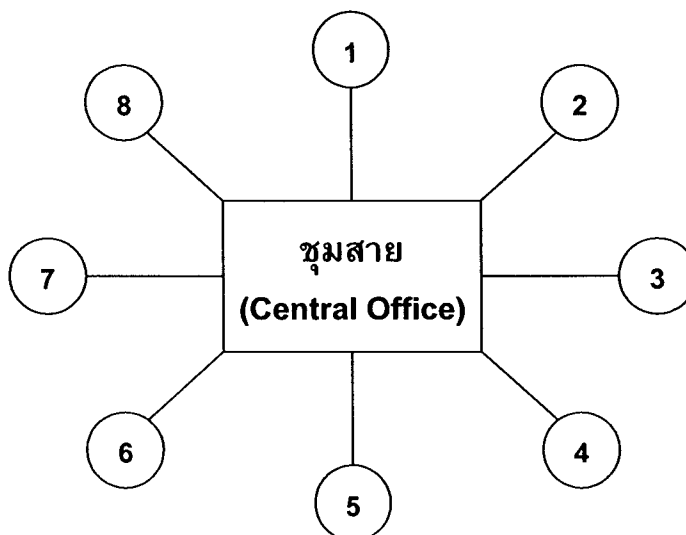
1.2.3 ชนิดของเครือข่ายการสื่อสาร

เครือข่ายแบบจุดต่อจุด (Point to Point Network) เป็นการต่อเครือข่ายการสื่อสารแบบพื้นฐานเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ปลายทาง 2 จุด ในการรับส่งสัญญาณ ซึ่งอาจจะเป็นแบบทางเดียว(One-way) ที่ละทาง (Half-duplex) หรือสองทาง(Full-duplex) (Housley. 1987 : 60) โดยไม่คำนึงถึงระยะทาง สื่อที่ใช้ อาจจะเป็นสายไฟ สายแบบมีแกน(Coaxial Cable) หรือคลื่นวิทยุผ่านไมโครเวฟ(Microwave Radio Link) ก็ได้ (Bellamy. 2000 : 18)



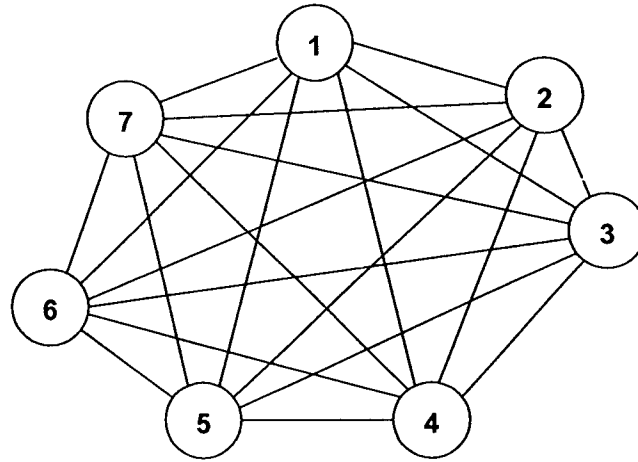
ภาพประกอบ 8 เครือข่ายแบบจุดต่อจุด (Housley. 1987 : 60)

เครือข่ายแบบดาว (Star Network) อุปกรณ์ปลายทางแต่ละตัวจะต่อกับตัวศูนย์กลางหรือชุมสาย (Central Office : CO) เป็นเครือข่ายที่มีสมรรถนะที่ดีเยี่ยมเพราะอุปกรณ์ทุกตัวสามารถเชื่อมต่อถึงกันได้และประหยัดคู่สาย (Housley. 1987 : 60-61)จะเห็นได้ทั่วไปในระบบโทรศัพท์ ไม่ว่าจะเป็น เครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะ(Public Switched Telephone Network : PSTN) หรือ ตู้สาขาส่วนบุคคล(Private Branch Exchanges : PBX)



ภาพประกอบ 9 เครือข่ายแบบดาว (Housley. 1987 : 61)

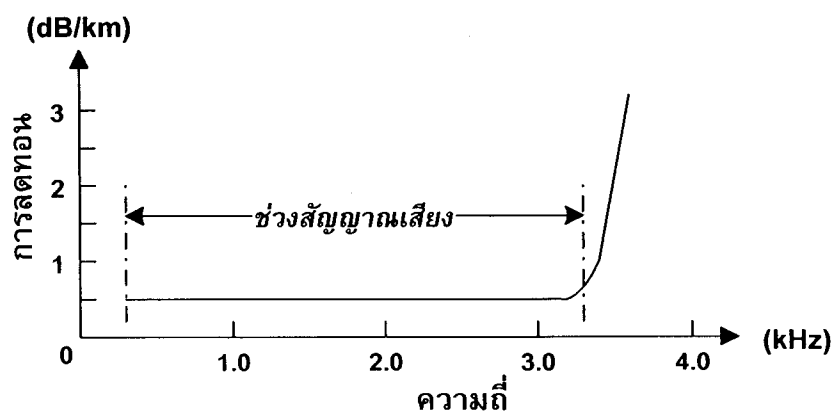
เครือข่ายแบบตาข่าย (Mesh-Connected Network) เป็นการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทุกตัวถึงกันโดยตรง ใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่างชุมสาย (Bellamy. 2000 : 6-7)



ภาพประกอบ 10 เครือข่ายแบบตาข่าย (Bellamy. 2000 : 7)

1.2.4 สื่อที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (Transmission Media)

สายคู่ตีเกลียว (Twisted-pair Cable) เป็นสายตัวนำ(ทองแดง)ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5 มิลลิเมตร หุ้มฉนวน 2 เส้นพันตีเกลียวเพื่อป้องกันการรบกวน สายคู่ตีเกลียวอาจจะมีตั้งแต่ 2 คู่ ไปจนถึง 4,000 คู่ (Multi-core Cable) คุณสมบัติของสัญญาณเสียงในสายคู่ตีเกลียว ในการตอบสนองต่อสัญญาณเสียงจะขึ้นอยู่กับ ความถี่ของสัญญาณ ความยาว และขนาดของสาย เมื่อสัญญาณเสียงถูกส่งไปตามสายจะถูกลดทอน(Attenuation) ลงไปเรื่อยๆ เมื่อความถี่สูงขึ้น และจะสูงขึ้นมากขึ้นที่ความถี่ประมาณ 3,400 เฮิรตซ์ เป็นเส้นโค้งดังภาพประกอบ และคุณภาพของสัญญาณเสียงจะลดลงเมื่อความยาวของสายเพิ่มขึ้น โดยปกติจะมีความยาวได้ไม่เกิน 10 กิโลเมตร (Talbot-Smith. 1994 : 6.21-22)



ภาพประกอบ 11 การลดทอนของสายคู่ตีเกลียว (Talbot-Smith. 1994 : 6.22)

สายโคแอกเชียล (Coaxial Cable) ประกอบด้วยตัวนำ 2 ชุด ตัวนำแกนกลางจะถูกหุ้มด้วยตัวนำชั้นนอกมีฉนวนกันระหว่างตัวนำทั้งสองและหุ้มตัวนำชั้นนอกอีกชั้นหนึ่ง ตัวนำชั้นนอกจะเป็นตัวป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอกที่จะเข้าตัวนำแกนกลางและป้องกันสัญญาณจากตัวนำแกนกลางออกไปรบกวนภายนอก เป็นสายที่สามารถใช้กับการส่งสัญญาณที่มีความถี่สูง (Talbot-Smith. 1994 : 6.22) หรือเรียกว่ามีลักษณะแถบความถี่กว้าง (Wide Bandwidth) สามารถส่งสัญญาณเสียงทางโทรศัพท์ได้มากกว่าหนึ่งพันวงจรในเวลาเดียวกัน (Housley. 1987 : 327)

เคเบิลใยแก้วนำแสง (Optical-fiber Cable) เป็นสายที่มีคุณสมบัติดีกว่าสายแบบที่ใช้ตัวนำไฟฟ้าคือ มีแถบความถี่กว้างมาก (Large Bandwidth) การสูญเสียต่ำ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าไม่สามารถรบกวนได้ มีหลักพื้นฐานในการส่งสัญญาณคือ แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสงและส่งไปตามเคเบิลใยแก้วนำแสง (Talbot-Smith. 1994 : 6.22-23)

คลื่นวิทยุย่านไมโครเวฟ (Microwave Radio) เป็นระบบการส่งสัญญาณเป็นเส้นตรงตามแนวสายตา (Line-of-Sight) โดยส่งคลื่นวิทยุย่านไมโครเวฟออกจากสายอากาศตรงไป (Beam) ยังสายอากาศทางด้านรับที่ห่างออกไปได้สูงสุดประมาณ 50-60 กิโลเมตร เนื่องจากความโค้งของโลก ดังนั้นหากต้องการส่งสัญญาณในระยะทางที่ไกลขึ้นจำเป็นต้องมีจานสะท้อนคลื่น (Reflector) หรือสถานีทวนสัญญาณ (Repeater) เพื่อถ่ายทอด (Relay) สัญญาณเป็นช่วงๆ การส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุย่านไมโครเวฟสามารถส่งสัญญาณเสียงทางโทรศัพท์ได้มากกว่า 1,800 วงจรในเวลาเดียวกัน (Talbot-Smith. 1994 : 6.23)

ดาวเทียมสื่อสาร (Satellite Communications) เป็นระบบการส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุย่านไมโครเวฟอย่างหนึ่ง (Talbot-Smith. 1994 : 6.23) ที่มีสถานีถ่ายทอด (Relay) สัญญาณอยู่บนท้องฟ้า สูงประมาณ 35,000 กิโลเมตร โดยมากมีจุดประสงค์เพื่อใช้สำหรับสื่อสารภายในประเทศ เนื่องจากมีข้อได้เปรียบในที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างมาก คุณสมบัติโดยทั่วไปของการสื่อสารผ่านดาวเทียมคือ สัญญาณเกิดการดีเลย์ (Long Loop Delay) ประมาณ 0.5 วินาที สามารถส่งสัญญาณด้วยความเร็วสูงได้ มีความสามารถในการกระจายสัญญาณ (Broadcast) มีความน่าเชื่อถือสูง (High Reliability) และต้องมีการรักษาความปลอดภัยในการส่งข้อมูลที่สำคัญ เช่น การเข้ารหัส (Encryption) (Housley. 1987 : 328-332)

1.2.5 การส่งสัญญาณควบคุม (Signaling) และการเชื่อมต่อ (Interface)

ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์สื่อสารทางด้านอนาล็อกไม่จำเป็นที่จะต้องเชื่อมต่อกับ เครือข่ายการสื่อสาร หรือสื่อในการส่งสัญญาณ จำเป็นต้องมีสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมและการแสดงสถานะแบบต่างๆ ที่ถูกกำหนดโดยหน่วยงานด้านมาตรฐาน เพื่อให้อุปกรณ์ทั้งคู่ทำงานอย่างถูกต้องและสัมพันธ์กัน ชนิดของสัญญาณควบคุมที่มีใช้และเป็นที่ยอมรับ คือ แบบ Subscriber Loop แบบ Loop-Start และแบบ E&M Lead (Bellamy. 2000 : 42-48)

Subscriber Loop หรือ Subscriber Line (loop) Interface ใช้สำหรับการเชื่อมต่อแบบ Two-Wire ระหว่างเครื่องรับโทรศัพท์ และชุมสาย (Central Office : CO) ส่วนประกอบที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบ Subscriber loop นี้ประกอบด้วย (Bellamy. 2000 : 47)

Battery : สำหรับเป็นแหล่งจ่าย (-48 Volt) ในการสร้างสัญญาณควบคุม และสำหรับป้องกันเสียงไมโครโฟน

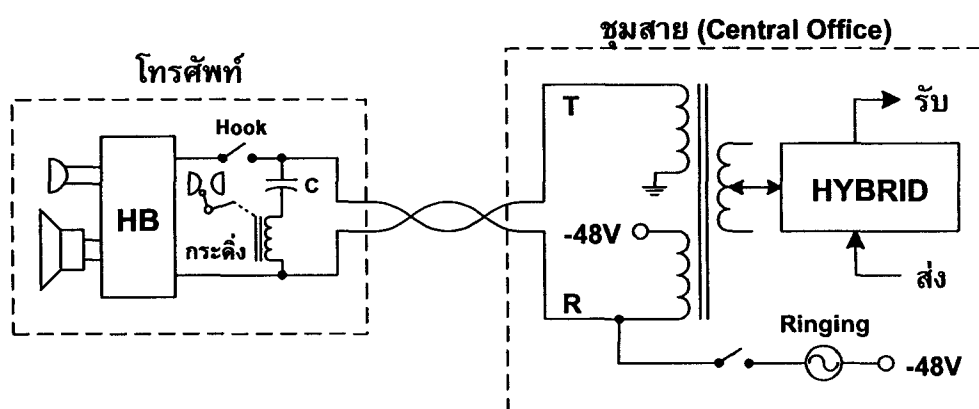
Overvoltage Protection : สำหรับป้องกันความเสียหายที่เกิดจากฟ้าผ่า หรือแรงดันเกิน

Ringling : เป็นสัญญาณกระดิ่งสำหรับส่งให้กับเครื่องรับโทรศัพท์

Supervision : สำหรับตรวจสอบสัญญาณควบคุม(Loop) เมื่อเครื่องรับโทรศัพท์มีการยกหู (Off-Hook) หรือวางหู (On-Hook)

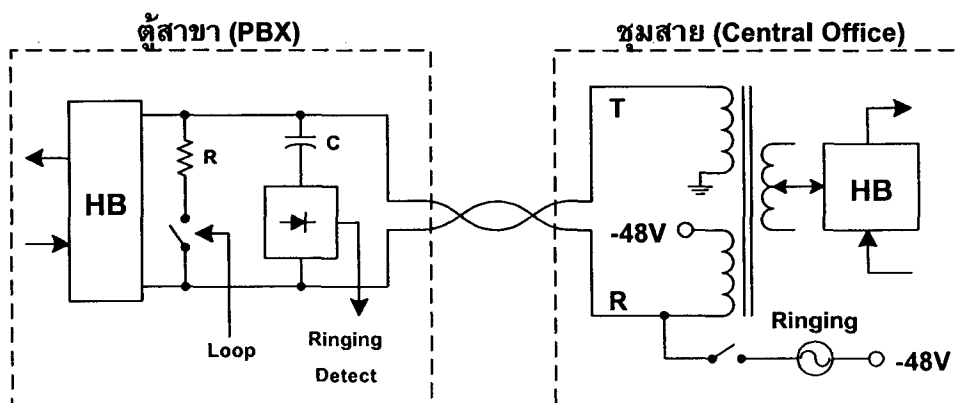
Hybrid : สำหรับเปลี่ยนสัญญาณแบบ 2-wire เป็น 4-wire (Talbot-Smith. 1994 : 6.11)

หลักการทำงาน เมื่อชุมสาย(Central Office)ต้องการเรียกไปยังเครื่องรับโทรศัพท์ก็จะส่งสัญญาณ Ringing ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันประมาณ 90 Vrms, 20 Hz เพื่อให้กระดิ่งที่เครื่องรับโทรศัพท์ทำงาน เมื่อมีการยกหู(Off-Hook) ชุมสายจะหยุดส่งสัญญาณ Ringing และต้องวงจรเสียงสำหรับติดต่อสื่อสาร



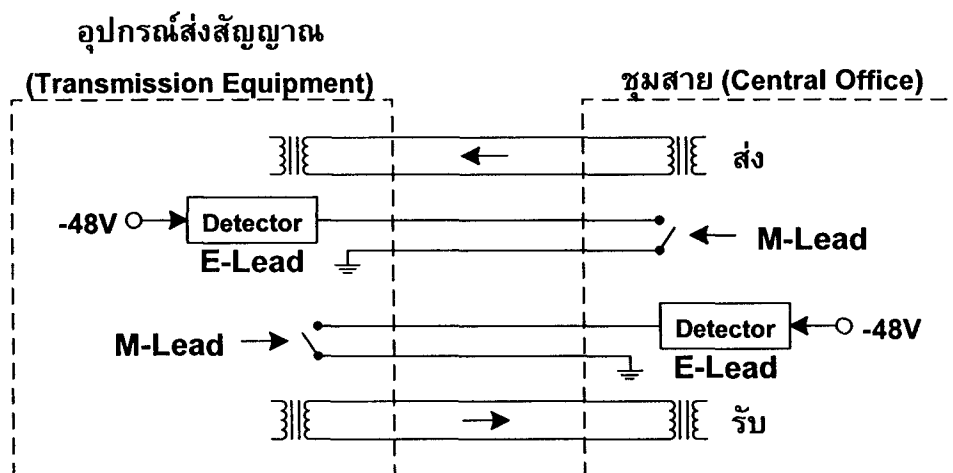
ภาพประกอบ 12 ลักษณะของวงจร Subscriber Loop

Loop-Start หรือ Central Office Interface ใช้สำหรับการเชื่อมต่อแบบ Two-Wire ระหว่างชุมสาย(Central Office : CO) และตู้สาขาส่วนบุคคล(Private Branch Exchanges : PBX) จะมีการทำงานตรงข้ามกับแบบ Subscriber Loop คือตรวจสอบสัญญาณกระดิ่ง (Ringing) เมื่อมีการเรียกเข้า และสร้าง Loop เมื่อต้องการเรียกออก (Bellamy. 2000 : 47-48)



ภาพประกอบ 13 ลักษณะของวงจร Loop-Start

E&M Lead ใช้สำหรับการเชื่อมต่อแบบ Four-Wire ระหว่างชุมสาย(Central Office : CO) และตู้สาขาส่วนบุคคล(Private Branch Exchanges : PBX) หรืออุปกรณ์ส่งสัญญาณ(Transmission Equipment) ประกอบด้วยสัญญาณเสียงทางด้านส่ง 1 คู่ สัญญาณเสียงทางด้านรับ 1 คู่ สัญญาณควบคุมทางด้านส่ง(M-Lead) 1 คู่ และสัญญาณควบคุมทางด้านรับ(E-Lead) 1 คู่ (Bellamy. 2000 : 49)



ภาพประกอบ 14 ลักษณะของวงจร E&M Lead (Bellamy. 2000 : 49)

1.2.6 สิ่งที่ลดคุณภาพในการส่งสัญญาณ (Transmission Impairment)

ปัจจัยหลักที่ต้องคำนึงถึงในจุดประสงค์การจัดตั้งการส่งสัญญาณสำหรับเครือข่ายอนาล็อกประกอบด้วย

การลดทอนสัญญาณ (Signal Attenuation) เกิดจากการสูญเสียของระบบส่งสัญญาณ (Bellamy. 2000 : 34)

การแทรกแซง (Interference) เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ต้องการและไม่สามารถทำนายลักษณะได้ (Bellamy. 2000 : 34)

เสียงรบกวน (Noise) เกิดขึ้นได้จากภายในและภายนอกระบบ เช่น สนามแม่เหล็กภายในวงจรหรือการเหนี่ยวนำจากอุปกรณ์ภายนอก (Talbot-Smith. 1994 : 6.27)

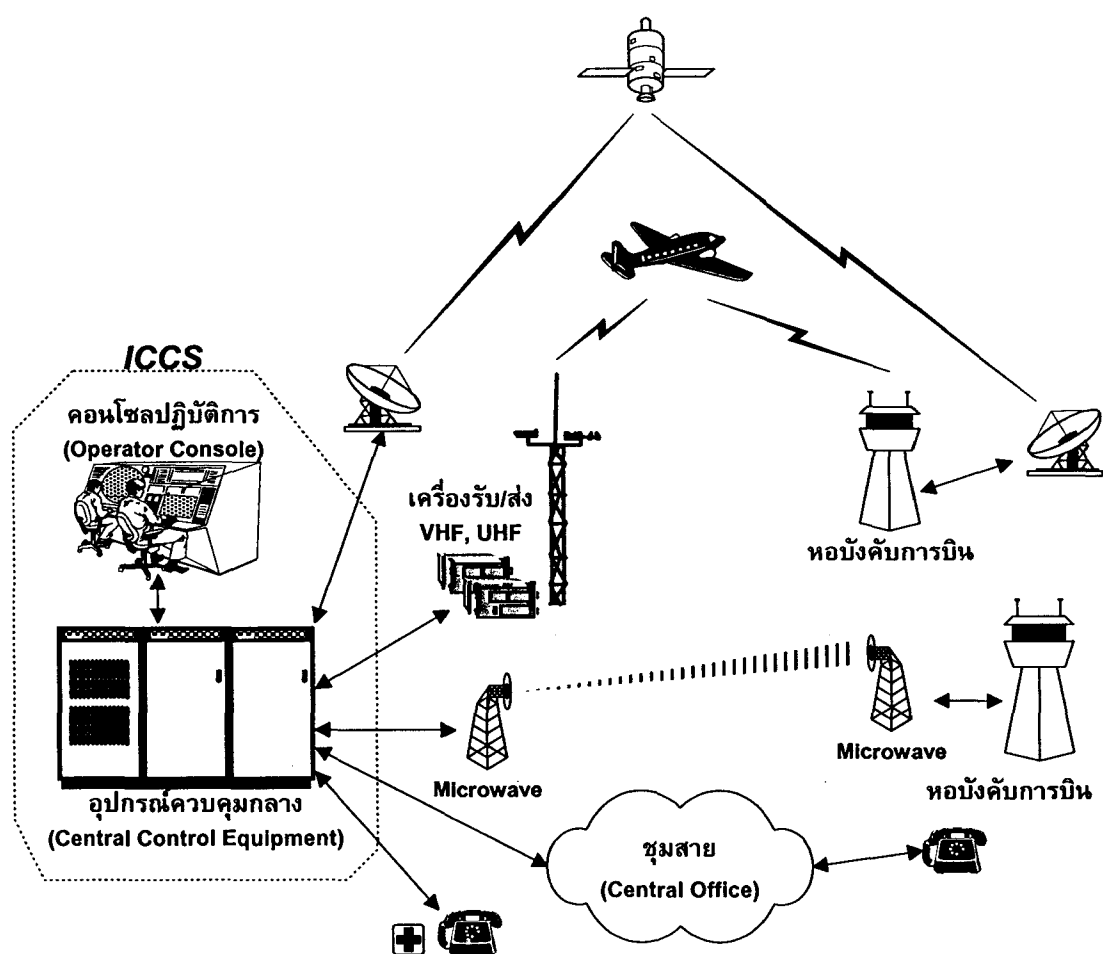
ความเพี้ยน (Distortion) เป็นการตอบสนองความถี่หรือสัญญาณที่ระดับต่างๆ ที่ไม่สม่ำเสมอ (Bellamy. 2000 : 36-38)

เสียงก้อง (Echo) เกิดจากที่เดินทางในระบบส่งสัญญาณช้า(Delay) และสะท้อนกลับมายังด้านรับของผู้ส่งสัญญาณ (Bellamy. 2000 : 38-41)

การรบกวนระหว่างช่อง (Cross-talk) ในระบบโทรศัพท์หมายถึง เสียงต่างๆ ที่ได้รับจากโทรศัพท์ช่องอื่นๆ เสียงรบกวนระหว่างช่องขึ้นอยู่กับสภาพการเหนี่ยวนำระหว่างช่อง ค่าที่ยอมรับได้คือไม่น้อยกว่า 65 dB (Talbot-Smith. 1994 : 6.27)

1.3 ระบบควบคุมการสื่อสารร่วม

ระบบควบคุมการสื่อสารร่วม (Integrated Communication Control System หรือ ICCS) มีหน้าที่ควบคุมการติดต่อสัญญาณเสียงระหว่างเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศกับนักบินผ่านทางคลื่นวิทยุสื่อสารย่าน VHF, UHF (Air-Ground Communication) และหน่วยภาคพื้นดินผ่านทางเครือข่าย หรืออุปกรณ์สื่อสารต่างๆ (Ground-Ground Communication) โดยผู้ควบคุมจราจรทางอากาศสามารถทำการติดต่อสื่อสารและควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ได้ด้วยการใช้คอนโซลปฏิบัติการ (Operator Console) ซึ่งประกอบด้วย ไมโครโฟน ชุดปากพูดหูฟัง(Headset) ลำโพง ปุ่มเลือกเครื่องรับ-ส่งวิทยุ (Radio Selector) และปุ่มเลือกเครือข่ายสื่อสาร (Telephone Selector) (บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด(บวท.). 2545ข : 1.2-1.3)



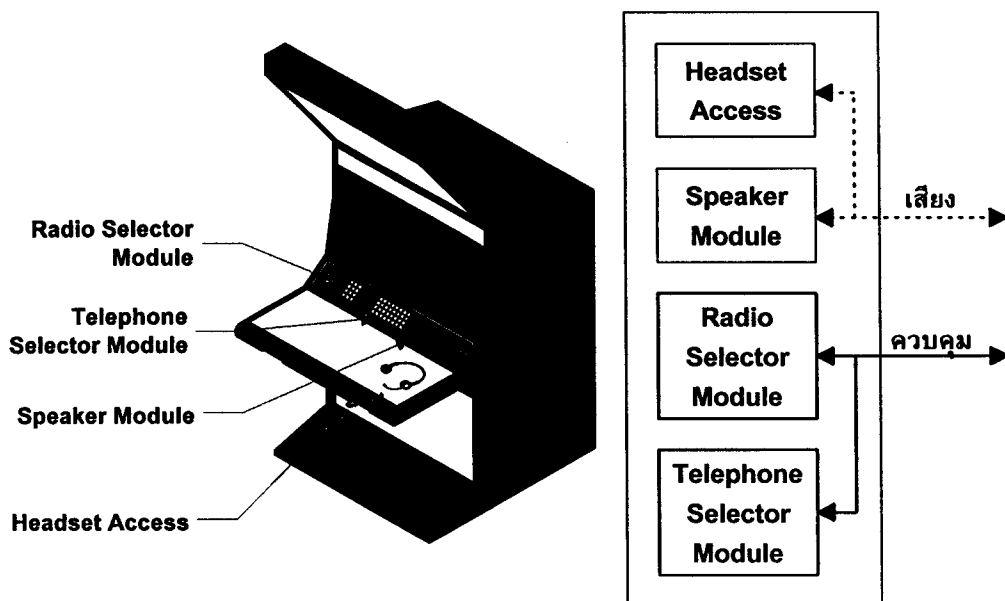
ภาพประกอบ 15 ระบบสื่อสารที่ใช้ในการควบคุมจราจรทางอากาศ

128917
32

ระบบควบคุมการสื่อสารร่วม (ICCS) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ คอนโซลปฏิบัติการ (Operator Console) และอุปกรณ์ควบคุมส่วนกลาง (Central Control Equipment)

1.3.1 คอนโซลปฏิบัติการ

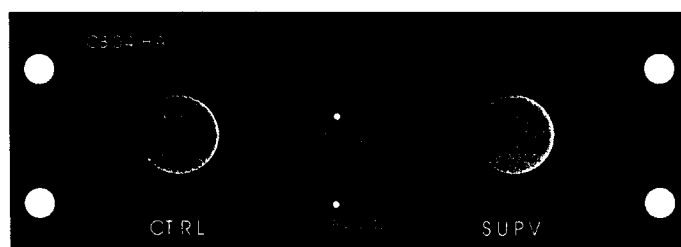
คอนโซลปฏิบัติการ (Operator Console) เป็นอุปกรณ์สำหรับผู้ควบคุมจราจรทางอากาศ เพื่อใช้ควบคุมอุปกรณ์การสื่อสาร และดูแลสถานะการติดต่อสื่อสารต่างๆ ภายในคอนโซลปฏิบัติการประกอบด้วย



ภาพประกอบ 16 คอนโซลปฏิบัติการ (Operator Console) (บวท. 2545ข : 1.6)

1.3.1.1 ชุดปากพูดหูฟัง

ชุดปากพูดหูฟัง (Headset Access Module) เป็นอุปกรณ์สำหรับต่อชุดปากพูดหูฟัง(Headset) และปรับแรงลดสัญญาณเสียงทางด้านวิทยุและโทรศัพท์สำหรับชุดหูฟัง (บวท. 2545ข : 3.8-3.9)



ภาพประกอบ 17 ชุดปากพูดหูฟัง (Headset Access Module) (บวท. 2545ข : 3.8-3.9)

1.3.1.2 ลำโพง

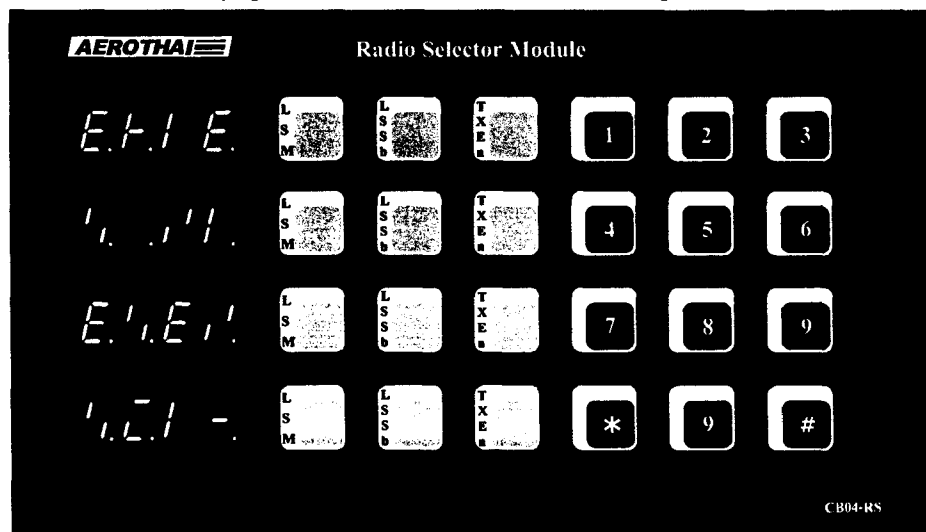
ลำโพง (Speaker Module) เป็นอุปกรณ์สำหรับรับฟังเสียงและปรับแรงลดสัญญาณเสียงทางด้านวิทยุและโทรศัพท์ (บวท. 2545ข : 3.10-3.11)



ภาพประกอบ 18 ลำโพง (Speaker Module) (บวท. 2545ข : 3.10-3.11)

1.3.1.3 อุปกรณ์เลือกเครื่องรับ-ส่งวิทยุ

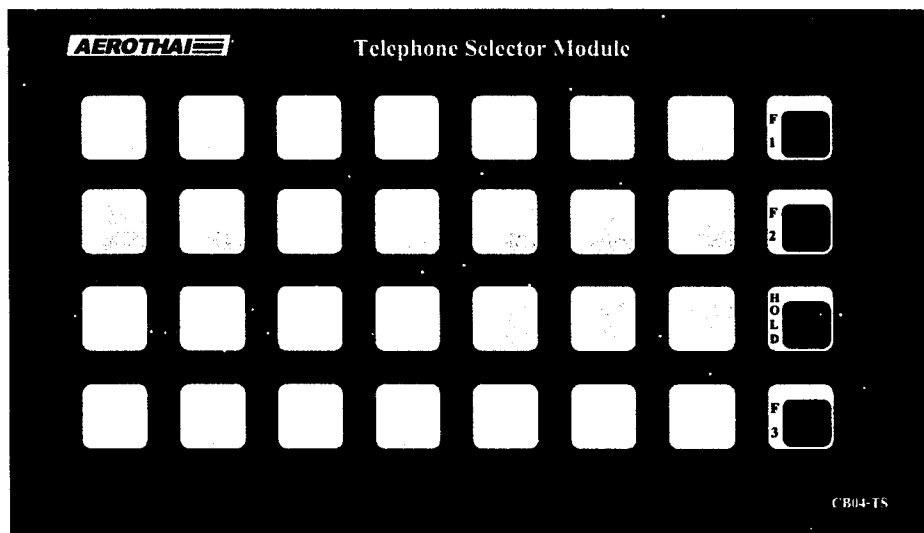
อุปกรณ์เลือกเครื่องรับ-ส่งวิทยุ (Radio Selector Module) เป็นอุปกรณ์สำหรับเลือกใช้เครื่องรับ-ส่งวิทยุจำนวน 4 ความถี่ สามารถเลือกใช้เครื่องหลัก(Main)-สำรอง(standby) เลือกรับฟังเสียงทางชุดหูฟังหรือลำโพง มีไฟแสดงค่าความถี่ที่ใช้งาน ไฟแสดงสถานะการเลือกใช้งานเครื่องรับ-ส่งวิทยุ ไฟแสดงสถานะการเลือกรับฟังเสียงทางชุดหูฟังหรือลำโพง และไฟแสดงสถานะเมื่อถูกเรียก ของแต่ละความถี่



ภาพประกอบ 19 อุปกรณ์เลือกเครื่องรับ-ส่งวิทยุ (บวท. 2545ข : 3.1-3.2)

1.3.1.4 อุปกรณ์เลือกเครือข่ายสื่อสาร

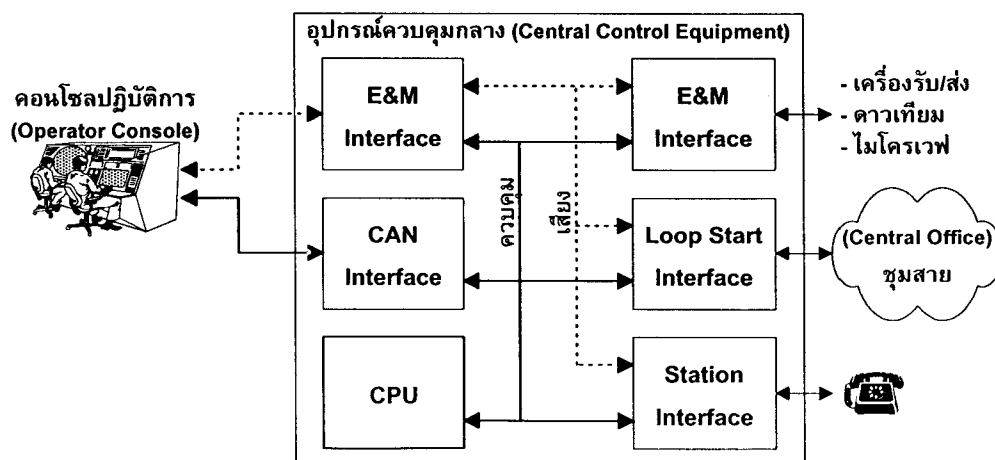
อุปกรณ์เลือกเครือข่ายสื่อสาร (Telephone Selector Module) เป็นอุปกรณ์สำหรับเรียกหรือตอบรับเครือข่ายสื่อสารต่างๆ จำนวน 28 ช่อง มีไฟแสดงสถานะเมื่อมีการเลือกใช้งานหรือตอบรับและไฟแสดงสถานะเมื่อถูกเรียก ของแต่ละช่อง



ภาพประกอบ 20 อุปกรณ์เลือกเครือข่ายสื่อสาร (บวท. 2545ข : 3.3-3.4)

1.3.2 อุปกรณ์ควบคุมกลาง

อุปกรณ์ควบคุมกลาง (Central Control Equipment) ทำหน้าที่ควบคุม และติดต่อสัญญาณเสียงระหว่างคอนโซลปฏิบัติการ (Operator Console) กับระบบวิทยุสื่อสารย่าน VHF, UHF และระบบโทรศัพท์ อุปกรณ์ควบคุมกลางประกอบด้วยหน่วยต่างๆ ดังนี้ (บวท. 2545ข : 3.16-3.32)



ภาพประกอบ 21 อุปกรณ์ควบคุมกลาง

หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit หรือ CPU) ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่ได้จากคอนโซลปฏิบัติการ (Operator Console) และชุดเชื่อมต่อกับเครือข่ายสื่อสารต่างๆ

ชุดเชื่อมต่อ CAN (Controller Area Network เป็นชุดเชื่อมต่อสำหรับรับส่งข้อมูลระหว่างคอนโซลปฏิบัติการ และหน่วยประมวลผลกลาง (CPU)

ชุดเชื่อมต่อแบบ E&M เป็นชุดเชื่อมต่อสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีการต่อสัญญาณเสียงแบบ 4-Wire และมีสัญญาณควบคุม แบบ E และ M เช่น เครื่องรับส่งวิทยุ ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ระบบสื่อสารวิทยุผ่านไมโครเวฟ หรือคอนโซลปฏิบัติการ

ชุดเชื่อมต่อแบบ Loop Start หรือ Central Office Interface ใช้สำหรับการเชื่อมต่อแบบ 2-Wire กับชุมสาย (Central Office : CO) หรือตู้สาขาส่วนบุคคล (Private Branch Exchanges : PBX)

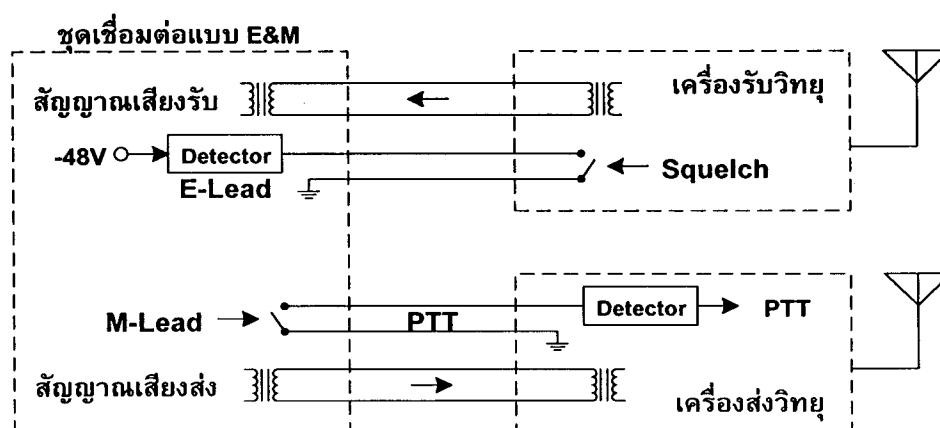
ชุดเชื่อมต่อแบบ Station หรือ Subscriber Line(loop) Interface ใช้สำหรับการเชื่อมต่อแบบ 2-Wire กับเครื่องรับโทรศัพท์

1.3.3 ลักษณะสัญญาณและการเชื่อมต่อ

1.3.3.1 ชุดเชื่อมต่อแบบ E&M

เมื่อผู้ควบคุมจราจรทางอากาศต้องการติดต่อกับนักบินผ่านเครื่องรับส่งวิทยุ จะทำการกดปุ่มเพื่อพูด (Press-to-talk หรือ PTT) สัญญาณ M-Lead ที่ชุดเชื่อมต่อแบบ E&M จะทำงานในขณะเดียวกัน สัญญาณเสียงที่พูดผ่านไมโครโฟน (ชุดปากพูดหูฟัง) ในคอนโซลปฏิบัติการก็จะถูกส่งไปยังเครื่องส่งวิทยุ การเชื่อมต่อกับเครื่องส่งวิทยุ สัญญาณ M-Lead จะถูกเปลี่ยนเป็นสวิตช์ (Dry Contact) เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องส่งวิทยุ

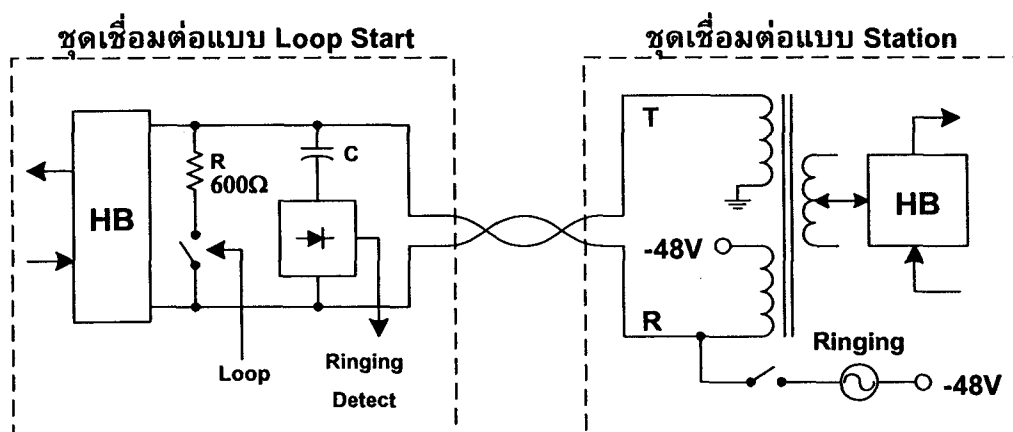
ส่วนทางด้านรับเมื่อเครื่องรับวิทยุได้รับสัญญาณจากนักบินก็จะส่งสัญญาณ Squelch ซึ่งมีลักษณะเป็นสวิตช์ (Dry Contact) ผ่านชุดเชื่อมต่อแบบ E&M ไปยังอุปกรณ์เลือกเครื่องรับ-ส่งวิทยุ (Radio Selector Module) เพื่อแสดงไฟสถานะเมื่อถูกเรียก และในขณะเดียวกันสัญญาณเสียงก็จะถูกส่งไปยังหูฟัง (ชุดปากพูดหูฟัง) หรือลำโพง



ภาพประกอบ 22 การเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ

1.3.3.2 ชุดเชื่อมต่อแบบ Loop Start

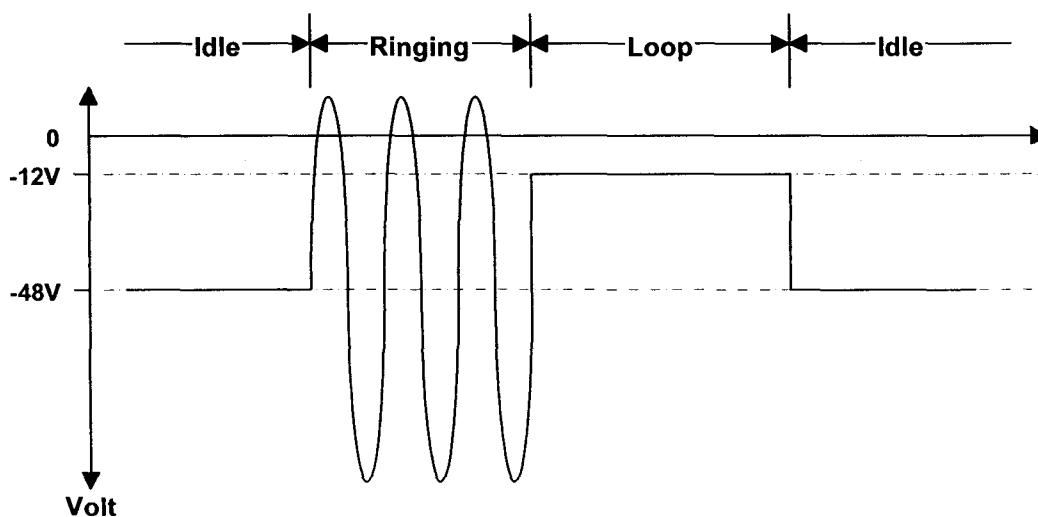
การเชื่อมต่อเป็นแบบ 2-Wire สำหรับต่อกับชุมสาย(Central Office : CO) หรือตู้สาขาส่วนบุคคล (Private Branch Exchanges : PBX) ภายในจะประกอบด้วยวงจรตรวจสอบสัญญาณกระดิ่ง (Ringing) เมื่อมีการเรียกเข้า และสร้างสัญญาณ Loop เมื่อต้องการเรียกออก



ภาพประกอบ 23 การเชื่อมต่อแบบ Loop Start และแบบ Station

1.3.3.3 ชุดเชื่อมต่อแบบ Station

การเชื่อมต่อเป็นแบบ 2-Wire สำหรับต่อกับเครื่องรับโทรศัพท์ ภายในจะประกอบด้วย ภาคจ่ายไฟ 48 โวลต์ วงจรสร้างสัญญาณกระดิ่ง (Ringing) เมื่อต้องการเรียกออก และวงจรตรวจสอบสัญญาณ Loop เมื่อมีการเรียกเข้า



ภาพประกอบ 24 ลักษณะสัญญาณแบบ Loop Start และแบบ Station

1.3.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของชุดเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ของระบบควบคุมการสื่อสารร่วม (Integrated Communication Control System หรือ ICCS) แบ่งออกเป็น 3 แบบแต่ละแบบมีคุณสมบัติดังนี้ (บวท. 2545ข : 2.1-2.2)

1.3.4.1 ชุดเชื่อมต่อแบบ E&M

การตอบสนองความถี่(Frequency Response)	300-3400 Hz $\pm$ 1dB
ความเพี้ยน(Distortion)	< 3%
ความต้านทานทางไฟฟ้าสลับทางด้านรับ(Input Impedance)	600 Ohms Balanced
ระดับสัญญาณทางด้านรับ(Reception Level)	0dBm (Nominal)
ความต้านทานทางไฟฟ้าสลับทางด้านส่ง(Output Impedance)	600 Ohms Balanced
ระดับสัญญาณทางด้านส่ง(Transmission Level)	0dBm (Nominal)
สัญญาณควบคุมด้านส่ง(Press-to-talk)	Dry Contact

1.3.4.2 ชุดเชื่อมต่อแบบ Loop Start

ความต้านทานทางไฟฟ้าสลับ(Impedance)	600 Ohms
------------------------------------	----------

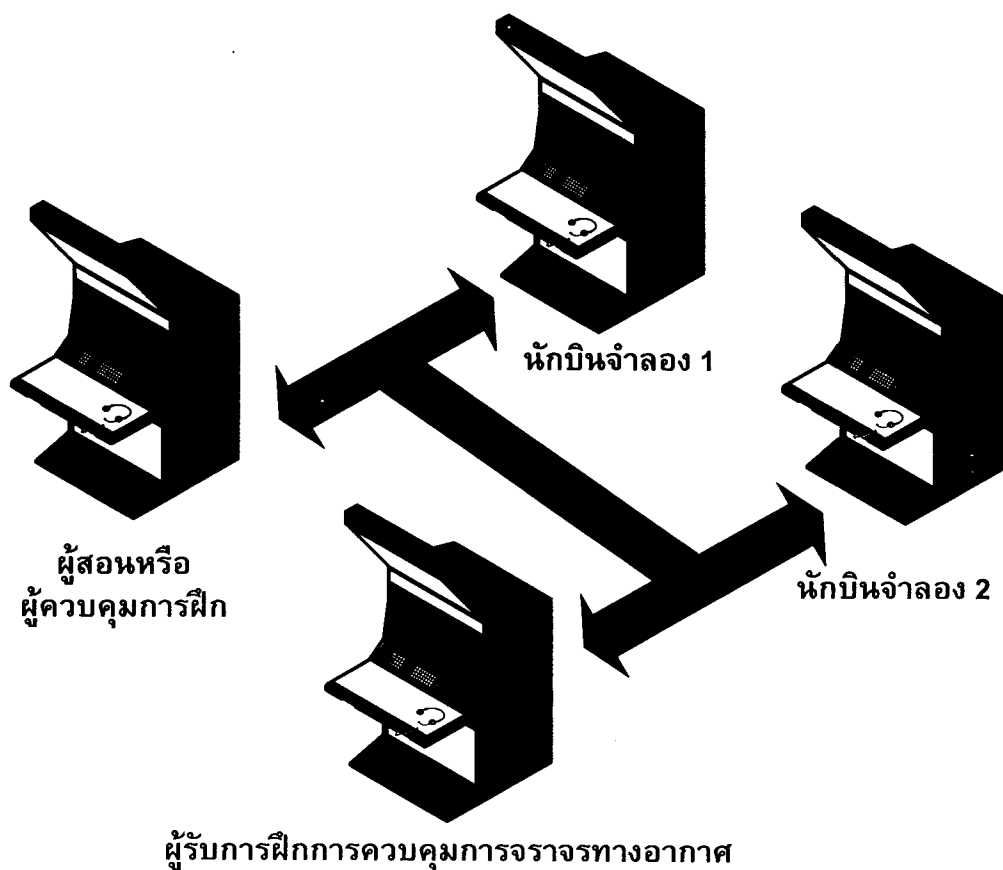
1.3.4.3 ชุดเชื่อมต่อแบบ Station

ความต้านทานทางไฟฟ้าสลับ(Impedance)	600 Ohms
สัญญาณกระดิ่ง(Ringing)	25Hz, 90Vrms
ไฟเลี้ยง(Talk Battery)	-48V

2. ระบบสื่อสารจำลอง

ระบบสื่อสารจำลอง (Voice Communication Simulator) เป็นอุปกรณ์จำลองการติดต่อสื่อสารทางเสียงด้วยระบบวิทยุ และระบบโทรศัพท์ เพื่อใช้ในการฝึกฝน และพัฒนาบุคลากรด้านการควบคุมจราจรทางอากาศของบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด ให้มีความรู้ และทักษะด้านการควบคุมการจราจรทางอากาศตามเส้นทางการบิน (Area Control Service) เขตประชิดสนามบิน (Approach Control Service) และบริเวณสนามบิน (Aerodrome Control Service) โดยใช้เรดาร์ และไม่ใช้เรดาร์

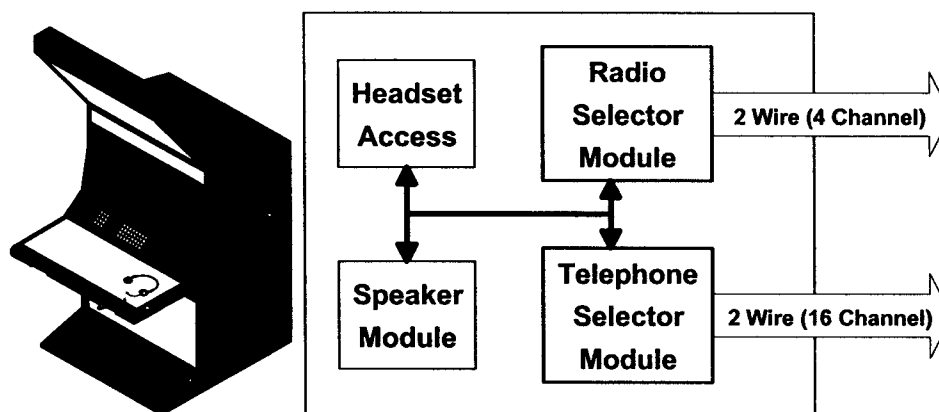
ภายในระบบสื่อสารจำลองประกอบด้วยชุดฝึกสำหรับ ผู้รับการฝึกการควบคุมการจราจรทางอากาศ (Controller) ผู้สอนหรือผู้ควบคุมการฝึก (Instructor) และนักบินจำลอง (Pilot) อย่างน้อย 2 ตำแหน่ง ขึ้นไป (บวท. 2543 : 1.1)



ภาพประกอบ 25 ระบบสื่อสารจำลอง

2.1 ส่วนประกอบคอนโซลปฏิบัติการ

ชุดฝึกของผู้ใช้งานแต่ละตำแหน่งจะมีคอนโซลปฏิบัติการ (Operator Console) ประกอบด้วย ชุดปากพูดหูฟัง (Headset) ลำโพง ปุ่มเลือกเครื่องรับ-ส่งวิทยุ (Radio Selector) และปุ่มเลือกเครือข่ายสื่อสาร (Telephone Selector) (บวท. 2543 : 1.2)



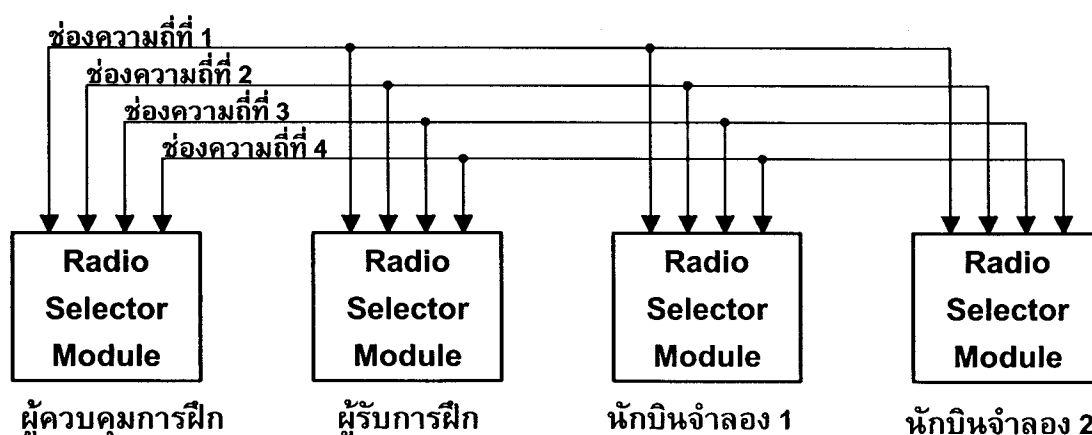
ภาพประกอบ 26 ส่วนประกอบคอนโซลปฏิบัติการ

2.2 การเชื่อมต่อคอนโซลปฏิบัติการ

ภายในคอนโซลปฏิบัติการจะแบ่งระบบสื่อสารจำลองแบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ ระบบวิทยุ (Radio System) และระบบโทรศัพท์ (Telephone System)

2.2.1 ระบบวิทยุ

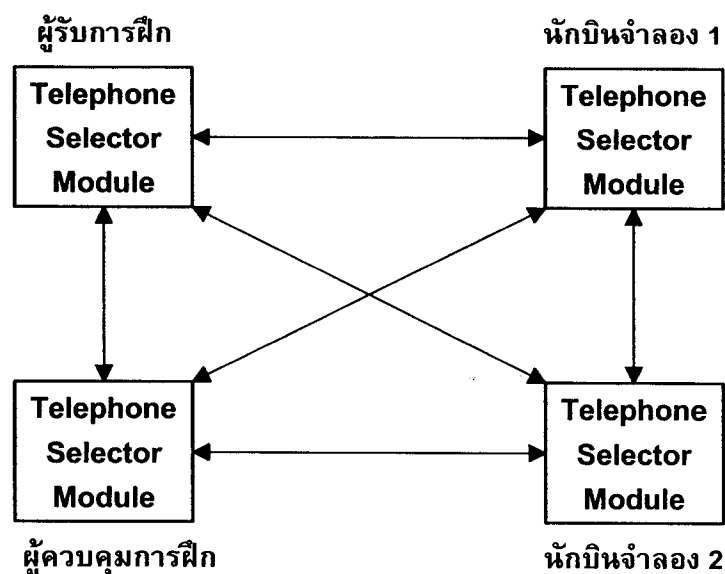
ระบบวิทยุ (Radio System) จะใช้ Radio Selector Module เป็นอุปกรณ์สำหรับการเชื่อมต่อและควบคุมการทำงาน ในแต่ละตำแหน่งสามารถเลือกใช้งานได้ 4 ช่องความถี่ แต่ละช่องความถี่สามารถเลือกการรับฟังทางชุดหูฟังหรือลำโพง แต่ละช่องความถี่จะมีสายสัญญาณชนิด 2-Wire เพื่อใช้เชื่อมต่อแบบขนานกับตำแหน่งอื่นๆ ในการรับส่งสัญญาณเสียง และสัญญาณควบคุม (บวท. 2543 : 4.6)



ภาพประกอบ 27 การเชื่อมต่อระบบวิทยุ (บวท. 2543 : 4.6)

2.2.2 ระบบโทรศัพท์

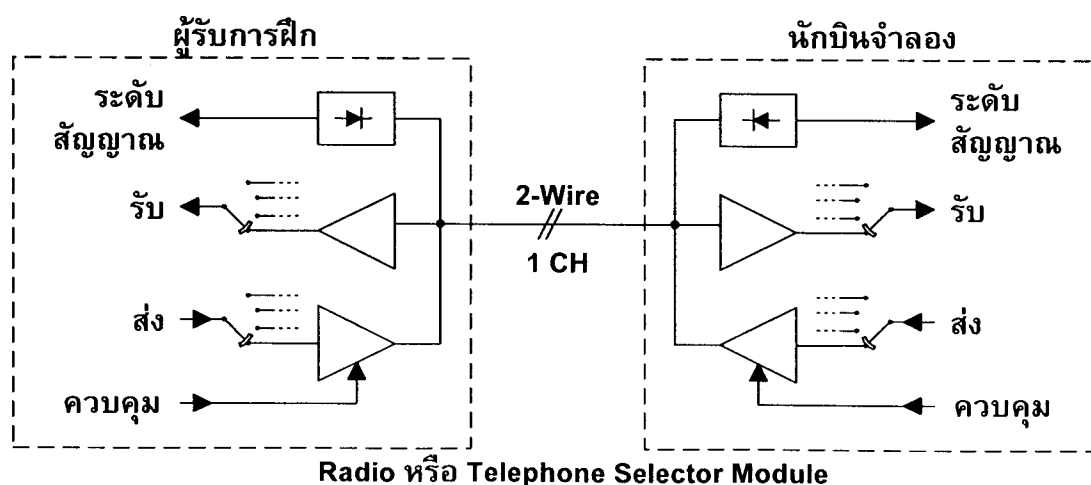
ระบบโทรศัพท์ (Telephone System) จะใช้ Telephone Selector Module เป็นอุปกรณ์สำหรับการเชื่อมต่อและควบคุมการทำงาน ในแต่ละตำแหน่งสามารถเลือกใช้งานได้ 16 ช่อง แต่ละช่องสามารถเลือกการรับฟังทางชุดหูฟังหรือลำโพง แต่ละช่องจะมีสายสัญญาณชนิด 2-Wire เพื่อใช้เชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด กับตำแหน่งอื่นๆ ในการรับส่งสัญญาณเสียง และสัญญาณควบคุม (บวท. 2543 : 4.7)



ภาพประกอบ 28 การเชื่อมต่อระบบโทรศัพท์ (บวท. 2543 : 4.7)

2.3 ลักษณะการทำงานและการเชื่อมต่อ

สายสัญญาณแบบ 2-Wire สำหรับเชื่อมต่อกับตำแหน่งอื่นๆ ของระบบวิทยุ (Radio System) และระบบโทรศัพท์ (Telephone System) จะมีลักษณะวงจรเหมือนกัน การส่งสัญญาณเสียงและสัญญาณควบคุมจะรวมไปในสายสัญญาณแบบ 2-Wire (บวท. 2543 : 3.1-3.9)



ภาพประกอบ 29 ลักษณะการทำงานและการเชื่อมต่อ

2.3.1 ลักษณะสัญญาณของระบบวิทยุ

การจำลองการใช้งานระบบวิทยุ เมื่อผู้รับการฝึก กดพูดเพื่อส่งสัญญาณ(Press-to-talk หรือ PTT) ขาควบคุมจะเปิดให้วงจรด้านส่งทำงาน โดยส่งไฟกระแสดตรงขนาด 6 โวลต์ และสัญญาณเสียงทางด้านส่งออกไปในสายสัญญาณแบบ 2-Wire เมื่อวงจรตรวจระดับสัญญาณทางด้านนักบินจำลอง ตรวจสอบได้ก็จะเปิดให้วงจรด้านรับทำงาน โดยส่งสัญญาณเสียงไปยังชุดหูฟังหรือลำโพง และแสดงไฟสัญญาณเรียกเข้า และในทางกลับกันเมื่อนักบินจำลอง ต้องการกดพูดเพื่อส่งสัญญาณ(PTT) สัญญาณต่างๆ ก็จะมีลักษณะเหมือนกัน

2.3.2 ลักษณะสัญญาณของระบบโทรศัพท์

การจำลองการใช้งานระบบโทรศัพท์ เมื่อผู้รับการฝึก กดปุ่มเลือกช่องที่ Telephone Selector Module ขาควบคุมจะเปิดให้วงจรด้านส่งทำงาน โดยส่งไฟกระแสดตรงขนาด 6 โวลต์ ออกไปในสายสัญญาณแบบ 2-Wire 1 วินาที และหยุด 2 วินาทีสลับเป็นช่วงจังหวะ เมื่อวงจรตรวจระดับสัญญาณทางด้านนักบินจำลอง ตรวจสอบได้ ก็จะส่งสัญญาณไฟสัญญาณเรียกเข้าเป็นจังหวะ เมื่อนักบินจำลองมีการกดรับ วงจรด้านส่งของนักบินจำลอง ก็จะทำงานและส่งไฟกระแสดตรงขนาด 6 โวลต์กลับไปยังทางด้านผู้รับการฝึก เมื่อได้รับสัญญาณแล้ววงจรด้านรับของทั้งคู่จะเปิดการทำงาน โดยส่งสัญญาณเสียงไปยังชุดหูฟังหรือลำโพง และหยุดแสดงไฟสัญญาณเรียกเข้า

2.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของชุดเชื่อมต่อระหว่างระบบสื่อสารจำลอง (Voice Communication Simulator) มีคุณสมบัติดังนี้ (บวท. 2543 : 3.2-3.3)

ความต้านทานทางไฟฟ้าสลับ(Impedance)	600 Ohms Balanced
ระดับสัญญาณทางด้านรับ(Reception Level)	-5 dBm (Nominal)
ระดับสัญญาณทางด้านส่ง(Transmission Level)	-5 dBm (Nominal)
สัญญาณควบคุม(Signaling)	6 VDC ref. Ground

3 หลักการออกแบบอุปกรณ์แปลงสัญญาณ

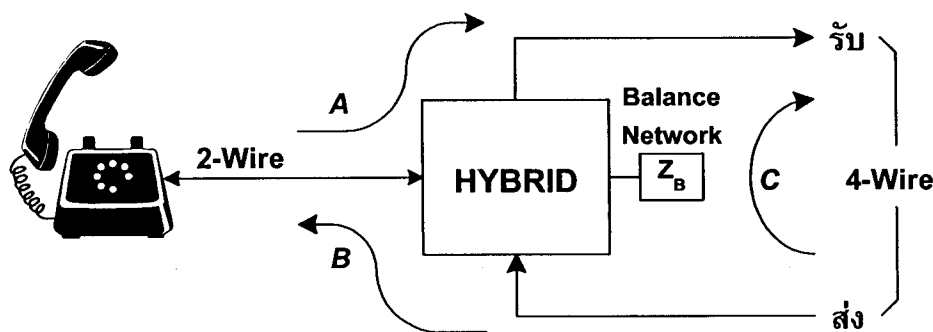
การออกแบบอุปกรณ์เพื่อแปลงสัญญาณจากระบบสื่อสารจำลองให้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์สื่อสารชนิดต่างๆ ให้ได้อย่างเหมาะสมนั้น จำเป็นที่จะต้องทราบส่วนประกอบ คุณสมบัติและข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่จะนำไปเชื่อมต่อ และวงจรที่จะออกแบบ ในการออกแบบอุปกรณ์แปลงสัญญาณได้ใช้หลักการออกแบบแบบบนลงล่าง(Top-Down Design) เพื่อแบ่งอุปกรณ์แปลงสัญญาณออกเป็นส่วนย่อยๆ (Ward & Angus. 1996 : 35-39)โดยแต่ละส่วนได้มีการศึกษาหลักการ และออกแบบวงจรโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การเปลี่ยนการรับส่งสัญญาณเสียง 2/4-Wire (Hybrid)

3.1.1 หลักการทำงานทั่วไป

หลักการพื้นฐานของวงจรรับส่งสัญญาณเสียงแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ วงจรแบบ Two-Wire(2-Wire) จะพบมากในวงจรโทรศัพท์ที่ใช้งานทั่วไป และวงจรแบบ Four-Wire(4-Wire) จะพบมากในวงจรรับส่งสัญญาณที่มีระยะทางไกลเช่น อุปกรณ์ไมโครเวฟลิงค์ เคเบิลใต้น้ำ หรือดาวเทียมเป็นต้น ดังนั้นในวงจรโทรศัพท์ที่จะต้องมีการรับส่งระยะทางไกลจึงต้องมีอุปกรณ์ Hybrid เพื่อเปลี่ยนสัญญาณจากวงจรแบบ 2-Wire เป็น 4-Wire (Gayler. 1989 : 114-119)

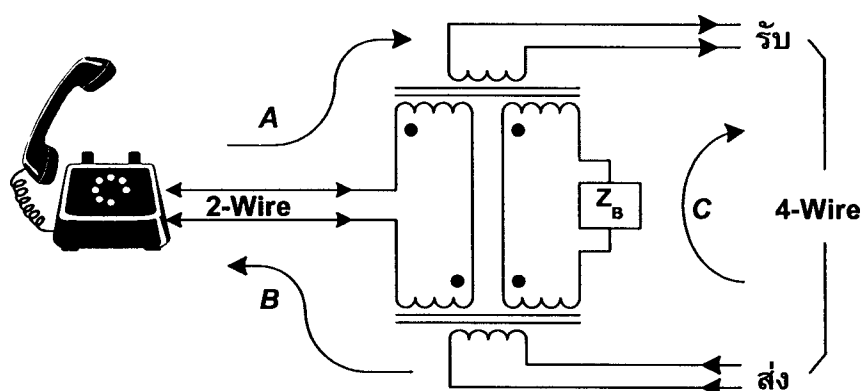
การรับส่งโดยใช้ Hybrid จะเป็นการรับส่งแบบสองทางในขณะเดียวกัน(Duplexer) โดยสัญญาณ "A" จากโทรศัพท์จะผ่าน Hybrid ออกไปทางขา "รับ" ทางด้าน 4-Wire และสัญญาณจากขา "ส่ง" ทางด้าน 4-Wire จะส่งผ่าน Hybrid ออกไปทาง "B" ด้าน 2-Wire และจะมีสัญญาณ "C" ส่วนหนึ่งย้อนกลับมาทางขา "รับ" สัญญาณ "C" หรือ Side Tone เป็นสัญญาณที่ต้องเกิดขึ้นน้อยที่สุด ในการลดสัญญาณ Side Tone ต้องทำให้ความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสสลับของโทรศัพท์และวงจร Balance Network (Z_B) มีค่าเท่ากัน



ภาพประกอบ 30 วงจร Hybrid (Gayler. 1989 : 117)

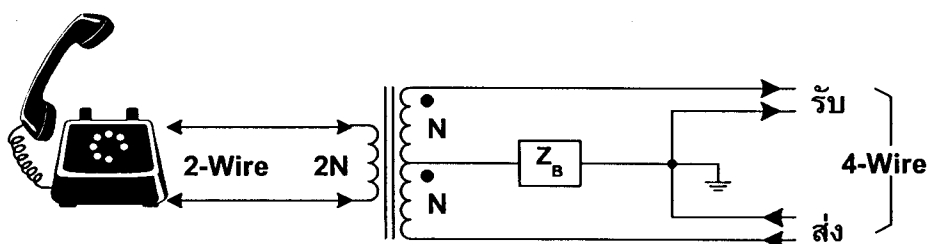
3.1.2 ชนิดของอุปกรณ์เปลี่ยนการรับส่งสัญญาณเสียง 2/4-Wire (Hybrid)

3.1.2.1 Two-Transformer Hybrid เป็นวงจร Hybrid ที่ใช้ทรานส์ฟอร์มเมอร์ชนิด 3 ขด จำนวน 2 ชุด โดยแต่ละขดจะมีจำนวนรอบเท่ากัน ความต้านทานของขา "รับ" และขา "ส่ง" ต้องมีค่าเท่ากัน และ ความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสสลับของโทรศัพท์และวงจร Balance Network ต้องมีค่าเท่ากัน โดย สัญญาณ "A" จากโทรศัพท์จะเหนี่ยวนำผ่านทรานส์ฟอร์มเมอร์ตัวบนออกไปทางขา "รับ" ทางด้าน 4-Wire และ สัญญาณจากขา "ส่ง" ทางด้าน 4-Wire จะเหนี่ยวนำผ่านทรานส์ฟอร์มเมอร์ตัวล่างไปทาง "B" ด้าน 2-Wire ส่วน สัญญาณ "C" หรือ Side Tone ที่จะย้อนกลับมาทางขา "รับ" จะถูกหักล้างด้วยการเหนี่ยวนำแบบกลับเฟส ระหว่างทรานส์ฟอร์มเมอร์ทั้งสอง (Gayler. 1989 : 120-121)



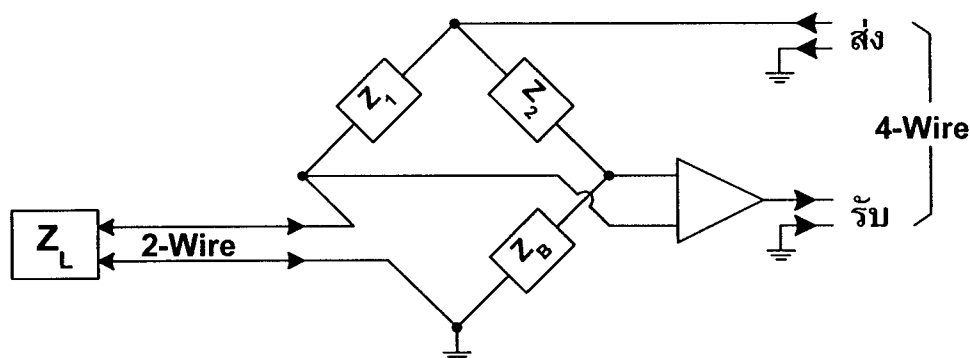
ภาพประกอบ 31 วงจร Hybrid ชนิด Two-Transformer (Gayler. 1989 : 120)

3.1.2.2 Single Transformer Hybrid เป็นวงจร Hybrid ที่ใช้ทรานส์ฟอร์มเมอร์ชนิด 3 ขด จำนวน 1 ชุด โดยแต่ละขดจะมีจำนวนรอบเท่ากัน แต่กึ่งกลางขดทางด้าน 4-Wire จะถูกต่อออกมาใช้งาน ความต้านทานของขา "รับ" และขา "ส่ง" ต้องมีค่าเท่ากัน และ ความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสสลับของวงจร Balance Network จะมีค่ามากกว่าโทรศัพท์ 4 เท่า (Gayler. 1989 : 121-122)



ภาพประกอบ 32 วงจร Hybrid ชนิด Single Transformer (Gayler. 1989 : 121)

3.1.2.3 Op-amp Hybrid เป็นวงจรที่ใช้หลักการของวงจร Bridge และคุณสมบัติการขยายความแตกต่างของออปแอมป์ (Operational Amplifier หรือ Op-amp) โดยสัดส่วนของความต้านทาน Z_1 ต่อ Z_L จะต้องเท่ากับสัดส่วนของความต้านทาน Z_2 ต่อ Z_0 (Gayler. 1989 : 122-126)



ภาพประกอบ 33 วงจร Hybrid ใช้ออปแอมป์ (Gayler. 1989 : 123)

3.1.3 การออกแบบวงจรเปลี่ยนการรับส่ง 2/4-Wire สำหรับต่อระบบสื่อสารจำลอง

ในการออกแบบวงจรเปลี่ยนการรับส่ง 2/4-Wire สำหรับต่อระบบสื่อสารจำลอง ได้มีการสรุปข้อมูลที่เกี่ยวข้อง กำหนดขอบเขตของการออกแบบ การออกแบบส่วนประกอบ การออกแบบวงจร และการคำนวณค่าอุปกรณ์ต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.3.1 ข้อมูลการออกแบบ

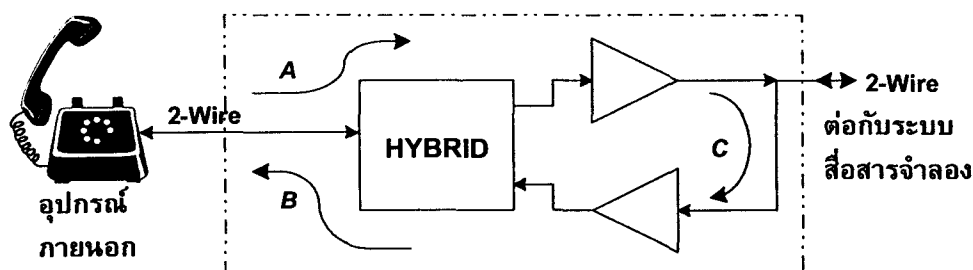
สายรับส่งสัญญาณเสียงและสัญญาณควบคุมของระบบสื่อสารจำลอง จะเป็นสายสัญญาณแบบ 2-Wire วงจรเปลี่ยนการรับส่งสัญญาณเสียง 2/4-Wire จะไม่ใช้วงจร Hybrid เนื่องจากการรับส่งในระบบสื่อสารจำลองจะเป็นแบบ Half-duplex ซึ่งควบคุมด้วยการกดเพื่อส่งสัญญาณ (Press-to-talk หรือ PTT) และฝ่ายส่งจะปิดสัญญาณทางด้านรับ ส่วนฝ่ายรับก็จะปิดสัญญาณทางด้านส่งจึงไม่มีการเกิด Side Tone แต่เมื่อนำมาต่อกับอุปกรณ์ภายนอกซึ่งไม่มีสัญญาณควบคุม PTT จะทำให้เกิดสัญญาณย้อนกลับ (Side Tone) ไปยังอุปกรณ์ภายนอกทั้งหมด

3.1.3.2 ขอบเขตขอบเขตการออกแบบ

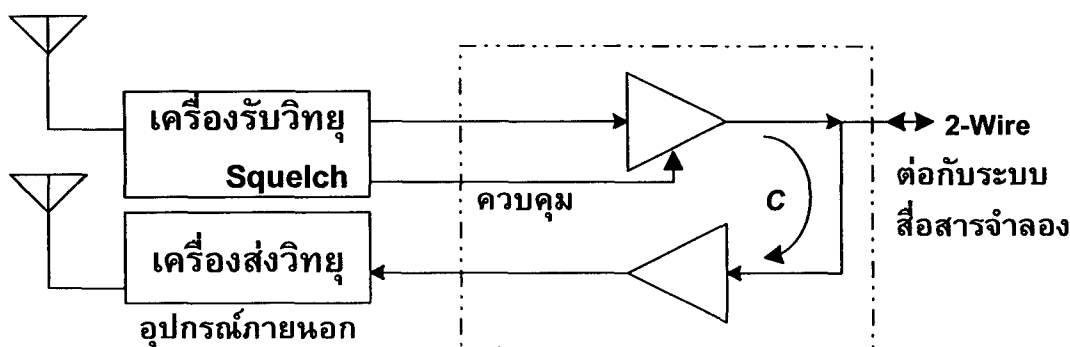
ออกแบบวงจรเปลี่ยนการรับส่งสัญญาณเสียง 2/4-Wire ด้านที่ต่อกับระบบสื่อสารจำลองให้สามารถควบคุมด้วยสัญญาณ PTT และทำให้เกิดสัญญาณย้อนกลับ (Side Tone) น้อยที่สุด

3.1.3.3 ส่วนประกอบ (Block Diagram)

ส่วนประกอบ (Block Diagram) ของวงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire สำหรับอุปกรณ์ 2-Wire และ 4-Wire



ภาพประกอบ 34 ส่วนประกอบวงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire สำหรับอุปกรณ์ 2-Wire



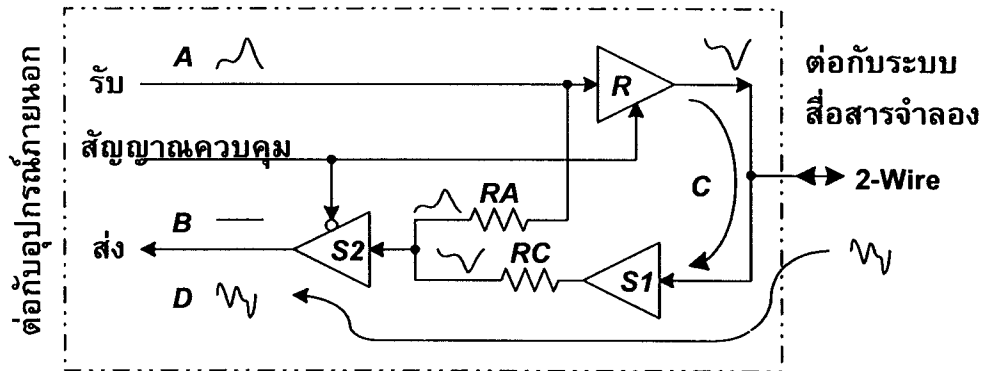
ภาพประกอบ 35 ส่วนประกอบวงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire สำหรับอุปกรณ์ 4-Wire

3.1.3.4 การออกแบบวงจร

วงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire สำหรับต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแบบ 2-Wire จะใช้การหักล้างของสัญญาณเพื่อลดสัญญาณย้อนกลับ(Side Tone) โดยสัญญาณที่รับจากอุปกรณ์ภายนอก (สัญญาณ "A") จะถูกส่งออกไปยังระบบสื่อสารจำลองผ่าน สาย 2-Wire จะเกิดสัญญาณย้อนกลับทาง "C" ไปทางด้านส่ง ลักษณะของสัญญาณที่ย้อนกลับนี้จะมีรูปร่างเหมือนกัน แต่แตกต่างที่ชั่ว(Phase) ของสัญญาณซึ่งกลับกันอยู่ 180 องศา ดังนั้นจึงอาศัยหลักการรวมสัญญาณ จึงนำสัญญาณที่ผ่าน RA และ RC มารวมกันสัญญาณทั้งสองจะเกิดการหักล้างกันสัญญาณที่ย้อนกลับจึงหมดไปหรือเหลือน้อยมาก (สัญญาณ "B") ส่วนสัญญาณที่รับจากระบบสื่อสารจำลองก็จะผ่าน RC ออกมาทางด้านส่ง(สัญญาณ "D") ได้โดยไม่มีการหักล้างของสัญญาณ

ส่วนวงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire สำหรับต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแบบ 4-Wire จะใช้สัญญาณควบคุมจากอุปกรณ์ภายนอกในการลดสัญญาณย้อนกลับ(Side Tone) เมื่อมีสัญญาณจากอุปกรณ์ภายนอกซึ่งประกอบด้วยสัญญาณควบคุม และสัญญาณเสียง "A" สัญญาณควบคุมจะทำให้อุปกรณ์ "R" ทำงาน และอุปกรณ์ "S2" หยุดทำงาน สัญญาณเสียง "A" จะถูกส่งออกไปยังระบบสื่อสารจำลองผ่านอุปกรณ์ "R" ออกไปยังสาย 2-Wire สัญญาณย้อนกลับทาง "C" จะไม่ออกไปทางด้านส่งเนื่องจากอุปกรณ์ "S2" หยุด

ทำงาน เมื่อสัญญาณควบคุมหยุดทำงานจะทำให้แอมป์ "S2" ทำงาน สัญญาณที่รับจากระบบสื่อสารจำลองก็จะผ่านแอมป์ "S1" และ "S2" ออกมาทางด้านส่ง(สัญญาณ "D")



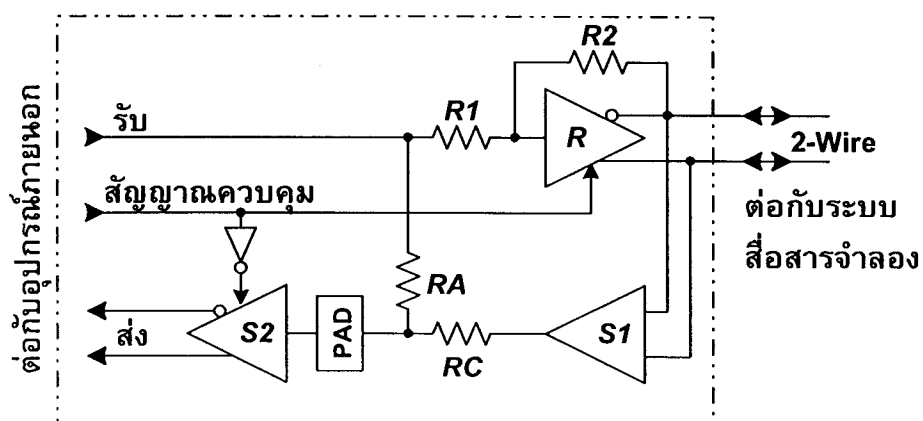
ภาพประกอบ 36 การลดสัญญาณย้อนกลับ (Side Tone)

จากภาพประกอบ 49 วงจรด้านรับ (แอมป์ "R") ต้องวงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) ให้อัตราขยายเป็น 7dB

$$\text{จากสูตร } A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1} = 10^{dB/20} \quad \text{ที่อัตราขยาย 7dB} \quad \frac{R_2}{R_1} = 10^{7/20} = 2.24$$

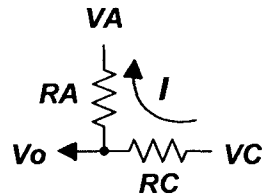
$$\text{ให้ } R_1 = 22k\Omega \quad \therefore R_2 = 2.24 \times R_1 = 2.24 \times 22000 = 49,252\Omega \approx 50k\Omega$$

ส่วนวงจรหักล้างของสัญญาณเพื่อลดสัญญาณย้อนกลับ(Side Tone) นั้น สัญญาณที่ RC จากแอมป์ "S1" จะมากกว่าที่ RA อยู่ 7dB หรือ 2.24 เท่าเนื่องจากอัตราขยายของแอมป์ "R"



ภาพประกอบ 37 วงจรลดสัญญาณย้อนกลับ(Side Tone)

เนื่องจากวงจร PAD มีความต้านทานสูงมาก(ภาพประกอบ 38) ที่จุด V_o จึงเสมือนว่าไม่ได้ต่อกับ PAD จึงได้วงจรเสมือนว่าตัวต้านทาน R_A และ R_C ต่ออนุกรมกันโดยมี V_C ต่ออยู่กับ R_C และ V_A ต่ออยู่กับ R_A กระแส (I) ที่ไหลผ่านตัวต้านทานทั้งสองจึงมีค่าเท่ากัน



ภาพประกอบ 38 วงจรเสมือนของวงจรหักล้างสัญญาณ

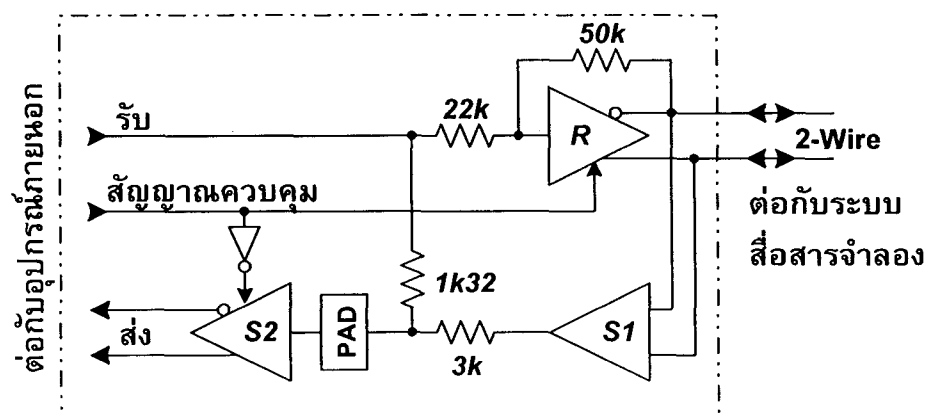
จากกฎของโอห์มจะได้ว่า
$$I = \frac{V_A}{R_A} = \frac{V_C}{R_C}$$

เมื่อ V_C มากกว่า V_A 2.24 เท่า และให้ $R_C = 3k\Omega$

จะได้
$$\frac{1}{R_A} = \frac{2.24}{3k\Omega} \therefore R_A = \frac{3k\Omega}{2.24} = 1339.3\Omega \approx 1.32k\Omega$$

3.1.3.5 วงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire

ดังนั้นจึงได้วงจรเปลี่ยนการรับส่งสัญญาณเสียง 2/4-Wire สำหรับต่อระบบสื่อสารจำลอง โดยใช้ อุปกรณ์ค่าต่างๆ ดังรูป



ภาพประกอบ 39 วงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire สำหรับต่อระบบสื่อสารจำลอง

3.1.4 การออกแบบวงจรเปลี่ยนการรับส่ง 2/4-Wire สำหรับต่ออุปกรณ์ภายนอก

ในการออกแบบวงจรเปลี่ยนการรับส่ง 2/4-Wire สำหรับต่ออุปกรณ์ภายนอก ได้มีการสรุปข้อมูลที่เกี่ยวข้อง กำหนดขอบเขตของการออกแบบ การออกแบบส่วนประกอบ และการออกแบบวงจร โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.4.1 ข้อมูลการออกแบบ

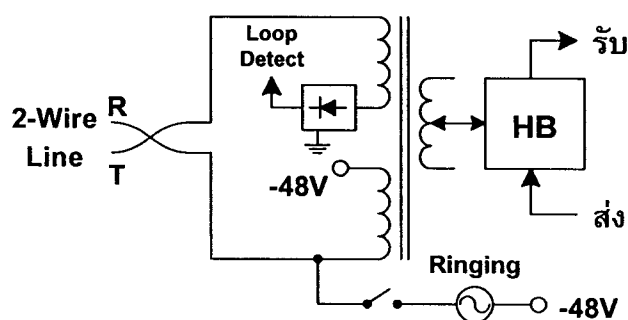
ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแบบ 2-Wire แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ Subscriber Loop หรือ Subscriber Line(loop) Interface Circuit (SLIC) ใช้สำหรับต่อกับเครื่องรับโทรศัพท์ และ Loop-Start หรือ Central Office Interface Circuit (COIC) ใช้สำหรับต่อกับชุมสาย(Central Office หรือ CO) หรือตู้สาขาส่วนบุคคล(PABX)

3.1.4.2 ขอบเขตขอบเขตการออกแบบ

ออกแบบวงจรเปลี่ยนการรับส่งสัญญาณเสียง 2/4-Wire สำหรับต่ออุปกรณ์ภายนอกแบบ SLIC และ COIC

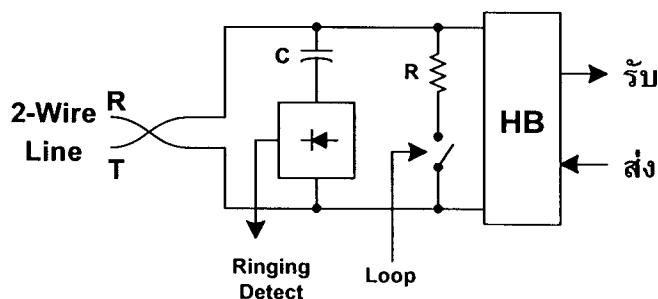
3.1.4.3 ส่วนประกอบ (Block Diagram)

วงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire แบบ SLIC ประกอบด้วย วงจรจ่ายไฟเลี้ยง -48 โวลต์ วงจร Hybrid วงจรสร้างสัญญาณ Ringing และวงจรตรวจการ Loop ของสาย 2-Wire(Off-Hook)



ภาพประกอบ 40 วงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire แบบ SLIC

วงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire แบบ COIC ประกอบด้วย วงจร Hybrid วงจรตรวจสอบสัญญาณ Ringing และวงจร Loop สาย 2-Wire



ภาพประกอบ 41 วงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire แบบ COIC

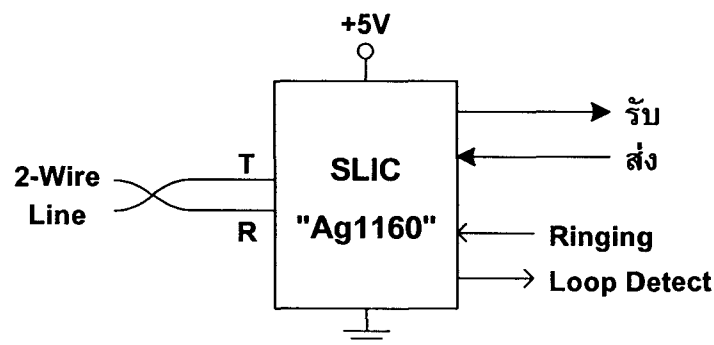
3.1.4.4 การออกแบบวงจร

เนื่องจากภายในวงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire เช่น วงจร Hybrid หรือวงจรสร้างสัญญาณ Ringing เป็นวงจรที่ต้องใช้อุปกรณ์ประกอบเป็นจำนวนมากก่อนข้างมาก การสร้างวงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire จึงต้องใช้พื้นที่มาก ในปัจจุบันบริษัทต่างๆ ได้มีการรวมและย่ออุปกรณ์ที่ใช้ให้มีขนาดเล็กลง สามารถนำมาต่อใช้งานได้ง่าย

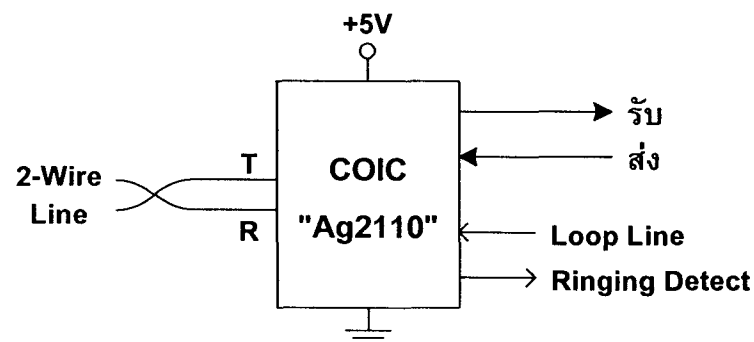
เพื่อให้อุปกรณ์แปลงสัญญาณที่จะสร้างขึ้นมีขนาดที่เหมาะสมไม่ใหญ่โต ดังนั้นในการออกแบบจึงเลือกใช้อุปกรณ์ชุดสำเร็จรูปที่มีจำหน่าย

3.1.4.5 วงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire สำหรับต่ออุปกรณ์ภายนอก

จึงได้วงจรเปลี่ยนการรับส่งสัญญาณเสียง 2/4-Wire สำหรับต่ออุปกรณ์ภายนอก โดยวงจร Subscriber Line Interface Circuit (SLIC) ใช้อุปกรณ์เบอร์ Ag1160 และวงจร Central Office Interface Circuit (COIC) ใช้อุปกรณ์เบอร์ Ag2110 ดังรูป



ภาพประกอบ 42 วงจร Subscriber Line Interface Circuit (SLIC)



ภาพประกอบ 43 วงจร Central Office Interface Circuit (COIC)

3.2 การปรับระดับสัญญาณ

3.2.1 หลักการทำงานทั่วไป

การลดทอนระดับสัญญาณ(Attenuate) คือการที่มีสัญญาณส่วนหนึ่งเกิดการสูญเสียหรือตกคร่อมในอุปกรณ์ต่างๆ ทำให้ระดับของสัญญาณที่ได้ลดลง เช่น การสูญเสียเนื่องจากความยาวของสายส่งสัญญาณ ซึ่งระดับการลดทอนสัญญาณแต่ละวงจรจะแตกต่างกัน ดังนั้นในการรับส่งสัญญาณจึงต้องมีการปรับระดับสัญญาณให้เหมาะสมเพื่อชดเชยกับระดับการลดทอนสัญญาณที่เกิดขึ้น

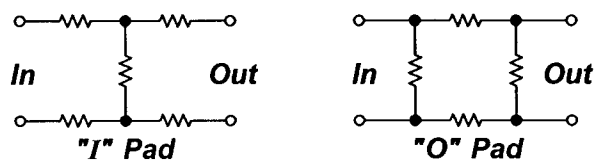
3.2.2 ชนิดของวงจรปรับระดับสัญญาณ

ชนิดของวงจรปรับระดับสัญญาณแบ่งออกตามลักษณะของอุปกรณ์ได้ 2 ชนิดคือ แบบ Passive และแบบ Active โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.2.1 วงจรปรับระดับสัญญาณแบบ Passive

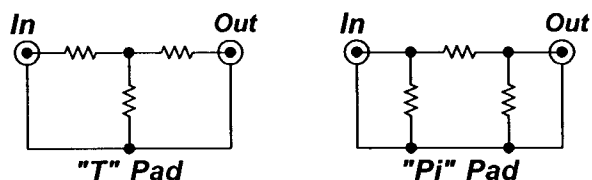
Attenuator หรือ Pad หรือ Attenuator Pad ส่วนใหญ่ทำจากอุปกรณ์ Passive เช่น ตัวต้านทาน (Resistor) ตัวเก็บประจุ(Capacitor) หรือ ขดลวด(Inductor) ต่อเป็นเน็ตเวิร์ค เพื่อลดระดับสัญญาณให้อยู่ในระดับที่ต้องการ และมีค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสสลับที่เหมาะสม(Match)(<http://harada-sound.com/sound/handbook/default.html> : January 2003) Pad แบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะของการส่งสัญญาณคือ แบบบาลานซ์(Balanced) และแบบไม่บาลานซ์(Unbalanced) (<http://www.marcspages.co.uk/tech/atten.htm> : January 2003)

Pad แบบบาลานซ์(Balanced) ใช้กับสายคู่ตีเกลียว เช่น แบบ "I" Pad และ "O" Pad



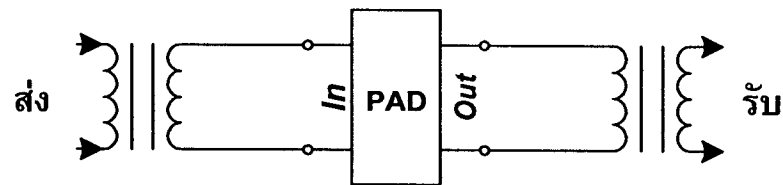
ภาพประกอบ 44 "I" Pad และ "O" Pad

Pad แบบไม่บาลานซ์(Unbalanced) เช่น แบบ "T" Pad และ "Pi" Pad



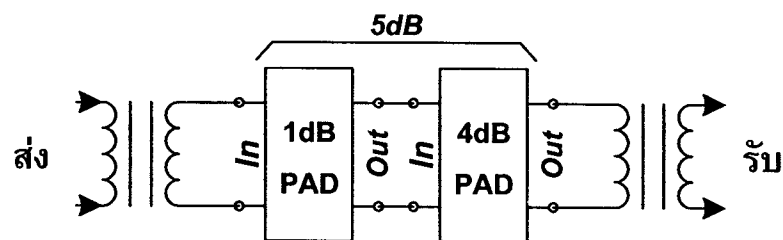
ภาพประกอบ 45 "T" Pad และ "Pi" Pad

ลักษณะการต่อ Attenuator หรือ Pad จะต่อคั่นระหว่างด้านส่งและด้านรับเพื่อปรับลดระดับสัญญาณจากด้านส่งให้เหมาะสมกับทางรับ เช่นด้านส่งมีการส่งสัญญาณที่ 5 dBm ส่วนด้านรับต้องการระดับสัญญาณที่เหมาะสมที่ 0 dBm ดังนั้น Pad ที่จะนำมาใช้จะต้องใช้ Pad ที่มีขนาด 5 dB



ภาพประกอบ 46 ลักษณะการต่อ Pad

ปัจจัยที่มีผลทำให้ระดับการรับส่งสัญญาณของวงจรสื่อสารต่างๆ มีความแตกต่างกันคือ อัตราขยายของด้านส่ง ด้านรับ หรือการสูญเสียของสื่อนำสัญญาณ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน จึงมีการคำนวณ Pad ที่เป็นค่ามาตรฐาน คือ 0.5dB, 1dB, 2dB, 4dB, 8dB และ 16dB ตัวอย่างเช่นในกรณีที่ต้องการ Pad 5dB ต้องใช้ Pad ที่มีค่า 1dB และ 4dB ต่อกันดังรูป

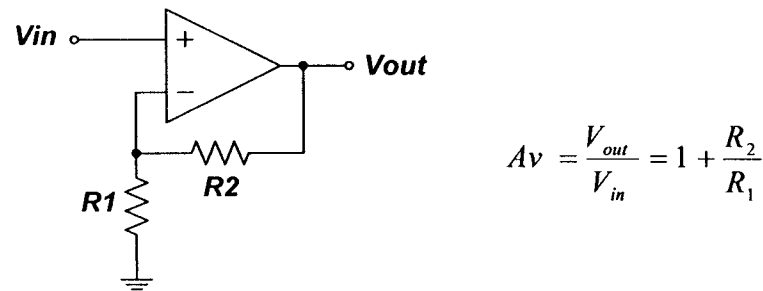


ภาพประกอบ 47 การเปลี่ยนค่า Pad

3.2.2.2 วงจรปรับระดับสัญญาณแบบ Active

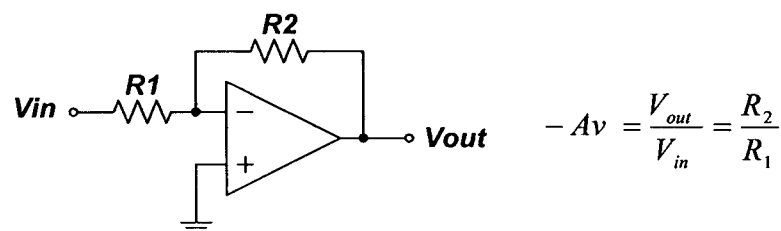
วงจรปรับระดับสัญญาณแบบ Active โดยทั่วไปจะมีการใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเช่น ทรานซิสเตอร์เป็นส่วนประกอบ และรู้จักในชื่อ วงจรขยาย เมื่อมีการผลิตอุปกรณ์วงจรรวม(Integrated Circuit : IC) ทรานซิสเตอร์ต่างๆ ให้เป็นวงจรขยาย จึงมีชื่อเรียกสำหรับวงจรขยายสำหรับใช้งานทั่วไปว่า ออปแอมป์ (Operational Amplifier หรือ Op-amp) การใช้งานออปแอมป์สามารถต่อแบบเพิ่มหรือลดอัตราขยาย ขยายแบบกลับเฟสหรือแบบไม่กลับเฟส (Horowitz & Hill, 1989 : 177-180)

วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส(Noninverting Amplifier) เป็นวงจรขยายที่ให้สัญญาณทางออกมีเฟส (ขั้ว) ตรงกันกับสัญญาณทางเข้า เช่นถ้ามีสัญญาณเข้ามาเป็นลบสัญญาณออกก็จะเป็นลบ และถ้าสัญญาณเข้าเป็นบวกสัญญาณออกก็จะเป็นบวก การเพิ่มหรือลดอัตราขยายขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนระหว่างความต้านทานระหว่าง R2 และ R1 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟสนี้จะมีอัตราขยายต่ำสุดเท่ากับ 1



ภาพประกอบ 48 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

วงจรขยายแบบกลับเฟส(Inverting Amplifier) เป็นวงจรขยายที่ให้สัญญาณทางออกมีเฟส(ขั้ว) ตรงกันข้ามกับสัญญาณทางเข้า เช่นถ้ามีสัญญาณเข้ามาเป็นลบสัญญาณออกก็จะเป็นบวก และถ้าสัญญาณเข้าเป็นบวกสัญญาณออกก็จะเป็นลบ การเพิ่มหรือลดอัตราขยายขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนระหว่างความต้านทานระหว่าง R2 และ R1 (Putten. 1988 : 54)



ภาพประกอบ 49 วงจรขยายแบบกลับเฟส

3.2.3 การออกแบบวงจรปรับระดับสัญญาณ

ในการออกแบบวงจรปรับระดับสัญญาณ ได้มีการสรุปข้อมูลที่เกี่ยวข้อง กำหนดขอบเขตของการออกแบบ การออกแบบส่วนประกอบ การออกแบบวงจร และการคำนวณค่าอุปกรณ์ต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.3.1 ข้อมูลการออกแบบ

วงจรปรับระดับสัญญาณแบบ Passive

ข้อดี : สามารถปรับระดับสัญญาณเป็นระดับได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือวัด

ข้อเสีย : ต้องมี Pad ที่เป็นค่ามาตรฐานเตรียมไว้สำหรับต่อใช้งาน

วงจรปรับระดับสัญญาณแบบ Active

ข้อดี : สามารถปรับระดับสัญญาณได้ทุกระดับ

ข้อเสีย : ต้องใช้เครื่องมือวัดในการตรวจระดับสัญญาณ

จากข้อดีของวงจรปรับระดับสัญญาณที่ใช้ Pad ที่สามารถปรับลดระดับสัญญาณได้ 16 ระดับๆ ละ 1dB โดยใช้ Pad เพียง 4 ค่า คือ 1dB, 2dB, 4dB และ 8dB ในการปรับระดับสัญญาณเพื่อชดเชยค่าการสูญเสียในสายสัญญาณ ต้องสามารถปรับระดับสัญญาณได้ทุกระดับโดยไม่ต้องใช้เครื่องมือวัด ในช่วงที่

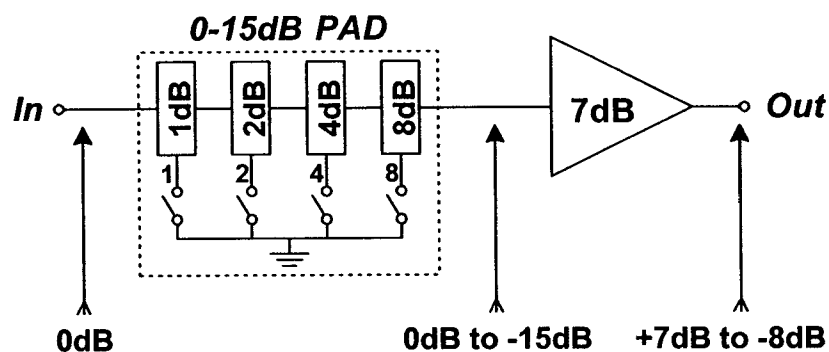
เหมาะสม(-8dB ถึง +7dB) ตามที่มาตรฐานกำหนดคือ ค่าความแตกต่างของความสูญเสียทางด้านรับและด้านส่งเมื่อรวมแล้วต้องมีค่าไม่เกิน 8 dB (ITU-T Rec. G.121. 1993 : 2)

3.2.3.2 ขอบเขตขอบเขตการออกแบบ

ออกแบบวงจรปรับระดับสัญญาณ 16 ระดับจากสัญญาณขาเข้า 0dB เป็น -8dB ถึง +7dB

3.2.3.3 ส่วนประกอบ (Block Diagram)

วงจรปรับระดับสัญญาณ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ วงจรลดทอนสัญญาณ 16 ระดับ ลดระดับสัญญาณได้ 0-15dB โดยใช้สวิตช์เลือกใช้ Pad แต่ละขนาด และวงจรขยายสัญญาณที่มีอัตราขยาย 7dB



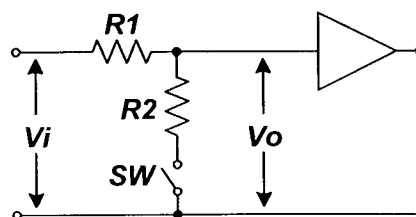
ภาพประกอบ 50 วงจรปรับระดับสัญญาณ

3.2.3.4 การออกแบบวงจร

ในการออกแบบวงจรได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ วงจรลดทอนสัญญาณ 16 ระดับ และวงจรขยายสัญญาณที่มีอัตราขยาย 7dB โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.3.4.1 วงจรลดทอนสัญญาณ 16 ระดับ

เมื่อสวิตช์(SW) ต่่วงจร ความต้านทาน R1 และ R2 จะต่อในลักษณะวงจรแบ่งแรงดัน(Voltage Divider) ทำให้แรงดันขาออก(V_o) ลดลงจากแรงดันขาเข้า(V_i) เป็นสัดส่วนตาม R1 และ R2 (Horowitz & Hill. 1989 : 8) เป็นการลดระดับสัญญาณ และเมื่อสวิตช์(SW) เปิดวงจร แรงดันขาออก(V_o) จะเท่ากับแรงดันขาเข้า(V_i) เนื่องจากความต้านทานภายในโอปอแอมป์ มีค่ามากกว่า R1 มากๆ



ภาพประกอบ 51 วงจรแบ่งแรงดัน(Voltage Divider)

จากสูตรการหาค่าอัตราขยาย $dB = 20 \log \frac{V_o}{V_i}$ (1)

จะได้ $\frac{V_o}{V_i} = 10^{dB/20}$ (2)

จากสูตรวงจรแบ่งแรงดัน $\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ (3)

(2)=(3) $\frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10^{dB/20}$ (4)

$\therefore R_1 = \frac{R_2}{10^{dB/20}} - R_2$ (5)

ที่ $-1dB$ ให้ $R_2 = 24k\Omega$ จะได้ $R_1 = \frac{24000}{10^{-1/20}} - 24000 = 2,928\Omega \approx 3k\Omega$

ที่ $-2dB$ ให้ $R_2 = 24k\Omega$ จะได้ $R_1 = \frac{24000}{10^{-2/20}} - 24000 = 6,214\Omega \approx 6.2k\Omega$

ที่ $-4dB$ ให้ $R_2 = 24k\Omega$ จะได้ $R_1 = \frac{24000}{10^{-4/20}} - 24000 = 14,037\Omega \approx 14k\Omega$

ที่ $-8dB$ ให้ $R_2 = 14.3k\Omega$ จะได้ $R_1 = \frac{14300}{10^{-8/20}} - 14300 = 21,620\Omega \approx 22k\Omega$

3.2.3.4.2 วงจรขยายสัญญาณอัตราขยาย 7dB

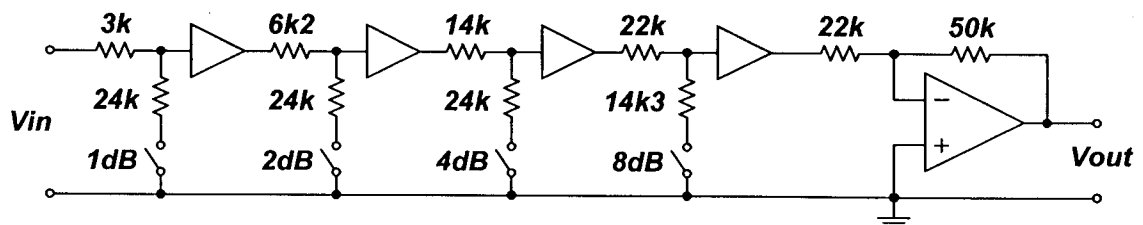
ใช้วงจรอินเวอร์ตอวเวอร์แอมป์แบบกลับเฟส(Inverting Amplifier) ดังภาพประกอบ 49

จากสูตร $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1} = 10^{dB/20}$ ที่อัตราขยาย 7dB $\frac{R_2}{R_1} = 10^{7/20} = 2.24$

ให้ $R_1 = 22k\Omega$ $\therefore R_2 = 2.24 \times R_1 = 2.24 \times 22000 = 49,252\Omega \approx 50k\Omega$

3.2.3.5 วงจรปรับระดับสัญญาณ

ดังนั้นจึงได้วงจรปรับระดับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ค่าต่างๆ ดังรูป



ภาพประกอบ 52 วงจรปรับระดับสัญญาณ 16 ระดับ

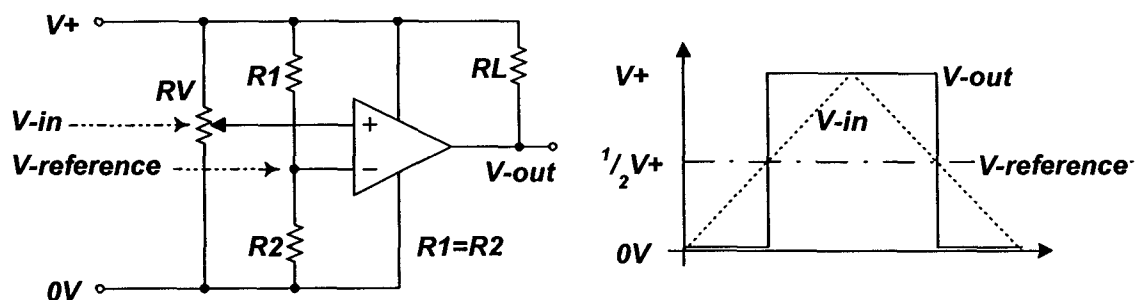
3.3 การเปรียบเทียบระดับสัญญาณ

3.3.1 หลักการทำงานทั่วไป

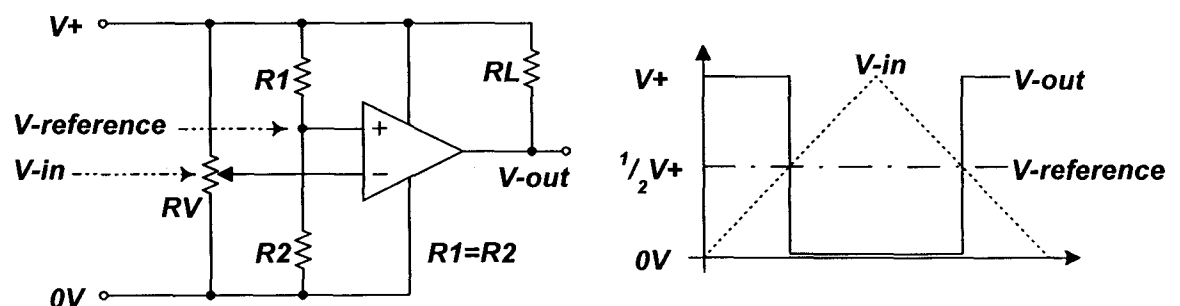
การเปรียบเทียบระดับสัญญาณที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะใช้อุปกรณ์ออปแอมป์เป็นส่วนประกอบพื้นฐานในการสร้างวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) เพื่อการเปรียบเทียบแรงดันขาเข้ากับแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage) (<http://home.cogeco.ca/~rpaisley4/Comparators.html> : January 2003)

3.3.2 ชนิดของวงจรเปรียบเทียบระดับสัญญาณ

วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) แบบพื้นฐานแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้ขาอินเวอร์ตติ้ง (Inverting) ของออปแอมป์ เป็นแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage) และแบบที่ใช้ขาอนอินเวอร์ตติ้ง (Non-Inverting) ของออปแอมป์ เป็นแรงดันอ้างอิง



ภาพประกอบ 53 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบที่ใช้ขาอินเวอร์ตติ้งเป็นแรงดันอ้างอิง



ภาพประกอบ 54 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบที่ใช้ขาอนอินเวอร์ตติ้งเป็นแรงดันอ้างอิง

3.3.3 การออกแบบวงจรเปรียบเทียบระดับสัญญาณ

ในการออกแบบวงจรเปรียบเทียบระดับสัญญาณ ได้มีการสรุปข้อมูลที่เกี่ยวข้อง กำหนดขอบเขตของการออกแบบ การออกแบบส่วนประกอบ การออกแบบวงจร และการคำนวณค่าอุปกรณ์ต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.3.1 ข้อมูลการออกแบบ

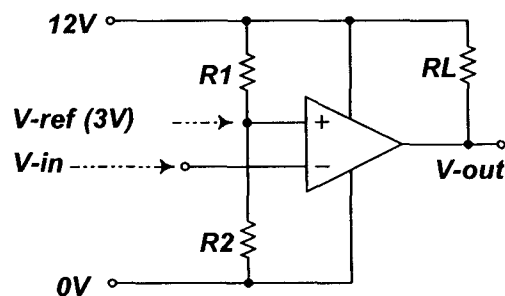
ในการรับส่งสัญญาณเสียง และสัญญาณควบคุมจากระบบสื่อสารจำลอง จะรับส่งสัญญาณผ่านสายชนิด 2-Wire ในขณะที่ทำงานจะมีสัญญาณควบคุมเป็นแรงดัน 6 โวลต์ ที่สายสัญญาณทั้งสองเส้นเมื่อวัดเทียบกับกราวด์

3.3.3.2 ขอบเขตขอบเขตการออกแบบ

ออกแบบวงจรเปรียบเทียบระดับสัญญาณที่แรงดัน 3 โวลต์

3.3.3.3 การออกแบบวงจร

เลือกใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบที่ใช้ชานอนอินเวอร์ตติ่งเป็นแรงดันอ้างอิง เนื่องจากต้องการให้แรงดันขาออก(V-out) เป็นศูนย์ เมื่อแรงดันขาเข้า(V-in) มากกว่า 3 โวลต์
ดังนั้นให้แรงดันอ้างอิง(Reference Voltage) เท่ากับ 3 โวลต์

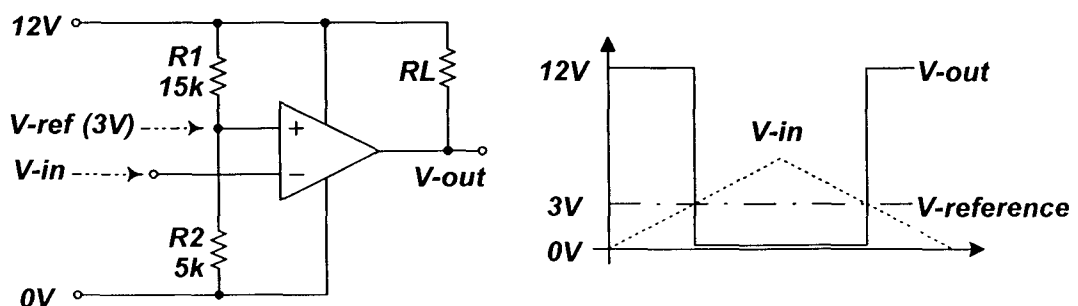


ภาพประกอบ 55 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

จากสูตรวงจรแบ่งแรงดัน	$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$
ให้ R2 เท่ากับ	5kΩ
จะได้	$\frac{3V}{12V} = \frac{5k\Omega}{R_1 + 5k\Omega}$
∴ จะได้ R1 เท่ากับ	15kΩ

3.3.3.4 วงจรวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

ดังนั้นจึงได้วงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดยใช้อุปกรณ์ค่าต่างๆ ดังรูป



ภาพประกอบ 56 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน 3 โวลต์

4. มาตรฐานในระบบสื่อสาร และการทดสอบ

ในการเชื่อมต่อผ่านชุมสายระหว่างประเทศหรือภายในประเทศส่วนใหญ่จะมีต้นทางที่มาจากตู้สาขาอัตโนมัติส่วนบุคคล(Private Automatic Branch Exchanges หรือ PABX) ดังนั้นสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ (International Telecommunication Union – Telecommunication หรือ ITU-T) จึงมีการกำหนดปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพในการส่งสัญญาณ ไว้ใน ITU-T Recommendations Q.550-series, *Transmission characteristics*. ภายใน Q.550-series จะประกอบด้วย Q.551 กล่าวถึงคุณสมบัติทั่วไปในการส่งสัญญาณ Q.552 กล่าวถึงคุณสมบัติการเชื่อมต่อแบบ 2-Wire แอนาล็อก(Analog) Q.553 กล่าวถึงคุณสมบัติการเชื่อมต่อแบบ 4-Wire แอนาล็อก(Analog) และ Q.554 กล่าวถึงคุณสมบัติการเชื่อมต่อแบบดิจิทัล(Digital)

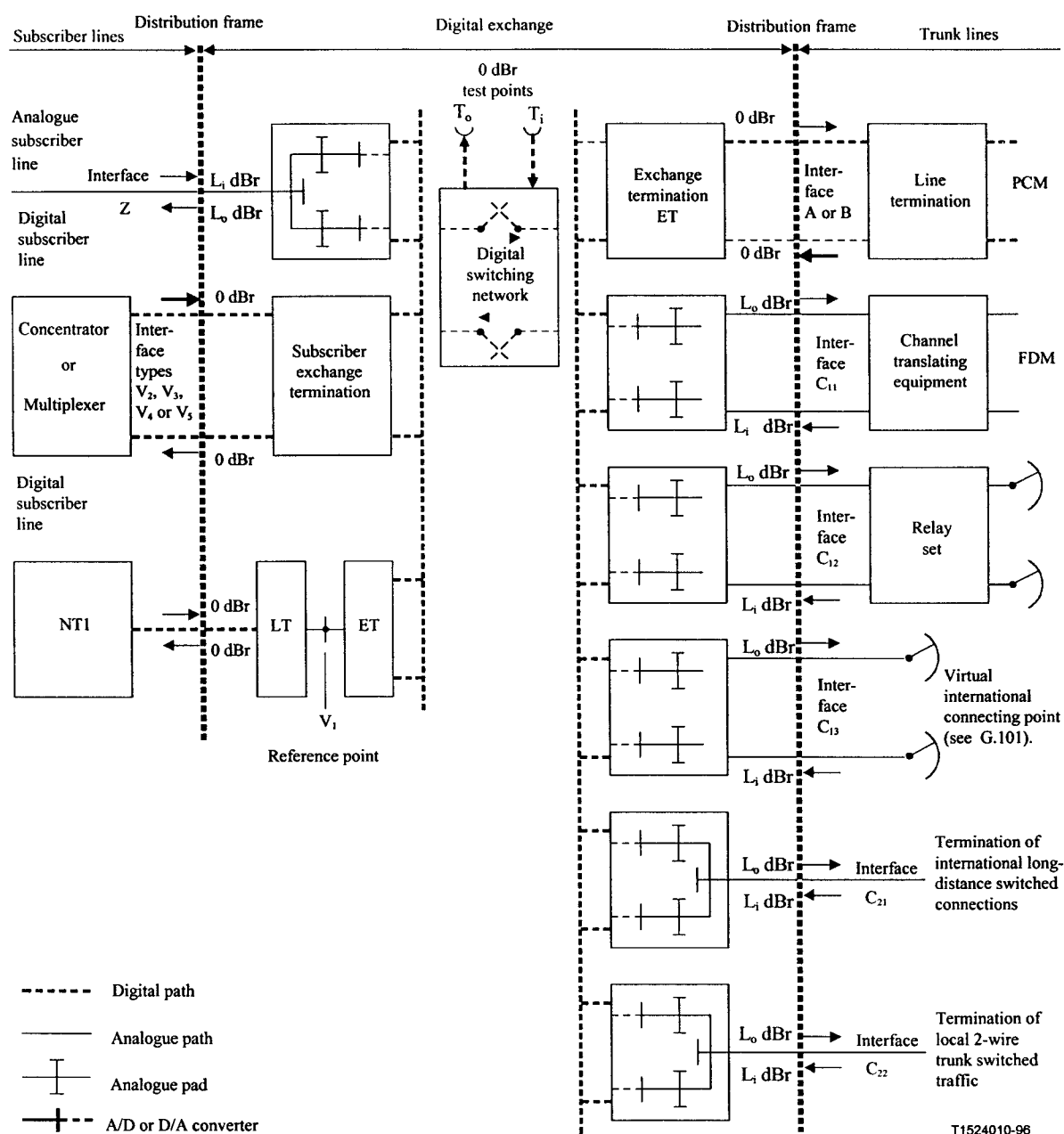
สัญญาณที่ถูกส่งผ่านต่อไปยังอุปกรณ์ภายนอก PABX จะผ่านวงจรเชื่อมต่อ(Interface) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนสำหรับเชื่อมต่อ(Interface) กับเครื่องลูกข่าย และส่วนสำหรับเชื่อมต่อ(Interface) กับระบบสื่อสารอื่นๆ เช่น ระบบส่งสัญญาณแบบมัลติเพล็กซ์ ชุมสายชนิด 2-Wire หรือชุมสายชนิด 4-Wire (ITU-T Rec. Q.551. 1996 : 1-3)

ส่วนสำหรับเชื่อมต่อ(Interface) กับเครื่องลูกข่าย แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. Interface Type V สำหรับเชื่อมต่อ(Interface) กับเครื่องลูกข่ายแบบดิจิทัล
2. Interface Type Z สำหรับเชื่อมต่อ(Interface) กับเครื่องลูกข่ายแบบแอนาล็อก

ส่วนสำหรับเชื่อมต่อ(Interface) กับระบบสื่อสารอื่นๆ แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

1. Interface A สำหรับเชื่อมต่อกับระบบส่งสัญญาณแบบดิจิทัลลำดับที่หนึ่ง ที่ 2048 กิโลบิตต่อวินาที(kbit/s) หรือ 1544 kbit/s
2. Interface B สำหรับเชื่อมต่อกับระบบส่งสัญญาณแบบดิจิทัลลำดับที่สอง ที่ 8448 kbit/s หรือ 6312 kbit/s
3. Interface C สำหรับเชื่อมต่อกับระบบชุมสายแบบแอนาล็อก(Analog Trunk Interface) ทั้งแบบ 2-Wire และแบบ 4-Wire โดยแบ่งออกเป็น
 - 3.1 Interface C₁ เป็นแบบ 4-Wire
 - 3.1.1 Interface C₁₁ สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณเป็นความถี่ เช่น FDM
 - 3.1.2 Interface C₁₂ สำหรับเชื่อมต่อกับชุมสายผ่านชุดอุปกรณ์ Relay
 - 3.1.3 Interface C₁₃ สำหรับเชื่อมต่อกับชุด Switching ของชุมสายโดยตรง
 - 3.2 Interface C₂ เป็นแบบ 2-Wire
 - 3.2.1 Interface C₂₁ สำหรับเชื่อมต่อกับชุมสายส่งผ่าน (Transit Exchanges)
 - 3.2.2 Interface C₂₂ สำหรับเชื่อมต่อกับชุมสายท้องถิ่น (Local Exchanges)



ภาพประกอบ 57 ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ชุมสาย (ITU-T Rec. Q.551. 1996 : 2)

4.1 เงื่อนไขในการวัด (Measurement Conditions)

ในการเชื่อมต่อสายสื่อสารระหว่างประเทศหรือภายในประเทศเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ระดับสัญญาณที่มีความเหมาะสมจึงต้องมีการกำหนดวิธี และเงื่อนไขต่างๆ ที่เป็นมาตรฐานดังนี้

4.1.1 ความถี่อ้างอิง (Reference Frequency)

ความถี่อ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบคือ 1020 Hz และมีความผิดพลาดไม่เกิน +2 Hz ถึง -7 Hz (ITU-T Rec. O.6. 1988 : 1)

4.1.2 ความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสสลับ (Impedance)

ความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสสลับ(Impedance) ไม่ได้กำหนดไว้ ขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศหรือชนิดของสาย แต่การวัดการเชื่อมต่อแบบแอนาล็อกจะต้องวัดในขณะที่เหมาะสมกัน(Match) (ITU-T Rec. Q.551. 1996 : 6)

4.1.3 ระดับสัญญาณที่ใช้ทดสอบ (Test Level)

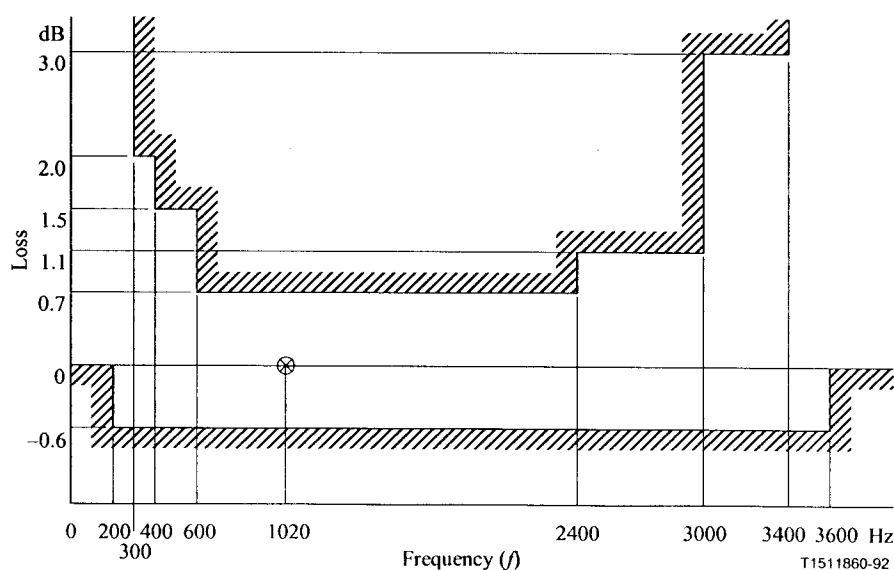
ระดับสัญญาณจะเปรียบเทียบกับกำลัง 1 mW ที่ความถี่อ้างอิง ส่วนระดับสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบจะใช้ -10dBm0 และผิดพลาดไม่เกิน ± 0.1 dB (ITU-T Rec. O.6. 1988 : 1)

4.2 คุณลักษณะเฉพาะของการเชื่อมต่อแบบ 2-Wire

4.2.1 การเชื่อมต่อ Z (Interface Z)

การเชื่อมต่อ Z ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ลูกข่ายแบบ 2-Wire ในการนำสัญญาณ เช่น เสียงพูด ข้อมูลแอนาล็อก และสัญญาณหลายความถี่(Multi-Frequency) นอกจากนี้ Interface Z ยังมี ไฟฟ้ากระแสตรง(DC Feed) สำหรับเลี้ยงโทรศัพท์ลูกข่าย สัญญาณกระดิ่ง (ITU-T Rec. Q.551. 1996 : 8)

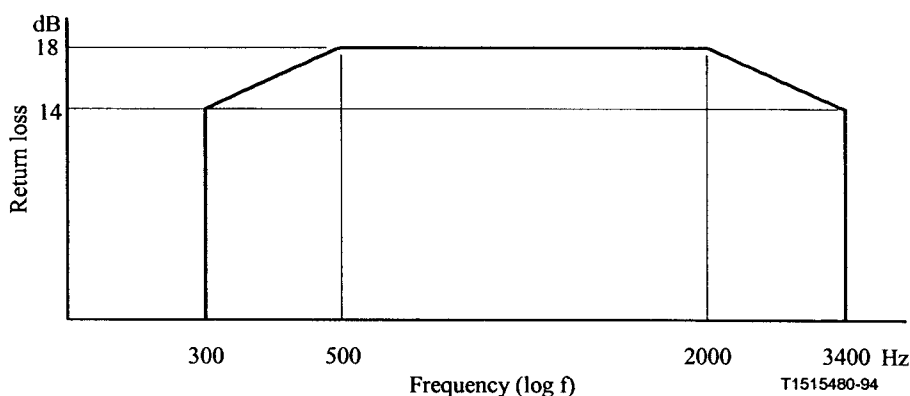
4.2.1.1 Attenuation/Frequency Distortion หรือ Frequency Response เป็นการวัดการตอบสนองที่ความถี่ต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับความถี่อ้างอิง 1020 Hz (ITU-T Rec. G.712. 1996 : 7-9)



ภาพประกอบ 58 ค่า Attenuation/Frequency Distortion ของวงจรแบบ 2-Wire

4.2.1.2 ความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสสลับ (Impedance) ในการกำหนดเกณฑ์ของค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสสลับต้องเหมาะสมกับสมรรถนะของโทรศัพท์ที่จะนำมาเชื่อมต่อ (ITU-T Rec. Q.552. 1996 : 4)

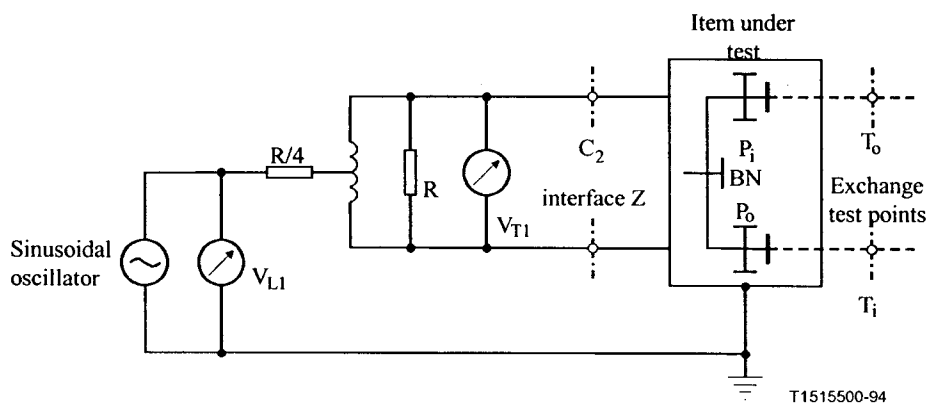
4.2.1.3 Return Loss เป็นปริมาณระดับความเหมาะสม(Match) ของความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสสลับระหว่างอุปกรณ์เทียบกับตัวทดสอบ ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าที่กำหนดดังภาพประกอบ (ITU-T Rec. Q.552. 1996 : 5)



ภาพประกอบ 59 ค่า Return Loss ที่ต่ำที่สุด

4.2.1.4 Impedance Unbalance About Earth หรือ Longitudinal Conversion Loss(LCL) เป็นการวัดระดับของสัญญาณที่ไม่ต้องการที่ผ่านเข้ามาทางสายสัญญาณ โดยเปรียบเทียบสัดส่วนมีค่าเป็น เดซิเบล (dB) (ITU-T Rec. Q.552. 1996 : 2-6)

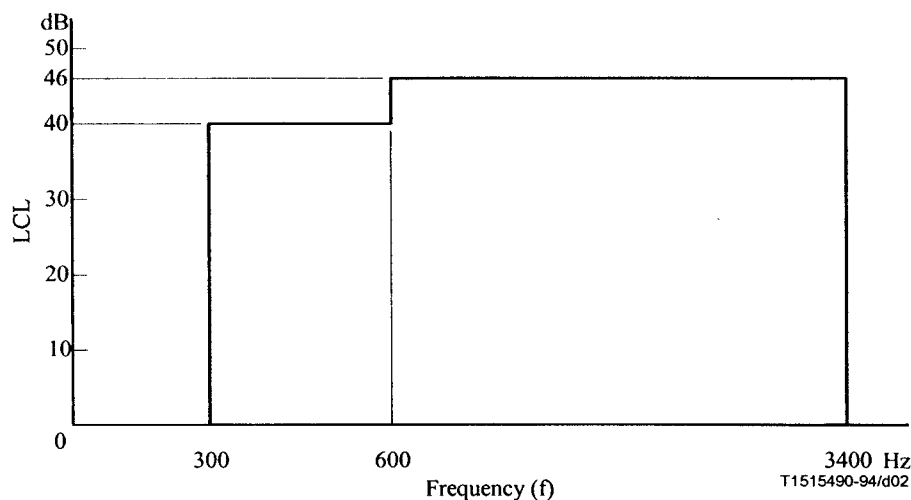
$$\text{Longitudinal Conversion Loss (LCL)} = 20 \log \left| \frac{V_{L1}}{V_{T1}} \right| \text{ dB}$$



BN Balance network

R should be in the range of 600-900 Ω

ภาพประกอบ 60 แสดงลักษณะการวัด Longitudinal Conversion Loss



ภาพประกอบ 61 ค่า Longitudinal Conversion Loss ที่ต่ำที่สุด

4.2.1.5 Relative Level ขึ้นอยู่กับค่าความสูญเสียในการรับส่งสัญญาณ แต่ค่าความแตกต่างของความสูญเสียทางด้านรับและด้านส่งเมื่อรวมแล้วต้องมีค่าไม่เกิน 8 dB (ITU-T Rec. G.121. 1993 : 2)

4.2.1.6 Nominal Level (ITU-T Rec. Q.552. 1996 : 6-7)

Input level: $L_i = 0$ to $+2.0$ dBr

Output level: $L_o = -5.0$ to $+8.0$ dBr

4.2.1.7 Noise น้อยกว่า -65 dB (ITU-T Rec. G.712. 1996 : 12)

4.2.2 การเชื่อมต่อ C_2 (Interface C_2)

Interface C_2 ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับชุมสายแบบ 2-Wire อื่นๆ

4.2.2.1 Attenuation/Frequency Distortion หรือ Frequency Response เหมือนกับการเชื่อมต่อ Z (4.2.1.1)

4.2.2.2 Impedance ความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสสลับ ในการกำหนดเกณฑ์ของค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสสลับต้องเหมาะสมกับสมรรถนะของโทรศัพท์ที่จะนำมาเชื่อมต่อ (ITU-T Rec. Q.552. 1996 : 1)

4.2.2.3 Return Loss เหมือนกับการเชื่อมต่อ Z (ITU-T Rec. Q.552. 1996 : 2)

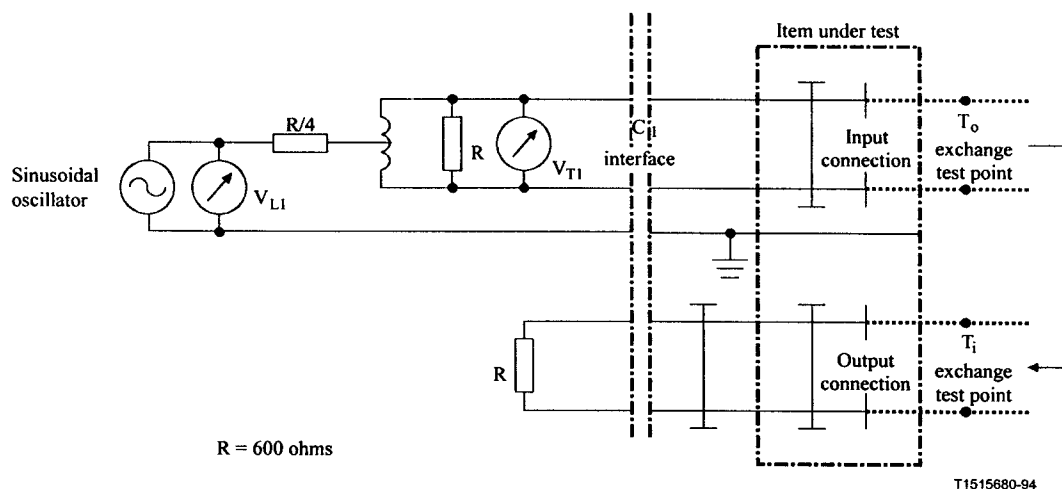
4.2.2.4 Impedance Unbalance About Earth เหมือนกับการเชื่อมต่อ Z (4.2.1.4)(ITU-T Rec. Q.552. 1996 : 2-3)

4.2.2.5 Nominal Level (ITU-T Rec. Q.552. 1996 : 3-4)

4.2.2.5.1 Interface C_{21} เหมือนกับการเชื่อมต่อ Z

4.2.2.5.2 Interface C_{22} ขึ้นอยู่กับค่าความสูญเสียในการรับส่งสัญญาณ

Input level: $L_i = +3.0$ to -7.0 dBr in 0.5 dB steps;



ภาพประกอบ 63 แสดงลักษณะการวัด Longitudinal Conversion Loss

4.3.5 Relative Level ขึ้นอยู่กับค่าความสูญเสียในการรับส่งสัญญาณ แต่ค่าความแตกต่างของความสูญเสียทางด้านรับและด้านส่งเมื่อรวมแล้วต้องมีค่าไม่เกิน 8 dB (ITU-T Rec. G.121. 1993 : 2)

4.3.6 Nominal Level ขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ที่จะนำมาต่อ (ITU-T Rec. Q.553. 1996 : 3-4)

4.3.6.1 Interface C_{11} สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณเป็นความถี่ เช่น FDM ค่า Relative Level จะแบ่งออกเป็น 2 กรณี เพื่อที่จะปรับ(Pads) สัญญาณที่จะผ่านไปยังอุปกรณ์ให้มีค่าเป็นศูนย์

	Case 1	Case 2
R	+4.0 dBr	+7.0 dBr
S	-14.0 dBr	-16.0 dBr

4.3.6.2 Interface C_{12} สำหรับเชื่อมต่อกับชุมสายผ่านชุดอุปกรณ์ Relay ค่า Relative Level จะแบ่งออกเป็น 2 กรณี เพื่อที่จะปรับ(Pads) สัญญาณที่จะผ่านไปยังอุปกรณ์ให้มีค่าเป็นศูนย์

	Case 1	Case 2
R	-14.0 dBr	-16.0 dBr
S	+4.0 dBr	+7.0 dBr

4.3.6.3 Interface C_{13} สำหรับเชื่อมต่อกับชุด Switching ของชุมสายโดยตรง ค่า Relative Level ทางด้านรับและด้านส่งจะมีค่าเท่ากันขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศเป็นผู้กำหนด เช่น -3.5 dBr

$$L_i = L_o = -3.5 \text{ dBr}$$

4.4 ความถูกต้องและความเร็วในการตอบสนอง

ความถูกต้องและความเร็วในการตอบสนองของระบบควบคุมการสื่อสารร่วม (ICCS) คือเวลาที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณโดยวัดจากปลายทั้งสองข้าง(End to end) นั่นคือจุดที่จะเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ภายนอกกับจุดต้นกำเนิดที่ผู้ใช้งาน(Federal Aviation Administration. 2002, August : 13-15)

4.4.1 การสื่อสารทางคลื่นวิทยุ (Air-Ground Communication) เป็นการวัดค่าการตอบสนองในการกดพูด (Press-to-talk : PTT) จะเริ่มวัดเมื่อหน้าสัมผัสของสวิตช์ PTTแตะ และผ่านกระบวนการแปลงเป็นสัญญาณ PTT ที่จุดเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เวลาในการตอบสนองต้องไม่เกิน 0.07 วินาทีและทำงานได้ถูกต้องร้อยละ 99.99 ส่วนทางด้านรับเมื่อมีสัญญาณจากเครื่องรับวิทยุ และทำการแสดงผลเวลาในการตอบสนองต้องไม่เกิน 0.2 วินาที มีความถูกต้องร้อยละ 99.9

4.4.2 การสื่อสารทางเครือข่ายต่างๆ (Ground-Ground Communication) เป็นการวัดค่าการตอบสนองในการเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารภายนอกแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

4.4.2.1 การเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารแบบ 4-Wire ทางด้านส่งและทางด้านรับเวลาในการตอบสนองต้องไม่เกิน 0.45 วินาที มีความถูกต้องร้อยละ 99.9

4.4.2.2 การเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารแบบ 2-Wire ทางด้านส่งและทางด้านรับเวลาในการตอบสนองต้องไม่เกิน 0.3 วินาที มีความถูกต้องร้อยละ 99.9

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นัทที ฉุยฉาย (2542) ได้ออกแบบและสร้างชุดเชื่อมต่องานวิทยุสั่งการ โดยการหาตำแหน่งติดตั้งสถานีศูนย์กลางด้วยการคำนวณ ทำการทดสอบและจัดวงจร 4-Wire E&M เพื่อใช้สำหรับเชื่อมโยงสัญญาณเสียงจากตัวรับสัญญาณที่กระจายอยู่รอบพื้นที่ใช้งาน สิ่งที่จะทำให้การส่งสัญญาณเสียงไปถึงผู้รับได้อย่างถูกต้องและชัดเจน ต้องทำความเข้าใจและต้องคำนึงถึงระดับทดสอบและรูปแบบการวัด ย่านความถี่ ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสสลับ(Impedance) อัตราขยายของระบบส่งสัญญาณ ตัวปรับลดทอนสัญญาณ (Attenuator) ในการวัดและทดสอบระบบส่งสัญญาณ ได้ใช้ความถี่ 1 kHz Impedance 600 โอห์ม ระดับสัญญาณต้นทาง -16dBm และวัดที่ปลายทางได้ 23dBm (อัตราขยายของระบบส่งสัญญาณเท่ากับ 23dB) ส่วนการควบคุมสัญญาณระหว่าง 4-Wire E&M กับสถานีทวนสัญญาณใช้ Opto-Transistor เป็นตัวเชื่อมต่อ

ณัฐกรมล นาเมือง และ พิเชฐ ม่วงนวล (2538 : 472-478) ได้พัฒนาเครื่องต่อโทรศัพท์ตรงโดยไม่ผ่านโอเปอร์เรเตอร์ (Direct Inward System Access : DISA) โดย DISA จะทำงานร่วมกับ PABX ทำหน้าที่เป็นโอเปอร์เรเตอร์อัตโนมัติ DISA จะตรวจการเรียกเข้าจากสายภายนอก และส่งเสียงที่บันทึกไว้บอกให้ผู้เรียกเข้ากดเลขหมายภายใน DISA จะบันทึกเลขหมาย และส่งเลขหมายดังกล่าวให้กับ PABX ต่อไป การตรวจสอบสายเรียกเข้า(สัญญาณกระดิ่ง) จะใช้ไอซีเชื่อมโยงทางแสง (Opto-Couple) เบอร์ 4N25 เป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณกระดิ่งที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 100 โวลต์ ความถี่ 20 Hz ให้เป็นพัลส์ ขนาด 5 โวลต์ สำหรับใช้งานในวงจร ส่วนวงจรเชื่อมต่อกับสายโทรศัพท์ ที่ทำหน้าที่คล้ายกับการยกและวางหูโทรศัพท์ จะใช้อุปกรณ์ Relay สำหรับติดต่อกับหม้อแปลงที่มีความต้านทานประมาณ 600 โอห์ม เท่ากับความต้านทานของโทรศัพท์ขณะยกหู

แดงระวี เพชรศรีทอง และ วิทยา วงศ์กนิษฐ์ (2538 : 538-541) ได้ออกแบบเครื่องคำนวณและบันทึกค่าโทรศัพท์ โดยเครื่องจะทำการตรวจสอบการยกหูโทรศัพท์ และเข้าสู่โหมดเตรียมพร้อมรับสัญญาณกดหมายเลขโทรศัพท์ (DTMF) จากนั้นจึงตรวจสอบสัญญาณเรียกกลับ (Ringback Tone) เมื่อสัญญาณ

หายไปจึงเริ่มนับเวลา เมื่อมีการวางหูโทรศัพท์เครื่องจะหยุดการนับเวลาและบันทึกค่าต่างๆไว้ หากมีการเรียกเข้าก่อนเครื่องจะไม่ทำการบันทึกค่า ในการตรวจสอบการยกหูวางหูโทรศัพท์ได้ใช้ Opto-Couple เบอร์ 4N33 เพื่อตรวจสอบระดับแรงดันในคู่สายโทรศัพท์ซึ่งปกติจะมีค่า 48 โวลท์ และจะตกลงเหลือ 8-10 โวลท์ เมื่อมีการยกหูโทรศัพท์ ส่วนวงจรตรวจสอบสายเรียกเข้า(สัญญาณกระดิ่ง) ใช้ IC เบอร์ MC34012 สำหรับตรวจสอบสัญญาณกระดิ่งซึ่งมีแรงดันสูง จากนั้นจึงส่งผ่าน Opto-Couple เพื่อแยกกราวด์ของวงจรกับของโทรศัพท์ออกจากกัน

ศิริชัย บุญบางยาง และ วิโรจน์ พลสูงเนิน (2538 : 548-555) ได้ออกแบบเครื่องบันทึกการใช้งานโทรศัพท์อัตโนมัติ สำหรับบันทึกการเวลา วัน เดือน ปี ที่โทรออกและรับสายโทรศัพท์ การตรวจสอบสัญญาณต่างๆ ใช้หลักการและวงจรเหมือนกับเครื่องคำนวณและบันทึกค่าโทรศัพท์ของ ฅนรัฐกมล นาเมือง

อภิชาติ งามวิสัย และ ศิริ ก้อนทอง (2537 : 188-192) ได้ออกแบบชุดระบบเชื่อมต่อโทรศัพท์อัตโนมัติโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นการใช้เครื่องวิทยุมือถือร่วมกับระบบโทรศัพท์ และมีการบันทึกการใช้งาน มีการติดต่อสื่อสารแบ่งออกเป็น 3 โหมด คือ โหมดการใช้โทรศัพท์เรียกเข้าระบบวิทยุ โหมดการใช้ระบบวิทยุเรียกเข้าโทรศัพท์ และโหมดการใช้ระบบวิทยุเรียกเข้าวิทยุ ภายในเครื่องประกอบด้วยวงจรตรวจสอบสัญญาณกระดิ่ง วงจรตรวจสอบหมายเลขโทรศัพท์ (DTMF) วงจรประมวลผล และวงจรเชื่อมต่อระหว่างสายโทรศัพท์กับเครื่องรับส่งวิทยุ วงจรเชื่อมต่อผู้ใช้วิทยุได้ใช้ทรานส์ฟอร์มเมอร์ 3 ขด ขดแรกต่อกับสายโทรศัพท์ที่เป็นการรับส่งสองทางแบบ 2 Wire ขดที่สองต่อกับเครื่องรับวิทยุ และขดสุดท้ายต่อกับเครื่องส่งวิทยุ เป็นการแปลงสัญญาณจากการรับส่งแบบ 2 Wire เป็น 4 Wire โดยไม่ใช้วงจร Hybrid ในการลดสัญญาณย้อนกลับจากด้านรับออกไปที่ด้านส่ง เนื่องจากวงจรด้าน 4 Wire เป็นการรับส่งแบบผลัดกันรับส่ง (Half-Duplex) ปัญหาที่พบในการวิจัยนี้คือ เกิดการสูญเสียในการ Coupling จากเครื่องรับไปด้าน 2 Wire ทำให้เสียงของเครื่องโทรศัพท์ที่รับฟังจากเครื่องรับวิทยุมีระดับที่เบา

พิเชฐ ม่วงนวล และ วิโรจน์ พลสูงเนิน (2537 : 193-200) ได้ออกแบบเครื่องชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติแบบไร้สาย (Wireless Private Automatic Branch Exchange : WPABX) เพื่อแก้ปัญหาในการเดินสายโทรศัพท์ ภายในเครื่องประกอบด้วย เครื่อง PABX ขนาด 3 สายนอก 12 สายใน และส่วนรับส่งวิทยุย่านความถี่ 46-49 MHz จำนวน 12 วงจร ที่ต่อกับ PABX ทางด้านสายใน ส่วนด้านโทรศัพท์ลูกข่ายใช้เครื่องรับส่งวิทยุมือถือย่านความถี่ 46-49 MHz ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ภายในส่วนรับส่งวิทยุ ยังประกอบด้วย วงจรตรวจสอบสัญญาณกระดิ่ง วงจรประมวลผล วงจรจำลองการยกหูวางหูโทรศัพท์ วงจรรับส่งวิทยุ และวงจรเชื่อมต่อระหว่างสายโทรศัพท์กับเครื่องรับส่งวิทยุ วงจรเชื่อมต่อใช้ทรานส์ฟอร์มเมอร์ 3 ขด ขดแรกต่อกับสายโทรศัพท์ที่เป็นการรับส่งสองทางแบบ 2 Wire ขดที่สองต่อกับเครื่องรับวิทยุ และขดสุดท้ายต่อกับเครื่องส่งวิทยุ เป็นการแปลงสัญญาณจากการรับส่งแบบ 2 Wire เป็น 4 Wire โดยใช้สัญญาณ Squelch จากเครื่องรับเป็นตัวควบคุมการรับส่งสัญญาณ

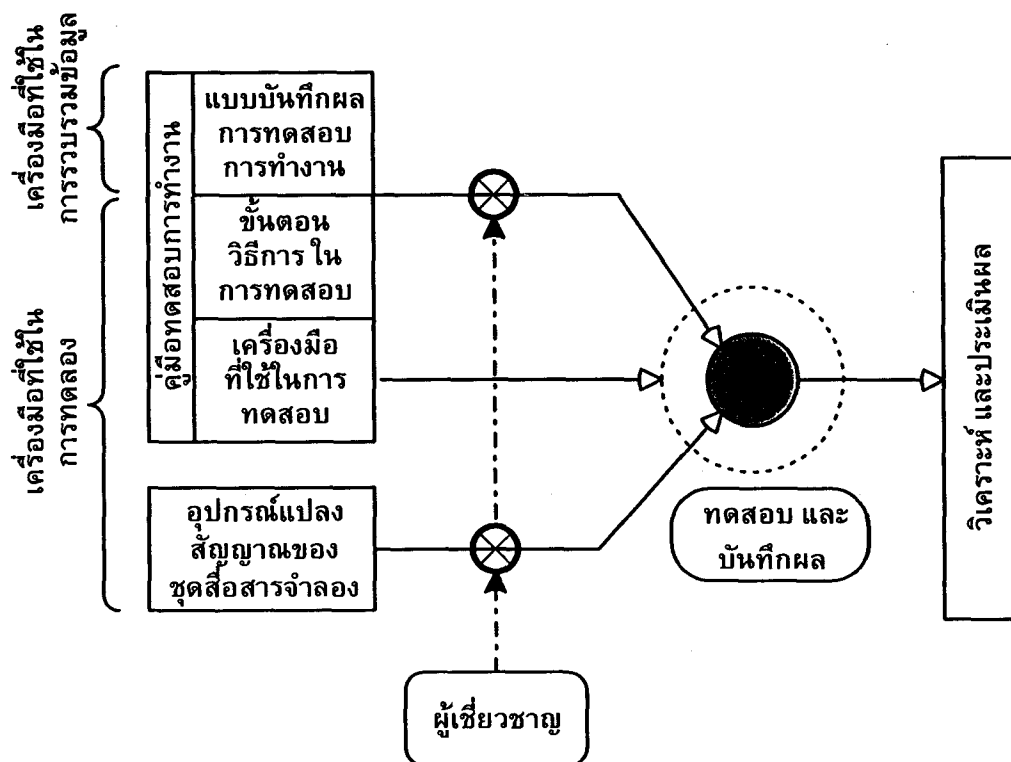
จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ใช้ตัวปรับลดทอนสัญญาณ(Attenuator) เพื่อเพิ่มอัตราขยายของวงจร หรือชดเชยการสูญเสียภายในอุปกรณ์หรือสายส่งสัญญาณให้เหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารแต่ละชนิด และสัญญาณควบคุมระบบสื่อสารที่มีระดับแรงดันแตกต่างกันก็ต้องมีการปรับระดับสัญญาณ โดยการแยกกราวด์ของวงจรและระบบสื่อสารออกจากกันด้วย อุปกรณ์ Relay หรือ Opto-Couple นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงการสูญเสียที่อาจเกิดจากการใช้ทรานส์ฟอร์มเมอร์ Coupling สัญญาณแทนการใช้วงจร Hybrid

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศเป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีส่วนประกอบเครื่องมือและขั้นตอนในการศึกษาค้นคว้างภาพประกอบ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนในการศึกษาค้นคว้างดังต่อไปนี้

1. การศึกษาข้อมูลพื้นฐาน
2. การออกแบบและสร้างเครื่องมือ
3. การทดลองการทำงาน
 - 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
 - 3.2 ขั้นตอนการทดลอง
 - 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล
 - 3.4 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล



ภาพประกอบ 64 ขั้นตอนการศึกษาค้นคว้า

การศึกษาข้อมูลพื้นฐาน

การศึกษาข้อมูลพื้นฐาน เป็นการศึกษา รายละเอียด มาตรฐานในระบบสื่อสาร การทำงานของระบบควบคุมการสื่อสารร่วม การทำงานของระบบสื่อสารจำลอง และเทคโนโลยีทางการสื่อสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมจราจรทางอากาศ สำหรับการออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การศึกษาข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบและสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง ประกอบด้วยหัวข้อที่ศึกษาคือ

1.1 ศึกษาการใช้งาน ลักษณะการทำงาน การเชื่อมต่อ การติดตั้งของระบบสื่อสารจำลอง จากคู่มือการใช้งาน คู่มือทางเทคนิค และการทดลองใช้งานระบบสื่อสารจำลอง

1.2 ศึกษาการใช้งาน ลักษณะการทำงาน การเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารต่างๆ ของระบบควบคุมการสื่อสารร่วม (ICCS) จากคู่มือการใช้งาน คู่มือทางเทคนิค และการทดลองใช้งานระบบควบคุมการสื่อสารร่วม

1.3 ศึกษามาตรฐาน ลักษณะการทำงาน วิธีการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารทางเสียงต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมจราจรทางอากาศ จากเอกสารมาตรฐานของสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ ส่วนมาตรฐานระบบสื่อสาร (International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector หรือ ITU-T) และคู่มือทางเทคนิคของระบบควบคุมการสื่อสารร่วม

2. การศึกษาข้อมูลพื้นฐานสำหรับกำหนดขั้นตอนและวิธีการทดสอบอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง ประกอบด้วยหัวข้อที่ศึกษาคือ

2.1 ศึกษาขั้นตอนและวิธีการทดสอบระหว่างกระบวนการและขั้นตอนสุดท้ายของระบบสื่อสารจำลอง จากเอกสารการผลิต

2.2 ศึกษาขั้นตอนและวิธีการทดสอบระหว่างกระบวนการและขั้นตอนสุดท้ายของระบบควบคุมการสื่อสารร่วม (ICCS) จากเอกสารการผลิต

2.3 ศึกษาวิธีการทดสอบและค่ามาตรฐานที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารทางเสียงต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมจราจรทางอากาศ จากเอกสารมาตรฐานของสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ (ITU-T)

3. การศึกษาข้อมูลพื้นฐานสำหรับกำหนดเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและทดสอบอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง ประกอบด้วยหัวข้อที่ศึกษาคือ

3.1 ศึกษาวิธีการวัด การทดสอบ และค่ามาตรฐานที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารทางเสียงต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมจราจรทางอากาศ จากเอกสารมาตรฐานของสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ (ITU-T)

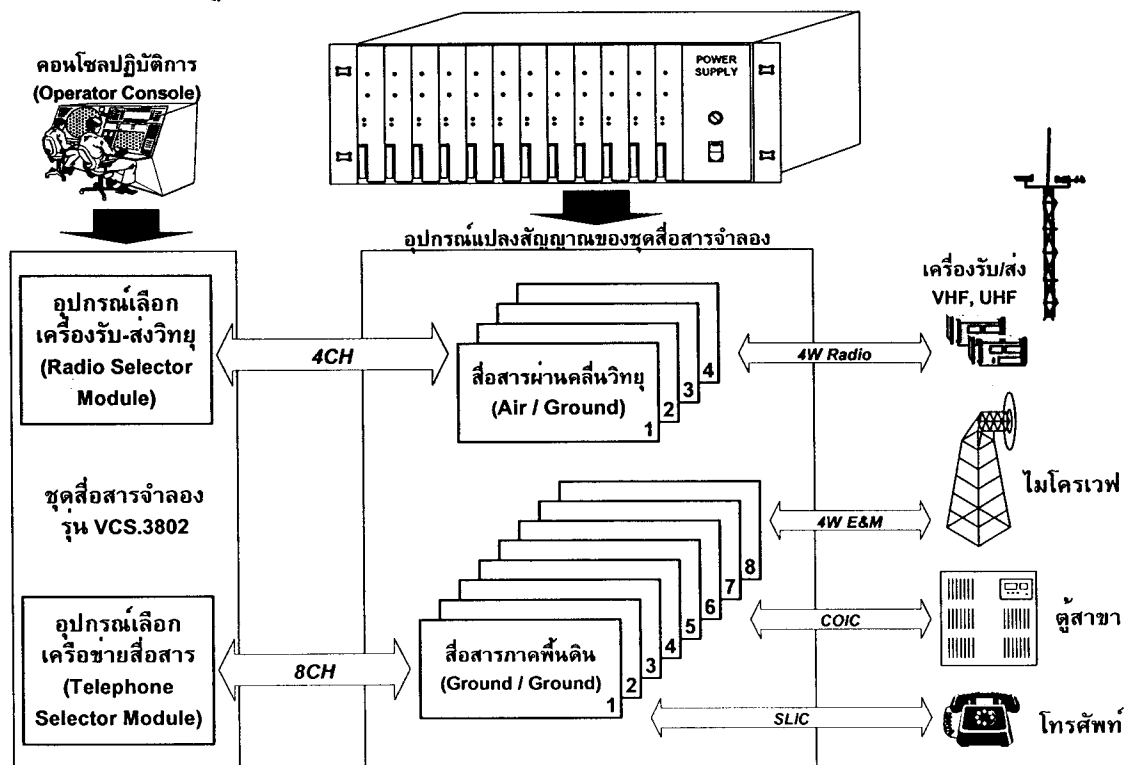
3.2 ศึกษาการใช้งาน วิธีการวัด การทดสอบ เครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้อง เช่น เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) เครื่องวัดสัญญาณ (Level Meter) ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เครื่องทดสอบการส่งสัญญาณ (Transmission Line Tester) และเครื่องวัดความถี่ (Universal Counter) จากคู่มือการใช้งาน

การออกแบบและสร้างเครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ อุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง และคู่มือทดสอบการทำงาน แต่ละส่วนมีขั้นตอนและรายละเอียดในการดำเนินการดังนี้

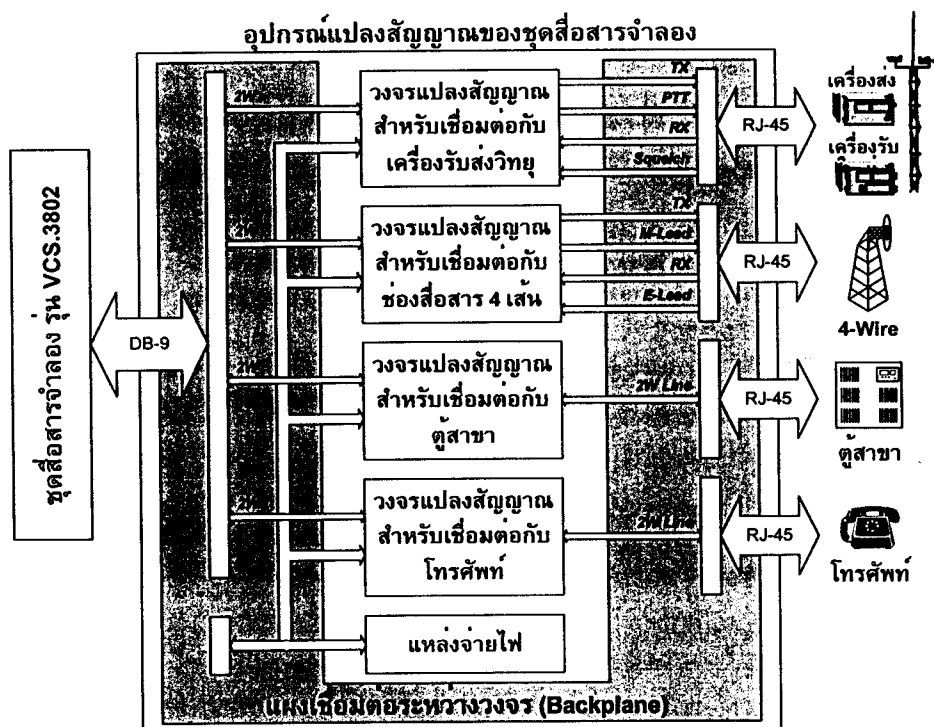
1. การออกแบบและสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง ได้นำหลักการออกแบบจากบนลงล่าง และสร้างจากล่างขึ้นบน (Top-Down Design and Bottom-Up Build) โดยเริ่มจากความต้องการแล้วออกแบบระบบรวม และแบ่งอุปกรณ์แปลงสัญญาณออกเป็นส่วนย่อยๆ จากนั้นจึงสร้างจากส่วนย่อยรวมเป็นระบบ (Ward & Angus. 1996 : 35-39) ซึ่งมีขั้นตอน และรายละเอียดในการดำเนินการดังนี้

1.1 จากการศึกษาข้อมูลพื้นฐานสามารถกำหนดหน้าที่การทำงาน และลักษณะของอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองได้ โดยแบ่งเป็นช่องสำหรับสื่อสารผ่านทางคลื่นวิทยุ (Air-Ground Communication) และสำหรับสื่อสารภาคพื้นดินผ่านทางเครือข่ายสื่อสารต่าง ๆ (Ground-Ground Communication) รวม 12 ช่อง ลักษณะของอุปกรณ์แปลงสัญญาณเป็นกล่องสี่เหลี่ยมกว้าง 19 นิ้ว สูง 5¼ นิ้ว และลึกประมาณ 13½ นิ้ว ภายในมีแผงเชื่อมต่อระหว่างวงจร (Backplane) ด้านหน้ามีช่องสำหรับบรรจุแหล่งจ่ายไฟ 1 ช่อง และช่องสื่อสาร(วงจรแปลงสัญญาณ)จำนวน 12 ช่องคือ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น หรือ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ ลักษณะของแหล่งจ่ายไฟและวงจรแปลงสัญญาณแต่ละชนิด จะมีลักษณะเป็นแผ่น (card) มีขั้วต่อสามารถถอดเสียบได้ง่าย ในกรณีที่ไม่มีวงจรแปลงสัญญาณบางวงจรเสียหายก็สามารถถอดมาทำการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยน และยังสามารถใช้งานวงจรที่เหลืออยู่ได้ เป็นการลดเวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุง (Johnson. 1989 : 225-226)



ภาพประกอบ 65 ลักษณะของอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง

1.2 ในการออกแบบโครงสร้าง (Block Diagram) รูปลักษณ์ ของอุปกรณ์ ได้แบ่งวงจรออกเป็น 6 ส่วน คือ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ แหล่งจ่ายไฟ และแผงเชื่อมต่อระหว่างวงจรภายในอุปกรณ์ (Backplane) (ภาคผนวก ข)



ภาพประกอบ 66 โครงสร้างของอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง

1.3 ทำการออกแบบวงจรทั้ง 6 ส่วน (ภาคผนวก ข)

1.4 ตรวจสอบผลการออกแบบวงจรส่วนต่างๆ เมื่อวันที่ 23 มิถุนายน 2546 ถึงวันที่ 7 กรกฎาคม 2546 โดยผู้เชี่ยวชาญที่มีความสามารถในการ วิเคราะห์ คำนวณ และออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 3 คน ดังนี้

1.4.1 นายกัมปนาท เรืองรายวัน ตำแหน่ง ผู้จัดการงานวิศวกรรม หน่วยวิจัยและพัฒนา กองการผลิต บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด วุฒิการศึกษาปริญญาโท มีประสบการณ์ในการทำงานด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

1.4.2 นายชายเทพ รอดฮวบ ตำแหน่ง วิศวกระบบอาวุโส หน่วยวิจัยและพัฒนา กองการผลิต บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด วุฒิการศึกษาปริญญาตรี มีประสบการณ์ในการทำงานด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การผลิต และการซ่อมบำรุงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

1.4.3 นายไกรวิทย์ แก่นสาร ตำแหน่ง วิศวกรระบบอาวุโส หน่วยวิจัยและพัฒนา
กองการผลิต บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด วุฒิการศึกษาปริญญาตรี มีประสบการณ์ในการ
ทำงานด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การผลิต และการซ่อมบำรุงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

1.5 นำข้อเสนอแนะที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญ มาทำการแก้ไขปรับปรุงวงจรดังนี้

1.5.1 เพิ่มวงจรตรวจสอบ และไฟแสดงเมื่อมีสัญญาณเสียงทางด้านรับ ใช้สำหรับกรณี
ที่อุปกรณ์ภายนอกไม่มี สัญญาณเรียก (Signaling)

1.5.2 เพิ่มสวิตช์สำหรับเปิดปิดวงจรตรวจสอบ เพื่อให้สามารถเลือกใช้สัญญาณเรียก
(Signaling) เพียงอย่างเดียวในกรณีที่สายสัญญาณทางด้านรับมีสัญญาณรบกวนมาก

1.5.3 เปลี่ยนวงจรควบคุม โดยใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ในการควบคุมวงจรแปลง
สัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับวงจร หากมีการแก้ไขในอนาคต
เช่น จังหวะเวลาในการสร้างสัญญาณรับ ส่ง

1.5.4 เพิ่มขาควบคุมวงจรด้านส่ง เพื่อป้องกันสัญญาณเสียงจากทางด้านรับที่จะ
ย้อนกลับมาออกไปทางด้านส่ง

1.5.5 เพิ่มคาปาซิเตอร์คัปปลิงที่ขา Vin และ Vout ของวงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-
Wire เบอร์ Ag1160 และ เบอร์ Ag2110 เนื่องจากระดับแรงดัน Bias มีระดับไม่เท่ากัน

1.5.6 เพิ่มวงจรป้องกันแรงดันเกิน ที่ขา E-Lead และ M-Lead

1.5.7 ลดไฟเลี้ยงวงจรด้านรับเป็น 8.2V และ เปลี่ยนระดับวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ
(สัญญาณ Req) เป็น 4.5V เพื่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างระดับสัญญาณด้านรับเข้าและส่งออกทางด้านที่
เชื่อมต่อกับระบบสื่อสารจำลอง (Simulator) ทำให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบสัญญาณทำงานเฉพาะเมื่อมีสัญญาณ
ทางด้านรับเท่านั้น

1.5.8 รวมวงจรแปลงสัญญาณทั้ง 4 ชนิด โดยมีสวิตช์เลือกแต่ละชนิด เพื่อลดจำนวน
แบบในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board : PCB)

1.6 ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) จำนวน 3 แบบ ตามวงจรที่ได้ทำการแก้ไขแล้ว
ประกอบด้วยแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับ วงจรแปลงสัญญาณที่รวมทั้ง 4 ชนิด แหล่งจ่ายไฟ และแผงเชื่อมต่อ
ระหว่างวงจรภายในอุปกรณ์ (Backplane) เมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2546

1.7 เขียนลำดับสถานะการทำงาน (State Diagram) ของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสาร
จำลองทั้ง 4 ชนิด เมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2546 (ภาคผนวก ค)

1.8 ทำแผ่นวงจรพิมพ์แบบ 2 ชั้น เฟลททริโฮล สำหรับวงจรแปลงสัญญาณ จำนวน 4 แผ่น
แหล่งจ่ายไฟ จำนวน 1 แผ่น และแผงเชื่อมระหว่างวงจรต่อภายในอุปกรณ์ จำนวน 1 แผ่น ที่กองการผลิต
บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด เมื่อวันที่ 4 สิงหาคม 2546

1.9 ทำกล่องและแผ่นปิดหน้าปัดอลูมิเนียม ที่กองการผลิต เมื่อวันที่ 11 สิงหาคม 2546

1.10 ชื่ออุปกรณ์ตามรายละเอียดที่ได้กำหนดไว้ในวงจร เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2546

1.11 ประกอบอุปกรณ์ลงในแผ่นวงจรพิมพ์ ประกอบแผ่นหน้าปัด ประกอบกล่อง และเดิน
สายไฟภายในกล่อง เมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2546

1.12 ทำการทดสอบ และปรับปรุงวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด เมื่อ
วันที่ 1 กันยายน 2546 โดยมีข้อแก้ไขปรับปรุงวงจรดังนี้

1.12.1 แก้ววงจรเปรียบเทียบสัญญาณ เนื่องจาก LM1458 มีแรงดันขาออกในขณะที่ไม่ทำงานมากกว่า 0.6 โวลต์ ทำให้วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (สัญญาณ Req) มีไฟออกค้าง แก้วไขโดยเปลี่ยน IC4 จากเบอร์ LM1458 เป็นเบอร์ LM358

1.12.2 แก้วตัวอักษรเนื่องจากตัวอักษรในวงจร และแผ่นวงจรพิมพ์ไม่ตรงกัน คือเปลี่ยน "Sidetone" เป็น "Echo" และ แก้ว SW4(Pos1) V/P เป็น On, C/R เป็น Off

1.12.3 แก้ววงจรปรับระดับสัญญาณ (Attenuator) ทางด้านส่ง (Send) เนื่องจากมีการรวมสัญญาณ 3 จุดที่วงจรปรับระดับสัญญาณโดยไม่มีวงจรบัฟเฟอร์ทำให้วงจรปรับระดับสัญญาณปรับค่าผิดพลาด แก้วไขโดยการยกเลิก C25 เปลี่ยนตัวต้านทาน R60 เป็น 3k, ตัด R20 และ R43 ออกจากขา 3 ของ IC2A ต่อ R20 และ R43 เข้าที่ขา 2 ของ IC5A

1.12.4 เพื่อเพิ่มการหน่วงเวลา (Delay Time) ของวงจรตรวจสอบสัญญาณเสียง เป็น 1 วินาที โดยเปลี่ยน C13 เป็น 10uF

1.12.5 เพิ่มตัวต้านทาน 10k เพื่อยกระดับแรงดัน (Pull-up) ที่ขา RM และ LSC เนื่องจากขา P1.0 และ P1.1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์จ่ายกระแสแบบซอร์ส Source ไม่ได้

1.12.6 แก้วการส่งสัญญาณเสียงขณะเรียก (Ringback Tone) ที่จะส่งให้กับระบบสื่อสารจำลองโดยยกเลิก R61, C26 และต่อตัวต้านทาน 10k ระหว่างขา 16 ของ IC9 กับขา 16A,B ของ J1

1.12.7 ทำการปรับบาลานซ์ของวงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire เบอร์ Ag2110 เพื่อให้เกิดสัญญาณย้อนกลับน้อยที่สุด โดยเปลี่ยนค่าตัวต้านทาน R53 เป็น 30k R54 เป็น 20k และ C18 เป็น 2n2

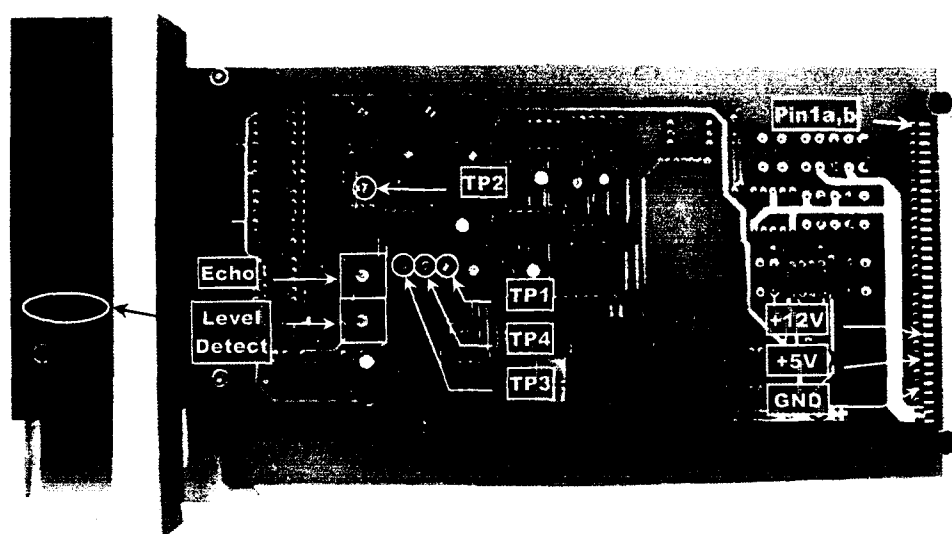
1.12.8 ป้องกันวงจรเปลี่ยนสัญญาณ 2/4-Wire เกิดการออสซิลเลชัน (Oscillation) ในขณะที่อยู่ในสภาวะปกติ (Idle State) โดยการเพิ่มวงจรควบคุมด้านส่ง และให้ IC7, R63, R52, C27 ใช้กับทุกวงจร ตัด C3 ออกจากขา 14 ของ IC2D และต่อที่ขา 5 ของ IC7

2. การออกแบบและสร้างคู่มือทดสอบการทำงานมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

2.1 ทำการออกแบบคู่มือทดสอบการทำงาน เมื่อวันที่ 4 สิงหาคม 2546 ภายในคู่มือทดสอบการทำงานประกอบด้วยหัวข้อ ทัวไป การปรับแต่ง เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ วงจรสำหรับการทดสอบ และผลการทดสอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ทัวไป เป็นการอธิบายถึงส่วนประกอบของอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสาร จำลอง ขอบเขต และการนำไปใช้งาน

2.1.2 การปรับแต่ง เป็นการแสดงภาพตำแหน่งจุดตรวจวัด และปรับแต่ง พร้อมทั้งขั้นตอนในการปรับแต่งวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด



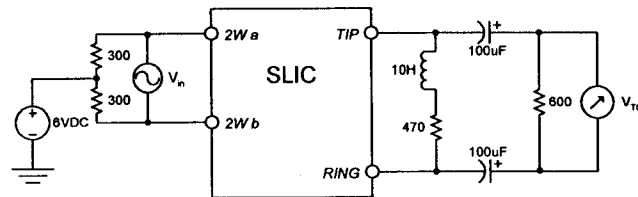
ภาพประกอบ 67 ภาพแสดงตำแหน่งจุดวัดและปรับแต่งสัญญาณ

2.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) เครื่องวัดสัญญาณ (Level Meter) ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เครื่องทดสอบการส่งสัญญาณ (Transmission Line Tester) เครื่องวัดความถี่ (Universal Counter) และแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC Power Supply) ซึ่งอธิบายลักษณะการทำงานของเครื่องมือแต่ละชนิดโดยย่อ

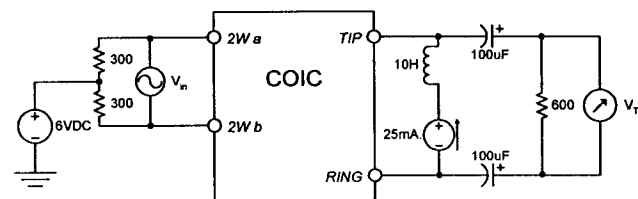
2.1.4 วงจรสำหรับการทดสอบ เป็นการแสดงชนิดของเครื่องมือวัดที่ใช้ ค่าที่กำหนด ขั้นตอนการทดสอบ และการต่อเครื่องมือวัดกับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด สำหรับใช้ในการวัดค่าต่างๆ ดังนี้

2.1.4.1 การตอบสนองความถี่ทางด้านส่ง (Transmit Frequency Response) สำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด มีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

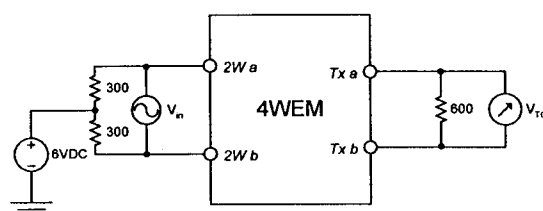
1. ป้อน V_{in} ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_{To} ได้ 0 dBm
2. เปลี่ยนความถี่ที่ V_{in} ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{To}



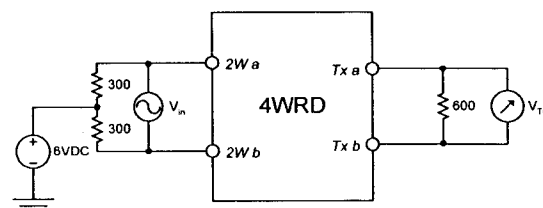
ภาพประกอบ 68 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์



ภาพประกอบ 69 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา



ภาพประกอบ 70 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น

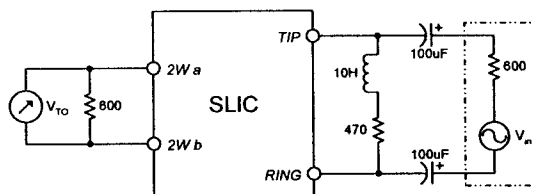


ภาพประกอบ 71 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ

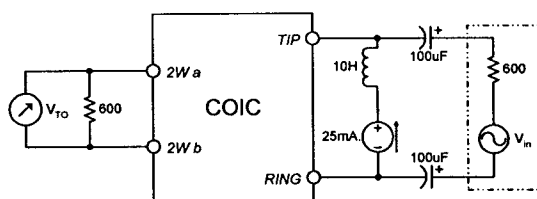
2.1.4.2 การตอบสนองความถี่ทางด้านรับ (Receive Frequency Response)

สำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด มีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

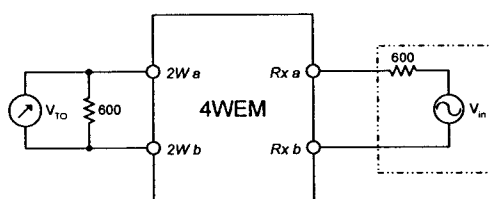
1. ป้อน V_{in} ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_{To} ได้ 0 dBm
2. เปลี่ยนความถี่ที่ V_{in} ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{To}



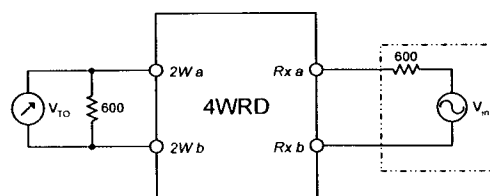
ภาพประกอบ 72 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์



ภาพประกอบ 73 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา



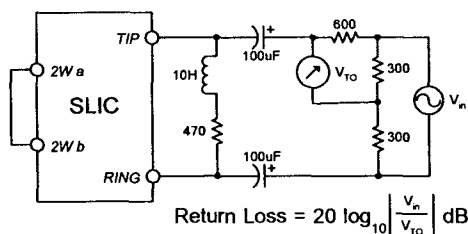
ภาพประกอบ 74 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น



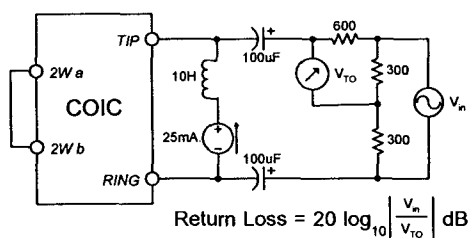
ภาพประกอบ 75 การทดสอบการตอบสนองความถี่ทางด้านรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ

2.1.4.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) สำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิดมีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

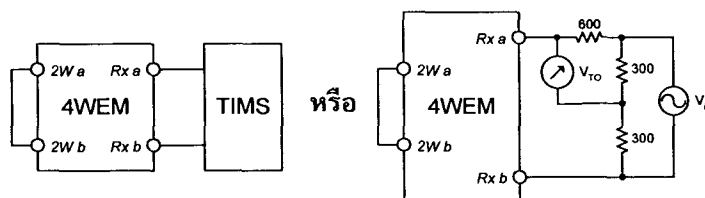
1. ป้อน V_{in} ที่แรงดัน 1 Vrms ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz)
2. เปลี่ยนความถี่ที่ V_{in} ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{TO}



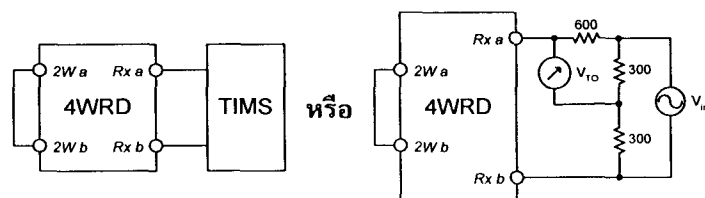
ภาพประกอบ 76 การทดสอบการการสูญเสียย้อนกลับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์



ภาพประกอบ 77 การทดสอบการสูญเสียย้อนกลับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา



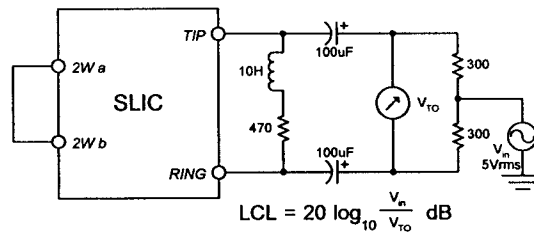
ภาพประกอบ 78 การทดสอบการสูญเสียย้อนกลับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น



ภาพประกอบ 79 การทดสอบการสูญเสียย้อนกลับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ

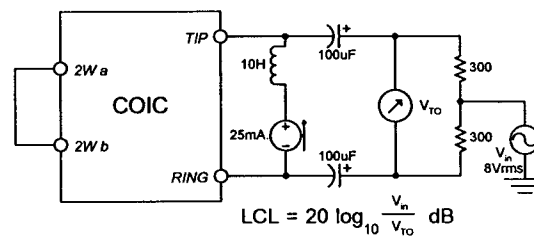
2.1.4.4 ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (Longitudinal Conversion Loss) สำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิดมีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

1. ป้อน V_{in} ตามแรงดันที่กำหนดในวงจร ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz)
2. เปลี่ยนความถี่ที่ V_{in} ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{To}



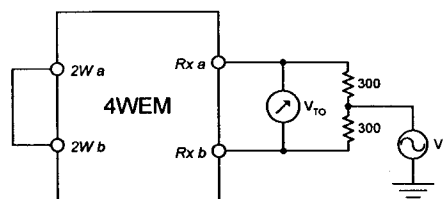
ภาพประกอบ 80 การทดสอบการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวของ
สำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์

วงจรแปลงสัญญาณ



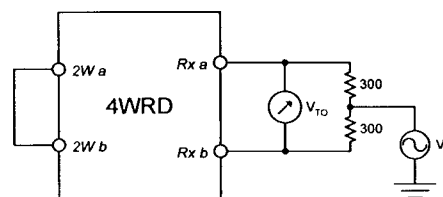
ภาพประกอบ 81 การทดสอบการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวของ
สำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา

วงจรแปลงสัญญาณ



ภาพประกอบ 82 การทดสอบการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวของ
สำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น

วงจรแปลงสัญญาณ

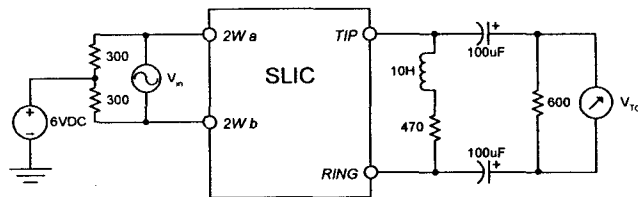


ภาพประกอบ 83 การทดสอบการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวของ
สำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ

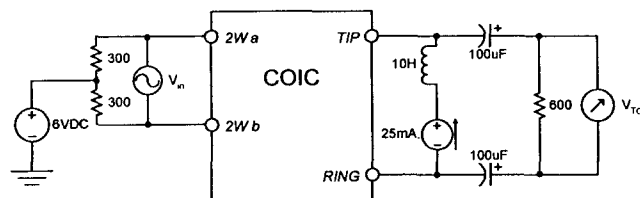
วงจรแปลงสัญญาณ

2.1.4.5 อัตราขยายทางด้านส่ง (Transmit Gain) สำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด มีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

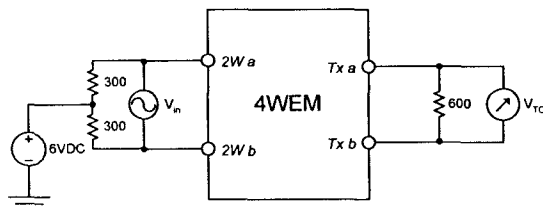
1. ปรับสวิตช์ "Send" ที่หน้าปัด ไปที่ตำแหน่ง 0 (dB)
2. ป้อน V_{in} ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณให้อ่านค่าที่ V_{To} ได้ 0 dBm
3. ปรับสวิตช์ "Send" ที่หน้าปัด ไปที่ตำแหน่งต่างๆ ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{To}



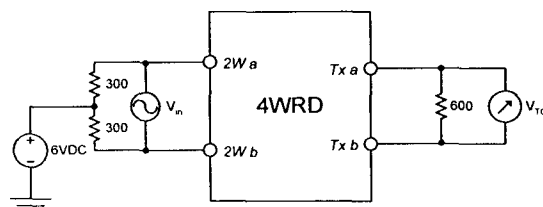
ภาพประกอบ 84 การทดสอบอัตราขยายทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์



ภาพประกอบ 85 การทดสอบอัตราขยายทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา



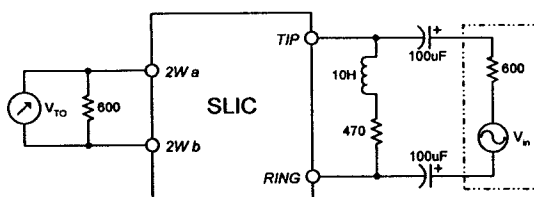
ภาพประกอบ 86 การทดสอบอัตราขยายทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น



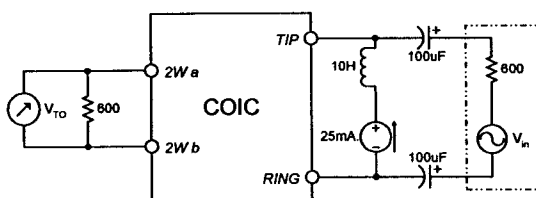
ภาพประกอบ 87 การทดสอบอัตราขยายทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ

2.1.4.6 อัตราขยายทางต้านรับ (Receive Gain) สำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด มีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

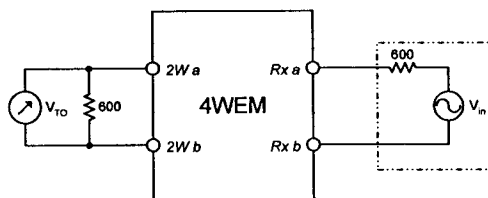
1. ปรับสวิตช์ "RCV" ที่หน้าปัด ไปที่ตำแหน่ง 0 (dB)
2. ป้อน V_{in} ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณให้อ่านค่าที่ V_{To} ได้ 0 dBm
3. ปรับสวิตช์ "RCV" ที่หน้าปัด ไปที่ตำแหน่งต่างๆ ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{To}



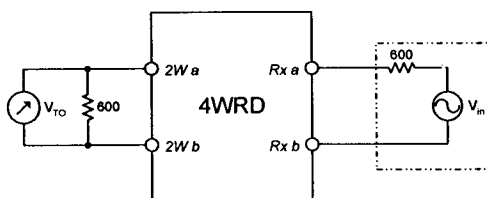
ภาพประกอบ 88 การทดสอบอัตราขยายทางต้านรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์



ภาพประกอบ 89 การทดสอบอัตราขยายทางต้านรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา

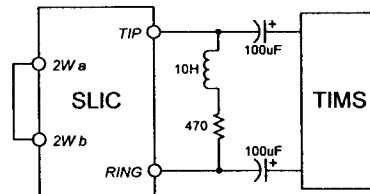


ภาพประกอบ 90 การทดสอบอัตราขยายทางต้านรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น

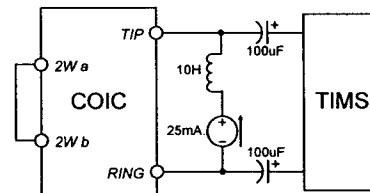


ภาพประกอบ 91 การทดสอบอัตราขยายทางต้านรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ

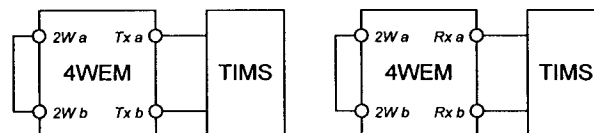
2.1.4.7 สัญญาณรบกวนทางด้านการส่งและรับ (Transmit and Receive Noise)
สำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด มีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้



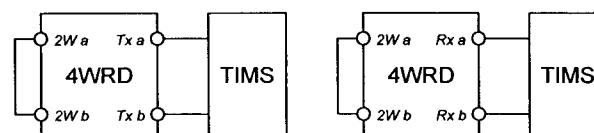
ภาพประกอบ 92 การทดสอบสัญญาณรบกวนของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์



ภาพประกอบ 93 การทดสอบสัญญาณรบกวนของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา



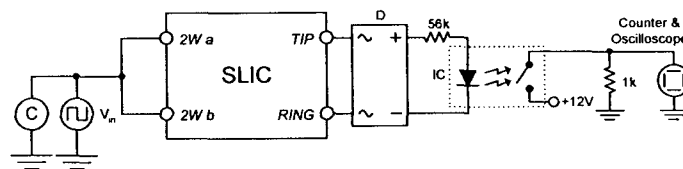
ภาพประกอบ 94 การทดสอบสัญญาณรบกวนทางด้านการส่งและรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อ
ช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น



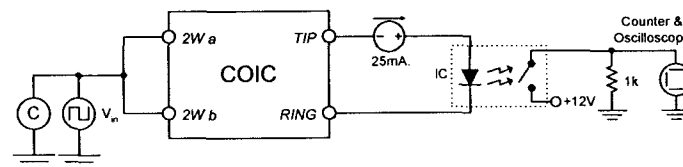
ภาพประกอบ 95 การทดสอบสัญญาณรบกวนทางด้านการส่งและรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ
เครื่องรับส่งวิทยุ

2.1.4.8 เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่ง (Transmit Response Time & Completion Event) สำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด มีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

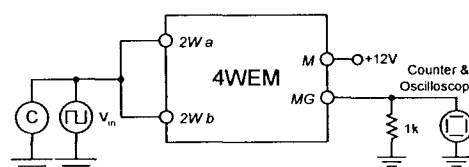
1. ต่อ Universal Counter ทั้ง Input และ Output โดยใช้ Totalize Measurement Mode
2. ป้อนสัญญาณแบบ Square Wave ความถี่ 5Hz ระดับ 0-6V ที่ V_{in}
3. กดปุ่ม Reset ที่ Universal Counter ทั้งสองพร้อมกัน
4. Universal Counter จะเริ่มนับจาก 1 รอจนกระทั่ง Universal Counter ทาง Input นับค่าได้ 1,000 ถ้า Universal Counter ทาง Output นับได้ค่าเท่ากันหมายถึงความถูกต้องในการเชื่อมต่อมีค่ามากกว่าร้อยละ 99.9



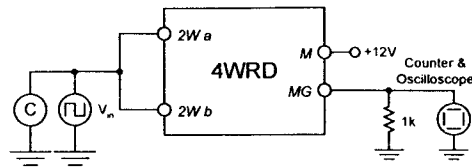
ภาพประกอบ 96 การทดสอบเวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์



ภาพประกอบ 97 การทดสอบเวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา

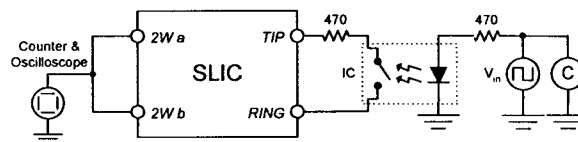


ภาพประกอบ 98 การทดสอบเวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น

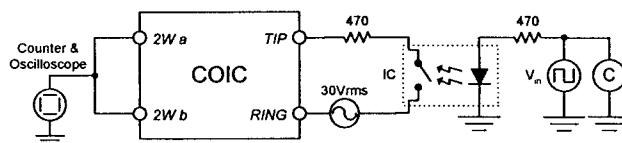


ภาพประกอบ 99 การทดสอบเวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ

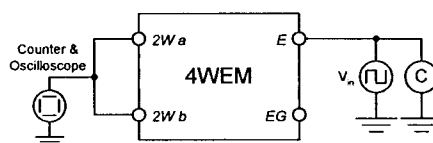
2.1.4.9 เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านรับ (Receive Response Time & Completion Event) สำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด มีขั้นตอนในการทดสอบเหมือนกับทางด้านส่ง



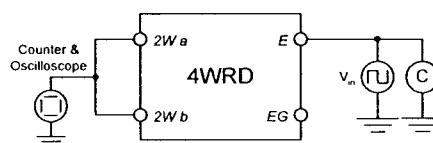
ภาพประกอบ 100 การทดสอบเวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์



ภาพประกอบ 101 การทดสอบเวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา



ภาพประกอบ 102 การทดสอบเวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น



ภาพประกอบ 103 การทดสอบเวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ

2.1.5 ผลการทดสอบ เป็นตารางสำหรับบันทึกผลจากการวัดค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด

2.2 นำคู่มือทดสอบการทำงานส่งให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน เพื่อตรวจสอบคู่มือทดสอบ เมื่อวันที่ 22 สิงหาคม 2546 เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านต่างๆดังนี้

2.2.1 นายกัมปนาท เรืองรายวัน ตำแหน่ง ผู้จัดการงานวิศวกรรม หน่วยวิจัยและพัฒนา กองการผลิต บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด วุฒิการศึกษาปริญญาโท มีประสบการณ์ในการทำงานด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

2.2.2 นายวัชรินทร์ สุรติรางคกุล ตำแหน่ง ผู้จัดการงานวิศวกรรม หน่วยเอกสารเทคนิค กองการผลิต บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด วุฒิการศึกษาปริญญาตรี มีประสบการณ์ในการจัดทำเอกสารเทคนิค และการควบคุมคุณภาพ

2.2.3 นายเกียรติศักดิ์ เจริญบุญ ตำแหน่ง วิศวกรระบบอาวุโส หน่วยเอกสารเทคนิค กองการผลิต บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด วุฒิการศึกษาปริญญาตรี มีประสบการณ์ในการทำงานด้านการผลิต การซ่อมบำรุงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และการควบคุมคุณภาพ

2.2.4 นายชายเทพ รอดฮวบ ตำแหน่ง วิศวกรระบบอาวุโส หน่วยวิจัยและพัฒนา กองการผลิต บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด วุฒิการศึกษาปริญญาตรี มีประสบการณ์ในการทำงานด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การผลิต และการซ่อมบำรุงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2.2.5 นายไกรวิทย์ แก่นสาร ตำแหน่ง วิศวกรระบบอาวุโส หน่วยวิจัยและพัฒนา กองการผลิต บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด วุฒิการศึกษาปริญญาตรี มีประสบการณ์ในการทำงานด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การผลิต และการซ่อมบำรุงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2.3 นำข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ มาทำการแก้ไขปรับปรุงใน เมื่อวันที่ 27 สิงหาคม 2546 โดยมีแก้ไขปรับปรุงดังนี้

2.3.1 เพิ่มภาพเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ และอธิบายลักษณะการทำงานโดยย่อ

2.3.2 เพิ่มภาพจริงของอุปกรณ์แปลงสัญญาณ พร้อมแสดงตำแหน่งที่ตรวจวัด และปรับแต่ง

2.3.3 แสดงภาพจริงของอุปกรณ์แปลงสัญญาณทั้ง 4 ชนิด

2.3.4 แสดงค่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

การทดลองการทำงาน

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1.1.1 อุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองประกอบด้วยวงจรแปลงสัญญาณ 4 ชนิด คือ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ

1.1.2 คู่มือทดสอบการทำงาน หมายถึง เอกสารที่แสดงวิธีการต่อวงจร การป้อนสัญญาณ และวิธีการวัดค่าต่างๆ สำหรับทดสอบการทำงานของอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง

1.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองที่สร้างขึ้น ได้แก่

1.1.3.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)

1.1.3.2 เครื่องวัดสัญญาณ (Level Meter)

1.1.3.3 ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)

1.1.3.4 เครื่องทดสอบการส่งสัญญาณ (Transmission Line Tester)

1.1.3.5 เครื่องวัดความถี่ (Universal Counter)

1.1.3.6 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC Power Supply)

1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล คือ

แบบบันทึกผลการทดสอบการทำงาน แบ่งออกเป็น 4 แบบ ตามชนิดการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสาร คือ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ (Subscriber Line Interface Circuit หรือ SLIC) วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์ (Central Office Interface Circuit หรือ COIC) วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น (4-Wire E&M Interface Circuit) และวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ (Radio Interface Circuit) แต่ละแบบจะบันทึกผลที่ได้จากการทดสอบ ได้แก่ การตอบสนองความถี่ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว อัตราขยาย สัญญาณรบกวน เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องของการเชื่อมต่อ

2. ขั้นตอนการทดลอง

ทำการดำเนินการทดลอง เมื่อวันที่ 15 กันยายน 2546 โดยใช้เครื่องมือในการทดสอบ และสถานที่ ของกองการผลิต บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 จัดเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.2 ต่อวงจรตามวิธีการในคู่มือทดสอบการทำงาน

2.3 ป้อนสัญญาณตามที่กำหนดในคู่มือทดสอบการทำงาน

2.4 วัดค่าต่างๆ ตามที่กำหนด และบันทึกผลการทดสอบ

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง ทางด้านคุณลักษณะทางไฟฟ้า และความสามารถในการทำงาน มาใช้ในการวิเคราะห์โดยใช้เกณฑ์ ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านคุณลักษณะทางไฟฟ้าตามมาตรฐานสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ (International Telecommunication Union – Telecommunication หรือ ITU-T) ดังนี้

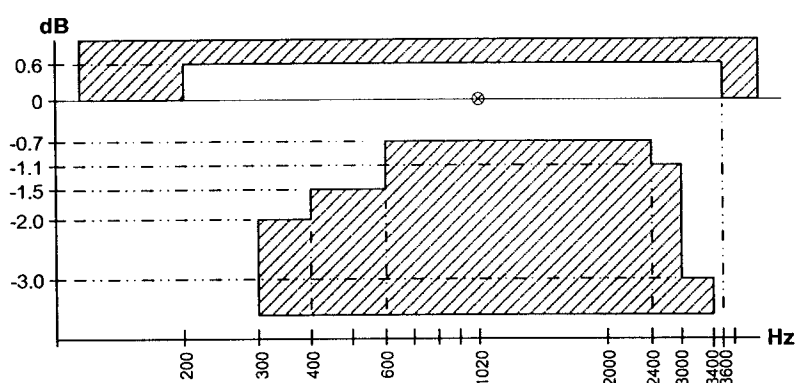
3.1.1 การตอบสนองความถี่(Frequency Response) ตามชนิดของวงจรแปลงสัญญาณ ในช่วงความถี่ 300-3400 Hz (ดังภาพประกอบ 104 และ 105)

มีค่าอยู่ในขอบเขตที่กำหนด

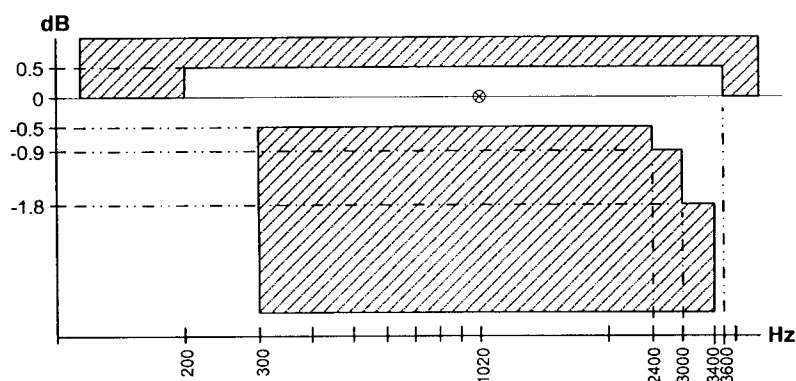
หมายถึง ผ่าน

มีค่าเกินขอบเขตที่กำหนด

หมายถึง ไม่ผ่าน



ภาพประกอบ 104 มาตรฐานการตอบสนองความถี่ของ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ และตู้สาขา



ภาพประกอบ 105 มาตรฐานการตอบสนองความถี่ของ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และเครื่องรับส่งวิทยุ

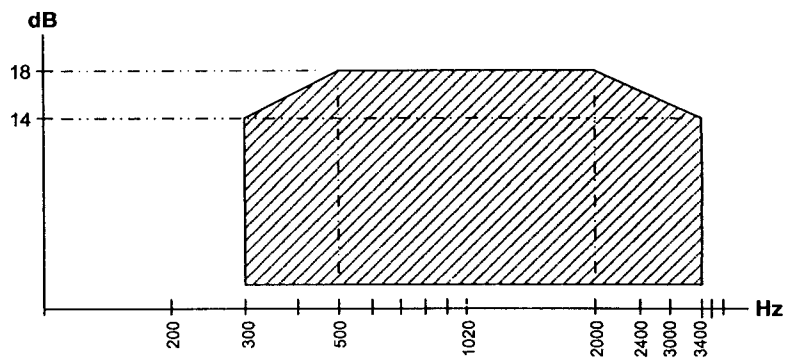
3.1.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ(Return Loss) ในช่วงความถี่ 500-2000 Hz ไม่น้อยกว่า 18dB

มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 18dB

หมายถึง ผ่าน

มีค่าน้อยกว่า 18dB

หมายถึง ไม่ผ่าน



ภาพประกอบ 106 มาตรฐานการสูญเสียย้อนกลับ

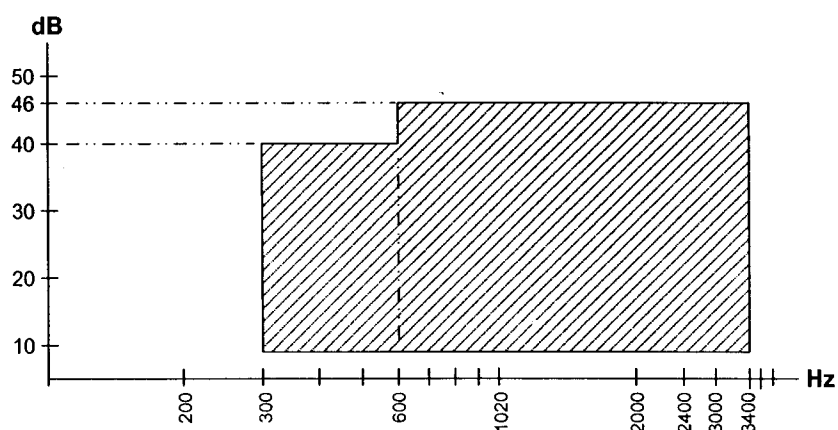
3.1.3 ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว(Longitudinal Conversion Loss) ในช่วงความถี่ 600-3400 Hz ไม่น้อยกว่า 46dB

มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 46dB

หมายถึง ผ่าน

มีค่าน้อยกว่า 46dB

หมายถึง ไม่ผ่าน



ภาพประกอบ 107 มาตรฐานการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว

3.1.4 อัตราขยาย(Gain) ปรับได้ตั้งแต่ -8dB ถึง +7dB

มีค่าผิดพลาดไม่เกิน $\pm 0.5\text{dB}$	หมายถึง ผ่าน
มีค่าผิดพลาดเกิน $\pm 0.5\text{dB}$	หมายถึง ไม่ผ่าน

3.1.5 สัญญาณรบกวน(Noise) น้อยกว่า - 65dB

มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ - 65dB	หมายถึง ผ่าน
มีค่ามากกว่า - 65dB	หมายถึง ไม่ผ่าน

3.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแต่ ละชนิดตามมาตรฐานองค์การบริหารการบินสหรัฐอเมริกา(Federal Aviation Administration หรือ FAA) ดังนี้

3.2.1 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์

3.2.1.1 ใช้เวลาในการตอบสนอง

น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.3 วินาที	หมายถึง ผ่าน
มากกว่า 0.3 วินาที	หมายถึง ไม่ผ่าน

3.2.1.2 มีความถูกต้องในการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสาร

มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 99.9	หมายถึง ผ่าน
น้อยกว่าร้อยละ 99.9	หมายถึง ไม่ผ่าน

3.2.2 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์

3.2.2.1 ใช้เวลาในการตอบสนอง

น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.3 วินาที	หมายถึง ผ่าน
มากกว่า 0.3 วินาที	หมายถึง ไม่ผ่าน

3.2.2.2 มีความถูกต้องในการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสาร

มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 99.9	หมายถึง ผ่าน
น้อยกว่าร้อยละ 99.9	หมายถึง ไม่ผ่าน

3.2.3 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น

3.2.3.1 ใช้เวลาในการตอบสนอง

น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.45 วินาที	หมายถึง ผ่าน
มากกว่า 0.45 วินาที	หมายถึง ไม่ผ่าน

3.2.3.2 มีความถูกต้องในการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสาร

มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 99.9	หมายถึง ผ่าน
น้อยกว่าร้อยละ 99.9	หมายถึง ไม่ผ่าน

3.2.4 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ

3.2.4.1 ใช้เวลาในการตอบสนองทางด้านส่ง

น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.07 วินาที	หมายถึง ผ่าน
มากกว่า 0.07 วินาที	หมายถึง ไม่ผ่าน

3.2.4.2 มีความถูกต้องในการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารทางด้านส่ง

มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 99.99	หมายถึง ผ่าน
น้อยกว่าร้อยละ 99.99	หมายถึง ไม่ผ่าน

3.2.4.3 ใช้เวลาในการตอบสนองทางด้านรับ

น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.2 วินาที	หมายถึง ผ่าน
มากกว่า 0.2 วินาที	หมายถึง ไม่ผ่าน

3.2.4.4 มีความถูกต้องในการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารทางด้านรับ

มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 99.9	หมายถึง ผ่าน
น้อยกว่าร้อยละ 99.9	หมายถึง ไม่ผ่าน

4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับค่าความถูกต้องในการเชื่อมต่อของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง 4 ชนิด คือ ค่าร้อยละ

$$\text{ค่าร้อยละ} = \frac{\text{ตัวเลขที่ต้องการเปรียบเทียบ} \times 100}{\text{จำนวนเต็ม}}$$

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพได้แบ่งออกเป็น 2 ด้านตามลำดับดังนี้

1. ประสิทธิภาพด้านคุณลักษณะทางไฟฟ้า
2. ประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำงาน

ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้านคุณลักษณะทางไฟฟ้า

การทดสอบประสิทธิภาพด้านคุณลักษณะทางไฟฟ้าของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง ทั้ง 4 ชนิด ประกอบด้วย การตอบสนองความถี่ทางด้านส่ง การตอบสนองความถี่ทางด้านรับ การสูญเสียย้อนกลับ ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว อัตราขยายทางด้านส่ง อัตราขยายทางด้านรับ และสัญญาณรบกวน ซึ่งผลการศึกษาในส่วนนี้ได้แสดงไว้ในตาราง 1-7

ตาราง 1 การตอบสนองความถี่ทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด

ความถี่ (Hz)	การตอบสนองความถี่ทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ			
	โทรศัพท์ (dB)	ตู้สาขา (dB)	ช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น (dB)	เครื่องรับส่งวิทยุ (dB)
300	-0.15	-1.88	0	0
400	-0.10	-1.20	+0.01	+0.01
500	-0.05	-0.73	+0.01	+0.01
600	0	-0.43	+0.01	+0.01
700	0	-0.23	0	+0.01
800	0	-0.10	0	+0.01
900	0	-0.02	0	+0.01
1020*	0	0	0	0
2000	+0.05	-0.38	-0.14	-0.13
2400	+0.05	-0.55	-0.25	-0.22
3000	+0.05	-0.72	-0.43	-0.38
3400	+0.05	-0.78	-0.54	-0.51
3600	+0.05	-0.80	-0.62	-0.58
ค่าเบี่ยงเบน	-0.15 ถึง +0.05	-1.88 ถึง 0.00	-0.62 ถึง +0.01	-0.58 ถึง +0.01
สรุปผล	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

* ความถี่ 1020 Hz เป็นความถี่อ้างอิง

จากตาราง 1 แสดงว่าวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขามีการลดทอนของสัญญาณในช่วงความถี่ต่ำและสูง คือที่ความถี่ 300Hz มีการลดทอนลง 1.88dB และที่ความถี่ 3600Hz มีการลดทอนลง 0.80dB ส่วนวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และเครื่องรับส่งวิทยุมีการลดทอนของสัญญาณในช่วงความถี่สูง คือที่ความถี่ 3600Hz มีการลดทอนลง 0.62dB และ 0.58dB ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 1 ได้ค่าประสิทธิภาพในการตอบสนองความถี่ทางด้านส่งสำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน(ภาคผนวก จ)

ตาราง 2 การตอบสนองความถี่ทางด้านรับของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด

ความถี่ (Hz)	การตอบสนองความถี่ทางด้านรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ			
	โทรศัพท์ (dB)	ตู้สาขา (dB)	ช่องสื่อสาร แบบ 4 เส้น (dB)	เครื่องรับส่งวิทยุ (dB)
300	+0.15	-1.00	+0.04	+0.05
400	+0.20	-0.45	+0.05	+0.05
500	+0.20	-0.20	+0.05	+0.05
600	+0.30	-0.10	+0.05	+0.05
700	+0.30	0	+0.04	+0.05
800	+0.35	0	+0.02	+0.02
900	+0.35	0	0	+0.02
1020*	0	0	0	0
2000	+0.05	-0.50	-0.25	-0.20
2400	+0.05	-0.70	-0.35	-0.30
3000	+0.05	-0.90	-0.55	-0.50
3400	+0.05	-1.00	-0.75	-0.65
3600	+0.05	-1.00	-0.85	-0.75
ค่าเบี่ยงเบน	0.00 ถึง +0.35	-1.00 ถึง 0.00	-0.85 ถึง +0.05	-0.75 ถึง +0.05
สรุปผล	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

* ความถี่ 1020 Hz เป็นความถี่อ้างอิง

จากตาราง 2 แสดงว่าวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา มีการลดทอนของสัญญาณในช่วงความถี่ต่ำและสูง คือที่ความถี่ 300Hz มีการลดทอนลง 1.00dB และที่ความถี่ 3600Hz มีการลดทอนลง 1.00dB ส่วนวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และเครื่องรับส่งวิทยุ มีการลดทอนของสัญญาณในช่วงความถี่สูง คือที่ความถี่ 3600Hz มีการลดทอนลง 0.85dB และ 0.75dB ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 2 ได้ค่าประสิทธิภาพในการตอบสนองความถี่ทางด้านรับสำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน(ภาคผนวก จ)

ตาราง 3 การสูญเสียย้อนกลับของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด

ความถี่ (Hz)	การสูญเสียย้อนกลับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ			
	โทรศัพท์ (dB)	ตู้สาขา (dB)	ช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น (dB)	เครื่องรับส่งวิทยุ (dB)
300	40.92	28.87	28.75	27.89
400	40.92	30.75	28.18	27.47
500	40.92	32.40	27.66	27.07
600	40.92	33.56	27.07	26.61
700	40.92	34.42	26.56	26.23
800	40.92	35.39	26.07	25.81
900	40.92	35.91	25.53	25.40
1020	40.00	36.48	24.94	24.91
2000	38.42	34.42	21.05	21.38
3000	38.42	32.40	18.27	18.68
3400	37.08	31.70	17.39	17.80
ค่าต่ำที่สุด	37.08	28.87	17.39	17.80
สรุปผล	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

จากตาราง 3 แสดงว่าวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ ช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และเครื่องรับส่งวิทยุ มีค่าการสูญเสียย้อนกลับลดลงในช่วงความถี่สูง คือที่ความถี่ 3400Hz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ 17.39dB และ 17.80dB ตามลำดับ ส่วนวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา มีค่าการสูญเสียย้อนกลับสูงในช่วงความถี่กลาง คือที่ความถี่ 1020Hz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ 36.48dB

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 3 ได้ค่าประสิทธิภาพในการสูญเสียย้อนกลับสำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน(ภาคผนวก จ)

ตาราง 4 การสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด

ความถี่ (Hz)	การสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ			
	โทรศัพท์ (dB)	ตู้สาขา (dB)	ช่องสื่อสาร แบบ 4 เส้น (dB)	เครื่องรับส่งวิทยุ (dB)
300	50.93	61.80	55.39	54.89
400	54.07	62.50	55.39	54.89
500	56.14	62.36	55.39	54.89
600	56.83	61.80	55.39	54.89
700	57.20	61.41	55.39	54.89
800	57.59	60.92	55.39	54.89
900	57.86	60.45	55.39	54.89
1020	57.72	60.00	54.89	54.89
2000	58.56	55.92	53.15	53.98
3000	59.49	52.35	52.77	52.40
3400	60.00	51.10	52.77	52.40
ค่าต่ำที่สุด	50.93	51.10	52.77	52.40
สรุปผล	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

จากตาราง 4 แสดงว่าวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ มีค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวต่ำในช่วงความถี่ต่ำ และมีค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวสูงในช่วงความถี่สูง คือที่ความถี่ 300Hz มีค่า 50.93dB และที่ความถี่ 3400Hz มีค่า 60.00dB ส่วนวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขามีค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวสูงในช่วงความถี่ต่ำ และมีค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวต่ำในช่วงความถี่สูง คือที่ความถี่ 300Hz มีค่า 61.80dB และที่ความถี่ 3400Hz มีค่า 51.10dB

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 4 ได้ค่าประสิทธิภาพในการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวสำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน(ภาคผนวก จ)

ตาราง 5 อัตราขยายทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด

การปรับ อัตราขยาย (dB)	อัตราขยายทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ			
	โทรศัพท์ (dB)	ตู้สาขา (dB)	ช่องสื่อสาร แบบ 4 เส้น (dB)	เครื่องรับส่งวิทยุ (dB)
-8	-8.05	-8.10	-8.15	-8.13
-7	-7.05	-7.10	-7.12	-7.10
-6	-6.10	-6.10	-6.16	-6.13
-5	-5.05	-5.10	-5.13	-5.13
-4	-4.10	-4.10	-4.13	-4.12
-3	-3.05	-3.10	-3.10	-3.11
-2	-2.10	-2.10	-2.13	-2.11
-1	-1.10	-1.05	-1.10	-1.10
0	0	0	0	0
+1	+1.05	+1.00	+1.02	+1.02
+2	+2.00	+2.00	+1.99	+2.00
+3	+3.05	+3.00	+3.00	+3.02
+4	+4.00	+4.00	+4.01	+4.02
+5	+5.05	+5.05	+5.02	+5.04
+6	+6.00	+6.00	+6.01	+6.02
+7	+7.40	+7.05	+7.02	+7.04
ค่าเบี่ยงเบน	-0.10 ถึง +0.40	-0.10 ถึง +0.05	-0.16 ถึง +0.02	-0.13 ถึง +0.04
สรุปผล	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

จากตาราง 5 แสดงว่าวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ มีค่าความผิดพลาดในการปรับอัตราขยายทางด้านส่งสูงสุดที่ตำแหน่ง +7dB คือมีอัตราขยาย +7.40dB มีค่าความผิดพลาด +0.40dB

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 5 ได้ค่าประสิทธิภาพในการปรับอัตราขยายทางด้านส่งสำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน(ภาคผนวก จ)

ตาราง 6 อัตราขยายทางด้านรับของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด

การปรับ อัตราขยาย (dB)	อัตราขยายทางด้านรับของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ			
	โทรศัพท์ (dB)	ตู้สาขา (dB)	ช่องสื่อสาร แบบ 4 เส้น (dB)	เครื่องรับส่งวิทยุ (dB)
-8	-8.10	-8.25	-8.15	-8.10
-7	-7.05	-7.21	-7.00	-7.00
-6	-6.10	-6.24	-6.15	-6.10
-5	-5.05	-5.20	-5.00	-5.00
-4	-4.10	-4.19	-4.10	-4.10
-3	-3.05	-3.15	-3.00	-3.00
-2	-2.10	-2.17	-2.10	-2.10
-1	-1.05	-1.13	-1.00	-1.00
0	0	0	0	0
+1	+1.00	+1.05	+1.10	+1.10
+2	+2.00	+2.04	+2.00	+2.00
+3	+3.00	+3.08	+3.10	+3.05
+4	+4.00	+4.11	+4.00	+4.00
+5	+5.00	+5.15	+5.10	+5.10
+6	+6.00	+6.11	+6.00	+6.00
+7	+7.00	+7.00	+7.10	+7.10
ค่าเบี่ยงเบน	-0.10 ถึง -0.05	-0.25 ถึง +0.15	-0.15 ถึง +0.10	-0.10 ถึง +0.10
สรุปผล	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

จากตาราง 6 แสดงว่าวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา มีค่าความผิดพลาดในการปรับอัตราขยายทางด้านรับสูงสุดที่ตำแหน่ง -8dB คือมีอัตราขยาย -8.25 มีค่าความผิดพลาด -0.25dB

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 6 ได้ค่าประสิทธิภาพในการปรับอัตราขยายทางด้านรับสำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน(ภาคผนวก จ)

ตาราง 7 สัญญาณรบกวนของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด

สัญญาณรบกวนของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ			
โทรศัพท์ (dBm)	ตู้สาขา (dBm)	ช่องสื่อสาร แบบ 4 เส้น (dBm)	เครื่องรับส่งวิทยุ (dBm)
-81	-77	-84	-84

จากตาราง 7 แสดงว่าวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และเครื่องรับส่งวิทยุ มีระดับสัญญาณรบกวนต่ำที่สุดคือ -84dBm และวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา มีระดับสัญญาณรบกวนสูงที่สุดคือ -77dBm

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 7 ได้ค่าประสิทธิภาพของระดับสัญญาณรบกวนสำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำงาน

การทดสอบประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด ประกอบด้วย เวลาในการตอบสนองทางด้านส่งและรับ และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่งและรับ ซึ่งผลการศึกษาในส่วนนี้ได้แสดงไว้ในตาราง 8-9

ตาราง 8 เวลาในการตอบสนองของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด

เวลาในการ ตอบสนอง	วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ			
	โทรศัพท์ (วินาที)	ตู้สาขา (วินาที)	ช่องสื่อสาร แบบ 4 เส้น (วินาที)	เครื่องรับส่งวิทยุ (วินาที)
ทางด้านส่ง	0.038	0.0008	0.0005	0.00053
ทางด้านรับ	0.0015	0.033	0.00013	0.00015

จากตาราง 8 แสดงว่าวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ใช้เวลาในการตอบสนองการทำงานทางด้านส่งสูงที่สุดคือ 0.038 วินาที และวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น ใช้เวลาในการตอบสนองการทำงานทางด้านรับต่ำที่สุดคือ 0.00013 วินาที

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 8 ได้ค่าประสิทธิภาพของเวลาในการตอบสนองสำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ตาราง 9 ความถูกต้องในการเชื่อมต่อ ของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด

ความถูกต้อง ในการเชื่อมต่อ	วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับ			
	โทรศัพท์ (ร้อยละ)	ตู้สาขา (ร้อยละ)	ช่องสื่อสาร แบบ 4 เส้น (ร้อยละ)	เครื่องรับส่งวิทยุ (ร้อยละ)
ทางด้านส่ง	> 99.9	> 99.9	> 99.9	> 99.99
ทางด้านรับ	> 99.9	> 99.9	> 99.9	> 99.9

จากตาราง 9 แสดงว่าวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ ตู้สาขา และช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น ได้ทำการทดสอบการเชื่อมต่อ 1,000 ครั้ง มีความถูกต้องร้อยละ 100 ส่วนวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ ทำการทดสอบการเชื่อมต่อ 10,000 ครั้ง มีความถูกต้องร้อยละ 100

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 9 ได้ค่าประสิทธิภาพของความถูกต้องในการเชื่อมต่อสำหรับวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

บทที่ 5

สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ มีข้อสรุปการศึกษาค้นคว้า อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ดังนี้

ความมุ่งหมาย สมมุติฐาน และวิธีการศึกษาค้นคว้า

ความมุ่งหมายในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองในการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ

สมมุติฐานในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศนี้ จะได้มาตรฐานตามที่สหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ และองค์การบริหารการบินสหรัฐอเมริกา กำหนด

วิธีการศึกษาค้นคว้า ได้ทำการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง จากเอกสาร งานวิจัย อินเทอร์เน็ต คู่มือการใช้งาน คู่มือทางเทคนิคต่างๆ สำหรับใช้ในการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ อุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองประกอบด้วย วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ ส่วนที่สองคือคู่มือทดสอบการทำงานประกอบด้วย หัวข้อทั่วไป การปรับแต่งวงจรแปลงสัญญาณ เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ วงจรสำหรับการทดสอบ และตารางบันทึกผลการทดสอบ ทำการตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ เมื่อแก้ไขปรับปรุงเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแล้ว จึงทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานโดยจัดเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ต่อวงจรตามวิธีการในคู่มือทดสอบการทำงาน ป้อนสัญญาณตามที่กำหนดในคู่มือทดสอบการทำงาน ทำการวัดค่าต่างๆ ตามที่กำหนด และบันทึกผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพ ด้วยการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับค่ามาตรฐานตามที่สหภาพโทรคมนาคมนานาชาติกำหนดโดยแบ่งออกเป็น 2 ด้านคือ ทางด้านคุณลักษณะทางไฟฟ้า คือ การตอบสนองความถี่ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว อัตราขยาย และสัญญาณรบกวน และทางด้านความสามารถในการทำงานคือ เวลาในการตอบสนองและความถูกต้องของการเชื่อมต่อ

สรุปผลการศึกษาค้นคว้า

1. การศึกษาประสิทธิภาพด้านคุณลักษณะทางไฟฟ้าของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด ประกอบด้วย การตอบสนองความถี่ทางด้านรับส่ง การสูญเสียย้อนกลับ การสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว อัตราขยายทางด้านรับส่ง และสัญญาณรบกวน ได้ผลดังนี้

1.1 การตอบสนองความถี่ทางด้านรับส่ง ในช่วงความถี่ 300 -3400 Hz มีค่าอยู่ในขอบเขตตามที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานการวิจัย คือ

วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ และตู้สาขา

ที่ช่วงความถี่ 300 ถึง 400Hz มีค่า -1.88 ถึง +0.20dB ไม่เกินมาตรฐานคือ -2.0 ถึง +0.6dB

ช่วงความถี่ 400 ถึง 600Hz มีค่า -1.20 ถึง +0.30dB ไม่เกินมาตรฐานคือ -1.5 ถึง +0.6dB

ช่วงความถี่ 600 ถึง 2400Hz มีค่า -0.70 ถึง +0.35dB ไม่เกินมาตรฐานคือ -0.7 ถึง +0.6dB

ช่วงความถี่ 2400 ถึง 3000Hz มีค่า -0.90 ถึง +0.05dB ไม่เกินมาตรฐานคือ -1.1 ถึง +0.6dB

ช่วงความถี่ 3000 ถึง 3400Hz มีค่า -1.00 ถึง +0.05dB ไม่เกินมาตรฐานคือ -3.0 ถึง +0.6dB

วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และเครื่องรับส่งวิทยุ

ที่ช่วงความถี่ 300 ถึง 2400Hz มีค่า -0.35 ถึง +0.05dB ไม่เกินมาตรฐานคือ -0.5 ถึง +0.5dB

ช่วงความถี่ 2400 ถึง 3000Hz มีค่า -0.55 ถึง -0.22dB ไม่เกินมาตรฐานคือ -0.9 ถึง +0.5dB

ช่วงความถี่ 3000 ถึง 3400Hz มีค่า -0.75 ถึง -0.38dB ไม่เกินมาตรฐานคือ -1.8 ถึง +0.5dB

1.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ช่วงความถี่ 500 ถึง 2000Hz มีค่า 21.05dB ค่ามาตรฐานคือมากกว่า18dB สอดคล้องกับสมมุติฐานการวิจัย

1.3 ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว ที่ช่วงความถี่ 600 ถึง 3400 Hz มีค่า 50.93dB ค่ามาตรฐานคือ มากกว่า 46dB สอดคล้องกับสมมุติฐานการวิจัย

1.4 อัตราขยายปรับได้ตั้งแต่ -8dB ถึง +7dB มีค่าผิดพลาด -0.25 ถึง +0.40dB ค่ามาตรฐานคือ น้อยกว่า ± 0.5 dB สอดคล้องกับสมมุติฐานการวิจัย

1.5 สัญญาณรบกวน มีค่า -77dB ค่ามาตรฐานคือ น้อยกว่า -65dB สอดคล้องกับสมมุติฐานการวิจัย

2. การศึกษาประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด ประกอบด้วย เวลาในการตอบสนองทางด้านส่งและรับ และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่งและรับ ได้ผลดังนี้

2.1 เวลาในการตอบสนองทางด้านส่งและรับของ

2.1.1 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ใช้เวลาในการตอบสนองการทำงาน 0.038 วินาที ค่ามาตรฐานคือ ไม่เกิน 0.3 วินาที

2.1.2 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาใช้เวลาในการตอบสนองการทำงาน 0.033 วินาที ค่ามาตรฐานคือ ไม่เกิน 0.3 วินาที

2.1.3 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้นใช้เวลาในการตอบสนองการทำงาน 0.0005 วินาที ค่ามาตรฐานคือ ไม่เกิน 0.45 วินาที

2.1.4 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุใช้เวลาในการตอบสนองการทำงาน 0.00053 วินาที ค่ามาตรฐานคือ ไม่เกิน 0.07 วินาที

2.2 ความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่งและรับของ

2.2.1 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์มีความถูกต้องในการเชื่อมต่อมากกว่าร้อยละ 99.9 ตามที่มาตรฐานกำหนด

2.2.2 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาที่มีความถูกต้องในการเชื่อมต่อมากกว่าร้อยละ 99.9 ตามที่มาตรฐานกำหนด

2.2.3 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้นมีความถูกต้องในการเชื่อมต่อมากกว่าร้อยละ 99.9 ตามที่มาตรฐานกำหนด

2.2.4 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุมีความถูกต้องในการเชื่อมต่อมากกว่าร้อยละ 99.99 ตามที่มาตรฐานกำหนด

ประสิทธิภาพด้านคุณลักษณะทางไฟฟ้า และด้านความสามารถในการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิดอยู่ในเกณฑ์ที่สหภาพโทรคมนาคมนานาชาติกำหนดไว้ แสดงว่าอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด สอดคล้องกับสมมุติฐานสามารถนำอุปกรณ์แปลงสัญญาณไปเชื่อมต่อระหว่างชุดสื่อสารจำลองกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ เพื่อใช้ในงานควบคุมจราจรทางอากาศได้

อภิปรายผล

จากการออกแบบและสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ อภิปรายผลได้ ดังนี้

1. ผลการตอบสนองความถี่ทั้งทางด้านส่งและรับของวงจรแปลงสัญญาณทั้ง 4 ชนิด มีค่าอยู่ในขอบเขตตามที่มาตรฐานกำหนด แต่ลักษณะการตอบสนองความถี่ของวงจรแปลงสัญญาณแต่ละชนิดมีลักษณะแตกต่างกัน เนื่องจากการใช้ทรานส์ฟอร์มเมอร์เพื่อทำหน้าที่เหนี่ยวนำสัญญาณ และแยกกราวด์ของวงจรกับระบบสื่อสารออกจากกัน จะเห็นได้จากวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ซึ่งไม่ใช้ทรานส์ฟอร์มเมอร์ในการเหนี่ยวนำสัญญาณจะมีการตอบสนองความถี่คงที่ ส่วนวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ นั้น มีการใช้ทรานส์ฟอร์มเมอร์ในการเหนี่ยวนำสัญญาณ จึงทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณในช่วงความถี่ต่ำและสูง เป็นไปตามคุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) คือ คาร์แอคแตนซ์ (X_L) ของทรานส์ฟอร์มเมอร์ (ตัวเหนี่ยวนำ) จะแปรผันตามค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance) กับความถี่ และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ตามกฎของโอห์ม นั่นคือ จำนวนกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับค่าแรงดันส่วนคาร์แอคแตนซ์ จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะได้ว่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ของสัญญาณที่ป้อนให้ (สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว, 2539 : 86-88) อธิบายได้ว่าเมื่อมีการป้อนสัญญาณให้กับ ทรานส์ฟอร์มเมอร์ที่ความถี่เพิ่มสูงขึ้น คาร์แอคแตนซ์ (X_L) ของทรานส์ฟอร์มเมอร์ก็จะสูงขึ้น กระแสที่ไหลผ่านทรานส์ฟอร์มเมอร์จึงลดลงและทำให้การเหนี่ยวนำสัญญาณก็ลดลงตามไปด้วย เป็นสาเหตุของการลดทอนของสัญญาณในช่วงความถี่สูง

2. การสูญเสียย้อนกลับของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด มีค่าอยู่ในสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด แต่ก็มีลักษณะแตกต่างกันซึ่งมีสาเหตุจากการใช้ทรานส์ฟอร์มเมอร์ในการเหนี่ยวนำสัญญาณเช่นกัน จะเห็นได้จากวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ซึ่งไม่ใช้ทรานส์ฟอร์มเมอร์จะมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่ต่างๆ ค่อนข้างคงที่ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ ซึ่งใช้ทรานส์ฟอร์มเมอร์จะมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่ต่างๆ เปลี่ยนแปลงไปตามคุณสมบัติ

ของตัวเหนี่ยวนำ(Inductor) คือค่ารีแอ็กแตนซ์(X_L) ของทรานส์ฟอร์มเมอร์(ตัวเหนี่ยวนำ) จะแปรผันตามค่าความเหนี่ยวนำ(Inductance) กับความถี่ (สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. 2539 : 86-88) เมื่อมีการป้อนสัญญาณที่มีความถี่ต่างๆ จะทำให้ค่ารีแอ็กแตนซ์ของทรานส์ฟอร์มเมอร์จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความถี่ ซึ่งค่ารีแอ็กแตนซ์ที่จะทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับสูงที่สุดคือ 600 โอห์ม อธิบายได้ว่าค่ารีแอ็กแตนซ์ของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ นั้น มีค่าสูงกว่า 600 โอห์ม และจะมีค่าเข้าใกล้ 600 โอห์มเมื่อความถี่ลดลง จะสังเกตได้จากเมื่อความถี่ลดลง การสูญเสียย้อนกลับจะมีค่าเพิ่มขึ้น

3. สัญญาณรบกวนของวงจรแปลงสัญญาณทั้ง 4 ชนิดมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด แต่วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ และวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขานั้น จะมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่า วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนี้ส่วนหนึ่งเกิดจากการถูกรบกวนจากภายนอก และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากภายใน ได้แก่ สัญญาณรบกวนในตัวนำ (Thermal Noise in Conductor) สัญญาณรบกวนที่เกิดจากตัวต้านทาน อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ในการลดสัญญาณรบกวนนี้ได้มีการใช้กลองโลหะในการป้องกันการรบกวนจากภายนอก การลดระยะทางการเดินสายภายในวงจรให้สั้นลง การแยกระบบกราวด์ของอุปกรณ์กับระบบภายนอก (Horowitz & Hill. 1989 : 428-466) ส่วนสาเหตุที่วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ และวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา มีระดับสัญญาณรบกวนสูงกวานั้น อธิบายได้ว่าวงจรแปลงสัญญาณทั้งสองมีการใช้จำนวนอุปกรณ์มากกว่า มีการเดินสายภายในมากกว่า จึงทำให้มีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่า

4. การสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวของวงจรแปลงสัญญาณทั้ง 4 ชนิด มีค่าอยู่ในสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด การวัดการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวนี้ มีลักษณะคล้ายการวัดค่าอัตราส่วนคอมมอนโหมด(Common-Mode Rejection Ratio) ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างระดับสัญญาณที่ป้อนเข้าต่อระดับสัญญาณที่ตกคร่อมคู่สาย (Gayler. 1989 : 165) โดยปกติแล้วระดับสัญญาณที่ตกคร่อมคู่สายจะมีค่าต่ำมาก แต่ในการวัดการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ และวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขา ซึ่งมีระดับสัญญาณรบกวนสูง จำเป็นต้องเพิ่มระดับสัญญาณที่ป้อนเข้าให้สูงขึ้น เพื่อให้ระดับสัญญาณตกคร่อมคู่สายที่ต้องการวัดมีค่าสูงกว่าระดับสัญญาณรบกวนและวัดสัญญาณที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง วิธีนี้เป็นการเพิ่มอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio) ให้สูงขึ้น (Horowitz & Hill. 1989 : 433)

5. การปรับอัตราขยายของวงจรแปลงสัญญาณทั้ง 4 ชนิด มีค่าผิดพลาดอยู่ในขอบเขตตามมาตรฐานกำหนด วงจรปรับอัตราขยายที่ใช้เป็นวงจรแบ่งแรงดัน 4 ชุด หลังจากวงจรแบ่งแรงดันแต่ละชุดจะต่อกับออปแอมป์เพื่อทำหน้าที่เป็นวงจรป้องกัน(Buffer) เพื่อให้วงจรแบ่งแรงดันทำงานได้อย่างถูกต้อง ในการป้องกันนี้ได้อาศัยคุณสมบัติโดยทั่วไปของออปแอมป์ซึ่งมีค่าความต้านทานภายในวงจรขาเข้าสูงมาก (Horowitz & Hill. 1989 : 178-179) อธิบายได้ว่าความต้านทานภายในออปแอมป์มีค่าสูงมาก เมื่อเทียบกับความต้านทานของวงจรแบ่งแรงดันซึ่งมีค่าต่ำแล้ว ทำให้กระแสที่ไหลผ่านออปแอมป์จึงมีค่าน้อยมาก กระแสเกือบทั้งหมดจึงไหลผ่านเฉพาะวงจรแบ่งแรงดัน จึงทำให้วงจรปรับอัตราขยายสามารถทำงานได้ถูกต้องตามที่มาตรฐานกำหนด

ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการใช้งาน และข้อพิจารณาสำหรับการปรับปรุงดังนี้

1. อุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ สามารถนำไปต่อใช้งานกับชุดสื่อสารจำลองให้เป็นระบบควบคุมการสื่อสารสำรองในกรณีระบบควบคุมการสื่อสารหลักเสียหายได้ ซึ่งอาจมีโอกาสนในการใช้งานอุปกรณ์แปลงสัญญาณค่อนข้างน้อย ดังนั้นเพื่อให้เกิดความคุ้นเคยกับการปฏิบัติงานหากเกิดเหตุฉุกเฉินสามารถให้บริการสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศดำเนินไปด้วยความต่อเนื่อง ปลอดภัย ควรจัดให้มีการฝึกซ้อมการปฏิบัติงานให้กับเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้น ตามระยะเวลาที่เหมาะสม

2. เนื่องจากอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองที่สร้างขึ้นนี้ ไม่มีไฟแสดงการทำงาน เช่น แสดงว่าไมโครโปรเซสเซอร์ของวงจรแปลงสัญญาณกำลังทำงาน หรือไฟเตือนเมื่อเกิดข้อขัดข้อง สำหรับตรวจสอบการทำงานและวิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้น ดังนั้นเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าอุปกรณ์แปลงสัญญาณมีการทำงานเป็นปกติ จึงควรมีการทดสอบการทำงาน หรือทดลองใช้งาน อย่างสม่ำเสมอ

3. อุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศนี้ สามารถนำไปใช้เป็นระบบควบคุมการสื่อสารร่วมสำหรับใช้กับสนามบินขนาดเล็กได้

4. การปรับปรุงให้ผลการตอบสนองความถี่ดีขึ้น และการสูญเสียย้อนกลับสูงขึ้น สำหรับวงจรที่มีการใช้ทรานส์ฟอเมอร์ในการเหนี่ยวนำสัญญาณ ควรพิจารณาถึงคุณสมบัติของ ทรานส์ฟอเมอร์ที่ใช้ต้องมีค่ารีแอคแตนซ์ และค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสม(Match) กับอุปกรณ์หรือระบบสื่อสารที่จะนำไปเชื่อมต่อและครอบคลุมช่วงความถี่ที่จะใช้งาน

5. การปรับปรุงการปรับอัตราขยายให้มีค่าผิดพลาดลดลง ต้องเพิ่มความแตกต่างระหว่างค่าความต้านทานของวงจรแบ่งแรงดันกับค่าความต้านทานภายในออปแอมป์ให้มากขึ้น เพื่อให้กระแสส่วนใหญ่ไหลผ่านเฉพาะวงจรแบ่งแรงดัน เช่น การลดค่าความต้านทานของวงจรแบ่งแรงดัน หรือใช้ออปแอมป์ชนิดเฟด

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

การใช้งานอุปกรณ์แปลงสัญญาณเป็นระบบควบคุมการสื่อสารสำรอง เมื่อระบบควบคุมการสื่อสารหลักเสียหายหรือเกิดเหตุฉุกเฉิน ช่วงที่ดูแลอุปกรณ์ต้องทำการพ่วงสายสัญญาณต่างๆ เข้ากับระบบสื่อสารและเปิดใช้งานอุปกรณ์ ก่อนที่เจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศจะเริ่มปฏิบัติงาน ซึ่งต้องใช้เวลาในการต่อสายสัญญาณ และอาจเกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ เพื่อให้เจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศสามารถปฏิบัติงานได้อย่างรวดเร็วเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน ควรมีวงจรตัดสายสัญญาณต่างๆ ออกจากระบบสื่อสาร ป้องกันการรบกวนระบบสื่อสารเดิมในขณะที่ไม่ได้ใช้งาน และต่อสายสัญญาณต่างๆ เข้ากับระบบสื่อสารเมื่อมีการเปิดใช้งานอุปกรณ์แปลงสัญญาณ หรือในอีกแนวทางคือ การพัฒนาให้อุปกรณ์แปลงสัญญาณสามารถต่อพ่วงกับระบบสื่อสารสำหรับการใช้งานปกติได้โดยไม่เกิดการรบกวน หรือการลดทอนของสัญญาณ และให้เจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศสามารถใช้งานได้ทันทีเมื่อระบบควบคุมการสื่อสารหลักเสียหาย

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- ณัฐกมล นาเมือง และ พิเชฐ ม่วงนวล. (2538). "การพัฒนาเครื่องต่อโทรศัพท์โดยไม่ผ่านโอเปอร์เรเตอร์," ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18. หน้า 472-479. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมศาสตร์.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- แดงระวี เพชรศรีทอง และ วิทยา วงศ์กนิษฐ์. (2538). "เครื่องคำนวณและบันทึกค่าโทรศัพท์," ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18. หน้า 538-541. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมศาสตร์.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- นัทธี ฉุยฉาย. (2542). การออกแบบและสร้างชุดควบคุมเชื่อมต่อระบบวิทยุสื่อสาร. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร.
- บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด. (2538) . รายงานภาระกิจบริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ : กองการเจ้าหน้าที่สวัสดิการ บริษัทฯ.
- . (2543). *Voice Communication Simulator (VCS 3802)* : คู่มือทางเทคนิค. กรุงเทพฯ : กองการผลิต. บริษัทฯ.
- . (2545ก). แผนวิสาหกิจฉบับที่ 9 ฉบับทบทวนครั้งที่ 1 ปี 2545-2554 . กรุงเทพฯ : บริษัทฯ.
- . (2545ข). *Integrated Communications Control System (Emergency) : Technical Manual*. กรุงเทพฯ : กองการผลิต. บริษัทฯ.
- . (2545?). 5 ทศวรรษ วิทยุการบินแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ : กองประชาสัมพันธ์ บริษัทฯ.
- . (สิงหาคม 2545ค). รายงานประจำเดือน. (Online). Available : <http://www.aerothai.or.th>.
- . (สิงหาคม 2545ง). รายงานประจำเดือนด้านวิศวกรรมจราจรทางอากาศ ประจำปีงบประมาณ 2544. (Online). Available : <http://www.aerothai.co.th>
- . (พฤศจิกายน 2546). บริการควบคุมจราจรทางอากาศ. (Online). Available : <http://www.aerothai.co.th>
- พิเชฐ ม่วงนวล และ วิโรจน์ พลสูงเนิน. (2537). "เครื่องชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติแบบไร้สาย," ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 17. หน้า 193-200. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมศาสตร์.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ราจวัน นกิตะภัก. (2540). กฎทางอากาศ และ การควบคุมการจราจร. กรุงเทพฯ : เนติกุลการพิมพ์.
- ศิริชัย บุญบงยาง และ วิโรจน์ พลสูงเนิน. (2538). "เครื่องบันทึกการใช้งานโทรศัพท์อัตโนมัติ," ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18. หน้า 548-555. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมศาสตร์.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. (2539). ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ : ประชาชน.

อภิชาติ งามวิลัย และ ศิริ ก้อนทอง. (2537). "การออกแบบชุดระบบเชื่อมต่อโทรศัพท์อัตโนมัติโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์," ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 17. หน้า 188-192.
กรุงเทพฯ : วิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Airports Council International. (2002, August). *Traffic Data*. (Online). Available :
<http://www.airports.org/traffic/latest.html>

Bellamy, John C. (2000). *Digital Telephony*. 3rd ed. New York : A Wiley-Interscience.

Federal Aviation Administration. (2002, August). *Voice Switching and Control System Training and Backup Switch*. (Online). Available :
www2.faa.gov/and/and300/and320/vscs/vtabs_spec1.pdf

Gayler, Winston D. (1989). *Telephone Voice Transmission : Standards and Measurment*. London : Prentice-Hall International.

Horowitz, Paul and Hill, Winfield. (1989). *The Art of Electronics*. 2nd ed. New York : Cambridge.

Housley, Trevor. (1987). *Datacommunication and Teleprocessing Systems*. 2nd ed. London : Prentice-Hall International.

International Civil Aviation Organization. (1984). *Air Traffic Services Planning Manual (Doc 9426-AN/924)*. United Kingdom : Greville House.

International Telecommunication Union. (1993). *ITU-T Rec. G.121 Loudness Ratings (LRs) of National Systems*. Geneva : Switzerland.

----- (1996). *ITU-T Rec. G.712 Transmission Performance Characteristics of Pulse Code Modulation Channels*. Geneva : Switzerland.

----- (1988). *ITU-T Rec. O.6 1020 Hz Reference Test Frequency*. Geneva : Switzerland.

----- (1996). *ITU-T Rec. Q.551 Transmission Characteristics of Digital Exchanges*. Geneva : Switzerland.

----- (1996). *ITU-T Rec. Q.552 Transmission Characteristics At 2-Wire Analogue Interfaces of Digital Exchanges*. Geneva : Switzerland.

----- (1996). *ITU-T Rec. Q.553 Transmission Characteristics At 4-Wire Analogue Interfaces of Digital Exchanges*. Geneva : Switzerland.

Johnson, Barry W. (1989). *Design and Analysis of Fault Tolerant Digital System*. New York : Addison-Wesley Publishing Company.

Putten, Anton F.P. van. (1988). *Electronic Measurement Systems*. London : Prentice-Hall International.

Talbot-Smith, Michael. (1994). *Audio Engineer's Reference Book*. Great Britain : Focal

Ward, Tony and Angus, James. (1996). *Electronic Product Design*. Great Britain : Alden.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
จดหมายขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๔ กรกฎาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการกองการผลิต บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด

เนื่องด้วย นายวิริยะ จรียวิทยานนท์ นายนิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “การออกแบบและสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองสำหรับเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายวัชรินทร์ สุรดิรางกุล ผู้จัดการงานบริหารทั่วไป นายกัมปนาท เรืองราวัน วิศวกรบริหารระบบ นายเกียรติศักดิ์ เจริญบุญ วิศวกรระบบอาวุโส นายชายเทพ รอดשוב วิศวกรระบบอาวุโส และ นายไกรวิทย์ แก่นสาร วิศวกรระบบอาวุโส เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมืออุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ให้ นายวิริยะ จรียวิทยานนท์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภกรรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

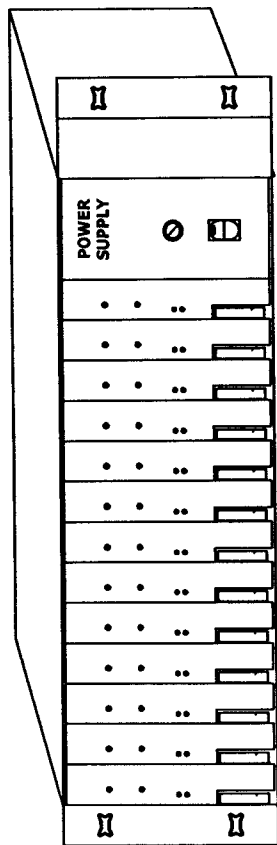
โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-2859232 มือถือ 01-8326870

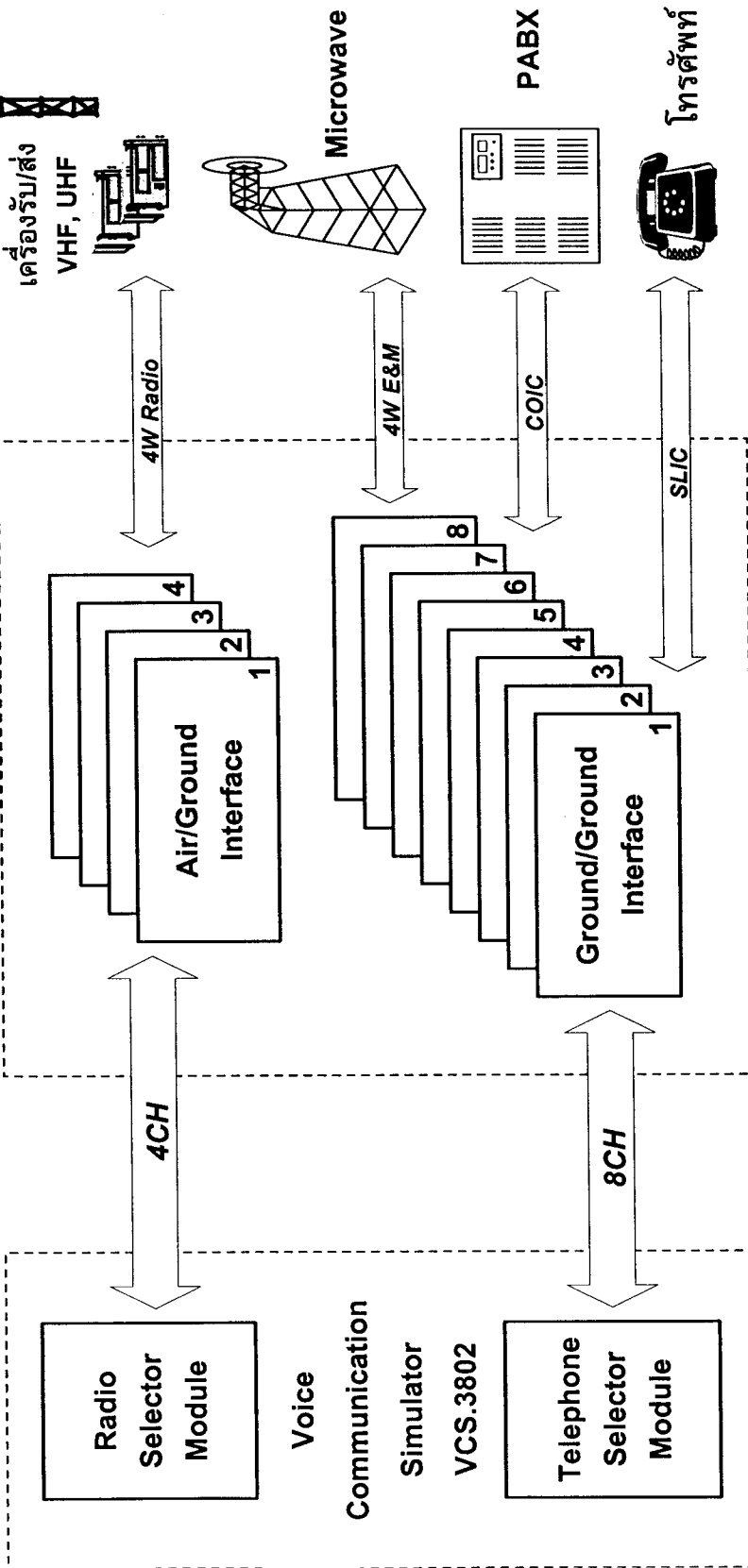
ภาคผนวก ข
โครงสร้าง และวงจร

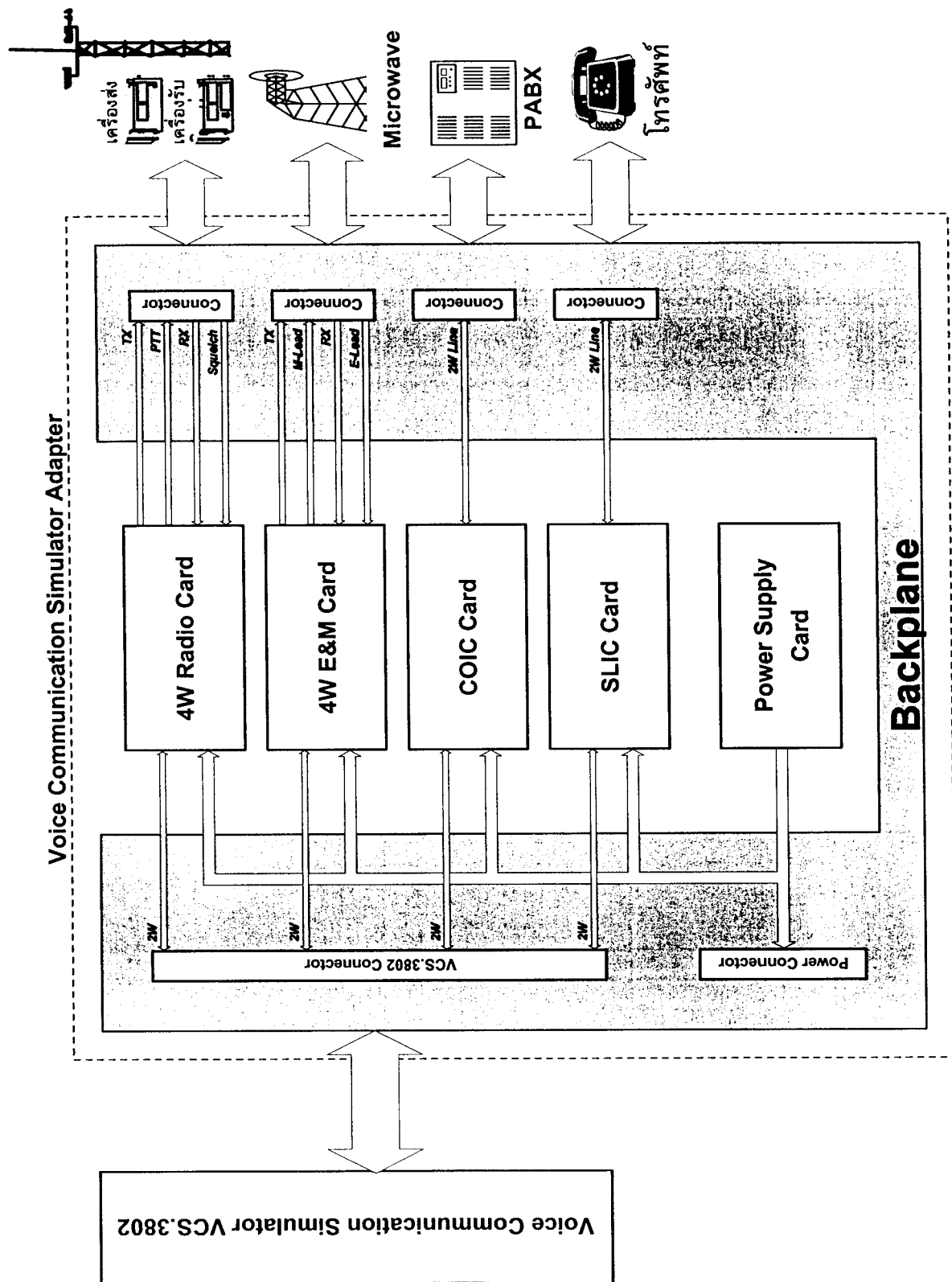


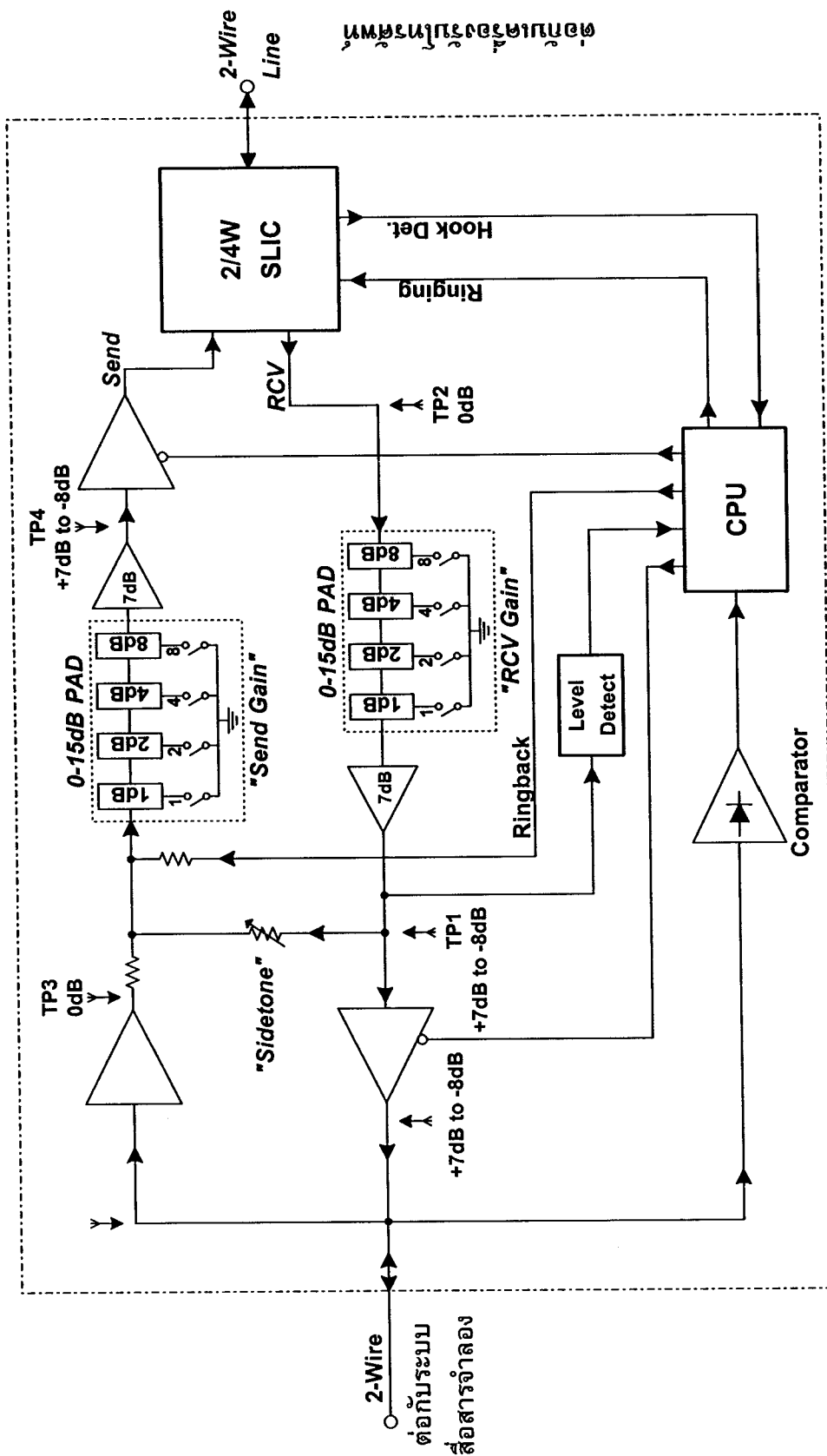
คอนโซลปฏิบัติการ
(Operator Console)



Voice Communication Simulator Adapter



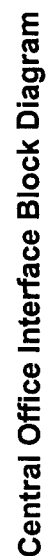


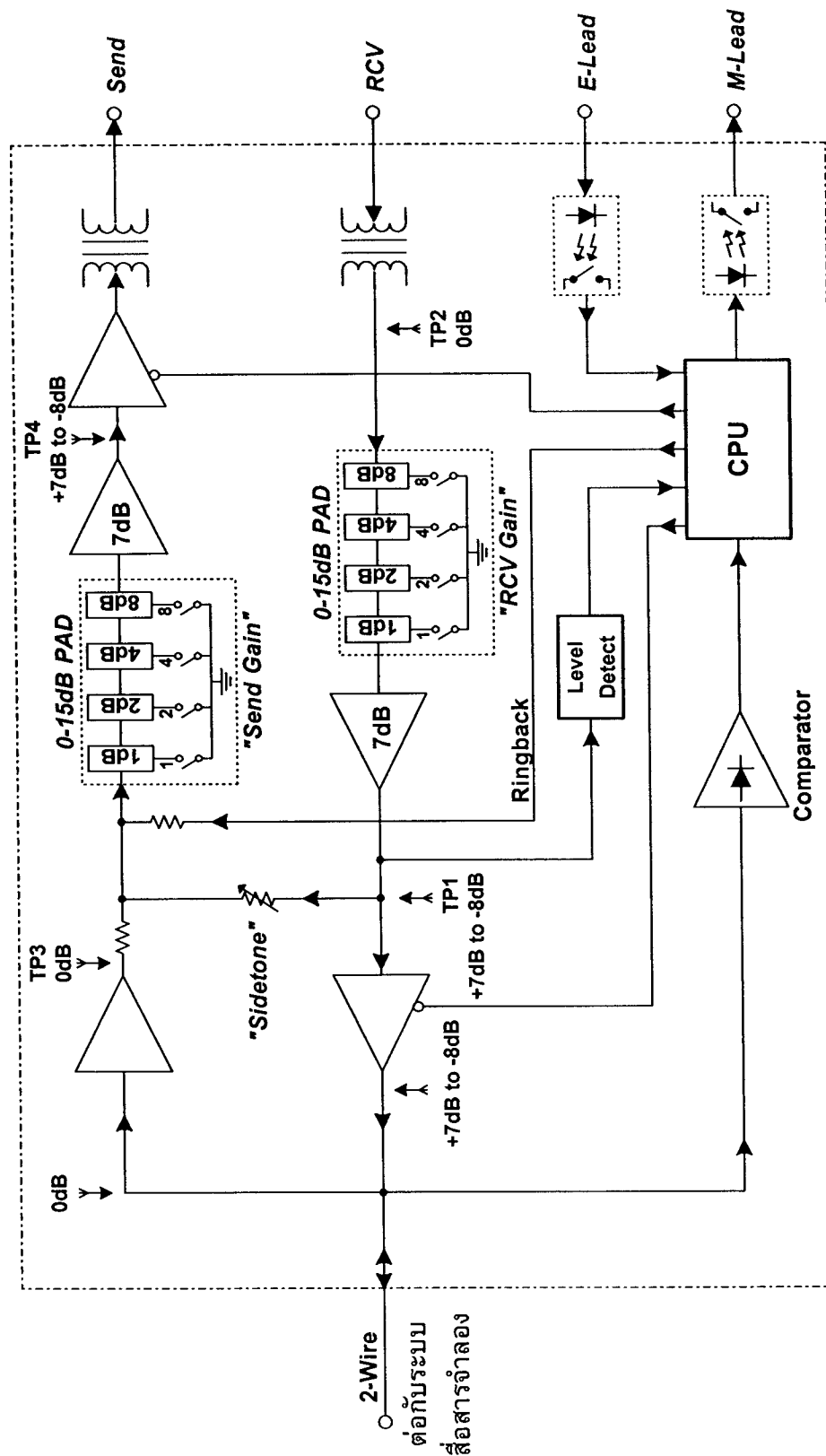


Subscriber Line Interface Block Diagram

Title: Subscriber Line Interface Block Diagram		Size: A	Rev: 2.0
Dwg No: G002/EMO1-SLICBD.2		Sheet: 1	of 1
Design by: J. Winye		Drawn by: J. Winye	Depicture
File: D:\My Documents\SW\Uthais (Emergency Unit) Rev02 Design & Build\Emergency Unit D01 - E		Date: 24-Oct-2003	

Checked by:	
Approved by:	





4W E&M Interface Block Diagram



For (Notation)

- (R) Use for 4W Radio Interface
- (E) Use for 4W EBM Interface
- (C) Use for COIC Interface
- (S) Use for SLIC Interface

If not Specified use for all Interface

C25 Omitted

Type (JP1)		Interface Type
Pin1&2	Pin3&4	
Disc.	Disc.	4W Radio (R)
Disc.	Jmp.	4W E&M (E)
Jmp.	Disc.	2W COIC (C)
Jmp.	Jmp.	2W SLIC (S)

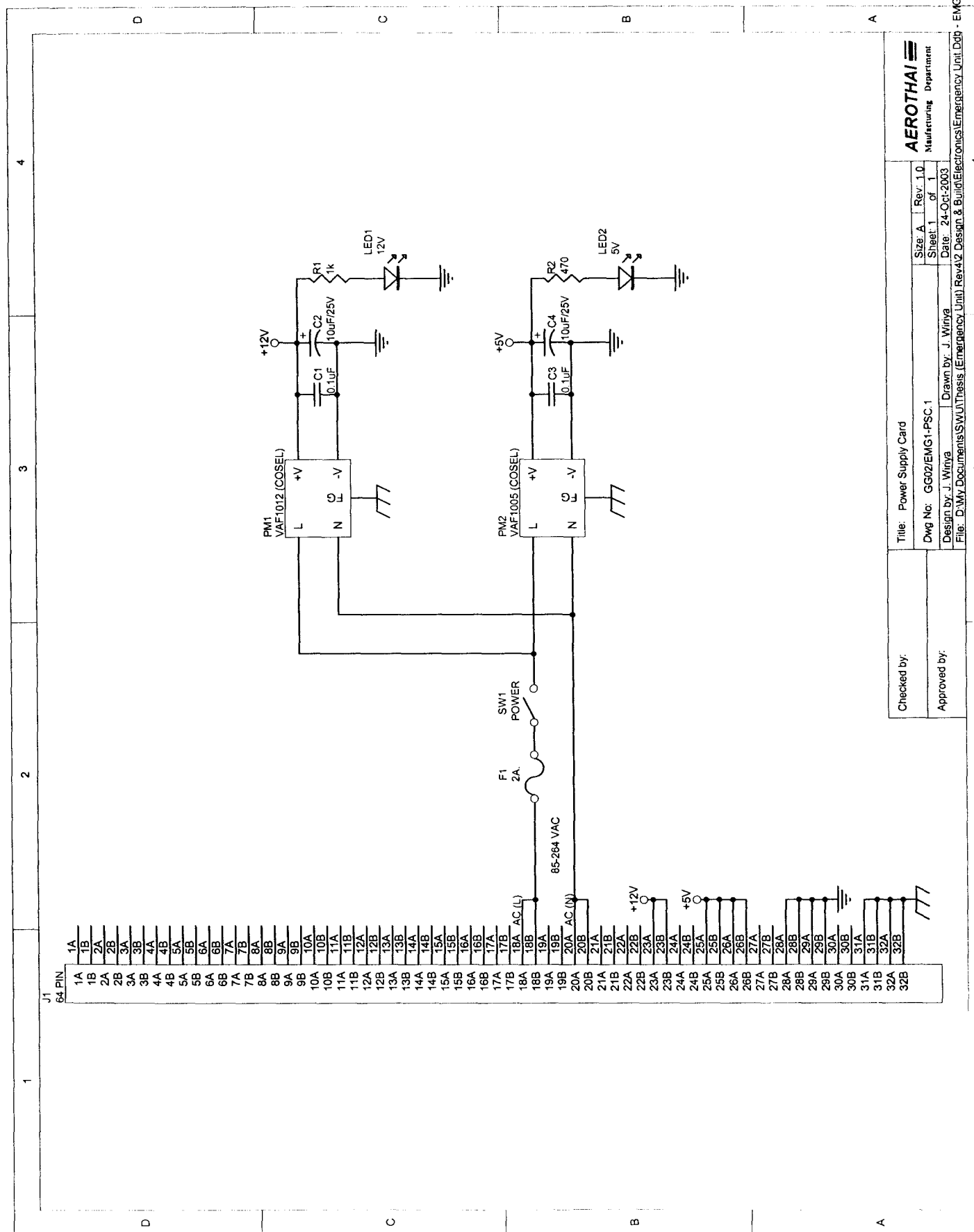
Pos 1	Off	Code Ring
	On	Voice Page

Level Detect (SW4)	Off	Not-use
Post2	On	Audio Detect

If not Specified use for all Interface type.

Checked by:	Title: Radio & Telephone Line Interface Card
-------------	--

--	--

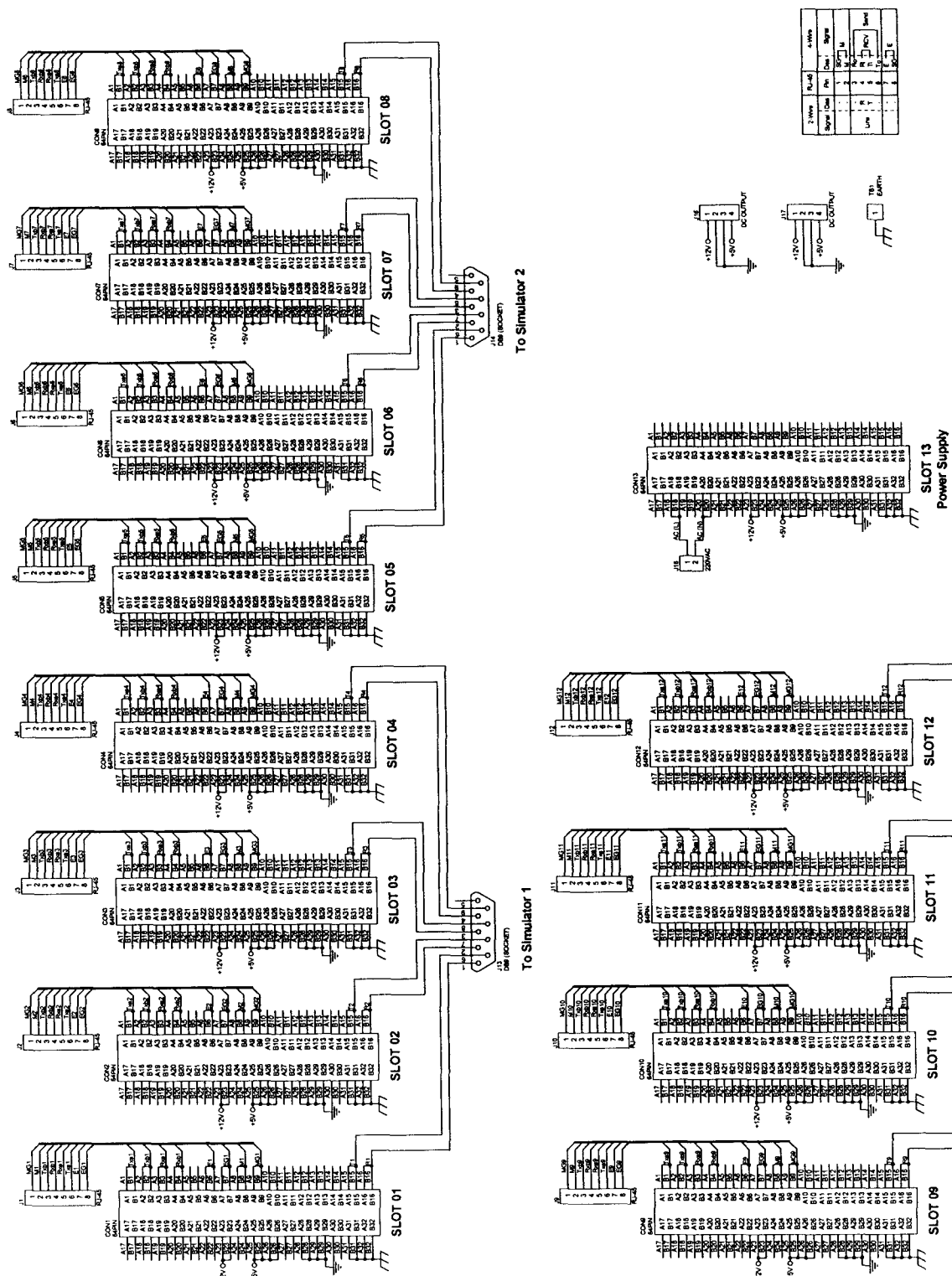


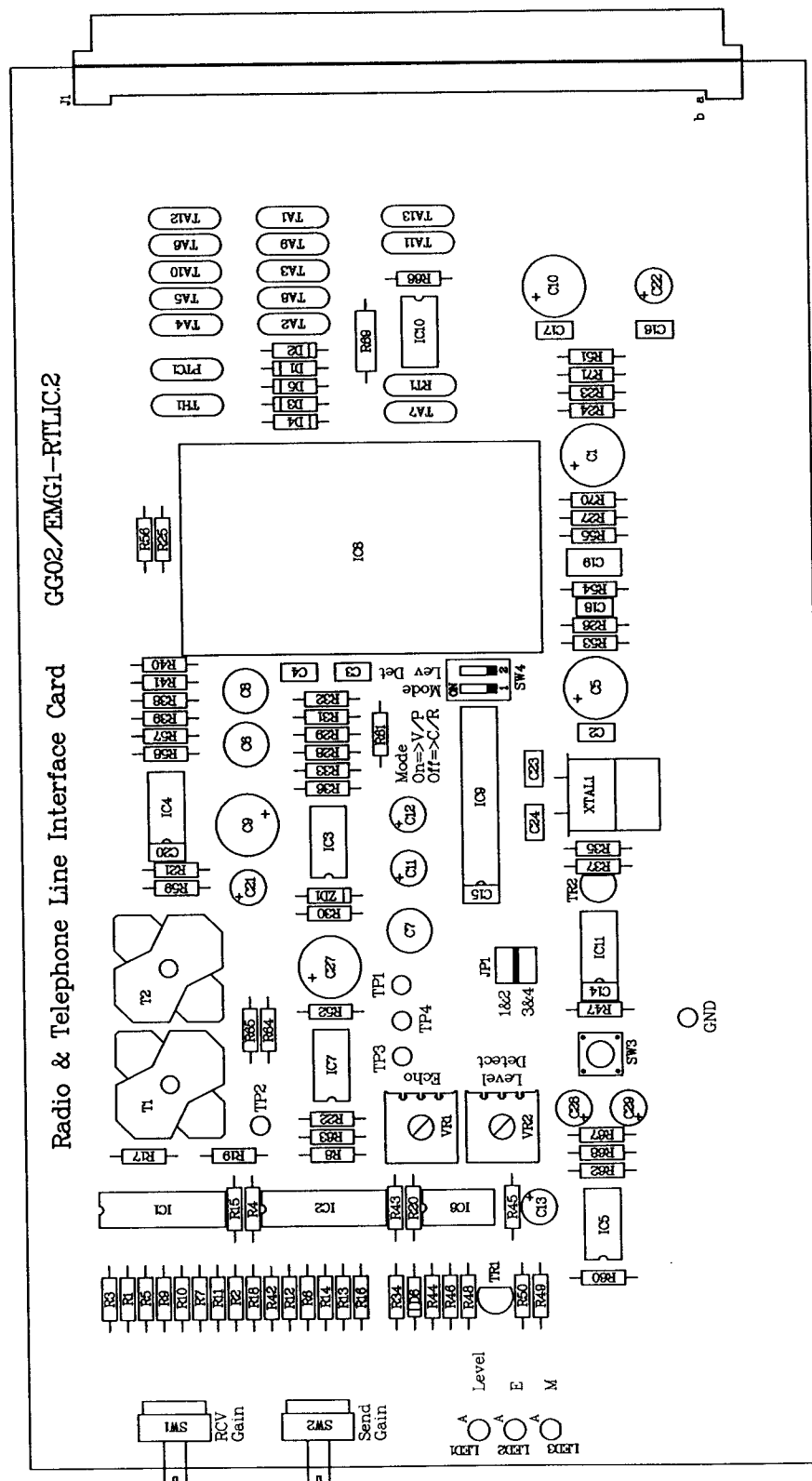
AEROTHAI
Manufacturing Department

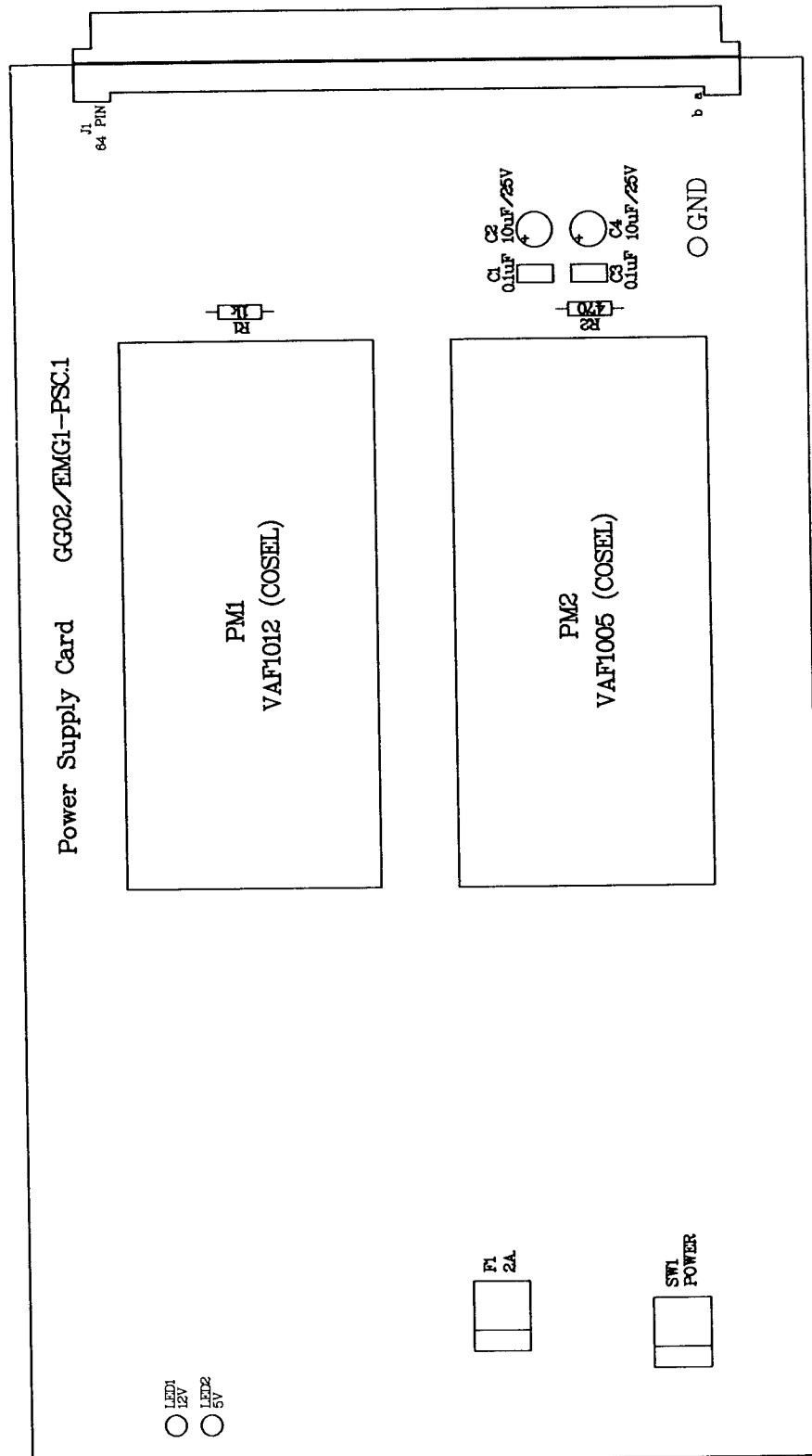
Size: A Rev. 1.0
Sheet 1 of 1
Date: 24-Oct-2003

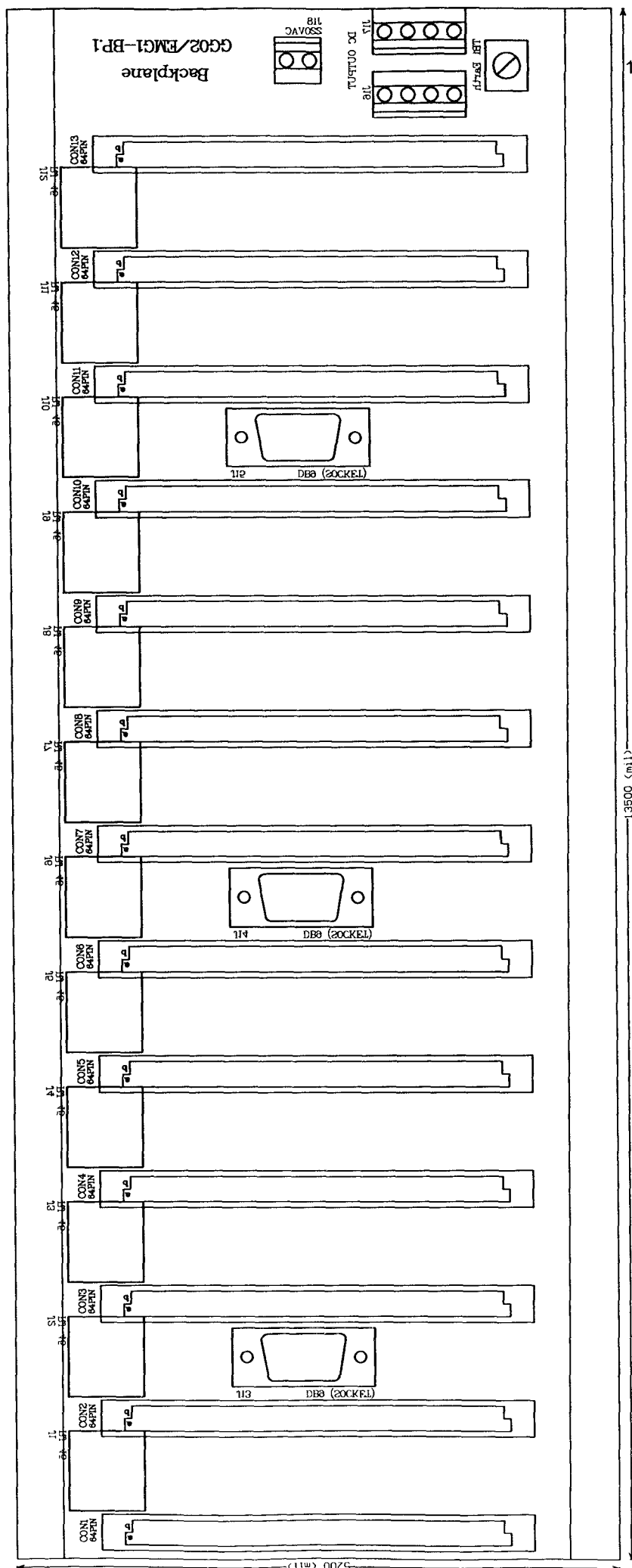
Title: Power Supply Card
Dwg No: GG02/EMG1-PSC.1
Design by: J. Winyu
File: D:\My Documents\SVU\Thesis (Emergency Unit) Rev42 Design & Build\Electronics\Emergency Unit Dwg - EMG1 Power Supply\PSC.1.Sch

Checked by:
Approved by:

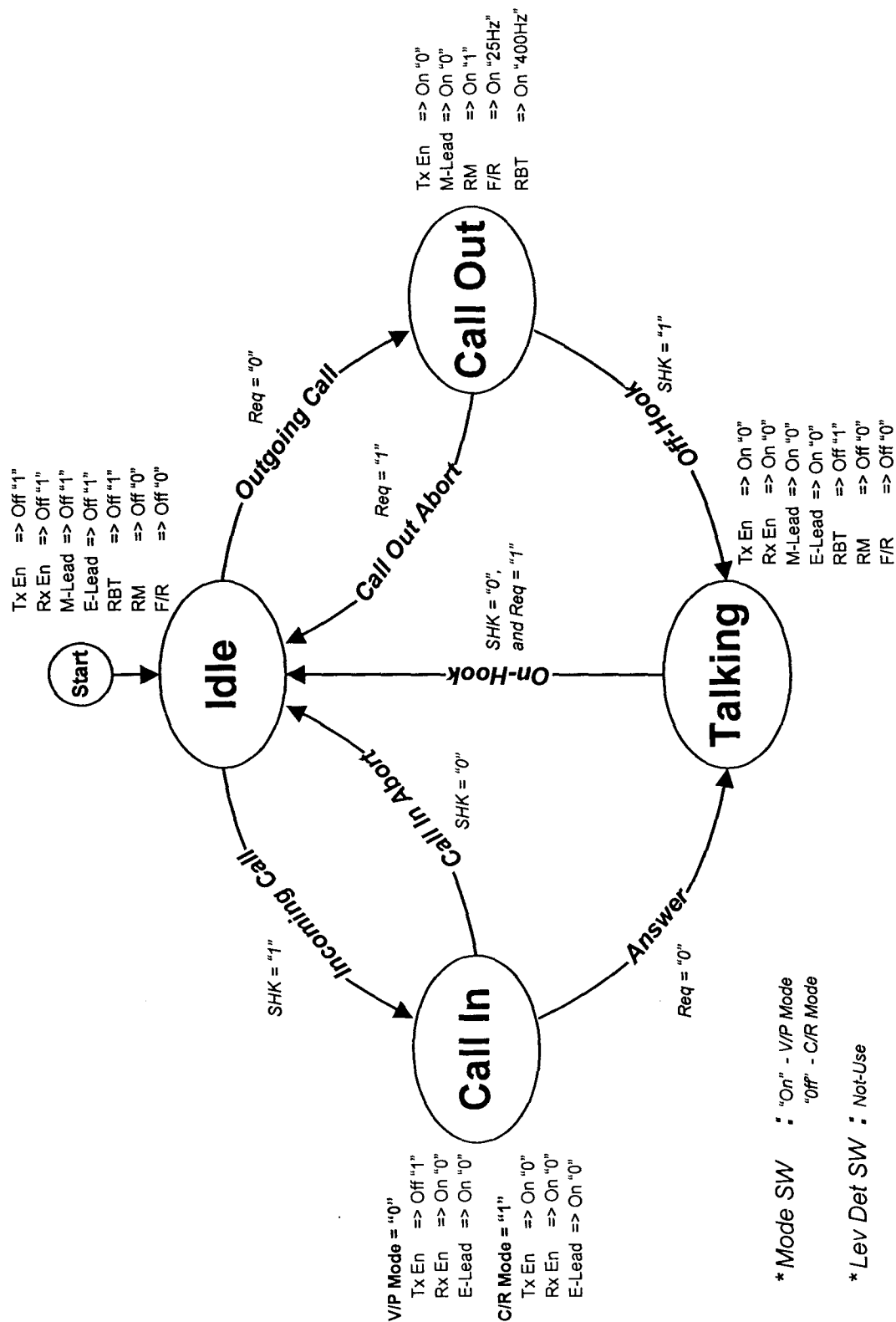




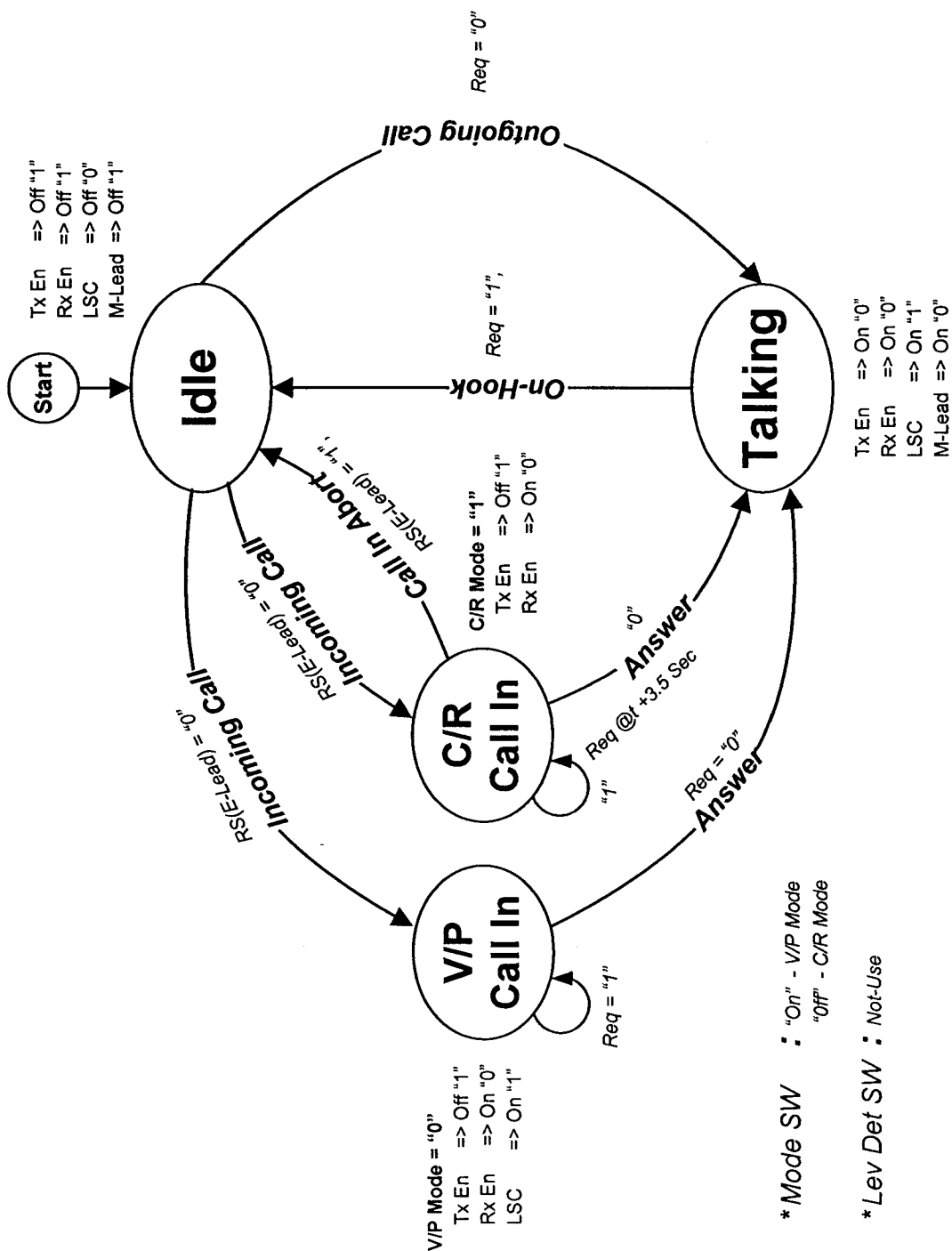




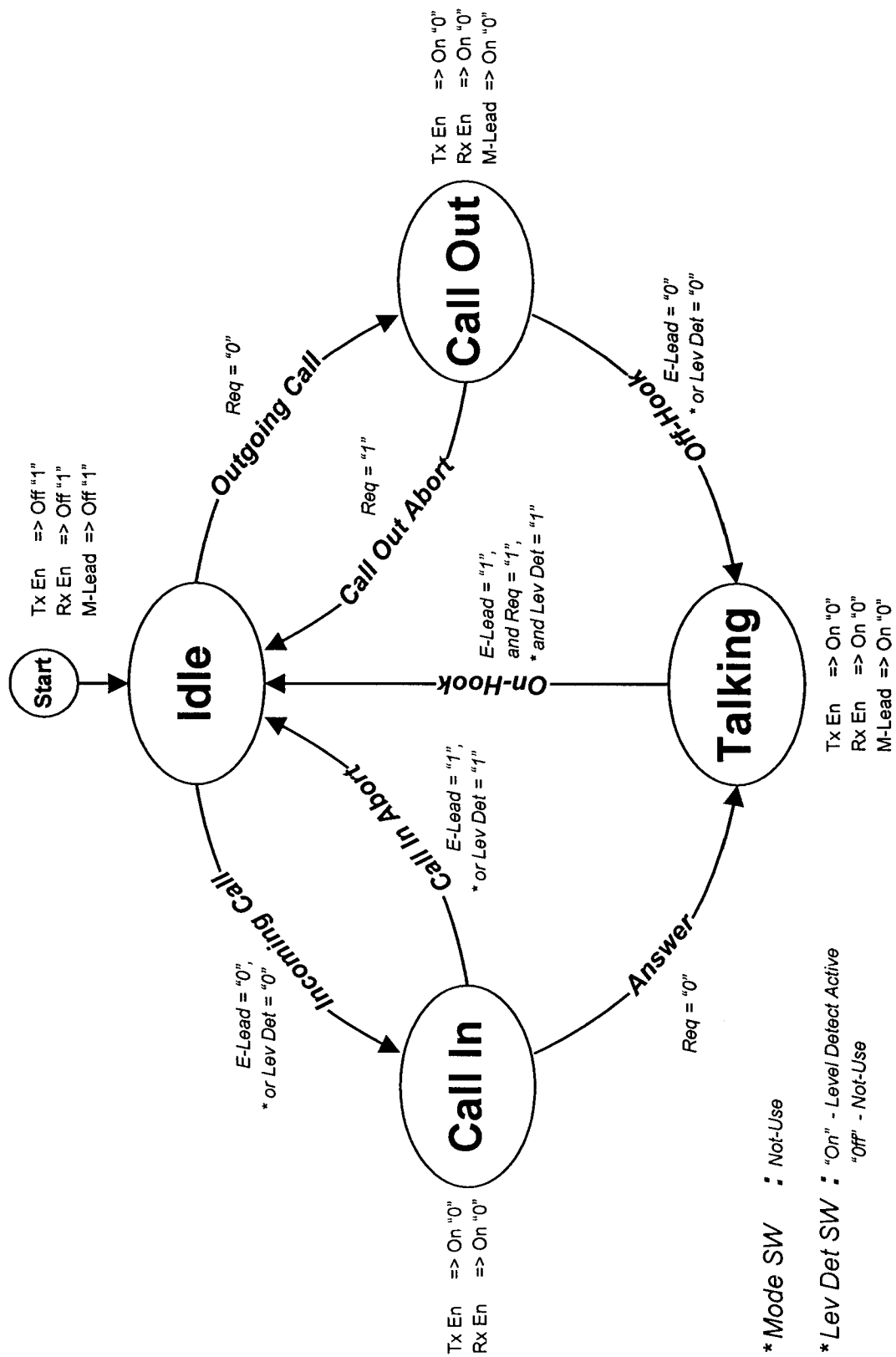
ภาคผนวก ค
ลำดับสถานะการทำงาน



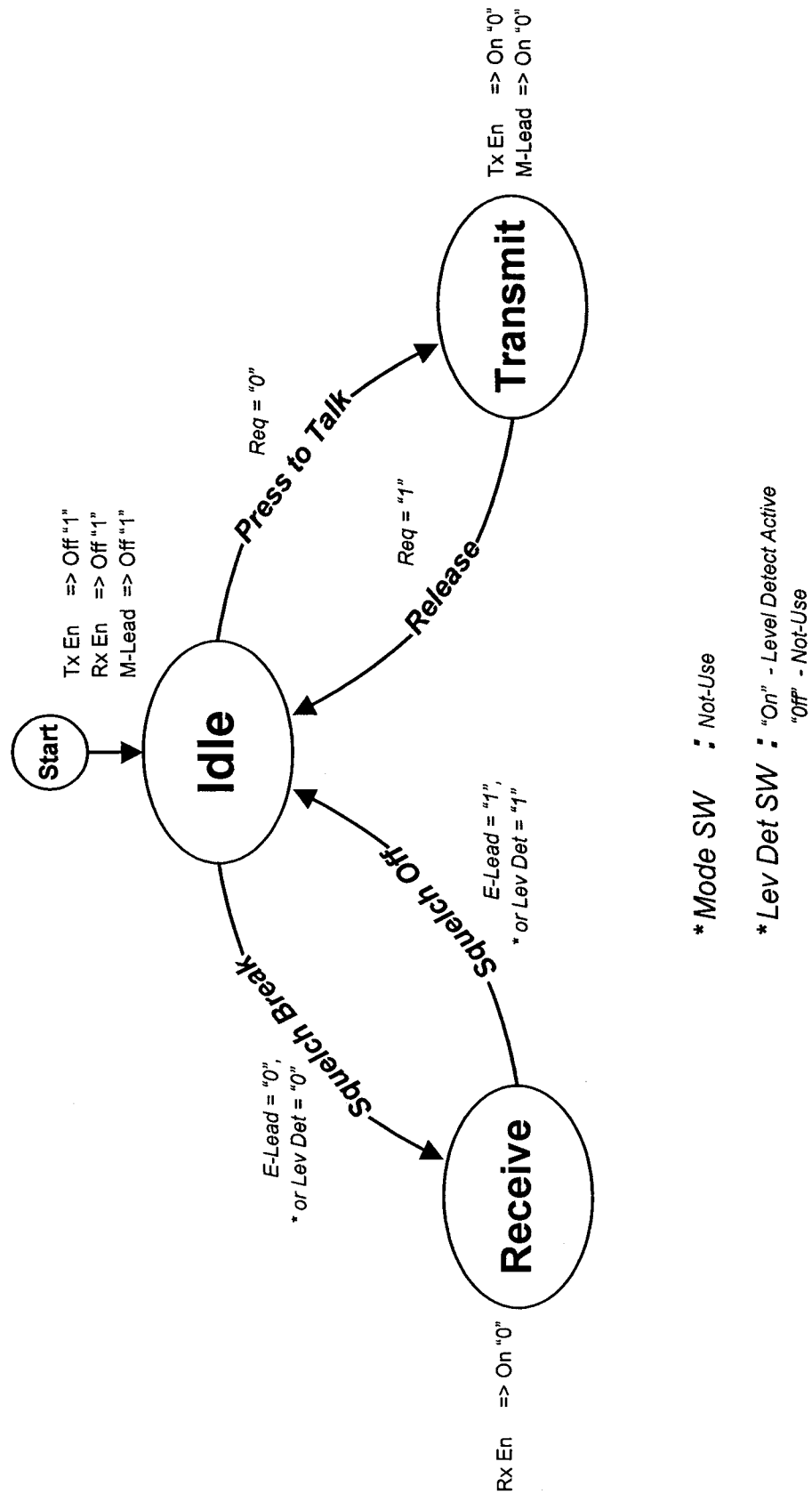
แผนภาพสถานะการทำงานของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์



แผนภาพสถานะการทำงานของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์



แผนภาพสถานะการทำงานของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น



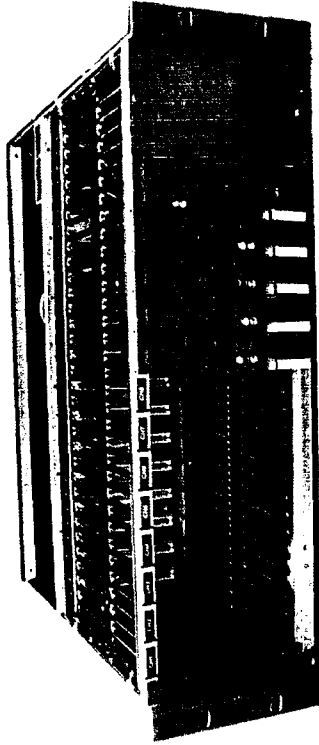
แผนภาพสถานะการทำงานของชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ

ภาคผนวก ง
คู่มือการใช้งาน และคู่มือทดสอบการทำงาน

คู่มือการใช้งาน

รายละเอียดทั่วไป (General Description)

อุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารสำหรับเชื่อมต่อกับชุดสื่อสารจำลอง รุ่น VCS-3802 ของบริษัท วิทย์การบินแห่งประเทศไทย จำกัด กับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ โดยแปลงเป็นช่องสำหรับสื่อสารผ่านทางคลื่นวิทยุ (Air-Ground Communication) และสำหรับสื่อสารภาคพื้นดิน ผ่านทางเครือข่ายสื่อสารต่าง ๆ (Ground-Ground Communication) รวม 12 ช่อง ส่วนประกอบของอุปกรณ์แปลงสัญญาณ ประกอบด้วยกล่องสำหรับบรรจุวงจรแปลงสัญญาณลักษณะสี่เหลี่ยมกว้าง 19 นิ้ว สูง 5 1/4 นิ้ว และลึกประมาณ 13 1/4 นิ้ว ภายในมีแผงเชื่อมต่อระหว่างวงจร (Backplane) ด้านหน้ามีช่องสำหรับบรรจุ แหล่งจ่ายไฟ 1 ช่อง และช่องสื่อสาร(วงจรแปลงสัญญาณ)จำนวน 12 ช่องคือ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ (Subscriber Line Interface Circuit : SLIC) วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์ (Central Office Interface Circuit : COIC) วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น (4-Wire E&M Interface) หรือ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ (Radio Interface) ลักษณะของแหล่งจ่ายไฟและวงจรแปลงสัญญาณแต่ละชนิด จะมีลักษณะเป็นแผ่น (card) มีขั้วต่อสามารถถอดเปลี่ยนได้ง่าย ในกรณีที่ไม่มีวงจรแปลงสัญญาณบางวงจรเสียก็สามารถถอดมาทำการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยน และยังใช้งานวงจรที่เหลืออยู่ได้ เป็นการลดเวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุง



อุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง

คุณลักษณะ (Specification)

1. คุณลักษณะทางไฟฟ้า (Electrical Characteristics) ของ

1.1 การตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ของ

- 1.1.1 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ และตู้สาขา ที่ช่วงความถี่ 300 ถึง 400 Hz ไม่เกิน -2.0dB ถึง +0.6dB ช่วงความถี่ 400 ถึง 600 Hz ไม่เกิน -1.5dB ถึง +0.6dB ช่วงความถี่ 600 ถึง 2400 Hz ไม่เกิน -0.7dB ถึง +0.6dB ช่วงความถี่ 2400 ถึง 3000 Hz ไม่เกิน -1.1dB ถึง +0.8dB และ ช่วงความถี่ 3000 ถึง 3400 Hz ไม่เกิน -3.0dB ถึง +0.6dB

- 1.1.2 วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และเครื่องรับส่งวิทยุ ที่ช่วงความถี่ 300 ถึง 2400 Hz ไม่เกิน -0.5dB ถึง +0.5dB ช่วงความถี่ 2400 ถึง 3000 Hz ไม่เกิน -0.9dB ถึง +0.5dB และ ช่วงความถี่ 3000 ถึง 3400 Hz ไม่เกิน -1.8dB ถึง +0.5dB

1.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

ที่ช่วงความถี่ 500 ถึง 2000 Hz ไม่น้อยกว่า 18dB

1.3 ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (Longitudinal Conversion Loss)

ที่ช่วงความถี่ 600 ถึง 3400 Hz ไม่น้อยกว่า 46dB

1.4 อัตราขยาย (Gain) ปรับได้ตั้งแต่ -8dB ถึง +7dB ผิดพลาดไม่เกิน $\pm 0.5dB$

1.5 สัญญาณรบกวน (Noise) ไม่น้อยกว่า -65dB

2. ด้านความสามารถในการทำงาน (Performance) คือ เวลาในการตอบสนอง (Response Time) และความถูกต้อง (Event Completions) ของ

- 2.1 การเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ ที่ใช้เวลาในการตอบสนองน้อยกว่า 0.3 วินาที มีความถูกต้องมากกว่าร้อยละ 99.9

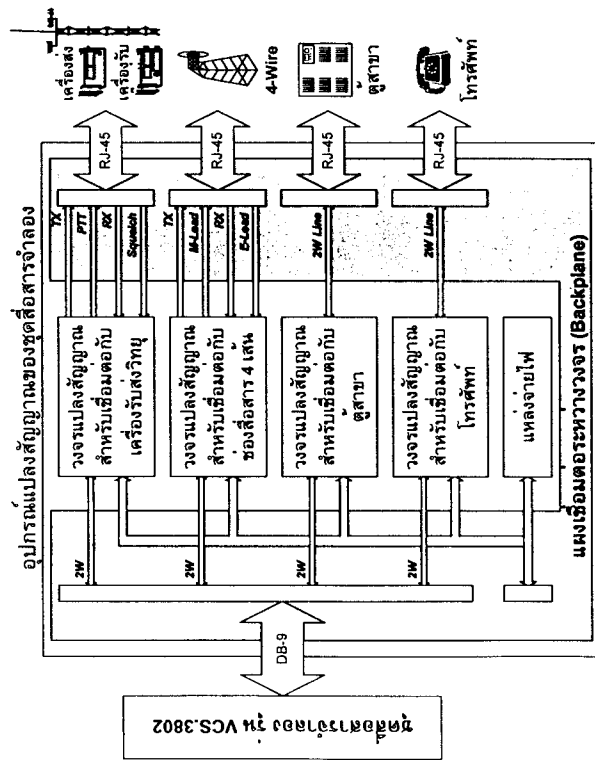
- 2.2 การเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์ ที่ใช้เวลาในการตอบสนองน้อยกว่า 0.3 วินาที มีความถูกต้องมากกว่าร้อยละ 99.9

- 2.3 การเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น ที่ใช้เวลาในการตอบสนองน้อยกว่า 0.45 วินาที มีความถูกต้องมากกว่าร้อยละ 99.9

- 2.4 การเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ ที่ใช้เวลาในการตอบสนองทางข้างส่งน้อยกว่า 0.07 วินาที ความถูกต้องมากกว่าร้อยละ 99.99 และทางด้านรับน้อยกว่า 0.2 วินาที ความถูกต้องร้อยละ 99.9

หลักการทำงานเบื้องต้น (Principles of Operation)

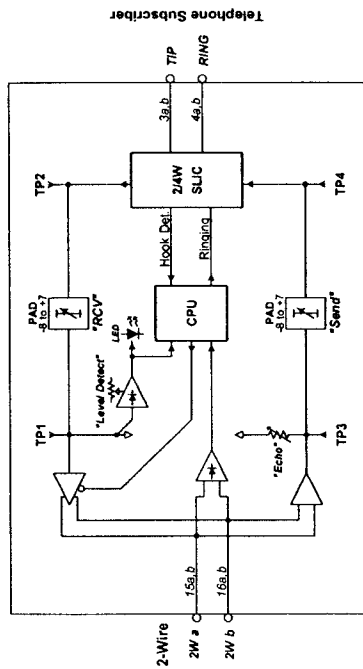
โครงสร้าง (Block Diagram) อุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง แบ่งออกเป็น 6 ส่วน คือ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับสายแบบ 4 เส้น วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ แพลงจ่ายไฟ และแผงเชื่อมต่อระหว่างวงจรมายังอุปกรณ์ (Backplane)



โครงสร้างของอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง

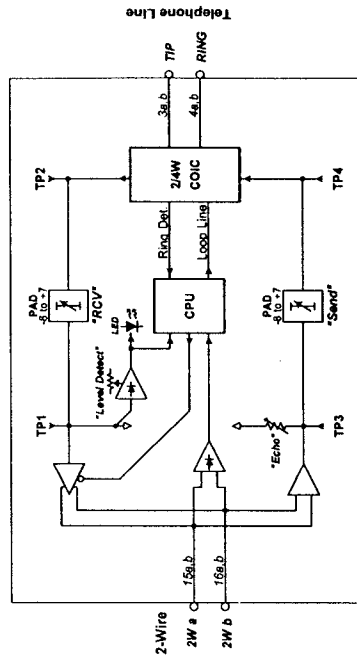
วงจรแปลงสัญญาณทั้ง 4 ชนิด มีส่วนประกอบหลักคือ วงจรแปลงสัญญาณ 2 เส้น(2-Wire) จากระบบสื่อสารจำลองเป็น 4 เส้น(4-Wire) วงจรปรับระดับสัญญาณทางด้านส่งและรับ 16 ระดับ วงจรตรวจสอบระดับสัญญาณ วงจรลดการย้อนกลับของสัญญาณ และวงจรประมวลผล โดยมีรายละเอียดดังภาพประกอบ

1. วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์



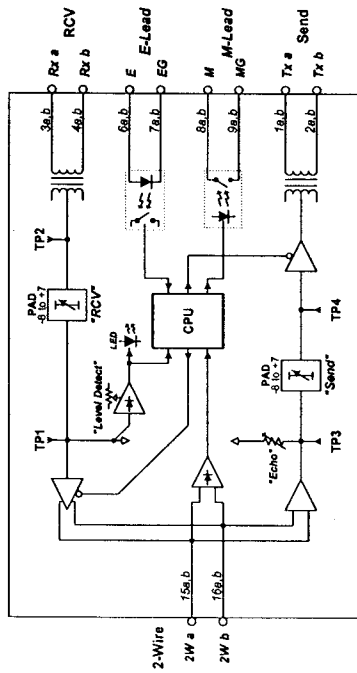
ส่วนประกอบของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์

2. วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์



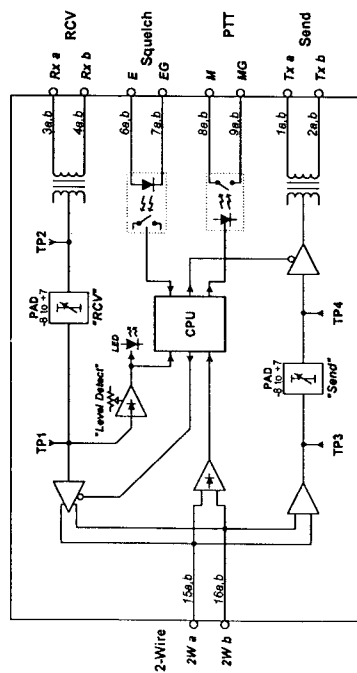
ส่วนประกอบของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์

3. วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อสื่อสารแบบ 4 เส้น



ส่วนประกอบของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อสื่อสารแบบ 4 เส้น

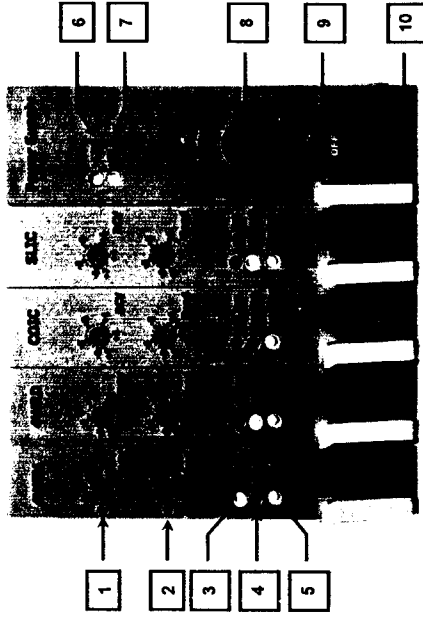
4. วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ



ส่วนประกอบของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ

วิธีการใช้งาน (Operating Instructions)

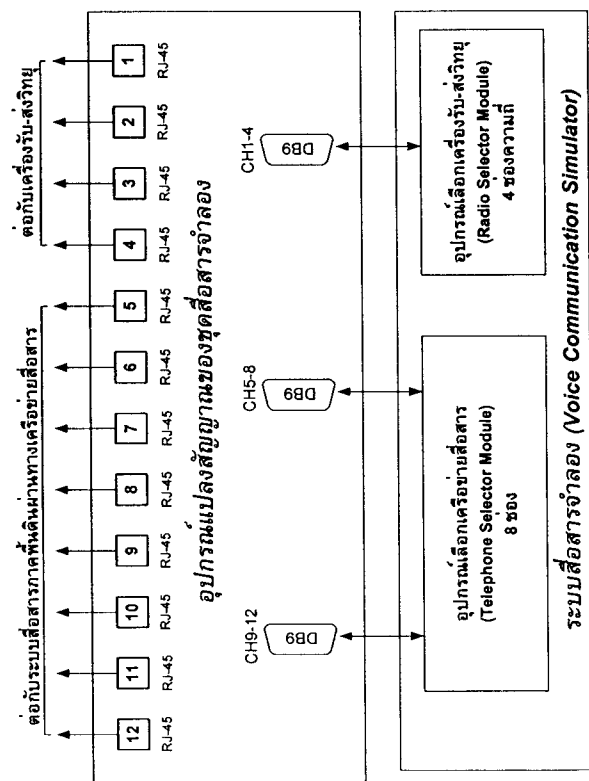
ส่วนประกอบ และหน้าที่



ส่วนประกอบ และหน้าที่ของอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองประกอบด้วย

1. ปุ่มปรับระดับสัญญาณทางด้านรับ 16 ระดับ
2. ปุ่มปรับระดับสัญญาณทางด้านส่ง 16 ระดับ
3. ไฟแสดงเมื่อมีสัญญาณเสียงทางด้านรับ
4. ไฟแสดงเมื่อมีสัญญาณเรียกเข้า
5. ไฟแสดงเมื่อมีการเรียกออก
6. ไฟแสดงสถานะแรงดัน 12 โวลต์
7. ไฟแสดงสถานะแรงดัน 5 โวลต์
8. ฟิวส์ป้องกันการลัดวงจร
9. สวิตช์เปิด ปิดเครื่อง
10. ก้านสำหรับดึงแฉงจออกจากเครื่อง

การต่ออุปกรณ์แปลงสัญญาณกับชุดสื่อสารจำลอง

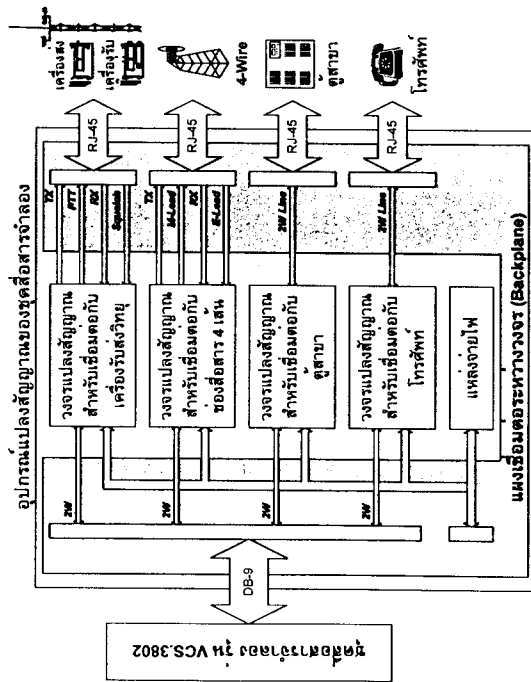


คู่มือทดสอบการทำงาน

ทั่วไป

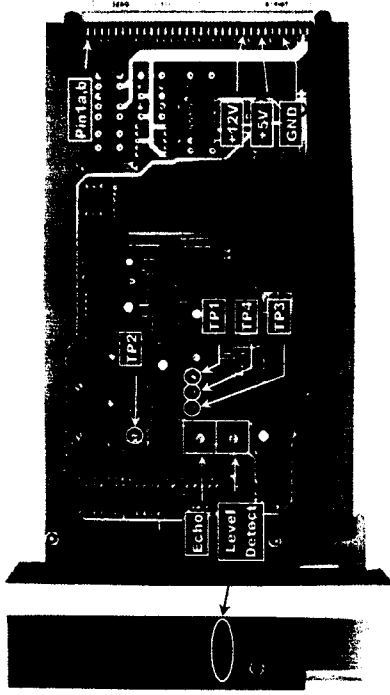
อุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารสร้างขึ้นสำหรับเชื่อมต่อชุดสื่อสารจำลอง รุ่น VCS-3802 ของบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด กับระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ สำหรับให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศเขตประชิดสนามบิน (Approach Control Service) และการให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศตามเส้นทางการบิน (Area Control Service) ระบบสื่อสารด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ แบ่งออกเป็น 4 ชนิด ประกอบด้วย

1. วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ (Subscriber Line Interface Circuit : SLIC)
2. วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์ (Central Office Interface Circuit : COIC)
3. วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น (4-Wire E&M)
4. วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ (Radio Interface)

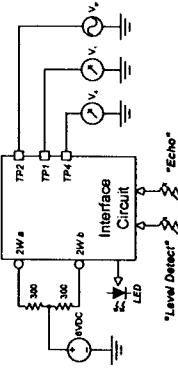


การปรับแต่ง (Alignment)

วิธีการปรับแต่งใช้สำหรับอุปกรณ์แปลงสัญญาณทั้ง 4 ชนิด เพื่อปรับแต่งวงจรสอบระดับสัญญาณ (Level Detect) เมื่อสัญญาณที่ได้รับได้มีค่ามากกว่า -16dB และปรับระดับสัญญาณจากค่านี้ที่จะย้อนออกไปยังด้านส่ง (Echo) ให้มีค่าที่ต่ำสุด



ภาพแสดงตำแหน่งจุดวัดและปรับสัญญาณ



ภาพแสดงการต่อวงจรสำหรับการปรับแต่ง

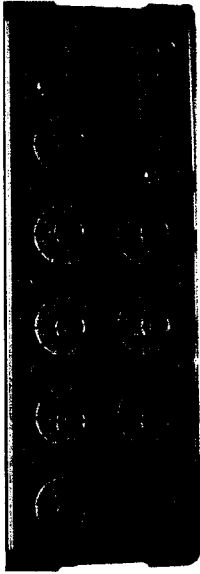
ขั้นตอนการปรับแต่ง

1. ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจร
2. ป้อนสัญญาณ Sine Wave 300Hz ที่ TP2 (V_p) ด้วย Signal Generator
3. ปรับระดับสัญญาณ V_p ให้่านค่าที่ TP1 (V_i) ได้ -16dB
4. ปรับตัวต้านทาน "Level Detect" ให้ LED ตับ
5. และปรับตัวต้านทาน "Level Detect" ทั่วๆ จนกระทั่ง LED "Lev. Del." สว่าง
6. ปรับสัญญาณ V_p ที่ความถี่ 1020Hz และระดับสัญญาณ 0dBm
7. ปรับตัวต้านทาน "Echo" ให้ระดับสัญญาณที่ TP4 (V_e) มีค่าต่ำสุด

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ (Test Equipment)

ลำดับ	รายการเครื่องมือที่ใช้	ผู้ผลิต	รุ่น	วันครบกำหนดการสอบเทียบ
1	Signal Generator	Anritsu	MG442A	
2	Level Meter	Anritsu	ML424A	
3	TIMS	Amrel	186T	
4	Audio Analyzer	Hewlett Packard	8903B	
5	Oscilloscope	Textronix	TDS3052	
6	Universal Counter	Hewlett Packard	HP5315A	
7	Digital Multi Meter	Fluke		
8	Power Supply	BWD	604 Mini-Lab	

เครื่องกำเนิดความถี่ (Signal Generator)



หน้าที่ : ทำเน้ดสัญญาณ Sine Wave ที่รับความถี่ได้ 10Hz ถึง 20MHz และปรับระดับสัญญาณให้ตั้งแต่ -51dB ถึง +15dB

ใช้สำหรับทดสอบ : การตอบสนองความถี่ การสูญเสียย้อนกลับ การสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว และอัตราขยาย

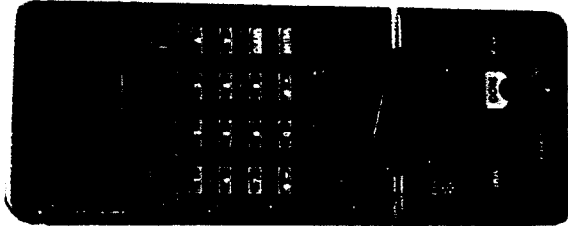
เครื่องวัดระดับสัญญาณ (Level Meter)



หน้าที่ : วัดระดับสัญญาณได้ในช่วง -60dB ถึง +20dB ของสัญญาณที่มีความถี่ระหว่าง 10Hz ถึง 20MHz

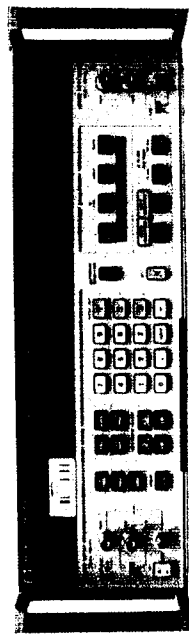
ใช้สำหรับทดสอบ : การตอบสนองความถี่ การสูญเสียย้อนกลับ การสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว และอัตราขยาย

เครื่องวัดระบบการส่งสัญญาณ (Transmission Impairment Measuring Set : TIMS)



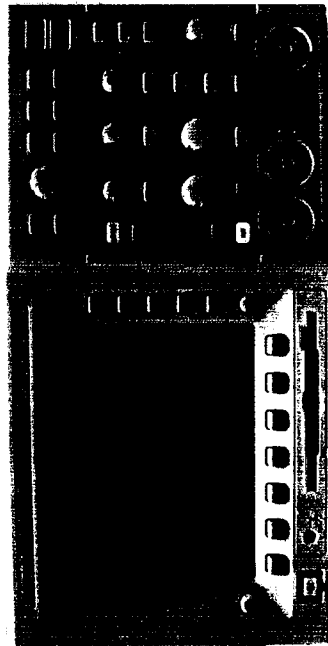
หน้าที่ : วัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss),
วัดระดับสัญญาณรบกวน (Noise)
ใช้สำหรับทดสอบ : วัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ
และวัดระดับสัญญาณรบกวน

เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเสียง (Audio Analyzer)



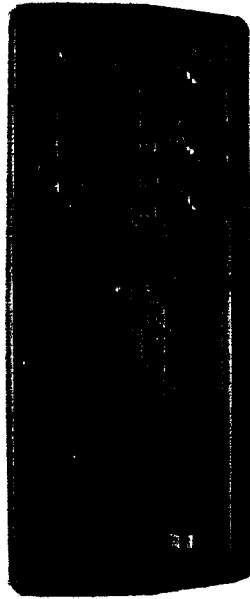
หน้าที่ : กำเนิดสัญญาณ Sine Wave และ วัดระดับสัญญาณ
ใช้สำหรับทดสอบ : การตอบสนองความถี่ การสูญเสียย้อนกลับ การสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว อัตราขยาย และสัญญาณรบกวน

เครื่องวัดรูปคลื่นสัญญาณ (Oscilloscope)



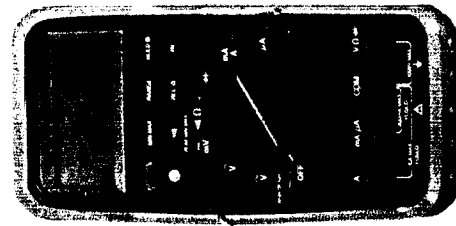
หน้าที่ : วัดรูปคลื่นสัญญาณ
ใช้สำหรับทดสอบ : เวลาการตอบสนองที่ใช้ในการเชื่อมต่อ

เครื่องวัดความถี่ (Universal Counter)



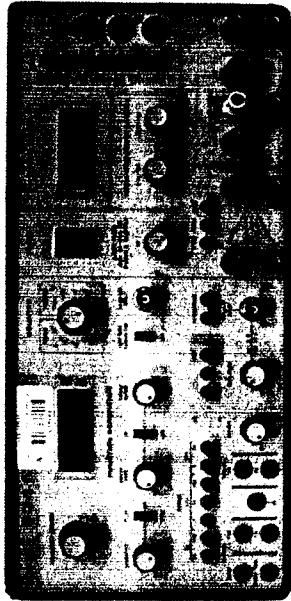
หน้าที่ : วัดความถี่ คาบเวลา ช่วงระยะเวลา จำนวนลูกคลื่น (Totalize Function)
ใช้สำหรับทดสอบ : ความถูกต้องในการเชื่อมต่อ โดยเปรียบเทียบจำนวนลูกคลื่น ที่เข้าและออก

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter)



หน้าที่ : วัดค่าแรงดันกระแสสลับ
ใช้สำหรับทดสอบ : การสูญเสียย้อนกลับ และการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว

แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)



หน้าที่ : แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง และกำเนิดสัญญาณ Square Wave

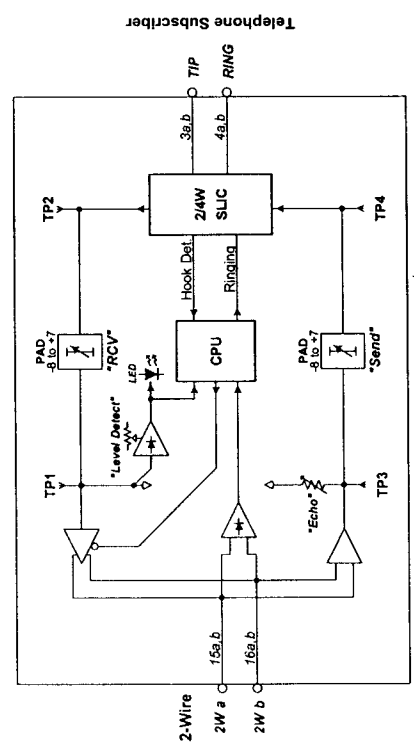
ใช้สำหรับทดสอบ : การตอบสนองความถี่ การสูญเสียย้อนกลับ การสูญเสียของการแปลงสัญญาณ
ตามยาว อัตราขยาย เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อ

1. ชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์
(Subscriber Line Interface Circuit : SLIC)

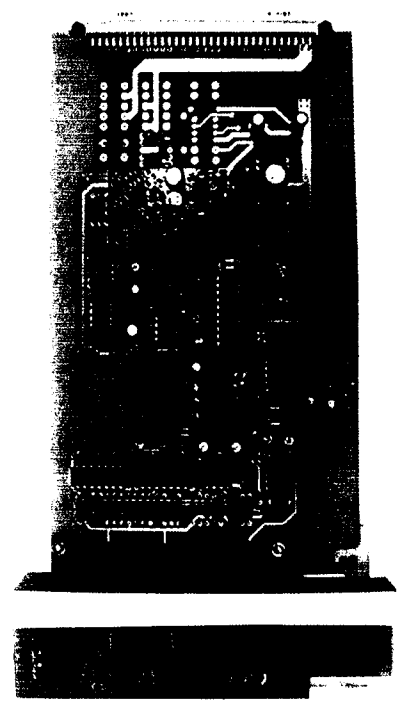
1.1 คุณสมบัติเฉพาะ (Specifications)

ลำดับ	รายละเอียด	ค่าที่กำหนด
1	การตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ช่วง 300-3400 Hz	น้อยกว่า + 0.5dB
2	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)	มากกว่า 18dB
3	ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (Longitudinal Conversion Loss)	มากกว่า 40dB
4	อัตราขยาย (Gain) 0dB ปรับได้ตั้งแต่ -8dB ถึง +7dB	น้อยกว่า ± 0.5dB
5	สัญญาณรบกวน (Noise)	น้อยกว่า - 65dB
6	เวลาในการตอบสนองทางด้านส่ง	น้อยกว่า 0.3 วินาที
7	ความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่ง	มากกว่าร้อยละ 99.9
8	เวลาในการตอบสนองทางด้านรับ	น้อยกว่า 0.3 วินาที
9	ความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านรับ	มากกว่าร้อยละ 99.9

1.2 ส่วนประกอบของวงจร (Block Diagram)



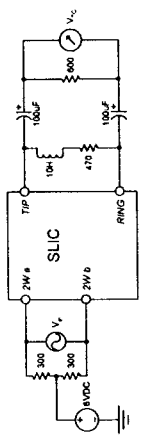
ส่วนประกอบของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์



ชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ (Subscriber Line Interface Circuit : SLIC)

1.3 วงจรสำหรับการทดสอบ (Measurement Circuit)

1.3.1 การตอบสนองความถี่ทางส่ง (Transmit Frequency Response)

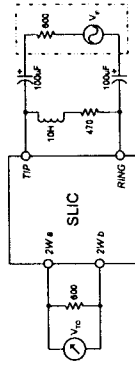


V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, Impedance 600 ohm

V_{10} = Level Meter

1. ป้อน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_{10} ได้ 0 dBm
2. เปลี่ยนความถี่ที่ V_n ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{10}

1.3.2 การตอบสนองความถี่ทางรับ (Receive Frequency Response)

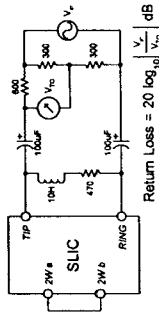


V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, Impedance 600 ohm

V_{10} = Level Meter

1. ป้อน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_{10} ได้ 0 dBm
2. เปลี่ยนความถี่ที่ V_n ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{10}

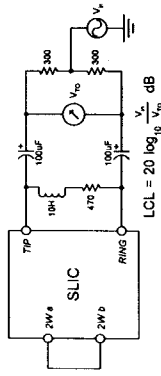
1.3.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)



V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, @1.0Vrms

V_{10} = AC Volt Meter หรือ Level Meter (Vrms) หรือ Audio Analyzer

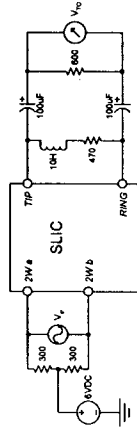
1.3.4 ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (Longitudinal Conversion Loss)



V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, @5.0Vrms

V_o = AC Volt Meter หรือ Level Meter (Vrms) หรือ Audio Analyzer

1.3.5 อัตราขยายทางด้านส่ง (Transmit Gain)

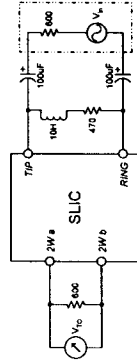


V_n = Signal Generator, @Frequency 1020Hz

V_o = Level Meter

1. ปรับสวิตช์ "Send" ที่หน้าปัทม์ ไปที่ตำแหน่ง 0 (dB)
2. บิอน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_o ได้ 0 dBm
3. ปรับสวิตช์ "Send" ที่หน้าปัทม์ ไปที่ตำแหน่งต่างๆ ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_o

1.3.6 อัตราขยายทางด้านรับ (Receive Gain)

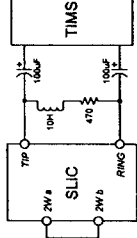


V_n = Signal Generator, @Frequency 1020Hz

V_o = Level Meter

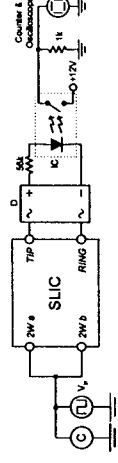
1. ปรับสวิตช์ "RCV" ที่หน้าปัทม์ ไปที่ตำแหน่ง 0 (dB)
2. บิอน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_o ได้ 0 dBm
3. ปรับสวิตช์ "RCV" ที่หน้าปัทม์ ไปที่ตำแหน่งต่างๆ ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_o

1.3.7 สัญญาณรบกวน (Noise)



TIMS = Transmission Impairment Measuring Set หรือ Audio Analyzer

1.3.8 เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่ง (Transmit Response Time & Completion Event)



V_n = Signal Generator @ Square Wave, 0-6V, 5Hz

C = Universal Counter (Totalize Measurement)

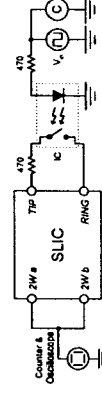
IC = Photo-MOS #KAW214

การวัดความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่งและรับ

1. ต่อ Universal Counter ที่ Input และ Output โดยใช้ Totalize Measurement Mode
2. บิอน V_n ตามที่กำหนด
3. กดปุ่ม Reset ที่ Universal Counter ทั้งสองพร้อมกัน
4. Universal Counter จะเริ่มนับจาก 1 รอบจนกระทั่ง Universal Counter ทาง Input นับค่าได้ 1,000 ถ้า Universal Counter ทาง Output นับได้ค่าที่หมายถึงความถูกต้องในการเชื่อมต่อ

มีค่ามากกว่าร้อยละ 99.9

1.3.9 เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านรับ (Receive Response Time & Completion Event)



V_n = Signal Generator @ Square Wave, 0-6V, 5Hz

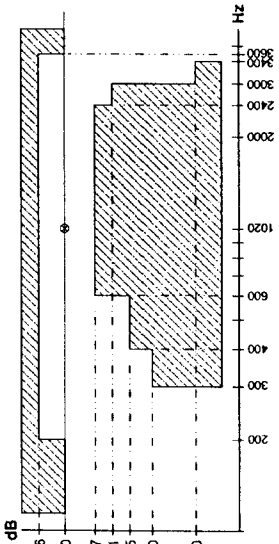
C = Universal Counter (Totalize Measurement)

IC = Photo-MOS #KAW214

1.4 ผลการทดสอบ (Test Result)

1.4.1 การตอบสนองความถี่ทางด้านส่ง และด้านรับ (Transmit and Receive Frequency Response)

ความถี่(Hz) V_n	ผลการทดสอบทางด้านส่ง(dB) V_{To} (วงจร 1.3.1)	ผลการทดสอบทางด้านรับ(dB) V_{To} (วงจร 1.3.2)
100		
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1020*		
2000		
2400		
3000		
3400		
3600		

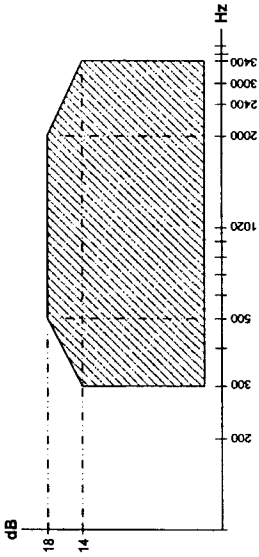


ภาพแสดงเกณฑ์มาตรฐานของการตอบสนองความถี่

1.4.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

ค่าการสูญเสียย้อนกลับ(RL) = $20 \log \left| \frac{V_{in}}{V_{To}} \right|$ dB, @ $V_n = 1.0V_{rms}$

ความถี่(Hz) V_n	วัดค่า V_{To} และคำนวณ (วงจร 1.3.3)	
	V_{To} (mVrms)	คำนวณ (dB)
100		
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1020*		
2000		
3000		
3400		

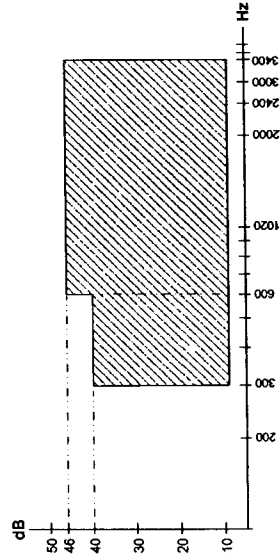


ภาพแสดงเกณฑ์มาตรฐานของการสูญเสียย้อนกลับ

1.4.3 ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (Longitudinal Conversion Loss)

ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว(LCL) = $20 \log \left| \frac{V_{in}}{V_{To}} \right|$ dB, @ V_{in} = 5.0Vrms

ความถี่(Hz) V_{in}	ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (วงจร 1.3.4)	
	V_{To} (mVrms)	คำนวณ (dB)
100		
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1020*		
2000		
3000		
3400		



ภาพแสดงเกณฑ์มาตรฐานค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว

1.4.4 อัตราขยายทางด้านส่ง และด้านรับ (Transmit and Receive Gain)

การปรับอัตราขยาย (dB) V_{in} = 1020Hz	ผลการทดสอบทางด้านส่ง(dB) V_{To} (วงจร 1.3.5)	ผลการทดสอบทางด้านรับ(dB) V_{To} (วงจร 1.3.6)
-8		
-7		
-6		
-5		
-4		
-3		
-2		
-1		
0		
+1		
+2		
+3		
+4		
+5		
+6		
+7		

1.4.5 สัญญาณรบกวน (Noise)

รายละเอียด	ผลการทดสอบ (วงจร 1.3.7)
สัญญาณรบกวน (Noise)	dBm (dBmC)

1.4.6 เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่ง และด้านรับ (Transmit and Receive Response Time & Completion Event)

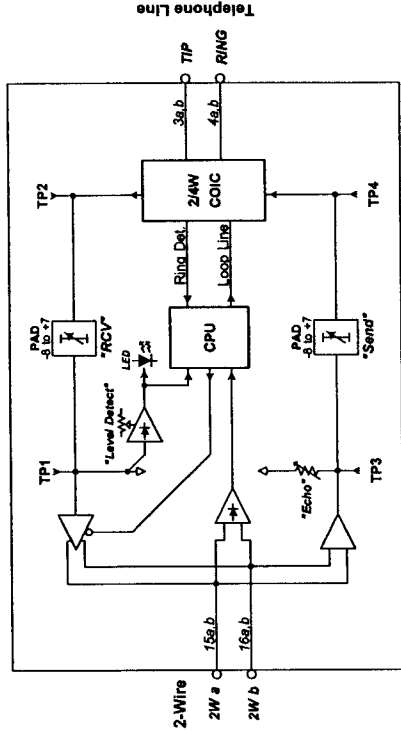
ลำดับ	รายละเอียด	ผลการทดสอบทางด้านส่ง (วงจร 1.3.8)	ผลการทดสอบทางด้านรับ (วงจร 1.3.9)
1	เวลาในการตอบสนอง	วินาที	วินาที
2	ความถูกต้องในการเชื่อมต่อ	ร้อยละ	ร้อยละ

2. ชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์
(Central Office Interface Circuit : COIC)

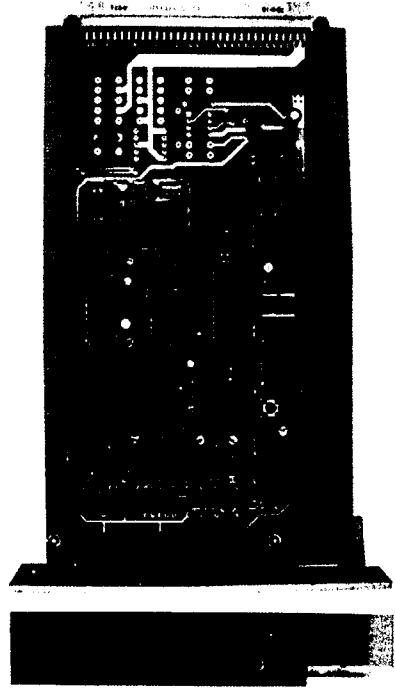
2.1 คุณสมบัติ (Specifications)

ลำดับ	รายละเอียด	ค่าที่กำหนด
1	การตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ช่วง 300-3400 Hz	น้อยกว่า ± 0.5dB
2	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)	มากกว่า 18dB
3	ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (Longitudinal Conversion Loss)	มากกว่า 40dB
4	อัตราขยาย (Gain) 0dB ปรับได้ตั้งแต่ -8dB ถึง +7dB	น้อยกว่า ± 0.5dB
5	สัญญาณรบกวน (Noise)	น้อยกว่า - 65dB
6	เวลาในการตอบสนองทางด้านส่ง	น้อยกว่า 0.3 วินาที
7	ความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่ง	มากกว่าร้อยละ 99.9
8	เวลาในการตอบสนองทางด้านรับ	น้อยกว่า 0.3 วินาที
9	ความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านรับ	มากกว่าร้อยละ 99.9

2.2 ส่วนประกอบของวงจร (Block Diagram)



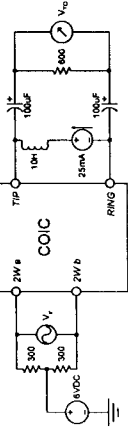
ส่วนประกอบของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์



ชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์
(Central Office Interface Circuit : COIC)

2.3 วงจรสำหรับการทดสอบ (Measurement Circuit)

2.3.1 การตอบสนองความถี่ทางส่ง (Transmit Frequency Response)

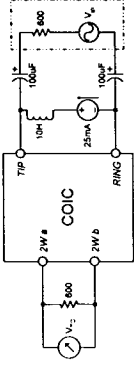


V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, Impedance 600 ohm

V_{T0} = Level Meter

1. บิอน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_{T0} ได้ 0 dBm
2. เปลี่ยนความถี่ที่ V_n ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{T0}

2.3.2 การตอบสนองความถี่ทางรับ (Receive Frequency Response)

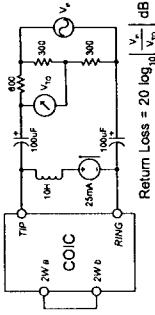


V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, Impedance 600 ohm

V_{T0} = Level Meter

1. บิอน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_{T0} ได้ 0 dBm
2. เปลี่ยนความถี่ที่ V_n ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{T0}

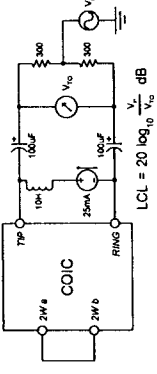
2.3.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)



V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, @1.0Vrms

V_{T0} = AC Volt Meter หรือ Level Meter (Vrms) หรือ Audio Analyzer

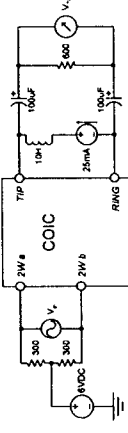
2.3.4 ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (Longitudinal Conversion Loss)



V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, @8.0Vrms

V_{T0} = AC Volt Meter หรือ Level Meter (Vrms) หรือ Audio Analyzer

2.3.5 อัตราขยายทางด้านส่ง (Transmit Gain)

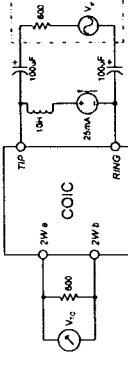


V_n = Signal Generator, @Frequency 1020Hz

V_{T0} = Level Meter

1. ปรับระดับ "Send" ที่หน้าปัทม์ ไปที่ตำแหน่ง 0 (dB)
2. บิอน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_{T0} ได้ 0 dBm
3. ปรับระดับ "Send" ที่หน้าปัทม์ ไปที่ตำแหน่งต่างๆ ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{T0}

2.3.6 อัตราขยายทางด้านรับ (Receive Gain)

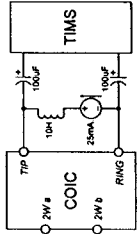


V_n = Signal Generator, @Frequency 1020Hz

V_{T0} = Level Meter

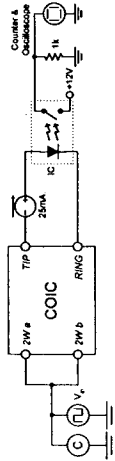
1. ปรับระดับ "RCV" ที่หน้าปัทม์ ไปที่ตำแหน่ง 0 (dB)
2. บิอน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_{T0} ได้ 0 dBm
3. ปรับระดับ "RCV" ที่หน้าปัทม์ ไปที่ตำแหน่งต่างๆ ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{T0}

2.3.7 สัญญาณรบกวน (Noise)



TIMS = Transmission Impairment Measuring Set หรือ Audio Analyzer

2.3.8 เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่ง (Transmit Response Time & Completion Event)



V_n = Signal Generator @ Square Wave, 0-6V, 5Hz

C = Universal Counter (Totalize Measurement)

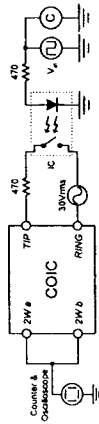
IC = Photo-MOS #KAW214

การวัดความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่งและรับ

1. จอ Universal Counter ทั้ง Input และ Output โดยใช้ Totalize Measurement Mode
2. ปิด V_n ตามที่กำหนด
3. กดปุ่ม Reset ที่ Universal Counter ทั้งสองพร้อมกัน
4. Universal Counter จะเริ่มนับจาก 1 รองจนกระทั่ง Universal Counter ทาง Input นับค่าได้ 1,000 ถ้า Universal Counter ทาง Output นับได้ค่าที่เกินหมายถึงความถูกต้องในการเชื่อมต่อ

มีค่ามากกว่าร้อยละ 99.9

2.3.9 เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านรับ (Receive Response Time & Completion Event)



V_n = Signal Generator @ Square Wave, 0-6V, 5Hz

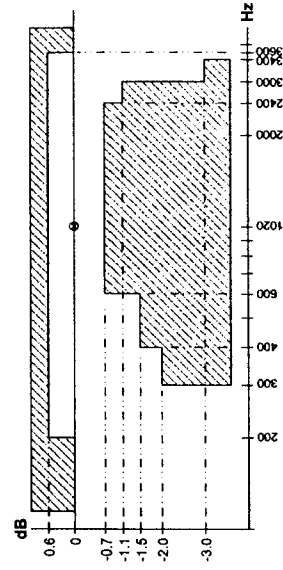
C = Universal Counter (Totalize Measurement)

IC = Photo-MOS #KAW214

2.4 ผลการทดสอบ (Test Result)

2.4.1 การตอบสนองความถี่ทางด้านส่ง และด้านรับ (Transmit and Receive Frequency Response)

ความถี่(Hz) V_n	ผลการทดสอบทางด้านส่ง(dB) V_{T0} (วงจร 2.3.1)	ผลการทดสอบทางด้านรับ(dB) V_{R0} (วงจร 2.3.2)
100		
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1020*		
2000		
2400		
3000		
3400		
3600		

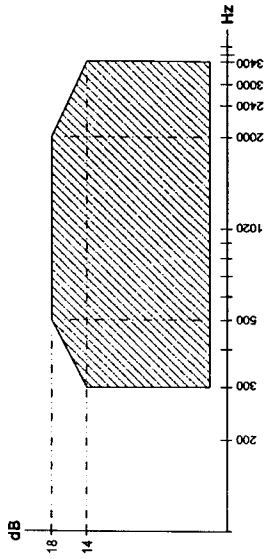


ภาพแสดงเกณฑ์มาตรฐานของการตอบสนองความถี่

2.4.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

ค่าการสูญเสียย้อนกลับ(RL) = $20 \log \left| \frac{V_{in}}{V_{To}} \right|$ dB, @ $V_n = 1.0Vrms$

ความถี่(Hz) V_n	วัดค่า V_{To} และจำนวน (วงจร 2.3.3)	
	V_{To} (mVrms)	จำนวน (dB)
100		
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1020*		
2000		
3000		
3400		

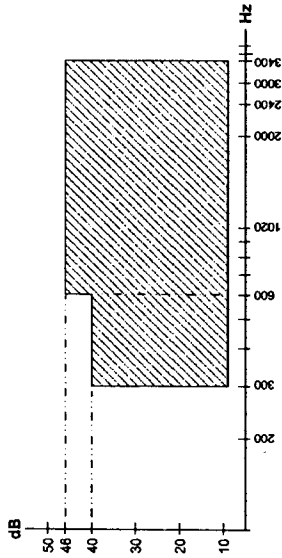


ภาพแสดงเกณฑ์มาตรฐานของการสูญเสียย้อนกลับ

2.4.3 ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (Longitudinal Conversion Loss)

ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว(LCL) = $20 \log \left| \frac{V_{in}}{V_{To}} \right|$ dB @ $V_n = 8.0Vrms$

ความถี่(Hz) V_n	ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (วงจร 2.3.4)	
	V_{To} (mVrms)	จำนวน (dB)
100		
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1020*		
2000		
3000		
3400		



ภาพแสดงเกณฑ์มาตรฐานค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว

2.4.4 อัตราขยายทางด้านส่ง และด้านรับ (Transmit and Receive Gain)

การรับอัตราขยาย (dB) $V_n = 1020\text{Hz}$	ผลการทดสอบทางด้านส่ง(dB) V_{to} (วงจร 2.3.5)	ผลการทดสอบทางด้านรับ(dB) V_{ro} (วงจร 2.3.6)
-8		
-7		
-6		
-5		
-4		
-3		
-2		
-1		
0		
+1		
+2		
+3		
+4		
+5		
+6		
+7		

2.4.5 สัญญาณรบกวน (Noise)

รายละเอียด	ผลการทดสอบ (วงจร 2.3.7)
สัญญาณรบกวน (Noise)	dBm (dBmc)

2.4.6 เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่ง และด้านรับ (Transmit and Receive Response Time & Completion Event)

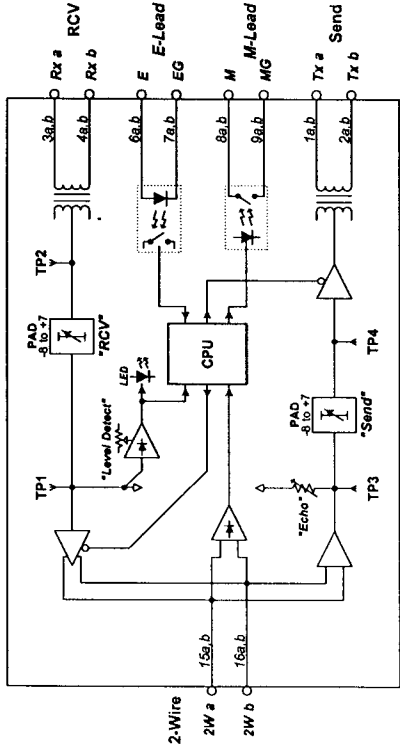
ลำดับ	รายละเอียด	ผลการทดสอบทางด้านส่ง (วงจร 2.3.8)	ผลการทดสอบทางด้านรับ (วงจร 2.3.9)
1	เวลาในการตอบสนอง	วินาที	วินาที
2	ความถูกต้องในการเชื่อมต่อ	ร้อยละ	ร้อยละ

3. ชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น (4-Wire E&M)

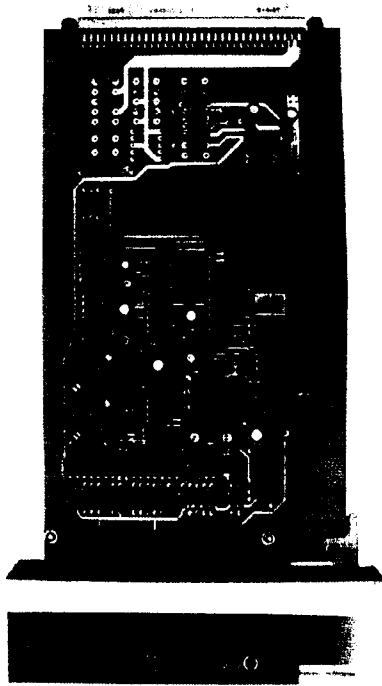
3.1 คุณลักษณะ (Specifications)

ลำดับ	รายละเอียด	ค่าที่กำหนด
1	การตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ช่วง 300-3400 Hz	น้อยกว่า $\pm 0.5\text{dB}$
2	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)	มากกว่า 18dB
3	ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (Longitudinal Conversion Loss)	มากกว่า 40dB
4	อัตราขยาย (Gain) 0dB ปรับได้ตั้งแต่ -8dB ถึง +7dB	น้อยกว่า $\pm 0.5\text{dB}$
5	สัญญาณรบกวน (Noise)	น้อยกว่า - 65dB
6	เวลาในการตอบสนองทางด้านส่ง	น้อยกว่า 0.45 วินาที
7	ความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่ง	มากกว่าร้อยละ 99.9
8	เวลาในการตอบสนองทางด้านรับ	น้อยกว่า 0.45 วินาที
9	ความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านรับ	มากกว่าร้อยละ 99.9

3.2 ส่วนประกอบของวงจร (Block Diagram)



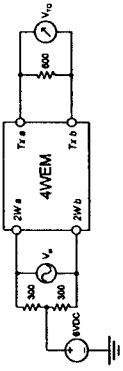
ส่วนประกอบของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น



ชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น (4-Wire E&M)

3.3 วงจรสำหรับการทดสอบ (Measurement Circuit)

3.3.1 การทดสอบความถี่ทางด้านส่ง (Transmit Frequency Response)

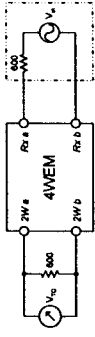


V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, Impedance 600 ohm

V_{10} = Level Meter

1. ป้อน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_{10} ได้ 0 dBm
2. เปลี่ยนความถี่ที่ V_n ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{10}

3.3.2 การทดสอบความถี่ทางด้านรับ (Receive Frequency Response)

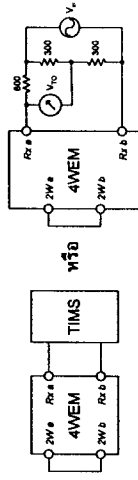


V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, Impedance 600 ohm

V_{10} = Level Meter

1. ป้อน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_{10} ได้ 0 dBm
2. เปลี่ยนความถี่ที่ V_n ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{10}

3.3.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

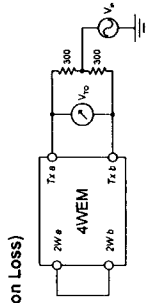


TMS = Transmission Impairment Measuring Set

V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, @1.0Vrms

V_{10} = AC Volt Meter หรือ Level Meter (Vrms) หรือ Audio Analyzer

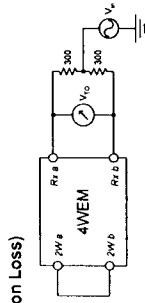
3.3.4 ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวทางด้านส่ง (Transmit Longitudinal Conversion Loss)



V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, @1.0Vrms

V_{to} = AC Volt Meter หรือ Level Meter (Vrms) หรือ Audio Analyzer

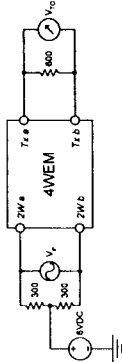
3.3.5 ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวทางด้านรับ (Receive Longitudinal Conversion Loss)



V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, @1.0Vrms

V_{to} = AC Volt Meter หรือ Level Meter (Vrms) หรือ Audio Analyzer

3.3.6 อัตราขยายทางด้านส่ง (Transmit Gain)

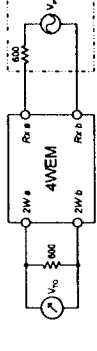


V_n = Signal Generator, @Frequency 1020Hz

V_{to} = Level Meter

1. ปรับสวิตช์ "Send" ที่หน้าปัดมิเตอร์ไปที่ตำแหน่ง 0 (dB)
2. บิ่อน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณให้อ่านค่าที่ V_{to} ได้ 0 dBm
3. ปรับสวิตช์ "Send" ที่หน้าปัดมิเตอร์ไปที่ตำแหน่งต่างๆ ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{to}

3.3.7 อัตราขยายทางด้านรับ (Receive Gain)

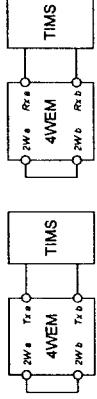


V_n = Signal Generator, @Frequency 1020Hz

V_{to} = Level Meter

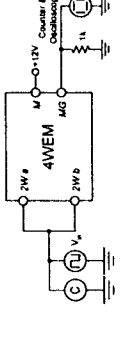
1. ปรับสวิตช์ "RCV" ที่หน้าปัดมิเตอร์ไปที่ตำแหน่ง 0 (dB)
2. บิ่อน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณให้อ่านค่าที่ V_{to} ได้ 0 dBm
3. ปรับสวิตช์ "RCV" ที่หน้าปัดมิเตอร์ไปที่ตำแหน่งต่างๆ ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{to}

3.3.8 สัญญาณรบกวนทางทางด้านส่ง และรับ (Transmit and Receive Noise)



TIMS = Transmission Impairment Measuring Set หรือ Audio Analyzer

3.3.9 เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่ง (Transmit Response Time & Completion Event)



V_n = Signal Generator @ Square Wave, 0-6V, 5Hz

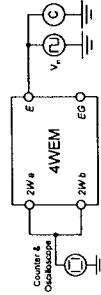
C = Universal Counter (Totalize Measurement)

การวัดความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่งและรับ

1. เชื่อม Universal Counter ทั้ง Input และ Output โดยใช้ Totalize Measurement Mode
2. บิ่อน V_n ตามที่กำหนด
3. กดปุ่ม Reset ที่ Universal Counter ทั้งสองพร้อมกัน
4. Universal Counter จะเริ่มนับจาก 1 รองจนกระทั่ง Universal Counter ทาง Input นับค่าได้ 1,000 ถ้า Universal Counter ทาง Output นับได้ค่าที่เกินหมายถึงความถูกต้องในการเชื่อมต่อ

มีค่ามากกว่าร้อยละ 99.9

3.3.10 เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านรับ (Receive Response Time & Completion Event)

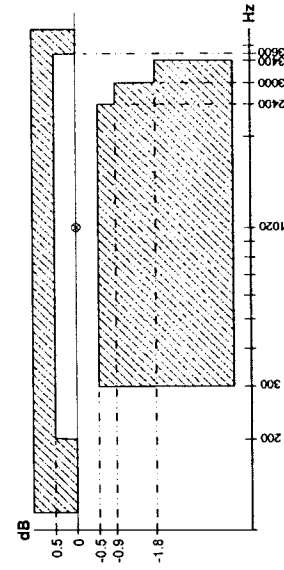


V_p = Signal Generator @ Square Wave, 0-12V, 5Hz
C = Universal Counter (Totalize Measurement)

3.4 ผลการทดสอบ (Test Result)

3.4.1 การตอบสนองความถี่ทางส่ง และด้านรับ (Transmit and Receive Frequency Response)

ความถี่(Hz) V_{in}	ผลการทดสอบทางส่ง(dB) V_{To} (วงจร 3.3.1)	ผลการทดสอบทางด้านรับ(dB) V_{To} (วงจร 3.3.2)
100		
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1020*		
2000		
2400		
3000		
3400		
3600		

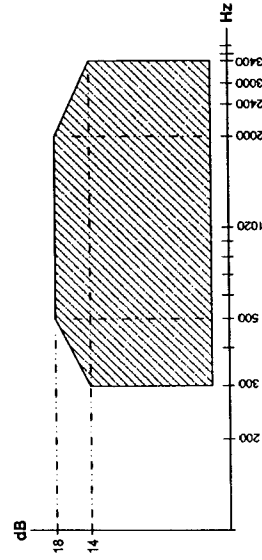


ภาพแสดงเกณฑ์มาตรฐานของการตอบสนองความถี่

3.4.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

ค่าการสูญเสียย้อนกลับ(RL) = $20 \log \left| \frac{V_{in}}{V_{To}} \right|$ dB, @ $V_{in}=1.0\text{Vrms}$

ความถี่(Hz) V_{in}	แบบที่ 1 วัดโดยใช้ TIMS (dB)	แบบที่ 2 วัดค่า V_{To} และจำนวน (วงจร 3.3.3)	
		V_{To} (mVrms)	จำนวน (dB)
100			
200			
300			
400			
500			
600			
700			
800			
900			
1020*			
2000			
3000			
3400			

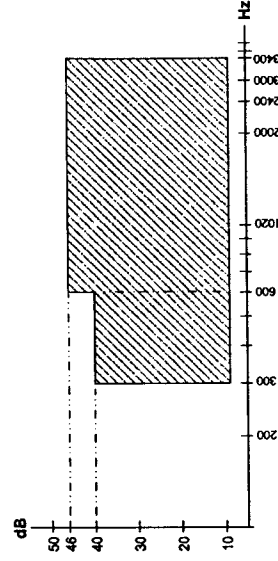


ภาพแสดงเกณฑ์มาตรฐานของการสูญเสียย้อนกลับ

3.4.3 ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (Longitudinal Conversion Loss)

ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว(LCL) = $20 \log \left| \frac{V_{in}}{V_{To}} \right|$ dB, @ $V_{in}=1.0\text{Vrms}$

ความถี่(Hz) V_{in}	การสูญเสียของการแปลงสัญญาณ ตามยาวทางซ้าย (วงจร 3.3.4)		การสูญเสียของการแปลงสัญญาณ ตามยาวทางขวา (วงจร 3.3.5)	
	V_{To} (mVrms)	จำนวน (dB)	V_{To} (mVrms)	จำนวน (dB)
100				
200				
300				
400				
500				
600				
700				
800				
900				
1020*				
2000				
3000				
3400				



ภาพแสดงเกณฑ์มาตรฐานค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว

3.4.4 อัตราขยายทางด้านส่ง และด้านรับ (Transmit and Receive Gain)

การปรับอัตราขยาย (dB) $V_n = 1020\text{Hz}$	ผลการทดสอบทางด้านส่ง(dB) V_{TO} (วงจร 3.3.6)	ผลการทดสอบทางด้านรับ(dB) V_{RO} (วงจร 3.3.7)
-8		
-7		
-6		
-5		
-4		
-3		
-2		
-1		
0		
+1		
+2		
+3		
+4		
+5		
+6		
+7		

3.4.5 สัญญาณรบกวน (Noise)

รายละเอียด (วงจร 3.3.8)	สัญญาณรบกวนทางด้านส่ง	สัญญาณรบกวนทางด้านรับ
สัญญาณรบกวน (Noise)	dBm (dBm _c)	dBm (dBm _c)

3.4.6 เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่ง และด้านรับ (Transmit and Receive Response Time & Completion Event)

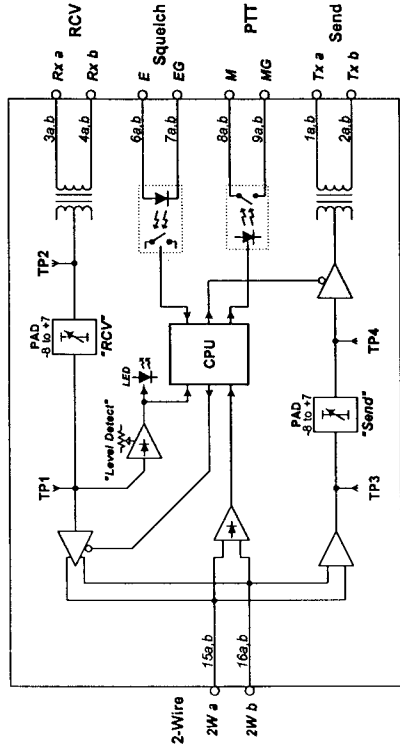
ลำดับ	รายละเอียด	ผลการทดสอบทางด้านส่ง (วงจร 3.3.9)	ผลการทดสอบทางด้านรับ (วงจร 3.3.10)
1	เวลาในการตอบสนอง	วินาที	วินาที
2	ความถูกต้องในการเชื่อมต่อ	ร้อยละ	ร้อยละ

4. ชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ (Radio Interface)

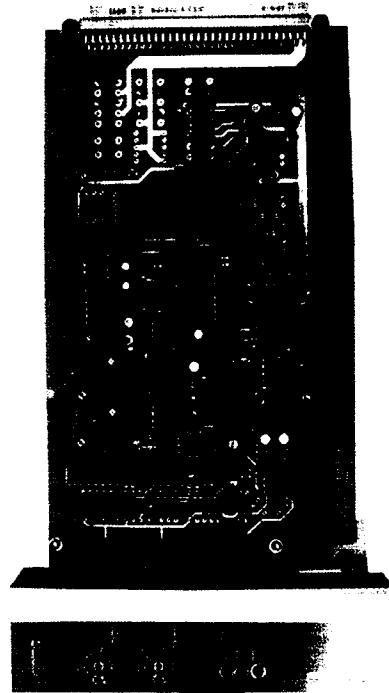
4.1 คุณสมบัติ (Specifications)

ลำดับ	รายละเอียด	ค่าที่กำหนด
1	การตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ช่วง 300-3400 Hz	น้อยกว่า ± 0.5dB
2	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)	มากกว่า 18dB
3	ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (Longitudinal Conversion Loss)	มากกว่า 40dB
4	อัตราขยาย (Gain) 0dB ปรับได้ตั้งแต่ -8dB ถึง +7dB	น้อยกว่า ± 0.5dB
5	สัญญาณรบกวน (Noise)	น้อยกว่า - 65dB
6	เวลาในการตอบสนองทางด้านส่ง	น้อยกว่า 0.07 วินาที
7	ความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่ง	มากกว่าร้อยละ 99.99
8	เวลาในการตอบสนองทางด้านรับ	น้อยกว่า 0.2 วินาที
9	ความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านรับ	มากกว่าร้อยละ 99.9

4.2 ส่วนประกอบของวงจร (Block Diagram)



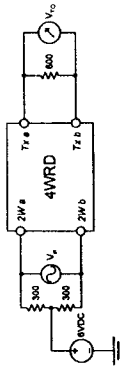
ส่วนประกอบของวงจรเปลี่ยนสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ



ชุดแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ (Radio Interface)

4.3 วงจรสำหรับการทดสอบ (Measurement Circuit)

4.3.1 การตอบสนองความถี่ทางส่ง (Transmit Frequency Response)

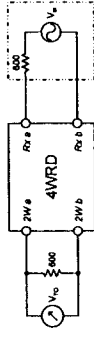


V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, Impedance 600 ohm

V_{10} = Level Meter

1. บิดน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_{10} ได้ 0 dBm
2. เปลี่ยนความถี่ที่ V_n ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{10}

4.3.2 การตอบสนองความถี่ทางรับ (Receive Frequency Response)

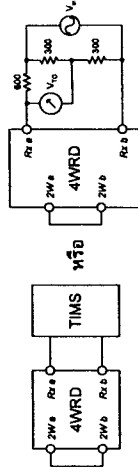


V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, Impedance 600 ohm

V_{10} = Level Meter

1. บิดน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_{10} ได้ 0 dBm
2. เปลี่ยนความถี่ที่ V_n ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{10}

4.3.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

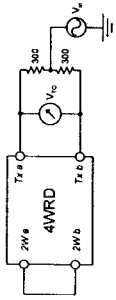


TIMS = Transmission Impairment Measuring Set

V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, @1.0Vrms

V_{10} = AC Volt Meter หรือ Level Meter (Vrms) หรือ Audio Analyzer

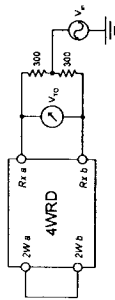
4.3.4 ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวทางด้านส่ง (Transmit Longitudinal Conversion Loss)



V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, @1.0Vrms

V_{to} = AC Volt Meter หรือ Level Meter (Vrms) หรือ Audio Analyzer

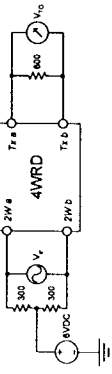
4.3.5 ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวทางด้านรับ (Receive Longitudinal Conversion Loss)



V_n = Signal Generator, Frequency 0-4kHz, @1.0Vrms

V_{to} = AC Volt Meter หรือ Level Meter (Vrms) หรือ Audio Analyzer

4.3.6 อัตราขยายทางด้านส่ง (Transmit Gain)

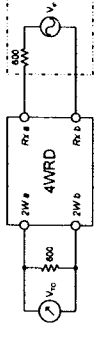


V_n = Signal Generator, @Frequency 1020Hz

V_{to} = Level Meter

1. ปรับสวิตช์ "Send" ที่หน้าปัทม์ ไปที่ตำแหน่ง 0 (dB)
2. บ่อน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_{to} ได้ 0 dBm
3. ปรับสวิตช์ "Send" ที่หน้าปัทม์ ไปที่ตำแหน่งต่างๆ ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{to}

4.3.7 อัตราขยายทางด้านรับ (Receive Gain)

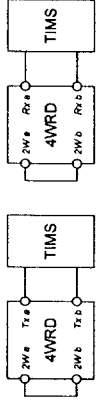


V_n = Signal Generator, @Frequency 1020Hz

V_{to} = Level Meter

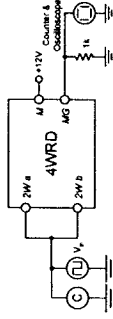
1. ปรับสวิตช์ "RCV" ที่หน้าปัทม์ ไปที่ตำแหน่ง 0 (dB)
2. บ่อน V_n ที่ความถี่อ้างอิง (1020Hz) และปรับระดับสัญญาณ ให้อ่านค่าที่ V_{to} ได้ 0 dBm
3. ปรับสวิตช์ "RCV" ที่หน้าปัทม์ ไปที่ตำแหน่งต่างๆ ตามค่าในตาราง และบันทึกค่า V_{to}

4.3.8 สัญญาณรบกวนทางด้านส่ง และรับ (Transmit and Receive Noise)



TMS = Transmission Impairment Measuring Set หรือ Audio Analyzer

4.3.9 เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่ง (Transmit Response Time & Completion Event)



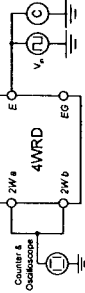
V_n = Signal Generator @ Square Wave, 0-6V, 5Hz

C = Universal Counter (Totalize Measurement)

การวัดความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านส่งและรับ

1. ต่อ Universal Counter ทั้ง Input และ Output โดยใช้ Totalize Measurement Mode
2. บ่อน V_n ตามที่กำหนด
3. กดปุ่ม Reset ที่ Universal Counter ทั้งสองพร้อมกัน
4. Universal Counter จะเริ่มนับจาก 1 รอจนกระทั่ง Universal Counter ทาง Input นับค่าได้ 10,000 ค่า Universal Counter ทาง Output นับได้ค่าเท่ากัน หมายถึงความถูกต้องในการเชื่อมต่อมีค่ามากกว่าร้อยละ 99.99

4.3.10 เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางด้านรับ (Receive Response Time & Completion Event)



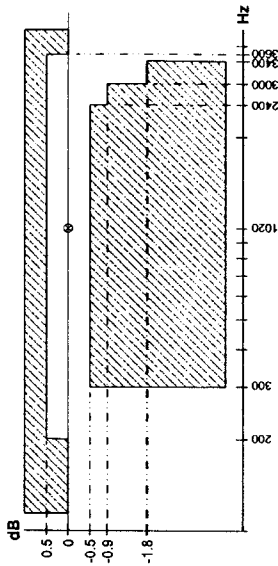
V_n = Signal Generator @ Square Wave, 0-12V, 5Hz

C = Universal Counter (Totalize Measurement)

4.4 ผลการทดสอบ (Test Result)

4.4.1 การตอบสนองความถี่ทางส่ง และด้านรับ (Transmit and Receive Frequency Response)

ความถี่(Hz) V _n	ผลการทดสอบทางส่ง(dB) V _{TO} (วงจร 4.3.1)	ผลการทดสอบทางรับ(dB) V _{TO} (วงจร 4.3.2)
100		
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1020*		
2000		
2400		
3000		
3400		
3600		



ภาพแสดงเกณฑ์มาตรฐานของการตอบสนองความถี่

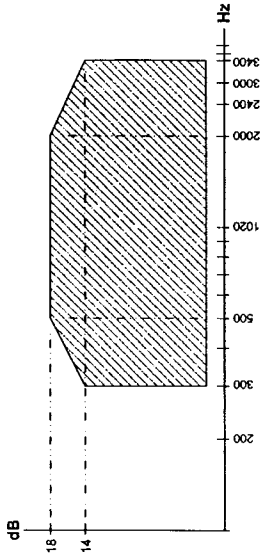
4.4.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

4.4.3 ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว (Longitudinal Conversion Loss)

ค่าการสูญเสียย้อนกลับ(RL) = $20 \log \frac{V_{in}}{V_{To}}$ dB, @ V_{in} = 1.0Vrms

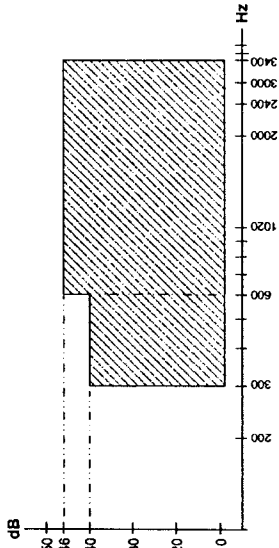
ค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว(LCL) = $20 \log \frac{V_{in}}{V_{To}}$ dB, @ V_{in} =1.0Vrms

ความถี่(Hz)	V _n	แบบที่ 1 วัดโดยใช้ TIMS (dB)	แบบที่ 2 วัดค่า V _{To} และคำนวณ (วงจร 4.3.3)
		V _{To} (mVrms)	คำนวณ (dB)
100			
200			
300			
400			
500			
600			
700			
800			
900			
1020*			
2000			
3000			
3400			



ภาพแสดงเกณฑ์มาตรฐานของการสูญเสียย้อนกลับ

ความถี่(Hz)	V _n	การสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวทางด้านส่ง (วงจร 4.3.4)		การสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวทางด้านรับ (วงจร 4.3.5)	
		V _{To} (mVrms)	คำนวณ (dB)	V _{To} (mVrms)	คำนวณ (dB)
100					
200					
300					
400					
500					
600					
700					
800					
900					
1020*					
2000					
3000					
3400					



ภาพแสดงเกณฑ์มาตรฐานค่าการสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาว

4.4.4 อัตราขยายทางกำลัง และด้านรับ (Transmit and Receive Gain)

การรับอัตราขยาย (dB) $V_n = 1020\text{Hz}$	ผลการทดสอบทางกำลัง(dB) V_{To} (วงจร 4.3.6)	ผลการทดสอบทางด้านรับ(dB) V_{To} (วงจร 4.3.7)
-8		
-7		
-6		
-5		
-4		
-3		
-2		
-1		
0		
+1		
+2		
+3		
+4		
+5		
+6		
+7		

4.4.5 สัญญาณรบกวน (Noise)

รายละเอียด (วงจร 4.3.8)	สัญญาณรบกวนทางกำลัง	สัญญาณรบกวนทางด้านรับ
สัญญาณรบกวน (Noise)	dBm (dBmc)	dBm (dBmc)

4.4.6 เวลาในการตอบสนอง และความถูกต้องในการเชื่อมต่อทางกำลัง และด้านรับ (Transmit and Receive Response Time & Completion Event)

ลำดับ	รายละเอียด	ผลการทดสอบทางกำลัง (วงจร 4.3.9)	ผลการทดสอบทางด้านรับ (วงจร 4.3.10)
1	เวลาในการตอบสนอง	วินาที	วินาที
2	ความถูกต้องไม่การเชื่อมต่อ	ร้อยละ	ร้อยละ

ภาคผนวก จ
แผนภูมิแสดงผลการทดสอบ

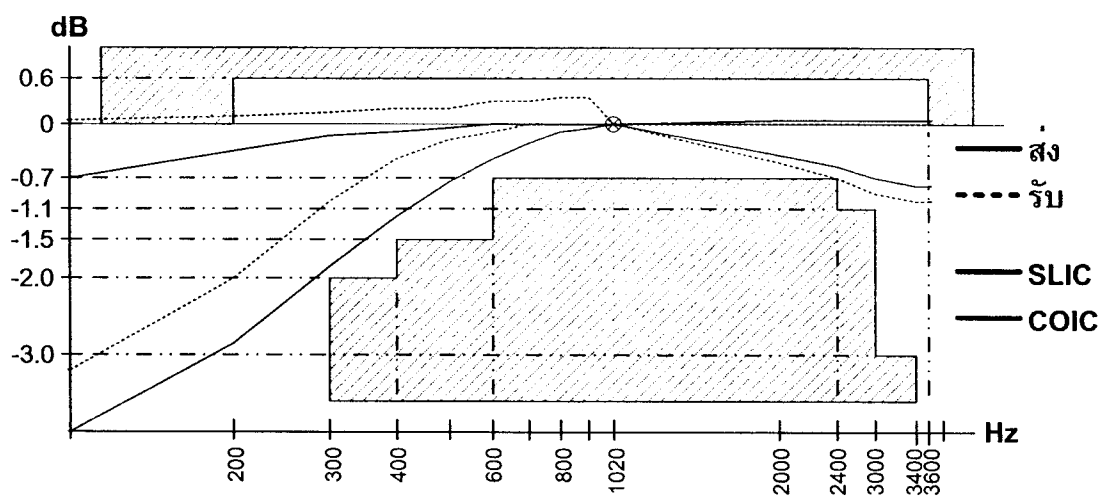
คำย่อที่ใช้ในแผนภูมิ

SLIC (Subscriber Line Interface Circuit) คือ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์

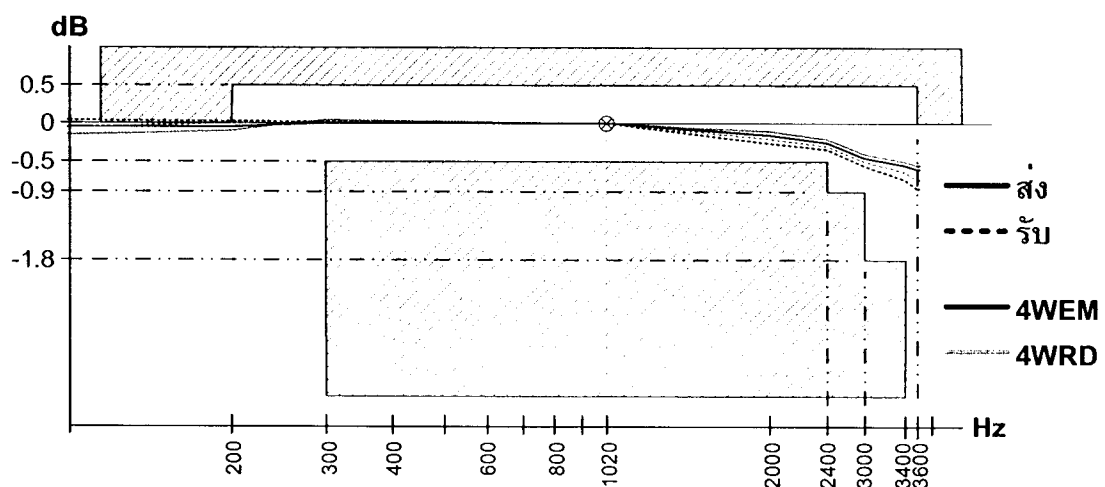
COIC (Central Office Interface Circuit) คือ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์

4WEM (4-Wire E&M Interface Circuit) คือ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น

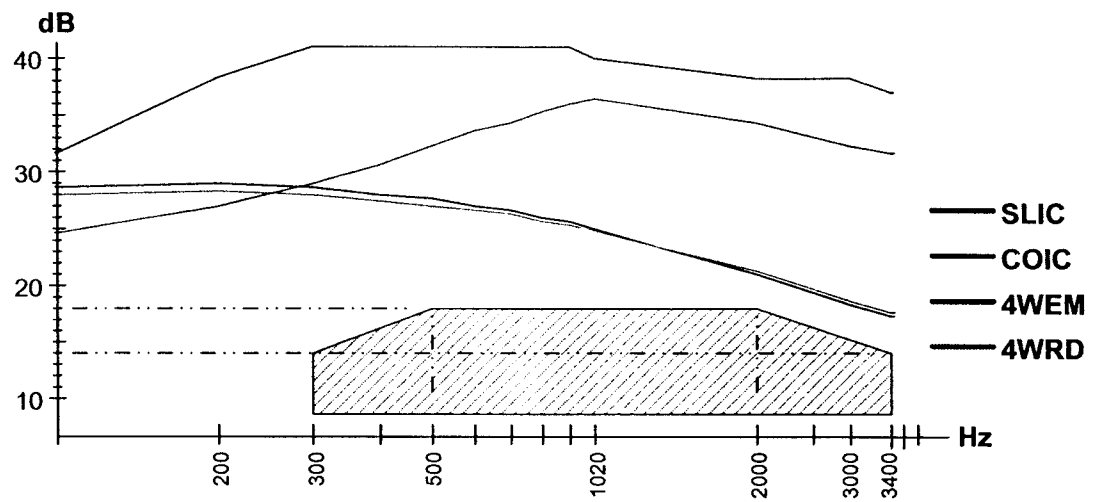
4WRD (Radio Interface Circuit) คือ วงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ



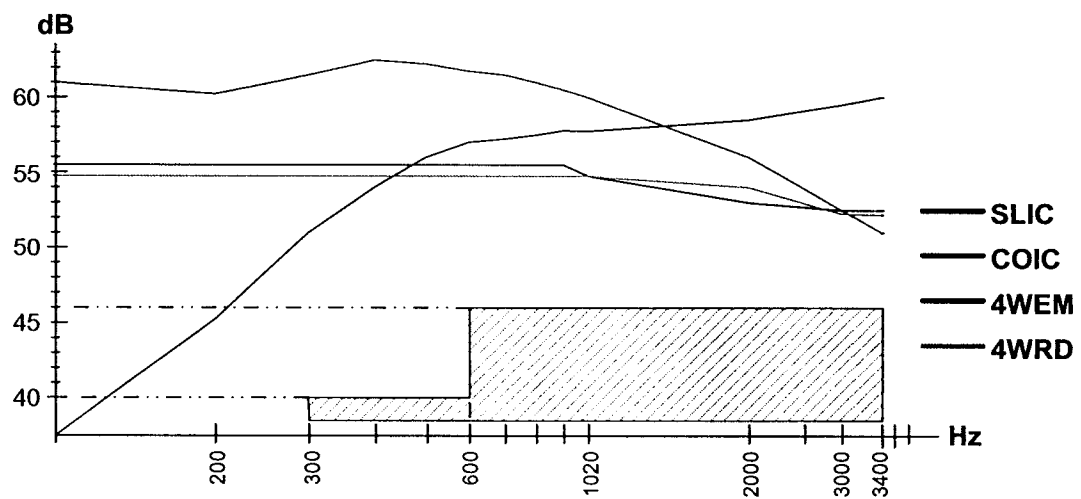
การตอบสนองความถี่ของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ และชุมสายโทรศัพท์



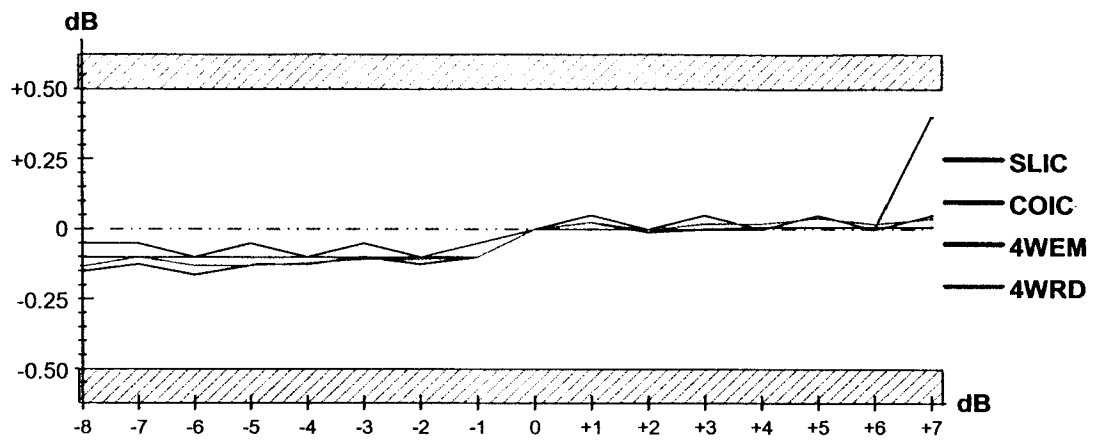
การตอบสนองความถี่ของวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับช่องสื่อสารแบบ 4 เส้นและเครื่องรับส่งวิทยุ



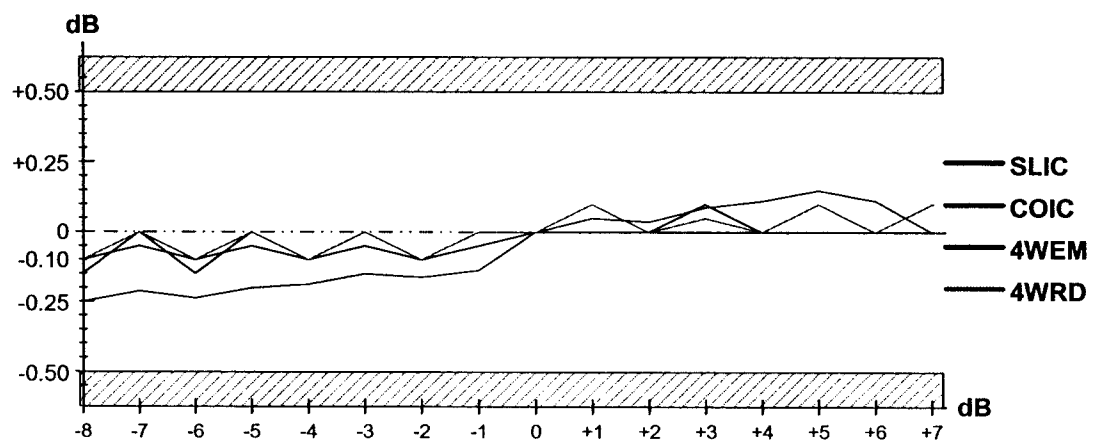
การสูญเสียย้อนกลับของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด



การสูญเสียของการแปลงสัญญาณตามยาวของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด

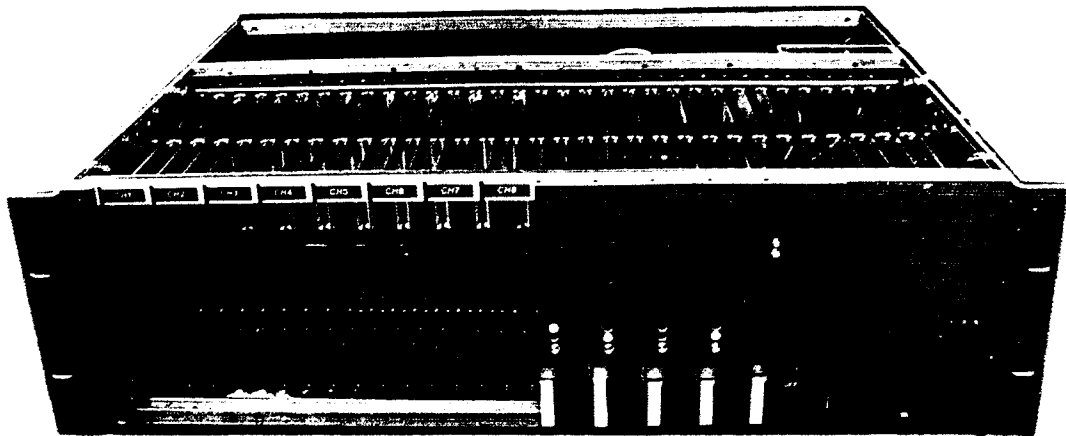


ค่าผิดพลาดของอัตราขยายทางด้านส่งของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด

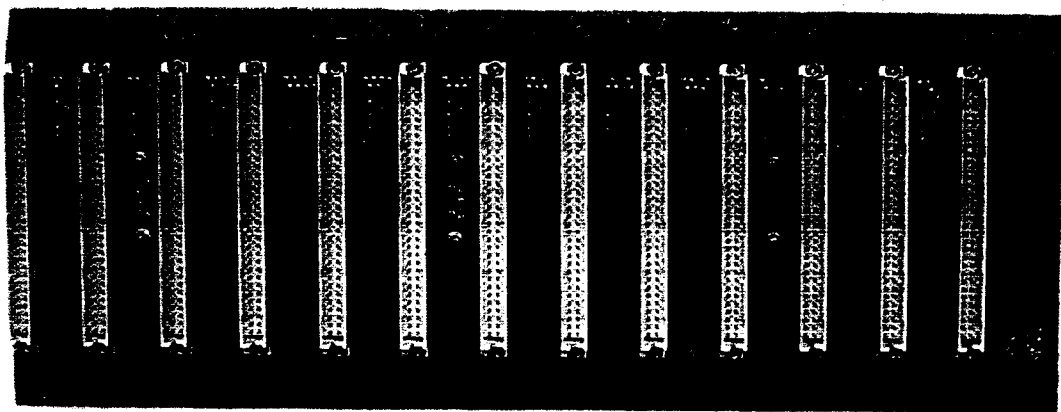


ค่าผิดพลาดของอัตราขยายทางด้านรับของวงจรแปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลองทั้ง 4 ชนิด

ภาคผนวก จ
ภาพประกอบ



ภาพอุปกรณ์แปลงสัญญาณของชุดสื่อสารจำลอง



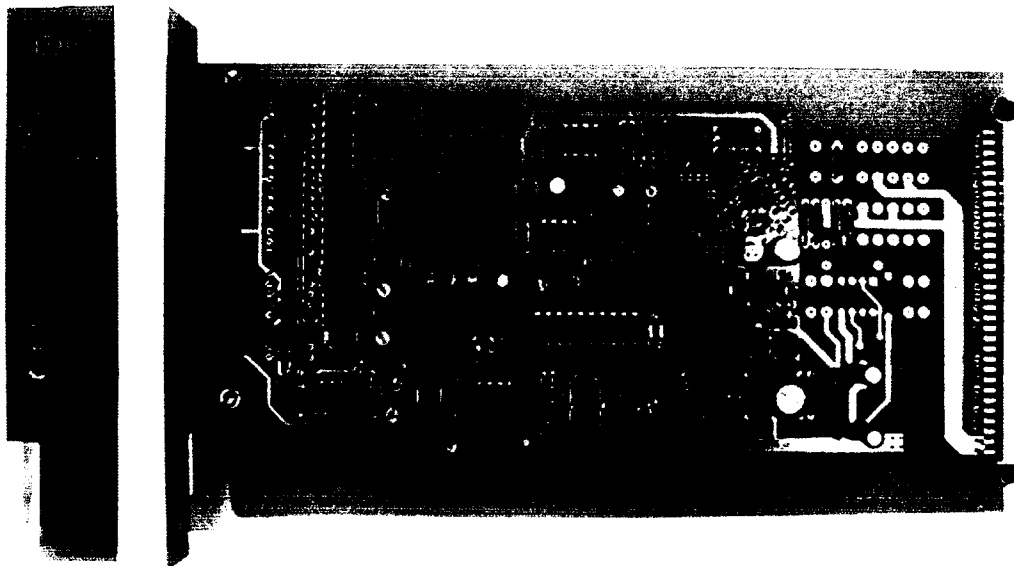
ภาพด้านหน้าแผงเชื่อมต่อระหว่างวงจร (Backplane)



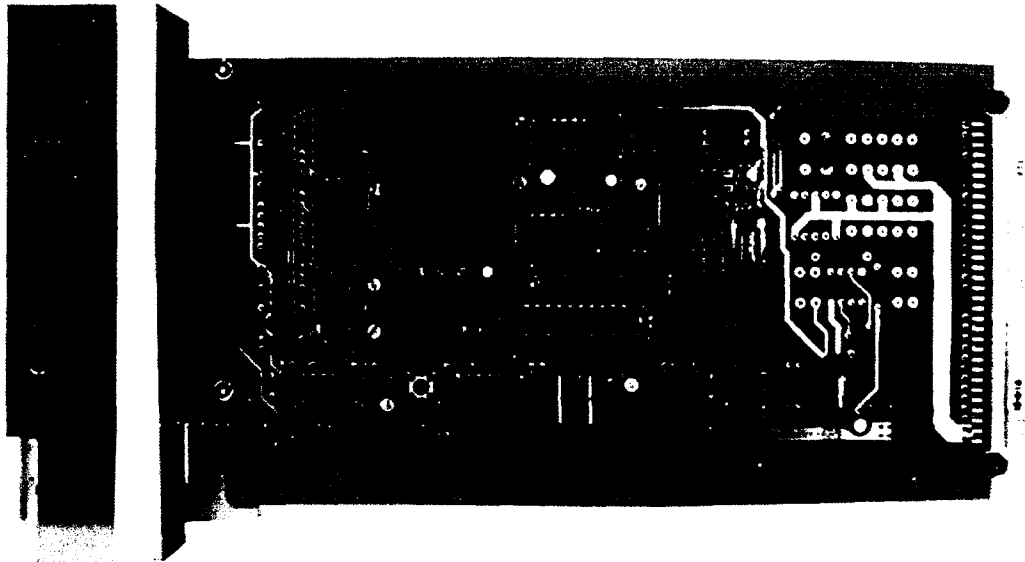
ภาพด้านหลังแผงเชื่อมต่อระหว่างวงจร (Backplane)



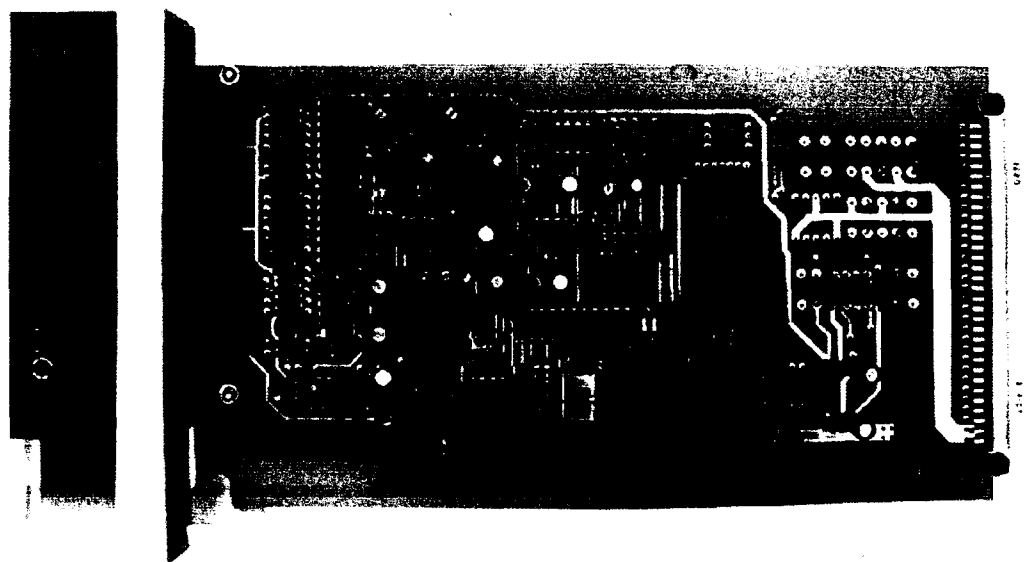
ภาพแหล่งจ่ายไฟ



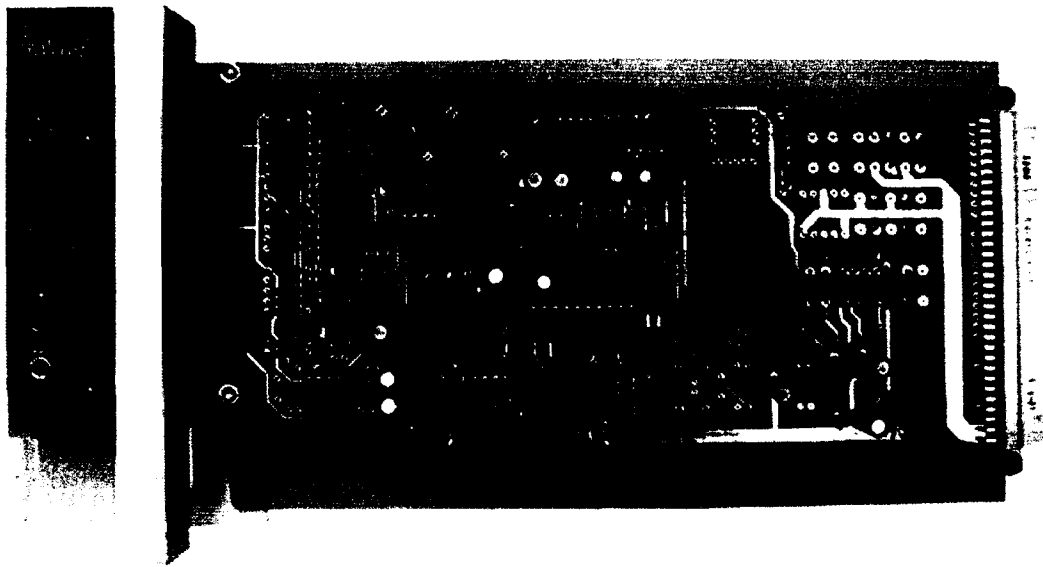
ภาพวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ (Subscriber Line Interface Circuit หรือ SLIC)



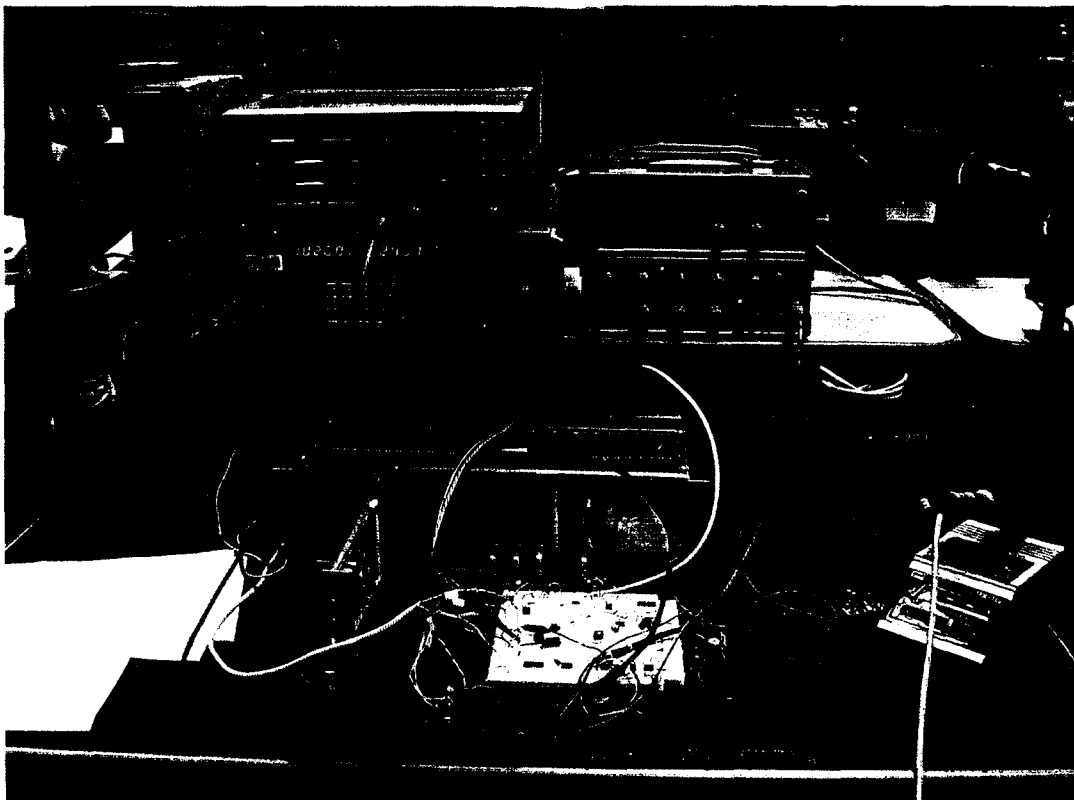
ภาพวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์
(Central Office Interface Circuit หรือ COIC)



ภาพวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น (4-Wire E&M Interface Circuit)



ภาพวงจรแปลงสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งวิทยุ (Radio Interface Circuit)



ภาพการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณทั้ง 4 ช่อง



ภาพการต่อชุดสื่อสารจำลองกับอุปกรณ์แปลงสัญญาณเพื่อทดลองเชื่อมต่อกับโทรศัพท์
ตู้สาขาหรือชุมสายโทรศัพท์ ช่องสื่อสารแบบ 4 เส้น และเครื่องรับส่งวิทยุ

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายวิริยะ จริยวิทยานนท์
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 12 กันยายน พ.ศ. 2510
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	48/74 หมู่ 13 ถนนหทัยราษฎร์ แขวงสามวาตะวันตก เขตคลองสามวา กรุงเทพมหานคร 10510 โทร. 0-2957-6631
ตำแหน่งหน้าที่การงานในปัจจุบัน	ผู้จัดการงานวิศวกรรม
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด 102 ซอยงามดูพลี แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120 โทร. 0-2285-9232 E-mail : wiriya@aerorhai.co.th
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2525	มัธยมศึกษาปีที่ 3 จาก โรงเรียนเบ็ญจะมะมหาราช
พ.ศ. 2528	ปวช. (อิเล็กทรอนิกส์) จาก วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี
พ.ศ. 2530	ปวส. (อิเล็กทรอนิกส์) จาก วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ
พ.ศ. 2538	อสบ. (เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์) จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอม เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547	กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร