การออกแบบโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ

A DESIGN OF COMMAND RADIO NETWORK

วรภาพย์ อัครสมบูรณ์
WORAPHARP AKRARASOMBOON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-666-7

สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ

A DESIGN OF COMMAND RADIO NETWORK

วรภาพย์ อัครสมบูรณ์
WORAPHARP AKRARASOMBOON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2545

ISBN 974-648-666-7

A DESIGN OF COMMAND RADIO NETWORK

WORAPHARP AKRARASOMBOON

A THESIS SUMBITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERRING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

ISBN 974-648-666-7

COPYRIGHT 2002
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ
นักศึกษา	นายวรภาพย์ อัครสมบูรณ์
รหัสประจำตัว	42061138
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เสนอการปรับปรุงโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ ให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและใช้ประสานงานกับสถานีภูมิภาคได้ ด้วยการเชื่อมโยงสถานีทบทวนสัญญาณแต่ละสถานีภูมิภาคด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อแก้ไขปัญหาในกรณีการรับ-ส่งสัญญาณผ่านวงจร 4-wire E/M ขัดข้อง อันเนื่องมาจากระบบสื่อสัญญาณ การดำเนินการโดยใช้เครื่องรับ-ส่งวิทยุชนิดติดรถยนต์ มาทำการประยุกต์ใช้เป็นเครื่องเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างสถานีทบทวนสัญญาณ ด้วยความถี่วิทยุแบบ Simplex โดยการควบคุมจากชุด Interface Control

Thesis Title	A Design of Command Radio Network
Student	Mr. Worapharp Akarasomboom
Student ID.	42061138
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Kobchai Dejhan

ABSTRACT

This thesis presents an improvement of the command radio by connecting the base repeater of each station via radio frequency. The purpose is to solve the problem of the interruption of signal transmission through 4 - wire E/M. The control can be done by controlling from the interface control.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี ด้วยคำแนะนำและการให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการออกแบบระบบวิทยุสั่งการเฉพาะกิจจาก รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทดสอบและพนักงานจากส่วนซ่อมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และขอขอบพระคุณเพื่อนร่วมงานที่กองวิทยุสั่งการส่วนระบบสื่อสัญญาณ องค์การโทรศัพท์ฯ ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือจนผลงานชิ้นนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขออำนวยคุณพระศรีรัตนตรัยและสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลาย จงช่วยดลบันดาลให้ทุก ๆท่านที่กล่าวถึงนั้นประสบความสำเร็จ มีความสุขความเจริญด้วยจตุพิษพร และประสบความสำเร็จในหน้าที่การงานทุกประการ

วรภาพย์ อัครสมบูรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 แนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....1

1.3 หลักการของระบบเดิม.....1

1.4 หลักการที่ทำการปรับปรุง.....2

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....3

บทที่ 2 หลักการเบื้องต้นของระบบวิทยุสั่งการ.....4

2.1 สถานีทบทวนสัญญาณ (Base Repeater).....4

2.2 สถานีฐาน (Base Station).....13

2.3 สถานีเชื่อมโยงสัญญาณ (Relay Station).....14

2.4 สถานีลูกข่าย.....15

2.5 สรุป.....16

บทที่ 3 การหาตำแหน่งติดตั้งสถานีทบทวนสัญญาณ.....17

3.1 การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่น หรือ Path Loss.....17

3.2 การสูญเสียเนื่องจากสภาพแวดล้อม.....17

3.3 การสูญเสียเนื่องจากสายนำสัญญาณ.....18

3.4 การจัดสรรความถี่วิทยุใช้งาน.....19

3.5 สายอากาศ.....20

3.5.1 การแพร่คลื่นของสายอากาศ.....21

3.5.2 โพลาไรเซชั่น.....22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5.3 อัตราขยายของสายอากาศ.....22

3.5.4 บีมวิดท์.....23

3.5.5 ความต้านทานการแพร่คลื่น.....23

3.5.6 สายอากาศยากิ.....24

3.6 หน่วยที่ใช้วัด.....25

3.7 Relative Level.....25

3.8 ระดับสัญญาณทดสอบ (Test Tone Level).....26

3.9 การวัด Loss และ Gain.....27

3.10 Insertion Loss.....29

3.11 การวัด Return Loss และ Reflection Loss.....29

3.12 การคำนวณในระบบรับส่งสัญญาณ.....33

3.12.1 BEL และ DECIBEL.....33

3.12.2 Gain และ Loss.....35

3.12.3 Overall Gain หรือ Loss.....36

3.12.4 Voltage และ Current Ratio.....37

3.12.5 การกำหนด Power Level.....40

3.12.6 Relative Level.....43

3.12.7 ค่ากำลังแผ่กระจายคลื่นประสิทธิผลในขั้น Isotropic (EIRP).....44

3.12.8 Signal to Noise Ratio (S/N).....45

3.13 การคำนวณหาระยะทางเพื่อติดตั้งสถานีทบทวนสัญญาณ.....46

3.14 สรุป.....51

บทที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณ.....52

4.1 การทดสอบสัญญาณเชื่อมโยงผ่านคลื่นความถี่วิทยุ.....52

4.1.1 เครื่องมือทดสอบสัญญาณเชื่อมโยง.....52

4.1.2 ทดสอบสัญญาณเชื่อมโยงและผลการทดสอบ.....56

4.2 การเชื่อมโยงทางแสง.....59

4.3 การทำงานของชุมควบคุม.....62

4.4 สรุป.....65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....66
บรรณานุกรม.....67
ภาคผนวก.....68
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....99
ประวัติผู้เขียน.....100

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 แสดงการสูญเสียเนื่องจากสภาพแวดล้อมในหน่วยของ dB..... 18

3.2 แสดงการสูญเสียเนื่องจากโครงสร้างของตึกหรืออาคารต่าง ๆ ในหน่วย dB.....18

3.3 แสดงการสูญเสียภายในสายนำสัญญาณที่มีความยาว 100 ฟุต..... 19

3.4 การเปรียบเทียบอัตราส่วนของ Power, Voltage หรือ Current.....39

3.5 ระดับสัญญาณที่ด้านรับและค่า EIRP จากการคำนวณ.....50

4.1 ผลการทดสอบระหว่างสถานีโทรคมฯ กรุงเกษม – ไปยังสถานีโทรคมฯ อ่างทอง..... 57

4.2 ผลการทดสอบระหว่างสถานีโทรคมฯ อ่างทอง – ไปยังสถานีโทรคมฯ กรุงเกษม..... 57

4.3 แสดงระดับการรับฟังของสัญญาณเสียง.....58

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 การเชื่อมโยงสถานีศูนย์กลางกับสถานีแม่ข่าย....2

1.2 โครงข่ายระบบวิทยุสั่งการแบบใหม่ที่นำเสนอ....2

2.1 สถานีทบทวนสัญญาณชนิดมี Duplexer....4

2.2 บล๊อคไดอะแกรมสถานีทบทวนสัญญาณชนิดมี Duplexer....5

2.3 สถานีทบทวนสัญญาณชนิดไม่มี Duplexer....5

2.4 บล๊อคไดอะแกรมสถานีทบทวนสัญญาณชนิดไม่มี Duplexer....6

2.5 Bandpass Cavity....7

2.6 Band-Reject Cavity....8

2.7 Bandpass Duplexer....10

2.8 Band-Reject Duplexer....12

2.9 ลักษณะสถานีฐาน....13

2.10 บล๊อคไดอะแกรมสถานีฐาน....13

2.11 เครื่องวิทยุรับ-ส่ง (MAXON PM150 SH) ที่ทำการดัดแปลงเป็นเครื่องเชื่อมโยงสัญญาณ...14

2.12 การควบคุมเครื่องวิทยุเชื่อมโยงสัญญาณ....14

2.13 เครื่องวิทยุสั่งการชนิดมือถือ....15

3.1 แบนด์วิดท์ของระบบ FM....20

3.2 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ....20

3.3 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ปรากฏรอบไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ....21

3.4 โพลาไรเซชั่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า....22

3.5 การวัดความกว้างลำคลื่นในรูปแบบการแผ่คลื่นค่า dB หรือ μV/m บนรูปแบบการแผ่คลื่นที่แสดงไว้เป็นค่าสมมติ เพื่อแสดงการเปรียบเทียบ....23

3.6 ความต้านทานแพร่คลื่น เป็นความต้านทานที่เกี่ยวกับแผ่นคลื่นมิใช่เกี่ยวกับการสูญเสียเป็นความร้อนในที่นี้แสดงให้เห็นว่าความต้านทานแพร่คลื่นของสายอากาศเขียนแทนได้ด้วยความต้านทาน R....24

3.7 สายอากาศยากิ....24

3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราขยายของสายอากาศยากิ กับจำนวนอีลีเมนต์....25

3.9 การวัด loss หรือ gain โดยวิธีอ่านโดยตรง....27

3.10 การวัด loss โดยวิธีเปรียบเทียบ....28

3.11 การวัด gain ของ amplifier....29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.12 return loss ภายใต้ภาวะสมดุล.....30
3.13 return loss ภายใต้ภาวะไม่สมดุล.....31
3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างการไม่สมดุลทางอิมพีแดนซ์ และ return loss.....31
3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการไม่สมดุลทางอิมพีแดนซ์ และ reflection loss.....32
3.16 การวัด Relative Level.....43
3.17 แสดงการวัดระดับ Distortion และ Signal to Noise Ratio.....45
3.18 แผนที่แสดงเส้นทางการเชื่อมโยง กรุงเทพฯ – อ่างทอง.....47
4.1 เครื่องมือวัด Communication Service Monitor (Marconi Instruments 2945A).....52
4.2 การทดสอบเครื่องส่ง.....53
4.3 การทดสอบเครื่องรับ.....54
4.4 การทดสอบ One port duplex.....54
4.5 การทดสอบ Two port duplex.....55
4.6 การทดสอบเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่.....55
4.7 การทดสอบสัญญาณ AF.....56
4.8 แสดงลักษณะการทดสอบสัญญาณระหว่างสถานีกรุงเกษม – สถานีอ่างทอง.....57
4.9 กราฟแสดงผลการทดสอบสัญญาณระหว่างสถานีโทรคมฯ กรุงเกษม-อ่างทอง.....58
4.10 กราฟแสดงผลการทดสอบสัญญาณระหว่างสถานีโทรคมฯ อ่างทอง-กรุงเกษม.....58
4.11 แสดงสัญลักษณ์ของออปโต้คัปเปลอร์.....60
4.12 (ก) แสงที่เกิดขึ้นหลังจากมีกระแสไบอัสตรงไหลผ่าน.....61
4.13 แสดงวงจรออปโต้แบบทรานซิลเตอร์เพื่อแยกการทำงาน.....62
4.14 ลักษณะภายใน INTERFACE CONTROL.....63
4.15 INTERFACE CONTROL.....63
4.16 การควบคุมระบบโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ.....64

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์

ในปัจจุบันการติดต่อสื่อสารนับว่าเป็นสิ่งสำคัญยิ่งในชีวิตประจำวัน ทำให้การขยายตัวของระบบสื่อสารเป็นไปอย่างรวดเร็วตามความต้องการ ซึ่งองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย เป็นหน่วยงานหนึ่งที่ทำหน้าที่ให้บริการด้านสื่อสารโทรคมนาคม ตั้งแต่โทรศัพท์พื้นฐาน ISDN โทรศัพท์ทางไกลชนบท (TDMA) วงจรเช่าความเร็วสูง โทรศัพท์เคลื่อนที่ การประชุมทางไกล ฯลฯ การบริการเหล่านี้มีความสำคัญกับระบบธุรกิจการค้า ดังนั้นการบำรุงรักษานับว่าเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องกระทำควบคู่ไปกับการขยายระบบสื่อสารที่เพิ่มขึ้น เพื่อที่จะทำการแก้ไขเหตุเสียที่เกิดขึ้นกับระบบสื่อสารให้แล้วเสร็จในเวลารวดเร็ว โดยมีผลกระทบกับผู้ใช้บริการน้อยที่สุด ซึ่งเครื่องมือที่ใช้สำหรับติดต่อประสานงานบำรุงรักษาระบบในระหว่างการตรวจซ่อม คือ ระบบวิทยุสั่งการ

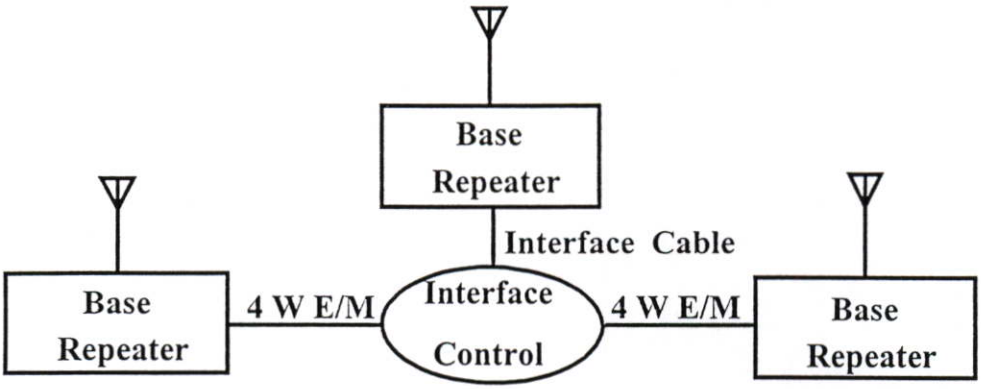
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

ในการบำรุงรักษาระบบสื่อสารโทรคมนาคม มีความสำคัญมากในปัจจุบันโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดเวลาเหตุเสีย และประหยัดค่าใช้จ่าย ฉะนั้นการออกแบบโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ ให้ครอบคลุมพื้นที่การใช้งานและมีประสิทธิภาพ โดยการเชื่อมโยงสถานีทบทวนสัญญาณผ่านคลื่นความถี่วิทยุแทนวงจร 4-wire E/M เนื่องมาจากการเชื่อมโยงด้วยวงจร 4-wire E/M ซึ่งผ่านไปทาง PCM 30 ส่งไปทางวงจรระบบทางไกลสื่อสัญญาณ เมื่อระบบเหตุเสียขึ้นทำให้การเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างสถานีทบทวนสัญญาณของวิทยุสั่งการขาดการติดต่อที่จะใช้ประสานงานบำรุงรักษา ดังนั้นการปรับปรุงโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ โดยเชื่อมโยงสถานีทบทวนสัญญาณด้วยทางความถี่วิทยุ ทำให้การติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีทบทวนสัญญาณไม่ขาดการติดต่อ จึงยังคงสามารถใช้ประสานงานการบำรุงรักษาระบบสื่อสารโทรคมนาคมได้ต่อไป

1.3 หลักการของระบบเดิม

การสร้างโครงข่ายวิทยุสั่งการครอบคลุมพื้นที่ภูมิภาคทั้ง5 เพื่อใช้งานบำรุงรักษาระบบสื่อสัญญาณและชุมสายโทรศัพท์นั้นจำเป็นต้องติดตั้งสถานีทบทวนสัญญาณในจังหวัดที่สำคัญทั่วประเทศ โดยมีสถานีศูนย์กลางอยู่ที่กรุงเทพฯ โดยหลักการเดิมเชื่อมโยงสถานีต่าง ๆเข้าด้วยกันโดยวงจรทางไกล 4-wire E/M โดยผ่านอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ PCM 30 ไปทางไมโครเวฟหรือเส้นใยแก้วนำแสง แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งเมื่อระบบสื่อสัญญาณเกิดเหตุเสียขึ้น เช่น ระบบไมโครเวฟเกิดการ

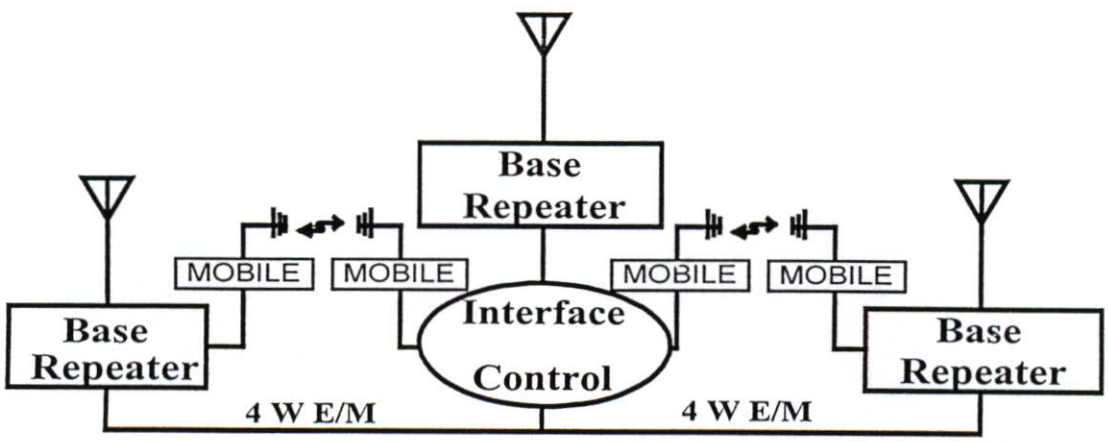
จางหาย เส้นใยแก้วนำแสงขาด ทำให้การส่งสัญญาณระหว่างสถานีทบทวนสัญญาณขาดการติดต่อไม่สามารถติดต่อประสานงานได้



รูปที่ 1.1 การเชื่อมโยงสถานีศูนย์กลางกับสถานีแม่ข่าย

1.4 หลักการใหม่ที่นำเสนอ

ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ โดยการเชื่อมโยงสถานีศูนย์กลางกับสถานีแม่ข่ายภูมิภาค โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นสื่อกลางในการเชื่อมโยงสถานีแม่ข่ายเข้าหากัน แทนการผ่านทางวงจร 4-wire E/M เพื่อแก้ไขปัญหาในกรณีเมื่อระบบสื่อสัญญาณที่มีปัญหาขัดข้องสามารถเปลี่ยนมาใช้ระบบวิทยุแทนได้ จึงยังคงสามารถใช้งานติดต่อสื่อสารเพื่อประสานงานได้ โดยการปรับปรุงชุด Interface Control ให้สามารถควบคุมการรับ-ส่งเครื่องวิทยุเชื่อมโยง ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 โครงข่ายระบบวิทยุสั่งการแบบใหม่ที่นำเสนอ

การสร้างโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ เพื่อการบำรุงรักษาระบบสื่อสัญญาณและชุมสายจะต้องมีการจัดสรรความถี่ใช้งานให้เหมาะสม เพื่อป้องกันการรบกวนกันระหว่างสถานีศูนย์กลาง

กับข่ายเชื่อมโยง สัญญาณเสียงจากสถานีศูนย์กลางถูกส่งผ่านข่ายเชื่อมโยงด้วยคลื่นความถี่วิทยุไปสู่สถานีภูมิภาค และสถานีภูมิภาคทำการแพร่กระจายสู่สถานีลูกข่าย โดยมีชุดอินเตอร์เฟสทำหน้าที่ควบคุมสถานีภูมิภาคให้ทำการส่งออกอากาศ

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบระบบวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นข่ายการติดต่อสื่อสารระหว่างกองงานบำรุงรักษาระบบสื่อสัญญาณและชุมสาย ซึ่งเชื่อมโยงสัญญาณด้วยการเชื่อมโยงทางความถี่วิทยุ ในบทที่ 1 กล่าวถึงแนวความคิดและวัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์ หลักการใหม่ที่นำเสนอและรายละเอียดวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 เป็นการเสนอหลักการเบื้องต้นของระบบวิทยุสั่งการ บรรยายถึงสถานีทบทวนสัญญาณ (Base Repeater) สถานีฐาน (Base Station) สถานีเชื่อมโยงสัญญาณ (Relay Station) และสถานีลูกข่าย

บทที่ 3 กล่าวถึงการคำนวณหาตำแหน่งติดตั้งสถานีทบทวนสัญญาณ โดยบรรยายในเรื่องการสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นของคลื่นวิทยุ การสูญเสียเนื่องจากสภาพแวดล้อม การสูญเสียเนื่องจากสายนำสัญญาณ และนอกจากนี้กล่าวถึงการจัดความถี่วิทยุที่ใช้งานเชื่อมโยงและลักษณะสายอากาศที่ใช้ สุดท้ายเป็นการแสดงการคำนวณหาระยะทางติดตั้งสถานีทบทวนสัญญาณ

บทที่ 4 เป็นการออกแบบอุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณ กล่าวถึงผลการทดสอบสัญญาณเชื่อมโยงผ่านทางคลื่นความถี่วิทยุ โดยแสดงผลการทดสอบสัญญาณในรูปของระดับสัญญาณที่รับได้ที่ปลายทางจากเครื่องมือวัด Communications Service Monitor และการทำงานของชุดอุปกรณ์เชื่อมโยง

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาต่อไปตลอดจนปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะทำการวิจัย

บทที่ 2
หลักการเบื้องต้นของระบบวิทยุสั่งการ

2.1 สถานีทบทวนสัญญาณ (Base Repeater)

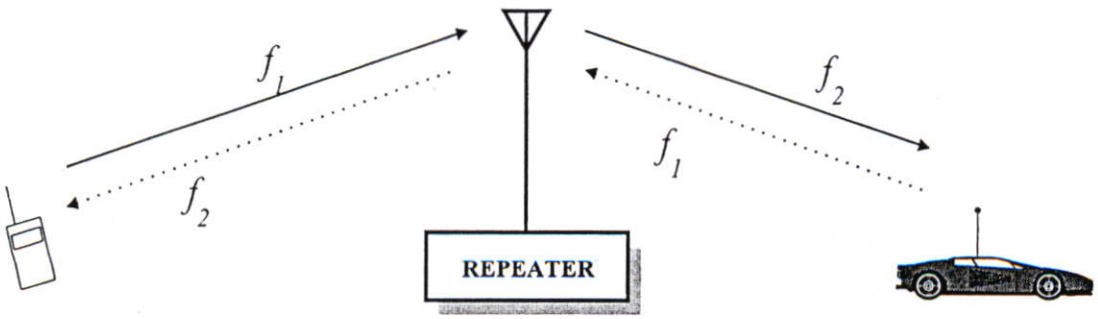
สถานีทบทวนสัญญาณ (Base Repeater) ในที่นี้หมายถึง อุปกรณ์สื่อสารที่ทำหน้าที่เป็นสถานีทบทวนสัญญาณที่รับเข้ามา แล้วส่งออกอากาศด้วยกำลังส่งที่สูง ไปยังสถานีลูกข่ายซึ่งอยู่ไกลออกไป

เมื่อมีการเรียกจากสถานีลูกข่ายสัญญาณเสียงพูดจะถูกมอดดูเลทด้วยความถี่ f_1 ที่ภาคส่งออกอากาศไปยังสถานีทบทวนสัญญาณ ภาครับที่สถานีทบทวนสัญญาณที่มีความถี่ตรงกันจะดีมอดความถี่ f_1 ออกเป็นสัญญาณเสียงส่งเข้ามอดกับสัญญาณ f_2 ที่ภาคส่ง ออกอากาศไปยังสถานีลูก-ข่ายที่อยู่ไกลออกไป การทำงานของภาครับและภาคส่งจะมีความสัมพันธ์กันด้วยการควบคุมของภาคควบคุม

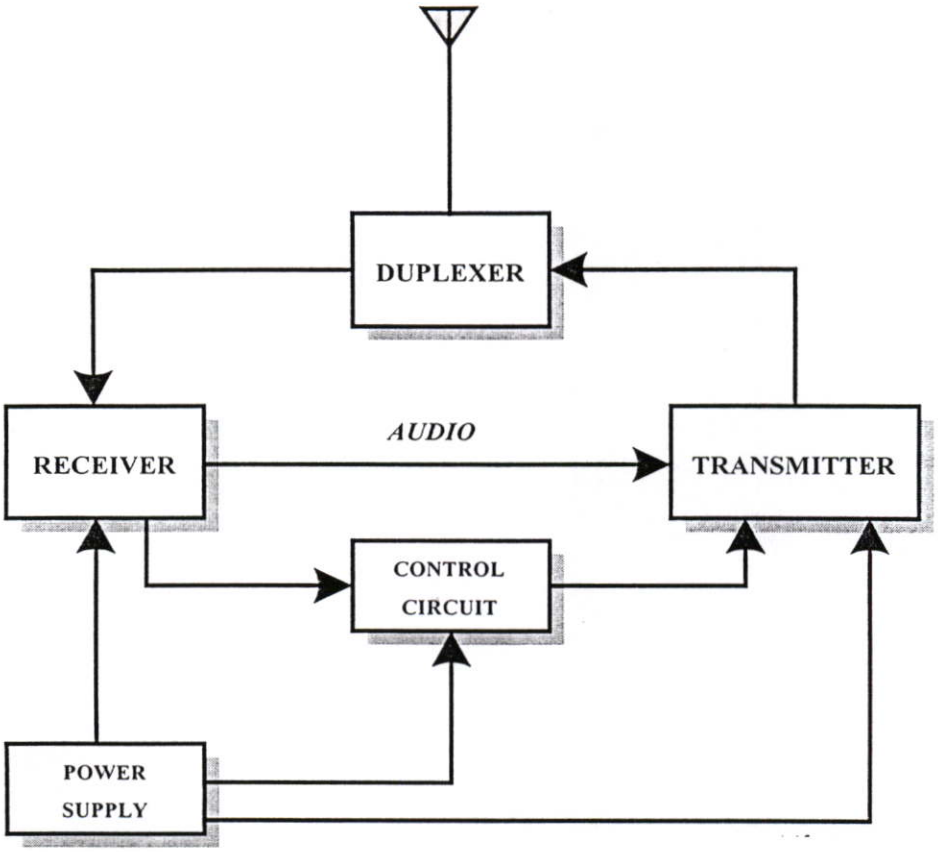
สถานีทบทวนสัญญาณแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการใช้งานดังนี้

1. สถานีทบทวนสัญญาณชนิดมี DUPLEXER
2. สถานีทบทวนสัญญาณชนิดไม่มี DUPLEXER

สถานีทบทวนสัญญาณชนิดมี DUPLEXER แสดงดังรูปที่ 2.1 สถานีทบทวนสัญญาณชนิดนี้ ใช้สายอากาศต้นเดียวในการรับ-ส่งสัญญาณจากสถานีลูกข่าย ซึ่งมี Duplexer ทำหน้าที่เป็น สวิทซ์ในการรับส่งสัญญาณ ให้แก่ภาครับและภาคส่ง ข้อดีของสถานีทบทวนสัญญาณชนิดนี้ คือ ประหยัดค่าใช้จ่ายเพราะใช้สายนำสัญญาณและสายอากาศเพียงชุดเดียวแต่จะทำให้ประสิทธิภาพในการรับสัญญาณและกำลังส่งลดลง

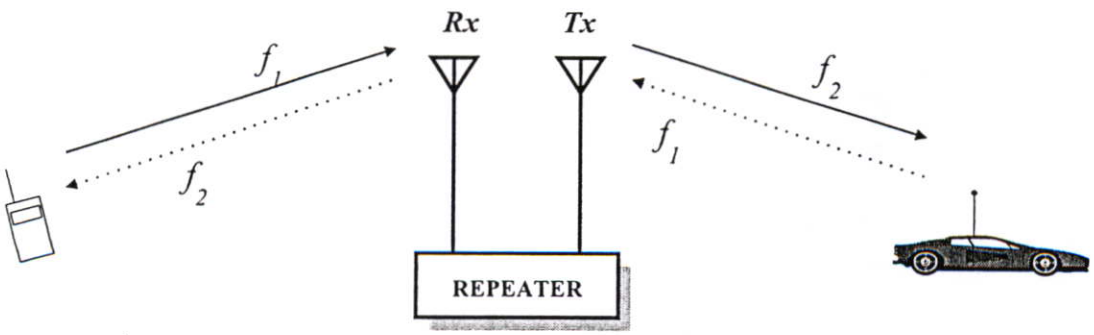


รูปที่ 2.1 สถานีทบทวนสัญญาณชนิดมี Duplexer

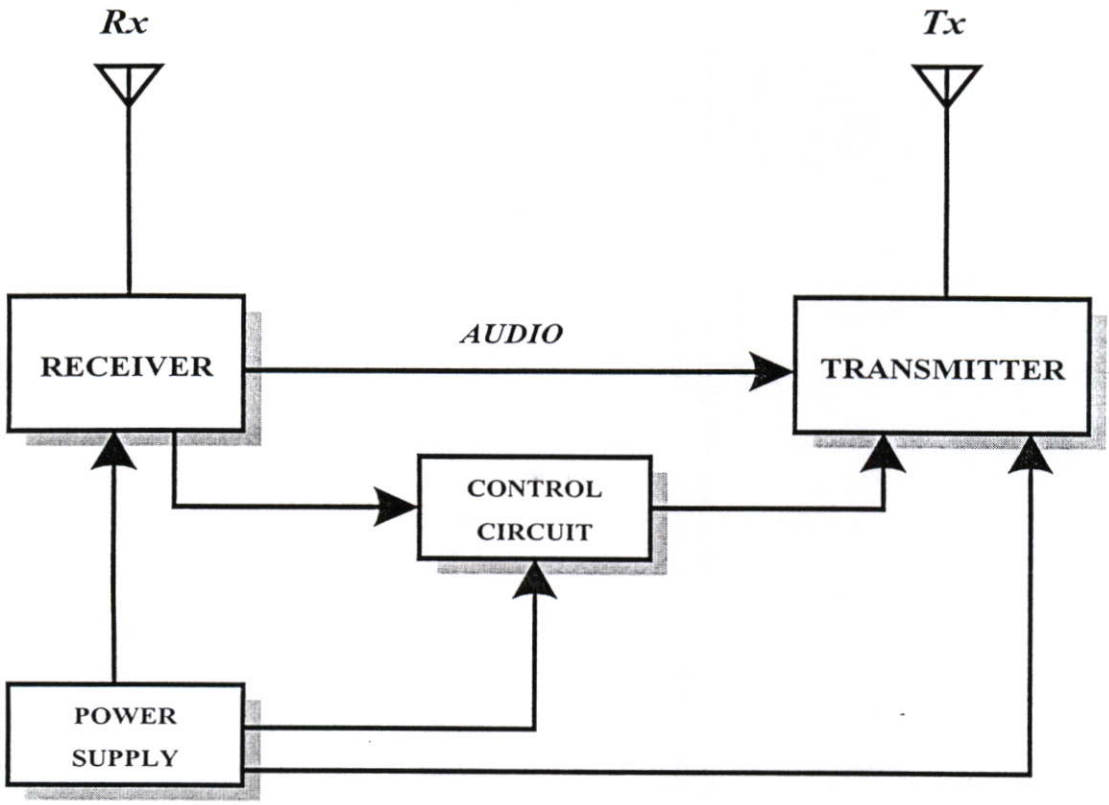


รูปที่ 2.2 บล็อคไดอะแกรมสถานีทบทวนสัญญาณชนิดมี Duplexer

สถานีทบทวนสัญญาณชนิดไม่มี DUPLEXER แสดงดังรูปที่ 2.3 สถานีทบทวนสัญญาณชนิดนี้ไม่มี DUPLEXER เหมือนแบบแรก จึงต้องใช้สายอากาศและสายนำสัญญาณสองชุด ชุดหนึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณเข้าสู่ภาครับ อีกชุดหนึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณจากภาคส่ง ฉะนั้นเวลาติดตั้งสถานีทบทวนสัญญาณชนิดนี้ ต้องวางตำแหน่งของสายอากาศให้เหมาะสม มิฉะนั้นจะเกิดการกวนกันระหว่างภาครับและภาคส่งได้ ข้อดี คือ สามารถกำหนดทิศทางในการรับ-ส่งแยกกันได้ ประสิทธิภาพของระบบในการรับสัญญาณและกำลังส่งไม่ลดลง ข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากใช้สายอากาศ 2 ต้น



รูปที่ 2.3 สถานีทบทวนสัญญาณชนิดไม่มี Duplexer

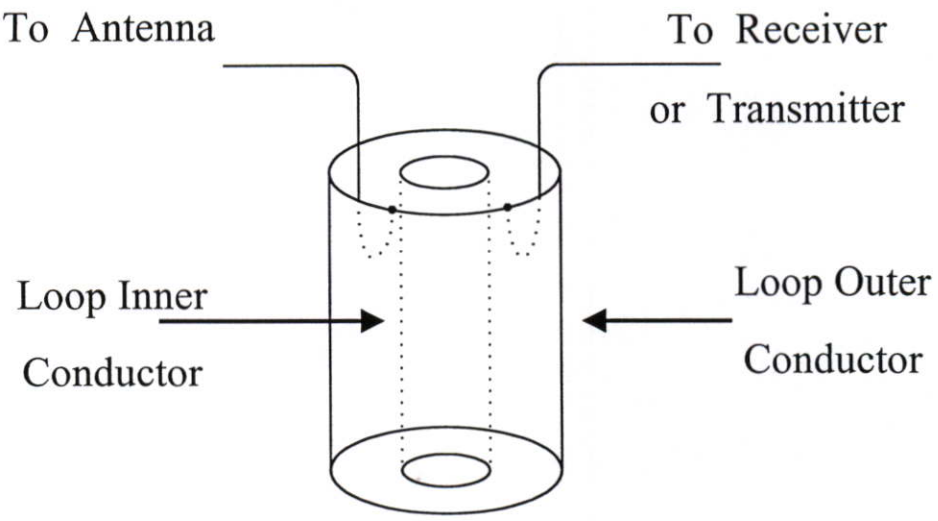


รูปที่ 2.4 บล๊อคไดอะแกรมสถานีทบทวนสัญญาณชนิดไม่มี Duplexer

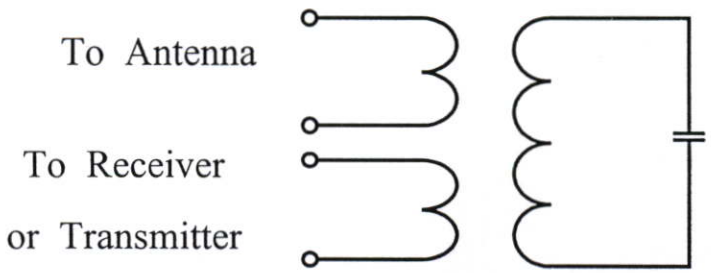
สำหรับสถานีทบทวนสัญญาณชนิดใช้ Duplexer ในการกรองความถี่ในการรับ-ส่งนั้น ประกอบไปด้วยชุดฟิลเตอร์ 2 ชุด โดยใช้ฟิลเตอร์ชนิด Cavity Filter ในการกรองความถี่ใช้งาน ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน มีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่

- Bandpass cavity
- Band-reject cavity

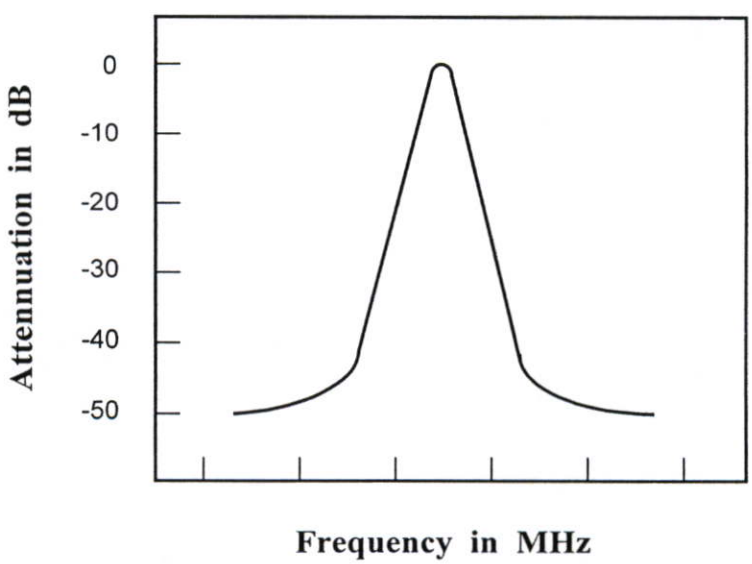
Bandpass cavity ตามรูปที่ 2.5 แสดงส่วนของ cavity วงจรสมมูลและลักษณะสัญญาณลดทอนที่ออกจาก cavity ชนิดนี้ ในส่วนของแท่งทรงกระบอกกวง ซึ่งเป็นตัวนำภายใน (inner conductor) สามารถที่จะปรับขึ้นหรือลง เพื่อจูนความถี่กลางที่ออกจาก cavity ได้ ขนาดและตำแหน่งของทรงกระบอกกวงทั้งภายในและภายนอก จะเป็นตัวกำหนดย่านความถี่เอาว์พุทและ insertion loss



(a) Bandpass Cavity



(b) Equivalent Function



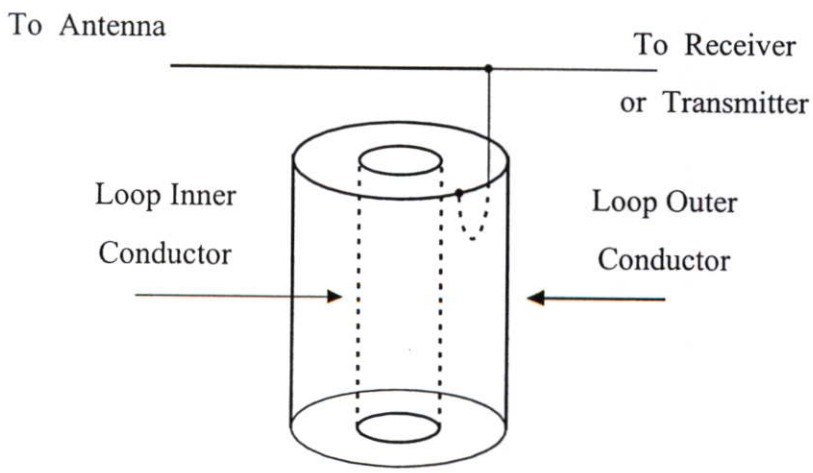
(c) Attenuation VS Frequency in MHz

รูปที่ 2.5 Bandpass Cavity

(d) Two Bandpass Cavity (DECIBELL DB4060-WOC-C)

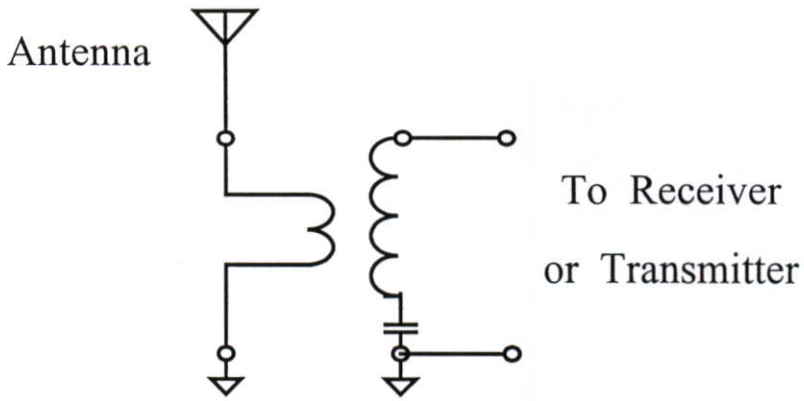
รูปที่ 2.5 **(ต่อ)**

Band-reject cavity ตามรูปที่ 2.6 แสดงส่วนของ cavity วงจรสมมูล และลักษณะสัญญาณลดทอนที่ออกจาก cavity ชนิดนี้ cavity ชนิดนี้จะคล้ายกับชนิดแรก ต่างกันตรงที่มีอยู่ loop เดียว ความถี่ที่ถูก reject จะเป็นลักษณะแบบแคบ (narrow band) cavity ชนิดนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "notck filter" ซึ่งความลึกของ "notch" นี้จะถูกกำหนดโดย coupling ของ loop ที่ cavity

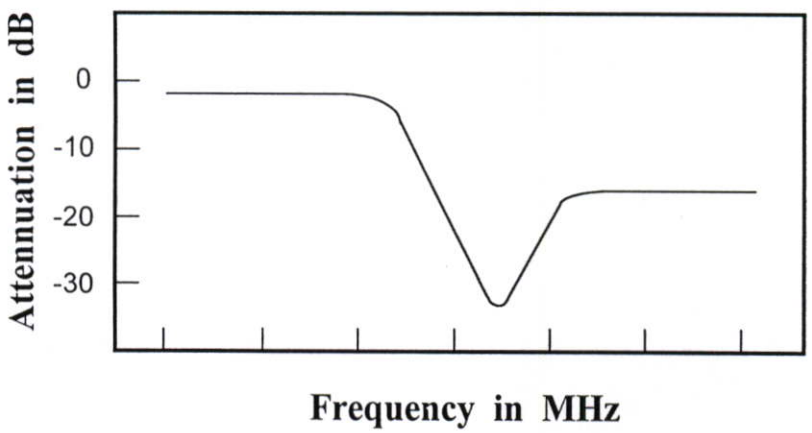


(a) Band-Reject Cavity

รูปที่ 2.6 Band-Reject Cavity



(b) Equivalent Function



(c) Attenuation VS Frequency in MHz

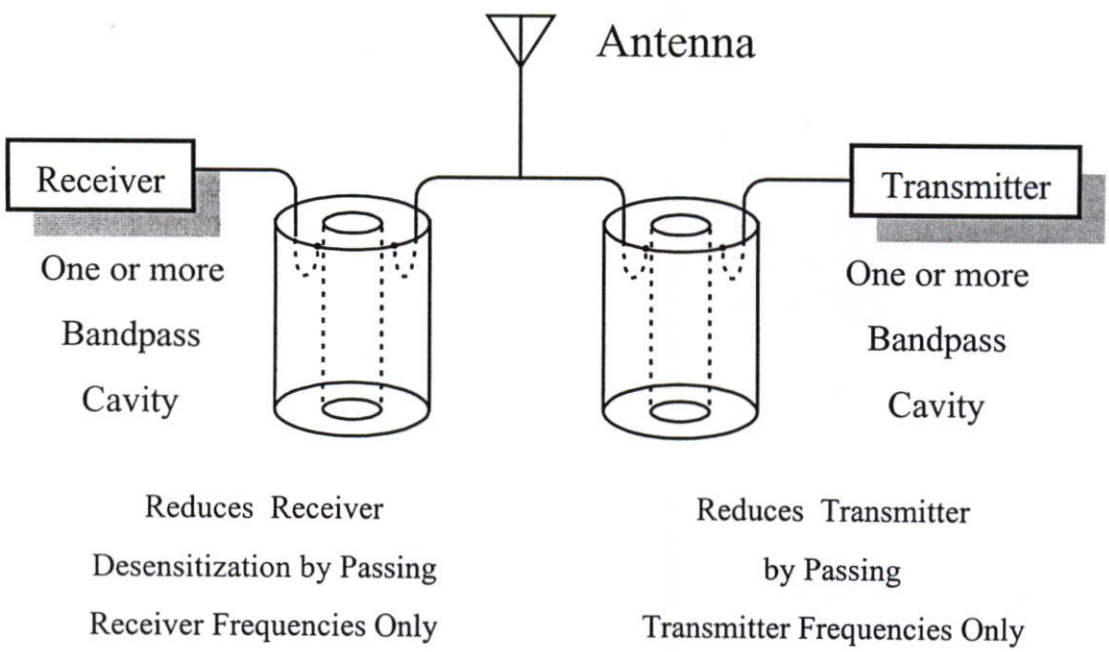
รูปที่ 2.6 **(ต่อ)**

จากคุณสมบัติของBandpass Cavity และ Band-Reject Cavity ดังกล่าวนั้น สามารถนำมาใช้ประกอบเป็น Duplexers ซึ่งที่ใช้กันทั่วไปมีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่

- Bandpass
- Band-reject
- Combinations

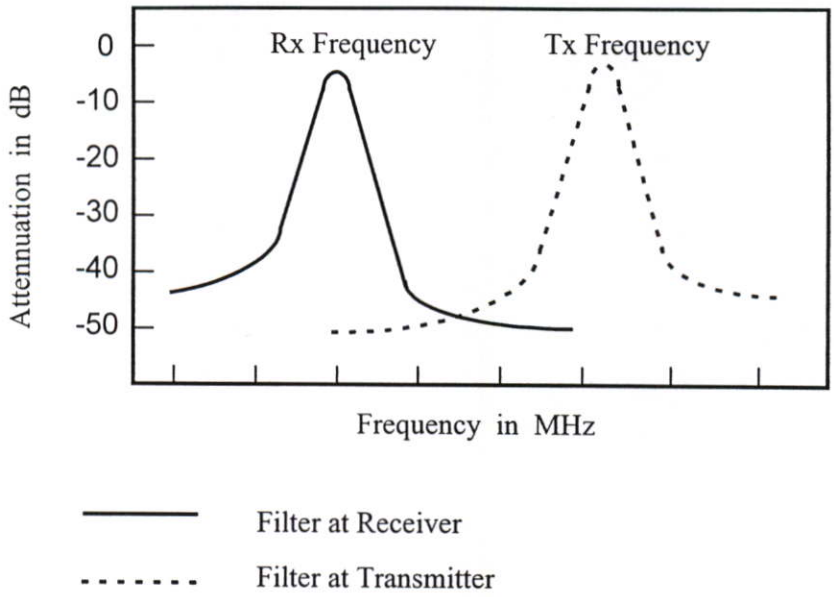
Bandpass Duplexer ตามรูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของ Bandpass duplexer ซึ่งประกอบด้วย Bandpass cavity 2 ชุด ชุดหนึ่งต่ออยู่ระหว่างอุปกรณ์รับสัญญาณกับสายอากาศ อีกชุดหนึ่งต่ออยู่ระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณกับสายอากาศ ซึ่งความถี่กลางของ Bandpass cavity ทั้ง 2 ชุด จะถูกปรับไว้คนละความถี่ (ความถี่ภาครับและความถี่ภาคส่ง) ในลักษณะทิศ

ทางเดียว เมื่อมีความถี่ด้านรับเข้ามาทางสายอากาศ Bandpass cavity ทางด้านรับจะยอมให้ความถี่นี้ผ่านเข้ามายังอุปกรณ์ภาครับได้ ส่วน Bandpass cavity ทางด้านส่งจะกั้นมิให้ความถี่นี้ผ่านเข้ามายังอุปกรณ์ภาคส่งได้ ในทำนองเดียวกัน เมื่อมีการส่งสัญญาณจากภาคส่ง Bandpass cavity ทางด้านส่งจะยอมให้สัญญาณความถี่นี้ผ่านมาออกอากาศยังสายอากาศ ส่วนสัญญาณที่เข้ามาทาง Bandpass cavity ด้านรับจะถูกกั้นไว้ไม่ให้ผ่านมายังอุปกรณ์ภาครับได้ cable harness เป็นสายนำสัญญาณที่ต่อระหว่าง cavity ทั้งสองออกมายังสายอากาศ ซึ่งจะต้องคำนวณให้แมทซ์กับอุปกรณ์ จึงทำให้กำลังงานที่ส่งออกจากภาคส่งมายังสายอากาศได้เต็มที่ ขณะเดียวกันกำลังงานที่รับเข้ามาทางสายอากาศสู่ภาครับก็จะเกิดการสูญเสียน้อยสุด ดังนั้น ความยาวของ cable harmess ที่ตัว duplexer ที่นำมาใช้งานจึงไม่ควรเปลี่ยนแปลง

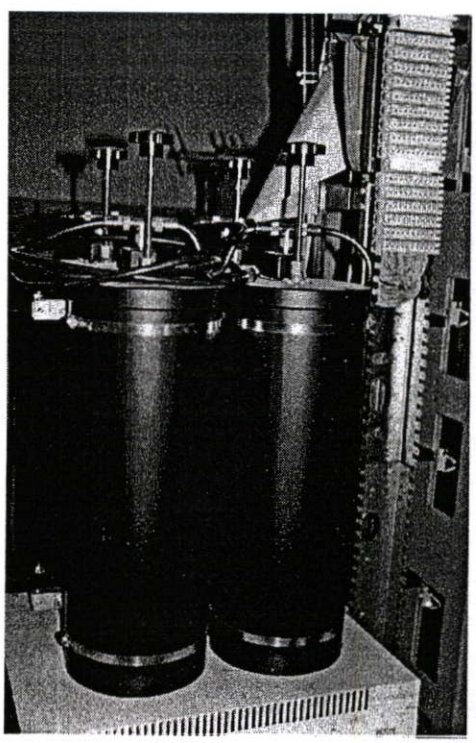


(a) Bandpass Duplexer Circuit

รูปที่ 2.7 Bandpass Duplexer



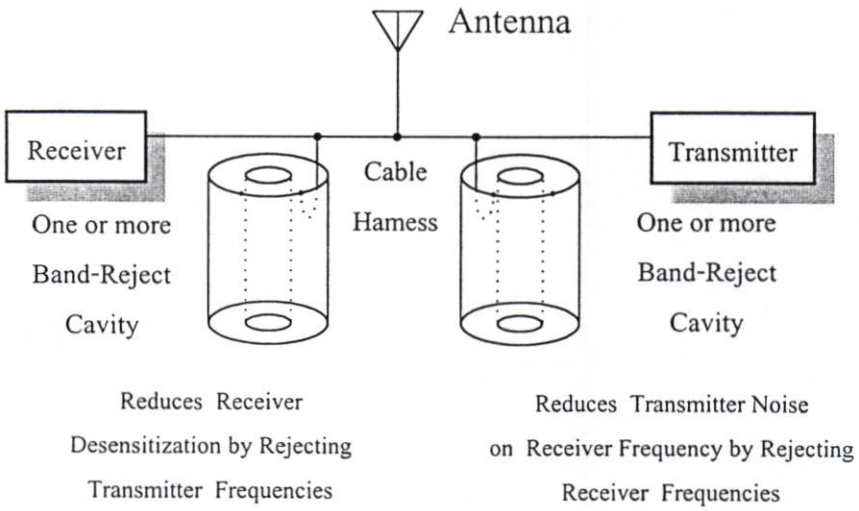
(b) Bandpass Duplexer Frequency Response



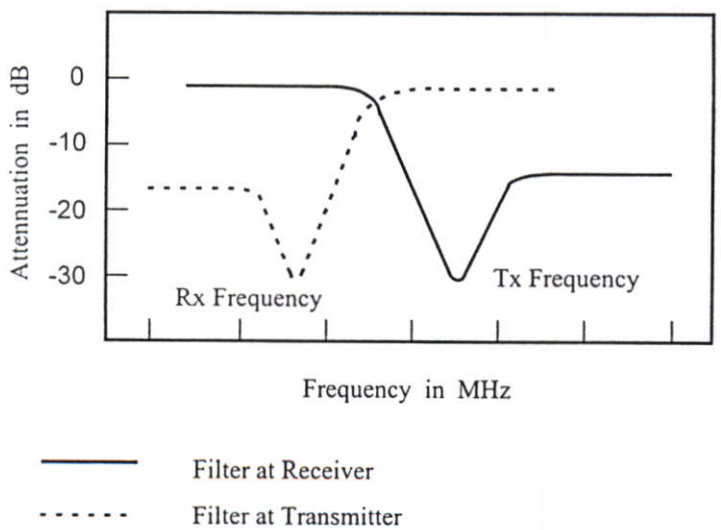
(c) แสดงรูป Bandpass Duplexer (DECIBELL)

รูปที่ 2.7 **(ต่อ)**

Band-reject duplexer ตามรูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของ Band-reject duplexer ซึ่งประกอบด้วย Band-reject cavity 2 ชุด cavity ที่อยู่ระหว่างภาครับกับสายอากาศจะเป็นตัวลดสัญญาณที่มีระดับต่ำที่รับเข้ามาทางสายอากาศ และจะตัดสัญญาณที่ส่งมาจากภาคส่ง ส่วน cavity ที่อยู่ระหว่างภาคส่งกับสายอากาศ จะเป็นตัวลดและเป็นตัวตัดสัญญาณรบกวนทางภาคส่งที่เกิดจากด้านรับ



a) Band-Reject Cavity Duplexer Circuit



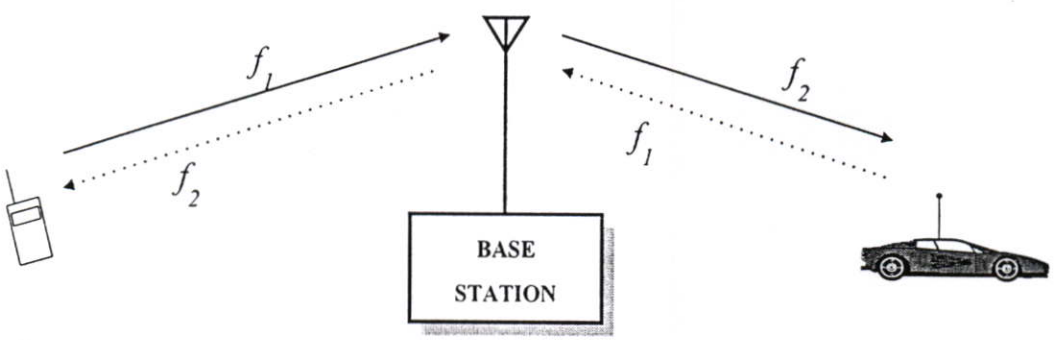
(b) Band-Reject Duplexer Attenuation

รูปที่ 2.8 Band-Reject Duplexer

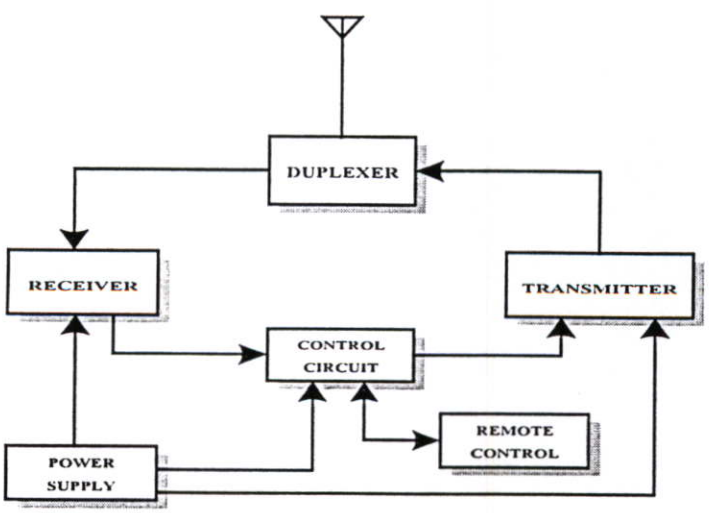
Combination duplexer เป็นการออกแบบ cavity ให้ใช้งานร่วมกันระหว่าง bandpass filter ความถี่หนึ่ง และ band-reject filter อีกความถี่หนึ่ง cavity ตัวหนึ่งต่ออยู่ระหว่างภาครับกับสายอากาศ ทำหน้าที่เป็นทางผ่านสำหรับความถี่ด้านรับและตัดความถี่ด้านส่งออก cavity อีกตัวหนึ่งต่ออยู่ระหว่างภาคส่งกับสายอากาศใช้เป็นทางผ่านของความถี่ด้านส่ง และตัดสัญญาณรบกวนของภาคส่งที่เกิดจากความถี่ด้านรับออก

2.2 สถานีฐาน (Base Station)

สถานีฐาน (Base Station) ในที่นี้หมายถึง สถานีแม่ข่ายทำหน้าที่เป็นสถานีศูนย์กลางในการประสานงานกับสถานีลูกข่าย แสดงดังรูปที่ 2.9 ซึ่งมีลักษณะและการทำงานคล้ายกับสถานีทบทวนสัญญาณชนิดมี Duplexer ต่างกันตรงที่มีโอเปอร์เตอร์คอยทบทวนสัญญาณให้ เมื่อมีการติดต่อกันระหว่างเครื่องมือถือกับรถกองงาน ส่วนมากมักใช้ในกิจการที่มีการสั่งงานจากสถานีศูนย์กลางโดยตรงไปยังสถานีลูกข่าย เช่น กิจการขององค์การโทรศัพท์ฯ ในหน่วยงานรับแจ้งเหตุขัดข้องใช้ติดต่อประสานงานกับรถปฏิบัติงานที่เคลื่อนที่ไปซ่อมโทรศัพท์ในพื้นที่ต่าง ๆ การใช้งานของสถานีฐานนี้เหมาะสมกับพื้นที่ไม่กว้างใหญ่มากนัก ข้อเสียไม่สะดวกในการใช้งาน



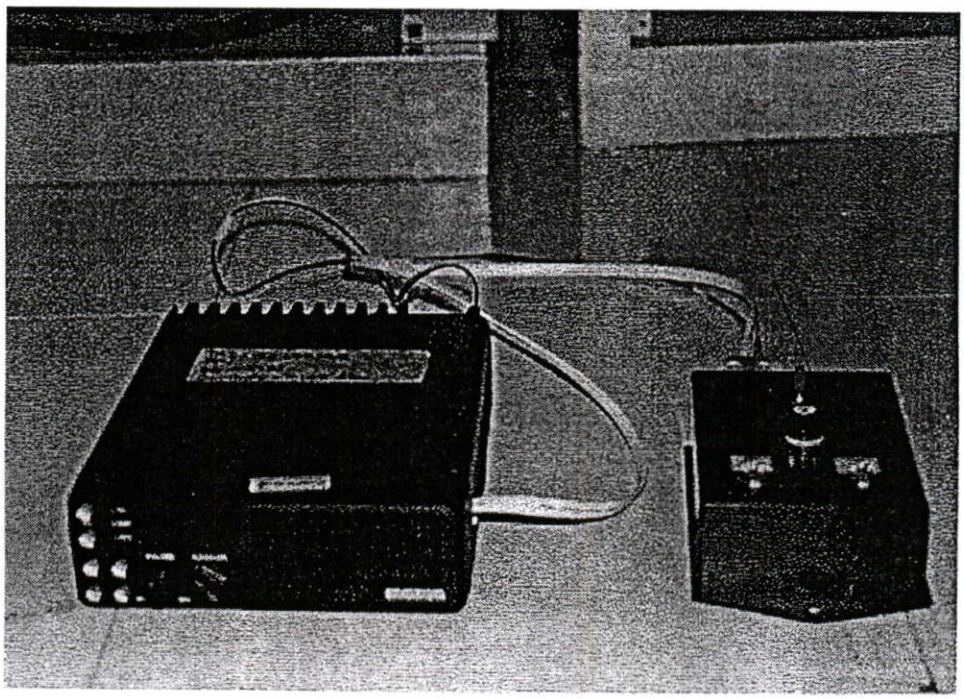
รูปที่ 2.9 ลักษณะสถานีฐาน



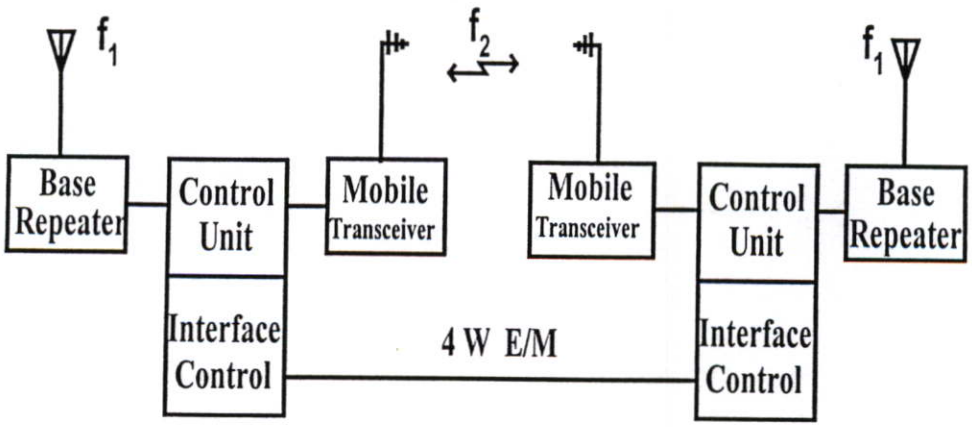
รูปที่ 2.10 บล็อคไดอะแกรมสถานีฐาน

2.3 สถานีเชื่อมโยงสัญญาณ (RELAY STATION)

ในการเชื่อมโยงสัญญาณจากสถานีทบทวนสัญญาณต้นทางกับสถานีทบทวนสัญญาณปลายทาง ด้วยคลื่นความถี่โดยใช้เครื่องวิทยุรับ-ส่งชนิดติดรถยนต์ (MAXON PM 150 SH) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 มาทำการดัดแปลงเป็นสถานีเชื่อมโยงสัญญาณเพื่อให้สามารถควบคุมการรับ-ส่งของสัญญาณ ด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุม INTERFACE CONTROL เพื่อให้การทำงานระหว่างเครื่องวิทยุเชื่อมโยงกับสถานีทบทวนสัญญาณทำงานได้



รูปที่ 2.11 เครื่องวิทยุรับ-ส่ง (MAXON PM150 SH) ที่ทำการดัดแปลงเป็นเครื่องเชื่อมโยงสัญญาณ



รูปที่ 2.12 การควบคุมเครื่องวิทยุเชื่อมโยงสัญญาณ

การควบคุมเครื่องวิทยุเพื่อเชื่อมโยงประกอบด้วย

1. Base Repeater คือสถานีทบทวนสัญญาณ ทำหน้าที่รับ-ส่งสัญญาณ ในบริเวณพื้นที่ใช้งานกับสถานีลูกข่าย ซึ่งครอบคลุมภายในจังหวัด

2. Control Unit เป็นชุดควบคุมการเชื่อมต่อระหว่าง Base Repeater กับเครื่อง Mobile Transceiver ให้สามารถทำงานสัมพันธ์กัน

3. Interface Control ทำหน้าที่ควบคุมการรับ-ส่งสัญญาณผ่านวงจร 4-wire E/M

4. Mobile Transceiver ทำหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณเสียงจากสถานีทบทวนสัญญาณที่ต้นทาง ไปสู่สถานีทบทวนสัญญาณที่ปลายทางโดยการควบคุมของ Control Unit

จากรูปที่ 2.12 แสดงบล๊อคไดอะแกรมของการควบคุมเครื่องวิทยุเชื่อมโยง โดยมีการทำงานดังนี้ เมื่อสถานีทบทวนสัญญาณต้นทางรับสัญญาณจากสถานีลูกข่ายชุดควบคุมทำการส่งสัญญาณควบคุมให้เครื่องวิทยุเชื่อมโยง ทำการส่งความถี่เสียงจากสถานีทบทวนสัญญาณจากต้นทางไปสู่สถานีปลายทาง เมื่อวิทยุเชื่อมโยงสัญญาณทางด้านปลายทางรับสัญญาณได้จึงทำการดีมอดสัญญาณเสียงให้สถานีทบทวนสัญญาณ ในขณะเดียวกันชุดควบคุมสั่งให้เครื่องส่งสัญญาณออกอากาศเพื่อแพร่กระจายไปสู่สถานีลูกข่ายในบริเวณที่สถานีทบทวนสัญญาณด้านปลายทางครอบคลุมพื้นที่ สำหรับความถี่ที่ใช้ในการเชื่อมโยงเป็นแบบ Simplex รับ-ส่ง ด้วยความถี่เดียวกัน เนื่องจากการทำงานของสถานีเชื่อมโยงสัญญาณทำการรับส่งที่ละครั้ง

2.4 สถานีลูกข่าย

เป็นวิทยุสั่งการที่สามารถติดต่อถึงกันได้โดยตรงในระยะใกล้ ๆ หรือติดต่อกันในระยะไกลโดยผ่านสถานีทบทวนสัญญาณ มีทั้งชนิดแร่และสังเคราะห์ความถี่ แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ 1.ชนิดมือถือ (Hand-Held) 2.ชนิดติดรถยนต์ (Mobile)

รูปที่ 2.13 เครื่องวิทยุสั่งการชนิดมือถือ

วิทยุสั่งการชนิดมือถือ เป็นวิทยุสั่งการที่มีกำลังส่งไม่เกิน 5 วัตต์ สะดวกในการพกพา เหมาะสำหรับการปฏิบัติงานที่มีระยะไม่ไกลมากนัก เช่น งานเคเบิล งานไมโครเวฟ ฯลฯ ทางองค์การโทรศัพท์ฯ ได้จัดหามาใช้ในกิจการหลายยี่ห้อ เช่น PACE, MAXON, MIDLAND, MOTOROLA และ REAM เป็นต้น

วิทยุสั่งการชนิดติดรถยนต์ เป็นวิทยุสั่งการที่มีกำลังส่งไม่เกิน 40 วัตต์ ติดตั้งใช้กับรถปฏิบัติการเคลื่อนที่ เหมาะสำหรับงานที่ต้องกระทำในพื้นที่ไกล ๆ ตามป่าเขา เช่น งาน TDMA, งานสายกระจาย ทางองค์การโทรศัพท์ฯ ได้จัดหามาใช้ในกิจการหลายยี่ห้อ เช่น PACE, MAXON, TAIT และ MOTOROLA เป็นต้น

2.5 สรุป

ในการออกแบบระบบวิทยุสั่งการเฉพาะกิจให้ครอบคลุมพื้นที่ใช้งาน ประกอบด้วยสถานีทบทวนสัญญาณ (Base Repeater) ซึ่งทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณจากสถานีลูกข่ายหนึ่งไปสู่สถานีลูกข่ายหนึ่งด้วยความถี่ที่แตกต่างกัน และเมื่อมีสถานีทบทวนสัญญาณมากกว่า 1 สถานี จึงมีสถานีเชื่อมโยงสัญญาณ (Relay Station) ทำหน้าที่เชื่อมสัญญาณระหว่างสถานีทบทวนสัญญาณเข้าด้วยกัน กล่าวคือ เมื่อสถานีทบทวนสัญญาณรับสัญญาณจากสถานีลูกข่ายก็ทำการส่งสัญญาณผ่านสถานีเชื่อมโยงสัญญาณไปสู่สถานีทบทวนสัญญาณอีกสถานีและทำการส่งสัญญาณไปสู่สถานีลูกข่ายในพื้นที่ครอบคลุมของสถานีทบทวนสัญญาณนั้น

สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
การหาตำแหน่งติดตั้งสถานีทบทวนสัญญาณ

3.1 การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายของคลื่น หรือ Path loss

งานของวิทยุสื่อสารจำเป็นต้องมีการประมาณค่าของการสูญเสียกำลังงาน(Power loss) ระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับระบบวิทยุสื่อสารแต่ละระบบจะมีการสูญเสียกำลังงานในการส่ง (Transmission loss) สูงสุดที่ยอมให้เกิดได้ซึ่งหากเกินจากค่านี้ไปแล้ว จะเป็นผลให้คุณภาพในการสื่อสาร หรือความแน่นอนของการสื่อสารนั้นด้อยลง

การสูญเสียในสายส่ง เป็นผลมาจากองค์ประกอบหลายอย่าง รวมทั้งการสะท้อนกลับของคลื่น(Reflection) การจางหายของคลื่น(Fading)การหักเหของคลื่นในบรรยากาศ(Refraction) และการสะท้อนไปมาของคลื่นเหนือผิวโลก (Diffraction)

ความเรียบมากของพื้นดินหรือพื้นน้ำ ทำให้เกิดสัญญาณสะท้อนอันที่ 2 ไปยังสายอากาศเครื่องรับ สัญญาณอันที่ 2 นี้ อาจจะไปถึงสายอากาศเครื่องรับแบบต่าง phase กับสัญญาณโดยตรงทำให้สัญญาณเกิดหักล้างกัน ระดับความสูงต่ำของภูมิประเทศ ภูเขา หุบเขา และที่สำคัญก็คือความโค้งของผิวโลก ลักษณะเหล่านี้จะบดบังคลื่น ที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงจากสถานีส่งในระดับสายตา

3.2 การสูญเสียเนื่องจากสภาพแวดล้อม

การสูญเสียนี้อยู่ระหว่างสถานีส่งถึงสถานีรับ ซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณ การหาสถานีที่ติดตั้งสถานีทบทวนสัญญาณต้องพิจารณาถึงค่าสูญเสียที่เกิดขึ้น จากสภาพแวดล้อมบริเวณตำแหน่งที่ทำการติดตั้ง การสูญเสียจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความถี่และตัวกลางที่สัญญาณเดินทางผ่าน เช่น ต้นไม้ หนองบึง ตึกและอาคารต่าง ๆ เป็นต้น ฉะนั้นการติดตั้งระบบวิทยุสื่อสารที่มีความถี่สูง ต้องคำนึงถึงตำแหน่งและทิศทางในการกำหนดสถานีรับหรือสถานีส่งค่าสูญเสียดังกล่าวแสดงในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

43270

ตารางที่ 3.1 แสดงการสูญเสียเนื่องจากสภาพแวดล้อมในหน่วยของ dB

ประเภทของสภาพแวดล้อมที่เป็นต้นไม้	40 MHz	150 MHz	450 MHz	800/900 MHz
ต้นไม้มีอยู่กระจัดกระจายห่างกัน	0	0	2	6
มีลักษณะคล้ายกับไร่หรือสวน	0	0	5	10
มีลักษณะคล้ายเป็นป่าละเมาะหรือ	1	3	8	15
ป่าชายเลน	2	5	10	20
มีลักษณะคล้ายกับป่าดงดิบมีสภาพเป็นหนองบึงหรือแม่น้ำ	3	7	25	25

ตารางที่ 3.2 แสดงการสูญเสียเนื่องจากโครงสร้างของตึกหรืออาคารต่าง ๆ ในหน่วย dB

ชนิดของชุมชน	40 MHz	150 MHz	450 MHz	800/900 MHz
ชนบท (Open)	0	0	0	0
ชุมชนใหญ่ (Quasi-open)	4	5	5	5
เมือง (Suburban)	17	17	18	18
มหานคร (Urban)	21	24	26	29

คำจำกัดความของความหนาแน่นของตึก หรืออาคารต่าง ๆ

Open	เป็นพื้นที่ไม่มีต้นไม้ใหญ่หรือตึกมาบังการแพร่กระจายของคลื่น หรือเป็นทุ่งกว้างขนาดใหญ่
Quasi-open	เป็นเมืองที่กระจัดกระจายไปด้วยบ้านและต้นไม้หรือตึกที่มีอยู่จำนวนน้อย
Suburban	เป็นเมืองที่กระจัดกระจายไปด้วยบ้านเรือนและต้นไม้ หรือตึกไม่มากนัก
Urban	เป็นเมืองที่แออัดไปด้วยตึกขนาดใหญ่ และมีต้นไม้ขึ้นหนาทึบ

3.3 การสูญเสียเนื่องจากสายนำสัญญาณ

ในการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านสายนำสัญญาณ ถ้าพิจารณาที่ความยาวไม่มากนัก การสูญเสียภายในสายนำสัญญาณจะมีผลกระทบน้อยมากจึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึง แต่ถ้าสายนำสัญญาณที่ใช้มีความยาวมาก ๆ จะมีผลทำให้การสูญเสียมีมากจนไม่อาจจะละเลยได้ ความยาวของสายไม่ใช่สาเหตุเดียวที่ทำให้เกิดการสูญเสียภายในสายนำสัญญาณ อาจเกิดจากปัจจัยอื่นอีกเช่น ขนาด

ของสาย วัสดุที่นำมาผลิต เมื่อพิจารณาจากสายนำสัญญาณที่ต่างชนิดกันพบว่า ถ้านำมาใช้งานที่ความถี่ต่างกันจะเกิดการสูญเสียภายในสายนำสัญญาณที่ต่างกันสามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 3.3

นอกจากนี้การสูญเสียภายในสายนำสัญญาณแล้วยังมีการสูญเสียเนื่องจากส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ เช่น connector, duplexer, jumpers เป็นต้น

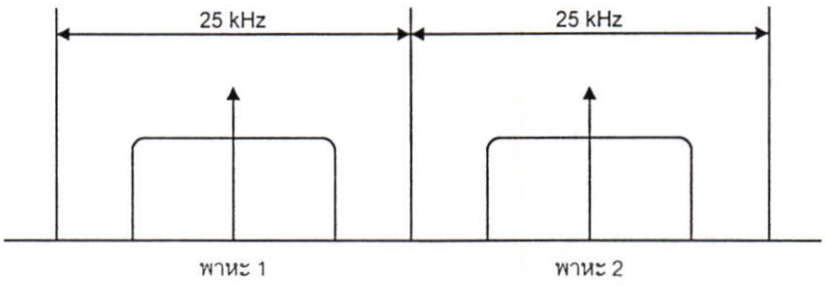
ตารางที่ 3.3 แสดงการสูญเสียภายในสายนำสัญญาณที่มีความยาว 100 ฟุต

ชนิดของสาย	40 MHz	70 MHz	150 MHz	450 MHz	850 MHz	900 MHz
RG 58A/U	3.3	4.8	6.3	12.7	19.3	20
RG58/U	3.2	4.3	5.8	10.8	15.6	16.0
RG142B,303	2.6	3.2	4.7	8.4	11.8	12.2
RG8,214,9	1.3	1.9	2.7	5.0	7.9	8.3
RG87,225	1.4	1.7	2.6	4.8	6.8	7.0
¼ " LDF	1.07	1.43	2.14	3.92	5.65	5.8
¼ " S-FLEX	1.14	1.53	2.29	4.19	6.00	6.2
½" LDF	0.43	0.57	0.85	1.51	2.14	2.21
½"S-FLEX	0.65	0.87	1.29	2.32	3.28	3.38
7/8" LDF	0.23	0.31	0.46	0.83	1.19	1.23
1 ¼" LDF	0.17	0.23	0.34	0.62	0.88	0.91
1 5/8" LDF	01.4	0.19	0.28	0.52	0.75	0.77
1 5/8" AIR	0.13	0.17	0.25	0.45	0.64	0.66
3" AIR	0.09	0.12	0.18	0.34	0.51	0.53

3.4 การจัดสรรความถี่วิทยุใช้งาน

การออกแบบโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจซึ่งเชื่อมโยงสถานีทบทวนสัญญาณ ด้วยความถี่วิทยุนั้น มีความจำเป็นในการเลือกใช้ความถี่ในการใช้งาน เพื่อป้องกันการรบกวนกันระหว่างสถานีศูนย์กลางกับข่ายเชื่อมโยง เนื่องจากจำนวนช่องความถี่ที่ใช้งานมีอย่างจำกัด เพราะมีผู้ใช้ความถี่ในย่านนี้จำนวนมาก โดยเฉพาะในย่านความถี่ 132 ถึง 174 MHz ซึ่งนิยมใช้ระบบ FM และระยะห่างระหว่างช่องเท่ากับ 25 kHz การที่แบนด์วิดท์กำหนดไว้แคบเช่นนี้ทำให้ความถี่

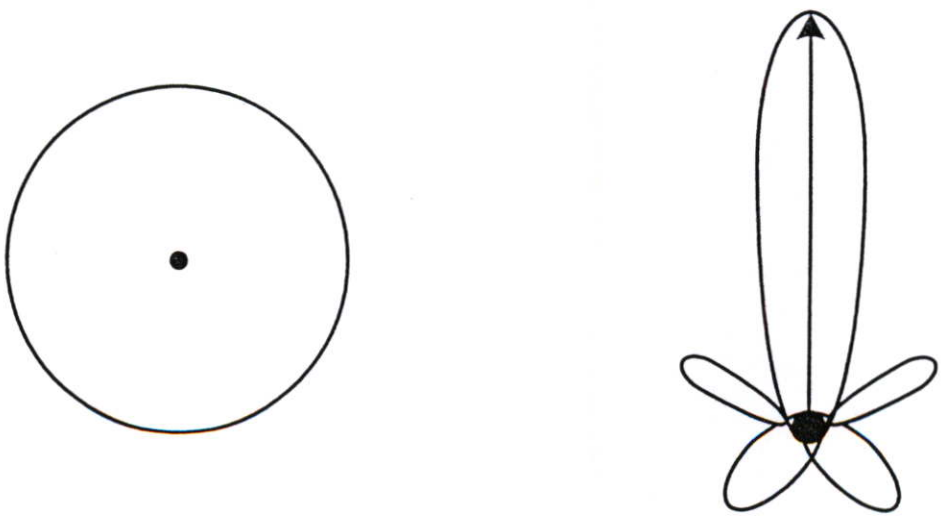
ของภาคส่งและภาครับของระบบวิทยุจะต้องมีเสถียรภาพสูง ในบางครั้งที่ใช้งานความถี่ช่องติดกัน ทำให้เกิดการรบกวนของช่องความถี่ได้ ดังนั้นถ้าเลือกความถี่ใช้งานสำหรับเชื่อมโยงสัญญาณควรหลีกเลี่ยงช่องความถี่ที่ใกล้กับช่องความถี่ส่งของสถานีทบทวนสัญญาณ เพราะกำลังส่งของสถานีทบทวนสัญญาณมีกำลังส่งสูงอาจเข้ามารบกวนสถานีเชื่อมโยงสัญญาณได้



รูปที่ 3.1 แบนด์วิดท์ของระบบ FM

3.5 สายอากาศ

สายอากาศเป็นส่วนสำคัญของเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุ ทำหน้าที่แผ่กระจายคลื่นจากเครื่องส่งให้ออกอากาศและรับคลื่นวิทยุเข้าสู่เครื่องรับ ซึ่งรูปแบบของสายอากาศเป็นตัวนำโลหะ มีความยาวเท่ากับความยาวคลื่นปลายด้านหนึ่งต่อยู่กับเครื่องวิทยุ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยอิสระมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น 2 แบบคือ 1.แบบรอบตัว (Omnidirectional) 2.แบบทิศทาง (Directional) แสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

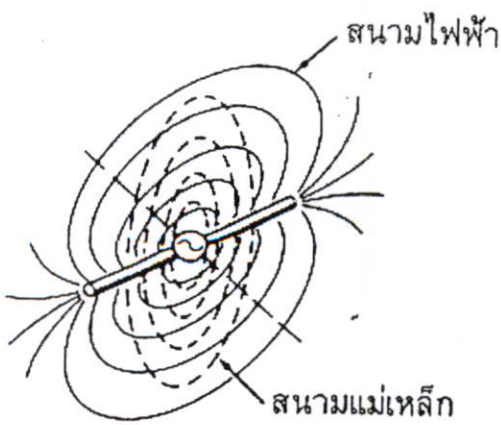
รูปแบบสายอากาศแบบรอบตัว สามารถแพร่กระจายคลื่นได้รอบตัวครอบคลุมพื้นที่เหมาะสำหรับนำมาใช้กับสถานีศูนย์กลางที่ต้องการติดต่อเป็นวงกว้าง ส่วนสำหรับสายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นทิศทาง สามารถนำไปใช้สำหรับการติดต่อที่เป็นเส้นทางมีแนวหวังผลการใช้งาน

3.5.1 การแพร่คลื่นของสายอากาศ

เนื่องจากปลายสายอากาศไดโพลทั้งสองด้านมีแรงดันสูง จึงทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่ปลายทั้งสอง สนามไฟฟ้า นี้เกิดขึ้นในทำนองเดียวกับสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นประจุของตัวเก็บประจุ แต่สนามไฟฟ้าในที่นี้ไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะแผ่นประจุ แต่กระจายออกสู่อากาศ ดังในรูปที่ 3.3

สังเกตว่า ในกรณีเดียวกันนี้จะทำให้สนามแม่เหล็กเกิดขึ้นด้วย เพราะมีกระแสไหลในสายอากาศ เนื่องจากกระแสไหลมากที่สุดบริเวณจุดฟีด สนามแม่เหล็กบริเวณจุดฟีดจึงแรง ทั้งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถแพร่กระจายออกไปได้ คลื่นดังกล่าวจะเดินทางไปเรื่อยๆ แม้ว่ากระแสและแรงดันจะหยุดป้อนให้สายอากาศแล้วก็ตาม

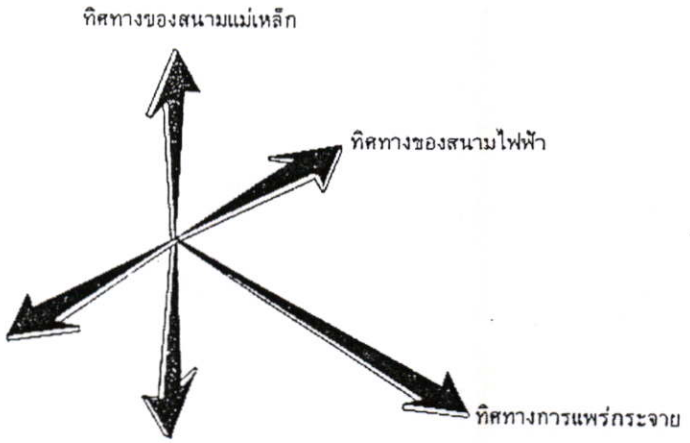
อย่างไรก็ดีเมื่อคลื่นเดินทางยิ่งห่างจากสายอากาศเท่าใด พลังงานก็จะอ่อนลง แอมปลิจูดของคลื่น (หรือสนาม) แม่เหล็กไฟฟ้าเรานิยมวัดเป็นแรงดันที่เหนี่ยวนำบนเส้นลวด (สายอากาศ) เราเรียกค่าที่วัดได้นี้ว่า ความแรงสนาม (Field strength) ความแรงสนามจะขึ้นอยู่กับระยะห่างจากเครื่องส่งและกำลังส่งของเครื่องส่ง ความแรงจะน้อยลง ณ จุดที่ห่างออกไปโดยแปรผกผันกับระยะทาง เช่น เมื่อระยะทางไกลออกไป 2 เท่า ความแรงของสัญญาณจะลดลงครึ่งหนึ่ง ในทำนองเดียวกัน ถ้ากำลังส่งของเครื่องส่งมากขึ้น ความแรงสนามก็จะแรงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม ความแรงสนามเป็นค่าแรงดัน (ที่เหนี่ยวนำบนสายอากาศ) แต่เนื่องจากกำลังไฟฟ้าแปรตามกำลังสองของแรงดัน ฉะนั้นความแรงสนามจะเป็นสัดส่วนกับรากที่สอง (square root) ของกำลังที่เครื่องส่ง นั่นคือ ถ้ากำลังส่งเพิ่มเป็น 2 เท่า ความแรงสนามจะเพิ่มเป็น $\sqrt{2}$ เท่า หรือ 1.414 เท่า



รูปที่ 3.3 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ปรากฏรอบไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ

3.5.2 โพลาไรเซชั่น

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากสายอากาศประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก สนามทั้งสองนี้จะตั้งฉายซึ่งกันและกัน และทั้งคู่ก็ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย ตามรูปที่ 3.4 ในที่นี้ สนามไฟฟ้าจะอยู่ในแนวราบ เราเรียกว่า คลื่นนี้มีโพลาไรเซชั่นแนวราบ (ถ้าสนามไฟฟ้าอยู่ในแนวดิ่งเราเรียกว่า คลื่นนี้มีโพลาเซชั่นแนวดิ่ง) ทิศทางของสนามไฟฟ้าเป็นตัวกำหนดทิศทางโพลาไรเซชั่น (polarization)



รูปที่ 3.4 โพลาไรเซชั่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

3.5.3 อัตราขยายของสายอากาศ

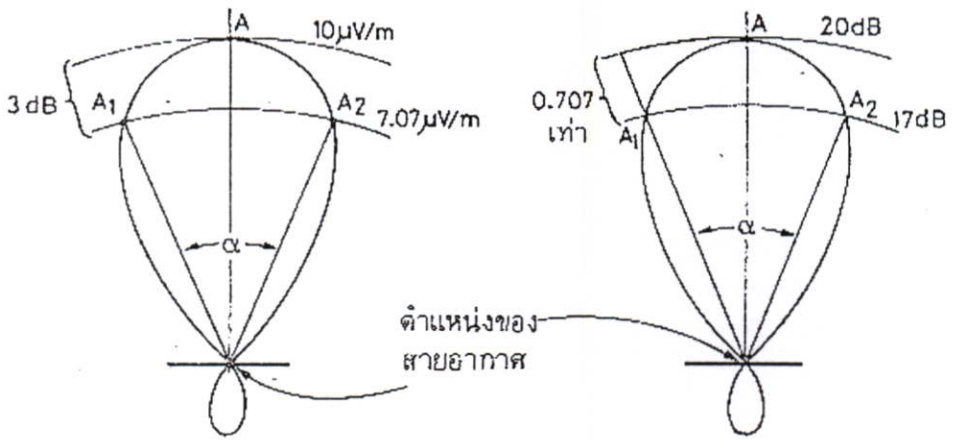
อัตราขยายของสายอากาศเป็นการเปรียบเทียบเอาท์พุตของสายอากาศ (ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง) เทียบกับเอาท์พุตของสายอากาศอ้างอิง (reference antenna) ปกติเรานิยม ใช้สายอากาศไดโพสชนิดฮาล์ฟเวฟเป็นสายอากาศอ้างอิง สายอากาศที่ส่งพลังงานออกไปเป็นลำคลื่นจะมีอัตราการขยายสูงกว่าสายอากาศที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว สายอากาศไอโซโทรปิก แพร่กระจายคลื่นออกไปอย่างเท่า ๆ กัน ในทุกทิศทางมีอัตราขยาย 0 dB คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือสามารถสะท้อนได้ เมื่อนำจานพาราโบลิคมาทำตัวสะท้อนคลื่นให้ออกมาในทิศทางเดียวกัน ทำให้มีกำลังส่งสูง เรียกพลังงานที่แพร่กระจายโดยสายอากาศไอโซโทรปิคไปในทิศทางเดียวกันนี้ว่า อัตราขยายของสายอากาศ (gain)

ตัวอย่างสายอากาศต้นหนึ่งมีอัตราขยาย 10 dB หมายความว่า (ในทิศทางนั้น) สายอากาศต้นนั้นส่งคลื่นออกไปแรงกว่าสายอากาศอ้างอิงอยู่ 10 dB (10 เท่า) ถ้าสายอากาศส่งคลื่น

ออกไปได้ดีในทิศทางหนึ่ง ส่วนทิศทางอื่นก็จะส่งคลื่นด้วยลงไป อัตราขยาย (gain) ของสายอากาศมิได้หมายความว่า กำลังเอาท์พุตของสายอากาศมากกว่าที่กำลังอินพุต หากแต่เป็นอัตราขยายที่คิดเปรียบเทียบกับสายอากาศอ้างอิง

3.5.4 บีมวิดท์

สายอากาศชนิดต่าง ๆ ก็มีรูปแบบการแพร่คลื่นต่าง ๆ กัน วิธีหนึ่งที่เราจะเปรียบเทียบรูปแบบของการแพร่คลื่นก็คือ ดูจากลักษณะของรูปแบบว่าทิศทางการแพร่คลื่นออกไปในลักษณะใด แทนที่เราจะต้องเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่คลื่นทุก ๆ จุด ความกว้างของลำคลื่นหรือบีมวิดท์เป็นการวัดความกว้างของลำคลื่น โดยคิดจากมุมของลำคลื่นในทิศทางที่พุ่งไปแรงมากที่สุด ในรูป 3.5 แสดงการวัดความกว้างของลำคลื่น สังเกตว่าเราพิจารณาเฉพาะลำคลื่นในทิศทางที่แรงที่สุด คือ OA แล้วอ่านค่า



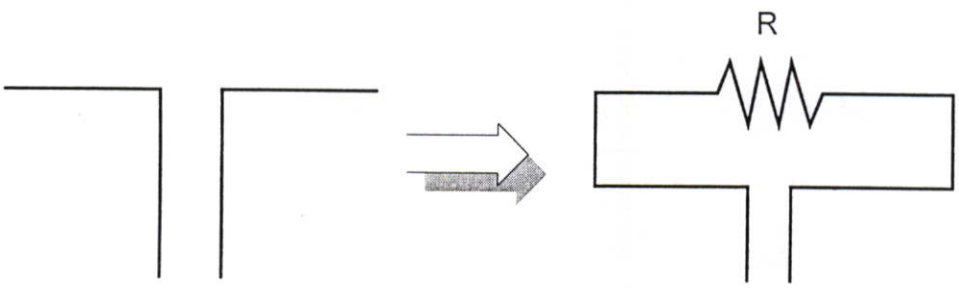
รูปที่ 3.5 การวัดความกว้างลำคลื่นในรูปแบบการแผ่คลื่นค่า dB หรือ μv/m บนรูปแบบการแผ่คลื่นที่แสดงไว้เป็นค่าสมมติ เพื่อแสดงการเปรียบเทียบ

ความกว้างของมุมระหว่างแนว OA_1 และ OA_2 มีความยาวลดลงเหลือ 0.707 เท่าของ OA หรือ OA_1 ส่วน OA_2 สั้นกว่า OA อยู่ 3 เดซิเบล นั่นคือความกว้างลำคลื่นเท่ากับ ∞

3.5.5 ความต้านทานการแพร่คลื่น

การป้อนกำลังคลื่นวิทยุให้แก่สายอากาศเพื่อส่งออกอากาศนั้น เราจะต้องทำการป้อนผ่านสายนำสัญญาณ ดังที่ทราบมาแล้วว่าค่าอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสายนำสัญญาณจะต้องเท่ากับความต้านทานของโหลด (ในที่นี้คือสายอากาศ) มิฉะนั้นจะเกิดคลื่นนิ่งบนสายนำสัญญาณ (มีคลื่นสะท้อนกลับ)ความต้านทานของสายอากาศในที่นี้ ไม่สามารถหาได้โดยการใช้โอห์มมิเตอร์วัด

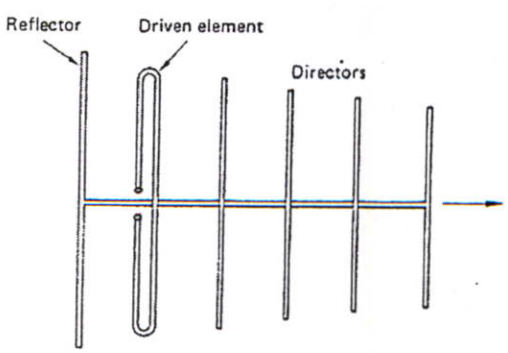
คร่อมขั้วต่อของสายอากาศ เนื่องจากโอห์มมิเตอร์วัดค่าความต้านทานในทาง DC (เป็นค่าทางกระแสตรง) ส่วนค่าความต้านทานของสายอากาศในที่นี้เป็นค่าความต้านทานการแพร่คลื่นความต้านทานแพร่คลื่นของสายอากาศเป็นความต้านทานสมมติ โดยคิดจากกำลังส่งที่สายอากาศสามารถเปลี่ยนเป็นคลื่นส่งออกอากาศไป เช่น สายอากาศแผ่คลื่น 100 วัตต์ โดยกินกระแส 2 แอมแปร์ หมายความว่า สายอากาศมีความต้านทานแผ่คลื่นเท่ากับ $100/2^2$ หรือ 25 โอห์ม (คิดจากสูตร $R = R/I^2$) อย่าเข้าใจสับสนว่าความต้านทานนี้เป็นความต้านทานจริง ๆ เพราะความต้านทานจริง ๆ ในที่นี้เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนกำลังคลื่นวิทยุเป็นความร้อน ไม่เกี่ยวกับการแพร่คลื่นแต่อย่างใด ส่วนความต้านทานแพร่คลื่นเกี่ยวข้องกับการนำกำลังคลื่นวิทยุที่ป้อนให้ส่งออกอากาศไป (ดูรูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 ความต้านทานแพร่คลื่น เป็นความต้านทานที่เกี่ยวกับแผ่นคลื่นมิใช่เกี่ยวกับการสูญเสียเป็นความร้อน ในที่นี้แสดงให้เห็นว่าความต้านทานแพร่คลื่นของสายอากาศเขียนแทนได้ด้วยความต้านทาน R

3.5.6 สายอากาศยากิ

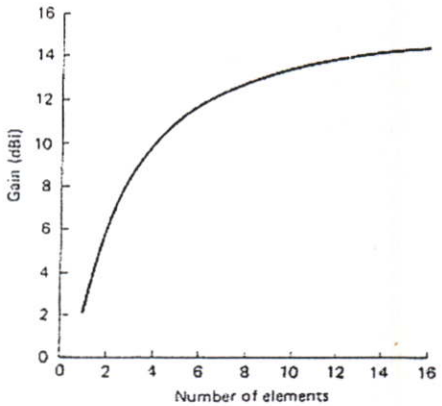
สายอากาศชนิดยากิ มีประโยชน์มากในการใช้งานที่ต้องการทิศทาง ซึ่งประกอบด้วยตัวขับ (driven element) ทำหน้าที่กระจายคลื่นออกอากาศ มีเพียงอีลีเมนต์เดียว ส่วนที่ 2 คือ ไดเรกเตอร์ (directors) ส่วนนี้จะอยู่ด้านหน้าของตัวขับ และมีความยาวสั้นกว่าครึ่งความยาวคลื่น



รูปที่ 3.7 สายอากาศยากิ

ซึ่งอาจจะมีได้หลายอีลีเมนต์ สำหรับส่วนที่ 3 รีเฟลกเตอร์ (reflector) ทำหน้าที่สะท้อนคลื่นที่มาทางด้านหลังให้กลับไปด้านหน้า โดยปกติจะมีความยาวกว่าครึ่งของความยาวคลื่นอยู่ทางด้านหลังของตัวขับ ดังแสดงในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายของสายอากาศยากิ กับจำนวน อีลีเมนต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มจำนวนของอีลีเมนต์มีผลทำให้อัตราการขยายของสายอากาศเพิ่มขึ้น ในทางปฏิบัติสายอากาศยากิอาจถูกออกแบบสำหรับให้มีอัตราการขยายด้านหน้าสูงสุดเพื่อให้ได้ระยะทางไกล สำหรับการกระจายคลื่นด้านหลังต้องการให้มีน้อยที่สุด ดังนั้น โดยทั่วไปแบนด์วิดทางความถี่ ของสายอากาศจะถูกลดลงด้วยการเพิ่มจำนวนของ อีลีเมนต์ โดยปกติแบนด์วิดของ 4-element ประมาณ ±10%



รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราขยายของสายอากาศยากิ กับจำนวนอีลีเมนต์

3.6 หน่วยที่ใช้วัด

3.6.1 หน่วยที่ใช้วัดบอกระดับของสัญญาณ loss และ gain ได้แก่เดซิเบล (dB) บางครั้งอาจใช้หน่วยเนเปอร์ (NP ใช้ log ฐาน10) หนึ่งหน่วยเนเปอร์มีค่าเท่ากับ 8.6859 เดซิเบล

3.6.2 ในการบอกระดับค่าของสัญญาณในหน่วยเดซิเบลนั้น ถ้าใช้เพาเวอร์ 1 มิลลิวัตต์ เป็นระดับอ้างอิง ระดับสัญญาณที่วัดได้จะเป็นระดับเพาเวอร์ที่แท้จริง ในหน่วย dBm ในการวัดบางครั้งจำเป็นต้อง บันทึกค่าเป็นระดับโวลท์เตจ ในหน่วย dBrv ซึ่งเป็นอัตราส่วนของโวลท์ ณ จุดที่ทำการวัด เทียบกับโวลท์อ้างอิง 0.775 โวลท์ เมื่อจะประเมินผลจึงเปลี่ยนค่าดังกล่าวเป็นระดับเพาเวอร์ที่แท้จริง

3.7 Relative Level

3.7.1 Relative power level (หรือเรียกสั้นๆ คือ Relative level) ที่จุดใดจุดหนึ่งในระบบรับ-ส่งสัญญาณ คือ อัตราส่วนในรูปของเดซิเบลระหว่างเพาเวอร์ที่จุดนั้น กับเพาเวอร์ ณ จุดที่

เลือกนั้นเป็นจุดเริ่มต้นของระบบ ซึ่งจุดเริ่มต้นของระบบจะมีค่า relative level เท่ากับศูนย์ ทางอเมริกาเรียกว่า Zero test level point (0TLP)

3.7.2 จุดเริ่มต้นของระบบ อาจเป็นจุดใดจุดหนึ่งที่เลือกขึ้นตามแต่จะตกลงกัน ในทางปฏิบัติสำหรับวงจรโทรศัพท์ จุดนี้เป็นจุดทางด้าน "2 wire line" ของ hybrid หรือ 2W/4W terminating set และตามปกติจะอยู่ ณ ที่ใดที่หนึ่งดังนี้

ก) ที่ switchboard jack ที่พนักงานสลับสายซึ่งให้บริการอยู่ในโทรศัพท์แบบเดิม

ข) ที่จุดเริ่มต้นของวงจร 2 wire ทางด้าน line ที่ break jack ของแผง test jack ในสถานีรับ-ส่งโทรคมนาคม

3.8 ระดับสัญญาณทดสอบ (Test tone level)

3.8.1 ระดับสัญญาณทดสอบ เรียกสั้น ๆ ว่า ระดับทดสอบ (test tone) คือระดับเพาเวอร์ที่แท้จริง (เทียบกับหนึ่งมิลลิวัตต์และบอกในหน่วย dBm) ณ จุดใด ๆ ในวงจร เมื่อป้อนสัญญาณ 1 มิลลิวัตต์ (0dBm) จากต้นกำเนิดเข้าที่จุดเริ่มต้นของระบบ ทั้งนี้ความต้านทานภายใน R ของต้นกำเนิดจะต้องเท่ากับอิมพีแดนซ์ปกติของวงจร ณ จุดเริ่มต้น

3.8.2 ระดับสัญญาณที่จุดใดจุดหนึ่งในหน่วย dBm คือระดับเพาเวอร์ที่แท้จริงของจุดนั้น ส่วนค่า relative level ในหน่วย dBr เป็นแต่เพียงอัตราส่วนระหว่างเพาเวอร์ที่แท้จริงนั้นกับ เพาเวอร์ที่แท้จริงที่จุดเริ่มต้น ระดับสัญญาณทดสอบกับค่า relative level ของมันจะมีค่าตัวเลขเท่ากัน จากความสัมพันธ์ระหว่าง relative level และระดับทดสอบนี้ทำให้สามารถตรวจวัดระดับสัญญาณทดสอบที่จุดใดจุดหนึ่ง เมื่อป้อนสัญญาณมาจากภาคหน้า หรืออาจใช้จุดนั้นเป็นจุดป้อนสัญญาณทดสอบ เพื่อตรวจวัดระดับสัญญาณต่าง ๆ ของภาคที่อยู่ถัดไปด้วย

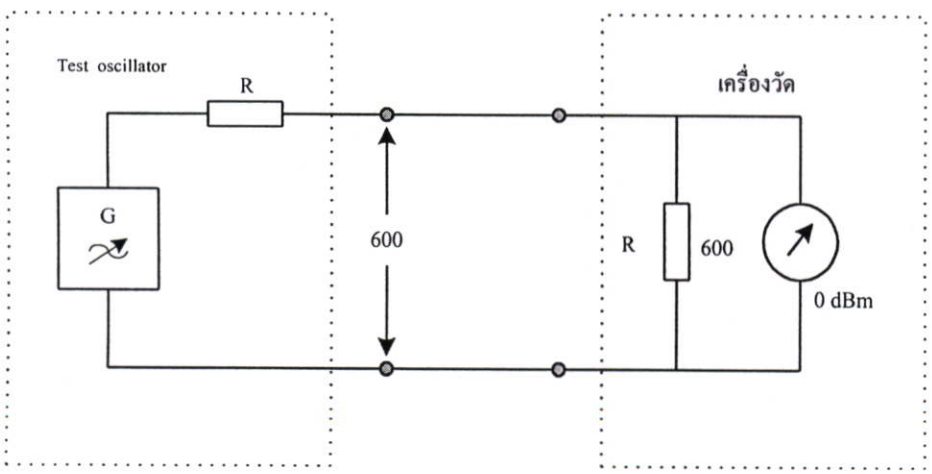
3.8.3 ในระบบรับ-ส่งสัญญาณ โดยเฉพาะระบบมัลติเพลกซ์ มักจะมีสัญญาณอื่น ๆ ที่จุดทดสอบหนึ่ง ๆนอกเหนือไปจากสัญญาณทดสอบเองสัญญาณทดสอบจะปรากฏที่จุดทดสอบใด ๆ ก็ต่อเมื่อมีการป้อนสัญญาณจากจุดเริ่มต้นของระบบหรือจุดอื่นใดที่อยู่ก่อนหน้านั้นสัญญาณอื่น ๆ สามารถปรากฏที่จุดวัดนั้นได้ ไม่ว่าจะป้อนสัญญาณทดสอบเข้าไปหรือไม่ สัญญาณอื่น ๆ ดังกล่าวนี้ได้แก่สัญญาณที่ต้องการใช้ เช่น signaling pilot หรืออาจเป็นสัญญาณอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการ เช่น carrier leak หรือ idle noise ระดับของสัญญาณอื่นๆ เหล่านี้มักบอกไว้เป็นหน่วย dBm0 ที่จุดวัดหนึ่ง ๆ มีค่าตัวเลขเท่ากับผลต่างในหน่วยเดซิเบล ระหว่างระดับสัญญาณที่แท้จริงของสัญญาณอื่น ๆ นี้ กับระดับสัญญาณทดสอบที่จุดเดียวกัน

3.9 การวัด Loss และ Gain

ในการปรับแต่งที่ทำเป็นประจำ และการบำรุงรักษาวงจรของข่ายโทรคมนาคม นอกเหนือจากการวัดระดับของสัญญาณแล้ว ก็ยังมีการวัด loss (หรือ gain) ของอุปกรณ์หรือสาย ซึ่งใช้หน่วยวัดเป็นเดซิเบลหรือเนเปอร์ที่ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้น

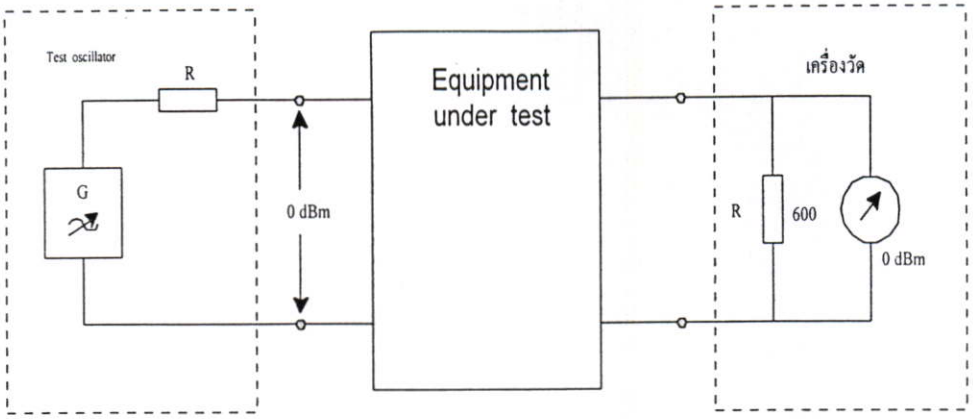
เครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการวัด loss หรือ gain ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณและเครื่องวัดระดับสัญญาณที่รับได้ เครื่องกำเนิดสัญญาณจะเป็นตัวผลิตสัญญาณทดสอบในขนาดความถี่ หรือแถบความถี่ที่ต้องการ และสามารถเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ทำการวัดได้ เครื่องมือทดสอบตามปกติประกอบด้วยภาคส่งกับภาครับ เพื่อให้ใช้ได้ทั้งการผลิตสัญญาณทดสอบและใช้วัดระดับสัญญาณ โดยมีอิมพีแดนซ์เหมาะสมกับวงจรที่ทำการวัดนั้น ๆ การวัด loss หรือ gain มีวิธีที่นิยมใช้วัดมีอยู่สองแบบคือ การวัดโดยตรงและการวัดโดยการเปรียบเทียบ

3.9.1 การวัดโดยวิธีอ่านค่าโดยตรง รูปที่ 3.9 แสดงการจัดวงจรอย่างง่ายสำหรับการวัด loss โดยตรง ในรูปที่ 1(a) เป็นการวัด output ของ test oscillator อิมพีแดนซ์ของวงจรสมมติว่าเป็น 600 โอห์ม และด้วยระดับสัญญาณ 0 dBm voltage drop ขนาด 0.775 โวลท์ จะปรากฏคร่อม terminating resistance 600 โอห์ม ในรูปที่ 1(b) สัญญาณนี้จะป้อนให้อุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ และวัด output level ด้วยเครื่องวัด ผลต่างระหว่าง input level และ output level ที่วัดได้คือค่า loss ของอุปกรณ์นั้น การวัด gain ของอุปกรณ์ดำเนินการอย่างเดียวกัน แต่ต้องไม่ให้ระดับของสัญญาณทดสอบเกินจุด overload ของอุปกรณ์ amplifier



a) วัด Input level

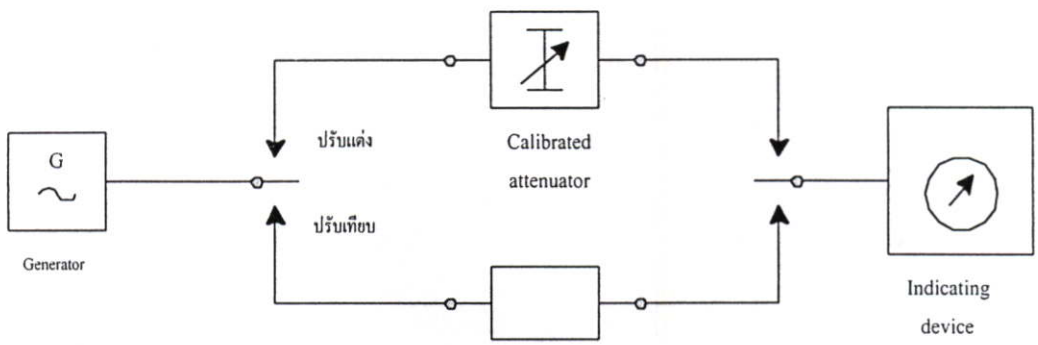
รูปที่ 3.9 การวัด loss หรือ gain โดยวิธีอ่านโดยตรง



b) วัด Ootput level

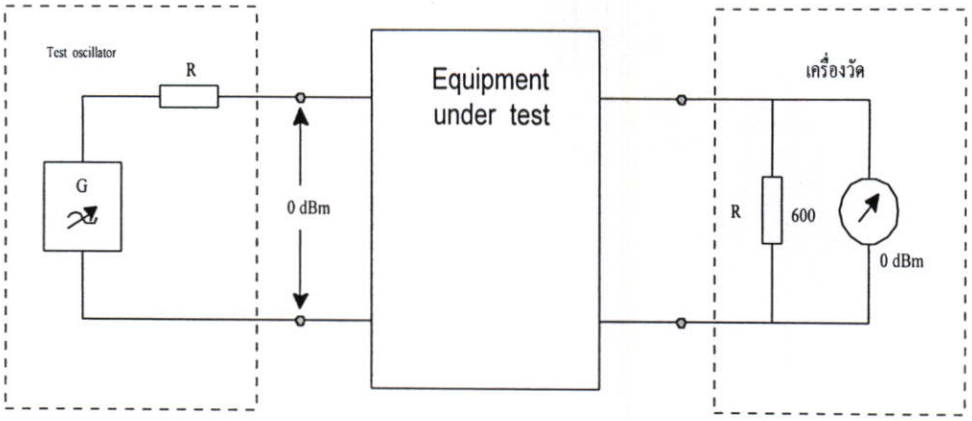
รูปที่ 3.9 การวัด loss หรือ gain โดยวิธีอ่านโดยตรง

3.9.2 การวัด loss โดยวิธีเปรียบเทียบ วิธีนี้ใช้การเปรียบเทียบค่า loss ที่รู้ค่าแน่นอนของ attenuator กับอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบ เพื่อหาค่า loss หรือ gain ในรูปที่ 3.10 แสดงการจัดวงจรอย่างง่าย เพื่อทำการวัด loss ของอุปกรณ์ด้วยสวิทซ์ในตำแหน่ง "เปรียบเทียบ" สัญญาณทดสอบจะป้อนผ่านอุปกรณ์ทดสอบไปยังเครื่องวัด (indicating device) เมื่อสวิทซ์อยู่ในตำแหน่ง "ปรับแต่ง" สัญญาณทดสอบจะป้อนผ่าน attenuator ไปยังเครื่องวัด เมื่อปรับแต่ง attenuator จนกระทั่งเครื่องวัดชี้บอกค่าเท่ากันทั้งในตำแหน่ง "ปรับเทียบ" และ "ปรับแต่ง" ได้ค่า loss ของ attenuator ก็คือค่า loss ของอุปกรณ์ทดสอบนั่นเอง



รูปที่ 3.10 การวัด loss โดยวิธีเปรียบเทียบ

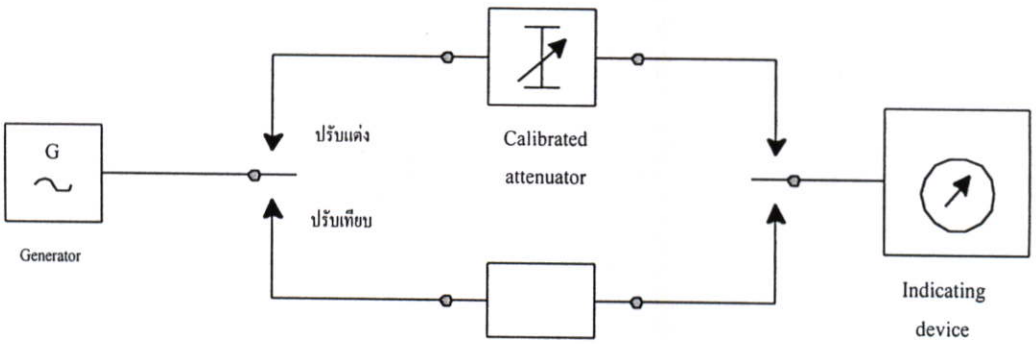
ในรูปที่ 3.11 แสดงการวัดวงจรอย่างง่าย เพื่อทำการวัด gain ของ amplifier ในกรณีนี้ attenuator และ amplifier จะต่อตามกัน (in tandem) ในตำแหน่ง "ปรับแต่ง" ของวงจร เมื่อปรับแต่ง attenuator จนกระทั่งเครื่องวัดชี้บอกค่าเท่ากัน ทั้งในตำแหน่ง "เปรียบเทียบ" และ "ปรับแต่ง" ค่า gain ของ amplifier ก็คือค่า loss ของ attenuator



b) วัด Ootput level

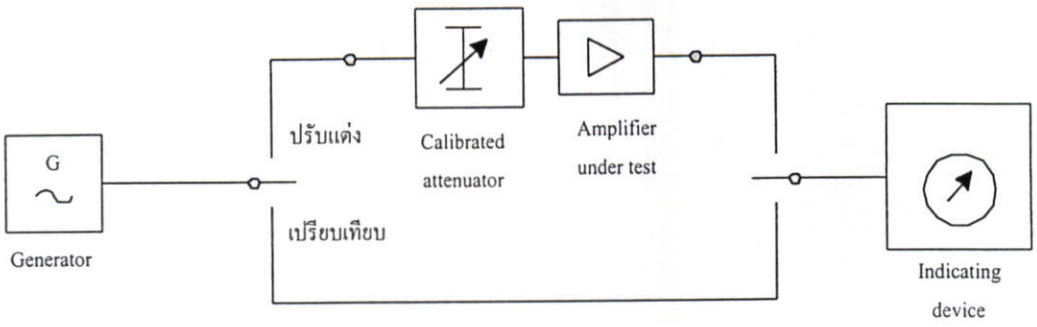
รูปที่ 3.9 (ต่อ)

3.9.2 การวัด loss โดยวิธีเปรียบเทียบ วิธีนี้ใช้การเปรียบเทียบค่า loss ที่รู้ค่าแน่นอนของ attenuator กับอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบ เพื่อหาค่า loss หรือ gain ในรูปที่ 3.10 แสดงการจัดวงจรอย่างง่าย เพื่อทำการวัด loss ของอุปกรณ์ด้วยสวิทซ์ในตำแหน่ง "เปรียบเทียบ" สัญญาณทดสอบจะป้อนผ่านอุปกรณ์ทดสอบไปยังเครื่องวัด (indicating device) เมื่อสวิทซ์อยู่ในตำแหน่ง "ปรับแต่ง" สัญญาณทดสอบจะป้อนผ่าน attenuator ไปยังเครื่องวัด เมื่อปรับแต่ง attenuator จนกระทั่งเครื่องวัดชี้บอกค่าเท่ากันทั้งในตำแหน่ง "ปรับเทียบ" และ "ปรับแต่ง" ได้ค่า loss ของ attenuator ก็คือค่า loss ของอุปกรณ์ทดสอบนั่นเอง



รูปที่ 3.10 การวัด loss โดยวิธีเปรียบเทียบ

ในรูปที่ 3.11 แสดงการวัดวงจรอย่างง่าย เพื่อทำการวัด gain ของ amplifier ในกรณีนี้ attenuator และ amplifier จะต่อตามกัน (in tandem) ในตำแหน่ง "ปรับแต่ง" ของวงจร เมื่อปรับแต่ง attenuator จนกระทั่งเครื่องวัดชี้บอกค่าเท่ากัน ทั้งในตำแหน่ง "เปรียบเทียบ" และ "ปรับแต่ง" ค่า gain ของ amplifier ก็คือค่า loss ของ attenuator



รูปที่ 3.11 การวัด gain ของ amplifier

การต่อ attenuator ไว้ข้างหน้า amplifier เพื่อป้องกันการทำงานเกินกำลัง (overload) ของ amplifier และป้องกันการเสียหายแก่วงจรภายใน ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้ เมื่อป้อนสัญญาณจาก generator ด้วยระดับสูง ๆ การวัดโดยวิธีเปรียบเทียบนี้จะใช้ได้เฉพาะในกรณีที่ input และ output ของอุปกรณ์ทดสอบอยู่ ณ ที่เดียวกันเท่านั้น

3.10 Insertion loss

การบอกค่า loss (หรือ gain) ได้สมมติไว้ว่า อิมพุทและเอ้าพุทอิมพีแดนซ์ของ network แมทซ์กับอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณและเครื่องวัด เมื่อทำการวัดโดยใช้ terminating impedance (โดยปกติจะเป็น terminating resistance) เท่ากับ norminal ของอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณก็จะได้ค่า loss หรือ gain ที่แท้จริง ในกรณีของ transmission lines บางอย่าง โดยเฉพาะสายเคเบิล (loaded หรือ unloaded) ค่าอิมพีแดนซ์จะแตกต่างไปจากค่าอิมพีแดนซ์ปกติในย่านความถี่ที่ทำการวัด เมื่อเป็นเช่นนี้การวัด loss หรือ gain ให้ใช้ terminating impedance เท่ากับค่าเฉลี่ย หรือเท่ากับค่า norminal impedance ของอุปกรณ์ที่ทำการวัด กรณีดังกล่าวใช้คำว่า "insertion loss" หรือ insertion gain สำหรับบอกค่า loss หรือ gain ซึ่งรวมถึง miamatch loss หรือ gain ด้วย กล่าวคือ เมื่ออิมพีแดนซ์ทั้งสองแมทซ์กัน หรือมีค่าใกล้เคียงกันใช้ค่า loss หรือ gain กรณีที่ทางด้านส่งหรือด้านรับไม่แมทซ์กัน จะใช้คำว่า insertion loss และต้องบอกค่า terminating impedance ไว้ด้วยเช่น insertion loss ของสายเคเบิลเท่ากับ 6 dB ระหว่าง 600 โอห์ม

3.11 การวัด Return loss และ reflection loss

อิมพีแดนซ์ (impedance) ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งในโครงข่ายโทรคมนาคม ก็คือ การรักษาให้มีสภาวะสมดุลทางอิมพีแดนซ์ (matched impedance) ตลอดโครงข่ายสายและอุปกรณ์

แบบต่าง ๆ จะถูกนำมาต่อตามกัน (intandem) และที่จุดต่อหนึ่ง ๆ จะต้องหลีกเลี่ยงปัญหาของการไม่สมดุลทางอิมพีแดนซ์ ยิ่งกว่านั้น สายรับส่งทั้งหลาย และอุปกรณ์ต่าง ๆ ส่วนใหญ่มีคุณลักษณะทางอิมพีแดนซ์ที่แปรผันตามความถี่ และสภาวะสมดุลที่เหมาะสมจะมีได้ที่ความถี่เดียว

3.11.1 Return loss คือ logarithm ratio ของกำลัง (power)ที่ load จะรับไว้ได้ภายใต้ภาวะสมดุล ที่ถูกต้องต่อกำลังที่สะท้อนกลับจาก load เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

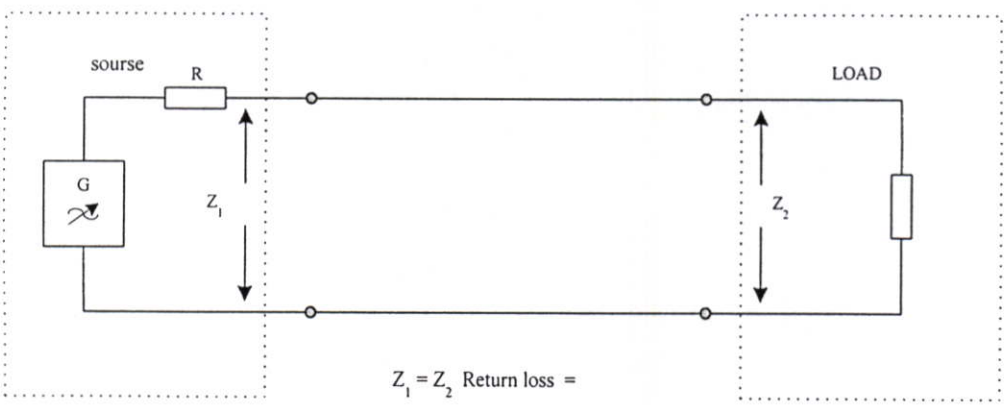
$$\text{return loss (dB)} = 10 \log \frac{\text{กำลังที่ load รับไว้ภายใต้ภาวะสมดุลย์}}{\text{กำลังที่สะท้อนกลับจาก load}}$$

หรือ

$$\text{return loss (dB)} = 20 \log \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 - Z_2}$$

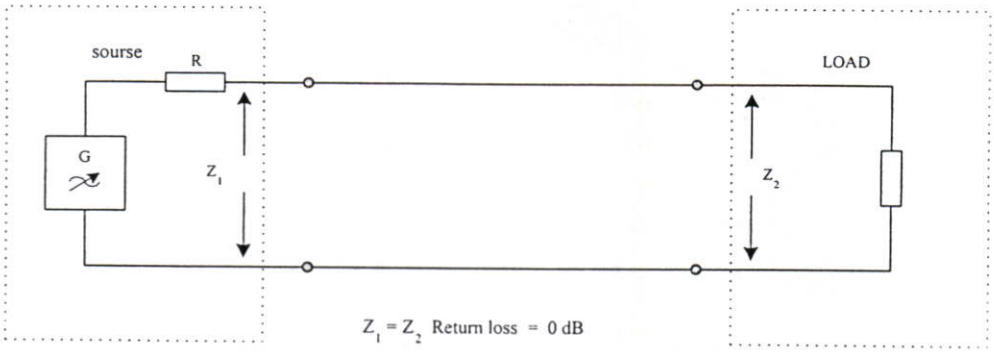
เมื่อ Z_1 = อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย, Z_2 = อิมพีแดนซ์ของ load

เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ทั้งสองสมดุลกัน ดังรูปที่ 3.12 กำลังที่ส่งไปจะไม่มีการสะท้อนกลับจาก load จะเห็นได้โดยใช้สูตรหาค่า return loss ในภาวะสมดุลที่ถูกต้อง $\frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 - Z_2}$ จะมีค่าอนันต์ (infinity) แต่ในทางปฏิบัติค่า return loss ในภาวะสมดุลจะเป็น 45 ถึง 50 dB



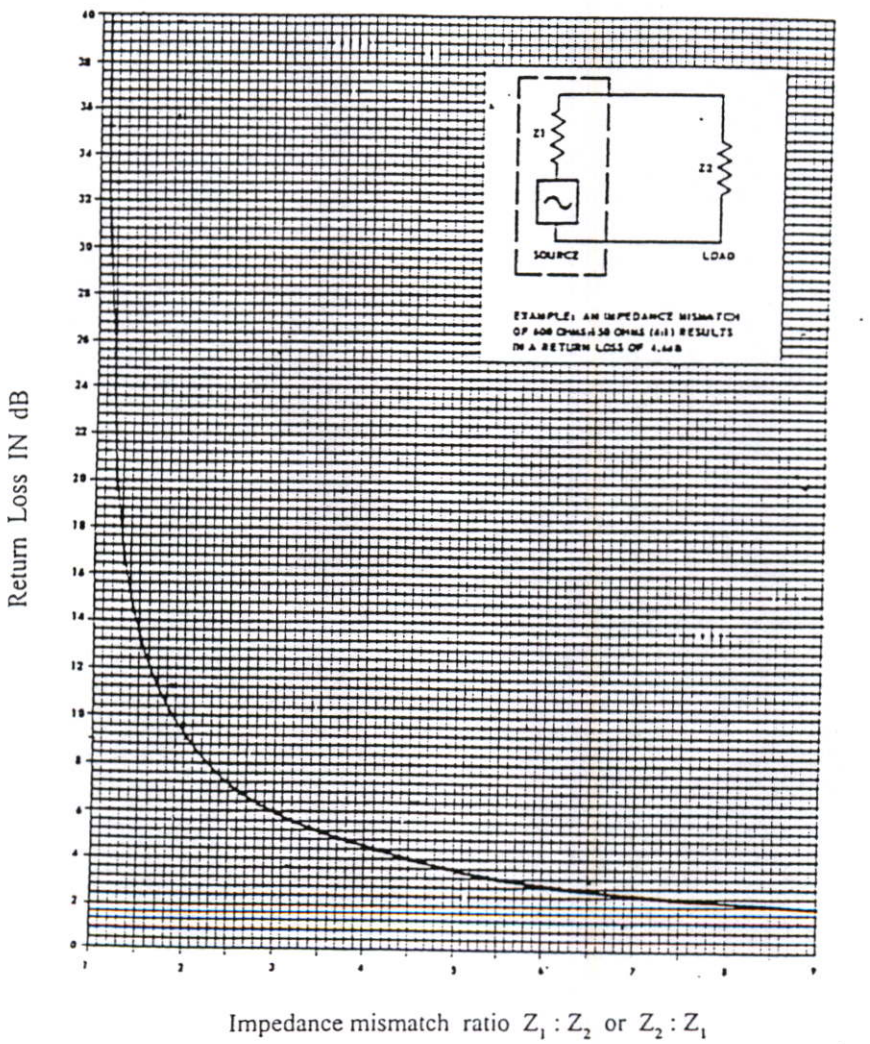
รูปที่ 3.12 return loss ภายใต้ภาวะสมดุล

สำหรับภาวะไม่สมดุล ดังรูปที่ 3.13 เช่น วงจรลัด (short circuit) หรือวงจรเปิด (open circuit) ที่ load กำลังที่ส่งไปถึง load ซึ่งเป็นวงจรลัดหรือเปิดจะสะท้อนกลับหมด ในกรณีนี้อัตราส่วน $\frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 - Z_2}$ จะมีค่าเข้าใกล้ 1 และ return loss จะเข้าใกล้ 0



รูปที่ 3.13 return loss ภายใต้ภาวะไม่สมดุล

ในรูปที่ 3.14 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง impedance mismatch ratio ($\frac{Z_1}{Z_2}$ หรือ $\frac{Z_2}{Z_1}$) และ return loss



รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างการไม่สมดุลทางอิมพีแดนซ์ และ return loss

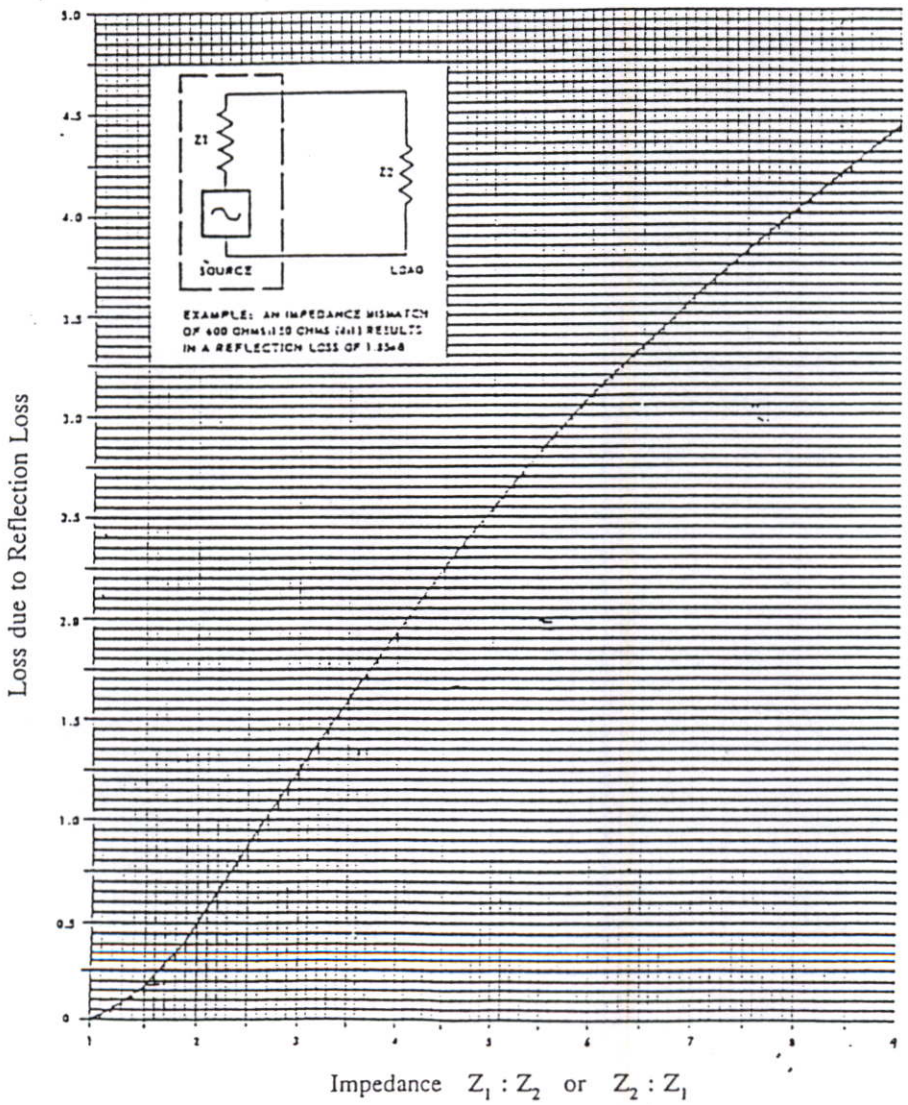
3.11.2 Reflection loss (หรือ mismatch loss) คือ logarithm ratio ของกำลังที่ load ที่ได้รับภายใต้ภาวะสมดุลต่อกำลังที่ load ได้รับจริง (ภายใต้ภาวะไม่สมดุล) สามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\text{reflectionloss (dB)} = 10 \log \frac{\text{กำลังที่ load รับไว้ภายใต้ภาวะสมดุลย์}}{\text{กำลังที่ load รับไว้จริง}}$$

$$\text{reflection loss (dB)} = 20 \log \frac{Z_1 + Z_2}{2\sqrt{Z_1 + Z_2}}$$

ภาวะสมดุล ($Z_1 + Z_2$) reflection loss จะมีค่าเป็น 0

สำหรับภาวะที่ไม่สมดุล ค่าของ reflection loss ขึ้นอยู่กับความมากน้อยของการไม่สมดุล รูปที่ 3.15 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง impedance mismatch และ reflection loss



รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการไม่สมดุลทางอิมพีแดนซ์ และ reflection loss

3.12 การคำนวณในระบบรับส่งสัญญาณ

วงจรต่าง ๆที่ใช้ในระบบเครื่องโทรคมนาคม มีส่วนประกอบ ซึ่งอาจจะเพิ่มหรือลดความแรงของสัญญาณที่ผ่านมันไป งานด้านโทรคมนาคมมีความมุ่งหมาย เพื่อส่งข่าวสารในรูปพลังงานไฟฟ้าไปยังปลายทางให้มีความแรงพอเพียงแก่การทำงานของอุปกรณ์ จึงจำเป็นต้องมีระบบของการวัด ซึ่งแสดงออกเป็นตัวเลขให้ทราบว่าส่วนประกอบต่างๆ ของอุปกรณ์ทำการเพิ่มหรือลดความแรงของสัญญาณไปมากน้อยเพียงใด

การเพิ่มหรือลดความแรงของสัญญาณของส่วนประกอบต่าง ๆ ของอุปกรณ์โทรคมนาคมนั้น อาจวัดหรือกำหนดได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น

1) วัด Power หรือ Loss ในหน่วยของวัตต์หรือมิลลิวัตต์

2) กำหนดเป็นอัตราส่วนระหว่าง Input และ Output Power คิดเป็นเปอร์เซ็นหรือจำนวนเลขเศษส่วน

3) กำหนดเป็นอัตราส่วนระหว่าง Input และ Output Power หรือ Input และ Output Voltage ในรูปของ Logarithm

3.12.1 BEL และ DECIBEL หน่วยวัดในระบบรับส่งที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบ กำลังงานไฟฟ้าที่จุดต่างกัน 2 จุด ใน วงจรก็คือ BEL ชื่อที่ได้มาจาก Aiexander Bell ผู้ประดิษฐ์โทรศัพท์หน่วยดังกล่าวนี้ใช้แสดงความแรงสัมพัทธ์ของสัญญาณ โดยคิดจาก Common Logarithm ของอัตราส่วน Input Power และ Output Power

$$\text{จำนวน BEL} = \text{Log}_{10} \text{ ของ Power Ratio}$$

เมื่อ Input และ Output Power มีอัตราส่วน 10 : 1 กล่างคือ Output Level มีค่าต่ำกว่า Input Level 1 BEL และในกรณีเช่นนี้ BEL ใช้เป็นหน่วยบอก Attenuation Loss หรือ Output Level เป็น 10 เท่า ของ Input Level ก็กล่าวได้ว่า Input 1 BEL ใช้เป็นหน่วยบอก Gain ในทางปฏิบัติ BEL เป็นหน่วยที่ใหญ่เกินไป จึงใช้ Decibel และเขียนย่อว่า dB ซึ่งเท่ากับ 1/10 ของ BEL นั่นคือ

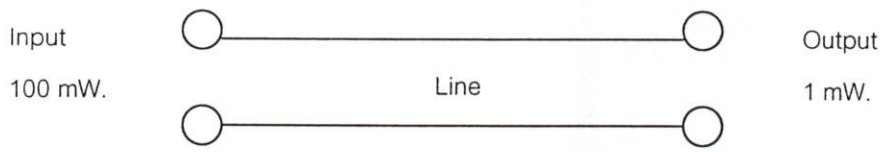
$$\text{จำนวน dB} = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

เมื่อ จำนวน dB เป็น Gain หรือ Loss

P_1 และ P_2 เป็น Power 2 จำนวนเปรียบเทียบกัน

เดซิเบล (dB) เป็นหน่วยของ Power Ratio ไม่ได้แทน Power ขนาดใดขนาดหนึ่งโดยเฉพาะ นั่นคือ dB ไม่ใช่หน่วยวัดที่แท้จริงเหมือน เช่น โวลท์หรือวัตต์ แต่เป็นหน่วยแสดงอัตราส่วนทางเลขในรูป Logarithm เท่านั้น

การคำนวณ 3.1 เมื่อ Input Power ที่ป้อนให้ Transmission Line มีขนาด 100 มิลลิวัตต์ และได้ Output Power เป็น 1 มิลลิวัตต์



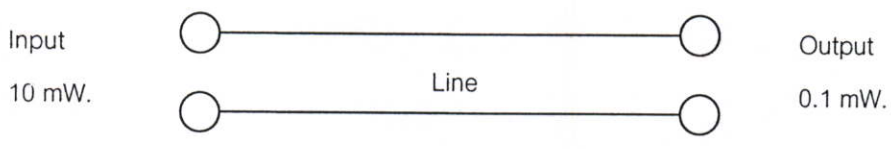
อัตราส่วนทางตัวเลขคือ

$$\frac{Output\ \ Power}{Input\ \ Power} = \frac{1}{100} = 1 : 100$$

และอัตราส่วนทาง Logarithm คือ

$$10 \log 0.01 = -20 \text{ dB}$$

การคำนวณ 3.2 เมื่อ Input Power ที่ป้อนให้ Transmission Line มีขนาด 10 มิลลิวัตต์ และได้ Output Power เป็น 0.1 มิลลิวัตต์



อัตราส่วนทางตัวเลขคือ

$$\frac{Output\ \ Power}{Input\ \ Power} = \frac{0.1}{10} = 0.1 : 10$$

และอัตราส่วนทาง Logarithm คือ

$$10 \log 0.01 = -20 \text{ dB}$$

ในการคำนวณ 3.2 Power Ratio เป็น 1 : 100 และ Line มี Attenuation 20 dB เหมือนกันกับ การคำนวณ 3.1 มีการลดทอนของกำลังงาน 9.9 mw จากนี้จึงเห็นได้ว่า เมื่อ Transmission Line มีการลดทอนกำลังขนาดหนึ่ง เช่น 20 dB ณ ความถี่อันหนึ่งก็หมายความว่าเป็นเพียง 1/100 ของ Input Power ณ ความถี่นั้น มิได้บอกถึงจำนวนที่ Power ได้เปลี่ยนแปลงไปแต่อย่างไร แต่เนื่องจาก Power Gain และ Loss ในวงจรโทรคมนาคม โดยทั่วไปมักแปรผันตามความถี่ เมื่อจะบอก Gain หรือ Loss ต้องระบุความถี่นั้น ๆ ไว้ด้วย เช่น Gain ของเครื่องขยายเครื่องหนึ่งมีค่า 15 dB ณ ความถี่ 3 kHz. และ Loss ของ Transmission Line อันหนึ่งมีค่า 7 dB ณ ความถี่ 4 dB kHz. เป็นต้น

3.12.2 Gain และ Loss dB เป็นหน่วยที่ใช้บอกค่า Gain และ Loss

Loss : เป็นค่าที่แสดงการลดลงของ Power อันเกิดจาก Transmission Line หรือส่วนประกอบอื่นๆ ของเครื่อง

Gain : เป็นค่าที่แสดงการเพิ่มขึ้นของ Power อันเกิดจาก Amplifier

ในการหาค่า Power Ratio ถ้าค่าที่ได้มีค่ามากกว่า 1 ค่าของ Logarithm จะเป็นจำนวนบวก แต่ถ้าได้ค่า Power Ratio มีค่าน้อยกว่า 1 ค่าของ Logarithm จะเป็นจำนวนลบ ซึ่งจากข้อมูลที่กำหนดให้จะบอกให้ทราบว่าผลลัพธ์ที่ได้เป็น Gain หรือ Loss

การคำนวณ 3.3 จงคำนวนหาค่า Loss ในหน่วย dB ของ Transmission Line เมื่อ Input Power เป็น 2.5 mW และ Output Power เป็น 0.5 mW

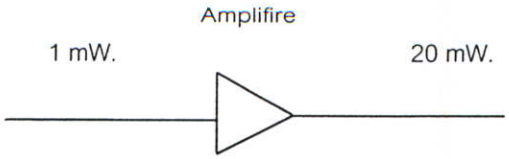
$$\text{จำนวน dB} = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

$$= 10 \log \frac{0.5}{2.5}$$

$$= 10 * (-0.699)$$

$$\text{Transmission Line Loss} = -7 \text{ dB}$$

การคำนวณ 3.4 จงหา Gain ของ Amplifier ในหน่วย dB เมื่อป้อน 1 mW เข้าที่ Input ได้ Output Power เป็น 20 mW



$$\text{จำนวน dB} = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

$$= \quad 10 \log \frac{20}{1}$$

$$= \quad 10 * 1.3010$$

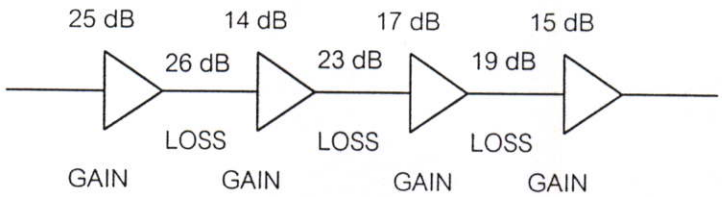
$\therefore$ Amplifier Gain $= \quad 13 \quad dB$

จะสังเกตเห็นว่า ผลลัพธ์ที่มีค่าเป็นบวกจะหมายถึง Gain ส่วนถ้าผลลัพธ์ที่มีค่าเป็นลบจะหมายถึง Loss

3.12.3 Overall Gain หรือ Loss เมื่อวงจรหนึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง เช่น สายโทรศัพท์ทางไกลที่มีเครื่องทบทวนสัญญาณ(Repeaters) ต่าง ๆ ดังนั้นสัญญาณที่ส่งผ่านไป จะได้รับทั้ง Loss และ Gain Overall Gain หรือ Loss ของวงจรในหน่วย dB คือผลต่างระหว่างผลบวกของ Gain และผลบวกของ Loss หรือเรียกตัวเลขเหล่านี้ว่า "Transmission Equivalent"

Overall Gain หรือ Loss เท่ากับ Gain ทั้งหมด ลบด้วย Loss ทั้งหมด เมื่อ Gain ทั้งหมดมากกว่า Loss ทั้งหมดก็กล่าวได้ว่าวงจรมี Overall Gain ในทางตรงข้าม เมื่อ Loss มากกว่า Gain วงจรนั้นจะมี Overall Loss มีวงจรโทรคมนาคมจำนวนไม่น้อย ที่ออกแบบให้วงจรรวมมี Gain ของ Amplifier เท่ากับ Loss วงจรเช่นนี้กล่าวว่ามี "Zero" Loss ในลักษณะเช่นนี้ Output Power จะมีค่าเท่ากับ Input Power

การคำนวณ 3.5 คำนวณหา Overall Gain หรือ Loss ของ Transmission Line พร้อมด้วย Amplifier ดังภาพ



Gain รวม 25 + 14 +17 + 15 = 71 dB

Loss รวม 26 + 23 + 19 = 68 dB

Overall Gain 71 - 68 = 3 dB

หูมนุษย์ตอบสนองต่อคลื่นเสียงที่มีกำลังงานแปรผันในลักษณะเป็น Logarithmic scale การทดสอบพบว่า การเปลี่ยนแปลงของกำลังงานเสียงเพียง 1 dB หูคนเราจะไม่รู้สึกเลย ถ้าทำการเปลี่ยนแปลง 2 dB หูเราจะรู้สึกว่าความดังเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ถ้า 3 dB จะรู้สึกว่าความดัง

เปลี่ยนแปลงไปมาก เหตุผลดังกล่าว Attenuator ซึ่งใช้ลดกำลังงานของเสียง จึงออกแบบให้เปลี่ยนค่าได้ในขั้นละ 1 dB

การเปรียบเทียบ Power Ratio และจำนวน dB ที่ใช้กันอยู่เสมอ คือ

1) Power Ratio 10 : 1 แทนการเปลี่ยนแปลง 10 dB นั่นคือ เมื่อเพิ่ม Power ขึ้น 10 เท่า จะมี 10 dB Gain หรือเมื่อลดเป็น 1/10 จะมี 10 dB Loss

2) Power Ratio 100 : 1 แทนการเปลี่ยนแปลง 20 dB และ Power Ratio 1000 : 1 แทนการเปลี่ยนแปลง 30 dB

3) Power Ratio 2 : 1 แทนการเปลี่ยนแปลง 3 dB

การจดจำข้อเปรียบเทียบเหล่านี้ เป็นการลดทอนการใช้ตารางและการคำนวณที่ยุ่งยากหลาย ๆ อย่างลง ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1) โดยที่ Power Ratio 4 : 1 เป็น 2 เท่าของ Power Ratio 2 : 1 จึงเทียบได้กับการเปลี่ยนแปลง 6 dB (3+3)

2) ในการเพิ่ม Power Ratio ขึ้น 20 เท่านั้น ครั้งแรกนั้นเราเพิ่ม 10 เท่า (10dB) และเพิ่มอีก 2 เท่า (3dB) การคำนวณจะแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้น 20 เท่า แทนการเปลี่ยนแปลง 10+3 หรือ 13 dB

3) ในการเพิ่ม Power Ratio ขึ้น 5 เท่า เท่ากับการเพิ่มขึ้น 10 เท่า (10dB) แล้วลดลงครึ่งหนึ่ง (3dB) คิดเป็นจำนวน dB = 10-3 หรือ 7 dB

3.12.4 Voltage และ Current Ratio โดยปกติเดซิเบลเป็นหน่วยพื้นฐานของ Power Ratio แต่ในทางปฏิบัติสามารถใช้ Voltage หรือ Current แทน Power เพื่อคำนวณ Gain หรือ Loss ได้ ในวงจรไฟฟ้าสามารถคำนวณหา Power ได้ ถ้ารู้ค่าความต้านทานของวงจร และค่า Voltage หรือ Current นั่นคือ

$$\text{Power} = \frac{E^2}{R} \quad \text{และ} \quad \text{Power} = I^2 R$$

อัตราส่วนระหว่าง Power 2 จำนวน (P_1 และ P_2) สามารถแทนได้ด้วย

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{E_2^2 / R_2}{E_1^2 / R_1} = \frac{E_2^2 / R_1}{E_1^2 / R_2} \quad \text{หรือ} \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2^{\,2} / R_2}{I_1^{\,2} / R_1}$$

เมื่อค่าความต้านทานทั้งสองมีค่าเท่ากัน (กล่าวคือ $R_1 = R_2$) Power Ratio จะเท่ากับกำลังสองของ Voltage หรือ Current Ratio

นั่นคือ $\frac{P_2}{P_1} = \frac{E_2^{\ 2}}{E_1^{\ 2}} = \left(\frac{E_2}{E_1}\right)^2$ หรือ $\frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2^{\ 2}}{I_1^{\ 2}} = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2$

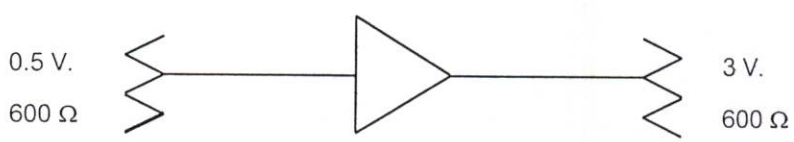
ทำนองเดียวกัน ในวงจรโทรคมนาคม เมื่ออิมพีแดนซ์มีค่าเท่ากัน ก็ย่อมจะกำหนด Power Ratio ในหน่วย dB ได้โดยใช้ Voltage หรือ Current Ratio ดังนี้

เนื่องจากจำนวน $\quad dB = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$

ดังนั้น จำนวน $\boxed{dB = 20 \log \frac{E_2}{E_1}}$ หรือ $\boxed{dB = 20 \log \frac{I_2}{I_1}}$

การคำนวณ dB จาก Voltage และ Current Ratio ดังสูตรข้างบนนี้จะใช้ได้เฉพาะเมื่อ Input และ Output Impedance มีค่าเท่ากันเท่านั้น

การคำนวณ 3.6 Input และ Output Impedance ของ Amplifier เครื่องหนึ่งมีค่า 600 โอห์ม ถ้าป้อนสัญญาณขนาด 0.5 โวลท์ จากออสซิเลเตอร์เข้าที่ Input จะปรากฏโวลท์เตจที่ Output คร่อม Load ขนาด 3 โวลท์ เมื่อ Load มีขนาด 600 โอห์ม จงหา Gain ของ Amplifier



GAIN = ?

จำนวน dB $= 20 \log \frac{E_2}{E_1}$

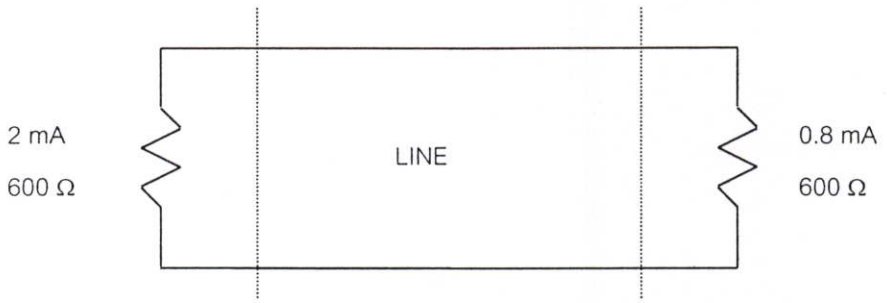
$= 20 \log \frac{3}{0.5}$

$= 20 \log 6$; (log 6 = 0.7782)

$= 15.56$

∴ Gain ของ Amplifier เท่ากับ 15 dB (โดยประมาณ)

การคำนวณ 3.7 สถานี A ส่งสัญญาณทดสอบด้วยกระแส 2 มิลลิแอมป์ เข้าไปใน Transmission Line ซึ่งมี Input Impedance 600 โอห์ม กระแสไฟที่ไหลผ่าน 600 โอห์ม Termination ที่สถานี B เป็น 0.8 มิลลิแอมป์ จงคำนวณ Loss ของ Line



GAIN = ?

จำนวน dB = $20 \log \frac{Iout}{Iin}$

= $20 \log \frac{0.8}{2}$

= $20 \log 0.4$; (log 0.4 = -0.3979)

= -7.96

∴ Line Loss เท่ากับ 8 dB (โดยประมาณ)

เนื่องจาก Power เป็นปฏิภาคโดยตรงกับกำลังสองของ Voltage หรือ Current เมื่อ Voltage หรือ Current เพิ่มเป็น 2 เท่า Power จะเพิ่มเป็น 4 เท่า ซึ่งเท่ากับ 6 dB Gain นั่นคือ dB ที่กำหนดไว้สำหรับ Power Ratio จะต้องเพิ่มขึ้น 2 เท่า สำหรับ Voltage หรือ Current Ratio เช่น 2 : 1 Power Ratio แทนด้วย 3 dB แต่ 2 : 1 Voltage หรือ Current Ratio จะแทนด้วย 6 dB เป็นต้น จากตารางที่ 3.4 เป็นค่า dB เทียบกับ Ratio ซึ่งเป็น Power, Voltage หรือ Current ในขนาดต่าง ๆ ซึ่งมักใช้กันเสมอ ๆ

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบอัตราส่วนของ Power, Voltage หรือ Current

Ratio	dB for Power Ratio	dB for E or I ratio
2 : 1	3 dB	6 dB
2.5 : 1	4 dB	8 dB
4 : 1	6 dB	12 dB
5 : 1	7 dB	14 dB

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

Ratio	dB for Power Ratio	dB for E or I ratio
8 : 1	9 dB	18 dB
10 : 1	10 dB	20 dB
16 : 1	12 dB	24 dB
20 : 1	13 dB	26 dB
32 : 1	15 dB	30 dB
40 : 1	16 dB	32 dB
64 : 1	18 dB	36 dB
100 : 1	20 dB	40 dB
128 : 1	21 dB	42 dB
1000 : 1	30 dB	60 dB

3.12.5 การกำหนด Power Level จะเห็นแล้วว่า dB เป็นหน่วยสำหรับ Power Ratio ไม่ใช่ Power เมื่อพูดถึง Gain หรือ Loss ของวงจรในหน่วย dB ก็มิได้ระบุเลยว่า Input และ Output Power ว่าเป็นเท่าใด

ในอุปกรณ์โทรคมนาคม การวัดและการคำนวณจะง่ายขึ้น ถ้ากำหนด Power Level ณ จุดต่าง ๆ ของวงจรในรูปของ Logarithm เทียบกับ Reference power level แน่นอนอันหนึ่ง

Reference Power Level หรือ Zero Power level ที่ใช้กันในปัจจุบันก็คือ 1 มิลลิวัตต์ Power level ของสัญญาณใด จะกำหนดเป็น dB เทียบกับ Power 1 mW เช่น 100 mW ซึ่งเป็น 100 เท่าของ 1 mW จะกำหนดเป็น "20 dB สูงกว่า 1 mW" ในทำนองเดียวกัน 0.01 mW ซึ่งเป็น 1/100 ของ 1 mW ก็กำหนดเป็น "20 dB ต่ำกว่า 1 mW" เพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนกับหน่วย dB ซึ่งใช้บอก Loss และ Gain จึงกำหนดใช้หน่วย dBm สำหรับบอก Power level เทียบกับ Reference Level 1 mW ตัวเลขใด ๆ ที่กำหนดไว้เป็น dBm แสดงว่าเป็น Power level ระดับสัญญาณ Power 1 mW คือ 0 dBm Power level ที่สูงกว่า 1 mw จะแสดงด้วยเครื่องหมาย + หน้าค่า dBm เช่น

2 mW กำหนดเป็น Power level + 3 dBm

10 mW เป็น + 10 dBm และ 1 W (1000 mw) เป็น + 30 dBm

Power level ที่ต่ำกว่า 1 mW จะแสดงด้วยเครื่องหมาย - หน้าค่า dBm เช่น

0.5 mW กำหนดเป็น Power level - 3 dBm

0.1 mW เป็น - 10 dBm และ 1 μW (1/1000 mW) เป็น - 30 dBm

Power level ที่กำหนดเป็น dBm นั้นไม่ขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์ของวงจรและความถี่ จึงสามารถใช้บอก Power ณ ความถี่ใด ๆ ไม่ว่าจะเป็นวงจรแบบใดก็ได้ หากเข้าใจว่า Reference Power นั้นเป็น 1 mW (0 dBm)

Power ใด ๆ ที่รู้ค่าในหน่วย W, mW, μW หรือ nW ก็ย่อมจะแปลงเป็น Power level ในหน่วย dBm ได้ โดยแปลงให้อยู่ในรูป mW และใช้สูตรของการหา Power Ratio คือ

$$\text{จำนวน dBm} = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

ในทำนองเดียวกัน Power level ในหน่วย dBm ก็สามารถแปลงกลับเป็น Power ในหน่วย mW ได้เช่นกัน เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ค่าลบของ Logarithm และทำให้การคำนวณง่ายขึ้นจะใช้วิธีนี้

1) เมื่อ Power มากกว่า 1 mW ใช้ P2 = Power ในหน่วย mW และ P1 = Reference Power (1 mW)

2) เมื่อ Power ต่ำกว่า 1 mW ใช้ P_2 = Reference (1 mW) และP_1 = Power ในหน่วย mW

การคำนวณ 3.8 จงหา Power level ในหน่วย dBm ของ 12 mW

$$\text{จำนวน dBm} = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

เนื่องจาก Power มากกว่า 1mW, ใช้ $P_1 = 1$ mW

$P_2 = 12$ mW

$$\therefore \text{จำนวน dBm} = 10 \log \frac{12}{1} \quad ;(\log 12 = 1.079)$$

$$= 10.79$$

นั่นคือ 12 mW = 10.8 dBm (โดยประมาณ)

การคำนวณ 3.9 จงหา Power level ในหน่วย dBm ของ 0.75 mW

$$\text{จำนวน dBm} = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

เนื่องจาก Power ต่ำกว่า 1mW, ใช้ $P_1 = 0.75$ mW

$P_2 = 1$ mW

$$\therefore \text{จำนวน dBm} = 10 \log \frac{1}{0.75} \quad ;(\log 1.33 = 1.079)$$

$= \quad 1.25$

นั่นคือ 0.75 mW $=$ -1.3 dBm (โดยประมาณ)

การคำนวณ 3.10 จงแปลง 13 dBm เป็น mW

$$\text{จำนวน dBm} = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

เนื่องจากเครื่องหมายเป็นบวก แสดงว่า Power มากกว่า 1 mW

$$\therefore 13 = 10 \log \frac{P_2}{1mW}$$

$$= 10 \log \frac{P_2}{1}$$

$$\log^{-1} 1.3 = P_2 \quad ;(\log^{-1} 1.3 = 19.95)$$

$$P_2 = 19.95$$

นั่นคือ 13 dBm $=$ 20 mW (โดยประมาณ)

การคำนวณ 3.11 จงแปลง -9 dBm เป็น mW

$$\text{จำนวน dBm} = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

เนื่องจากเครื่องหมายเป็นลบ แสดงว่า Power น้อยกว่า 1 mW

$$\therefore 9 = 10 \log \frac{1\,\text{mW}}{P_1}$$

$$0.9 = 10 \log \frac{1}{P_1}$$

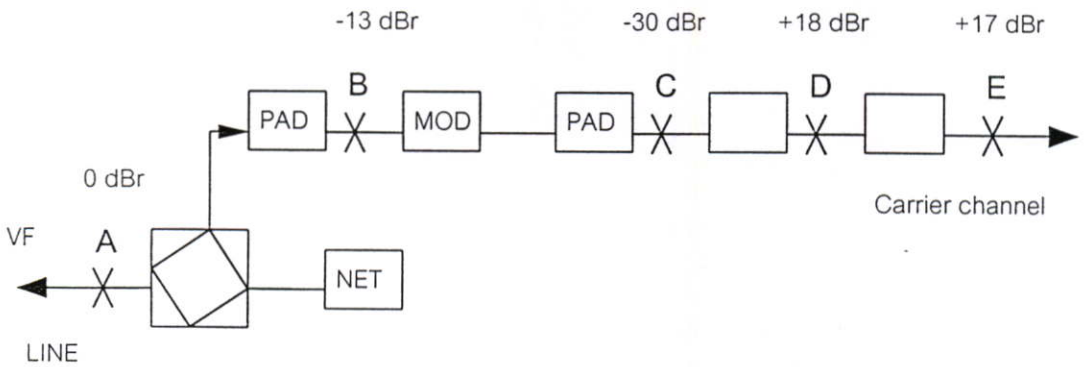
$$\log^{-1} 0.9 = \frac{1}{P_1} \quad ;(\log^{-1} 0.9 = 7.943)$$

$$P_1 = \frac{1}{7.943}$$

นั่นคือ -9 dBm $=$ 0.125 mW (โดยประมาณ)

ข้อดีที่สำคัญอันหนึ่งของการใช้หน่วย dBm เพื่อชี้บอก Power level ก็คือ ช่วยให้การคำนวณหาค่า Gain หรือ Loss ได้ง่ายขึ้นนั่นคือ เมื่อเรารู้ค่า Input และ Output Power ในหน่วย dBm แล้ว Power Gain หรือ Loss ก็คือ ผลต่างระหว่างค่าทั้งสอง เช่นตัวอย่าง ถ้า Filter Network อันหนึ่งมี Input Power +6 dBm และ Output Power +1 dBm Loss ของ Filter นั้นก็คือ 6 - 1 = 5 dB ในทำนองเดียวกัน ถ้า Amplifier เครื่องหนึ่งมี Gain 26 dB เมื่อป้อน Input Power -8 dB เข้าไปจะได้ Output Power เป็น +18 dBm เป็นต้น

3.12.6 Relative Levels ปกติสัญญาณทดสอบที่ใช้กันในงานโทรคมนาคมมี Power 1 mW หรือ 0 dBm แต่ในงานบางอย่าง เช่น ใน programe circuit และเครื่องเฉพาะอื่นๆ อาจใช้สัญญาณทดสอบในขนาด Power แตกต่างกันไป การแสดงแผนภาพ(Diagram) ของระบบเครื่องโทรคมนาคม โดยทั่วไปมักระบุ Power Level ของสัญญาณทดสอบ(Test Signal) ณ จุดต่าง ๆ ของวงจรเทียบกับ Power ของจุดอ้างอิงที่กำหนดให้อันหนึ่ง จุดอ้างอิงดังกล่าวเรียกว่า Zero Relative level Point และกำหนดให้มี Power Level เช่น 0 dBr Power Level ซึ่งสูงกว่าจุดอ้างอิงกำหนดให้ใช้ค่าเป็น +dBr และ Level ที่ต่ำกว่าจุดอ้างอิง กำหนดให้เป็น –dBr



รูปที่ 3.16 การวัด Relative Level

รูปที่ 3.16 แสดงแผนภาพของระบบเครื่อง Carrier ทางด้านส่ง Relative power level ได้แสดงไว้ ณ จุดทดสอบต่าง ๆ จาก A ถึง E และระบุไว้เป็น dBr เทียบกับจุดอ้างอิงที่ A เพื่อเป็นตัวอย่าง Relative level -13 dBr ที่จุด B แสดงว่ามี Power Loss 13 dB เกิดขึ้นระหว่าง 0dBr(A) และจุดนั้น Relative Level ณ จุด C, D และ E ก็มีความหมายในทำนองเดียวกัน ความสัมพันธ์อันนี้จะเป็นจริงโดยไม่ต้องคำนึงถึงว่าสัญญาณทดสอบจะมี Power เท่าใด

Relative Levels ช่วยให้สามารถกำหนด Power Level ของสัญญาณทดสอบ ณ จุดต่างๆ ได้ทันที เช่น

1) เมื่อป้อนสัญญาณทดสอบเข้าที่จุด 0dBr ในระดับ -3dBm แล้ว Power level ของสัญญาณนั้นที่จุด D (ซึ่งมี Relative level +18dB เทียบกับที่จุด A) จะเป็น -3+18 = +15 dBm

2) เมื่อใช้สัญญาณทดสอบที่จุด A เป็น +8dBm แล้ว Power level ที่จุด D จะเป็น 8+18 = 26 dBm

เมื่อป้อนสัญญาณขนาด 1 mW(0dBm) เข้าที่จุดอ้างอิง A Power level ในหน่วย dBm ของสัญญาณ ณ จุดทดสอบต่างๆ จะมีค่าของตัวเลขเท่ากับ Relative level ณ จุดทดสอบนั้นๆ

dBm0 เป็นหน่วยที่ใช้บอก Power level ของสัญญาณบางจำพวก เช่น

- Pilot Frequency
- Signaling Frequency

โดยความหมาย dBm0 เป็นหน่วยวัดที่ใช้บอก Power level ที่แท้จริงของ Pilot หรือ Signaling Frequency ที่ Zero Relative level Point เช่น กำหนดให้ Pilot Frequency มี Power level -20 dBm0 ก็หมายความว่า Pilot Frequency มี Power level ที่ Zero Relative level Point เป็น -20 dBm ถ้าสัญญาณทดสอบ (Test signal) ที่จุดดังกล่าวมี Power level เป็น 0 dBm ก็แสดงว่า Pilot Frequency นั้นมี Power level ต่ำกว่าสัญญาณทดสอบ 20 dBm นั่นคือ ณ จุดต่างๆ ของวงจรรับส่ง Pilot Frequency จะมี Power level ต่ำกว่าสัญญาณทดสอบ 20 dBm เสมอ

Neper เป็นหน่วยวัดอีกแบบหนึ่งในระบบรับส่งที่ใช้กันในบางประเทศ หน่วยวัดนี้ใช้แสดง Power Ratio ในรูปของ Logarithm ที่ใช้ฐาน e (e = 2.71828) แตกต่างกับ dB ที่ใช้ Logarithm ฐาน 10

$$\text{จำนวน Neper} = \frac{1}{2} \log_e \frac{P_2}{P_1}$$

เมื่อ Impedance ที่สัมพันธ์กับ Power P1 และ P2 มีค่าเท่ากันจะได้

$$\text{จำนวน Neper} = \log_e \frac{E_2}{E_1} \text{ และ } \log_e \frac{I_2}{I_1}$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง Decibel และ Neper มีดังนี้

1 Neper = 8.686 dB

1 dB = 0.1151 Neper

3.12.7 ค่ากำลังแผ่กระจายคลื่นประสิทธิผลในชั้น Isotropic (EIRP)

ค่ากำลังแผ่กระจายคลื่นประสิทธิผลในชั้น Isotropic (Effective Isotropic Radiated Power หรือ EIRP) หมายถึง กำลังส่งออกที่ออกจากสายอากาศทางด้านส่ง ซึ่งเป็นผลรวมของกำลังของเครื่องส่ง การสูญเสียที่เกิดจากสายนำสัญญาณระหว่างเครื่องส่งถึงสายอากาศ อัตราเพิ่มกำลังของสายอากาศ ซึ่งอัตราการเพิ่มกำลังของสายอากาศนี้เป็นการเปรียบเทียบกำลังที่ส่งจากสายอากาศเทียบกับกำลังที่ส่งได้เมื่อใช้สายอากาศแบบมีทิศทางส่งรอบตัว สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$EIRP = P_T - L_{ft} + G_t \quad (\text{dBW})$$

เมื่อ P_t : กำลังของเครื่องส่ง (dB) = 10 log P_t (W)

L_{ft} : การสูญเสียที่เกิดจากระบบสายส่ง (dB)

G_t : อัตราเพิ่มกำลังของสายอากาศส่ง (dB)

EIRP นี้คิดในหน่วยของ dBm ก็ได้ถ้าเราคิดกำลังส่ง P_t อยู่ในหน่วยของมิลลิวัตต์ คือ 10 log P_t (mW)

3.12.8 Signal to Noise Ratio (S/N)

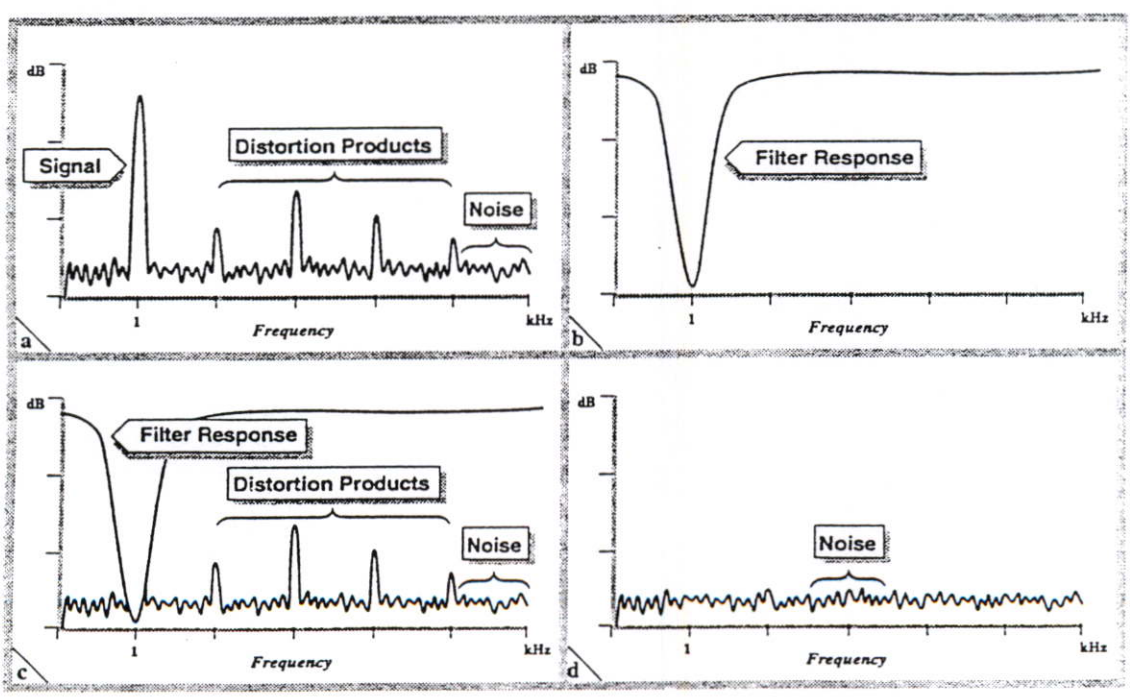
Signal to Noise Ratio เป็นอัตราส่วนของสัญญาณเสียงที่รับได้ ต่อสัญญาณรบกวน โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$S/N = 20 \log \frac{(S+N+D)}{N} \quad dB$$

เมื่อ S : ระดับสัญญาณเสียง

N : ระดับสัญญาณรบกวน

D : ระดับสัญญาณผิดเพี้ยน



รูปที่ 3.17 แสดงการวัดระดับ Distortion และ Signal to Noise Ratio

3.13 การคำนวณหาระยะทางเพื่อติดตั้งสถานีทบทวนสัญญาณ

การเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างสถานีทบทวนสัญญาณโดยใช้คลื่นวิทยุ ต้องคำนวณหาระยะทางในการส่งสัญญาณจากสถานีต้นทางถึงสถานีปลายทาง เพื่อเป็นการประมาณการระยะทางการส่งให้ได้ผลการรับฟังชัดเจน โดยใช้วิธีของ Egli ซึ่งมีความเชื่อถือได้ โดยทำการศึกษาในเส้นทางกรุงเทพฯ – อ่างทอง เป็นกรณีศึกษา คำนวณหาระยะทางได้จากสมการที่ 1

$$d = 10^{x} \qquad (1)$$

โดยที่

$$X = 1/40[P_T + G_T + G_R - L_{TT} - L_{RT} - L_P - L_N - 117 - S + 20 \log (H_T H_R) - 20 \log f]$$

เมื่อ

d คือ ระยะทาง (ไมล์)

P_T คือ กำลังส่งของสถานีแม่ข่ายเทียบที่ 1 W (dBw)

G_T คือ อัตราขยายของสายอากาศที่สถานีต้นทาง (dB)

G_R คือ อัตราขยายของสายอากาศที่สถานีปลายทาง (dB)

L_{TT} คือ การสูญเสียของสายนำสัญญาณที่สถานีต้นทาง (dB)

L_{RT} คือ การสูญเสียของสายนำสัญญาณที่สถานีปลายทาง (dB)

L_P คือ การสูญเสียจากการกระจายคลื่น (dB)

L_N คือ สัญญาณรบกวนจากพื้นที่โดยรอบ (dB)

S คือ ความไวของสถานีปลายทาง (dBm)

H_T คือ ความสูงเฉลี่ยของสถานีแม่ข่ายเหนือภูมิประเทศ (ฟุต)

H_R คือ ความสูงของสายอากาศที่สถานีปลายทาง (ฟุต)

f คือ ความถี่ (MHz)

จากสมการที่1 นำมาคำนวณหาระยะทางการแพร่กระจายคลื่น โดยทดสอบจากการรับ-ส่งในเส้นทาง กรุงเทพฯ-อ่างทอง ใช้เครื่องวิทยุสื่อสารชนิดติดรถยนต์มีกำลังส่ง 25 W (13.98 dBw) ความถี่ในการส่งสัญญาณเสียง 157.675 MHz ใช้สายอากาศชนิดยากิ 5E 2เบย์ ทั้งด้านรับและด้านส่งมีอัตราการขยายของสายอากาศ 12dB และใช้สายนำสัญญาณชนิด1/2"LDF (มีอัตราการสูญเสีย 0.85 dB/100ฟุต) ที่สถานีโทรคมฯกรุงเกษมติดตั้งสายอากาศที่ความสูง 60 ม.(165 ฟุต) ใช้สายนำสัญญาณยาว 200 ฟุต (อัตราการสูญเสีย 1.7 dB) และที่สถานีโทรคมฯอ่างทองติดตั้งสายอากาศที่ความสูง 80 ม.(264 ฟุต) ใช้สายนำสัญญาณยาว 250 ฟุต (อัตราการสูญเสีย

2.13 dB) โดยมีสัญญาณการรบกวนจากภายนอก 3 dB และการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น 5dB[1] นำค่ามาคำนวณหาระยะทางการส่งสัญญาณได้ตามสมการที่ 1

จาก $X = 1/40\ [13.98 + 12 + 12 - 1.7 - 2.13 - 3 - 5 - 117 + 115 + 20 \log (165 \times 264) - 20 \log(157.675)\ ]$

$= (1/40)\ (72.97)$

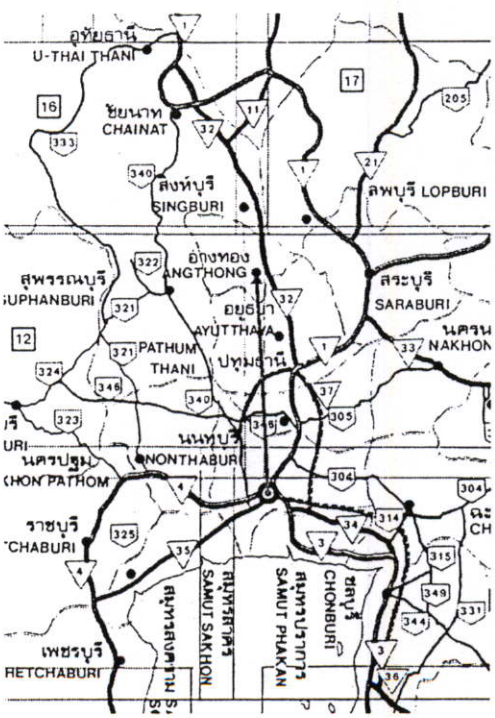
$= 1.82$

ดังนั้น

$d = 10^{X} = 66.72$ ไมล์

หรือ 105.4 กิโลเมตร

จากผลการคำนวณหาระยะทางด้วยวิธีของ Egli จะได้ระยะทางโดยประมาณ 105.4 กม. จากนั้นทำการสำรวจเส้นทางโดยใช้แผนที่ประกอบเพื่อติดตั้งสถานีทบทวนสัญญาณในเส้นทาง กรุงเทพฯ – อ่างทอง สามารถวัดระยะทางทางอากาศได้ดังนี้ โดยใช้แผนที่ 1 : 400,000 วัดระยะทางกรุงเทพฯ – อ่างทอง ได้ 22 ซม. ดังนั้น จะได้ระยะทางจริง = 22 x 400,000 = 8,800,000 = 88 กม.



รูปที่ 3.18 แผนที่แสดงเส้นทางการเชื่อมโยง กรุงเทพฯ - อ่างทอง

จากรูปที่ 3.18 วัดระยะทางทางอากาศด้วยแผนที่ได้ระยะทาง 88 กม.ซึ่งเป็นระยะทางที่สามารถทำการรับ-ส่งสัญญาณวิทยุได้ ดังนั้นจึงติดตั้งเครื่องวิทยุเชื่อมโยงที่สถานีโทรคมฯกรุง-

เกษมและสถานีโทรคมฯอ่างทองเพื่อเชื่อมโยงสัญญาณและคำนวณหาระดับสัญญาณที่ด้านรับ จากสมการที่ 1 ที่ระยะทาง 88 กม.หรือ 55.69 ไมล์ โดย S คือระดับสัญญาณของสถานีปลายทาง ปรับกำลังส่งที่สถานีต้นทาง ตั้งแต่ 5 W 15 W 20 W 25 W 30 W สามารถคำนวณหา Received Power ได้ ดังนี้

จากสมการที่ 1 หาค่า x จะได้

$$x = \log d$$

$$x = \log 55.69$$

$$x = 1.75$$

จาก $X = 1/40[P_T + G_T + G_R - L_{TT} - L_{RT} - L_P - L_N - 117 - S + 20 \log (H_T H_R) - 20 \log f]$ จะได้

$$-S = [X(40)] + [-P_T - G_T - G_R + L_{TT} + L_{RT} + L_P + L_N + 117 - 20 \log (H_T H_R) + 20 \log f]$$

แปลงกำลังส่ง เป็น dB :

ที่กำลังส่ง 5 W

$$dB = 10 \log \frac{P}{1W} = 10 \log \frac{5W}{1W} = 6.99 \text{ dB}$$

ที่กำลังส่ง 10 W

$$dB = 10 \log \frac{P}{1W} = 10 \log \frac{10W}{1W} = 10 \text{ dB}$$

ที่กำลังส่ง 15 W

$$dB = 10 \log \frac{P}{1W} = 10 \log \frac{15W}{1W} = 11.76 \text{ dB}$$

ที่กำลังส่ง 20 W

$$dB = 10 \log \frac{P}{1W} = 10 \log \frac{20W}{1W} = 13.01 \text{ dB}$$

ที่กำลังส่ง 25 W

$$dB = 10 \log \frac{P}{1W} = 10 \log \frac{25W}{1W} = 13.98 \text{ dB}$$

ที่กำลังส่ง 30 W

$$dB = 10 \log \frac{P}{1W} = 10 \log \frac{30W}{1W} = 14.77 \text{ dB}$$

ค่าหา Received Power และ EIRP

ที่กำลังส่ง 5 W

$-S = [1.75\ (40)]+[-6.99 - 12 - 12 + 1.7 + 2.13 \cdot 3 + 5 + 117 - 20 \log (165^{*} 264) + 20 \log (157.675)]$

$S = -119.01$ dBm

$EIRP = P_T - L_{ft} + G_t$

$= 6.99 - 1.7 + 12$

$= 17.29$ dBW

ที่กำลังส่ง 10 W

$-S = [1.75\ (40)]+[-10 - 12 - 12 + 1.7 + 2.13 \cdot 3 + 5 + 117 - 20 \log (165^{*} 264) + 20 \log (157.675)]$

$S = -116.00$ dB

$EIRP = P_T - L_{ft} + G_t$

$= 10 - 1.7 + 12$

$= 20.3$ dBW

ที่กำลังส่ง 15 W

$-S = [1.75\ (40)]+[-11.76 - 12 - 12 + 1.7 + 2.13 \cdot 3 + 5 + 117 - 20 \log (165^{*} 264) + 20 \log (157.675)]$

$S = -114.24$ dBm

$EIRP = P_T - L_{ft} + G_t$

$= 11.76 - 1.7 + 12$

$= 22.06$ dBW

ที่กำลังส่ง 20 W

$-S = [1.75\ (40)]+[-13.01 - 12 - 12 + 1.7 + 2.13 \cdot 3 + 5 + 117 - 20 \log (165^{*} 264) + 20 \log (157.675)]$

$S = -112.99$ dBm

$EIRP = P_T - L_{ft} + G_t$

$= 13.01 - 1.7 + 12$

= 23.31 dBW

ที่กำลังส่ง 25 W

-S = [1.75 (40)]+[- 13.98 - 12 - 12 + 1.7 + 2.13 _ 3 + 5 + 117 - 20 log (165* 264)

+ 20 log (157.675)]

S = -112.02 dBm

EIRP = $P_T - L_{ft} + G_t$

= 13.98 – 1.7 + 12

= 24.28 dBW

ที่กำลังส่ง 30 W

-S = [1.75 (40)]+[- 14.77 - 12 - 12 + 1.7 + 2.13 _ 3 + 5 + 117 - 20 log (165* 264)

+ 20 log (157.675)]

S = -111.24 dBm

EIRP = $P_T - L_{ft} + G_t$

= 14.77 – 1.7 + 12

= 25.07 dBW

จากการคำนวณนำมาเขียนเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 3.5 ระดับสัญญาณที่ด้านรับและค่า EIRP จากการคำนวณ

Tx Power (W)	Received Power (dBm)	EIRP (dBW)
5	-119.01	17.29
10	-116.00	20.3
15	-114.24	22.06
20	-112.99	23.31
25	-112.02	24.28
30	-111.24	25.07

3.14 สรุป

การหาคำนวณหาตำแหน่งติดตั้งสถานีทบทวนสัญญาณ โดยวิธีของ Egli เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกต่อการนำมาคำนวณหาระยะทางการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งสามารถนำมาใช้ออกแบบเส้นทางการเชื่อมโยงของระบบวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ โดยสถานีเชื่อมโยงสัญญาณมีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทิศทาง ระยะทางการรับ-ส่ง ของวิทยุขึ้นอยู่กับอัตราขยายของสายอากาศ ความสูงของสายอากาศ การสูญเสียภายในสายนำสัญญาณ การสูญเสียตามหัวต่อสายและกำลังส่งของสถานีเชื่อมโยงสัญญาณ ในการศึกษาเพื่อทดสอบการเชื่อมโยงสามารถทำได้โดยปรับกำลังส่งที่กำลังส่งต่างๆเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการรับ-ส่ง ของสถานีเชื่อมโยงสัญญาณ และผลการทดสอบสัญญาณแสดงในบทที่ 4 ต่อไป

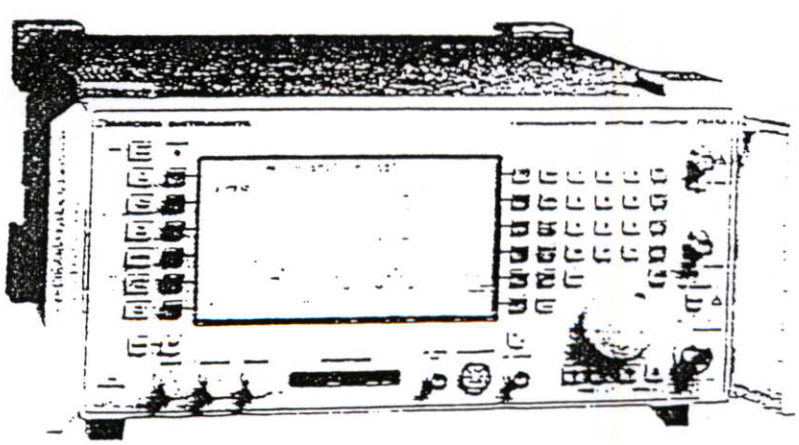
บทที่ 4
การออกแบบอุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณ

4.1 การทดสอบสัญญาณเชื่อมโยงผ่านคลื่นความถี่วิทยุ

4.1.1 เครื่องมือทดสอบสัญญาณเชื่อมโยง

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบสัญญาณระบบวิทยุมีความสำคัญในการทดสอบคุณภาพการทำงานของระบบนั้น คือ Communication Service Monitor ตามรูปที่ 4.1 เป็นเครื่องมือสำหรับทดสอบระบบเครื่องรับ-ส่งวิทยุและเครื่องมือสื่อสารระบบวิทยุในสองทิศทาง เช่น เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นต้น โดยมีคุณสมบัติทำหน้าที่ได้ ดังนี้

- RF Generator
- Two audio Generator
- Specialized Tone Generator
- Modulator Meter
- RF Counter
- AF Counter
- Distortion Meter
- Digital Oscilloscope
- Spectrum Analyzer
- Monitoring Receiver

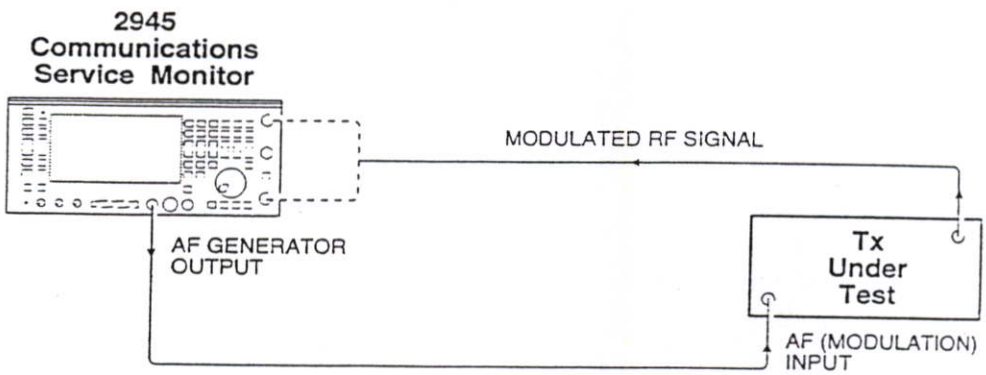


รูปที่ 4.1 เครื่องมือวัด Communication Service Monitor (Marconi Instruments 2945A)

รวมทั้งมีฟิลเตอร์สำหรับในการวัด Distortion นอกจากนี้มีฟิลเตอร์สำหรับการดีมอดดูเลทสัญญาณเสียง และฟิลเตอร์สำหรับความถี่ IF เมื่ออยู่ในโมด Tx สัญญาณที่ถูกดีมอดสามารถนำมาขยายออกทางลำโพงภายในเครื่อง การเลือกโมดการทดสอบและการต่อสายทดสอบแสดงในหัวข้อต่อไป และผลการทดสอบสามารถพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ได้ หรือเก็บไว้ในหน่วยความจำ หน้าที่การทดสอบเครื่อง มี 6 หน้าที่ ดังนี้

1. การทดสอบเครื่องส่ง

เครื่องส่งที่นำมาทดสอบจะถูกป้อนด้วย AF Generator เข้าเครื่องส่งที่ทำการทดสอบ และสัญญาณ RF จากเครื่องส่งป้อนเข้าเครื่องมือวัดเพื่อวิเคราะห์การทำงานโดยมีส่วนแสดงผล ดังนี้

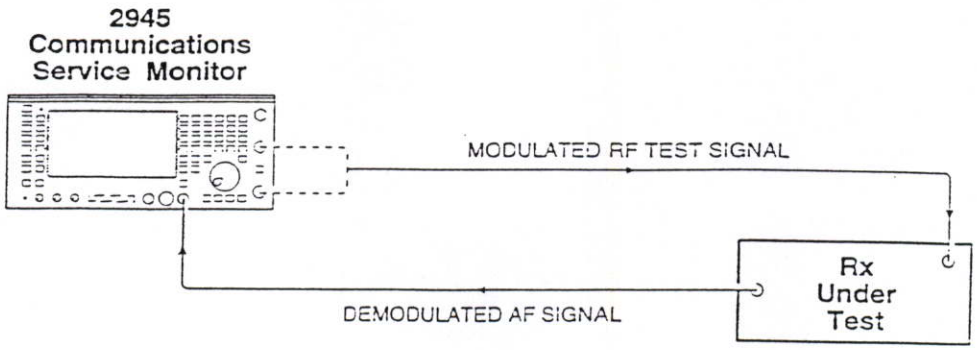


รูปที่ 4.2 การทดสอบเครื่องส่ง

- AF generator เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียงป้อนให้เครื่องส่ง โดยมี RF Power meter เป็นการวัดระดับกำลังส่งของเครื่องส่ง
- RF counter แสดงความถี่ RF และ
- Modulation meter วัดระดับการมอดดูเลชั่น และยังทำการดีมอดสัญญาณออกมาด้วย
- AF counter ทำการวัดความถี่ของสัญญาณที่ดีมอด
- Distortion meter จะแสดงระดับ Signal to noise, เปอร์เซ็นของ Modulation distortion หรือ ระดับ modulation SINAD ของเครื่องส่งสัญญาณเสียงถูกดีมอด และขยายเสียงออกทางลำโพง

สำหรับในโมด Spectrum analyzer ถูกแยกโมดไว้สามารถที่จะใช้เพื่อดูแบนด์ข้าง และฮาร์โมนิก ของเครื่องส่งได้ ทั้งต่อโดยตรงเข้าเครื่องหรือทางอากาศ

2. การทดสอบเครื่องรับ

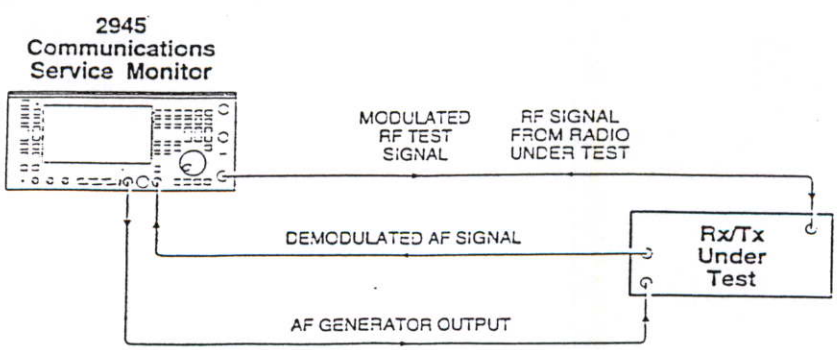


รูปที่ 4.3 การทดสอบเครื่องรับ

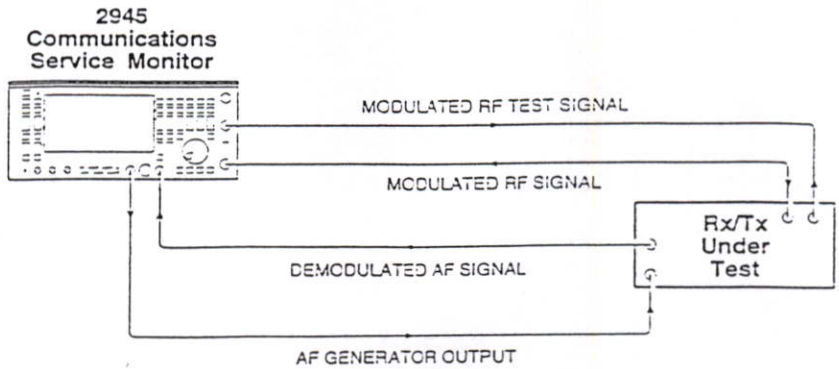
เครื่องรับที่ทำการทดสอบคุณภาพถูกป้อนด้วยสัญญาณ RF เข้าทางจุดต่อสายอากาศของตัวเครื่องและส่งผลการดีมอดสัญญาณ AF กลับสู่เครื่องมือวัด เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของเครื่องรับวิทยุดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยวัดระดับสัญญาณ AF จากเครื่องรับ, สามารถเช็คความไวของเครื่อง, สามารถวัดระดับ Distortion ที่มาจากเครื่องรับ ซึ่งสามารถแสดงที่หน้าจอเป็นแบบเส้นแถบซึ่งสามารถอ่านค่าได้ง่าย โดยเครื่องมือวัดมีหน้าที่การทำงานดังนี้

- RF generator และ AF generator ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณป้อนเข้าเครื่องรับ
- AF Voltmeter เป็นการวัดระดับของสัญญาณที่ถูกดีมอดจากเครื่องรับ
- Distortion meter แสดง Signal-to-noise ratio, ระดับ SINAD และเปอร์เซ็นของ Distortion
- Tone generator และ tone detector เป็นตัวกำเนิดและถอดรหัสพิเศษ สำหรับการเรียกขานเพื่อทดสอบการทำงานของวงจร
- Oscilloscope แสดงผลการวัดสัญญาณดีมอด หรือรูปคลื่นอื่นๆ

3. การทดสอบการรับ-ส่ง



รูปที่ 4.4 การทดสอบ One port duplex

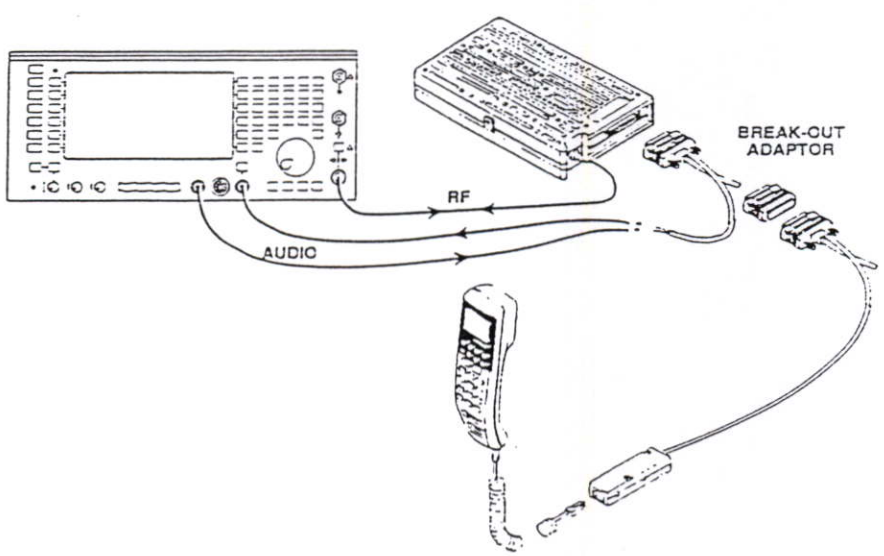


รูปที่ 4.5 การทดสอบ Two port duplex

การทดสอบรับ-ส่งสัญญาณ พารามิเตอร์สำหรับการทดสอบเครื่องส่ง และเครื่องรับ สามารถที่จะแสดงบนหน้าจอ ซึ่งจะสามารถศึกษาเพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องรับ-ส่งวิทยุ โดยสามารถทดสอบทั้งแบบ 1 พอร์ทและ 2 พอร์ท ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

4. การทดสอบระบบ

ในโมดการทำงานนี้ใช้ทดสอบระบบการทำงานของเครื่องวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งเป็นส่วนเพิ่มภายในเครื่อง และรองรับการปรับเปลี่ยนความถี่ของเครื่องวิทยุโทรศัพท์ ในโปรแกรมการทดสอบสามารถปรับความเร็วได้ ซึ่งโครงสร้างการทำงานในแต่ละระบบวิทยุโทรศัพท์ เป็นส่วนเพิ่มที่ต้องใส่เข้าไปต่างหาก



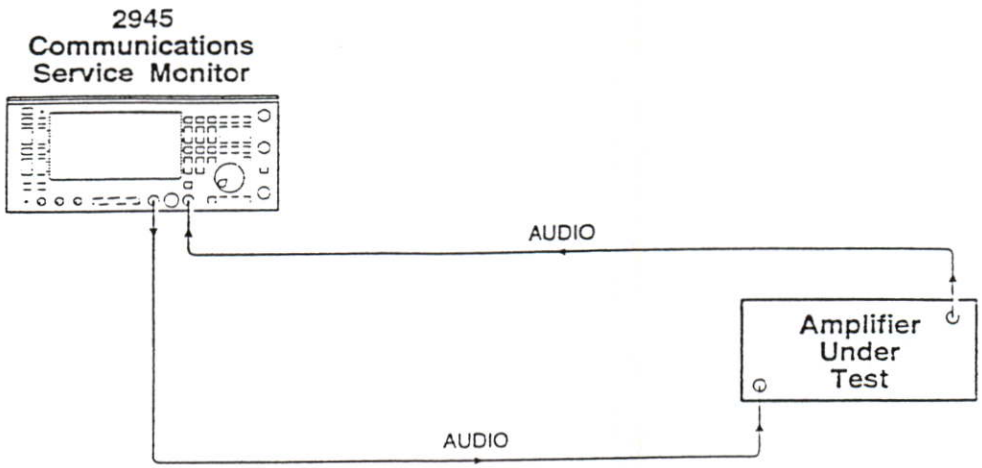
รูปที่ 4.6 การทดสอบเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

5. Spectrum Analyzer

ในฟังค์ชั่นการทำงานนี้โดยป้อนสัญญาณ RF เข้าเครื่องมือเพื่อทำการศึกษาและดูรูปร่างคลื่นด้านข้าง (sideband), ระดับฮาร์โมนิกส์ และสัญญาณ RF ที่สอดแทรกซึ่งมีย่านความถี่ของ

spectrum analyzer อยู่ในช่วง 100 kHz. ถึง 1.0 GHz. ซึ่งสามารถกวาดความถี่ได้ตลอดย่านความถี่นอกจากนี้ตัวเครื่องยังสามารถดูรูปสัญญาณฟังเสียงออกทางลำโพงภายในได้หรือทางหูฟัง

6.การทดสอบสัญญาณ AF



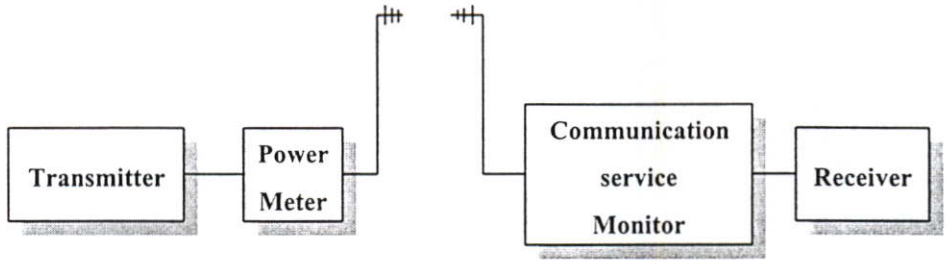
รูปที่ 4.7 การทดสอบสัญญาณ AF

ในโมดการทดสอบสัญญาณเสียงภายในเครื่องมือมีทั้ง AF generators และ tone generator เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณ ซึ่งมีฟังค์ชั่นการใช้งานดังนี้

- AF Voltmeter, Distortion meter, Bar chart displays และ AF counter สามารถวัดค่าสัญญาณ AF ที่นำมาทดสอบที่ป้อนเข้าทางอินพุท และดิจิตอลออสซิโลสโคป มีไว้สำหรับวัดรูปคลื่นสัญญาณ AF

4.1.2 การทดสอบสัญญาณเชื่อมโยงและผลการทดสอบ

การดำเนินการทำการติดตั้ง เครื่องรับ-ส่งวิทยุที่สถานีโทรคมฯกรุงเกษม โดยใช้สายอากาศชนิดยากิ 5E 2เบย์ ปรับทิศทางสายอากาศไปทางสถานีโทรคมฯอ่างทอง โดยใช้แผนที่และเข็มทิศประกอบ ที่สถานีโทรคมฯอ่างทองทำเช่นเดียวกับสถานีโทรคมฯกรุงเกษม จากนั้นทำการทดสอบระดับสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 4.8 ในการทดสอบที่สถานีโทรคมฯกรุงเกษม ทำการปรับกำลังส่งของเครื่องส่ง โดยผ่าน Power Meter (Bird Model 43) และทำการรับสัญญาณที่สถานีโทรคมฯอ่างทอง ด้วย Communications Service Monitor (Marconi Instruments 2945A) อ่านผลการรับสัญญาณและ S/N ได้ตามตารางที่ 4.1 และในการทดสอบสัญญาณส่งกลับ โดยส่งสัญญาณจากสถานีโทรคมฯอ่างทอง ไปยังสถานีโทรคมฯกรุงเกษม อ่านผลการรับสัญญาณและ S/N ได้ตามตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะการทดสอบสัญญาณระหว่างสถานีกรุงเกษม – สถานีอ่างทอง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบระหว่างสถานีโทรคมฯ กรุงเกษม – ไปยังสถานีโทรคมฯ อ่างทอง

Tx Power (W)	Received Power (dBm)	S/N (dB)
5	-118	18.7
10	-117	21.0
15	-115	23.8
20	-113	26.5
25	-112	27.1
30	-111	28.0

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบระหว่างสถานีโทรคมฯ อ่างทอง – ไปยังสถานีโทรคมฯ กรุงเกษม

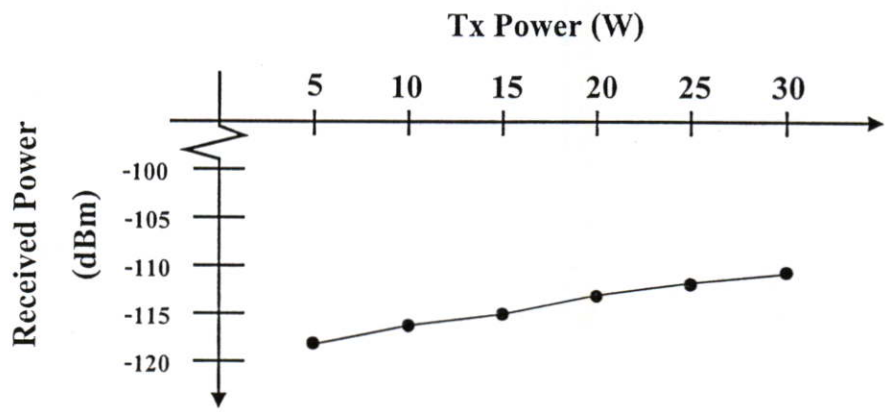
Tx Power (W)	Received Power (dBm)	S/N (dB)
5	-118	17.9
10	-117.5	20.6
15	-116	23.2
20	-114	25.3
25	-113	26.4
30	-110	29.2

ทำการทดสอบระดับความชัดเจนของเครื่องรับวิทยุโดยใช้ Communication Service Monitor ป้อนสัญญาณเข้าเครื่องรับวิทยุ(Maxon SM 4150H) ที่ระดับสัญญาณต่าง ๆตามตาราง ที่ 4.3 ได้ผลการรับฟังเสียงแบ่งเป็น 4 ระดับ ตามตารางที่ 4.3

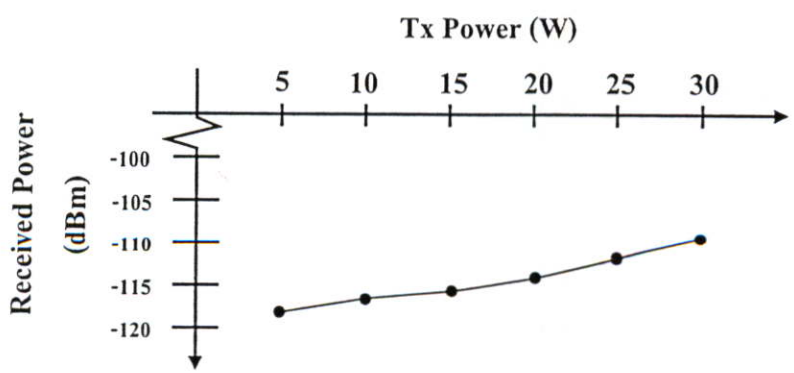
ตารางที่ 4.3 แสดงระดับการรับฟังของสัญญาณเสียง

การรับฟัง	ระดับความชัดเจน	ระดับสัญญาณ (dBm)	Distortion (%)
มีสัญญาณรบกวนมากรับฟังไม่ได้	10-1	- 120	44.3
มีสัญญาณรบกวนพอจับใจความได้	10-2	- 115	23.1
มีสัญญาณชัดเจนพอใช้	10-3	- 110	21.2
มีสัญญาณชัดเจนมาก	10-4	- 105	21.2

จากตารางที่ 4.1 และ4.2 นำมาเขียนกราฟ



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการทดสอบสัญญาณระหว่างสถานีโทรคมฯ กรุงเกษม-อ่างทอง



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการทดสอบสัญญาณระหว่างสถานีโทรคมฯ อ่างทอง-กรุงเกษม

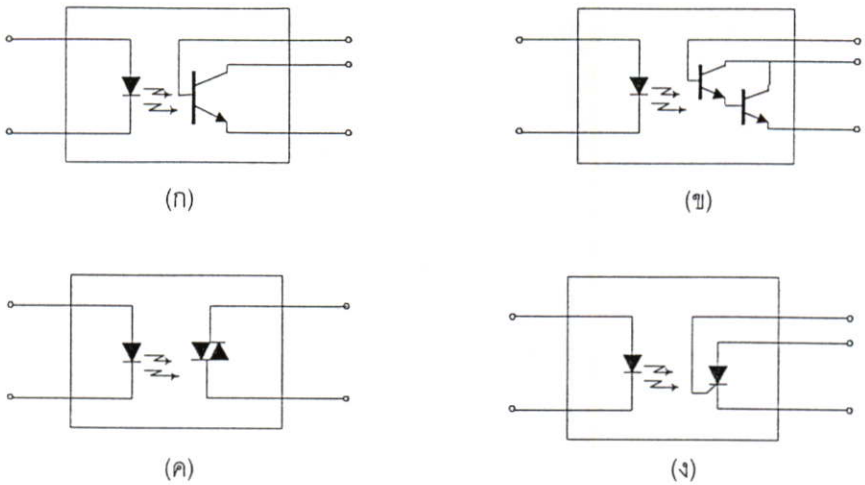
จากผลการทดลองตารางที่ 4.1 และ 4.2 เปรียบเทียบกับการคำนวณในตารางที่ 3.4 จะเห็นได้ว่ามีผลใกล้เคียงกันดังนั้นจึงเป็นแนวทางการคำนวณหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีเชื่อมโยงในเส้นทางอื่น ๆได้ และสามารถแสดงให้เห็นว่าเมื่อปรับกำลังส่งเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ Received Power ทางด้านรับเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยจากตารางที่ 4.1 เมื่อปรับกำลังส่งถึง 20 W สามารถรับ Received Power ได้ –113 dBm และจากตารางที่ 4.2 เมื่อกำลังส่ง 20 W สามารถรับ Received Power ได้ –114 dBm เมื่อเทียบกับตารางที่ 4.3 จะได้ระดับความชัดเจนอยู่ในระดับ 10-3 ซึ่งเห็นได้ว่ากำลังส่งที่สามารถใช้ในการเชื่อมโยงสัญญาณเสียงอยู่ที่ระดับ 20-30 W ซึ่งเป็นระดับที่สามารถรับฟังเสียงได้ชัดเจนและใช้เชื่อมโยงระบบวิทยุสั่งการเฉพาะกิจต่อไป

4.2 การเชื่อมโยงทางแสง

อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง (optocoupler) หรือตัวแยกโดยใช้แสง เป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติในการไอโซเลท ทำให้สามารถนำมาใช้ในการเชื่อมโยงสัญญาณต่างๆ ของวงจรที่มีกราวด์ต่างกัน รวมถึงสามารถป้องกันการรบกวนซึ่งกันและกัน ระหว่างภาคอินพุทกับเอาท์พุทได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งการคัพปลิ้งด้วยวิธีอื่นๆ จะทำไม่ได้ จึงได้นำเอาออปโต้คัพเปลอร์มาประยุกต์ใช้งานในวงจร เพื่อประสิทธิ-ภาพในการทำงานและความน่าเชื่อถือของวงจร

ออปโต้คัพเปลอร์ เป็นอุปกรณ์เดี่ยวที่ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงและตัวตรวจรับแสง โดยที่ทั้งสองส่วนนี้จะแยกออกจากกันและกัน มีฉนวนที่โปร่งใส เช่น กระจกชิ้นบางๆ คั่นกลาง และชิ้นส่วนทั้งหมดจะถูกบรรจุอยู่ในตัวถังทึบแสง รูปร่างภายนอกมีอยู่หลายแบบ แต่ที่พบเห็นบ่อยๆ ส่วนมากจะมีตัวถังเป็นแบบดิพ (DIP: Dual in - Line Package) เหมือนไอซี แต่มี 6 ขา แหล่งกำเนิดแสงส่วนใหญ่จะใช้ไดโอดเปล่งแสงอินฟาเรต (IRED : Infrared Emitter Diode) ทำจากสารแกลเลี่ยมอาร์เซไนด์ (GaAs) ส่วนตัวตรวจรับหรืออุปกรณ์ภาคเอาท์พุทนั้น อาจจะเป็นโฟโต้ทรานซิสเตอร์ , โฟโตดาร์ลิงตัน, สวิทซ์สองทิศทางซึ่งทำงานเมื่อมีแสงมากระตุ้น และ SCR ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงเป็นต้น รูปที่ 4.11 แสดงสัญลักษณ์ของวงจรชนิดต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ถึงแม้ว่าจะมีหลายชนิดมากกว่านี้ แต่ที่แสดงให้เห็นดังรูปเป็นแบบที่พบเห็นกันบ่อยๆ

ออปโต้คัพเปลอร์หรือออปโต้ไอโซเลทเตอร์ ได้รับการออกแบบไว้ให้ทำการป้องกันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไม่ให้ได้รับแรงดันกระชากสูงๆ หรือคุ้มครองระดับนอยส์ต่ำๆ ซึ่งเป็นต้นเหตุทำให้เกิดเอาท์พุทไม่ถูกต้อง หรือทำให้เกิดคลื่นผิดพลาดขึ้นมา



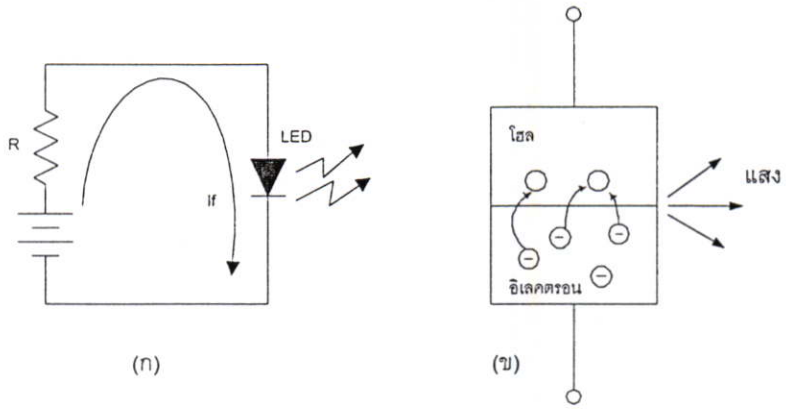
(ก) แบบมีเอาท์พุทเป็นโพโต้ทรานซิสเตอร์ (ข) แบบมีเอาท์พุทเป็นโพโต้ดาร์ลิงตัน

(ค) แบบมีเอาท์พุทเป็นโพโต้ไดแอก (ง) แบบมีเอาท์พุทเป็นโพโต้เอสซีอาร์

รูปที่ 4.11 แสดงสัญลักษณ์ของออปโต้คัปเปลอร์

ออปโต้คัพเปลอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตัวอื่น ๆ ที่มีระดับลอจิกแตก-ต่างกัน ในออปโต้คัพเปลอร์สัญญาณอินพุทจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานแสง เพราะมี LED ที่อยู่ภายใน พลังงานจึงถูกส่งไปยังโพโต้ดีเทคเตอร์ ดังนั้นมันจึงทำงานตรงกับพลังงานของแสงที่ได้จาก LED และมีสเปคตามอัตราส่วนการส่งผ่านกระแส (CURRENT - TRANSFER RATIO ; CTR) กับ Isolation voltage เป็นอัตราส่วนระหว่างกระแสอินพุทต่อกระแสเอาท์พุท ซึ่งเป็นการวัดความสามารถของออป-โต้คัพเปลอร์ในเรื่องความสามารถให้สัญญาณอินพุทถูกส่งไปยังเอาท์พุท อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของ IRED ช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนทางอินพุทและเอาท์พุทรวมทั้งพื้นที่ ความไว และอัตราขยายของตัวตรวจรับ สำหรับ Isolation voltage ของออปโต้คัพเปลอร์ คือ ปริมาณแรงดันที่ออปโต้คัพเปลอร์สามารถทำงานได้อย่างปลอดภัย

เมื่อมีกระแสไหลผ่าน IRED ของออปโต้คัพเปลอร์ ในลักษณะไบแอสตรงจนมีอิเลคตรอนส่วนเกินกระโดดข้าม รอยต่อไปรวมกับโฮล ในขณะเดียวกันก็ได้ปล่อยพลังงานโปรตอนหรือแสงออกมาดัง-รูปที่ 4.12 แสงที่ได้เป็นแสงอินฟาเรด เพราะสารกึ่งตัวนำทำด้วยสารแกลเลี่ยมอาร์เซไนด์ ตัวแปร อินพุททางด้านไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวกำหนดตัวแปรทางด้านไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงอินฟาเรด ได้แก่กระแสของไดโอดเมื่อได้รับไบแอสตรง (I_F) แรงดันตกคร่อมไดโอดเมื่อได้รับไบแอสตรง (V_F) และแรงดันสูงสุดที่ทนได้ เมื่อได้รับไบแอสกลับ



รูปที่ 4.12 (ก) แสงที่เกิดขึ้นหลังจากมีกระแสไบอัสตรงไหลผ่าน

(ข) อิเลคตรอนส่วนเกินข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮลพร้อมกับเปล่งแสงออกมา

เนื่องจากตัวแปรเอาท์พุททางด้านไฟฟ้ากระแสตรง และตัวแปรส่งถ่าย (Transfer parameter) นั้นจะแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับชนิดของชิ้นส่วนที่เป็นตัวตรวจรับที่ใช้ในออปโต้คัพเปลอร์ ซึ่งมีรายละเอียดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตัวตรวจรับนั้น ๆ ตัวอย่างเช่น

4.2.1 ทรานซิสเตอร์คัพเปลอร์ (Transistor coupler) อุปกรณ์ประเภทนี้ได้รับความนิยมมากที่สุด มีความไวระดับกลางมีราคาถูก ตรงจุดเชื่อมต่อ ภายในระหว่างคอลเลคเตอร์ - เบส ของทรานซิสเตอร์สามารถเอาสายมาต่อข้างนอกให้ทำหน้าที่เป็นโพโต้ไดโอด ซึ่งมีความเร็วในการทำงานสูงยิ่งไปกว่าเดิม

4.2.2 ดาร์ลิงตันทรานซิสเตอร์คัพเปลอร์ (Darlington Transistor Coupler)

อุปกรณ์ประเภทนี้ให้อัตราส่วนการส่งกระแส หรือมีอัตราขยายสูงสามารถให้กระแสเอาท์พุทเพิ่มขึ้น ซึ่งจะได้เกนขยายสูงเป็น 10 เท่า แต่ความเร็วในการทำงานจะช้ากว่า 10 เท่า ของการใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียว

ออปโต้แบบทรานซิสเตอร์คัพเปลอร์ และแบบดาร์ลิงตันทรานซิสเตอร์คัพเปลอร์นั้นมีหลักการทำงานเหมือนกัน รอยต่อระหว่างขาคอลเลคเตอร์กับขาเบสถูกทำให้กว้างขึ้น แสงที่ตกกระทบรอยต่อจะทำให้เกิดคู่ของอิเลคตรอนและโฮลขึ้นมาเกิดการนำกระแสได้ตัวแปรสำหรับออปโต้แบบทรานซิสเตอร์คัพเปลอร์ และแบบดาร์ลิงตันทรานซิสเตอร์คัพเปลอร์มีดังนี้

I_c : เป็นกระแสสูงสุดที่ไหลต่อเนื่องผ่านขาคอลเลคเตอร์ (เอาท์พุท)

$V_{(BR)CBO}$: เป็นแรงดันพังทลายสูงสุดจากขาคอลเลคเตอร์ไปยังขาเบส

$V_{(BR)CEo}$: เป็นแรงดันพังทลายสูงสุดจากขาคอลเลคเตอร์ไปยังขาอีมิเตอร์

$V_{(BR)ECO}$: เป็นแรงดันพังทลายสูงสุดจากขาอีมิเตอร์ไปยังขาคอลเลคเตอร์

$CTR_{(n)}$: เป็นอัตราส่วน(เป็นเปอร์เซ็น)ต่ำสุดระหว่างกระแสเอาท์พุทของคอลเลคเตอร์

สูงสุดต่อกระแสไดโอดที่ค่า V_{CE} และ I_F ที่กำหนด

$V_{CE\,(sat)}$: เป็นแรงดันอิ่มตัวระหว่างขาคอลเลคเตอร์และขาอีมิเตอร์

4.2.3 ออปโต้คัพเปลอร์ที่ใช้สวิทซ์สองทิศทางหรือไตรแอค (Triac) อุปกรณ์นี้ทำงานเมื่อมีแสงมากระตุ้นเป็นภาคเอาท์พุทซึ่งถูกออกแบบ สำหรับใช้ในงานซึ่งต้องการแยกการทริกหรือกระตุ้นตัวไตรแอค การแยกการสวิทซ์ทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดกระแสต่ำ และการแยกกันทางไฟฟ้ามีค่าสูง อุปกรณ์ชนิดนี้มีตัวแปรที่สำคัญคือ

$I_{T(RMS)}$: เป็นค่ากระแส RMS สูงสุด ขณะอยู่ในสถานะที่ทำงาน (On State)

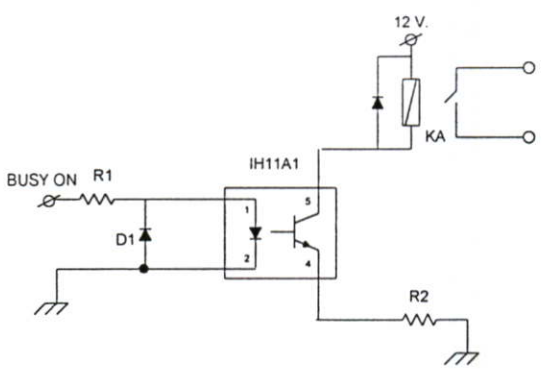
V_{DRM} : เป็นค่าแรงดันซ้ำๆ ระหว่างขั้วเอาท์พุทเมื่ออยู่ในสถานะหยุดทำงาน (repetitive off - state out - put terminal voltage)

V_{TM} : เป็นแรงดันยอดสูงสุด (peak voltage) เมื่ออยู่ในสถานะที่ทำงาน

I_{FT} : เป็นค่ากระแสกระตุ้นไดโอดเปล่งแสงอินฟาเรดสูงสุด ซึ่งต้องการใช้เพื่อคงสถานะให้เอาท์พุทค้าง (Latch) ไว้

I_H : เป็นค่ากระแสยึด(holding current) ซึ่งต้องการสำหรับเอาท์พุทเพื่อที่จะคงสถานะค้างเอาไว้ได้

4.2.4 การประยุกต์ใช้งานออปโต้แบบทรานซิสเตอร์คัปเปอร์เป็นตัวแยกระหว่างเครื่องวิทยุเชื่อมโยงกับชุดควบคุม จากรูปที่4.13 สัญญาณ Busy on จากเครื่องวิทยุเชื่อมโยงส่งมาทำให้ LED ภายในสั่งให้ทรานซิลเตอร์ ON เป็นผลให้ KA ทำงานเพื่อนำหน้าสัมผัส NO ไปควบคุมการทำงานชุด Interface Control



รูปที่ 4.13 แสดงวงจรออปโต้แบบทรานซิลเตอร์เพื่อแยกการทำงาน

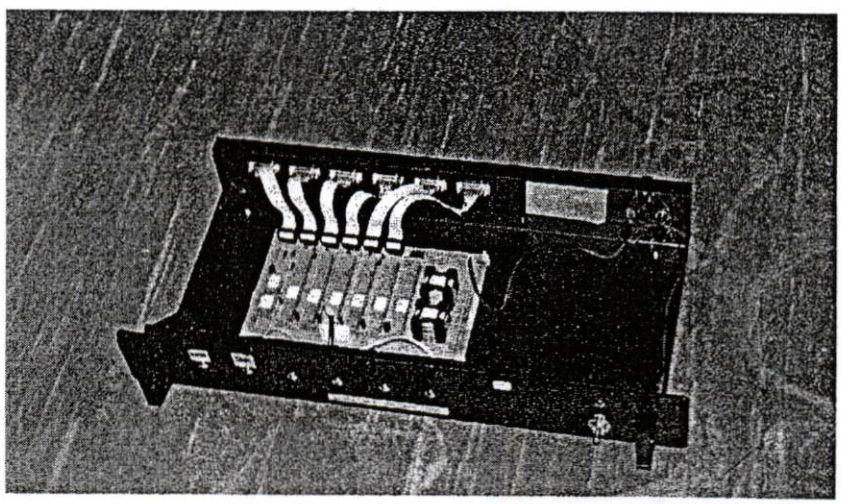
4.3 การทำงานของชุดควบคุม

ชุดควบคุมระบบโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจประกอบด้วยส่วนที่สำคัญดังนี้

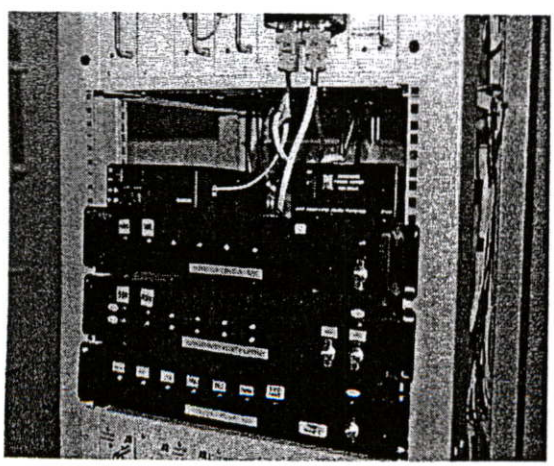
1.ชุด CONTROL BOX

2.ชุด INTERFACE CONTROL

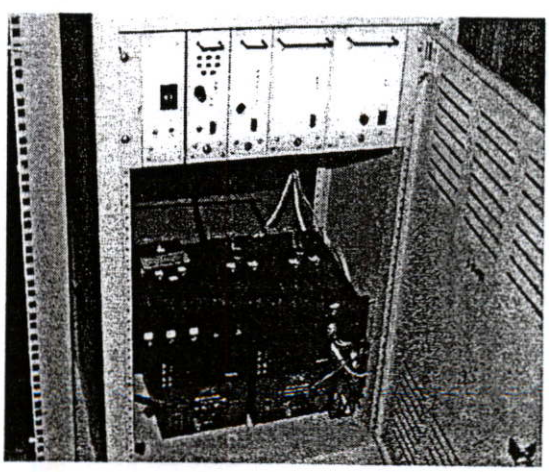
การทำงานเริ่มจากเมื่อ Base Repeater รับสัญญาณจากสถานีลูกข่าย และทำการส่งสัญญาณ Rx Gate พร้อมสัญญาณเสียงมาที่ Interface Control เพื่อทำการล๊อคระบบและเปลี่ยนเป็นสัญญาณ Tx Key พร้อมด้วยสัญญาณเสียงไปยัง ชุด Control Box และส่งไปควบคุม Mobile Radio ให้มอดสัญญาณเสียงส่งออกอากาศด้วยความถี่ F_2 ไปยังสถานีเชื่อมโยงปลายทาง รับสัญญาณ RF มาทำการดีมอดสัญญาณเสียง ส่งเข้า ชุด Control Box พร้อมกับสัญญาณ Rx Gate และส่งไปยัง Interface Control เพื่อแปลงสัญญาณ Rx Gate เป็น Tx Key ควบคุม Base Repeater มอดสัญญาณเสียงออกอากาศที่ ความถี่ F_1 ไปสู่สถานีลูกข่ายในบริเวณที่ Base Repeater ครอบคลุมอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.14 ลักษณะภายใน INTERFACE CONTROL



(ก)

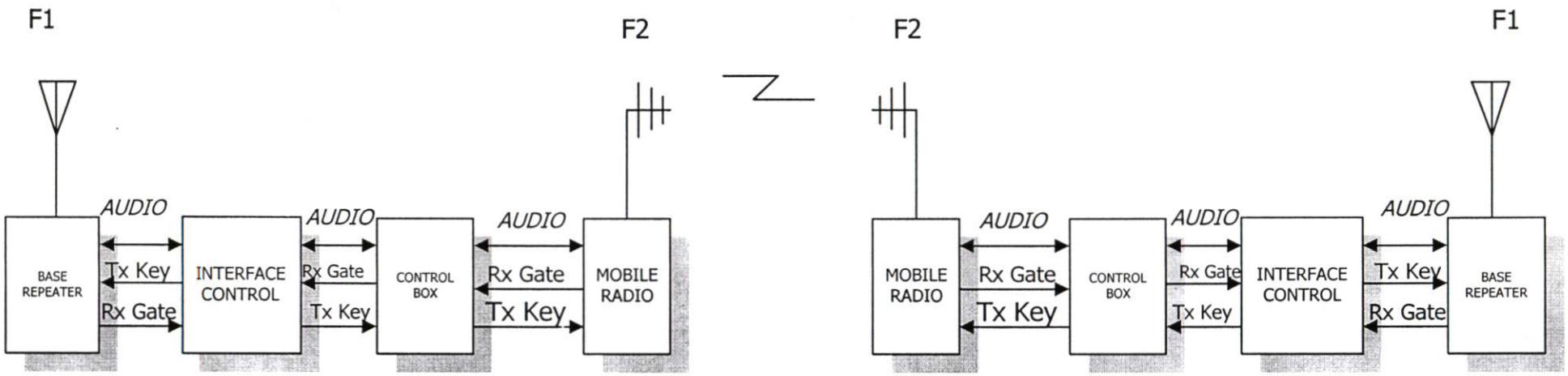


(ข)

(ก) ชุด INTERFACE CONTROL ที่สถานีโทรคมฯ กรุงเกษม

(ข) ชุด INTERFACE CONTROL ที่สถานีโทรคมฯ อ่างทอง

รูปที่ 4.15 INTERFACE CONTROL



รูปที่ 4.16 การควบคุมระบบโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ

4.4 บทสรุป

การออกแบบโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ ที่นำเสนอนี้สามารถเป็นทางเลือกในการแก้ไขปัญหาการเชื่อมโยงสถานีทบทวนสัญญาณเข้าหากัน ทำให้แก้ไขปัญหาอันเกิดจากการเชื่อมโยงผ่าน 4-wire E/M เกิดขาดการติดต่อ เนื่องจากระบบสื่อสัญญาณขัดข้อง ดังนั้นระบบวิทยุสั่งการเฉพาะกิจจึงยังคงติดต่อใช้งานได้เพื่อใช้ในการประสานงานเพื่อบำรุงรักษาอุปกรณ์สื่อสัญญาณและชุมสายต่อไป

บทที่ 5
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

การออกแบบโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจเพื่อติดตั้งสถานีทบทวนสัญญาณให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ใช้งาน โดยใช้สถานีเชื่อมโยงสัญญาณระบบวิทยุนั้น การทดสอบสัญญาณเชื่อมโยงมีความจำเป็นเพื่อการตรวจสอบสภาพการเชื่อมโยงให้สัญญาณที่รับได้มีความชัดเจน โดยใช้กำลังส่งที่เหมาะสมไม่มากหรือน้อยเกินไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการคำนวณของ Egli นำมาหาระยะทางการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ต้องการซึ่งเป็นการประมาณการ เพื่อติดตั้งสถานีทบทวนสัญญาณ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้เส้นทาง กรุงเทพฯ-อ่างทอง ในการศึกษาข้อมูลและติดตั้งสถานีเชื่อมโยงสัญญาณ และยังคำนวณหา Received Power ที่สถานีด้านรับที่ระดับกำลังส่ง 5 W ถึง 30 W เพื่อนำค่า Received Power มาวิเคราะห์หากำลังส่งที่สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ จากการทดสอบเพิ่มกำลังส่งเป็นผลให้ Receiver Power เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ผลจากการคำนวณเป็นแนวทางติดตั้งสถานีทบทวนสัญญาณใช้งานจริง และทำการทดสอบสัญญาณการรับ-ส่งด้วยเครื่องมือวัด Communication Service Monitor ได้ผลใกล้เคียงกับการคำนวณ ในการออกแบบโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจให้มีสถานีทบทวนสัญญาณเพิ่มมากขึ้นอีกสามารถทำได้โดยออกแบบเส้นทางการเชื่อมโยงที่จะทำการติดตั้งสถานีทบทวนสัญญาณและข้อสำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ การออกแบบสถานีเชื่อมโยงมากกว่า 1 ช่วงการใช้ความถี่ไม่ควรใช้ช่องความถี่ติดกันเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนช่องข้างเคียง

บรรณานุกรม

[1] E. Singer, "Land Mobile Radio System." New Jersey : Prentice – Hall, 1989.

[2] G. Durgin, T.S. Rappaport and H. Xu, "Measurements and Models for Radio Path Loss and Penetration Loss in and Around Homes and Trees at 5.85 GHz." IEEE Trans. Communication, 1998, Vol.46, No.11, pp.1484-1496.

[3] F. Rashid-Farrokhi, L. Tassiulas and K.J. Ray Liu, "Joint Optimal Power Control and Beamforming in Wireless Networks Using Antenna Arrays." IEEE Trans. Communications, 1998, Vol.46 , No.10, pp.1313-1324.

[4] กอบชัย เดชหาญ วรภาพย์ อัครสมบูรณ์ "การปรับปรุงโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ" วิศวสารลาดกระบัง ปีที่ 18 ฉบับที่ 3 เดือน กันยายน 2544 หน้า 72-76

[5] สุชาติ กังวารจิตต์ "เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร" บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด พ.ศ. 2532

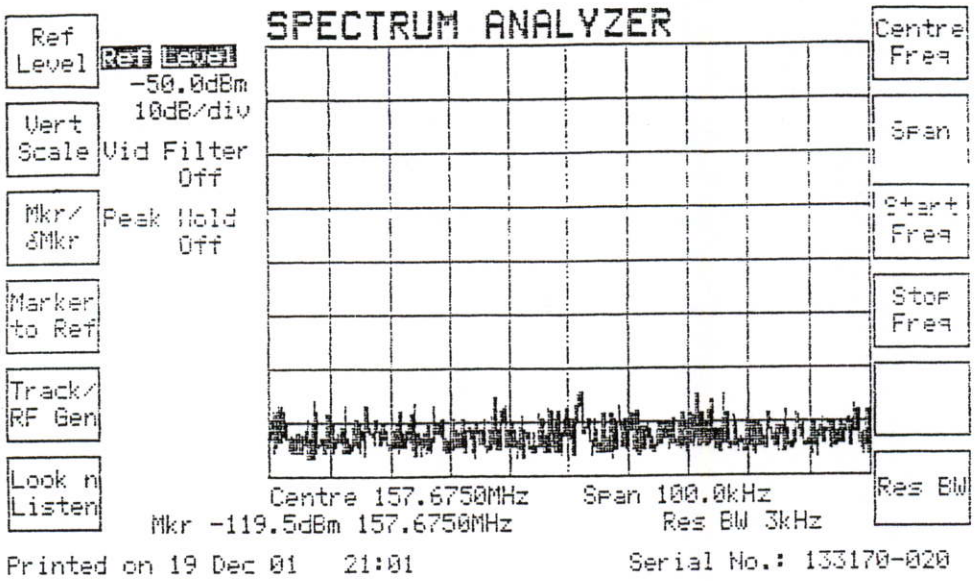
[6] คู่มือ Communication Service Monitor "Marconi Instruments 2945A."

[7] ณรงค์ เหมกรณ์ "การสื่อสารดาวเทียม" สถาบัญเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2533

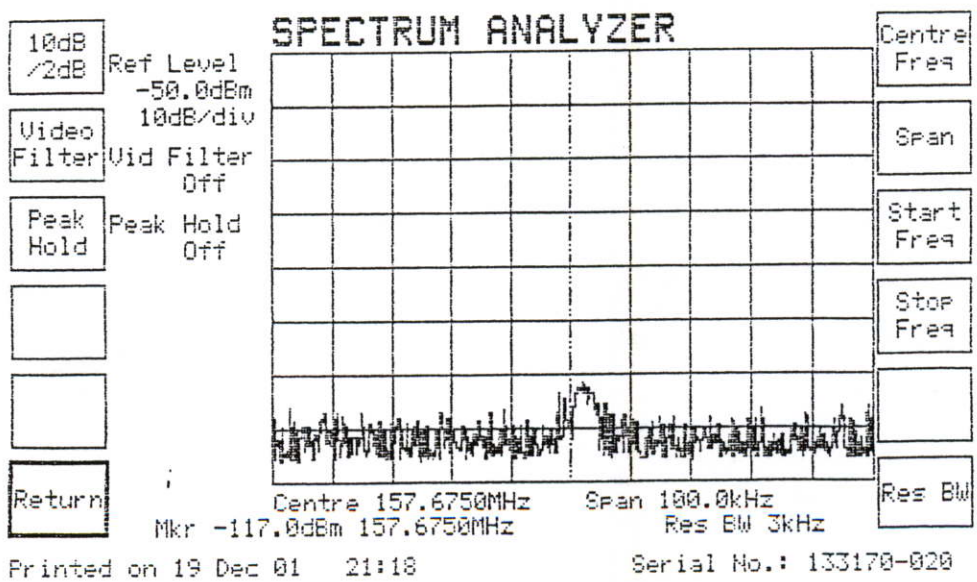
[8] R.L.Libbey, "Signal and Image Processing." Multiscience Press, Inc. 1994.

ภาคผนวก

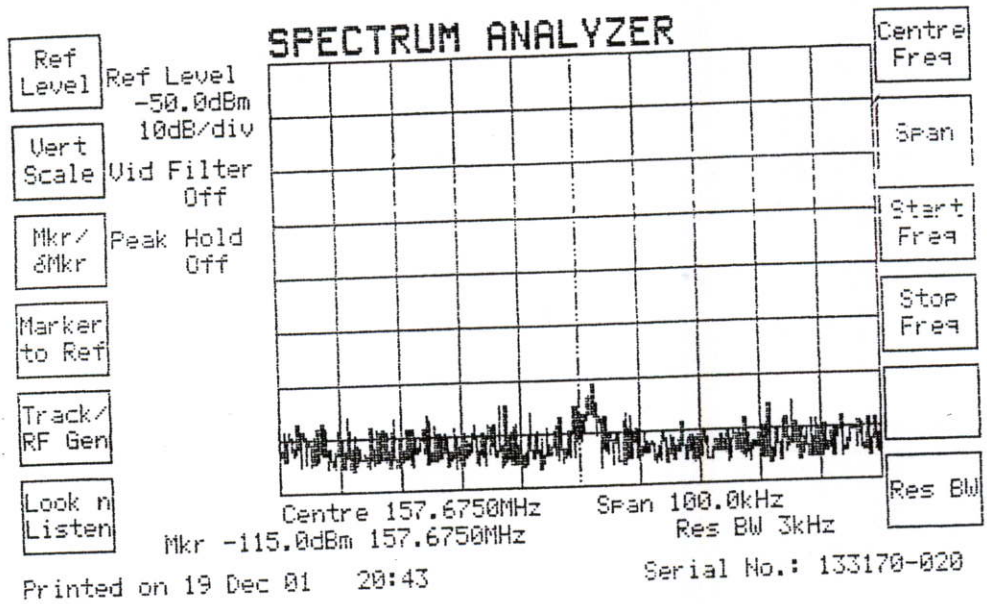
ผลการวัดระดับสัญญาณที่รับได้



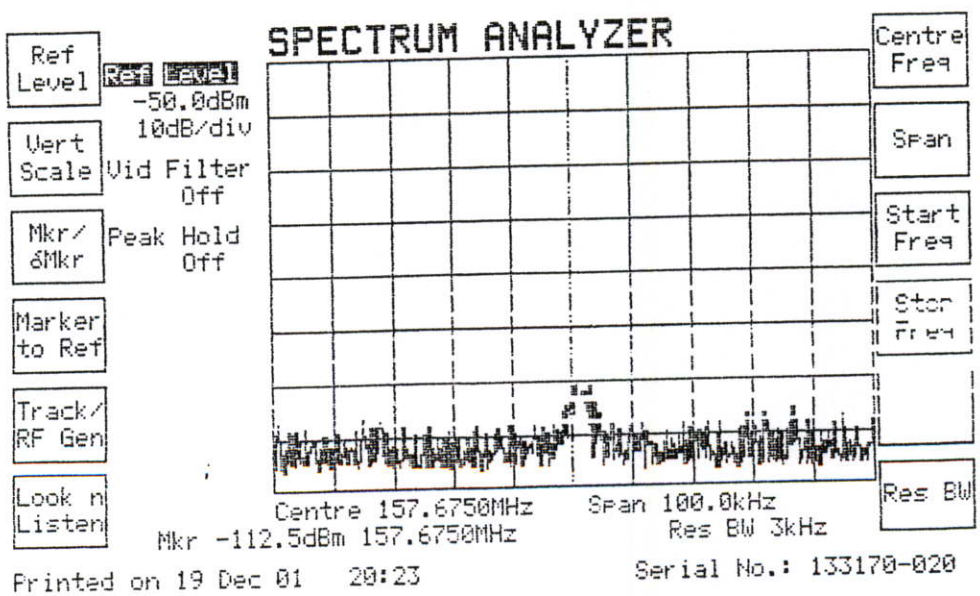
สัญญาณที่สถานีโทรคมฯ อ่างทอง เมื่อกำลังส่ง 5 W



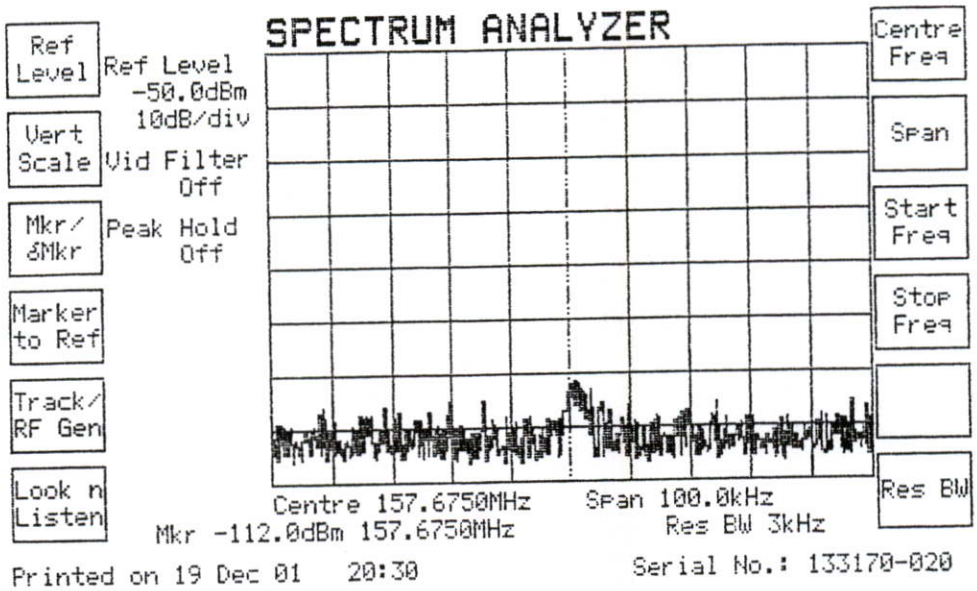
สัญญาณที่สถานีโทรคมฯ อ่างทอง เมื่อกำลังส่ง 10 W



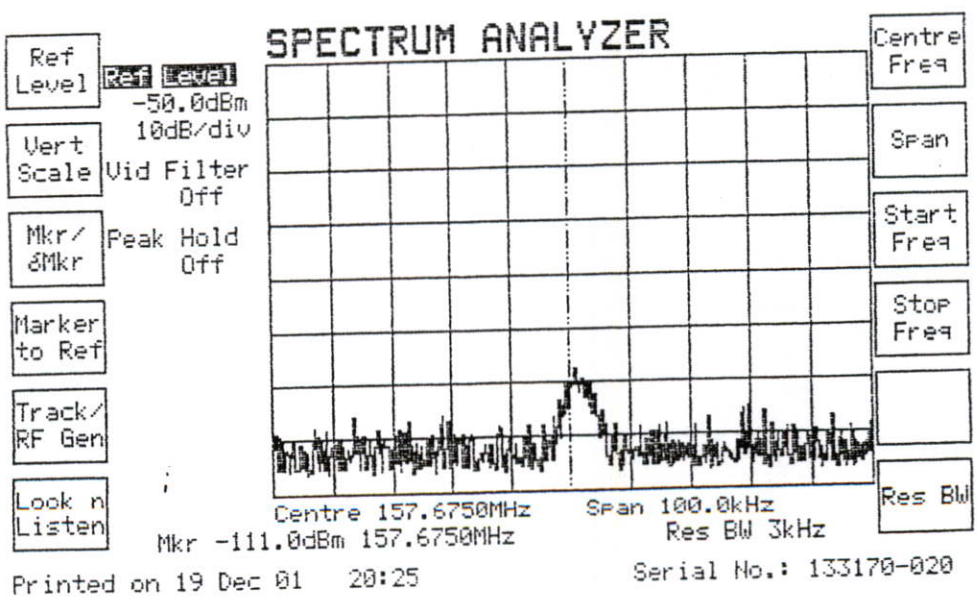
สัญญาณที่สถานีโทรคมฯ อ่างทอง เมื่อกำลังส่ง 15 W



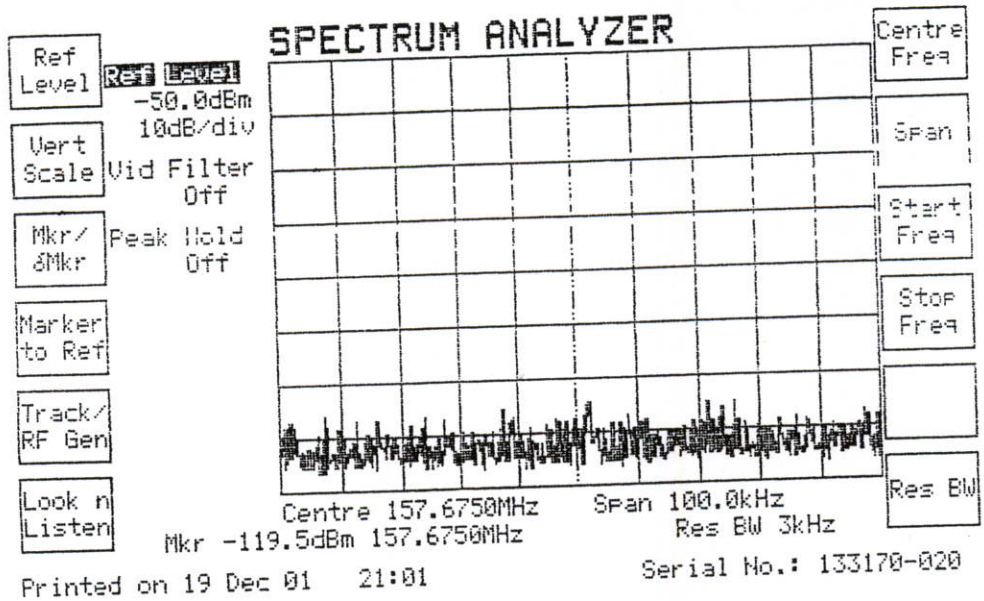
สัญญาณที่สถานีโทรคมฯ อ่างทอง เมื่อกำลังส่ง 20 W



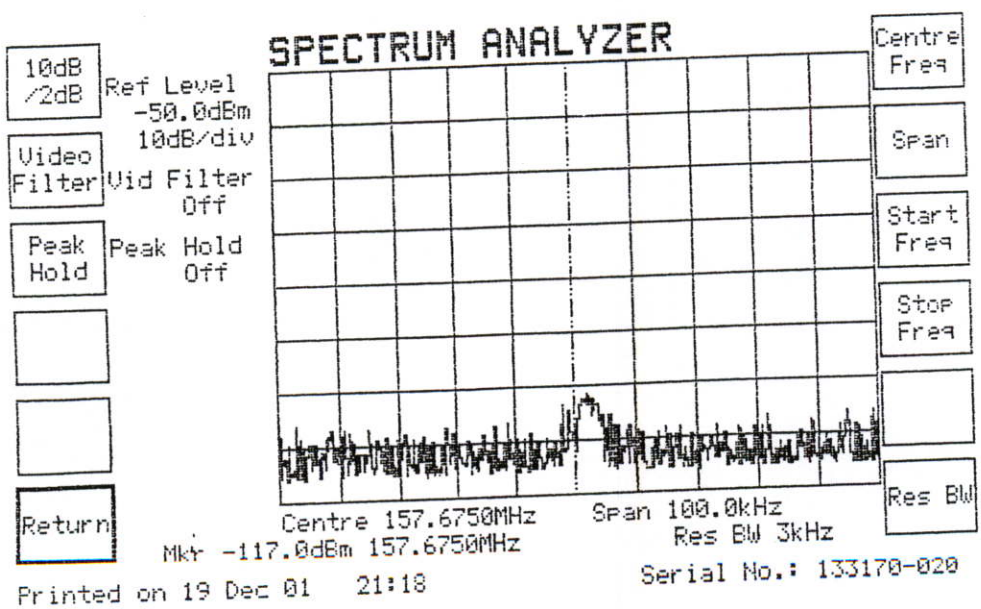
สัญญาณที่สถานีโทรคมฯ อ่างทอง เมื่อกำลังส่ง 25 W



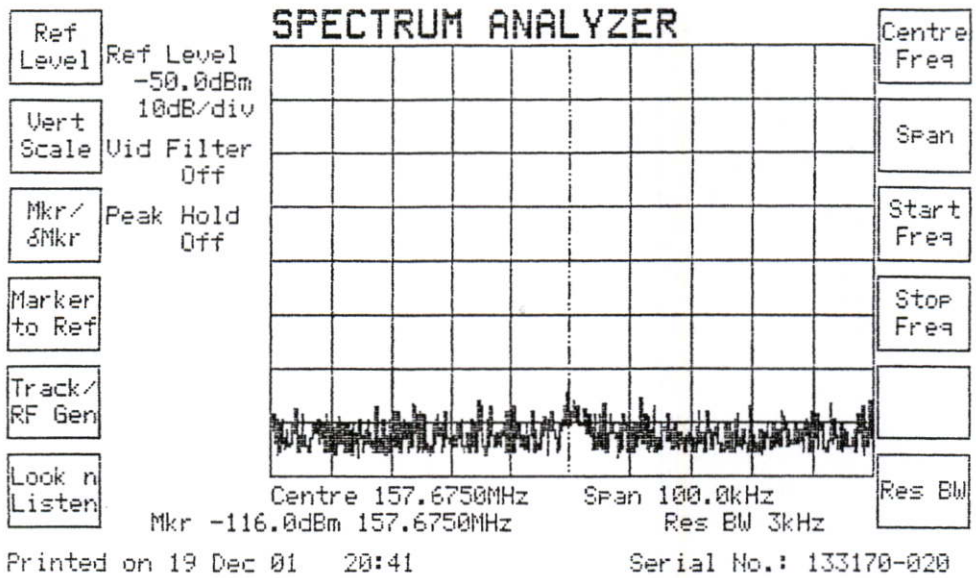
สัญญาณที่สถานีโทรคมฯ อ่างทอง เมื่อกำลังส่ง 30 W



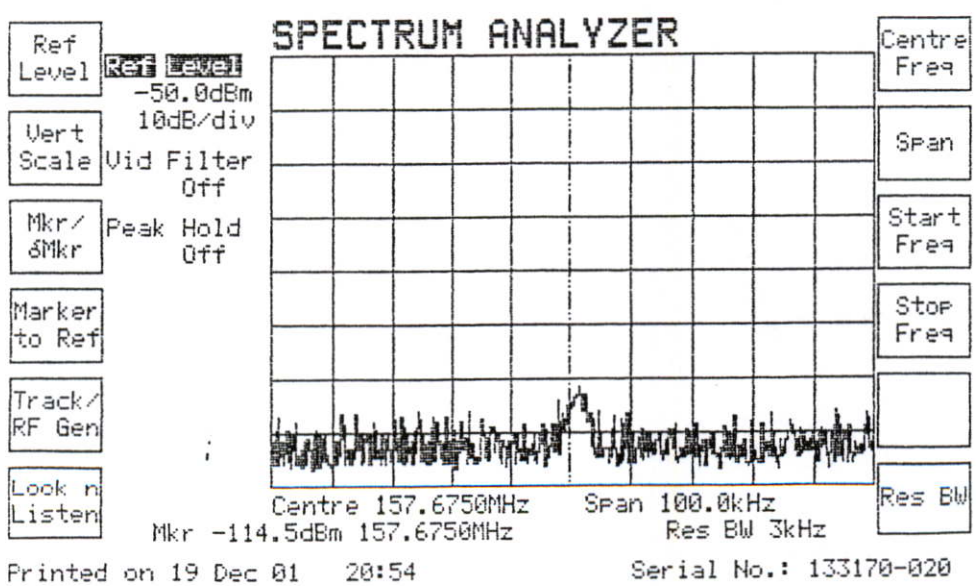
สัญญาณที่สถานีโทรคมฯ กรุงเกษม เมื่อกำลังส่ง 5 W



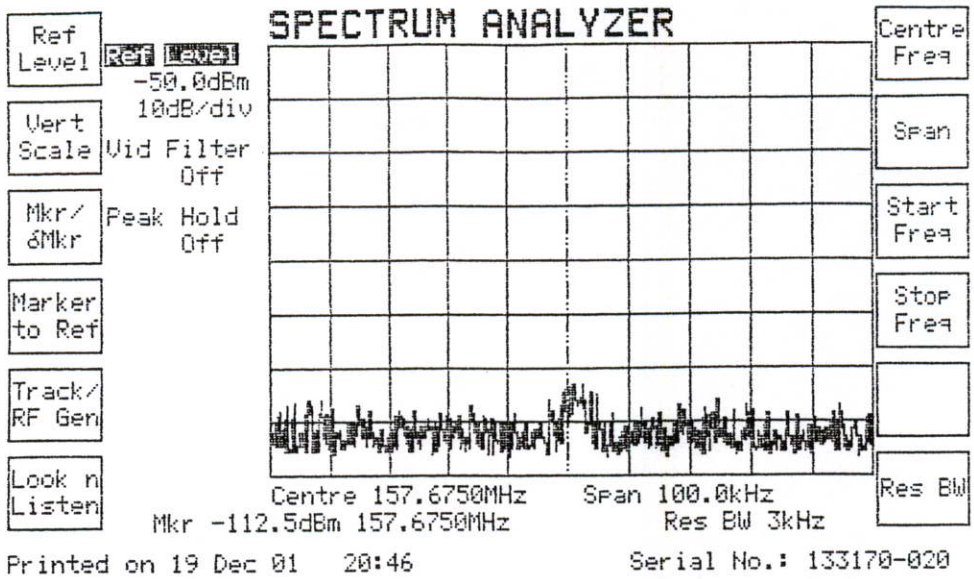
สัญญาณที่สถานีโทรคมฯ กรุงเกษม เมื่อกำลังส่ง 10 W



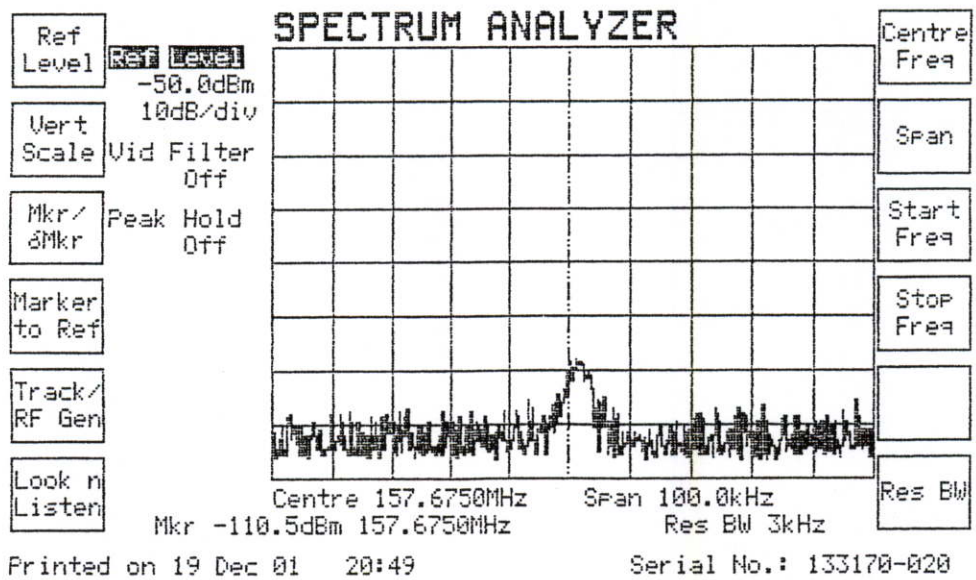
สัญญาณที่สถานีโทรคมฯ กรุงเกษม เมื่อกำลังส่ง 15 W



สัญญาณที่สถานีโทรคมฯ กรุงเกษม เมื่อกำลังส่ง 20 W

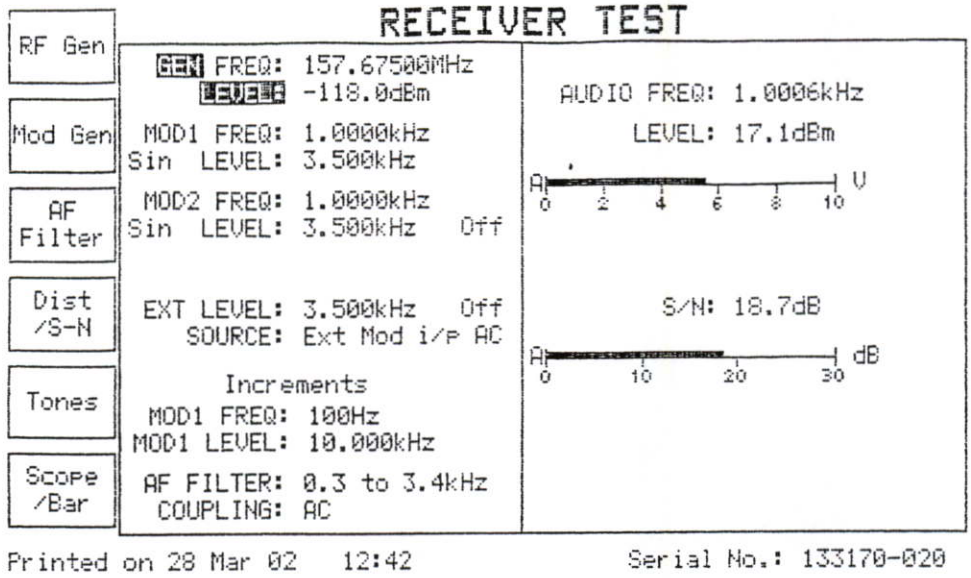


สัญญาณที่สถานีโทรคมฯ กรุงเกษม เมื่อกำลังส่ง 25 W

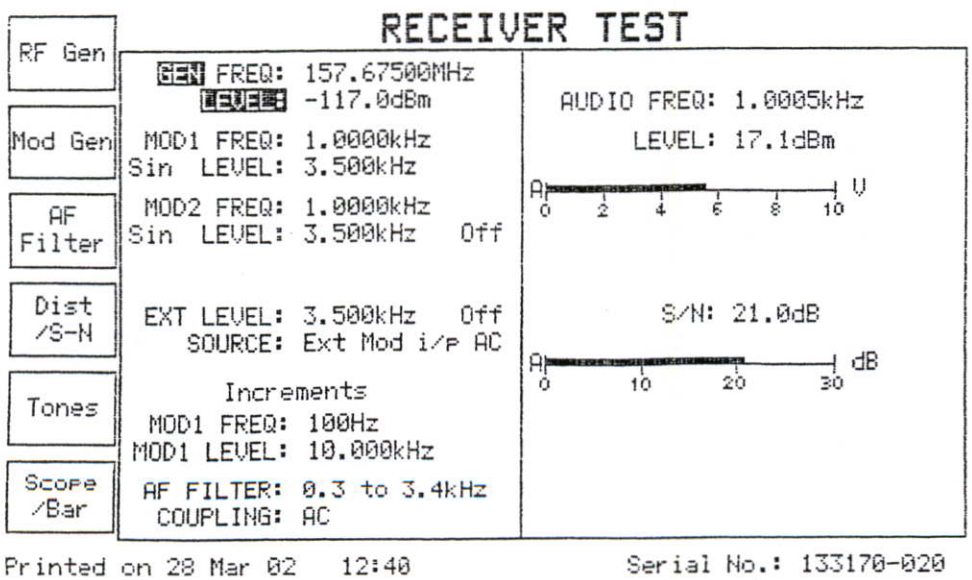


สัญญาณที่สถานีโทรคมฯ กรุงเกษม เมื่อกำลังส่ง 30 W

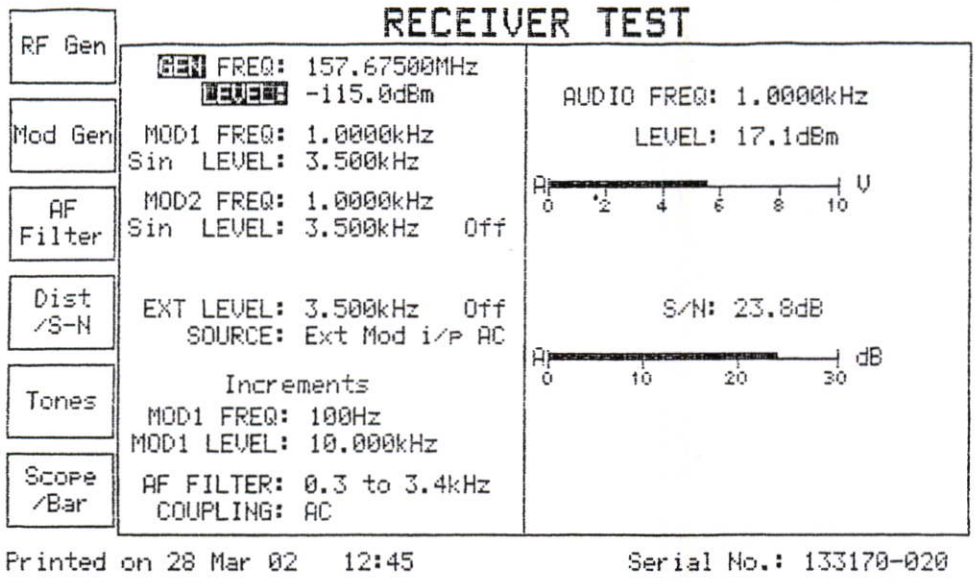
ผลการทดสอบสัญญาณ S/N



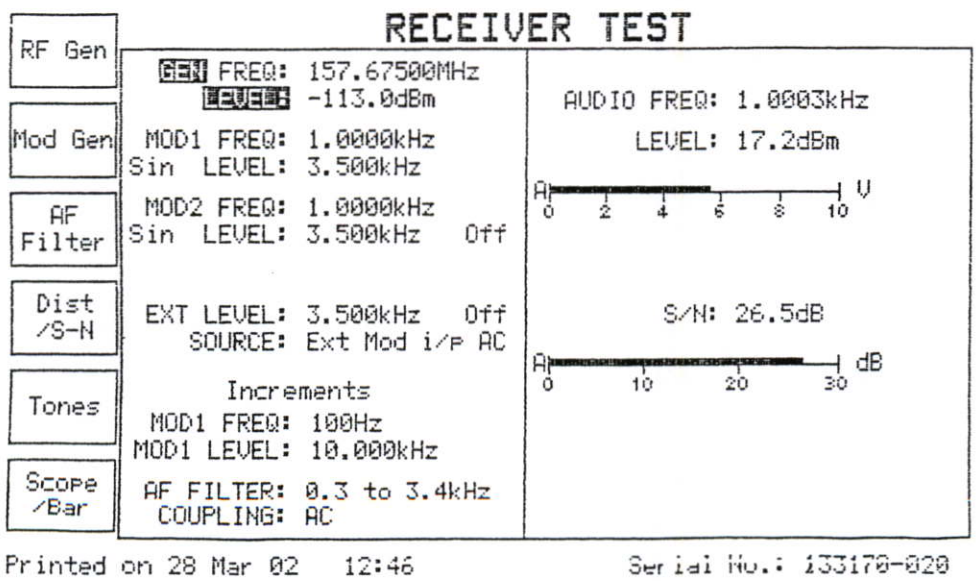
ระดับสัญญาณ S/N ที่สถานีโทรคมฯอ่างทอง เมื่อกำลังส่ง 5 W



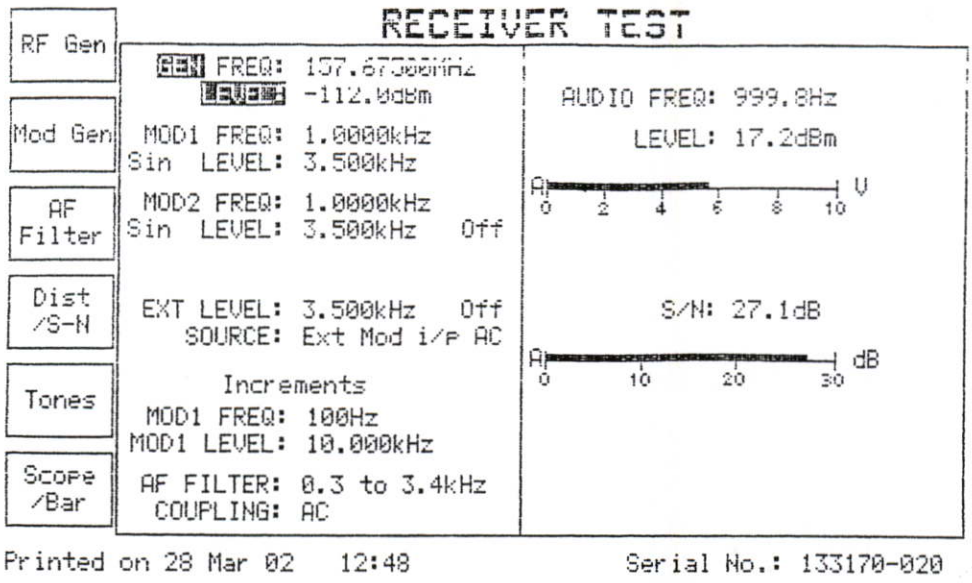
ระดับสัญญาณ S/N ที่สถานีโทรคมฯอ่างทอง เมื่อกำลังส่ง 10 W



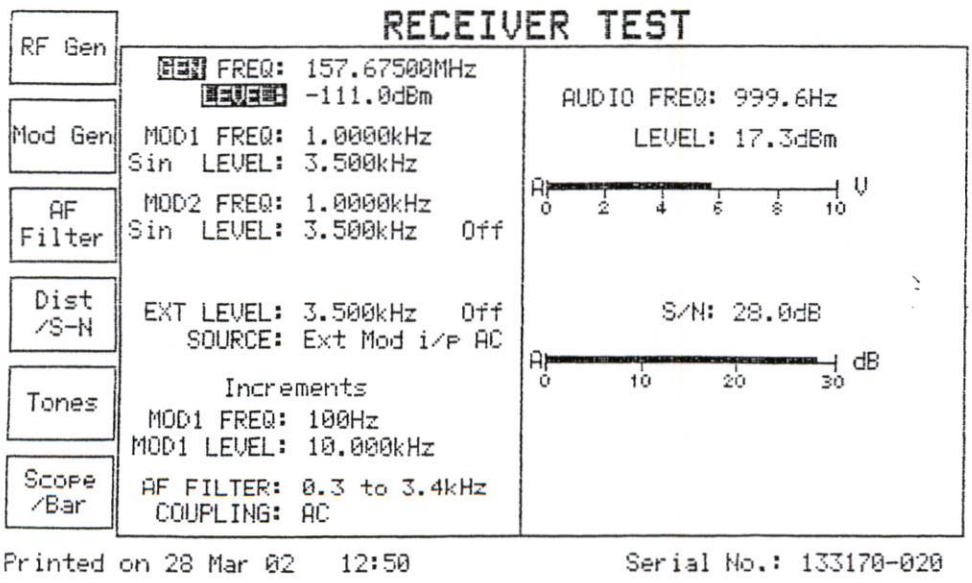
ระดับสัญญาณ S/N ที่สถานีโทรคมฯอ่างทอง เมื่อกำลังส่ง 15 W



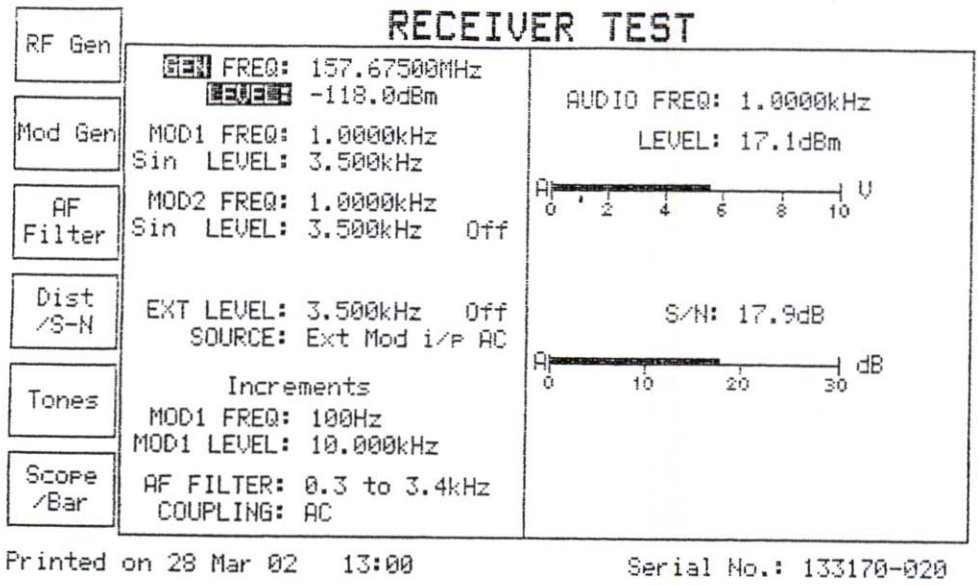
ระดับสัญญาณ S/N ที่สถานีโทรคมฯอ่างทอง เมื่อกำลังส่ง 20 W



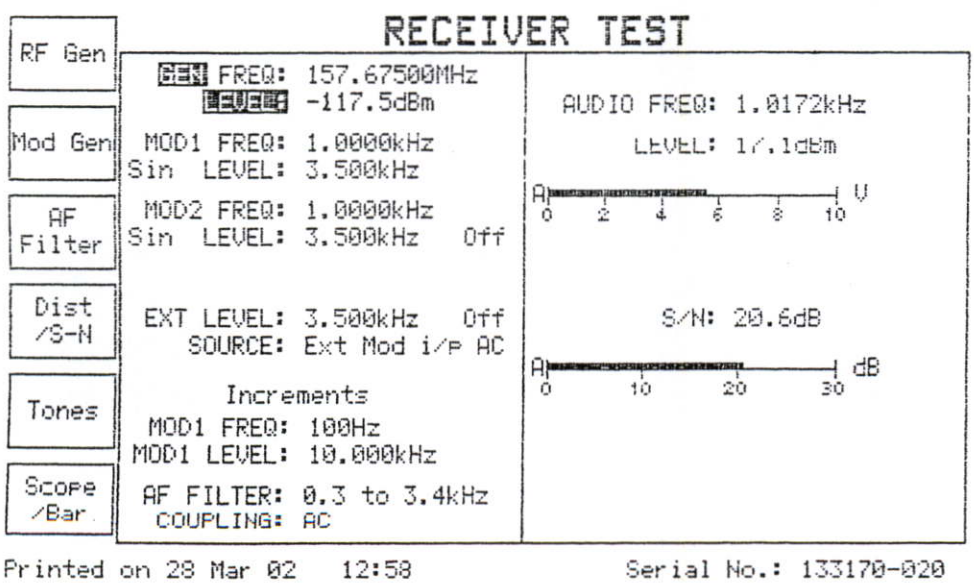
ระดับสัญญาณ S/N ที่สถานีโทรคมฯอ่างทอง เมื่อกำลังส่ง 25 W



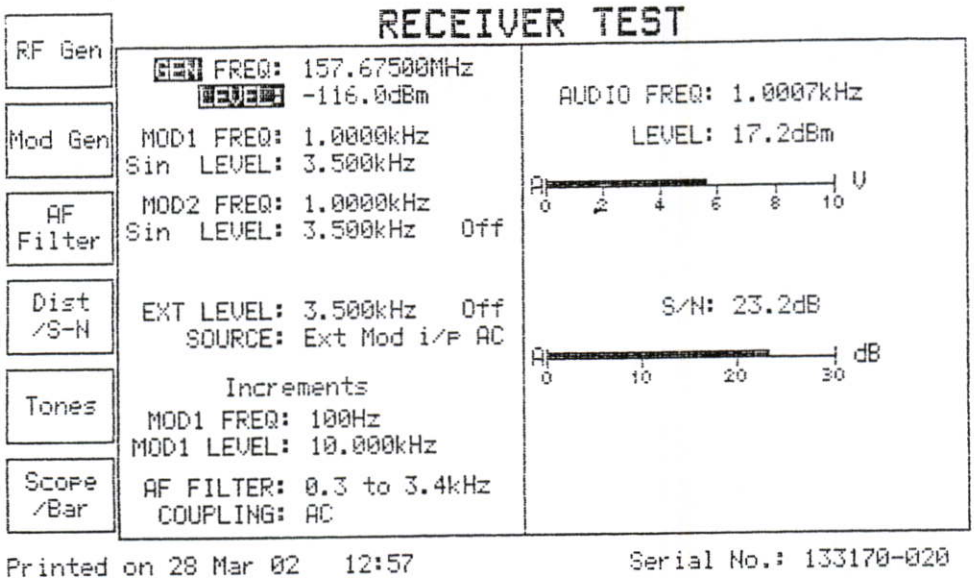
ระดับสัญญาณ S/N ที่สถานีโทรคมฯอ่างทอง เมื่อกำลังส่ง 30 W



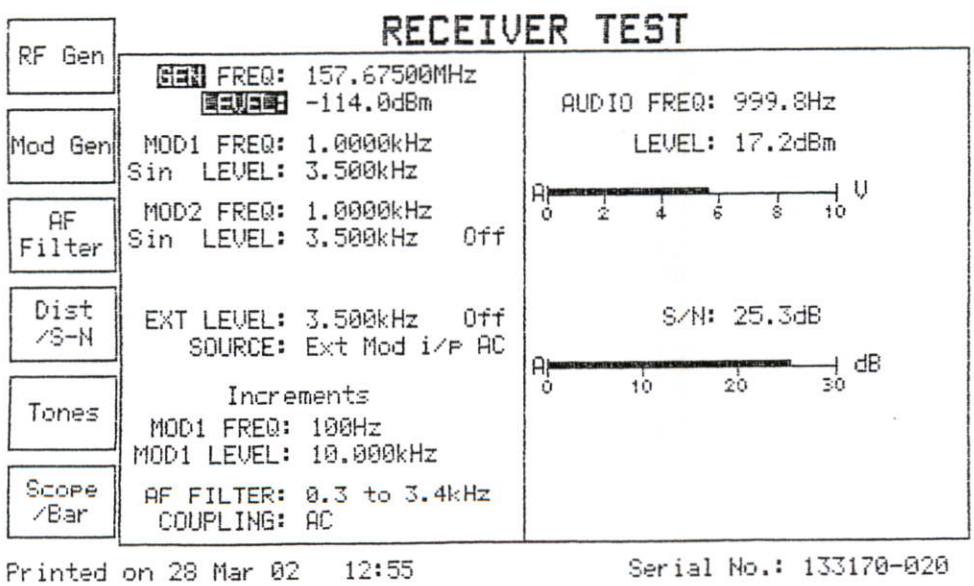
ระดับสัญญาณ S/N ที่สถานีโทรคมฯกรุงเกษม เมื่อกำลังส่ง 5 W



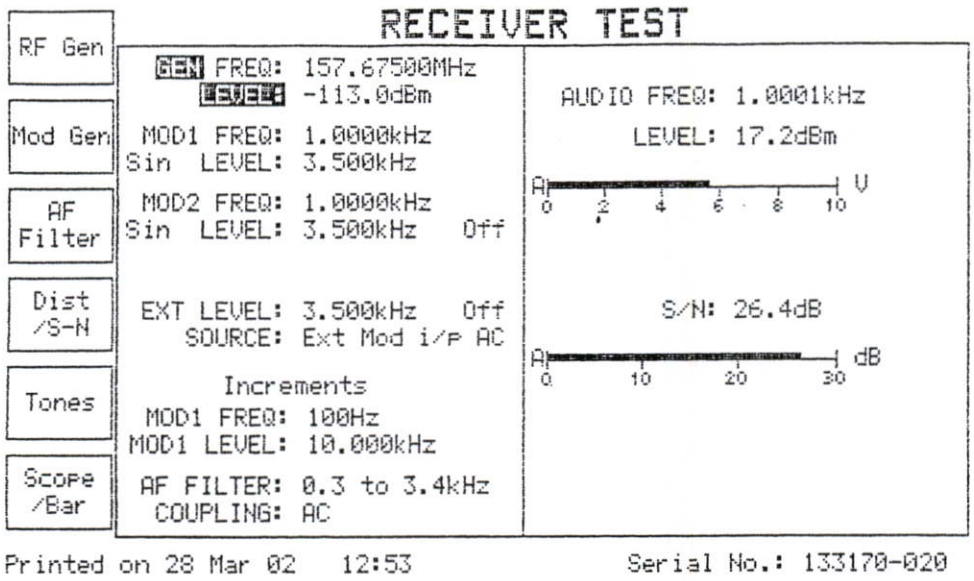
ระดับสัญญาณ S/N ที่สถานีโทรคมฯกรุงเกษม เมื่อกำลังส่ง 10 W



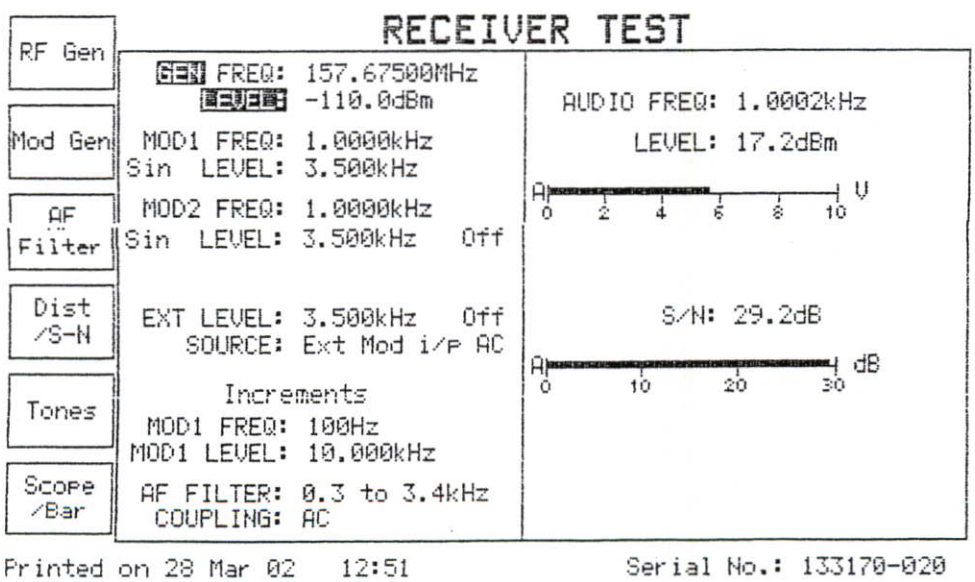
ระดับสัญญาณ S/N ที่สถานีโทรคมฯกรุงเกษม เมื่อกำลังส่ง 15 W



ระดับสัญญาณ S/N ที่สถานีโทรคมฯกรุงเกษม เมื่อกำลังส่ง 20 W

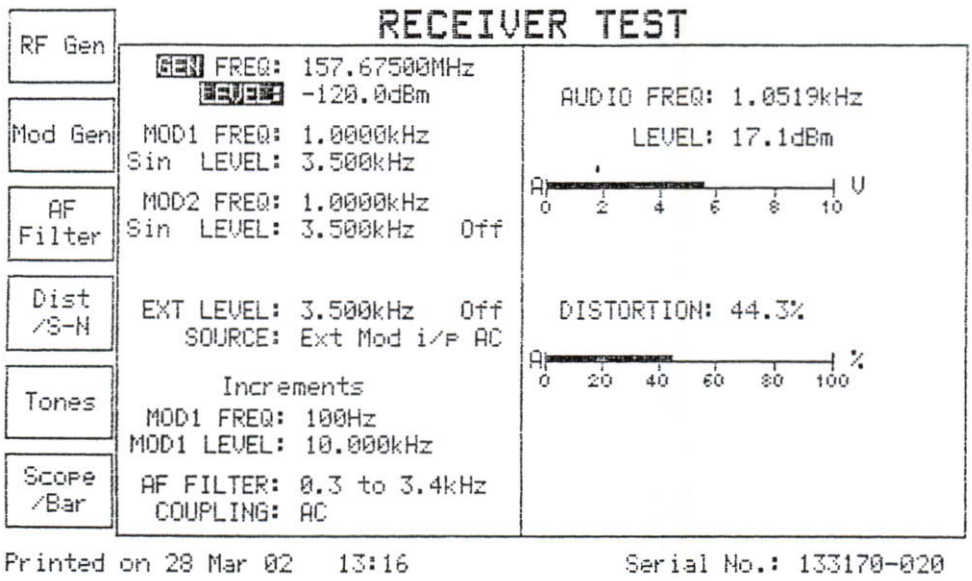


ระดับสัญญาณ S/N ที่สถานีโทรคมฯกรุงเกษม เมื่อกำลังส่ง 25 W

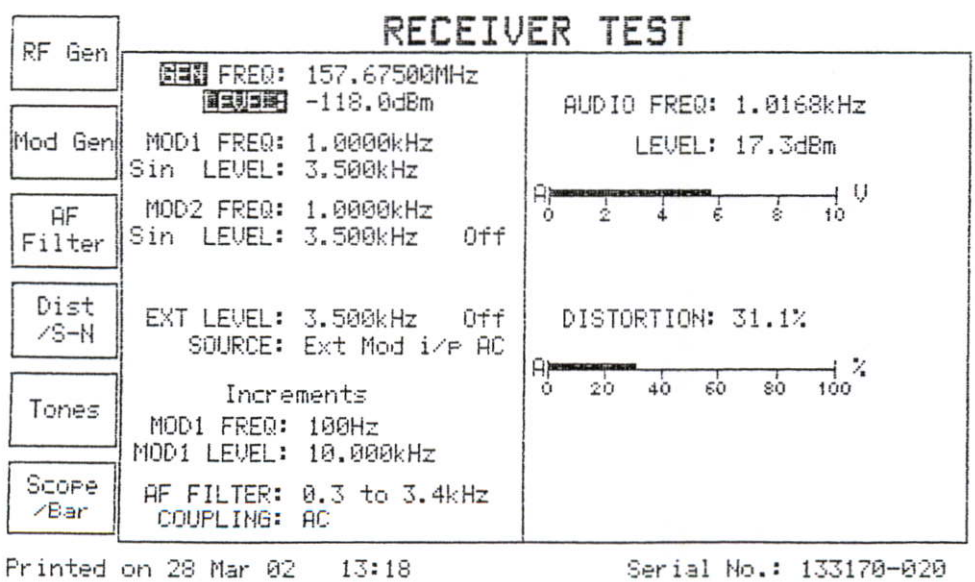


ระดับสัญญาณ S/N ที่สถานีโทรคมฯกรุงเกษม เมื่อกำลังส่ง 30 W

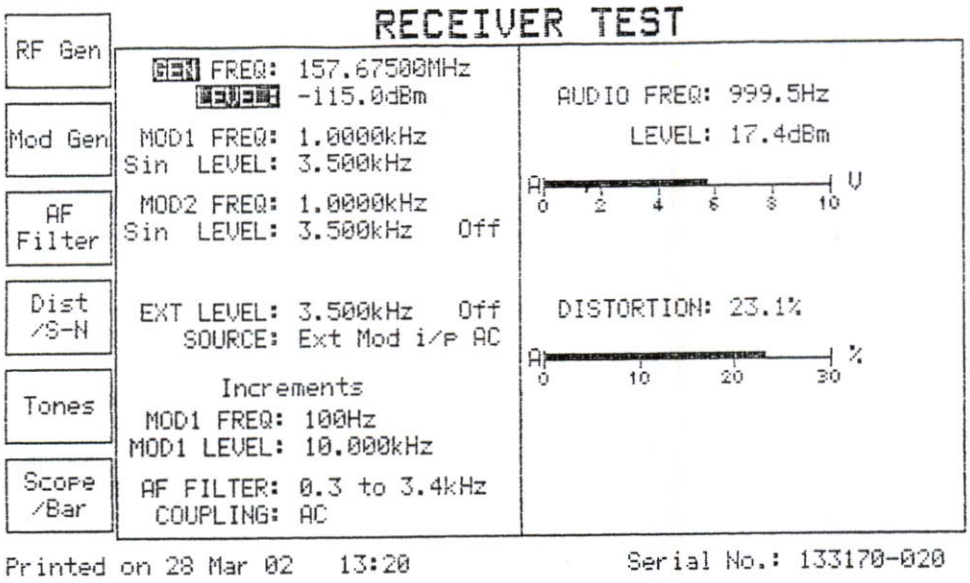
ผลการวัดทดสอบสัญญาณ Distortion



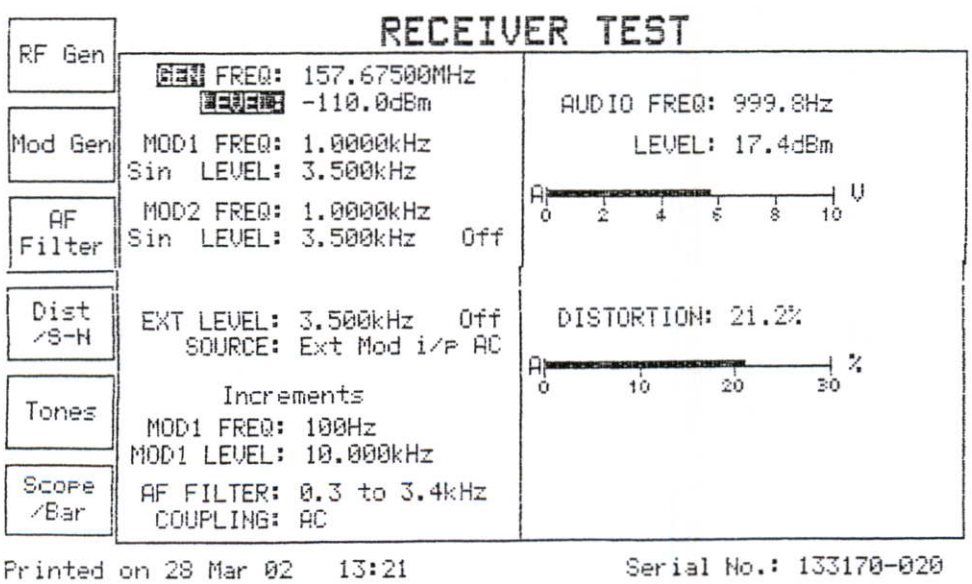
Distortion ที่ระดับสัญญาณ –120 dBm



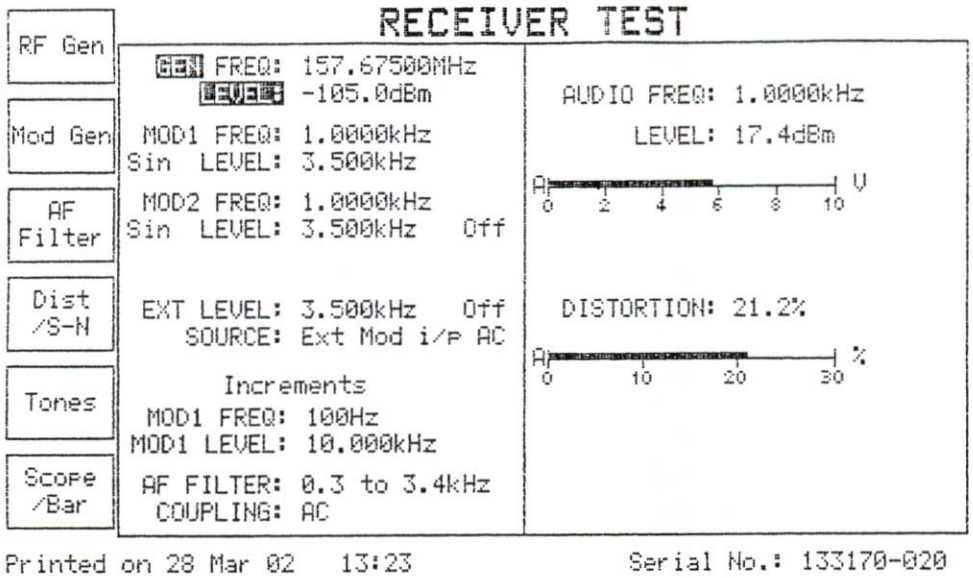
Distortion ที่ระดับสัญญาณ –118 dBm



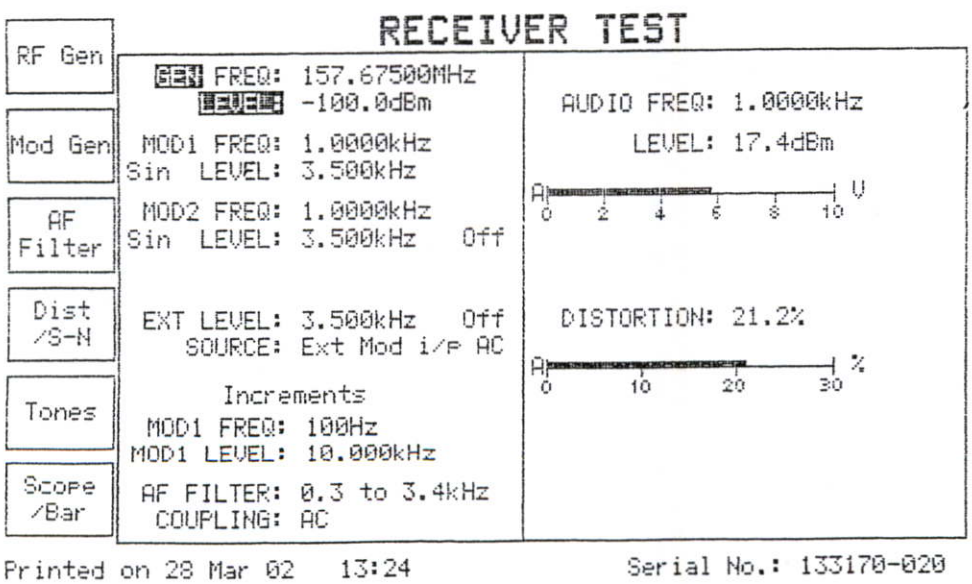
Distortion ที่ระดับสัญญาณ –115 dBm



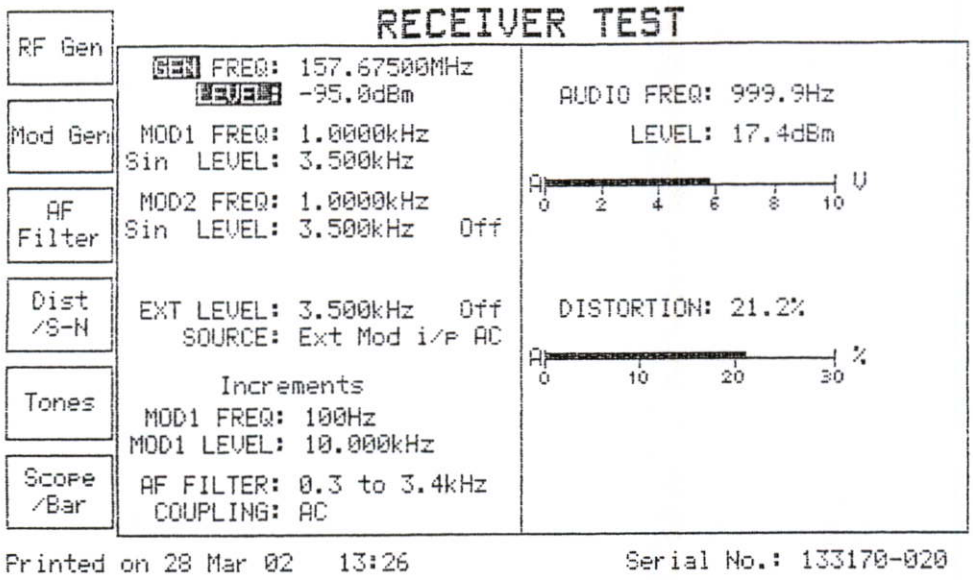
Distortion ที่ระดับสัญญาณ –110 dBm



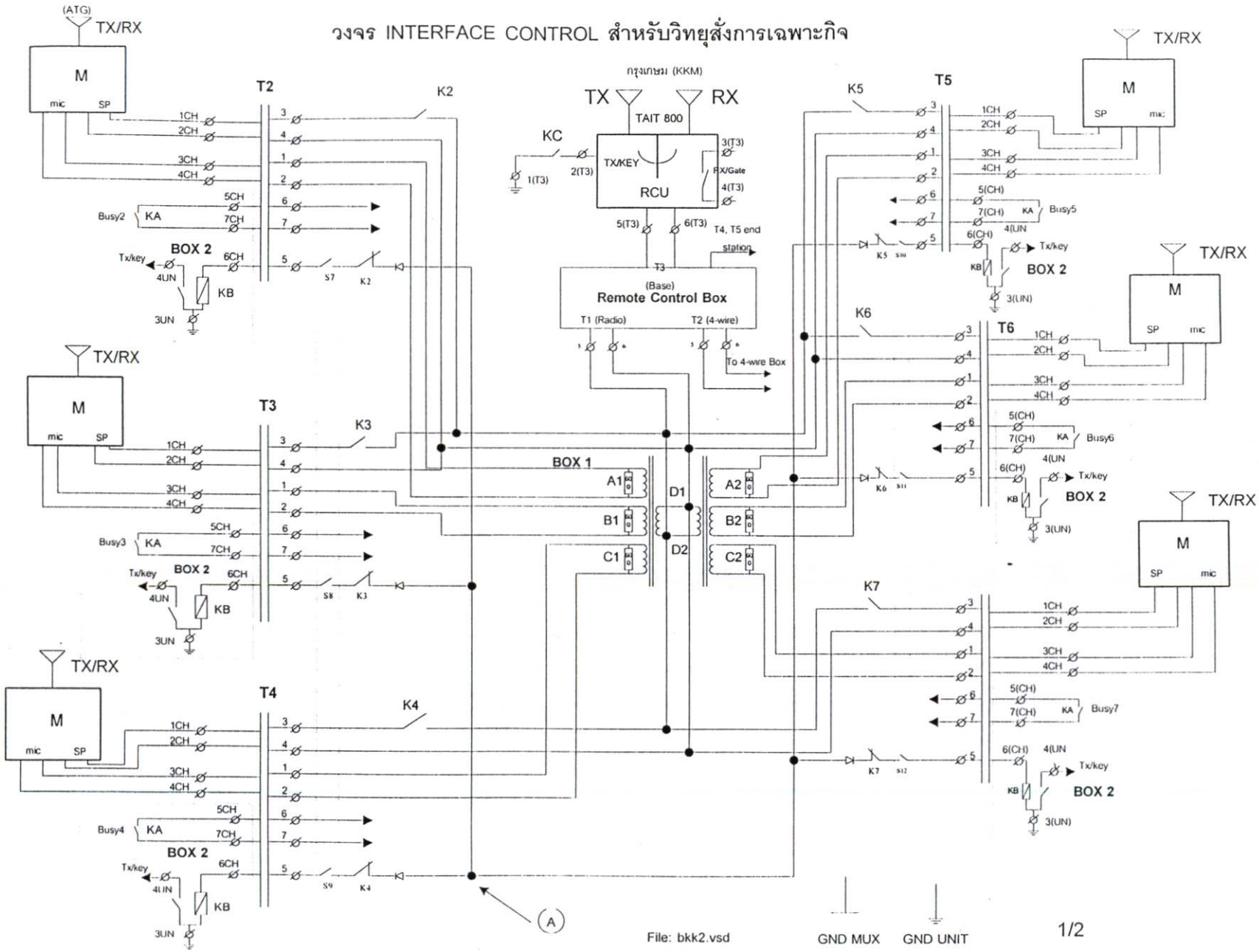
Distortion ที่ระดับสัญญาณ –105 dBm



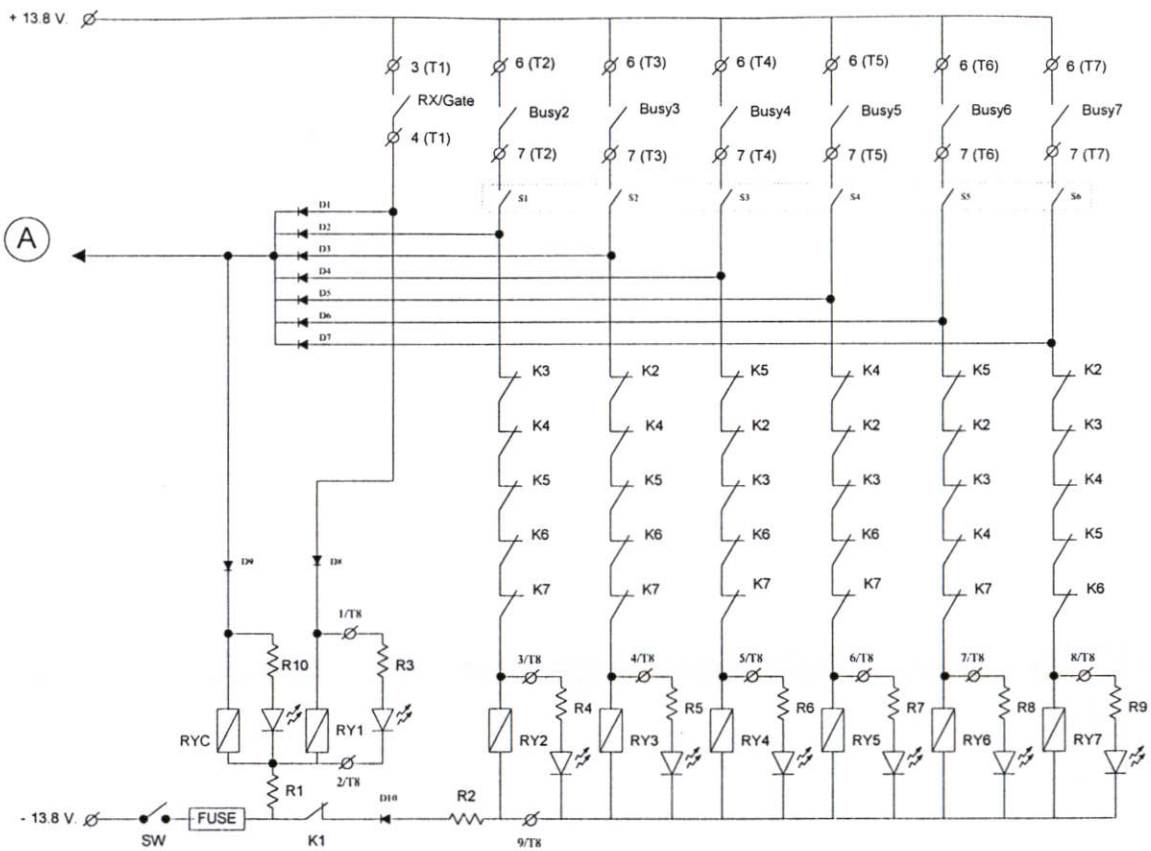
Distortion ที่ระดับสัญญาณ –100 dBm



Distortion ที่ระดับสัญญาณ –95 dBm


วงจร INTERFACE CONTROL สำหรับวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ
(ATG)
TX/RX
M
mic
SP
T2
K2
1CH
2CH
3CH
4CH
5CH
6CH
7CH
Busy2
KA
BOX 2
Tx/key
4UN
KB
3UN
S7
T3
K3
Busy3
S8
T4
K4
Busy4
S9
กรุงเทพฯ (KKM)
TX
RX
TAIT 800
KC
1(T3)
2(T3)
TX/KEY
RX/Gate
RCU
3(T3)
4(T3)
5(T3)
6(T3)
T4, T5 end station
T3
(Base)
Remote Control Box
T1 (Radio)
T2 (4-wire)
To 4-wire Box
BOX 1
A1
B1
C1
D1
D2
A2
B2
C2
K5
T5
Busy5
K6
T6
Busy6
K7
Busy7
(A)
File: bkk2.vsd
GND MUX
GND UNIT
1/2

วงจร INTERFACE CONTROL สำหรับวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ



R1 - R2 = R0.5/1W

R3 - R9 = R2K

D1 - D9 = 1N4001

RYC = TX/KEY

RY1 - RY7 = BASE STATUS

Performance data

Receiver measurements

RF signal generator

Frequency	
Range	400kHz to 1.05 GHz
Resolution	10 Hz
Indication	10 digit display
Setting	Keyboard entry, delta increment / decrement function and rotary control
Accuracy	As frequency standard ±1 count
Output Level	
Range	Rx Test: N-Type socket: –141 dBm to –21 dBm BNC socket: –115 dBm to +5 dBm
Resolution	0.1 dB
Indication	4 digits plus sign (dBm, dBuV, uV, mV, PD/EMF).
Accuracy	± 2 dB for level above –127 dBm on N-Type socket up to 1 GHz
Reverse Power Protection	N-Type: 50 W for 10 minutes, normal operation. 150 W for 1 minute at 20°C. Overload indicated by audible and visual warning.
	BNC: 5 W Tripping indicated by audible and visual warning.
Output Impedance	Nominally 50 Ω
VSWR N-Type	Better than 1.2:1 up to 500 MHz Better than 1.35:1 up to 1.05 GHz
VSWR BNC	Better than 2.2:1 up to 1.05 GHz
Spectral Purity	
Residual FM	Less than 30 Hz RMS (0.3 to 3.4 kHz)
Harmonics	Better than –20 dBc
Spurious signals	Better than –30 dBc (±10 kHz to 1.5 MHz offset from carrier frequency or over range 600-700 MHz).
	Better than –40 dBc elsewhere
SSB phase noise (20kHz offset)	Better than –85 dBc / Hz up to 1 GHz
RF carrier leakage	Less than 0.5µV PD generated in a 50 Ω load by a 2 turn loop 25 mm from the case. Output level less than –40 dBm into a sealed 50 Ω load.
Amplitude Modulation - Internal	
Frequency range	400 kHz to 1.05 GHz
AM depth range	0 to 99 %
Resolution	1 %
Indication	2 digits
Setting	Keyboard entry, delta increment / decrement function and rotary control

Accuracy	±7% ±1digit, for mod freq of 1 kHz, CW 1.5 MHz to 400 MHz.
	±10% ±1 digit for mod freq of 50 Hz to 5 kHz, CW 1.5 MHz to 400 MHz.
	±15% ±1digit, for mod freq of 50 Hz to 15 kHz and 0 to 85% AM, CW 1.5 MHz to 400 MHz.
Distortion	Less than 2% at 1 kHz for 30%, CCITT Weighted
Modulation Frequency Range	20 Hz to 20 kHz
Amplitude Modulation - External	
Input impedance	Nominally 10 kΩ in parallel with 40 pF
Frequency Range	As internal AM
Modulation Frequency Range	As internal AM
Sensitivity	1.0 V RMS for 0 to 100% AM
Frequency Modulation - Internal	
Frequency range	400 kHz to 1.05 GHz
Maximum deviation	0 to 75 kHz
Indication	3 digits
Setting	Keyboard entry, delta increment / decrement function and rotary control
Accuracy †	±7% ± 10 Hz at 1 kHz modulating frequency
	±10% at modulating frequencies from 50 Hz to 15 kHz.
Distortion	Less than 1% at 1 kHz for deviation of 5 kHz, CCITT Weighted.
Resolution	25 Hz
Pre-emphasis	750 µs selectable
Mod Frequency Range	20Hz - 25 kHz
Frequency Modulation - External	
Input impedance	Nominally 10 kΩ in parallel with 40 pF
Frequency Range	As internal FM
Modulation Frequency Range	DC to 100 kHz
Pre-emphasis	750 µs selectable
Sensitivity	1 V RMS for 0 to 75 kHz deviation
Microphone Input	
Input Level	2 mV to 200 mV (AGC levelled)
Input Impedance	Nominally 150 Ω
Press To Talk (PTT)	When using the optional microphone in Tx Test mode, the PTT will switch instrument to Rx Test.

Audio analyzer

Audio Voltmeter	
Input Impedance	Nominally 1 MΩ in parallel with 40 pF
Frequency Range	DC and 20 Hz to 50 kHz AC only 20 Hz to 50 kHz Polarized DC (below 1 Hz)
Level Ranges	0-100 mV to 0-100 V RMS in a 1,3,10 sequence
Resolution	1 mV or 1% of reading
Indication	3 digits and barchart
Accuracy	±3% ±3mV ± resolution

Audio Frequency Meter

Frequency Range	20 Hz to 20 kHz
Resolution	0.1 Hz, less than 10 kHz 1 Hz, at 10 kHz and above
Indication	5 digits
Accuracy	As frequency standard ± digit ± resolution
Sensitivity	50 mV

Audio SINAD Meter

Frequency	1 kHz
Range	0 to 18 dB and 0 to 50 dB
Resolution	0.1 dB
Indication	3 digits and barcharts
Accuracy	± 1 dB
Sensitivity	50 mV (100 mV for 40 dB SINAD). Reading suppressed if audio voltage is less than 5 mV

Audio Distortion Meter

Frequency	1 kHz
Range	0 to 10 % and 0 to 30 %
Resolution	0.1 % distortion
Indication	3 digits and barcharts
Accuracy	± 5 % of reading ± 0.5 % distortion
Sensitivity	50 mV (100 mV for 1 % distortion). Reading suppressed if audio voltage is less than 5 mV

Audio S/N Meter

Range	0 to 30 dB and 0 to 100 dB
Resolution	0.1 dB
Indication	3 digits and barchart
Accuracy	± 1 dB
Sensitivity	50 mV (100 mV for 40 dB S/N). Reading suppressed if audio voltage is less than 5 mV

Audio Oscilloscope

Operating Modes	Single or repetitive sweep
Frequency Range	DC to 50 kHz, 3 Hz to 50 kHz AC coupled
Voltage Range	10 mV to 20 V per division in a 1,2,5 sequence
Voltage Accuracy	±5 % of full scale
FM Ranges	±75, 30, 15, 6, 3 and 1.5 kHz deviation full scale, ±10 % accuracy
AM Ranges	20, 10 and 5 % per division, ±10 % accuracy
Timebase	50 µs/div to 5 s/div in a 1,2,5 sequence
Graticule	10 Horizontal by 6 Vertical divisions
Special features	Built in antialiasing circuitry

Audio Barcharts

Barchart Displays	AF Voltage, SINAD, Distortion, S/N
Vertical Resolution	2 % of full scale
Ranging	Autoranging, range hold or manual selection 1, 2, 5, sequence with hysteresis

Audio and Modulation Filters	
	300 Hz Lowpass
	300 Hz to 3.4 kHz Bandpass
	15 kHz Lowpass
	750 µs de-emphasis. (NOT available in Audio Mode)

Transmitter measurements

RF Frequency Meter	
Frequency Range	100 kHz to 1.05 GHz
Resolution	1 Hz or 10 Hz, selectable
Indication	Up to 10 digits
Accuracy	As frequency standard ±resolution
Acquisition Time	Less than 1 second (manual). Typically 3 seconds (autotune), operates over 10 MHz - 1.05 GHz
Sensitivity	Autotuned: 5 mW (N-Type) 0.05 mW BNC (antenna port) Manual Tuned: –34 dBm (N-Type), –60 dBm BNC (antenna port)
VSWR	N Type <1.2:1 to 500MHz <1.35:1 to 1000MHz
	BNC (antenna port) <3:1 to 1000MHz
RF Power Meter (Broadband)	
Frequency Range	200 kHz to 1.05 GHz
Dynamic Range	5 mW to 150 W (N-Type) 0.05 mW to 250 mW BNC (antenna port)
Indication Units	Watts, dBm or dBW
Indication	3 digits or barchart
Resolution	0.1 dB
Accuracy	±10 % ±resolution up to 500 MHz (N-Type) ±15 % ±resolution up to 1.05 GHz (N-Type) BNC (antenna port) specification is typically as for N-Type specification.
Maximum Power Handling	N-Type: 150W for limited periods, typically 1 minute at 20°C.
Maximum Continuous Power	50W @ 20°C (Note N-Type connector temperature may exceed 70°C after typically 10 minutes.) Overload indicated by audible and visual warning. BNC (antenna port) input 5 W maximum.
Harmonic Measurement	Displays 1st to 5th harmonic of the carrier.
Max. harmonic frequency	1050 MHz
Dynamic range	0 to –60dBc (depends on filter b/w selected).
Transient Power Analysis	Displays power profile against time.
Frequency range	1 to 1050 MHz
Dynamic range	60 dB below spectrum analyzer reference level.
Scale (power)	10 dB/div.
Scale (time)	50 µs/div to 5 s/div.
Trigger level	Adjustable over full dynamic range +ve or –ve trigger.
Pre-trigger	0, 25%, 50%, 75% or 100% of displayed period.

Modulation Meter

Sensitivity	Autotuned: 5 mW (N-Type) 0.05 mW BNC (antenna port) Manual Tuned:–34 dBm(N-Type) –60 dBm BNC (antenna port)
Audio filters	300 Hz Lowpass 300 Hz to 3.4 kHz Bandpass 15 kHz Lowpass 750 µs de-emphasis

Amplitude Modulation

Frequency Range	100 kHz to 1.05 GHz
Modulation Frequency Range	10 Hz to 15 kHz
AM Depth Range	0 to 99% (manually tuned) 0 to 90% below 100 MHz 0 to 80% from 100 to 400 MHz
Resolution	1% AM
Indication	2 digits and barchart
Accuracy †	± 5% ±1 digit at 1 kHz ± 8.5% ±1 digit from 50 Hz to 10 kHz
Demodulation Distortion †	Less than 2 %, at 1kHz & 30% AM, (CCITT Weighted)
Residual AM	Less than 1 % (300 Hz to 3.4 kHz)

Frequency Modulation

Frequency Range	100 kHz to 1.05 GHz
Modulation Frequency Range	10 Hz to 15 kHz
Deviation Range	0 to 75 kHz
Resolution	10 Hz below 2 kHz deviation, 1% above 2 kHz deviation
Indication	3 digits and barchart
Accuracy †	± 5 % ±resolution at 1 kHz modulation frequency ± 7.5 % ±resolution for modulation frequencies 50 Hz to 10 kHz
Demodulation Distortion	Less than 2 % at 1 kHz and 5 kHz FM, (CCITT Weighted)
Residual FM	Less than 30 Hz (300 Hz to 3.4 kHz)
Demodulation Output Socket (de-emphasis function available)	200 mV peak to peak ±10 % per 1 kHz deviation

† At low modulation levels the residual AM / FM may become significant

RF spectrum analyzer

Frequency Range	100 kHz to 1.0 GHz
Spans	Continuously variable, 1kHz / division to 100MHz / division. 1,2,5,10 increments. Start / Stop frequency entry.
Resolution Bandwidth	300 Hz, 3, 30, 300 kHz, 3 MHz
Reference Level (top of screen)	–50 dBm to +52 dBm
On screen dynamic range	70 dB
On Screen Linearity	Typically ± 2 dB ±resolution (10 dB/div) (10 dB above the noise floor)
Vertical resolution	0.1 dB on 2 dB / division 0.5 dB on 10 dB / division
Level Flatness	± 1 dB ±resolution over 50 MHz span
Intermodulation Distortion	Better than 70 dB for two signals at –30 dBm into first mixer

Sweep speeds	10 ms/div minimum (Optimum sweep speed and bandwidth selected according to span)
Update Rate	Using "AUTO" resolution B/W selection

SPAN	RES B/W	UPDATE
10 kHz	300 Hz	5 SWEEP/sec
100 kHz	3 kHz	9 SWEEP/sec
1 MHz	30 kHz	9 SWEEP/sec
10 MHz	300 kHz	9 SWEEP/sec
100 MHz	300 kHz	5 SWEEP/sec
1000 MHz	3 MHz	5 SWEEP/sec

Marker Indication	Single marker for frequency and level display
Features	Simultaneous 'Look and Listen' Span 100 kHz, 200 kHz, 500 kHz, 1 MHz 2µV Sensitivity

Tracking generator

Tracking Generator Offset	0-999 MHz
Input - Output isolation	70 dB
Output Level	N-Type socket: –141 dBm to –21 dBm BNC socket: –115 dBm to +5 dBm

Audio generators

Frequency

Frequency Range	10 Hz to 25 kHz
Setting	Keyboard entry, delta increment / decrement function and rotary control
Indication	5 digits
Resolution	0.1 Hz below 3.25 kHz 1 Hz above 3.25 kHz
Accuracy	0.01 Hz ±standard <180 Hz 0.1 Hz ±standard >180 Hz

Level

Level Range	0.1 mV to 4 V RMS
Setting	Keyboard entry, delta increment / decrement function and rotary control
Indication	4 Digits
Resolution	0.1 mV below 409 mV 1 mV above 409 mV
Accuracy	±5% ±resolution 50 Hz - 15 kHz
Output impedance	Nominally 5 Ω (Minimum load impedance 25 Ω)
Signal Purity	
Distortion	Less than 0.5 % at 1 kHz Less than 1 % from 50 Hz to 15 kHz

Signalling Encoder / Decoder

Sequential Tones Functions	Encodes and decodes up to 40 tones. CCIR, ZVEI, DZVEI, EEA, EIA or user defined. Any of the tones may be extended. Continuous, burst and single step modes available.

User Defined Tones	Up to two sequential tones frequency plans may be defined and stored within the Service Monitor. Any of the standard tone frequency plans may be copied to user defined and modified.
	Tone length 20 ms to 1 s.
	Standard tone frequencies may be selected from a menu.
DTMF	Generation and decoding of DTMF tones.
DCS	Generation and decoding of Digitally Coded Squelch, DCS.
POCSAG	Generation and decoding of POCSAG code CCIR No.1 Rec 584. Bit rates from 400 to 4800 bit/s. Inversion available.
Audio Monitor	Demodulated signals and audio signals may be monitored via the internal loudspeaker and via the accessory socket output on the front panel.

General features

Keyboard and Display	Logical colour coded keyboard with bright high resolution LCD
Display size	160 x 85 mm
RS232C	RS232C interface is provided for printing or remote instrument control.
Connector	9 way female 'D' Type

Frequency standard

Internal Frequency Standard (TCXO)	
Frequency	10 MHz
Temperature stability	Better than 0.5 in 10^6, 0 to 50 °C
Aging Rate	Better than 1 in 10^6 per year
Warm up	1 minute to specified accuracy
External Frequency Standard Input	
Frequency	1 and 10 MHz
Input Level	Greater than 1 V peak to peak
Input Impedance	Nominally 1 kΩ

General

Power Requirements	
AC Supply Voltage	94V to 264V
AC Supply Frequency	45Hz to 440Hz
Maximum AC Power	190VA
DC Supply Voltage	11 to 32V
Maximum DC Power	100W
Low battery indicator	Indication of low battery voltage provided.
Charge Output	13.8V at 6A max to charge a 12V sealed lead acid battery
Electro-Magnetic Compatibility	Conforms with the protection requirements of the EEC Council Directive 89/336/EEC.
	Complies with the limits specifiied in the following standards:
	EN 55011 Class B CISPR 11 EN50082-1 IEC 801-2,3,4 EN60555-2 IEC 555-2.
Safety	This instrument is designed to comply with the requirements of EN61010-1 / IEC1010-1, for Class 1 Portable equipment and is for use in a pollution degree 2 environment. The equipment is designed to operate from an installation categories 1 or 2 supply.

Environmental	
Rated range of use	0°C to 50°C and up to 95% relative humidity at 40°C
Storage and transport	
Temperature	–40°C to +71°C
Altitude	Up to 2500m (pressurised freight at 27 kPa differential)
Dimensions and Weight	
Height	178mm
Width	380mm
Depth	457mm (including handle, feet and covers)
Weight	Less than 11.4 kg, (Less than 25 lb)

Declaration of Conformity

We: Marconi Instruments Limited
Longacres
St. Albans
Hertfordshire
England
AL4 0JN

as the manufacturer of the apparatus listed, declare under our sole responsibility that the product(s):

Title: 2945 Communications Service Monitor including options 1,2,3,4,5,6,8,10,11,12,13, 14 and Ever Ready Case, Battery Pack and microphone (44991-145).

to which this declaration relates are in conformity with the following standards or other normative documents:

Safety: EN 61010-1 (IEC 1010-1: 1990)

EMC: EN55011:1991 Class B
EN50082-1:1992
EN60555-2:1987

and therefore conforms with the protection requirements of Council Directive 89/336/EEC relating to electromagnetic compatibility and Council Directive 73/23/EEC relating to safety requirements.

Issued on: 2nd February 1995

Authorised by: _____ Harold Brown
Technologies Manager

Options and accessories

Options

Option 1	600 Ω Matching Unit
Option 2	Analog Systems Card
Option 3	High Stability OCXO
Option 4	Parallel Interface
Option 5	GPIB Interface
Option 6	Memory Card Drive and Date/Time Stamp
Option 8	SSB Demodulator
Option 10	NMT (Requires Option 2 to be fitted)
Option 11	AMPS (Requires Option 2 to be fitted)
Option 12	TACS (Requires Option 2 to be fitted)
Option 13	MPT1327 (Requires Option 2 to be fitted)
Option 14	PMRTEST (Requires Option 2 to be fitted)
Option 21	Demodulation filters
Option 22	POCSAG decode

600 Ω Matching Unit (Option 1)

Features	Switchable 600 Ω balanced. AF input and output. Switchable 20dB attenuator on AF generator output.

Analog Systems Card (Option 2)

Required for Options 11 to 14.
For performance data refer to respective handbook supplement.

High Stability Internal Frequency (OCXO) Standard (Option 3)

Frequency	10 MHz
Temperature Stability	Better than 5 part in 10^8, 5 to 55°C
Aging Rate	Better than 1 part in 10^7 per year, after 1 month continuous use.
Warm-up Time	Less than 10 minutes to within 2 parts in 10^7 at 20°C.

Parallel Interface (Option 4)

Allows direct connection of a parallel printer. Additionally provides 4 software programmable output lines.

Printer port	
Connector	25 way female D-type.
Printers supported	75,100,150 dots per inch laser printers FX80, FX100 Epson format.
Accessory port	
Connector	9 way female D-type.
Outputs	4 independantly programmable output lines, each one configurable as a logic line or as a relay contact closure. +5V supply available.

GPIB (Option 5)

Capability	For remote instrument control. Complies with the following subsets defined IEEE488:- SH1, AH1, T6, L4, SR1, RL1, E1, DC1, DT0

Memory Card (Option 6)

The memory card facility allows the storage of results and set-ups. Meets PCMCIA 2 standard. Allows the current date and time to be stored with results to the memory card and/or printed with a screen dump.

SSB Demodulator (Option 8)

Provides demodulation of SSB signals (upper and lower sideband.)

Modulation Meter	
Frequency range	400 kHz to 1 GHz
AF demodulation range	10 Hz to 15 kHz
Distortion	Typically less than 3% at 1 kHz (300 Hz to 3.4 kHz)
Detection range	2 µV to 150 W
Features	Automatic detection of USB or LSB. BFO can be used for tunning of carrier for AM and FM radios.

Demodulation filters (Option 21)

Provides a range of high selectivity channel filters in Tx Test and Spectrum Analyzer look and listen modes.
Shape factor approximates to ETSI requirements.

Pocsag Decode (Option 22)

Decoding of POCSAG messages. Can decode a message as it is received, or decoding can be triggered from a user-selectable RIC code or fixed message pattern.

Bit Rate

Automatically decodes any standard bit rate up to 4800 bit/s.
Numeric and Alphanumeric decoding is provided.
Number of received errors is displayed.

Supplied Accessories

43129/003	AC Supply lead
43130/119	DC Supply lead
46882/220	Operating Manual

Optional Accessories

44991/145	Microphone with PTT
43113/018	Battery Pack
54431/023	20dB AF attenuator (BNC)
46884/728	Rack Mounting Kit
54421/001	Antenna BNC
46662/571	Ever Ready Case
46880/012	Service Manual
54421/002	Directional Power Head 1 to 50 MHz
54421/003	Directional Power Head 50 to 1000 MHz
45521/016	Lightweight Directional Power Head and Adaptor
45521/018	Lightweight Directional Power Head and Adaptor
46884/789	Power Head Adaptor
54432/012	Wideband Amplifier
43130/590	1m 7 way DIN lead Assy.
43130/591	3m 7 way DIN lead Assy
59000/189	Memory Card (128kbyte)
46884/648	Serial cable 9 way female to 25 way male
46884/649	Serial cable 9 way female to 25 way female
46884/650	Serial cable 9 way female to 9 way female

Battery Pack

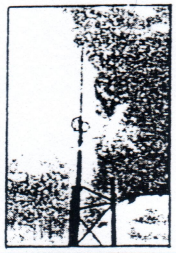
Type	12V Sealed lead-acid
Capacity	7 AH
Life	30 minutes
Weight	3 kg
Charge time from instrument	16 hrs

CLUBSTATION | โทร. 644-6180 แฟกซ์ 644-6181

"ANTENNAS FOR THE PROFESSIONAL AMATEUR" VHF 138 - 174 MHz

CLUB RINGO

สายอากาศ คลับริงโก้ ในย่านความถี่ VHF แพร่กระจายคลื่นในมุมระดับต่ำ ไม่ต้องใช้กราวด์เพลน ราคาถูก ประหยัดและเป็นสายอากาศเกนสูง ขนาดกระทัดรัด แบนด์วิดท์กว้างทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถติดตั้งภายในอาคารได้ไม่ต้องดูแลรักษา



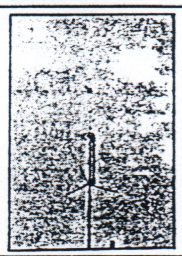
CLUB RINGO

FREQUENCY	135-160 MHz.
VSWR.	1.2 : 1 TYPICAL
2 : 1 BANDWIDTH	10 MHz.
GAIN	3.75 dB
POWER RATING	1,000 Watts.
RADIATION ANGLE	16 DEG.

HORIZONTAL PATTERN	360 DEG.
HEIGHT	1.20 m.
WIND LOAD	0.02 m²
WEIGHT	0.68 Kg.
LIGHTNING PROTECTION	D.C.Grounded.

RINGO RANGER

สายอากาศติดตั้งประจำที่ชนิดรอบตัว น้ำหนักเบาติดตั้งง่ายปรับแต่งความถี่ได้ตลอดย่าน VHF ประสิทธิภาพสูง มีระบบป้องกันฟ้าในตัววัสดุได้มาตรฐาน คุณภาพเทียบเท่าของต่างประเทศแต่ราคาถูกกว่า



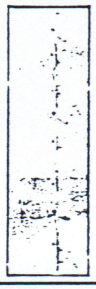
RINGO RANGER

GAIN	6 dBd.
WIND SURFACE AREA	13 m²
WEIGHT	3.2 Kgs.
HEIGHT	411.5 cm.

NOMINAL IMPEDANCE	50 ohms.
VSWR.	< 1.5 : 1
POWER	250 Watts.
LIGHTNING PROTECTION	D.C.Grounded.

CLUB DIPOLE

สายอากาศชนิดติดตั้งประจำที่อัตราขยายสามารถเพิ่มได้ตามต้องการ ปรับแต่งรูปร่างการแพร่กระจายคลื่นได้ ใช้วัสดุและอุปกรณ์ได้มาตรฐาน รับประกันคุณภาพ



CLUB DIPOLE 140-174 MHz.

	4 STACKS	8 STACKS
GAIN OMNI	6 dBd.	9 dBd.
OFFSET	9 bBd.	12 dBd.
VSWR	< 1.5 : 1	
POWER	500 Watts.	
VERTICAL BEAMWIDTH	15°	7°
HEIGHT	6 m. (VHF)	12 m. (VHF)
HARNESS MATERIAL	RG. 8, RG. 11	
LIGHTNING PROTECTION	D.C.Grounded.	
ELEMENT TYPE	1/2 λ Dipole	

FOLDED DIPOLE

สายอากาศชนิดติดตั้งประจำที่ อัตราขยายสูงปรับแต่งรูปร่างการแพร่กระจายคลื่นได้ตามต้องการ เช่น รอบตัว กึ่งทิศทาง และแบบวงรี อุปกรณ์ครบได้มาตรฐาน

FOLDED DIPOLE 140-174 MHz.

	4 STACKS	8 STACKS
GAIN OMNI	6 dBd.	9 dBd.
OFFSET	9 bBd.	12 dBd.
VSWR	< 1.5 : 1	
POWER	500 Watts.	
VERTICAL BEAMWIDTH	15°	7°
HEIGHT	6 m. (VHF)	12 m. (VHF)
HARNESS MATERIAL	RG. 8, RG. 11	
LIGHTNING PROTECTION	D.C.Grounded.	
ELEMENT TYPE	Folded Dipole	

MINI BEAM,

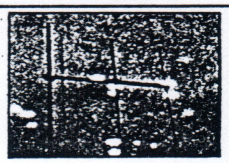
สายอากาศทิศทาง 2E ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง แต่ความยาวน้อยกว่าสายอากาศทางทั่วไป

MINI BEAM

GAIN	6 dBd.
F/B	20 dB.
VSWR.	<1.5 : 1
BANDWIDTH	3 MHz.
POWER	400 Watts.
LIGHTNING PROTECTION	D.C.Grounded.

3 ELEMENTS PORTABLE

สายอากาศทิศทาง อัตราขยายสูง น้ำหนักเบา ถอดประกอบได้ง่าย เหมาะสำหรับสถานี PORTABLE ติดตั้งได้ด้วยมือเปล่า ราคาถูก

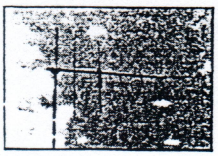


3 ELEMENTS PORTABLE

GAIN	7.1 dBd.
F/B	15 dB.
VSWR.	< 1.5 : 1
BANDWIDTH	4.5 MHz.
BEAMWIDTH	E. 65°, H. 80°
POWER	400 Watts.
LENGTH	110 cm.
LIGHTNING PROTECTION	D.C Grounded

LAZY H. 5 ELEMENTS.

สายอากาศทิศทาง 5E ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง แต่ความยาวน้อยกว่าสายอากาศทิศทางทั่วไป



LAZY H. 5 ELEMENTS.

GAIN	9 dBd.
F/B	20 dB.
VSWR.	< 1.5 : 1
BANDWIDTH	3 MHz.
POWER	400 Watts.
LIGHTNING PROTECTION	D.C.Grounded.

YAGI 8 ELEMENTS x 2

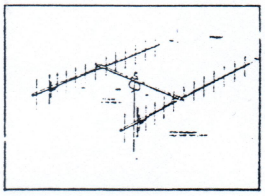
สายอากาศทิศทางอัตราขยายสูงมาก ใช้พื้นที่ไม่มากนัก น้ำหนักเบา คุ้มค่า วัสดุและการออกแบบดีเยี่ยม แม็ทช์ด้วยระบบ T-MATCHING ที่ได้มาตรฐาน

YAGI 8 ELEMENTS x 2

GAIN	13 dBd.
F/B	20 dB.
VSWR.	< 1.5 : 1
BANDWIDTH	3 MHz.
BEAMWIDTH	E.59°, H. 58°
POWER	400 Watts.
LIGHTNING PROTECTION	D.C.Grounded.

YAGI 13 ELEMENTS x 2

สายอากาศทิศทาง อัตราขยายสูงพิเศษ วัสดุอุปกรณ์ได้มาตรฐาน การ STACKING ใช้ POWER DIVIDER ลดการสูญเสีย จึงให้ประสิทธิภาพสูงสุด

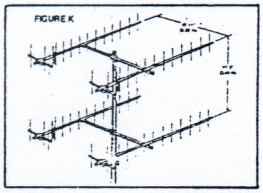


YAGI 13 ELEMENTS x 2

GAIN	18.5 dBd.
F/B	20 dB.
VSWR.	< 1.5 : 1
BANDWIDTH	3 MHz
BEAMWIDTH	E. 42°, H. 47°
POWER	400 Watts.
LIGHTNING PROTECTION	D.C.Grounded.

YAGI 15 ELEMENTS x 2

สายอากาศทิศทาง อัตราขยายสูงพิเศษ วัสดุอุปกรณ์ได้มาตรฐาน การ STACKING ใช้ POWER DIVIDER ลดการสูญเสีย จึงให้ประสิทธิภาพสูงสุด



YAGI 15 ELEMENTS x 2

GAIN	18.5 dBd.
F/B	20 dB.
VSWR.	< 1.5 : 1
BANDWIDTH	3 MHz.
BEAMWIDTH	E.42°, H. 47°
POWER	400 Watts.
LIGHTNING PROTECTION	D.C.Grounded.

MULTI BEAM

สายอากาศทิศทางประสิทธิภาพเยี่ยมชนิดเดียวที่คงคุณลักษณะที่ดีของสายอากาศทุกชนิดไว้ในตัวเอง ระยะที่มีอัตราขยายสูง ในเวลาเดียวกันใช้งานได้ในย่านความถี่ 140 MHz. ถึง 150 MHz. เนื่องจากใช้ตัวแพร่กระจายคลื่น ทวิน ควอด (TWIN QUAD RADIATOR ELEMENT AND TWIST PAIR MATCH) สามารถเพิ่มอัตราขยายได้โดยเพิ่มสแต็ค เช่นเดียวกับสายอากาศทิศทางทั่วไปประสิทธิภาพสำคัญในการรับสัญญาณ จากการสะท้อนคลื่นของภูเขา อาคาร สิ่งก่อสร้างต่างๆ สัญญาณการไกล สัญญาณจากสถานีเคลื่อนที่

MULTI BEAM

MODEL	MV-2S	MV-2S x2
ความถี่	144 MHz.	
อิลิเมนต์	48 x 2	48 x 4
อัตราขยาย dBi	20.7	23.7
F/B ratio	24	
VSWR.	< 1.5 : 1	
อิมพีแดนซ์	50Ω	
POWER	1 kW.	
ความยาว	5.5 m.	5.5 m.
V.Stacking	3.0 m.	
H.Stacking	3.5 m.	3.5 m.
น้ำหนัก	16 Kgs.	32 Kgs.

สายอากาศเหล่านี้ มีให้ท่านเลือกใช้เหมาะกับการใช้งานของท่าน

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ทางวิชาการ คือ การปรับปรุงโครงข่ายวิทยุสั่งการเฉพาะกิจ (An Improvement of Command Radio Network) ในวิศวสารลาดกระบัง ปีที่ 18 ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน 2544

ประวัติผู้เขียน

นายวรภาพย์ อัครสมบูรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน 2512 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษา อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (อิเล็กทรอนิกส์) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2536 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (สื่อสาร) จากวิทยาลัยช่างกลปทุมวัน ปีการศึกษา 2533

เข้าปฏิบัติงานในตำแหน่งช่างเทคนิคไฟฟ้า สังกัดแผนกสื่อสารข้อมูล การไฟฟ้านครหลวง ตั้งแต่ปี 2533 – 2537 และเข้าปฏิบัติงานที่องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ในปี 2537 จนถึงปัจจุบัน ดำรงตำแหน่ง วิศวกร 5 สังกัด กองซ่อมอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ปลายทาง ส่วนซ่อมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ฝ่ายโครงข่ายโทรคมนาคม