การออกแบบระบบ SOPC เพื่อเลียนแบบการทำงานของระบบ DAMA

DESIGN SOPC SYSTEM TO IMITATE DAMA SYSTEM

กมล โพงาม
KAMOL PHONGAM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2543
ISBN 974-922-781-5

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA

DESIGN SCPC SYSTEM TO IMITATE DAMA SYSTEM

T035976

กมล โพธิ์งาม

KAMOL PHONGAM

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISPN 974-622-781-5

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....35976
วัน, เดือน, ปี.....3 ก.ค. 2543

สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN SCPC SYSTEM TO IMITATE DAMA SYSTEM

KAMOL PHONGAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2000

ISBN 974-622-781-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2000

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA

DESIGN SCPC SYSTEM TO IMITATE DAMA SYSTEM

ชื่อนักศึกษา นายกมล โพธิ์งาม

รหัสประจำตัว 38061219

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ฉรงค์ เหมกรณ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ศ.มนูญ	สุขเกียมุ	
รศ.ดร.ปราโมทย์	ม่าดเขียน	
ดร.สุทธิชัย	นุพนาคีพงษ์	
ผศ.สมผล	โกศัลวิตร์	
รศ.ฉรงค์	เหมกรณ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 1 พฤษภาคม 2543 เวลา 11.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ. ห้องสอบวิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ตึก 12 ชั้น ชั้น 4 ห้อง (E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 18 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA
นักศึกษา	นายกมล โพธิ์งาม
รหัสประจำตัว	38061219
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2543
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ณรงค์ เหมกรณ์

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันผู้ประกอบการระบบสื่อสารดาวเทียม VSAT ประสบปัญหาจากสภาพเศรษฐกิจอย่างมาก อีกทั้งระบบเส้นใยแก้วนำแสงมีขอบเขตบริการที่กว้างขึ้น และค่าบริการที่ถูกกว่าเกือบเท่าตัว ทำให้ผู้ประกอบการด้านดาวเทียมต้องหาระบบใหม่มาดำเนินการ ระบบหนึ่งที่น่าสนใจคือ DAMA ที่อาศัยการทำงานของระบบ TDMA ในการควบคุมระบบและระบบ SCPC ในการส่งและรับข้อมูลความเร็วสูงทำงานร่วมกันซึ่งประหยัดแบนด์วิดท์มากแต่ราคาอุปกรณ์แพงมาก ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA ขึ้นในการออกแบบใช้เฉพาะระบบ SCPC เท่านั้นและสามารถทำงานได้เหมือนระบบ DAMA โดยอาศัยการควบคุมอุปกรณ์ผ่านตัวมัลติเพลกซ์ จากการออกแบบและทดสอบระบบโดยการสร้างซอฟแวร์ควบคุมระบบซึ่งควบคุมได้จากต้นทางและปลายทาง เพื่อสั่งระบบส่งข้อมูลความเร็วสูงให้ส่งหรือหยุดส่งคลื่นพาห์ จำนวนสถานีที่มีมากที่สุดไม่ควรเกิน 5 สถานี เพราะถ้ามากกว่านี้จะเกิดเวลาหน่วงในการสั่งงานผ่านระบบมากเกินไป สำหรับระบบสื่อสารข้อมูลผ่านดาวเทียมที่ความเร็ว 64 kbps สามารถให้บริการโทรศัพท์ 1 ช่องโทรสาร 1 ช่อง ช่องส่งสัญญาณซิงโครนัส 38.4 kbps 1 ช่อง และช่องสัญญาณควบคุมอีก 2 ช่อง รวมแบนด์วิดท์ทั้งหมด 75.2 kbps ซึ่งแบนด์วิดท์เกินถึง 17.5% แต่ใช้ตัวมัลติเพลกซ์แบบ statistic จึงสามารถทำงานที่แบนด์วิดท์เกินได้ จากการวิจัยคุณภาพของสัญญาณโทรศัพท์ผ่านตัวมัลติเพลกซ์ในย่าน C ที่ออกแบบใช้ค่า FEC อัตรา 3/4 ในการสื่อสารความเร็ว 64 kbps ทำงานได้ดีที่ค่า E_b/N_o ตั้งแต่ 6.8 dB ขึ้นไป ค่า BER ประมาณ 10^{-8} ส่วนการส่งข้อมูลที่ความเร็วสูง 384 kbps ต้องใช้ค่า E_b/N_o ตั้งแต่ 7.8 dB ขึ้นไป ค่า BER ประมาณ 10^{-8} จากการวิจัยพบว่าการเลือกค่า FEC มีผลอย่างมากต่อขนาดของแบนด์วิดท์ ถ้าเลือก FEC อัตรา 3/4 สามารถประหยัดแบนด์วิดท์ได้ 20-26% แต่ถ้าเลือก FEC อัตรา 7/8 สามารถประหยัดได้ 40-46% เมื่อเทียบกับ FEC อัตรา 1/2 แต่การทำงานที่ FEC อัตรา 7/8 ไม่ดีเท่าที่ควรเพราะจะเกิดการผิดพลาดของข้อมูลมากเมื่อฝนตกหนักหรือวันที่เกิด sun outage ซึ่งการแก้สัญญาณกลับมาทำได้ช้า ระบบที่ออกแบบเหมาะที่จะใช้กับระบบวีดีโอดอนเฟอร์เรนซ์ของสถานศึกษาที่ต้องมีการหมุนเวียนกันถ่ายทอดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design SCPC system to imitate DAMA system
Student	Mr. Kamol Phongam
Student ID.	38061219
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2000
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Narong Heamkorn

ABSTRACT

Nowadays, VSAT provider are effect to economic crisis problems and fiber optic communication is expand to wide area and low price for service. The VSAT provider is looking new system for support new user, the DAMA system is interesting, that consists of TDMA for control DAMA system and SCPC system for high speed data. DAMA is save bandwidth but high price for system installation. For this result we design SCPC system to imitate DAMA system by using only SCPC system, that able to behave DAMA system. This design we made new software for control this system both host and remote stations. The maximum number of station are 5 stations, that limit by satellite delay from remote station control. The low speed 64 kbps are provide 1 telephones, 1 FAX, 1 channel of synchronous channel at 38.4 kbps and 2 asynchronous channels for system control. The total bandwidth is 75.2 kbps, that exceed to trunk bandwidth 17.5% but the system able to running because usually statistic multiplexer, that working at over speed bandwidth. The results of quality of telephone signal via multiplexer at C-band VSAT used FEC rate 3/4 at 64 kbps is high quality at E_b/N_o exceed to 6.8 dB, BER 10^{-8}. The high speed data at 384 kbps is E_b/N_o exceed to 7.8 dB, BER 10^{-8}. The FEC is direct effect to save system bandwidth, if used FEC rate 3/4 to save 20-26% bandwidth, FEC rate 7/8 to save 40-46% bandwidth compare with FEC rate 1/2. However the FEC rate 7/8 not stable signal because of high bit error rate at heavy raining day or sun outage day. This system design is to be appropriate video conference for long distance learning with revolve broadcast station.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและการให้คำปรึกษาเกี่ยวกับระบบสื่อสารข้อมูลผ่านดาวเทียม รวมทั้งได้ทำการตรวจสอบระบบจาก รศ. ณรงค์ เหมกรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อวิเชียร และคุณแม่ประเทือง ที่ได้อบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจตลอดจนการให้การสนับสนุนลูกคนนี้ในการศึกษาเล่าเรียนมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณครูและอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนข้าพเจ้ามาจนเป็นข้าพเจ้าได้ในทุกวันนี้

ขอขอบคุณบริษัท คอมพิวเนท คอร์ปอเรชัน จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทดลอง และเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิศวกรรมของบริษัทคอมพิวเนท ทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในเรื่องระบบต่างๆ คุณไพโรจน์ วิริยะปราโมทย์ ที่ได้ให้คำแนะนำในเรื่องระบบสื่อสารข้อมูลและเทคโนโลยีใหม่ๆ และคุณสุคนธา ขุนทอง ที่ช่วยเหลือในด้านต่างๆ มาโดยตลอด ซึ่งทำให้การวิจัย และการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขออำนาจคุณพระศรีรัตนตรัยและสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลาย จงช่วยคลบันดาลให้ทุกๆ ท่านที่กล่าวถึงนั้นประสบความสำเร็จ มีความสุขความเจริญ ในหน้าที่การงานทุกประการ

กมล โพธิ์งาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง X

สารบัญภาพ XI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาของการวิจัย..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3 หลักการใหม่ที่นำเสนอ 2

1.4 เปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิม 3

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์. 4

บทที่ 2 ระบบสื่อสารดาวเทียมและการคำนวณเบื้องต้น 6

2.1 กล่าวนำ 6

2.2 ระบบการสื่อสารดาวเทียมแบบ SCPC 6

2.3 ระบบการสื่อสารดาวเทียมแบบ TDMA 8

2.4 ระบบการสื่อสารดาวเทียมแบบ DAMA 12

2.4.1 ข้อดีของระบบ 13

2.4.2 การจัดการแบนด์วิดท์ 16

2.5 เวลาหน่วง 17

2.6 พารามิเตอร์ต่างๆ และการคำนวณ link budget ของระบบสื่อสารดาวเทียม 20

2.6.1 อัตราขยายของจานสายอากาศ 20

2.6.2 การคำนวณหาค่าความหนาแน่นกำลังงานฟลั๊กซ์ 21

2.6.3 การคำนวณการสูญเสียเนื่องจากบรรยากาศว่าง 23

2.6.4 การหาค่า EIRP 23

2.6.5 การหาค่า C/N_o 23

2.6.6 การหาค่า C/I_o 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.7 การหาค่า Carrier Input Back Off 26

2.6.8 การหาค่า Carrier Intermodulation Noise 27

2.6.9 การหาค่า E_b/N_o ของระบบ 27

2.6.10 ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดของระบบ 27

2.6.11 การหาค่า G/T ของระบบ 28

2.6.12 การหาค่ามุมก้มเงยของจานสาอากาศ 28

2.6.13 การแปลงช่องสัญญาณดาวเทียม 29

2.7 การมอดดูเลตและการจัดสรรแบนด์วิดท์ 30

2.7.1 การมอดดูเลตแบบ QPSK 31

2.7.2 แบนด์วิดท์ของสัญญาณ RF 34

2.7.3 อัตราบิตผิดพลาด 34

2.7.4 การแก้ความผิดพลาด 38

บทที่ 3 ระบบโทรศัพท์และระบบสื่อสารข้อมูลผ่านดาวเทียมแบบ SCPC 40

3.1 ระบบโทรศัพท์ผ่านดาวเทียมแบบ VSAT 40

3.1.1 ระบบโทรศัพท์ 40

3.2 การเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านตัวมัลติเพลกซ์ 41

3.2.1 การเชื่อมต่อแบบ OPX กับ KTS แบบปลายทางไม่มีตู้สาขาอัตโนมัติ 42

3.2.2 การเชื่อมต่อแบบ OPX กับ KTS แบบมีตู้สาขาอัตโนมัติทั้ง 2 ด้าน 43

3.2.3 การเชื่อมต่อแบบ KTS กับ KTS 44

3.2.4 การเชื่อมต่อแบบ E&M กับ E&M 46

3.2.5 การเชื่อมต่อแบบ E&M กับ KTS 47

3.3 การเชื่อมต่อโทรสารผ่านระบบสื่อสารดาวเทียม 48

3.3.1 การเชื่อมต่อโทรสารโดยใช้เบอร์ต่อภายใน 49

3.3.2 การเชื่อมต่อโทรสารแบบสายคงที่ (Fixed Line) 49

3.3.3 การเชื่อมต่อโทรสารแบบสายตรง 50

3.4 ระบบสื่อสารข้อมูล 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.1 รูปแบบการสื่อสารข้อมูล.....51

3.4.1.1 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส 51

3.4.1.2 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส.....52

3.4.2 การมัลติเพลกซ์สัญญาณ 53

3.4.3 โครงข่ายสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์.....54

3.4.3.1 โครงข่าย LAN 54

3.4.3.2 โครงข่าย WAN.....58

บทที่ 4 การออกแบบระบบฮาร์ดแวร์และการออกแบบซอฟแวร์ 62

4.1 การออกแบบระบบทางด้านฮาร์ดแวร์ 62

4.1.1 จุดประสงค์ของการออกแบบ 62

4.1.2 โครงสร้างของระบบโดยรวม 62

4.1.3 การออกแบบระบบรับส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที 65

4.1.4 การออกแบบระบบรับส่งข้อมูลด้วยอัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที 71

4.1.5 การออกแบบระบบควบคุมการส่งสัญญาณจากต้นทาง 84

4.1.6 การออกแบบระบบควบคุมจากปลายทาง 87

4.1.7 การออกแบบสเปกตรัมและข้อจำกัดในการออกแบบ 88

4.1.8 โครงสร้างของระบบที่ใช้งานจริง 92

4.2 การออกแบบซอฟแวร์ 93

4.2.1 ส่วนเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ควบคุมเข้ากับพอร์ทควบคุมของ SDM 650B....93

4.2.2 การออกแบบซอฟแวร์เพื่อควบคุมระบบ 94

4.2.3 คำสั่งควบคุมการทำงานจริงของระบบ 100

4.2.4 โฟร์ชาร์ทในการควบคุมการทำงาน.....102

4.2.5 เมนูเริ่มต้นการทำงานของระบบ 102

4.2.6 เมนูพารามิเตอร์ 103

4.2.7 เมนูหลักของการควบคุม 104

4.2.8 ส่วนแสดงสถานะของแต่ละสถานี 105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 ผลการทดลอง..... 106

5.1 การติดตั้งและการปรับโพลาไรเซชันของจานสายอากาศ..... 106

5.1.1 ขั้นตอนการปรับโพลาไรเซชัน.....106

5.1.2 ผลที่เกิดจากการปรับจานสายอากาศที่ไม่ได้มาตรฐาน 109

5.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยและออกแบบ 111

5.3 การทดสอบระบบ 113

5.3.1 การทดสอบหาคุณสมบัติเฉพาะของระบบ 113

5.3.1.1 แบนด์วิดท์ของเครื่องรับส่งสัญญาณ SDM 650B ที่ 384 kbps 113

5.3.1.2 แบนด์วิดท์ของเครื่องรับส่งสัญญาณ SDM 650B ที่ 64 kbps.....116

5.3.1.3 การทดสอบ BER ของเครื่องรับส่งสัญญาณ SDM 650B ที่ 384 กิโลบิตต่อวินาที 118

5.3.1.4 การทดสอบ BER ของเครื่องรับส่งสัญญาณ SDM 650B ที่ 64 กิโลบิตต่อวินาที 122

5.3.1.5 การทดสอบ BER ผ่านตัวมัลติเพลกซ์ MICOM..... 123

5.3.1.6 การทดสอบการซิมมูเลตข้อมูลผ่านตัวมัลติเพลกซ์ 126

5.3.1.7 ค่าเวลาหน่วงและค่า Round Trip Time ของระบบที่ออกแบบ 130

5.3.1.8 การเปรียบเทียบค่า BER และค่า E_b/N_o ของการส่งที่ 64kbps 134

5.3.1.9 การเปรียบเทียบค่า BER และค่า E_b/N_o ของการส่งที่ 384kbps 135

5.3.1.10 การเปรียบเทียบค่า BER และ E_b/N_o ของการส่งที่ 64kbps และ 384kbps 135

5.3.1.11 การเปรียบเทียบค่ากำลังงานส่งและค่า E_b/N_o ของการส่งที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที 136

5.3.1.12 การเปรียบเทียบค่ากำลังงานส่งและค่า E_b/N_o ของการส่งที่อัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที 137

5.3.1.13 การเปรียบเทียบค่ากำลังงานส่งและค่า E_b/N_o ของการส่งที่ 64 กิโลบิตต่อวินาทีกับ 384 กิโลบิตต่อวินาที 138

5.3.1.14 การเปรียบเทียบค่า C/N และค่า E_b/N_o ของการส่งที่ 64kbps.....138

5.3.1.15 การเปรียบเทียบค่า C/N และค่า E_b/N_o ของการส่งที่ 384kbps.....139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3.1.16 การเปรียบเทียบค่า C/N และค่า E_b/N_o ของการส่งที่ 64kbps และ 384 kbps. 140

5.3.2 การทดสอบระบบใช้งานจริง 141

5.3.2.1 ค่า E_b/N_o และ BER ที่ใช้งานจริง 141

5.3.2.2 ค่า E_b/N_o ที่ทำให้เกิดการขอส่งข้อมูลซ้ำ 142

5.3.2.3 เวลาในการสวิตช์สถานี 143

5.3.2.4 ระดับความแรงของสัญญาณในการสวิตช์สถานีเทียบกับค่า E_b/N_o ของสถานี 143

5.4 การกำหนดพารามิเตอร์ของตัวมัลติเพลกซ์ในการออกแบบ.....145

5.4.1 การกำหนดพารามิเตอร์ของพอร์ทอะซิงโครนัสของตัวมัลติแพลกซ์สำหรับชุดควบคุม 145

5.4.2 การกำหนดพารามิเตอร์ของพอร์ทซิงโครนัสสำหรับการเชื่อมโยงเราท์เตอร์ 146

5.4.3 การกำหนดพารามิเตอร์ของพอร์ทสัญญาณเสียงของตัวมัลติเพลกซ์.....147

5.4.4 การกำหนดพารามิเตอร์ของพอร์ทโทรสารของตัวมัลติเพลกซ์.....148

5.4.5 การตรวจสอบสถานะของพอร์ทสื่อสารข้อมูล.....148

5.4.6 การตรวจสอบสถานะของพอร์ทเสียงของตัวมัลติเพลกซ์.....149

5.5 การกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์เพื่อเชื่อมโยงโครงข่าย.....150

5.5.1 เราท์เตอร์ Cisco ที่ใช้ในระบบ 152

5.5.2 ตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ของราท์เตอร์แบบ HDLC เพื่อใช้งาน 152

5.5.3 ตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์แบบ X.25.....153

5.5.4 ตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์แบบ PPP.....154

5.5.5 การตรวจสอบการทำงานของเราท์เตอร์.....155

5.5.5.1 การทดสอบด้วยการดูสถานะของพอร์ทของเราท์เตอร์.....155

5.5.5.2 การทดสอบด้วยการ Ping IP Address.....156

5.5.5.3 การทดสอบด้วยการ Telnet 158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ. 159

เอกสารอ้างอิง.....162

ภาคผนวก. 164

- ภาคผนวก ก. ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ 165
- ภาคผนวก ข. โปรแกรมช่วยในการคำนวณการออกแบบ 166
- ภาคผนวก ค. โปรแกรมที่ออกแบบเพื่อควบคุมระบบ. 173

ประวัติผู้เขียน 193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 แบนด์วิดท์ต่อจำนวนสถานีของระบบ DAMA 90

4.2 การเปรียบเทียบแบนด์วิดท์ของระบบ DAMA กับระบบที่ออกแบบ 91

5.1 การเปรียบเทียบระดับสัญญาณ 114

5.2 การเปรียบเทียบอัตราข้อมูล 64 kbps กับค่า ρ ที่ค่า FEC ต่างๆ 117

5.3 การเปรียบเทียบอัตราข้อมูล 384 kbps กับค่า ρ ที่ค่า FEC ต่างๆ 118

5.4 การเปรียบเทียบค่าเวลาหน่วงของเครื่องรับส่ง SDM 650B กรณีต่างๆ 131

5.5 การเปรียบเทียบค่า Round Trip Time ของเครื่องรับส่ง SDM 650B กรณีต่างๆ 133

5.6 ค่า BER และ E_b/N_o ของระบบที่ออกแบบ 142

5.7 ความเร็วในการสวิตช์สถานี 143

5.8 เวลาในการซิงโครนัสของสัญญาณเทียบกับค่า E_b/N_o ที่การส่งข้อมูล 64 kbps 144

5.9 เวลาในการซิงโครนัสของสัญญาณเทียบกับค่า E_b/N_o ที่การส่งข้อมูล 384 kbps 144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1.1 โครงสร้างการทำงานของระบบที่ออกแบบ 2
1.2 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างการทำงานของระบบ DAMA 4
2.1 การเชื่อมต่อระบบสื่อสารดาวเทียมแบบ SCPC 7
2.2 สถานีภาคพื้นดินกลางขนาดเล็กระบบ SCPC 7
2.3 การทำงานระบบ TDMA 8
2.4 โครงสร้างของเฟรมในระบบ TDMA 9
2.5 โครงสร้างของ Reference Burst และ Traffic Burst 10
2.6 โครงสร้างของระบบ DAMA 12
2.7 การเชื่อมต่อแบบสถานีภาคพื้นดินกลางขนาดเล็ก 13
2.8 การต่อแบบเมชสมบูรณ์ 14
2.9 การจัดการแบนด์วิดท์ของระบบ DAMA 16
2.10 การวางตำแหน่งดาวเทียมในวงโคจร GEO 18
2.11 วงโคจรของดาวเทียม 19
2.12 การเชื่อมโยงขาขึ้นของระบบดาวเทียม 23
2.13 การเชื่อมโยงขาลงของระบบดาวเทียม 24
2.14 วงจรมอดูเลตแบบ QPSK 31
2.15 การดีเทคสัญญาณแบบโคฮีเรนท์ 32
2.16 บล็อกไดอะแกรมของวงจรดีมอดูเลตแบบโคฮีเรนท์ 32
2.17 วงจรดีมอดูเลตสัญญาณ QPSK 33
2.18 ผลรวมของสัญญาณ QPSK ที่ได้จากสัญญาณ QPSK 33
2.19 เครื่องรับสัญญาณ PSK 34
2.20 พรอบบะบิลิตีเดนซิตีฟังก์ชั่นของ PSK 36
2.21 ขบวนการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชัน 38
3.1 โครงสร้างของตู้สาขาอัตโนมัติ 40
3.2 รูปแบบการบอกตำแหน่งและชนิดของโมดูล 42
3.3 การเชื่อมต่อแบบ OPX กับ KTS แบบปลายทางไม่มีตู้สาขาอัตโนมัติ 42
3.4 การเชื่อมต่อแบบ OPX กับ KTS แบบมีตู้สาขาอัตโนมัติทั้ง 2 ด้าน 44
3.5 การเชื่อมต่อแบบ KTS กับ KTS 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.6 การใช้ระบบสวิตช์ชิ่งของตัวมัลติแพลกซ์ 45
3.7 การต่อ PABX แบบ E&M กับ E&M 46
3.8 การเชื่อมต่อ PABX แบบ E&M กับ KTS 47
3.9 การต่อ PABX แบบ E&M กับ KTS ที่มีตู้สาขาอัตโนมัติทั้ง 2 ด้าน 48
3.10 การเชื่อมต่อโทรสารผ่านระบบแบบใช้เบอร์ต่อภายใน 49
3.11 การเชื่อมต่อโทรสารแบบสายคงที่ (Fixed Line) 50
3.12 การเชื่อมต่อโทรสารแบบสายตรง 50
3.13 เฟรมการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส 51
3.14 โครงสร้างของคาแรกเตอร์โอเรียนต์ 52
3.15 โครงสร้างบิตโอเรียนต์ 53
3.16 การมัลติเพลกซ์สัญญาณ 53
3.17 การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย LAN 2 โครงข่าย 55
3.18 การต่อระบบส่งข้อมูลความเร็วต่ำเข้ากับระบบส่งข้อมูลความเร็วสูง 56
3.19 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับโครงข่ายข้อมูลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ 57
3.20 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ PAD เข้ากับโครงข่าย AA/TDMA 59
3.21 การเชื่อมต่อเราท์เตอร์ด้วย X.25 ผ่านระบบดาวเทียม TDM/TDMA 59
3.22 การเชื่อมต่อเราท์เตอร์แบบ PPP 60
3.23 การเชื่อมต่อเราท์เตอร์ผ่านตัวมัลติเพลกซ์แบบ HDLC 60
3.24 การต่อเราท์เตอร์แบบเฟรมรีเลย์เพื่อเชื่อมโยงโครงข่าย 61
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระบบ 63
4.2 โครงสร้างของระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA 64
4.3 การเชื่อมต่อชุดส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที 65
4.4 เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B 66
4.5 การต่ออินเตอร์เฟสแบบ RS-449 กับอินเตอร์เฟส V.35 67
4.6 อินเตอร์เฟสลูปปลั๊กของ RS-449 68
4.7 CODEC BT ที่ใช้เชื่อมต่อเพื่อส่งสัญญาณภาพ 68
4.8 แบนด์วิดท์ที่ 384 kbps ที่ FEC อัตรา 3/4 69
4.9 จานสายอากาศพาราโบล่าขนาด 3.7 เมตรที่ใช้งาน 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.10 การต่อชุดอุปกรณ์ภายนอกของจานสายอากาศ....70
4.11 ส่วนประกอบภายในของอุปกรณ์ RFT 71
4.12 รายละเอียดการเชื่อมต่อข้อมูลที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที 72
4.13 การต่อ pin assignment ของอินเตอร์เฟส V.35 และ RS-232C 73
4.14 แบนด์วิดท์ที่ 64 กิโลบิตต่อวินาที ที่ FEC อัตรา 3/4 73
4.15 โครงสร้างการต่อสัญญาณต่างๆ เข้ากับตัวมัลติเพลกซ์ 74
4.16 ตัวมัลติเพลกซ์ MICOM รุ่น 5K 75
4.17 รายละเอียดของตัวมัลติเพลกซ์ MICOM 76
4.18 โมดูลเสียงแบบคู่ของตัวมัลติเพลกซ์ MICOM 76
4.19 อินเตอร์เฟสของโมดูลสียงแบบ KTS 77
4.20 อินเตอร์เฟสของโมดูลสียงแบบ OPX 78
4.21 ซอฟแวร์แสดงตัวอย่างสถานะการต่อช่องสัญญาณ 79
4.22 สถานะของช่องสัญญาณเสียง 79
4.23 เมนูโปรของโตคอลแบบ DLC ของ MICOM รุ่น 5K 80
4.24 เราท์เตอร์ Cisco กับตัวมัลติพลกซ์ MICOM รุ่น 5K 81
4.25 การออกแบบระบบ LAN เพื่อเชื่อมโยงไปยังสถานีปลายทาง 81
4.26 การเชื่อมต่อระบบสื่อสารข้อมูลปลายทางไปที่ต้นทาง 82
4.27 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของสถานีด้านต้นทาง 83
4.28 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ปลายทาง 84
4.29 การต่ออุปกรณ์ควบคุมระบบและเส้นทางเดินของสัญญาณควบคุม 85
4.30 อุปกรณ์สวิตช์ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ 86
4.31 ตัวกระจายข้อมูลหรือ Sharing ที่ใช้ในการออกแบบ 86
4.32 การแปลงสายอินเตอร์เฟส RS-485 เป็น RS-232C 87
4.33 การส่งสัญญาณควบคุมจากปลายทาง 88
4.34 การเปรียบเทียบสเปกตรัมสัญญาณ 89
4.35 กราฟเปรียบเทียบความคุ้มของระบบที่ออกแบบกับระบบ DAMA 91
4.36 โครงสร้างของระบบที่ใช้งานจริง 92
4.37 การต่อสายควบคุมกรณี RS-232C กับ RS-485 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.38 การกำหนดพารามิเตอร์ของโปรแกรมที่ใช้ควบคุม SDM 650B 94

4.39 รูปแบบคำสั่งและการตอบสนอง 95

4.40 คำสั่งควบคุมระยะไกล 95

4.41 คำสั่งการเปลี่ยนความถี่ด้านส่งและด้านรับ 96

4.42 คำสั่งส่งและหยุดส่งคลื่นวิทยุ 97

4.43 คำสั่งตรวจสอบสถานะของ SDM 650B 97

4.44 คำสั่ง Clear Fault 98

4.45 คำสั่งในการทดสอบระบบ 99

4.46 คำสั่งในโหมดส่งคลื่นต่อเนื่อง (CW) 100

4.47 การกำหนดพารามิเตอร์ในการเปลี่ยนสถานีส่ง 101

4.48 ตัวอย่างชุดคำสั่งควบคุมฯ 101

4.49 โฟร์ชาร์ทของโปรแกรมควบคุมการทำงาน 102

4.50 เมนูการเลือกสถานที่และคอมพอร์ท 103

4.51 เมนูพารามิเตอร์ในการกำหนดการเลือกใช้อุปกรณ์ 104

4.52 เมนูหลักในการทำงานของระบบ 105

4.53 หน้าจอสถานะการทำงานของ SDM 650B 105

5.1 การปรับโพลาไรเซชันของจานสายอากาศ 107

5.2 ครอสโพลาไรเซชันในการปรับจานสายอากาศ 107

5.3 (ก) สัญญาณ CW ทางด้าน Co-Polarization 109

5.3 (ข) สัญญาณ CW ทางด้าน Cross-Polarization 109

5.4 (ก) สัญญาณที่เกิดจากการมอดูเลตที่โพลาไรเซชันไม่ได้มาตรฐาน 110

5.4 (ข) สัญญาณที่เกิดจากการรบกวนเนื่องจากโพลาไรเซชันไม่ได้มาตรฐาน 110

5.5 การเกิดสัญญาณรบกวนขณะมีการใช้ช่องสัญญาณอยู่ 111

5.6 จานสายอากาศขนาด 3.7 เมตรแบบพาราโบลาที่ใช้ทดลอง 112

5.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 112

5.8 การต่ออุปกรณ์เพื่อวัดแบนด์วิดท์ของระบบผ่านสเปกตรัม 113

5.9 (ก) ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ 384 kbps ที่ FEC 1/2 115

5.9 (ข) ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ 384 kbps ที่ FEC 3/4 115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

5.9 (ค) ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ 384 kbps ที่ FEC 7/8 115

5.10 (ก) ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ 64 kbps ที่ FEC 1/2 116

5.10 (ข) ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ 64 kbps ที่ FEC 3/4 116

5.10 (ค) ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ 64 kbps ที่ FEC 7/8 116

5.11 การต่ออุปกรณ์ทดสอบ BER ของระบบ 119

5.12 ลูปปลั๊กของอินเตอร์เฟส V.35 เพื่อใช้ในการทดสอบอินเตอร์เฟส 119

5.13 การทดสอบ BER ที่เวลา 2 ชั่วโมง 30 นาทีแบบไม่มีอัตราบิตผิดพลาด 120

5.14 การทดสอบ BER ที่เวลา 2 ชั่วโมง 3 นาทีแบบมีอัตราบิตผิดพลาด 120

5.15 การเกิดบิตผิดพลาดแสดงในรูปแบบของกราฟ 121

5.16 เมนูแสดงผลแบบละเอียดของการทดสอบ BER 121

5.17 การทดสอบ BER ที่อัตรา 64 kbps ผ่าน SDM 650B 122

5.18 การต่อลูปปลั๊กสำหรับอินเตอร์เฟส RS-232C 123

5.19 อินเตอร์เฟส RS-232C ของ MICOM 124

5.20 หน้าจออินเตอร์เฟสของเครื่องทดสอบ BER HP 4952 124

5.21 การทดสอบ BER ที่พอร์ท RS-232C ของตัวมัลติแพลกซ์ 125

5.22 การกำหนดโปรโตคอลแบบ DLC เพื่อใช้ทดสอบซิมมูเลตของตัวมัลติเพลกซ์ 126

5.23 เมนูของโปรโตคอล 4952 ที่ใช้กำหนดพารามิเตอร์ในการทำงาน 127

5.24 เมนูการเขียนคำสั่งซิมมูเลตของโปรโตคอล 4952 แบบ DTE 127

5.25 ผลของการซิมมูเลตของโปรโตคอลแบบ HDLC 128

5.26 ผลของการซิมมูเลตของโปรโตคอลแบบ HDLC มี Bad 129

5.27 ผลของการซิมมูเลตของโปรโตคอลแบบ HDLC มี Abort 129

5.28 ทิศทางการวัดเวลาหน่วงของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม 130

5.29 การเปรียบเทียบเวลาหน่วงของระบบดาวเทียม 132

5.30 การวัดค่า Round trip time ของ SDM 650B 133

5.31 การเปรียบเทียบค่า E_b/N_o กับ BER ที่อัตราข้อมูล 64 kbps 134

5.32 การเปรียบเทียบค่า E_b/N_o กับ BER ที่อัตราข้อมูล 384 kbps 135

5.33 การเปรียบเทียบค่า E_b/N_o กับ BER ที่อัตราข้อมูล 64 และ 384 kbps 136

5.34 การเปรียบเทียบค่ากำลังงานส่งและ E_b/N_o ของการส่งที่ 64 kbps 136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

5.35 การเปรียบเทียบค่ากำลังงานส่งและ E_b/N_o ของการส่งที่ 384 kbps 137

5.36 การเปรียบเทียบค่ากำลังงานส่งและ E_b/N_o ของการส่งที่ 64 และ 384 kbps 138

5.37 การเปรียบเทียบค่า C/(N+I) และ E_b/N_o ของการส่งที่ 64 kbps....139

5.38 การเปรียบเทียบค่า C/(N+I) และ E_b/N_o ของการส่งที่ 384 kbps....139

5.39 การเปรียบเทียบค่า C/(N+I) และ E_b/N_o ของการส่งที่ 64 kbps และ 384 kbps 140

5.40 ชุดอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบ 141

5.41 การวัด Retransmits ในตัวมัลติเพลกซ์ที่ค่า E_b/N_o ได้ 5.7 dB 142

5.42 อินเตอร์เฟสของการกำหนดการทำงานแบบอะซิงโครนัส 145

5.43 อินเตอร์เฟสของการทำงานแบบซิงโครนัสของตัวมัลติเพลกซ์ 146

5.44 อินเตอร์เฟสของการกำหนดพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณเสียง 147

5.45 อินเตอร์เฟสของการต่อระบบโทรสาร 148

5.46 สถานะทางกายภาพของพอร์ท 149

5.47 การตรวจสอบการทำงานของช่องสัญญาณเสียง 149

5.48 การเชื่อมต่อพอร์ทของตัวมัลติเพลกซ์ 150

5.49 การเชื่อมต่อเราท์เตอร์และการกำหนด IP Address 151

5.50 การต่อเราท์เตอร์ที่ใช้ในระบบ 151

5.51 เราท์เตอร์ Cisco 2509 152

5.52 ตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์แบบ HDLC 153

5.53 ตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์แบบ X.25 154

5.54 ตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์แบบ PPP 155

5.55 การดูสถานะของพอร์ท Ethernet ของเราท์เตอร์ 156

5.56 การดูสถานะของพอร์ท Serial 1 ของเราท์เตอร์ 156

5.57 การ Ping IP Address ของเราท์เตอร์ผ่านระบบไมโครเวฟ 157

5.58 การ Ping IP Address ผ่านดาวเทียมระบบ TDMA 157

5.59 การ Ping เราท์เตอร์ผ่านระบบดาวเทียมที่ออกแบบ 158

ข-1 เมนูหลักของโปรแกรมช่วย 166

ข-2 อินเตอร์เฟสของเมนูการคำนวณช่องสัญญาณ 167

ข-3 เมนูการคำนวณมุม Elevation และมุม Azimuth 168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ข-4 การคำนวณหาอัตราขยายของจานสายอากาศ 169

ข-5 เมนูการหาค่า EIRP ของจานสายอากาศ 170

ข-6 เมนูการหาค่า C/N ของระบบ 171

ข-7 เมนูการหาค่า E_s/N_o ของจานสายอากาศและค่า G/T... 172

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของการวิจัย

ในปัจจุบันนี้ผู้ประกอบการระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมในเมืองไทยกำลังประสบปัญหากับการประกอบการอันเนื่องมาจากผลกระทบของปัญหาเศรษฐกิจ ทำให้ผู้ใช้บริการต้องยกเลิกการขอใช้บริการเป็นจำนวนมาก อีกทั้งผู้ใช้บริการมีตัวเลือกของผู้ให้บริการที่มีจำนวนมาก และระบบสื่อสารด้านใยแก้วนำแสงซึ่งเป็นคู่แข่งที่สำคัญในปัจจุบันก็สามารถให้บริการเป็นพื้นที่กว้างขึ้นประกอบกับราคาที่ถูกกว่าทำให้ผู้ประกอบการด้านสื่อสารดาวเทียมในเมืองไทยต้องหาระบบสื่อสารดาวเทียมที่ใหม่เข้ามาแข่งขัน ในที่นี้ระบบหนึ่งที่เข้ามาคือระบบ DAMA [1] แต่ระบบนี้ค่อนข้างต้องลงทุนสูงในการติดตั้งระบบ ในวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอการออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA [2] เพื่อนำเอาระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมระบบเก่า (SCPC) ที่มีอยู่และอุปกรณ์เก่าที่มีอยู่มาใช้งานทดแทนระบบใหม่ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบในด้านการลงทุนแล้วแทบจะไม่ต้องลงทุนวางระบบใหม่เพิ่มเลย ทำให้การใช้งานระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเทียบกับการลงทุนวางระบบใหม่ นอกจากนี้ยังศึกษาเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ของระบบให้เกิดประโยชน์มากที่สุด เช่นการจัดสรรแบนด์วิดท์การเลือกใช้การเข้ารหัสแบบ FEC [3] ด้วยอัตรา 3/4 แทน FEC อัตรา 1/2 ซึ่งสามารถประหยัดแบนด์วิดท์ของระบบได้ 20-26% การออกแบบระบบส่งข้อมูล การเชื่อมต่อระบบโทรศัพท์ และโทรสารผ่านตัวมัลติเพลกซ์ในระบบสื่อสารดาวเทียม VSAT [4]

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

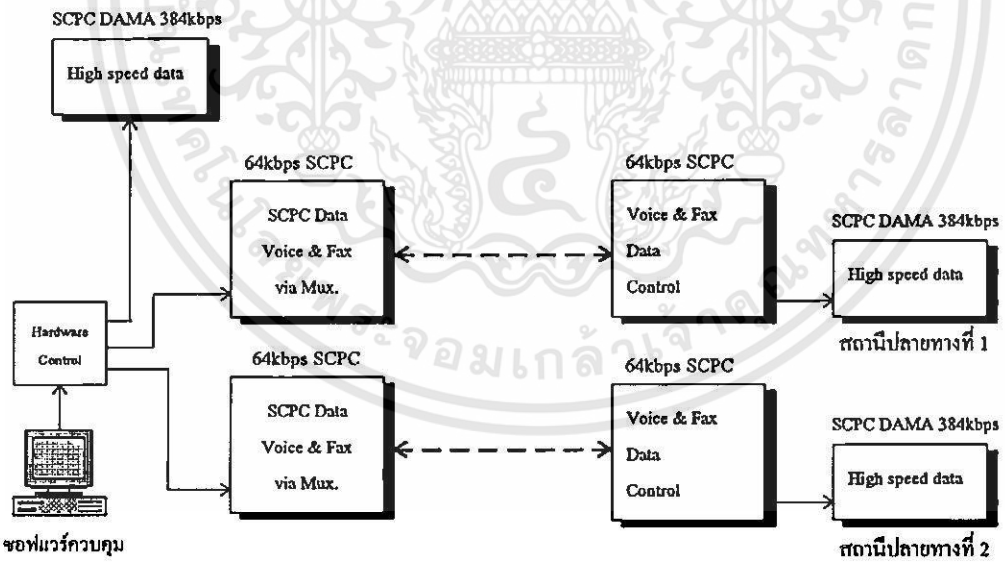
การออกแบบระบบสื่อสารดาวเทียมแบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อระบบ DAMA เข้ามาใช้งานสื่อสารดาวเทียมซึ่งต้องใช้เงินเป็นจำนวนมากและด้วยเศรษฐกิจที่ไม่ดีเช่นนี้ทำให้การลงทุนย่อมไม่คุ้มค่า อีกทั้งอุปกรณ์เก่าที่มีอยู่ถ้าปล่อยทิ้งไว้เฉยๆ ย่อมไม่เกิดประโยชน์แต่อย่างใด ถ้าหากสามารถนำมาดัดแปลงให้สามารถใช้งานได้มีประโยชน์ และมีประสิทธิภาพที่มากขึ้น ย่อมทำให้เกิดผลประโยชน์ต่อบริษัทมากยิ่งขึ้น อีกทั้งปัจจุบันการควบคุมเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B[5] ยังมิได้มีการเขียนซอฟแวร์เพื่อใช้ในการควบคุมออกมา มีแต่การควบคุมโดยการใช้ฟังก์ชั่นคีย์หน้าเครื่องเท่านั้น ดังนั้นการควบคุมด้วยซอฟแวร์จึงถือเป็นสิ่งใหม่ที่เพิ่มเข้ามาในระบบนี้ด้วย นอกจากนี้ยังมีหลายบริษัทที่ใช้เครื่องรับส่งสัญญาณ SDM 650B อยู่ทั้งในประเทศและต่างประเทศ จึงสามารถนำทั้งซอฟแวร์และการออกแบบระบบไปใช้งานได้อย่างแพร่หลาย ในส่วนของการออกแบบระบบสื่อสารผ่านดาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทียม VSAT ไม่ว่าจะเป็นการส่งข้อมูล โทรศัพท์และโทรสารเป็นการศึกษาการออกแบบระบบเพื่อใช้งานจริง ตลอดจนการจัดระบบให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากที่สุด

1.3 หลักการใหม่ที่นำเสนอ

การออกแบบระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมแบบ SCPC เลียนแบบการทำระบบ DAMA เป็นการนำเสนอระบบ SCPC ทำหน้าที่เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA โดยทำการติดตั้งระบบ SCPC 2 ชุดคือระบบ SCPC ที่ส่งข้อมูลด้วยอัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาทีซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อกับตัวมัลติเพลกซ์ และส่วนที่ 2 เป็นระบบ SCPC ที่ส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที ทำหน้าที่ต่อกับอุปกรณ์รับส่งข้อมูลความเร็วสูงหรืออุปกรณ์จำพวกวีดีโอคอนเฟอร์เรนซ์ โดยทั้งสองส่วนใช้เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B เป็นหลัก ซึ่งแตกต่างกับระบบ DAMA ทั่วๆไป อาศัยการทำงานของระบบ TDMA [4] กับระบบ SCPC ทำงานควบคู่กัน สำหรับการสั่งงานของระบบที่ออกแบบจะอาศัยช่องสัญญาณในตัวมัลติเพลกซ์เป็นตัวนำสัญญาณคำสั่งไปยังสถานีปลายทาง ในที่นี้ได้ออกแบบซอฟแวร์เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานไม่ว่าจะเป็นการสั่งให้เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมทำการส่งคลื่นพาห์หรือหยุดส่งคลื่นพาห์ ตลอดจนการแสดงค่า E_b/N_o และค่าอัตราบิตผิดพลาดของเครื่องรับส่งสัญญาณแต่ละตัวในระบบ



รูปที่ 1.1 โครงสร้างการทำงานของระบบที่ออกแบบ

ในการออกแบบซอฟแวร์ซึ่งสามารถแสดงผลการทำงานของระบบต่างๆ ได้แล้ว ในซอฟแวร์[6] ยังบรรจุซอฟแวร์ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบสื่อสารดาวเทียมที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสริมเข้าไปให้มีประสิทธิภาพในการทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพได้แก่ซอฟแวร์ที่ใช้หาค่า E_b/N_o การหาค่า EIRP ค่ามุมก้มมุมเงยของจานสายอากาศและการคำนวณ link budget ตลอดจนซอฟแวร์ในการหาช่องสัญญาณดาวเทียมของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมแต่ละรุ่นที่ค่าความถี่เดียวกัน

ในรูปที่ 1.1 เป็นโครงสร้างของการออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA ซึ่งภายในระบบประกอบด้วยชุดเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม 2 ชุด ชุดแรกทำหน้าที่ในการรับส่งสัญญาณที่อัตราความเร็ว 384 กิโลบิตต่อวินาที และมีการทำงานแบบ SCPC DAMA เช่นเดียวกับระบบ DAMA โดยมีการควบคุมการทำงานจากซอฟแวร์ที่ออกแบบ และในชุดที่สองเป็นเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมแบบ SCPC ทำการเชื่อมต่อกับตัวมัลติเพลกซ์ของสถานีปลายทางเข้ากับสถานีต้นทาง โดยตัวมัลติเพลกซ์นี้ทำหน้าที่ส่งสัญญาณโทรศัพท์ โทรสาร และระบบสื่อสารข้อมูลโครงข่ายคอมพิวเตอร์ของแต่ละสถานีเข้าด้วยกัน รวมทั้งการส่งสัญญาณควบคุมระบบ SCPC DAMA ของระบบทั้งจากด้านต้นทางและจากปลายทางผ่านตัวมัลติเพลกซ์นี้

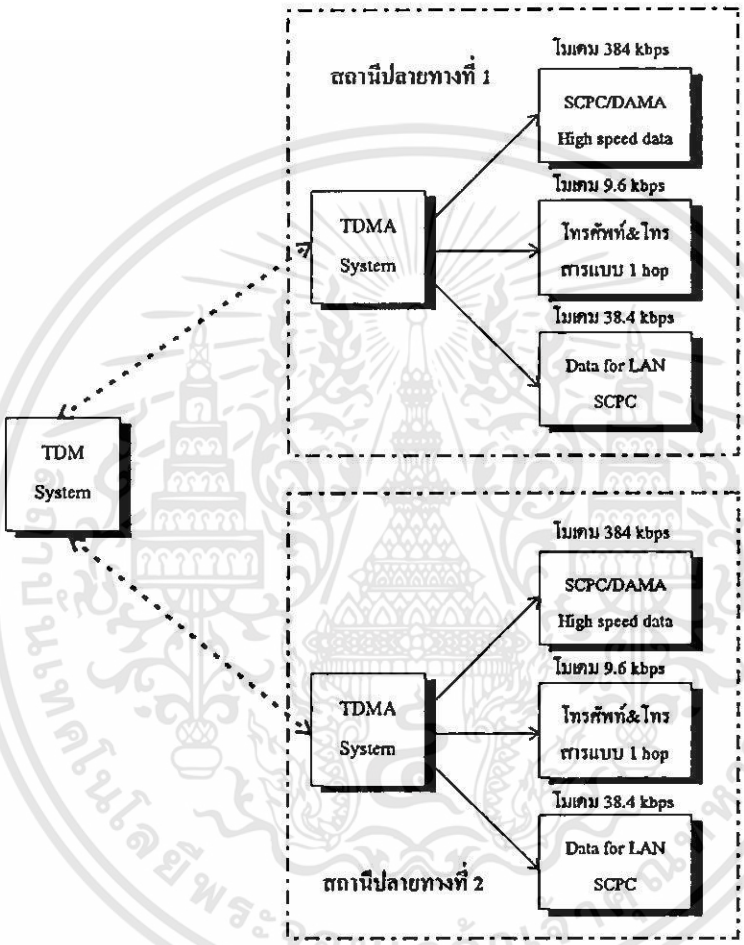
1.4 เปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิม

จากที่กล่าวมาแล้วว่าระบบ DAMA เป็นระบบที่ประกอบด้วยระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม 2 ระบบคือระบบ TDMA และระบบ SCPC โดยที่ระบบ TDMA ทำหน้าที่ในการควบคุมการสั่งงานของระบบ ส่วนระบบ SCPC ทำหน้าที่เป็นส่วนสื่อสารรับส่งข้อมูลของระบบ DAMA ส่วนที่แตกต่างของระบบ DAMA กับระบบที่ออกแบบคือระบบการสั่งงาน เนื่องจากระบบ DAMA ใช้การสั่งงานผ่านระบบ TDMA แต่ระบบที่ออกแบบไม่มีระบบ TDMA เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นการสั่งงานจึงอาศัยระบบ SCPC ที่มีอยู่โดยการฝากข้อมูลคำสั่งไปกับตัวมัลติเพลกซ์ไปที่สถานีต้นทางและทำการกระจายสัญญาณคำสั่งมาที่สถานีปลายทาง ซึ่งสิ่งที่ได้พัฒนาขึ้นในการออกแบบนี้คือการเขียนซอฟแวร์ขึ้นมาควบคุมการทำงานของระบบ โดยเป็นการควบคุมเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ให้สามารถส่งและหยุดส่งคลื่นพาห์ได้ตามต้องการเพื่อเป็นการเลียนแบบระบบ SCPC DAMA ซึ่งตัวซอฟแวร์นี้ยังไม่มีผู้ใดจัดสร้างออกมาใช้งาน นอกจากนี้ระบบที่ออกแบบยังสามารถใช้ได้กับหลายบริษัทเพราะเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมรุ่น SDM 650B มีใช้อยู่หลายบริษัททั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งถือเป็นผลดีของผู้ประกอบการด้านการสื่อสารดาวเทียมหลายราย ส่วนที่แตกต่างกันส่วนที่สองได้แก่ระบบส่งโทรศัพท์และระบบโทรสาร โดยระบบที่ออกแบบสามารถให้บริการโทรศัพท์ได้มากกว่า นอกจากนี้ระบบที่ออกแบบยังมีข้อดีกว่าตรงที่เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมเป็นแบบแยกชุดกัน ซึ่งถ้าหากเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมเครื่องใดเครื่องหนึ่งเสียหายระบบที่เหลือยังสามารถทำงานได้ แต่ระบบ DAMA ไม่สามารถทำงานได้

ในรูปที่ 1.2 เป็นโครงสร้างการทำงานของระบบ DAMA โดยภายในระบบประกอบด้วยระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม 2 ชนิดคือระบบ TDM/TDMA และระบบที่ 2 คือระบบ SCPC ในส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระบบ SCPC จะเป็นโมดูลของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมประกอบรวมกันเพื่อทำหน้าที่ส่งสัญญาณเสียงและโทรสารโดยใช้โมดูลเดียวกัน ส่วนโมดูลที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็วสูงถูกแยกต่างหากและมีการทำงานแบบ SCPC DAMA คือมีการส่งความถี่คลื่นพาห์เป็นช่วงเวลา และโมดูลที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระบบ LAN [7] เป็นโมดูลที่มีการทำงานเป็นแบบ SCPC คือมีการส่งคลื่นพาห์ตลอดเวลา



รูปที่ 1.2 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างการทำงานของระบบ DAMA

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบนำอุปกรณ์เก่าที่มีมาใช้ในการออกแบบเพื่อทดแทนระบบใหม่ให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันและไม่ต้องลงทุนติดตั้งระบบใหม่ซึ่งมีราคาแพงเมื่อเทียบกับสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีและการคำนวณระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ค่าอัตราขยายของจานสายอากาศและการหาค่าความน่าจะเป็นของค่า BER และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็น

บทที่ 3 เสนอรูปแบบการเชื่อมต่อระบบโทรศัพท์ โทรสารแบบต่างๆ ที่มีใช้กันอยู่โดยมีรูปแบบของโมดูลเสียงแบบ OPX, KTS และแบบ E&M [8] รวมถึงการทดสอบโมดูลแต่ละแบบ และทฤษฎีระบบการสื่อสารข้อมูลในรูปแบบต่างๆ การเชื่อมต่อโครงข่าย LAN ด้วยอุปกรณ์เราท์เตอร์โดยใช้โปรโตคอลรูปแบบต่างๆ

บทที่ 4 เป็นการออกแบบระบบทางด้านฮาร์ดแวร์ เช่น การต่ออุปกรณ์ต่างๆ รายการอุปกรณ์ของแต่ละสถานี การออกแบบระบบควบคุมการสื่อสารของระบบ SCPC DAMA การเชื่อมต่อระบบสื่อสารข้อมูล การส่งโทรศัพท์ การส่งโทรสาร และส่วนการออกแบบซอฟแวร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ

บทที่ 5 ผลการทดลองแบ่งการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นติดตั้งจานสายอากาศ การปรับโพลาไรเซชันของจานสายอากาศ ในส่วนการทดสอบระบบซึ่งยังแบ่งออกเป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเฉพาะของระบบ และการทดสอบการใช้งานจริง ซึ่งทั้ง 2 ส่วนประกอบด้วยการเปรียบเทียบค่า BER กับค่า E_b/N_o รวมถึงการเปรียบเทียบกำลังงานส่งกับค่า E_b/N_o การหาเวลาหน่วงในการส่งสัญญาณผ่านระบบ การหาค่า E_b/N_o ที่เหมาะสมกับการใช้งานระบบและอื่นๆ

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและออกแบบระบบรวมถึงข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาระบบ ตลอดจนปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะทำการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ระบบสื่อสารดาวเทียมและการคำนวณเบื้องต้น

2.1 กล่าวนำ

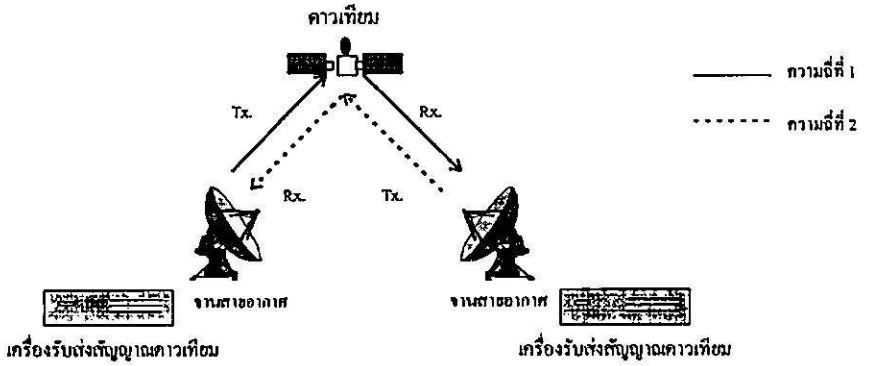
ในเมืองไทยการสื่อสารดาวเทียมโดยผู้ให้บริการเอกชนถือกำเนิดขึ้นตั้งแต่ปี 1991 โดยบริษัทผู้ดำเนินกิจการ 2 บริษัทแรกคือ บริษัทคอมพิวเนท คอร์ปอเรชั่นจำกัด และบริษัทสามารถ ระบบการสื่อสารดาวเทียมขนาดเล็กหรือที่เรียกว่า VSAT (Very Small Aperture Terminal) ที่ใช้กับการสื่อสารดาวเทียมในเมืองไทยส่วนใหญ่สามารถแบ่งเป็นระบบใหญ่ ๆ ได้ 3 ระบบ ได้แก่ระบบ SCPC (Single Channel Per Carrier) ซึ่งถือเป็นระบบเก่าและระบบที่ 2 ได้แก่ระบบ TDMA (Time Division Multiple Access) และระบบสุดท้ายที่เข้ามาในเมืองไทยไม่นานนี้ได้แก่ระบบ DAMA (Demand Assign Multiple Access) ซึ่งถือเป็นระบบที่รวมเอาเทคโนโลยีที่ทันสมัยของทั้งระบบ SCPC และระบบ TDMA เข้าด้วยกัน

2.2 ระบบการสื่อสารดาวเทียมแบบ SCPC

ระบบการสื่อสารดาวเทียมแบบ SCPC (Single Channel Per Carrier) มีหลักการทำงานคือ อาศัยการส่งคลื่นพาห์ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่าง 2 สถานีโดยในแต่ละสถานีจะใช้ความถี่ในการส่งหนึ่งความถี่และใช้ความถี่ในการรับอีกหนึ่งความถี่ โดยแต่ละช่องสัญญาณจะถูกมอดูเลตกับสัญญาณความถี่วิทยุ (RF) เพื่อส่งไปยังดาวเทียมและในการมอดูเลตสามารถทำได้ทั้งแบบแอนะลอก (FM) หรือแบบดิจิตอลเช่น QPSK และ BPSK เป็นต้น

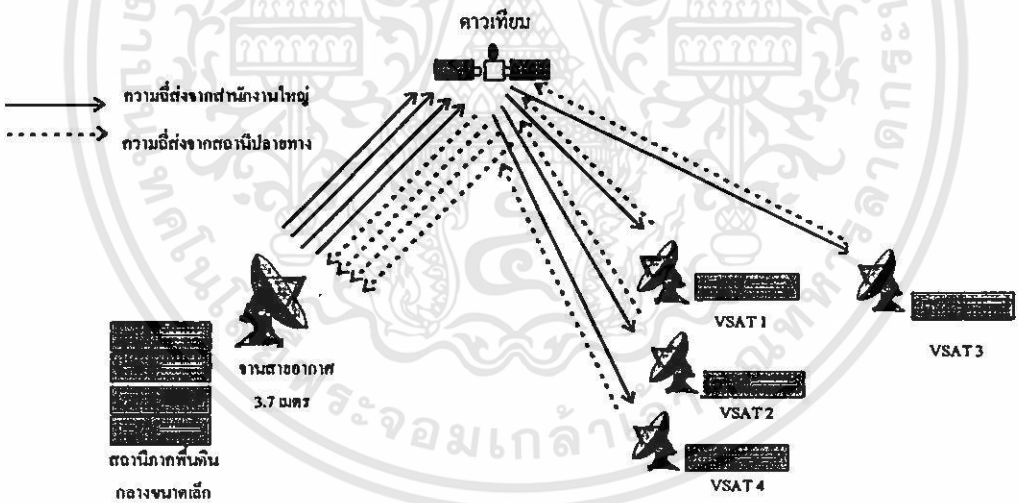
การสื่อสารดาวเทียมแบบ SCPC มีข้อเสียตรงที่มีความต้องการใช้ความถี่มากขึ้นเมื่อระบบมีขนาดใหญ่ขึ้นดังนั้นระบบนี้จึงไม่เหมาะแก่การใช้งานที่มีจำนวนลูกข่ายหนาแน่น เพราะจะสิ้นเปลืองความถี่ที่ใช้งานมากและทำให้สิ้นเปลืองค่าใช่จ่าย เมื่อเปรียบเทียบกับราคาค่าเช่าช่องสัญญาณดาวเทียม การออกแบบระบบ SCPC สามารถทำได้ง่ายแต่ต้องมีการคำนวณแบนด์วิดท์ของระบบและการคำนวณ link budget และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อทำให้เกิดความเหมาะสมต่อค่า EIRP และแบนด์วิดท์ของทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียม เช่นความสัมพันธ์ของอัตราขยายของจานสายอากาศกับขนาดของจานสายอากาศที่จะเลือกใช้ให้เหมาะสม โดยการออกแบบแต่ละการเชื่อมโยงจะต้องมีความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารเป็นคู่ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การเชื่อมต่อระบบสื่อสารดาวเทียมแบบ SCPC

จากรูปที่ 2.1 เป็นการเชื่อมต่อระบบสื่อสารดาวเทียมแบบ SCPC ซึ่งมีสถานีต้นทางและสถานีปลายทางเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน แต่ถ้าต้องการเชื่อมโยงหลายๆ สถานีเข้าด้วยกัน โดยเรียกจุดศูนย์กลางของการเชื่อมโยงว่า สถานีภาคพื้นดินกลางขนาดเล็ก (Mini Hub) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สถานีภาคพื้นดินกลางขนาดเล็กระบบ SCPC

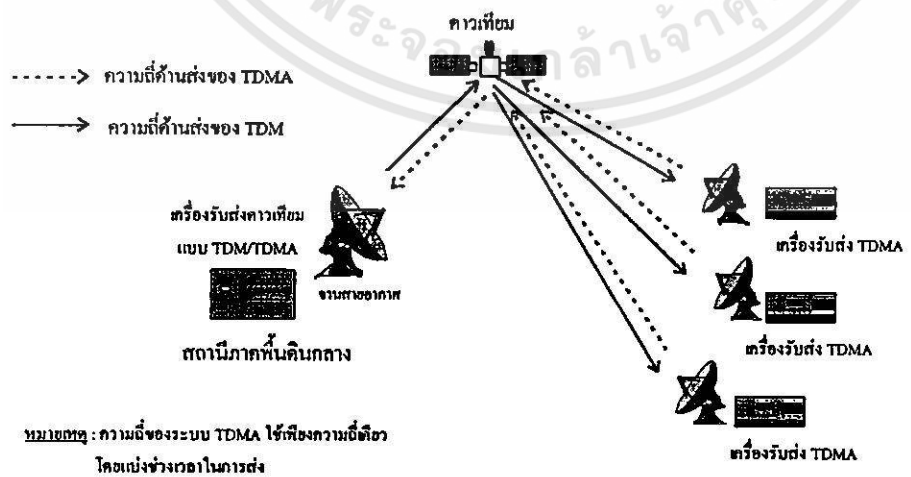
ในรูปที่ 2.2 เป็นการเชื่อมโยงสถานีภาคพื้นดินกลางขนาดเล็ก โดยสถานีศูนย์กลางต้องติดต่อไปยังสถานีปลายทาง (ในที่นี้เรียกว่า VSAT ปลายทาง) ทั้ง 4 แห่ง ดังนั้นสถานีภาคพื้นดินกลางขนาดเล็กต้องมีเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมถึง 4 เครื่องเพื่อใช้ในการสื่อสารและถ้าหาก VSAT 1 ต้องการติดต่อกับ VSAT 2 ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมโยงทางโทรศัพท์ การเชื่อมโยงทางข้อมูล VSAT 1 ต้องติดต่อเข้ามายังสถานีภาคพื้นดินกลางขนาดเล็ก และต่อเข้าระบบโทรศัพท์ภายในที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีกลางขนาดเล็ก แล้วจึงทำการส่งสัญญาณกลับไปยังสถานี VSAT 2 อีกที ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบ 2 hops ดังนั้นการทำงานของระบบจะเกิดเวลาหน่วง (delay time) เป็น 2 เท่าซึ่งเป็นข้อเสียของระบบสถานีภาคพื้นดินกลางขนาดเล็ก แต่ถ้าต้องการให้ระบบสามารถเชื่อมโยงแบบ hop เดียว การออกแบบก็ต้องมีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแต่ละแห่งเป็นจำนวนมากเพื่อให้เป็นการสื่อสารแบบเมชสมบูรณ์ (Full Mesh) คือต้องมีเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมแต่ละแห่งถึง 4 เครื่องและต้องมีความถี่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะเป็นการสิ้นเปลืองมาก

2.3 ระบบการสื่อสารดาวเทียมแบบ TDMA

ระบบการสื่อสารดาวเทียมแบบ TDMA(Time Division Multiple Access) เป็นระบบสื่อสารดาวเทียมที่มีการทำงานโดยอาศัยการติดต่อสื่อสารกันระหว่างสถานีต้นทางโดยสถานีที่ใช้ในระบบแบ่งออกเป็น 2 แบบคือสถานีภาคพื้นดินกลาง หรือที่เรียกว่าสถานี Hub โดยหน้าที่หลักของสถานี Hub ทำหน้าที่เป็นสถานีควบคุมโดยสถานีภาคพื้นดินกลางจะมีช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากสถานี VSAT ปลายทางเรียกว่าช่องสัญญาณขาเข้า (Inbound Channel) และช่องสัญญาณที่ใช้ในการกระจายข้อมูลไปยัง VSAT ปลายทางเรียกว่าช่องสัญญาณขาออก (Outbound Channel) โดยช่องสัญญาณขาออกส่วนใหญ่จะมีเพียงช่องสัญญาณเดียวแต่ช่องสัญญาณขาเข้าจะมีตั้งแต่สองถึงสามช่องสัญญาณสาเหตุที่มีหลายช่องสัญญาณขาเข้าเพราะว่าส่วนใหญ่ช่องสัญญาณขาเข้าจะมีแบนด์วิดท์ที่แคบกว่าช่องสัญญาณขาออกดังนั้นเพื่อสามารถรองรับการเข้าถึงของตัว VSAT ปลายทางกับสถานีแม่จึงต้องมีช่องสัญญาณขาเข้าที่เพิ่มขึ้นมา สถานีภาคพื้นดินกลาง (Hub) หนึ่งสถานีจะสามารถควบคุมการทำงานของสถานีลูกข่ายได้หลายๆ สถานีพร้อมๆ กันโดยการทำงานระบบหลักได้แก่การแบ่งการให้สถานีลูกเข้ามาใช้บริการแบบแบ่งเวลาและสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



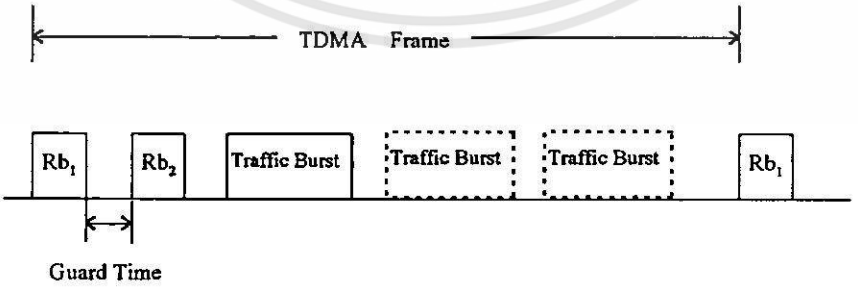
รูปที่ 2.3 การทำงานระบบ TDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบ TDMA แต่ละผู้รับบริการจะมีการแบ่งเป็น time slot เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลสำหรับข่าวสารของแต่ละผู้รับบริการ (Information burst) โดยที่แต่ละผู้รับบริการต้องมีสัญญาณ burst อ้างอิงเพื่อใช้เป็นตัวเข้าจังหวะกับข้อมูลข่าวสาร ซึ่งจะสร้างการมัลติเพลกซ์เฟรม TDMA เพื่อส่งข้อมูล ระบบที่ใช้เป็นตัวอย่างแบบง่ายๆ คือแบบ fixed assignment ของ time slot (บางครั้งเขียนแทนด้วย F-TDMA)และยังมีระบบ demand assignment ซึ่งเป็นระบบที่ให้ความยืดหยุ่นสูงกว่าสำหรับระบบ TDMA สัญญาณคลื่นพาห์สามารถเข้าถึงทรานสพอนเดอร์ของดาวเทียมโดยอาศัยช่วงเวลาระบบด้านขาลงสามารถใช้งานได้เต็มที่และไม่ต้องกังวนเรื่องการเกิด intermodulation เพราะใช้เพียงความถี่เดียวในช่วงเวลาหนึ่งๆ เท่านั้น จึงทำให้ไม่ต้องใช้ค่า back off ของตัวทรานสพอนเดอร์ทำให้ทรานสพอนเดอร์ในระบบ TDMA สามารถให้ค่า EIRP ได้สูงกว่าระบบ FDMA

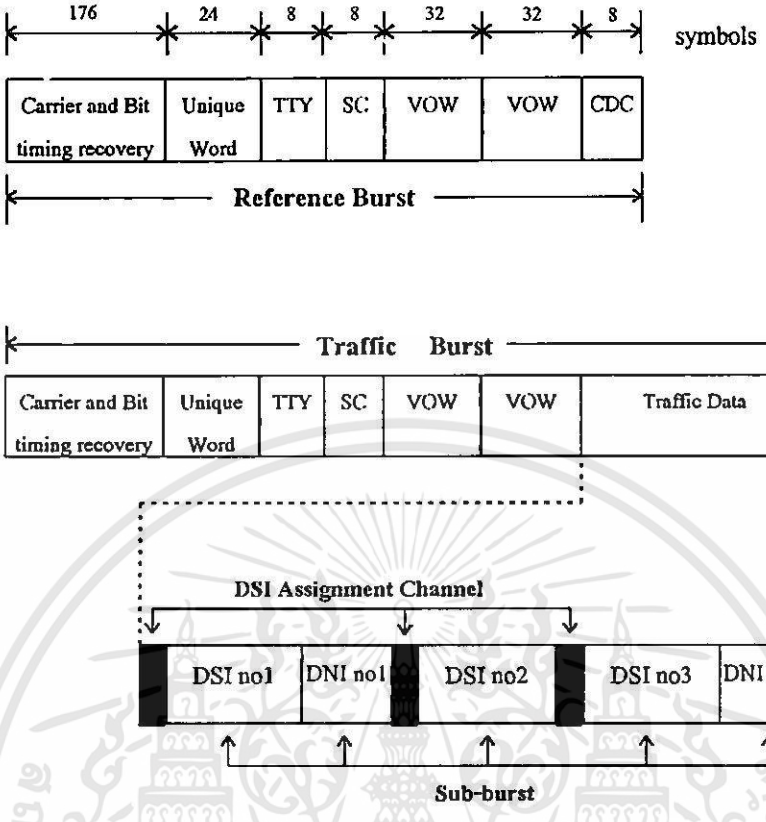
โครงสร้างของเฟรมของ TDMA จะไม่มีการเกิด overlap ขึ้นในดาวเทียมในระบบ TDMA ต้องอาศัยสถานีอ้างอิง 1 สถานีหรือมากกว่าในการเป็นสถานีส่งสัญญาณอ้างอิงทางเวลา โดยจะส่ง reference burst [9] โดยทุกๆ สถานีในระบบจะใช้ timing ในการเข้าจังหวะ โดยหลังจากที่สถานีอ้างอิงเริ่มส่งสัญญาณ สถานีภาคพื้นดินอื่นๆ จะทำการเริ่มส่ง traffic burst ของตนเองเพื่อที่จะเข้าไปในเฟรมข้อมูลของระบบ การป้องกันการ overlap สามารถทำได้โดยการใช้ guard time ระหว่างสัญญาณ burst จากการที่แต่ละสถานีมีระยะทางที่แตกต่างกันระหว่างดาวเทียมและสถานีภาคพื้นดินซึ่งจะทำให้ค่า timing ของแต่ละสถานีที่ได้รับมีค่าที่แตกต่างกันไปดังในรูปที่ 2.4

ในสัญญาณ reference burst จะประกอบด้วยคลื่นพาห์และ clock recovery เพื่อที่จะใช้ช่วยสถานีภาคพื้นดินในการทำการดีมอดูเลตแบบโคฮีเรนท์ (Coherent Demodulation) ภายในสัญญาณ burst ประกอบด้วย Unique word ซึ่งมีหน้าที่จัดมาตรฐานเวลา เพื่อชี้ตำแหน่งของขบวนรหัสสัญญาณให้กับทุกๆ สถานี สำหรับ traffic burst จะคล้ายกับ reference burst และมีส่วนของ preamble ก่อนที่จะมีส่วนของข้อมูล ใน preamble นี้จะให้บริการ carrier, clock และ unique word เพื่อใช้ในการเข้าจังหวะ



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเฟรมในระบบ TDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ Referent burst และ Traffic burst

ในรูปที่ 2.5 เป็นเฟรมของ INTELSAT TDMA ซึ่งทำการส่งที่ 120 Mbps ด้วยเวลา 2ms สำหรับการ์ดแบนด์ที่อยู่ระหว่างสัญญาณ burst มีค่าประมาณ 10 μs ภายในเฟรมจะมีการส่ง traffic burst โดยใช้สถานี reference burst 2 สถานี ซึ่งแต่ละสถานีจะทำการส่งโดยแยกสถานีอ้างอิงออกไป ในการออกแบบให้สถานีหนึ่งเป็นสถานีอ้างอิงหลักและให้อีกสถานีเป็น สถานีอ้างอิงรอง การทำงานของทั้ง 2 สถานีจะทำการส่งสัญญาณอ้างอิงตลอดเวลา และสถานีปลายทางแต่ละแห่งจะทำการเลือกรับสัญญาณ reference burst ที่เป็นสัญญาณหลักก่อน แต่เมื่อใดก็ตามที่ตรวจไม่พบสัญญาณอ้างอิง Reference burst ที่เป็นสัญญาณหลักก็จะทำการใช้สัญญาณจากสถานีอ้างอิงรองมาทำการประมวลผลแทนเพื่อไม่ให้เกิดการขัดจังหวะในการทำงานของระบบ TDMA นั่นเอง

สัญญาณ Reference burst จะประกอบด้วยส่วนของ preamble และส่วนของสัญญาณ CDC (Control and Data Channel) โดยส่วนของ Preameble จะใช้ในการสร้าง carrier และ bit recovery sequence และในส่วนของ UW (Unique Word) ส่วนของ TTY (Teletype order wire channel) ช่องสัญญาณ SC (Service Channel) และ VOW (Voice Order Wire) โดย VOW ทั้ง 2 ส่วนจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณเสียงและสัญญาณอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Traffic Burst จะมีส่วนของ preamble ซึ่งคล้ายๆ กับ preamble ของ Reference burst แต่มีส่วนของข้อมูลที่ส่งเพิ่มเข้ามา โดยเป็นส่วนของ traffic data ซึ่งประกอบด้วย DSI (Digital Speech Interpolated) และส่วนของ DNI (Digital Non-Interpolated) ซึ่งรวมเรียกว่า sub-burst สำหรับ DSI เป็นเทคนิคที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการทำการส่งแบบดิจิตอล ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง โดยทำการแทรกสอดสัญญาณเข้าไปในช่องสัญญาณที่มีการหยุดสนทนาชั่วจังหวะ ทำให้การใช้งานช่องสัญญาณสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับ DNI จะใช้อ้างถึงสัญญาณแบบอื่นๆ ที่ไม่สามารถส่งแบบ DSI ได้เช่นสัญญาณโทรสาร และสัญญาณเทเลกซ์หรือข้อมูลแบบต่อเนื่อง

2.3.1 การเข้าจังหวะในระบบ TDMA

การเข้าจังหวะในระบบ TDMA [9] มีความสำคัญอย่างมากเพราะดาวเทียมมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาและค่าความแตกต่างของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งจะมีผลกับเวลาการเข้าจังหวะของสถานีภาคพื้นดิน ที่จะใช้ส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมโดยไม่เกิดการชนกันเมื่อเข้าสู่ระบบ เทคนิคในการเข้าจังหวะของระบบดาวเทียมแบบ TDMA มี 2 วิธีการคือ วิธี close loop synchronization และเทคนิค open loop synchronization ความแตกต่างของทั้ง 2 เทคนิคอยู่ที่ในแบบ close loop สถานีภาคพื้นดินต้อง monitor การส่ง traffic burst ในขณะที่แบบ open loop ไม่จำเป็นต้องใช้

ในระบบที่เป็น spot beam สถานีภาคพื้นดินจะทำการสื่อสารโดยใช้บีมอื่นซึ่งจะไม่สามารถรับสัญญาณด้าน up link ของ traffic burst ได้ และดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้แบบ open loop ในการเข้าจังหวะ ในที่นี้สัญญาณ reference จะทำการส่งโดยสถานีอ้างอิงและทุกสถานีจะทำการเข้าจังหวะกับเวลามาตรฐานของสถานีอ้างอิงหลัก หลังจากรับสัญญาณ reference burst แล้วแต่ละสถานีจะถูกกำหนดเวลาหน่วงที่ตายตัวก่อนทำการส่ง traffic burst ค่าเวลาหน่วงของแต่ละสถานีจะมีค่าที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับตำแหน่งสถานที่ตั้งของสถานีในพิกัดโลกที่สัมพันธ์กับตำแหน่งดาวเทียม ค่าเวลาหน่วงของแต่ละสถานีจะถูกคำนวณโดยสถานีอ้างอิงหลัก

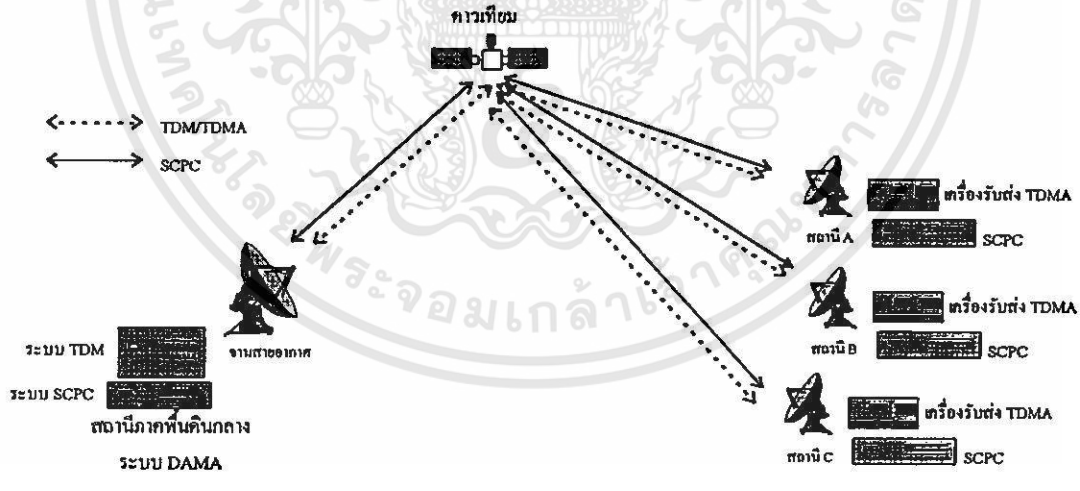
ในระบบที่เป็น global beam ในแต่ละสถานีจะสามารถรับ traffic burst ของตนเองได้และดังนั้นจึงสามารถใช้วิธี close loop synchronization ได้ดังนั้นสถานีที่ทำการส่งจะสังเกตุการส่งที่ทรานสปอนเดอร์ของตนเอง และทำการวัดค่าความผิดพลาดใน timing ระหว่างค่าที่ประมาณกับค่าจริงที่สามารถรับได้จากข้อมูลความผิดพลาดที่รับได้ จึงทำให้สามารถปรับแต่ง timing ของสัญญาณ burst ในแต่ละทิศทางและทำการชดเชยค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากตำแหน่งของดาวเทียม วิธีการ open loop synchronization จะมีความเที่ยงตรงเท่ากับวิธี close loop synchronization และต้องใช้ guard time ที่ใหญ่กว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานระบบ TDMA จะเหมาะสมกับการโครงข่ายที่มีจำนวนลูกข่ายหนาแน่นมาก เพราะระบบนี้จะประหยัดเรื่องจำนวนแบนด์วิดท์ที่ใช้งาน แต่ระบบนี้ก็มีข้อด้อยตรงที่ต้องมีการเข้าจังหวะของระบบ (Synchronous)ให้ดีหรือมี Timing ที่ดีมิฉะนั้นระบบจะด้อยประสิทธิภาพลงไปอย่างเห็นได้ชัด

2.4 ระบบการสื่อสารดาวเทียมแบบ DAMA

ระบบ Demand Assignment Multiple Access หรือที่เราเรียกกันว่า DAMA เป็นระบบที่เกิดจากการผสมผสานกันของระบบการทำงานของระบบดาวเทียมแบบ TDM/TDMA และแบบ SCPC จุดประสงค์ก็เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้งานระบบเพราะปัจจุบันค่าเช่าแบนด์วิดท์บนดาวเทียมมีราคาสูงมากจึงต้องใช้ให้เกิดความคุ้มค่าราคามากที่สุด การรวมเอาข้อดีของระบบ TDMA และระบบ SCPC เข้าด้วยกันโดยจะนำเอาระบบ TDMA มาใช้ในส่วนควบคุมการทำงานของระบบ DAMA และนำเอาระบบ SCPC มาใช้ในการเชื่อมโยงข้อมูลเช่น สัญญาณภาพ สัญญาณเสียง และการส่งข้อมูลความเร็วสูง โดยระบบคำสั่งจะถูกส่งจากสถานีภาคพื้นดินกลางด้วยระบบ TDM และสถานีภาคพื้นดินกลางจะทำการรับข้อมูลจากสถานีลูกข่ายแบบ TDMA ในการทำงานนี้จะมีตัวจองลำดับ (Queue) ของระบบ ลักษณะโครงสร้างของระบบเป็นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของ DAMA

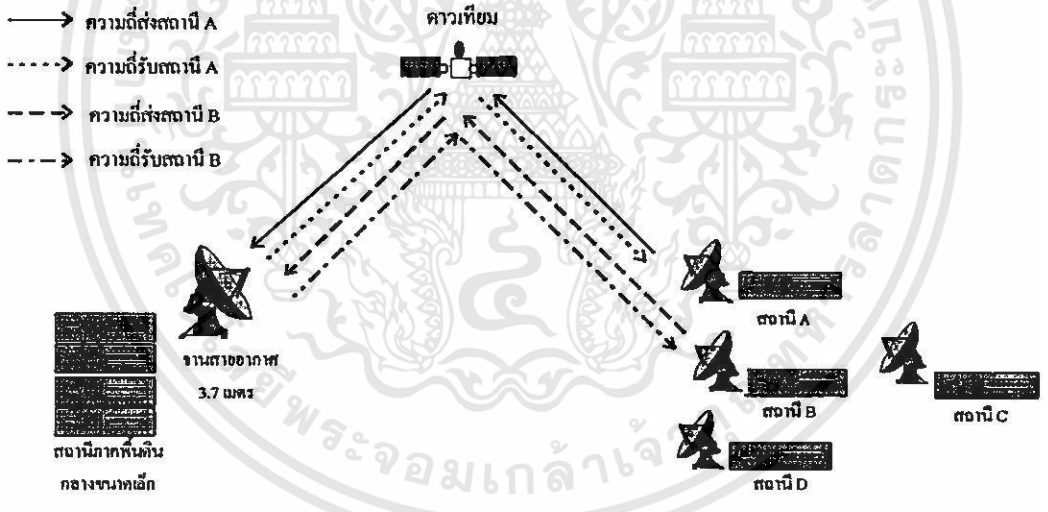
ในรูปที่ 2.6 จะสังเกตเห็นได้ว่าการทำงานจะเชื่อมต่อกัน 2 แบบ คือ การเชื่อมต่อด้วยระบบ TDM/TDMA โดยจะมีการเชื่อมโยงแบบรูปดาว (Star) ใช้แทนด้วยเส้นประ ในการเชื่อมโยงแบบรูปดาว นี้ตัวสถานีภาคพื้นดินกลางหรือ Hub จะทำการส่งแบบต่อเนื่อง คือมีการส่งแบบ TDM และตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีปลายทาง ก็จะมีการรับข้อมูลแบบ TDM และมีการส่งข้อมูลมาให้สถานีภาคพื้นดินกลางแบบ TDMA คือจะส่งข้อมูลเมื่อถึงเวลาส่งของมันเท่านั้น ในส่วนของการเชื่อมต่อแบบ SCPC จะมีการเชื่อมโยงถึงกันหมด แบบเมชสมบูรณ์ (Full Mesh) และแสดงแทนด้วยเส้นทึบ ในรูปที่ 2.6 จะพบว่าทุกสถานีสามารถเชื่อมโยงถึงกันได้หมด ในข้อดีส่วนนี้จะทำให้การสื่อสารข้อมูลเป็นแบบ hop เดียว ซึ่งมีข้อดีตรงความเร็วในการส่งจะดีกว่าเมื่อเทียบกับการส่งแบบ 2 hops โดยจะทำให้ลดปัญหาของเรื่องค่าเวลาหน่วง (Delay time) ซึ่งน้อยกว่าแบบ 2 hops

2.4.1 ข้อดีของระบบ

ระบบ DAMA มีข้อดีอยู่ตรงที่ ในกรณีที่มีสถานีภาคพื้นดินกลางอยู่ที่กรุงเทพฯ และมีสถานีปลายทางอยู่แต่ละภาคของประเทศไทย ถ้าหากสถานี A ต้องการติดต่อกับสถานี B จากระบบเดิม ถ้าใช้ SCPC โดยตั้งสถานีภาคพื้นดินกลางขนาดเล็ก (Mini hub) จะมีเส้นทางการเดินของสัญญาณจากสถานี A จะเชื่อมต่อเข้าไปที่สถานีแม่ที่ตั้งสถานีแม่ข่ายย่อยและจากสถานีแม่จะเชื่อมต่อผ่าน PABX ไปยังสถานี B อีกครั้ง ซึ่งพบว่าการเชื่อมต่อเป็นแบบ 2 hops ดังแสดงในรูปที่ 2.7



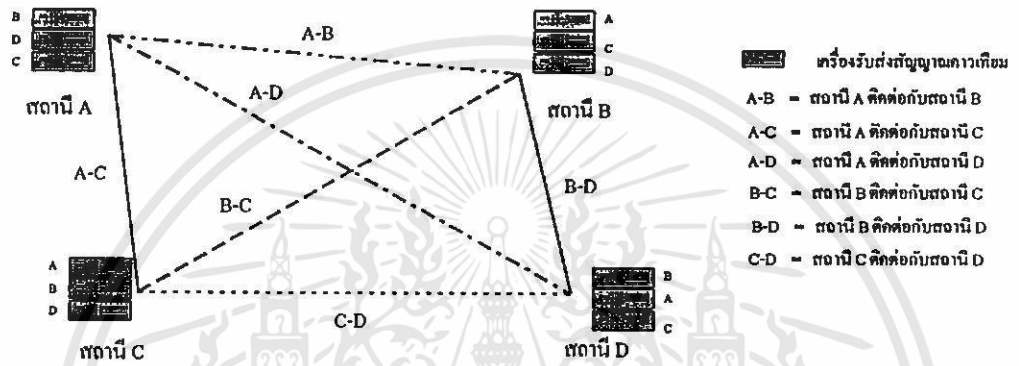
รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อแบบสถานีภาคพื้นดินกลางขนาดเล็ก

จากรูปที่ 2.7 การทำงานของระบบคือ สถานี A ส่งสัญญาณเข้าไปที่สถานีภาคพื้นดินกลางขนาดเล็กก่อนเป็น hop ที่ 1 และที่สถานีภาคพื้นดินกลางขนาดเล็กจะต่อ PABX แล้วส่งสัญญาณไปยังสถานี B เป็นอีก 1 hop ดังนั้นจะพบว่าสถานี A ถ้าจะติดต่อสถานี B จะต้องใช้การติดต่อผ่านดาวเทียมถึง 2 hops ดังนั้นจะมีผลกระทบต่อผู้ติดต่อคือ ค่าเวลาหน่วง (Delay Time) จะต้องมีค่ามากขึ้น ถ้าหากส่งข้อมูลก็จะต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นจากปกติ 500 มิลลิวินาที อาจจะต้องใช้เวลาถึง 1,000 มิลลิวินาที ซึ่งถ้าหากใช้โทรศัพท์ผ่านดาวเทียมแบบนี้จะทำให้เกิดสัญญาณการหน่วงเวลาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และบางครั้งอาจเกิดเสียงสะท้อนกลับ (Echo) หรือเสียงพูดอาจขาดหายไปได้ ในบางช่วงหรือบางครั้งการส่งโทรสารผ่านดาวเทียมอาจส่งไม่ผ่านก็ได้

วิธีที่ดีที่สุดคือ การให้สถานี A และ B สามารถติดต่อกันได้อย่างอิสระด้วยระบบ SCPC แต่สิ่งที่ตามมาคือ แต่ละจุดต้องมีเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมให้เท่ากับจำนวนสถานีที่ต้องการติดต่อด้วย และต้องมีความถี่ในการใช้งานที่มากความถี่ขึ้น จึงจะสามารถติดต่อแต่ละสถานีได้อย่างอิสระและมีการเชื่อมต่อกันแบบเมชสมบูรณ์ที่แท้จริง ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การต่อแบบเมชสมบูรณ์ (Full mesh)

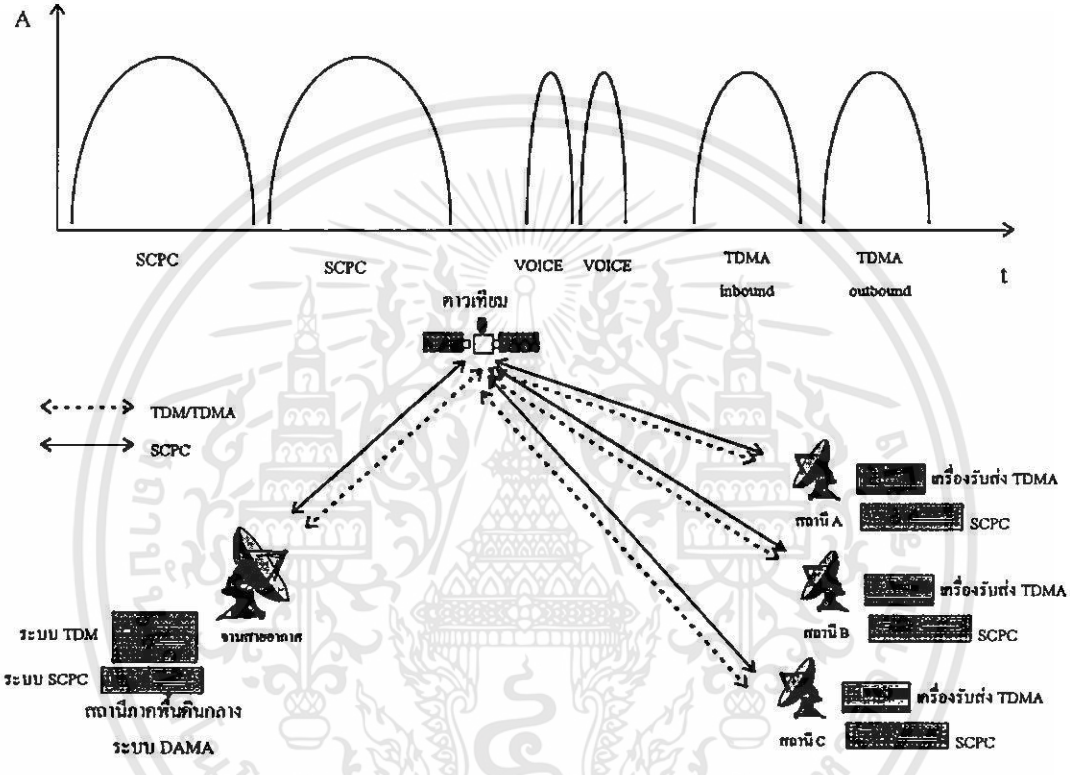
จากรูปที่ 2.8 เป็นการเชื่อมต่อสถานีทั้ง 4 สถานีเข้าด้วยกันคือ สถานี A,B,C และ D จะต้องใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Satellite modem) วางไว้ที่สถานีแต่ละแห่งๆ ละ 3 ตัว รวมต้องใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม 12 ตัว เพื่อที่จะเชื่อมต่อถึงกันหมด และต้องใช้ความถี่ทั้งหมด 6 คู่ความถี่ ในการติดต่อถึงกัน เพื่อจะให้แต่ละสถานีมีการเชื่อมต่อถึงกันแบบ hop เดียว เพื่อลดค่าเวลาหน่วงลง ดังนั้นจะพบได้ว่าค่าความสิ้นเปลืองที่เกิดขึ้นนั้นมาจากจำนวนเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมที่มีถึง 12 ตัว และจำนวนความถี่ที่ใช้ มีถึง 6 คู่ความถี่ (หรือ 12 ความถี่) ตัวอย่างถ้าหากมีการส่งแบบ QPSK ที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที และใช้ FEC อัตรา 1/2 พบว่าค่าแบนด์วิดท์ประมาณ 100 กิโลเฮิร์ทต่อ 1 ความถี่ดังนั้นถ้าเป็น 12 ความถี่ต้องใช้แบนด์วิดท์ทั้งหมด 1200 กิโลเฮิร์ท ซึ่งสิ้นเปลืองแบนด์วิดท์อย่างมาก ดังนั้นถ้าหากมีจำนวนสถานีดาวเทียมเพิ่มมากขึ้น ก็จะมีจำนวนเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่มากขึ้นโดยสามารถหาจำนวนของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ได้จากสมการที่ (1)

$$s = n - 1 \qquad \ldots(1)$$

เมื่อ s = จำนวนของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมของสาขานั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดความถี่ใช้งานเอาไว้ล่วงหน้าเป็นการสร้างตารางความถี่เอาไว้เพื่อใช้งานโดยแต่ละความถี่จะถูกจัดอยู่ในช่องของตาราง และสถานีแม่มีหน้าที่ตรวจดูภายในตารางว่าความถี่ใดถูกนำไปใช้งานแล้ว และจัดหาความถี่ใหม่เพื่อรองรับการร้องขอต่อไป แต่ถ้าหากความถี่มีไม่เพียงพอก็ต้องแจ้งไปยังผู้ร้องขอจากปลายทางว่าไม่มีความถี่ให้ใช้งาน



รูปที่ 2.9 การจัดการแบนด์วิดท์ของระบบ DAMA

2.4.2 การจัดการแบนด์วิดท์

รูปที่ 2.9 เป็นการจัดการแบนด์วิดท์ของระบบ DAMA โดยมีการแบ่งสเปกตรัมของสัญญาณออกเป็นสัญญาณที่ความเร็วสูง 384 กิโลบิตต่อวินาที 2 ความถี่ และยังมีระบบการสื่อสารที่เป็นสัญญาณเสียงอีกชิ้งอาศัยการทำงานแบบ SCPC นอกจากนี้ยังมีการจัดแบ่งแบนด์วิดท์เพื่อใช้สำหรับระบบ TDM/TDMA ที่เป็นการส่งสัญญาณที่ 56 กิโลบิตต่อวินาที โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่องสัญญาณคือช่องสัญญาณสำหรับเป็นช่องสัญญาณขาเข้า และช่องสัญญาณที่เป็นช่องสัญญาณขาออกของระบบ TDM ในการจัดการแบนด์วิดท์หรือ bandwidth pool และการกำหนดความถี่สำหรับ ความต้องการในการเชื่อมโยง (demand link) จะถูกกระทำโดยสถานีภาคพื้นดินกลางโดยอุปกรณ์ตัวควบคุม (controller) ซึ่งถูกเชื่อมโยงโดยผ่านเครือข่ายข้อมูลแบบรูปดาว โดยมีสถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคพื้นดินกลางอยู่ที่ศูนย์กลางของแบบรูปดาว ช่องสัญญาณ ขาออก (outbound channel) จากสถานีภาคพื้นดินกลางจะถูกกำหนดไว้ที่ 56 กิโลบิตต่อวินาที โดยจะมีการส่งข้อมูลแบบ TDM ไปยังสถานีปลายทางแต่ละแห่ง เพื่อทำการกำหนดพารามิเตอร์ของตัวเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมให้ส่งหรือหยุดส่งความถี่ เพื่อควบคุมและส่งข่าวสารข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องไปยังสถานีปลายทาง โดยสถานีปลายทางจะมีการทำงานแบบ TDMA สำหรับการกำหนดว่าความถี่ใดจะถูกใช้กับสถานีใด นั้นที่สถานีภาคพื้นดินกลางจะทำการสร้างตารางการสวิตช์ความถี่เอาไว้และทุกครั้งที่มีการนำความถี่ไปใช้งานจะต้องทำการเช็คว่าความถี่ใดว่างอยู่ หรือไม่ได้ถูกใช้งานจึงทำการเลือกความถี่นั้นไปใช้งาน และบันทึกว่าความถี่นั้นถูกใช้งานแล้ว แต่ในกรณีที่ความถี่ถูกใช้งานจนหมดการขอใช้ความถี่ก็ต้องรอคิวจนกว่าจะมีความถี่ที่ไม่ได้ใช้งานเกิดขึ้นแล้วจึงนำความถี่นั้นไปใช้งานต่อไป

ช่องสัญญาณขาเข้า (inbound channel) จากสถานีปลายทางที่ส่งไปยังตัวควบคุมที่สถานีภาคพื้นดินกลางจะถูกแบ่งกันใช้ช่องสัญญาณ โดยแต่ละสถานีจะมีการเข้าถึงช่องสัญญาณเพื่อการควบคุมการส่งข่าวสารไปยังสถานีภาคพื้นดินกลางโดยมีการส่งแบบ ALOHA เพราะว่าเป็นการส่งที่สามารถส่ง (transfer) ข้อมูลไปยังสถานีภาคพื้นดินกลางได้เร็วที่สุดทำให้ใช้เวลาในการกำหนดความถี่ใช้งานแก่สถานีปลายทาง (call-setup) เร็วที่สุด

ในการเชื่อมโยงนี้มีข้อดีที่สามารถที่จะใช้สถานีปลายทางหรือสถานีปลายทางได้หลายๆ ตัวด้วยกัน และในการเชื่อมโยง TDM/TDMA นี้จะใช้เป็นการเชื่อมโยง สำหรับส่งข้อมูลจากสถานีปลายทางไปยังสถานีภาคพื้นดินกลางเพื่อบอกความต้องการเช่น สถานี B ต้องการติดต่อส่งข้อมูลกับสถานี C ดังนั้น สถานี B จะทำการส่งข้อมูลร้องขอไปยังสถานีภาคพื้นดินกลาง และสถานีภาคพื้นดินกลางจะทำหน้าที่จัดการแบนด์วิดท์ให้กับสถานี B และสถานี C โดยสถานีภาคพื้นดินกลางหรือ A จะทำการสำรวจว่า ในช่วงเวลานั้นมีใครใช้ความถี่อยู่บ้างและถ้าหากว่าก็จะทำการจัดการข้อมูลเรื่องความถี่ให้โดยสถานีภาคพื้นดินกลาง จะส่งสัญญาณบอกให้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สถานี B และสถานี C ทำการส่งความถี่ที่กำหนดไว้แล้วขึ้นมาโดยตัวเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม B และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม C จะทำการส่งแบบ QPSK และมีอัตราการเข้ารหัส (Rate) เป็น 3/4 และส่งความถี่ทั้งสองขึ้นมาและทำการบันทึกเอาไว้ว่าที่ความถี่ทั้ง 2 นี้มีคนใช้งานแล้ว ดังนั้นสถานี B และสถานี C จะสามารถติดต่อกันได้แบบ hop เดียว

จะสังเกตุเห็นได้ว่าทำแบบนี้จะสามารถประหยัดได้หลายส่วนมากทั้งยังมีการสื่อสารระหว่างสถานีปลายทางกับสถานีปลายทางแบบ hop เดียว (single hop) ทำให้ลดเรื่องค่าเวลาหน่วงที่ตั้งใช้แบบ 2 hops เมื่อเทียบกับระบบสถานีภาคพื้นดินกลางขนาดเล็ก

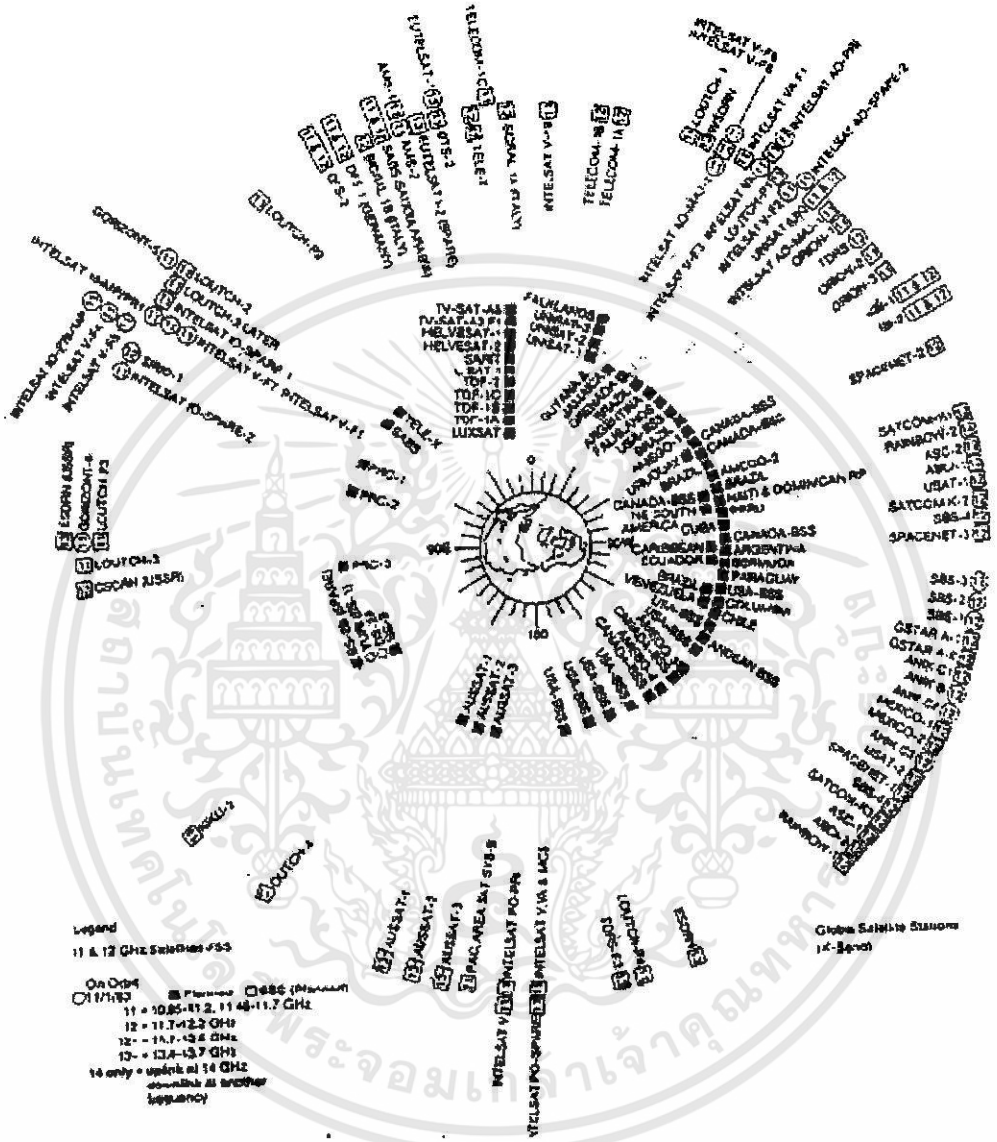
2.5 เวลาหน่วง

ปัญหาหลักของการสื่อสารดาวเทียมระบบวงโคจรอยู่กับที่หรือ GEO (Geostationary Earth Orbit) ก็คือมีจำนวนดาวเทียมที่อยู่ในตำแหน่งวงโคจรที่ค่อนข้างมากเกินไปและจะเกิดการชนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

35976

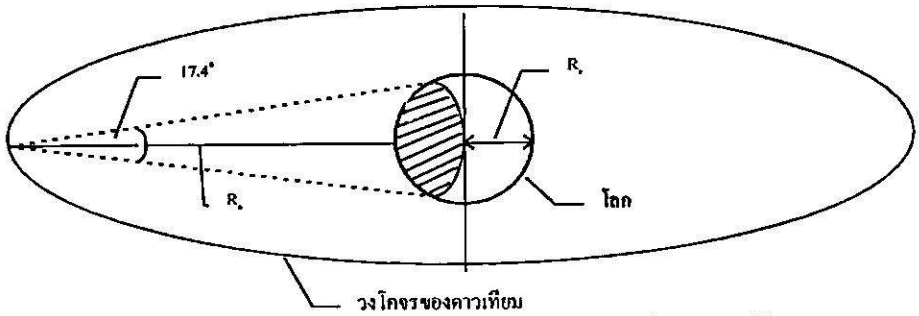
ของสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 และการทำงานของระบบไม่ว่าจะเป็นภายในหรือระบบระหว่างประเทศก็จะใช้มุมมองดาวเทียมและตำแหน่งที่ตั้งของสถานีที่อยู่ใกล้กัน ในปัจจุบันค่าระยะห่างระหว่างดาวเทียมในวงโคจรจะมีค่าประมาณ 2 องศาต่อวงโคจร [10]



รูปที่ 2.10 การวางตำแหน่งดาวเทียมในวง GEO

ปัญหาที่มีต่อระบบสื่อสารดาวเทียมระบบ GEO ปัญหาหนึ่งคือการเกิดเวลาหน่วง (Delay time) ที่เกิดเนื่องจากการเดินทางของสัญญาณเป็นระยะทางไกลซึ่งสามารถหาค่าระยะเวลาที่เกิดการหน่วงได้จากรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



R_e = รัศมีโลก = 6378 กิโลเมตร

R_o = ความสูงของดาวเทียม = 35786 กิโลเมตร

รูปที่ 2.11 วงโคจรของดาวเทียมแบบอยู่กับที่

มุมมองของดาวเทียมจากสถานีภาคพื้นดินที่วงโคจร GEO จะสามารถหาระยะห่างของดาวเทียมได้โดยอาศัยพื้นที่ครอบคลุมของลำคลื่นที่สร้างโดยจานสายอากาศของตัวดาวเทียม ซึ่งมีมุมเป็น 17.4 องศา และเป็นมุมการครอบคลุมพื้นที่แบบ polar ผลกระทบอื่นๆ ที่สำคัญได้แก่ เวลาหน่วงของการแพร่กระจายสัญญาณ (Propagation time delay) ที่เกิดจากการแพร่กระจายสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดิน ไปยังดาวเทียมและจากดาวเทียมมายังสถานีภาคพื้นดิน โดยสามารถหาค่าเวลาหน่วงได้จากสมการที่ (3) และสมการที่ (4) [11]

$$\text{Min} = 2R_o/C = 238 \text{ ms} \tag{3}$$

$$\text{Max} = \frac{2(R_o+R_e)\cos(\frac{17.4^\circ}{2})}{C} = 284 \text{ ms} \tag{4}$$

เมื่อค่า Min คือค่าเวลาต่ำสุดที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณ และค่า Max คือค่าระยะเวลาสูงสุดของการเดินทางของสัญญาณ ค่า R_o คือค่าระยะทางระหว่างสถานีดาวเทียมกับโลกในที่นี้คือ 35,786 กิโลเมตร ส่วนค่า R_e คือค่ารัศมีของโลกซึ่งมีค่าประมาณ 6378 กิโลเมตร ส่วนค่า C คือค่าความเร็วของแสงในที่นี้คือ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ในที่นี้ไม่รวมถึงค่าเวลาหน่วงที่เกิดจากการทำงานภายในของระบบ

สำหรับการแก้ไขการเกิดเวลาหน่วงสามารถทำได้โดยถ้าเป็นการเกิดที่ hop เดียวสำหรับวงจรโทรศัพท์เราใช้วงจร echo chancellors เข้าช่วย แต่ถ้าหากการสื่อสารเป็นแบบ 2 hops ก็จะสามารถแก้ไขปัญหาได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 พารามิเตอร์ต่างๆ และการคำนวณ link budget ของระบบสื่อสารดาวเทียม

การทำงานของระบบสื่อสารดาวเทียมทั้ง 3 ระบบที่กล่าวมาข้างต้น จะต้องประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ภายใน (indoor unit) ชุดอุปกรณ์ภายนอกฯ (outdoor unit) โดยชุดอุปกรณ์ภายนอกได้แก่ชุดจานสายอากาศ ชุดสายนำสัญญาณแบบการรบกวนต่ำ หรือที่เราเรียกว่าสาย low loss และชุด transceiver สำหรับขยายสัญญาณ RF ด้านส่งและชุด LNA หรือ LNC สำหรับขยายสัญญาณด้านรับ สำหรับการสื่อสารดาวเทียมนั้นจะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ดังนี้

- อัตราขยายของจานสายอากาศ (Antenna Gain)
- EIRP ของระบบ
- C/N_o ของระบบ
- E_b/N_o ของระบบ
- G/T ของระบบ
- สัญญาณที่เกิดจากการลดทอนต่างๆ

โดยในที่นี้จะกล่าวถึงพารามิเตอร์แต่ละตัวดังต่อไปนี้

2.6.1 อัตราขยายของจานสายอากาศ

สำหรับจานสายอากาศที่เป็นแบบพาราโบล่าอัตราขยายของจานสายอากาศ (Gain) เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างหนึ่งและสามารถหาอัตราขยายของจานสายอากาศและความเหมาะสมของการเลือกใช้จานสายอากาศได้จากสมการที่ (5)

$$G = \frac{n4\pi Af^2}{c^2} \tag{5}$$

เมื่อ G คือค่าอัตราขยายของจานสายอากาศ

n คือค่าประสิทธิภาพพื้นที่ของจานสายอากาศ

f คือค่าความถี่ที่ใช้

λ คือค่าความยาวคลื่นที่ใช้

A เป็นค่าพื้นที่หน้าตัดของจานสายอากาศ

ถ้าหากขนาดของจานสายอากาศมีขนาดใหญ่ก็จะทำให้อัตราขยายของระบบมีค่ามาก ในที่นี้พิจารณาจานสายอากาศแบบพาราโบล่าแล้วจะทำให้ค่า A ของจานสายอากาศสามารถหาได้โดยมีค่าเป็น $\pi D^2/4$ และค่า n สามารถหาได้จากสมการที่ (6)

$$n = n_1 n_2 n_3 n_4 n_5 n_6 \tag{6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ n_1 เป็นค่าประสิทธิภาพการกระจายคลื่นของแผ่นสะท้อนหลัก

n_2 เป็นค่าอัตราส่วนของพลังงานที่ตกกระทบแผ่นสะท้อนต่อพลังงานที่ออกจาก feed

n_3 เป็นค่าประสิทธิภาพเชิงเฟส

n_4 เป็นค่าประสิทธิภาพของแผ่นสะท้อนรองและอุปกรณ์สนับสนุน

n_5 เป็นค่าประสิทธิภาพอันเนื่องมาจากการสูญเสียของระบบป้อนสัญญาณ

n_6 เป็นค่าประสิทธิภาพของพื้นผิวสะท้อน (Surface Tolerance)

2.6.2 การคำนวณหาค่าความหนาแน่นกำลังงานฟลั๊กซ์

การคำนวณหาค่าความหนาแน่นกำลังงานฟลั๊กซ์หรือ PFD [12] (Power Flux Density) เป็นการหาค่าการแพร่กระจายของสัญญาณของสายอากาศแบบไอโซทรอปิค โดยเรียกกำลังการส่งรวมว่า P_T มีหน่วยเป็นวัตต์ และมีทิศทางที่แพร่กระจายที่เท่ากันเพราะเป็นไอโซทรอปิค และมีระยะทางจากจุดกำเนิดไปยังตัวรับเป็นระยะทาง d เมตรแล้วค่า PFD สามารถหาได้จากสมการที่ (7)

$$PFD = \frac{P_T}{4\pi d^2} \quad \text{วัตต์/ตารางเมตร} \tag{7}$$

ในทางปฏิบัติดาวเทียมจะใช้จานสายอากาศที่มีทิศทางและมีอัตราขยายเป็น $G(\theta,\phi)$ ซึ่งเรากำหนดให้เป็นอัตราส่วนของกำลังงานต่อหนึ่งหน่วย solid angle ดังนั้นจะได้ดังสมการที่ (8)

$$G(\theta,\phi) = \frac{P(\theta,\phi)}{P_\circ/4\pi} \tag{8}$$

เมื่อสมมุติให้ค่า $\theta = \phi = 0$ แล้วจะได้ค่ากำลังงานสูงสุดในทิศทางของสายอากาศดังนั้นค่า PFD สามารถเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ (9)

$$PFD = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \quad \text{วัตต์/ตารางเมตร} \tag{9}$$

ผลคูณของค่า G_T กับค่า P_T สามารถเรียกได้ว่าเป็นค่าการแผ่กระจายกำลังงานประสิทธิผลหรือ EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) และนำค่านี้แทนในสมการที่ (9) ได้ค่า PFD ใหม่เป็น

$$PFD = \frac{EIRP}{4\pi d^2} \quad \text{วัตต์/ตารางเมตร} \tag{10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า PFD สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเดซิเบลได้โดยสมการจะเปลี่ยนไปดังสมการที่ (11)

$$PFD(dBW/m^2) = EIRP(dBW)-10\log(4\pi d^2) \tag{11}$$

สำหรับจานสายอากาศรับที่มีอะเพอร์เจอร์ทางกายภาพ (Physical Aperture) เป็น Am^2 สามารถเขียนสมการกำลังงานรับแทนด้วย P_R และสามารถเขียนสมการใหม่ดังสมการที่ (12)

$$P_R = PFD \times A \tag{12}$$

ในทางปฏิบัติค่าอะเพอร์เจอร์ทางกายภาพ จะมีค่าประสิทธิภาพไม่เต็ม 100 เปอร์เซนต์ดังนั้นเราต้องคิดค่ากำลังงานที่สูญหายไปด้วย และได้ค่ากำลังงานทางด้านรับใหม่ดังสมการที่ (13)

$$P_R = (\eta A) \times PFD \tag{13}$$

บางครั้งค่า ηA เรียกว่าค่าพื้นที่ประสิทธิผล (Effective Aperture) ของจานสายอากาศและเขียนแทนด้วย A_e โดยปกติค่านี้จะมีค่าตั้งแต่ 75 เปอร์เซ็นต์ ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสมการอัตราขยายของจานสายอากาศจะเป็นดังสมการที่ (14)

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \tag{14}$$

ดังนั้นสมการการรับสัญญาณจะสามารถเขียนใหม่ดังสมการที่ (15)

$$P_R = P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \tag{15}$$

ค่า P_R สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเดซิเบลได้ดังสมการที่ (16)

$$P_R = P_T + G_T + G_R - 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \tag{16}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 การคำนวณการสูญเสียเนื่องจากบรรยากาศว่าง

การสูญเสียจากชั้นบรรยากาศว่างเกิดจากการลดทอนของสัญญาณ เมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศว่าง ซึ่งสัญญาณจะถูกลดทอนลงเนื่องจากการแพร่กระจายของสัญญาณ โดยสามารถหาค่าการสูญเสียของชั้นบรรยากาศว่างได้จากสมการที่ (17)

$$L = 20\log\frac{4\pi d}{\lambda_d} \tag{17}$$

เมื่อ L คือค่าการสูญเสียที่ชั้นบรรยากาศว่างในหน่วยเดซิเบล ส่วน d คือระยะทางระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับดาวเทียม มีหน่วยเป็นเมตร ส่วนค่า λ_d คือค่าความยาวคลื่นที่ใช้งานในหน่วยเมตร

2.6.4 การหาค่า EIRP

ค่ากำลังแผ่ประสิทธิผลแบบไอโซทรอปิค หรือค่า EIRP (Effective Isotropic Radiation Power) ที่ส่วนหน้าของจานสายอากาศของสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินซึ่งค่า EIRP นี้สามารถหาได้จากค่าอัตราขยายของจานสายอากาศคูณกับค่ากำลังงานส่งของภาคขยายของเครื่องส่ง และถูกลบออกด้วยค่าการสูญเสียจากสายนำสัญญาณที่ใช้ส่ง ค่า EIRP สามารถหาได้จากสมการที่ (18)

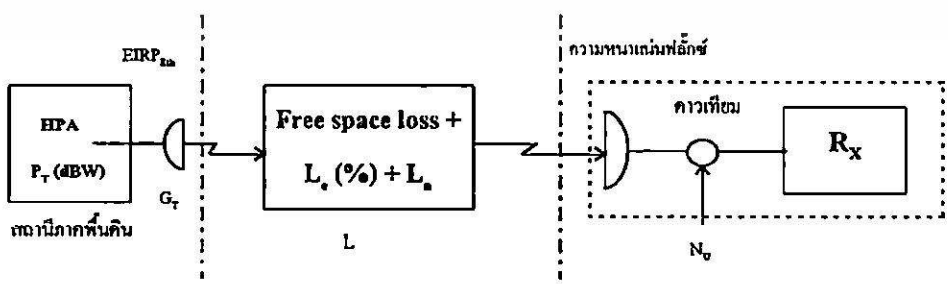
$$EIRP = P_t \times G_t - L_t \tag{18}$$

เมื่อ P_t คือค่าขนาดกำลังงานส่งของเครื่องส่ง

G_t คือค่าอัตราขยายของจานสายอากาศ

L_t คือค่ากำลังงานสูญเสียในการส่งของสายนำสัญญาณ

2.6.5 การหาค่า C/N_0



รูปที่ 2.12 การเชื่อมโยงขาขึ้นของระบบดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าอัตราส่วนของคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนหรือ C/N_o (Carrier to Noise Density Ratio) เป็นค่าอัตราส่วนของกำลังงานที่ใช้ส่งต่อค่าสัญญาณรบกวน โดยค่า C/N ที่เกี่ยวข้องมี 3 ค่า คือ C/N_{up} เป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับการทางบประมาณ (budget) ที่ใช้หาการเชื่อมโยงซึ่งสามารถหาได้ทั้งด้านขาขึ้น และขาลง การหาค่าการเชื่อมโยงขาขึ้น (up link) คือจากสถานีภาคพื้นดินไปยังดาวเทียมซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.12 และจากรูปที่ 2.12 สามารถหาค่า C/N_{up} ได้จากสมการที่ (19) ซึ่งค่าต่างๆ ถูกแปลงให้อยู่ในรูปของเดซิเบล

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{up} = EIRP_{Eth} - 20\log\left(\frac{4\pi f_u d_u}{c}\right) + \left(\frac{G}{T}\right)_u - 10\log K - 10\log B - BO_i - L \qquad (19)$$

เมื่อ $EIRP_{Eth}$ คือค่า EIRP ที่สถานีภาคพื้นดินของจานสายอากาศ

f_u คือค่าความถี่ของคลื่นพาห์จากสถานีภาคพื้นดินไปยังตัวดาวเทียม

d_u คือค่าระยะทางในการส่งจากสถานีภาคพื้นดินไปยังตัวดาวเทียม

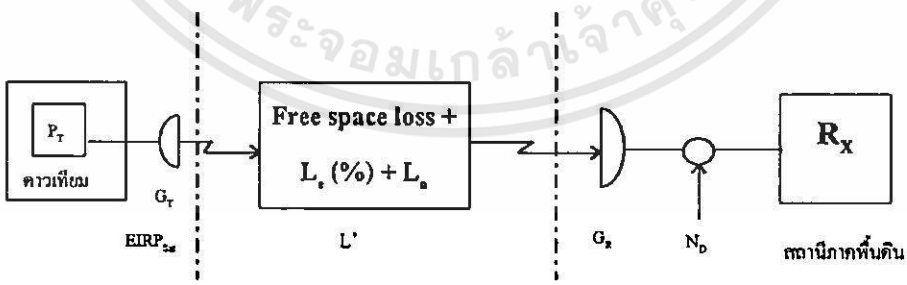
c คือค่าความเร็วแสงค่า 3×10^8 เมตร

$(G/T)_u$ คือค่าอัตราส่วนระหว่างอัตราขยายต่อสัญญาณรบกวนด้านขาขึ้น

Bo_i คือค่าอินพุทแบ็คออฟ

L คือค่าผลรวมของสัญญาณลดทอนเมื่อสัญญาณส่งผ่านไปยังดาวเทียม

ค่า C/N_{down} เป็นค่าการเชื่อมโยงขาลง (down link) จากสถานีดาวเทียมมายังสถานีภาคพื้นดินสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การเชื่อมโยงด้านขาลงของระบบดาวเทียม

ส่วนสมการที่ใช้หาค่า C/N_{down} สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{down} = ERP_{Sat} - 20\log\left(\frac{4\pi f_d d_d}{c}\right) + \left(\frac{G}{T}\right)_d - 10\log K - 10\log B - BO_o - L' \quad (20)$$

เมื่อ $EIRP_{Sat}$ คือค่า EIRP ที่จานสายอากาศของตัวดาวเทียมที่รับ

d_d คือค่าระยะทางในการส่งจากตัวดาวเทียมไปยังสถานีภาคพื้นดิน

f_d คือค่าคลื่นพาห์จากดาวเทียมมายังสถานีภาคพื้นดิน

c คือค่าความเร็วแสงค่า 3×10^8 เมตร

$(G/T)_d$ คือค่าอัตราส่วนระหว่างอัตราขยายต่อสัญญาณรบกวนด้านขาลงของจานสายอากาศที่สถานีภาคพื้นดิน ในที่นี้ขึ้นอยู่กับขนาดของจานสายอากาศและคุณสมบัติเฉพาะตัวของจานสายอากาศแต่ละรุ่น

Bo_o คือค่าเอาท์พุทแบ็คออฟ

L' คือค่าลดทอนของสัญญาณเมื่อสัญญาณส่งผ่านมายังสถานีภาคพื้นดิน

นอกจากนี้เราต้องการค่าผลรวมของค่า C/N_o ซึ่งเป็นค่าผลรวมของ C/N_o ด้านขาขึ้นกับค่า C/N_o ด้านขาลง ซึ่งค่าของ C/N_o สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (21)

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{Total} = \left[\left(\frac{C}{N}\right)_{up}^{-1} + \left(\frac{C}{N}\right)_{down}^{-1}\right]^{-1} \quad (21)$$

2.6.6 การหาค่า C/I_o

พารามิเตอร์ที่จำเป็นอีกตัวที่ใช้หาค่า carrier ต่อสัญญาณรบกวนภายใน (Intermodulation) ซึ่งค่า I_o ยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ Intermodulation กับ Adjacent satellite ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (22) และสมการที่ (23)

$$\left[\frac{C}{I_o}\right](\text{Intermodulation}) = 94.5\text{-Carrier output back off} \quad (22)$$

$$\left[\frac{C}{I_o}\right](\text{Adjacent Satellite}) = 25 + 10\log(\text{Noise Bandwidth}) \quad (23)$$

ในการหาค่าการเชื่อมโยงของสัญญาณดาวเทียมหรือ Link Budget เราต้องรู้ถึงพารามิเตอร์บางตัวและสามารถหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้ การเชื่อมโยงขาขึ้น พารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ Transponder SFD มีหน่วยเป็น dBW/m^2 และค่านี้เป็นค่าที่ได้มาจากดาวเทียมที่กำหนดให้ ค่าที่สองได้แก่ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Satellite Agg. Input Back off มีหน่วยเป็น dB ค่านี้ก็ได้มาจากดาวเทียมเช่นกัน ค่าต่อไปคือค่า Carrier Input Back off มีหน่วยเป็น dB ค่านี้เป็นค่าที่ต้องคำนวณหาโดยสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Carrier I/P Back off} = \text{SFD} - \text{EIRP}_{\text{Eth}} + 10 \log (4\pi R^2) \quad (24)$$

เมื่อ R คือระยะทางจากโลกถึงดาวเทียมมีหน่วยเป็นเมตร พารามิเตอร์ตัวต่อไปได้แก่ EIRP ของสถานีภาคพื้นดินมีหน่วยเป็น dBW และค่านี้ต้องคำนวณเอง ค่าต่อไปได้แก่ Up link path loss

2.6.7 การหาค่า Carrier Input Back Off

ค่า Carrier Input Back Off เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้หาค่าทางด้าน up link โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (25)

$$\text{CIBO}=\text{SFD}-\text{EIRP}_{\text{Eth}}+10\log 4\pi d^2 \quad (25)$$

เมื่อ CIBO คือค่า carrier input back off ส่วน SFD คือค่าความอิ่มตัวของเครื่องส่งที่ตัวดาวเทียม (Saturate density) ซึ่งสามารถดูได้จากการออกแบบตัวดาวเทียมตั้งแต่ต้น และค่า EIRP_{Eth} คือค่า EIPR ของสถานีภาคพื้นดินและค่า d คือค่าระยะทางระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับดาวเทียม

2.6.8 การหาค่า Carrier Output Back Off

ค่า Carrier output Back off (COBO) เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับการคำนวณทางด้าน down link ซึ่งค่าที่ได้นี้มาจากค่า EIRP ของดาวเทียมหักออกด้วยค่า EIRP ของตัว carrier ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ (26)

$$\text{COBO}=\text{EIRP}_{\text{Sat}}-\text{EIRP}_{\text{Down}} \quad (26)$$

เมื่อ COBO คือค่า carrier output back off ในหน่วย dB ส่วนค่า EIRP_{Sat} คือค่า EIRP ของตัวดาวเทียมและค่า $\text{EIRP}_{\text{Down}}$ คือค่า EIRP ของสัญญาณ carrier ซึ่งสามารถหาค่า carrier EIRP ได้จากสมการที่ (27)

$$\text{Carrier EIRP}_{\text{Down}} = \text{EIRP}_{\text{Eth}} - \text{uplink pat loss} + \text{EIRP}_{\text{Sat}} - \text{SFD} - 10\log 4\pi d^2 + \text{Down link path loss} + \text{OBO} \quad (27)$$

เมื่อ $\text{EIRP}_{\text{Down}}$ มีหน่วยเป็น dBW ส่วน OBO เป็นค่า output back off ของจานสายอากาศดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.9 การหาค่า Carrier Intermodulation Noise (C/I_o)

สามารถหาได้จากสมการที่ (28)

$$\left[\frac{C}{I_o}\right] (\text{Intermodulation}) = 110\text{-CIBO} \tag{28}$$

เมื่อ C/I_o มีหน่วยเป็น dB-Hz ส่วนค่า CIBO คือค่า Carrier Input Back Off ที่หาได้จากสมการที่ (25)

2.6.10 การหาค่า E_b/N_o ของระบบ

ค่าความหนาแน่นพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนหรือค่า E_b/N_o (Energy bit per Noise Density) ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของระบบ โดยถ้าหากค่า E_b/N_o มีค่ายิ่งมากแล้วจะทำให้การรับสัญญาณดีมาก ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ เช่นขนาดของจานสายอากาศและขนาดของกำลังงานส่งแต่ถ้าหากกำลังงานส่งของอีกด้านมีมากเกินไปก็จะทำให้เกิดการรบกวนกันของระบบ (Satellite Interference) ได้ ดังนั้นเราสามารถหาค่า E_b/N_o ได้จากสมการที่ (29)

$$\left[\frac{E_b}{N_o}\right] = \left[\frac{C}{N+I}\right] + 10\log\frac{\text{Noise BW}}{\text{Data rate}} \tag{29}$$

เมื่อ Noise BW คือค่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณรบกวน

Data rate คือค่าอัตราการส่งข้อมูลของระบบ

2.6.11 ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดของระบบ

ในการคำนวณหาค่าความผิดพลาดของระบบหรือ BER (Bit Error Rate) ของระบบสามารถหาค่าความน่าจะเป็นของการเกิดค่า BER ที่ได้ของระบบ ซึ่งสัมพันธ์กับกับค่า E_b/N_o ของระบบที่สามารถวัดได้ โดยส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบของการมอดูเลตเช่นการมอดูเลตแบบ PSK พบว่า BPSK หรือ QPSK นั้นเป็นการมอดูเลตโดยตรง (Direct coding) ซึ่งสามารถแสดงค่าความสัมพันธ์ของค่านี้ได้จากสมการที่ (30) [12]

$$PA = \frac{1}{2}\text{erfc}\left(\sqrt{E_b/N_o}\right) \tag{30}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ P_B คือค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นภายในระบบ และ ค่า $\text{erfc}(x)=\frac{2}{\pi}\int_x^{\infty} e^{-u^2}\,du$ ซึ่งค่า P_B นี้สัมพันธ์กับค่า BER ด้วย ดังนั้นในการรู้ค่า E_b/N_o ก็สามารถทราบค่าโดยประมาณของ BER ได้

2.6.12 การหาค่า G/T ของระบบ

ค่า G/T เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างอัตราขยายต่ออุณหภูมิสัญญาณรบกวน (Gain/Noise Temperature) ของจานสายอากาศที่สามารถหาได้จากสมการที่ (31)

$$\frac{G}{T} = G(dB) - 10\log T \qquad (dBK) \qquad (31)$$

เมื่อค่า G คือค่าอัตราขยายของจานสายอากาศในภาครับ (dB) ลบออกด้วยค่าการสูญเสียในท่อนำคลื่น (dB) ส่วนค่า T สามารถหาได้จากสมการที่ (32)

$$T=\frac{T_A}{L_{fr}}+\frac{(L_{fr}-1)}{L_{fr}}+T_{e2}+\frac{T_{e3}}{G_2} \qquad (32)$$

เมื่อ T_A คือค่าอุณหภูมิสัญญาณรบกวนของจานสายอากาศ (K)

L_{fr} คือค่าการสูญเสียในท่อนำคลื่น (dB)

T_{e2} คือค่าอุณหภูมิสัญญาณรบกวนของภาคขยาย LNA (K)

G_2 คือค่าอัตราขยายของ LNA (dB)

T_{e3} คือค่าอุณหภูมิสัญญาณรบกวนของภาคขยาย down converter (K)

T_o คือค่าอุณหภูมิสัญญาณรบกวนทางขาเข้ามีค่าประมาณ 290 K

2.6.13 การหาค่ามุมก้มเงยของจานสายอากาศ

ในการติดตั้งจานสายอากาศจำเป็นต้องรู้ตำแหน่งของจานสายอากาศว่าอยู่ที่ละติจูดใด และลองจิจูดใดบนพื้นโลก และนอกจากนี้ยังต้องรู้ตำแหน่งของตัวดาวเทียมที่ใช้ว่าอยู่ที่ลองจิจูดใด แล้วจึงคำนวณหาค่ามุมก้มเงยของจานสายอากาศ (Elevation Angle) [13] และหาค่ามุมกวาดของจานสายอากาศ (Azimuth Angle) ว่าอยู่ที่ตำแหน่งใดโดยเราสามารถหาค่ามุมก้มเงยได้จากสมการที่ (33)

$$\text{Elevation Angle} = \tan^{-1}\left[\frac{\cos\lambda\cos\phi - 0.1508}{\left(1-\cos^2\lambda\cos^2\phi\right)^{1/2}}\right] \qquad (33)$$

และค่ามุมกวาดสามารถหาค่าได้จากสมการที่ (34)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Azimuth Angle}=\tan^{-1}\left[\frac{\tan\lambda}{\sin\phi}\right]+180 \qquad (34)$$

เมื่อ λ คือค่าผลต่างของลองจิจูดของสถานีภาคพื้นดินกับตำแหน่งของลองจิจูดของดาวเทียม

ϕ คือค่าละติจูดของสถานีภาคพื้นดิน

2.6.14 การแปลงช่องสัญญาณดาวเทียม

สำหรับสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินอาจมีอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมหลายรุ่นที่แตกต่างกันและถ้าหากมีเหตุจำเป็นให้ต้องมีการเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเป็นอีกชนิดหนึ่งที่มีการกำหนดช่องสัญญาณดาวเทียมที่แตกต่างกันดังนั้นจึงได้มีการออกแบบซอฟแวร์สำหรับหาค่าเพื่อทำการเปลี่ยนความถี่ที่ต้องใช้งานหรือช่องสัญญาณที่ใช้โดยในที่นี้มีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม 3 อย่างคือ NEC NEXTAR, Comstream Inpac Modem และ SDM 650B โดยจะแบ่งการแปลงช่องสัญญาณดังนี้

2.6.14.1 NEC NEXTAR 64K QPSK R=1/2

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบนี้มีทั้งแบบที่ใช้ความถี่ IF เป็น 70 MHz และเราสามารถหาค่าช่องสัญญาณดาวเทียมทั้งด้านส่งและด้านรับได้จากสมการที่ (35)

$$CH_{No}=\frac{\left\{\left[IF_{freq}-\left(CTF(MHz)-CH_{freq}\right)\right]-A\right\}}{0.025} \qquad (35)$$

เมื่อค่า IF_{freq} คือค่าความถี่กลางของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมโดยทั่วไปจะมี 2 ค่าคือ 70 MHz และ 140 MHz ค่า CTF (Center Transponder Frequency) คือค่าความถี่กลางของทรานสปอนเดอร์ที่ใช้ในหน่วยเมกกะเฮิร์ท ส่วนค่า Ch_{freq} คือค่าความถี่ของช่องสัญญาณที่ใช้ซึ่งมีหน่วยเป็นเมกกะเฮิร์ท ค่า A คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับค่าความถี่กลาง (IF) โดยถ้าเครื่องรับใช้ความถี่ 140 MHz จะใช้ค่า A เป็น104 แต่ถ้าความถี่ IF เป็น 70 MHz จะใช้ค่า A เป็น 52

2.6.14.2 COMSTREAM INPAC MODEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมอีกตัวหนึ่งที่สามารถหาค่าช่องสัญญาณได้แต่ในที่นี้เราต้องการให้ค่าที่ออกมามีค่าตรงกับช่องสัญญาณโดยไม่ต้องแปลงค่าอีกจึงใช้หน่วยเป็นกิโลเฮิร์ทเพื่อความสะดวกและเราสามารถหาค่าช่องสัญญาณได้จากสมการที่ (36)

$$CH_{No} = 70000(KHz) - \left[CTF(KHz) - CH_{freq}(KHz)\right] \quad (36)$$

เมื่อ CH_{No} คือค่าช่องสัญญาณที่ต้องการหา

CTF เป็นค่าความถี่กลาง (Center Frequency) ของทรานสปอนเดอร์ที่ใช้งาน

CH_{freq} คือค่าความถี่ของช่องสัญญาณที่กำหนดให้ใช้งาน

2.6.15.3 EF DATA SDM 650B

เป็นเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอีกชนิดหนึ่งที่มีใช้งานกันอย่างแพร่หลายโดยมีค่าความถี่ IF เป็น 2 ค่าคือ 140 MHz และ 70 MHz โดยในตัว EF DATA [5] นี้จะสามารถปรับค่าความถี่ IF ได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งเราสามารถใส่ค่าความถี่ที่ต้องการใช้ได้เลยและเราสามารถหาค่าของช่องสัญญาณได้จากสมการที่ (37)

$$CH_{No} = IF_{freq}(MHz) - \left[CTF(MHz) - CH_{freq}(MHz)\right] \quad (37)$$

เมื่อ IF_{freq} คือค่าความถี่กลางมีค่าอยู่ 2 ความถี่คือ 140 MHz และ 70 MHz

CH_{freq} คือค่าความถี่ของช่องสัญญาณที่กำหนดให้ใช้งาน

2.7 การมอดูเลตและการจัดสรรแบนด์วิดท์

การทำงานของระบบดาวเทียมจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการมอดูเลตสัญญาณ เพื่อใช้ส่งไปยังจุดหมายปลายทาง ในที่นี้การมอดูเลตของระบบสื่อสารดาวเทียมส่วนใหญ่เป็นแบบดิจิตอล โดยการมอดูเลตแบบ PSK (Phase Shift Keying) ที่ใช้ในระบบสื่อสารดาวเทียมมีด้วยกันหลายชนิดแต่ที่ใช้กันมากมี 2 ชนิดคือ BPSK (Binary Phase Shift Keying) และ QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) ในระบบสื่อสารดาวเทียมแบบ BPSK จะใช้การต่างเฟสของสัญญาณคลื่นพาห์เป็น $\pm$ 90 องศาและสามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ (38)

$$V_C = Vu_1 \sin(\omega_C t) \quad (38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

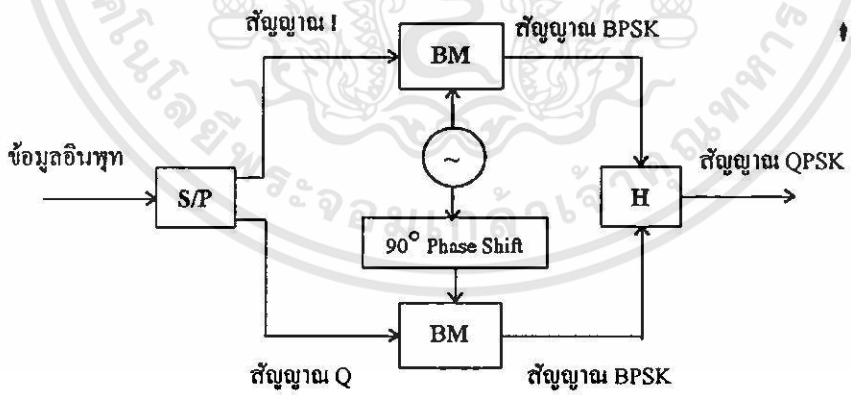
เมื่อ V_C คือสมการของคลื่นพาห์ที่ส่ง u_I เป็นบิตที่ I การมอดูเลตแบบนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางขนาดและใช้การดีเทคสัญญาณแบบโคฮีเร้นท์ สำหรับระบบการมอดูเลตแบบ QPSK ซึ่งสมการของระบบ QPSK สามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ (39) คือ

$$V(t) = V_I(t)\cos\omega_C(t) + V_Q(t)\sin\omega_C(t) \quad (39)$$

เมื่อ V(t) คือสมการของคลื่นพาห์ที่ส่ง V_I เป็นบิตที่ I และ V_Q เป็นบิตที่ Q การมอดูเลตแบบนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางขนาดและใช้การดีเทคสัญญาณแบบโคฮีเร้นท์

2.7.1 การมอดูเลตแบบ QPSK

การมอดูเลตแบบ QPSK (Quadri Phase Shift Keying) เป็นการมอดูเลตแบบดิจิตอลในรูปแบบ PSK (Phase Shift Keying) โดยวงจรมอดูเลตแบบ QPSK [9] ใช้หลักการของการนำสัญญาณอินพุทแบบอนุกรมผ่านวงจร S/P เพื่อแยกข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนหรือ 2 ช่องสัญญาณคือ สัญญาณ Q และสัญญาณ I จากนั้นสัญญาณ Q และ I จะถูกส่งเข้าวงจรบาลานซ์ (BM: Balance Modulate) โดยสัญญาณจะถูกมอดูเลตกับคลื่นพาห์และสัญญาณอีกสัญญาณหนึ่งจะถูกมอดูเลตโดยคลื่นพาห์จะถูกเลื่อนเฟส (Phase Shift) ไป 90 องศา และสัญญาณที่ออกจากวงจร BM จะเป็นสัญญาณ BPSK 2 สัญญาณ และสัญญาณนี้จะถูกส่งเข้าวงจรไฮบริดเพื่อทำการรวมสัญญาณ BPSK ทั้ง 2 สัญญาณ ให้เป็นสัญญาณ QPSK ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.14

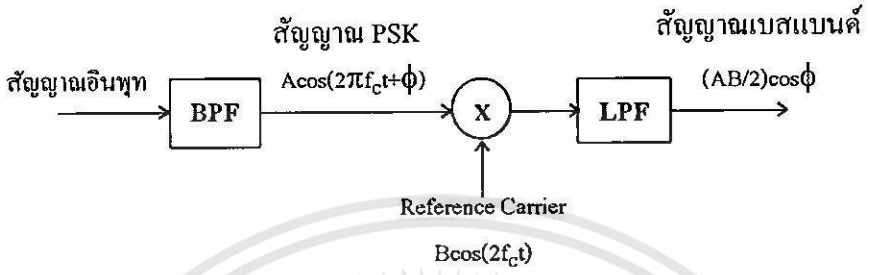


รูปที่ 2.14 วงจรมอดูเลตแบบ QPSK

การดีเทคสัญญาณดิจิตอลแบบ PSK ทางด้านเครื่องรับสัญญาณจะทำการดีเทคแบบโคฮีเรนท์ (Coherent Detection) โดยทำการคูณสัญญาณ PSK ที่ได้จากวงจรกรองผ่านแถบความถี่หรือ

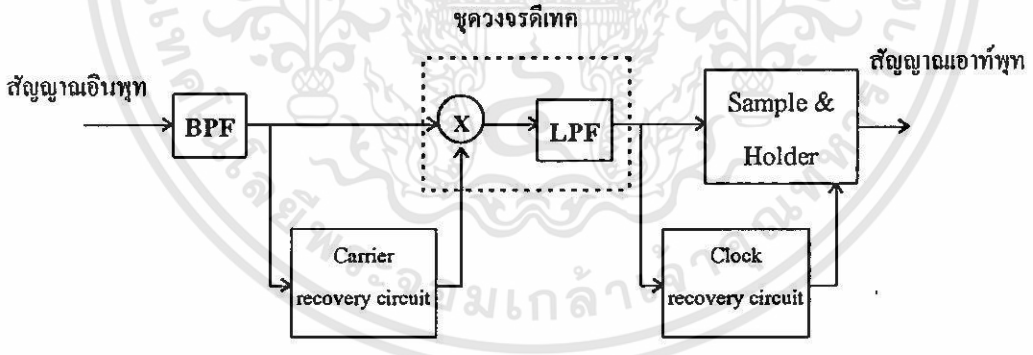
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BPF (Band-pass filter) ด้วยสัญญาณอ้างอิง (reference carrier) จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ผ่านวงจรความถี่ต่ำผ่าน (LPF : Low pass filter) และได้สัญญาณเบสแบนด์ (Baseband) ออกมาและสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การดีเทคสัญญาณแบบโคฮีเรนท์

รูปที่ 2.16 วงจรสมมูลที่ใช้ในการดีเทคสัญญาณแบบโคฮีเรนท์โดยสัญญาณความถี่อ้างอิงสามารถหาได้จากวงจร Carrier Recovery ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกนำมาคูณสัญญาณแล้วผ่านเข้าวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และสัญญาณเอาท์พุทถูกนำมาเข้าวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาและถูกส่งต่อไปยังวงจร Sampling & Holder เพื่อทำการหาสัญญาณเอาท์พุทออกมา



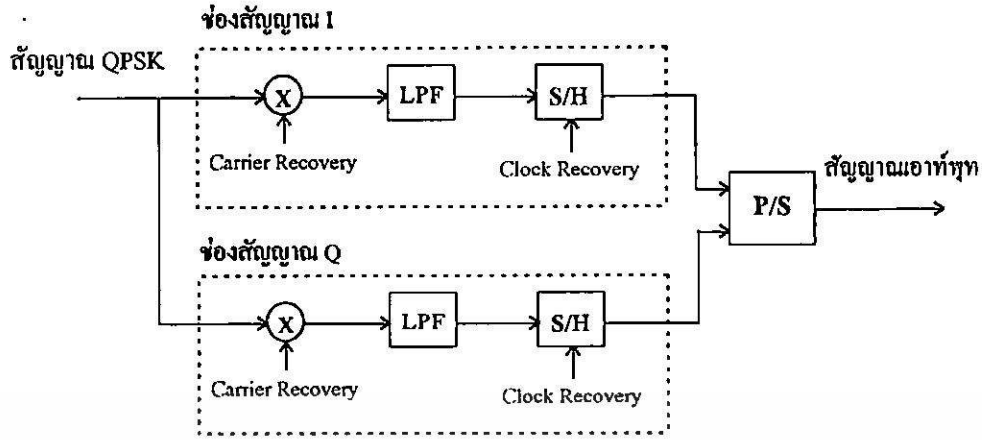
รูปที่ 2.16 บล็อกไดอะแกรมของวงจรดีมอดูเลตแบบโคฮีเรนท์

หน้าที่ของบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.16 สามารถแสดงหน้าที่ได้ดังนี้คือ

- Carrier Recovery Circuit ทำหน้าที่สร้างคลื่นพาห์อ้างอิงขึ้นมาใหม่โดยการทวีคูณสัญญาณ PSK ที่รับเข้ามาได้

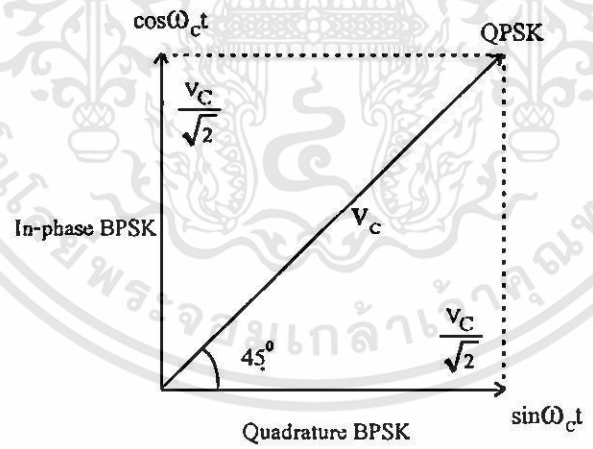
- Clock Recovery Circuit ทำหน้าที่สร้างสัญญาณนาฬิกาขึ้นมาใหม่เพื่อใช้สำหรับวงจร Sampling & Hold

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 วงจรดีมอดูเลตสัญญาณ QPSK

สำหรับวงจรที่ทำหน้าที่ดีมอดูเลตสัญญาณ QPSK สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.17 โดยจะนำเอาสัญญาณ QPSK ที่รับเข้ามาแยกออกเป็น 2 ช่องสัญญาณเพื่อหาสัญญาณ I และ Q หลังจากที่ถูกคูณกับสัญญาณที่ได้จากวงจร Carrier Recovery แล้วถูกส่งไปยังวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านและเข้าวงจร S/H โดยนำสัญญาณนาฬิกาอ้างอิงมาทำการหาค่าสัญญาณเอาท์พุทจากนั้นจึงผ่านเข้าวงจรแปลงสัญญาณจากขนานเป็นสัญญาณอนุกรม (P/S) ต่อไป



รูปที่ 2.18 ผลรวมของสัญญาณ QPSK ที่ได้จากสัญญาณ BPSK

ในรูปที่ 2.18 เป็นการใช้บิตข้อมูลของ BPSK มาประกอบเป็นระบบ QPSK โดยใช้ quadrature bit stream ซึ่งแต่ละ stream ที่มอดูเลตจะตั้งฉากกันและมีค่าของคลื่นพาห์เป็นครึ่งหนึ่งของอัตราบิตที่รับเข้ามา โดยสัญญาณจะแบ่งระบบ BPSK ออกเป็น 2 ด้านคือด้าน In-phase stream modulate ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีการมอดูเลตด้วยสัญญาณที่มีเฟสเดียวกันโดยสมการจะมีค่า $\cos\omega_c t$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในส่วนของ Quadrature stream modulate จะมีค่าเป็น $\sin\omega_c t$ จากรูปที่ 2.16 เวกเตอร์ของ QPSK ซึ่งมีค่าเป็น V_c ดังนั้นแต่ละ quadrature ของ BPSK เวกเตอร์จะมีค่าเป็น $0.707V_c$

ดังนั้นสัญญาณ BPSK [14] ในช่วง quadrature จะประกอบด้วยค่ากำลังงานเฉลี่ยครึ่งหนึ่งของสัญญาณ QPSK ถ้าหากสัญญาณ QPSK มีอัตราบิตเป็น R บิตและมีค่ากำลังงานเฉลี่ยเป็น S วัตต์ ดังนั้นในแต่ละ quadrature ของสัญญาณ BPSK จะมีอัตราบิตเป็น R/2 บิตต่อวินาที และมีกำลังงานเฉลี่ยเป็น S/2 วัตต์

2.7.2 แบนด์วิดท์ของสัญญาณ RF

สำหรับการหาค่าแบนด์วิดท์ของระบบ (B_{IF}) ของระบบ BPSK และระบบ QPSK ซึ่งสัมพันธ์กับค่า roll off (ρ) หาได้จากสมการที่ (40) [3]

$$B_{IF} = \frac{(1+\rho)R_{sym}}{FEC} \tag{40}$$

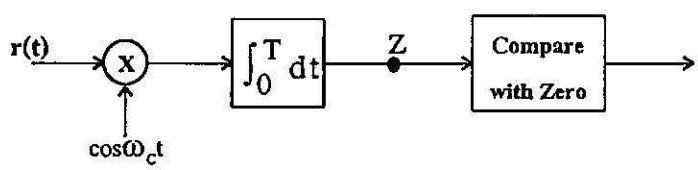
เมื่อ R_{sym} คือค่าอัตราสัญลักษณ์ (symbol rate) ของระบบแบบ QPSK เท่ากับ $R_b/2$ และระบบ BPSK เท่ากับ R_b เมื่อ R_b คืออัตราบิตที่ใช้ส่ง

2.7.3 อัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate)

ในการส่งแบบ PSK นั้นจะมี white gaussian noise ของความหนาแน่นสเปกตรัม $N_0/2$ ที่อินพุทของตัวมอดูเลตซึ่งแสดงได้โดย r(t) ในขณะที่

$$r(t) = s(t) + n(t) \tag{41}$$

เมื่อ s(t) เป็นค่าสัญญาณ ส่วน n(t) เป็นสัญญาณรบกวน วงจรของเครื่องรับสัญญาณที่ใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของระบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 เครื่องรับสัญญาณ PSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมุติให้เลขไบนารี่มีค่าเป็น 1 ซึ่งการส่งจะให้ค่าแทนด้วย $S_1(t)$ และให้

$$S_1(t) = V_c \cos(\omega_c t + \pi) \qquad = - V_c \cos\omega_c t \tag{42}$$

ทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่เอาท์พุทของเครื่องรับที่จุด Z จะได้เอาท์พุทดังสมการที่ (43)

$$Z = \int_0^T r(t)\cos\omega_C t dt \tag{43}$$

จากสมการที่ (43) ทำการเปรียบเทียบระดับสัญญาณที่ค่าศูนย์ ถ้าค่าของเอาท์พุทใหญ่กว่าหรือมีค่ามากกว่าศูนย์ เมื่อทำการถอดรหัสจะทำการส่งค่าเป็น 0 แต่ถ้าค่าเอาท์พุทน้อยกว่าศูนย์จะทำการส่งค่า 1 ในกรณีการส่ง 0 ค่าของ r(t) จะได้ดังสมการที่ (44)

$$r(t) = V_c \cos\omega_c t \tag{44}$$

และค่าเอาท์พุทของสัญญาณจะเขียนได้โดย

$$Z = \int_0^T r(t)\cos\omega_c t dt$$

$$= \int_0^T [V_c \cos\omega_c t + n(t)]\cos\omega_c t dt$$

$$= V_c \int_0^T \cos^2\omega_c t dt + \int_0^T n(t)\cos\omega_c t dt \tag{45}$$

ใน Gaussian Variable ซึ่งมีค่า mean value เป็น $V_cT/2$ และค่า variance จะสามารถหาได้จาก

$$\sigma^2 = E[\int_0^T \int_0^T n(t)n(\tau)\cos\omega_c t \cos\omega_c \tau dt d\tau]$$

$$= \frac{N_o}{2}\int_0^T \cos^2\omega_c t dt \tag{46}$$

$$= \frac{N_o T}{4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า probability density function (pdf) [15] ของ Gaussian random noise สามารถแสดงได้โดย

$$p(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{n(t)}{\sigma}\right)^2\right] \tag{47}$$

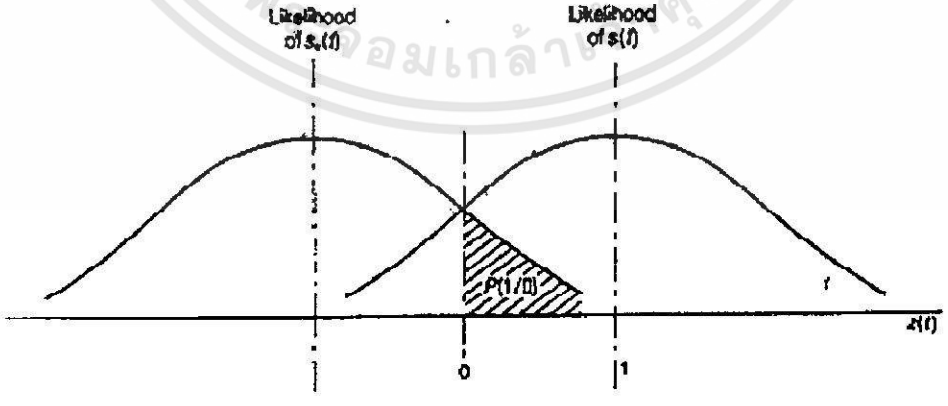
เมื่อ σ คือค่า Noise variance

เมื่อกำหนดให้ $Z(t) = V_C T/2 + n(t)$ ดังนั้นสมการที่ (47) เพื่อสามารถหาค่า probability density function (pdf) ค่า $p(Z/S_1)$ และค่า $p(Z/S_0)$

$$p(z/s_1) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(z + (V_C T/2))^2}{(N_0 T/2)}\right] \tag{48}$$

$$p(z/s_0) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(z - (V_C T/2))^2}{(N_0 T/2)}\right] \tag{49}$$

ในรูปที่ 2.20 แสดง detector probability output ส่วนด้านซ้ายมือจะเป็น curve ที่แสดงค่า probability density ของเอาท์พุทสำหรับการส่งค่า $S_0(t)$ และด้านซ้ายมือเป็นการส่งค่า probability density สำหรับการส่งค่าของ $S_1(t)$



รูปที่ 2.20 พรอบบะบิลิตีเดนซิตีฟังก์ชั่นของ PSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.21 ค่า error ที่เกิดขึ้นเมื่อพูดถึง $S_0(t)$ ซึ่งถูกส่งและช่องสัญญาณรบกวนในเครื่องรับที่ได้สัญญาณเอาท์พุทเป็น Z(t) ซึ่งมีค่าที่ใหญ่กว่าค่า threshold ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยพื้นที่ที่แรเงาภายใต้ curve ในรูปที่ 2.18 ค่าความน่าจะเป็นของการเกิด error สามารถหาได้โดย

$$P_e = P(e/S_0) \qquad = \int_0^T p(z/S_0)dz$$

$$P_e = \int_0^T \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(z-(V_c T/2))^2}{(N_0 T/2)} \right] dz \tag{50}$$

เมื่อกำหนดให้ $x = (z-(V_c T/2))/\sigma$ หรือ

$$x = \frac{(z-(V_c T/2))}{\sqrt{N_0 T/4}}$$

กำหนดให้ $dx = dz/\sigma$ และค่าจำกัดอยู่ที่ค่า $z = 0$ ซึ่งเป็น

$$x = -\frac{V_c T/2}{\sqrt{N_0 T/4}}$$

$$= -\sqrt{\frac{V_c^2 T}{N_0}}$$

สามารถเขียนค่า error function (erfc) จาก

$$P_e = \int_{(-\sqrt{(V_C^2 T)/N_0})}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} dx \tag{51}$$

$$P_e = \frac{1}{2}\text{erfc}\left(\sqrt{\frac{V_C^2 T}{N_0}}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_e = \frac{1}{2}\text{erfc}\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \quad (52)$$

หรือสามารถเขียนได้เป็น

$$P_e = 0.5\text{erfc}(\sqrt{E_b/N_0}) \quad (53)$$

เมื่อ BEP คือ ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบและ $\text{erfc}(x)=\frac{2}{\pi}\int_x^{\infty} e^{-u^2}\,du$ ส่วน E_b/N_0 คือค่ากำลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวน

$$BER=\frac{(n-1)!}{t!(n-1-t)!}P_e^{t+1} \quad (54)$$

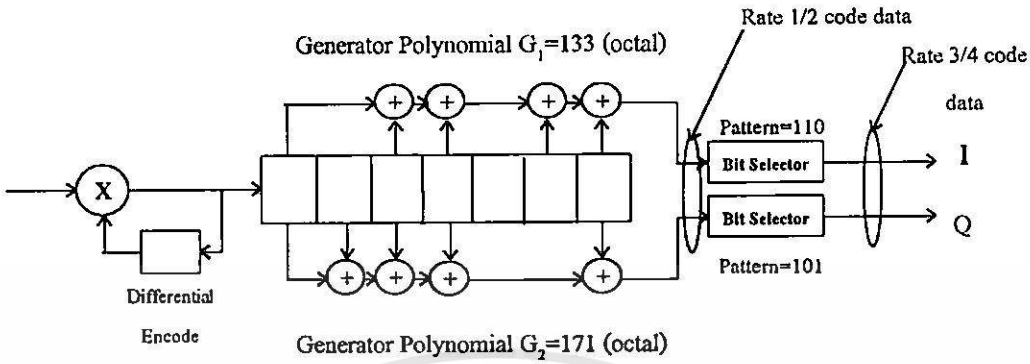
สำหรับสมการที่ (39) เป็นการหาค่า BER (Bit Error Rate) เมื่อ n เป็นจำนวนของบิตในแต่ละ code word และ P_e เป็นความน่าจะเป็นของอัตราบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการส่ง และ t คือจำนวนสูงสุดของบิตผิดพลาดที่ยอมให้เกิดขึ้นในการตรวจสอบความผิดพลาด

2.7.4 การแก้ความผิดพลาด (Error Correction)

วงจรตรวจสอบความผิดพลาดเป็นวงจรที่มีความสำคัญในการทำการแก้ไขข้อผิดพลาดเวลาส่งสัญญาณโดยวงจรหนึ่งที่มักใช้กับระบบสื่อสารดาวเทียมคือวงจร FEC (Forward Error Correction) โดยถือว่าการเข้ารหัสแบบ FEC เป็นผลของการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชัน (Convolution coding) โดยวงจร FEC มีการเข้ารหัสที่หลายอัตราคืออัตรา 1/2 อัตรา 3/4 และอัตรา 7/8 ในที่นี้ทำการพิจารณาการเข้ารหัสที่อัตรา 3/4 แบบคอนโวลูชันและใช้การถอดรหัสแบบ Viterbi ขบวนการในการเข้ารหัสแบบนี้จะใช้แก้ข้อผิดพลาดในการส่งสัญญาณโดยใช้วิธี FEC ซึ่งมีหน้าที่ 3 อย่างคือ

- กำเนิดสัญญาณ coding bit ที่เหมาะสมในการเชื่อมโยงเข้ากับการมอดูเลต
- รับสัญญาณที่ดีมอดูเลตแล้วเพื่อนำมาแปลงกลับสัญญาณและแก้ไขสัญญาณให้ถูกต้อง
- เชื่อมโยงกับภาคดีมอดูเลตเพื่อใส่รหัสที่ได้ตรวจสอบเกี่ยวกับบิตข้อมูลที่ส่งตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ขบวนการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชัน

จากรูปที่ 2.21 เป็นการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชันโดยเป็นการสร้างสัญญาณ FEC อัตรา 3/4 ขึ้นมาโดยขั้นแรกจะทำการสร้าง FEC อัตรา 1/2 ขึ้นก่อนแล้วจึงสร้าง FEC อัตรา 3/4 การทำงานจะใช้ชิฟรีจิสเตอร์ขนาด 7 บิตโดยใช้จำนวน 6 บิตนำมาเข้าวงจร XOR เพื่อสร้างสัญญาณโพลิโนเมียลจำนวน 2 ชุดจากทั้ง 6 บิตของวงจรชิฟรีจิสเตอร์เพื่อสร้าง FEC อัตรา 1/2 ขึ้นมาแล้วผ่านวงจรเลือกบิต (bit select) เพื่อสร้าง FEC อัตรา 3/4 ขึ้นมา แล้วสัญญาณที่ได้จากวงจรเลือกบิตจะถูกนำไปใช้เป็นสัญญาณ I และสัญญาณ Q ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

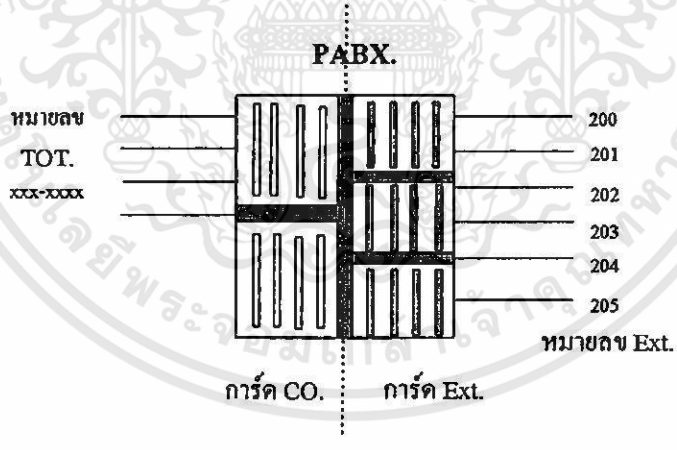
บทที่ 3
ระบบโทรศัพท์และระบบสื่อสารข้อมูลผ่านดาวเทียมแบบ SCPC

3.1 ระบบโทรศัพท์ผ่านดาวเทียมแบบ VSAT

ระบบโทรศัพท์ผ่านดาวเทียมแบบ VSAT (Vary Small Aperture Terminal) ที่อาศัยระบบสื่อสารดาวเทียมแบบ SCPC โดยใช้ตัวมัลติเพลกซ์ในการเชื่อมต่อระบบโทรศัพท์เข้าด้วยกัน สำหรับรูปแบบการทำงานมีหลายรูปแบบแต่ที่นิยมได้แก่การโอนเบอร์จากต้นทางไปยังสาขาที่อยู่ปลายทาง

3.1.1 ระบบโทรศัพท์

ระบบโทรศัพท์ที่ใช้งานมีหลายรูปแบบ ในที่นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดอย่างคร่าวๆ ของระบบโทรศัพท์ที่ใช้กันอยู่ภายในสำนักงานทั่วๆ ไป ซึ่งประกอบด้วยคู่สายขององค์การโทรศัพท์ (TOT) ผ่านเข้ามายังระบบตู้สาขาอัตโนมัติ หรือ PABX (Private Automatic Branch Exchange) ของผู้เช่าใช้บริการ เพื่อขยายการทำงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งโดยทั่วๆ ไปแล้วมีหลักการทำงานที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับระบบ PABX ว่าเป็นแบบใด



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของตู้สาขาอัตโนมัติ

รูปที่ 3.1 เป็นโครงสร้างของระบบตู้สาขาอัตโนมัติ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกได้แก่ระบบรับสายตอนนอกหรือรับเบอร์โทรศัพท์จากองค์การโทรศัพท์ และส่วนที่สองได้แก่ระบบเชื่อมต่อกับคู่สายภายใน โดยทั้ง 2 ส่วนจะมีการ์ดสำหรับเชื่อมต่อที่แตกต่างกัน การ์ดที่ต่อรับสายตอนนอกจากองค์การโทรศัพท์เรียกว่าการ์ด CO. ทำหน้าที่รับสัญญาณเรียกเข้าจากองค์การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรศัพท์และแปลงสัญญาณภายในเพื่อส่งออก ส่วนที่ 2 เรียกว่าการ์ด Ext. (Extension card) ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับโทรศัพท์ภายในที่อยู่ในบริษัท สำหรับการทำงานต่างๆ ของระบบไม่ว่าจะเป็นการโอนสายภายใน การพักสายเรียกเข้า การทำ Hunting และอื่นๆ ก็ขึ้นอยู่กับความสามารถของตู้สาขาอัตโนมัติ

3.2 การเชื่อมต่อโทรศัพท์ผ่านตัวมัลติเพลกซ์

การส่งสัญญาณโทรศัพท์จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมแบบ SCPC จำเป็นต้องใช้ตัวมัลติเพลกซ์ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลและสัญญาณเสียง แล้วส่งผ่านไปยังระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยอุปกรณ์ตัวมัลติเพลกซ์ที่ใช้ในที่นี้คือ MICOM รุ่น 5K [16] ภายในตัวมัลติเพลกซ์จะใช้โมดูลเสียงทำการเชื่อมต่อสัญญาณจากต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งการเชื่อมต่อระบบโทรศัพท์ผ่านตัวมัลติเพลกซ์ในที่นี้สามารถเชื่อมต่อด้วยโมดูลเสียง [8] 3 แบบด้วยกัน และสามารถแบ่งได้ดังนี้

- โมดูลแบบ OPX (Off Premises Extension Module)
- โมดูลแบบ KTS (Key Telephone Systems Module)
- โมดูลแบบ E&M (Ear and Mouth Module)

โมดูลแบบ OPX ทำหน้าที่เป็นโมดูลที่รับสัญญาณโทรศัพท์จากต้นทางของตู้สาขาอัตโนมัติแล้วทำการแปลงสัญญาณเพื่อทำการส่งผ่านตัวมัลติเพลกซ์ไปยังปลายทาง ส่วนโมดูลแบบ KTS ทำหน้าที่แปลงสัญญาณต่างๆ ที่ถูกมัลติเพลกซ์ให้เป็นสัญญาณที่สามารถอินเตอร์เฟสเข้ากับเครื่องโทรศัพท์และระบบตู้สาขาอัตโนมัติ เช่นสัญญาณกระดิ่งเรียก และเสียงสัญญาณให้กดหมายเลข (dial tone) ในการเชื่อมต่อระบบแบ่งการเชื่อมต่อเป็น 2 ทางด้วยกันคือด้านต้นทาง (Local) และด้านปลายทาง (Remote) ตัวกลางในการเชื่อมต่อตัวมัลติเพลกซ์ด้านต้นทางและปลายทางเข้าด้วยกันมีด้วยกันหลายชนิด เช่น ระบบไมโครเวฟ ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม และระบบคู่สายเช่า (lease line) โดยแต่ละระบบที่กล่าวมาจะมีการหน่วงเวลาเกิดขึ้นแตกต่างกัน ในที่นี้ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมเป็นระบบที่มีการหน่วงเวลาเกิดขึ้นมากที่สุดเพราะมีระยะทางในการสื่อสารที่ยาวที่สุด และเวลาหน่วงก็มีผลกระทบต่อการทำงานของตัวมัลติเพลกซ์และมีผลต่อสัญญาณเสียงของระบบโทรศัพท์ ในเอกสารนี้แสดงรูปแบบการเชื่อมต่อระบบโทรศัพท์ผ่านตัวมัลติเพลกซ์ ซึ่งมีรูปแบบในการเชื่อมต่อแบบใหญ่ๆ แบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือแบบ OPX เชื่อมต่อกับ KTS แบบ KTS เชื่อมต่อกับ KTS และแบบ E&M เชื่อมต่อกับ E&M ในที่นี้รูปแบบของการเขียนเช่น OPX กับ KTS สามารถแสดงได้ว่า OPX เป็นโมดูลของการ์ดเสียงที่ใช้ที่ทางด้านต้นทาง ส่วนตัวหลังสุดคือ KTS เป็นตัวที่ใช้แสดงโมดูลของการ์ดเสียงที่เป็นแบบ KTS และเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ทางด้านปลายทาง (Remote) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2

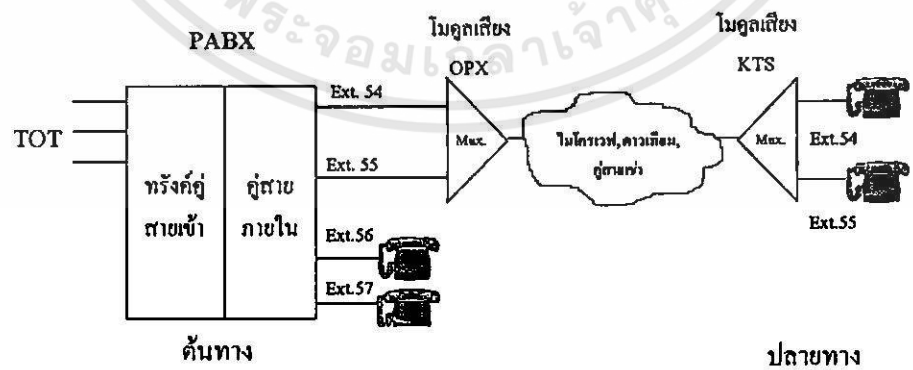
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 รูปแบบการบอกตำแหน่งและชนิดของโมดูล

รูปที่ 3.2 เป็นการแสดงรูปแบบการบอกตำแหน่งและชนิดของโมดูล โดยสามารถอธิบายได้ว่า OPX คือโมดูลเสียงที่อยู่ด้านต้นทางซึ่งสังเกตจากตำแหน่งของชื่อที่เขียนขึ้นต้นจะเป็นสถานีด้านต้นทาง ส่วนโมดูลแบบ KTS เป็นโมดูลเสียงที่ใช้กับด้านปลายทาง

3.2.1 การเชื่อมต่อแบบ OPX กับ KTS แบบปลายทางไม่มีตู้สาขาอัตโนมัติ

ในรูปที่ 3.3 เป็นการเชื่อมต่อระบบโทรศัพท์แบบ OPX กับ KTS โดยการเชื่อมต่อทางด้านต้นทาง (Local) ทำการโอนเบอร์ภายในไปให้ทางด้านปลายทาง (Remote) ระบบนี้เรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า Remote Extension ในการเชื่อมต่อแบบ OPX กับ KTS ใช้โมดูลของการ์ดเสียง 2 ชนิดคือ OPX และ KTS ทางด้านต้นทางใช้โมดูลแบบ OPX ซึ่งมีคุณสมบัติในการรับสัญญาณจากตู้สาขาอัตโนมัติแล้วแปลงสัญญาณ และส่งผ่านตัวมัลติเพลกซ์ไปยังด้านปลายทาง โดยผ่านสื่อกลางเช่น ระบบไมโครเวฟ ระบบดาวเทียมหรือระบบคู่สายเช่า สำหรับด้านปลายทางจะใช้โมดูลแบบ KTS ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวแปลงสัญญาณต่างๆ ที่รับมาจากด้านต้นทาง เช่นสัญญาณกระดิ่งเรียกและเสียงสัญญาณให้กดหมายเลขเป็นต้น เพื่ออินเตอร์เฟสเข้ากับระบบโทรศัพท์ต่อไป



รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อแบบ OPX กับ KTS แบบปลายทางไม่มีตู้สาขาอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

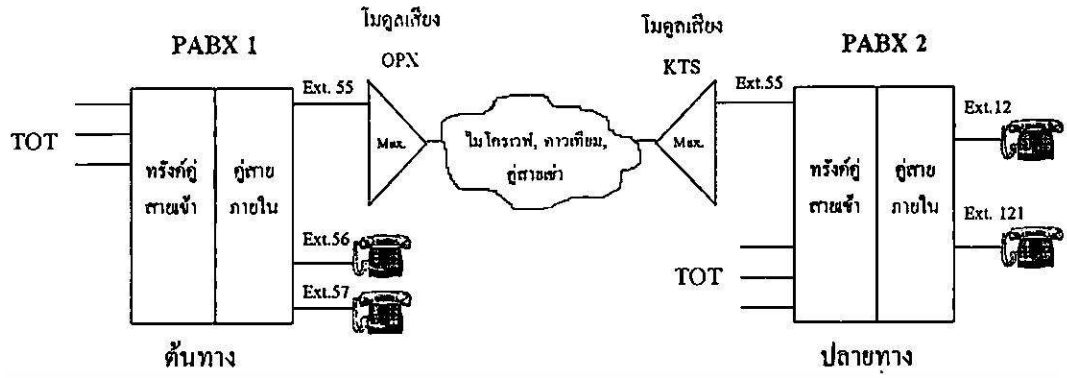
หลักการทำงานในรูปที่ 3.3 เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบผ่านตัวมัลติเพลกซ์เรียบร้อยแล้วทำการเชื่อมต่อโทรศัพท์ที่ Ext.55 เข้าที่โมดูลเสียงแบบ OPX ที่ด้านต้นทางแล้วใช้ซอฟแวร์ที่มีในตัวมัลติเพลกซ์ทำการเชื่อมต่อระหว่างโมดูลเสียงด้านต้นทางและโมดูลเสียงด้านปลายทางเข้าด้วยกัน เมื่อด้านปลายทางยกหูโทรศัพท์ขึ้นจะได้ยินเสียงสัญญาณให้กดหมายเลขโทรศัพท์ภายในของ PABX ด้านต้นทาง จึงสามารถกดหมายเลขภายในของด้านต้นทาง (ในที่นี้คือ Ext.56 และ Ext.57) ได้ การสื่อสารจะไม่สำเร็จถ้าหากเลขหมายเหล่านั้นว่างอยู่แต่ไม่มีผู้รับสาย อีกกรณีหนึ่งคือการตัดออกเลขหมายของ TOT จากทางด้านปลายทางสามารถทำฟังก์ชั่นของ PABX ด้านต้นทางคือการตัดออกคู่สายนอกได้ แต่มีข้อแม้ว่าที่ PABX ด้านต้นทางต้องทำการโปรแกรมให้หมายเลขที่โอนไปด้านปลายทางสามารถทำการตัดออกคู่สาย TOT ได้ การใช้งานทางด้านปลายทางอธิบายได้ โดยเมื่อทำการยกหูโทรศัพท์เครื่องปลายทางจะได้ยินสัญญาณให้กดหมายเลขของโทรศัพท์ภายในที่ด้านต้นทาง ให้กดหมายเลขที่ได้กำหนดให้ทำการตัดออกสายนอกเพื่อไปจับคู่สายของ TOT โดยต้องทำการโปรแกรม PABX เอาไว้ก่อนเช่นการกด "9" เพื่อต่อออกสายนอก

เครื่องโทรศัพท์ที่ด้านต้นทางสามารถทำการเรียกไปยังหมายเลขที่กำหนดให้เป็นด้านปลายทางได้ 2 วิธีด้วยกัน โดยการโปรแกรมที่ PABX วิธีแรกเป็นการเรียกแบบธรรมดาเช่นเครื่องเบอร์ Ext.56 ต้องการเรียกไปยังด้านปลายทาง เมื่อยกหูโทรศัพท์และได้ยินสัญญาณให้กดหมายเลขแล้วจึงกดเลขหมายปลายทาง (ในที่นี้เป็นเบอร์ 55) แล้วรอจนกระทั่งด้านปลายทางรับสายการสื่อสารก็จะสำเร็จ วิธีที่ 2 ทำการโปรแกรมให้ PABX ทำการสุ่มเลือกเลขหมายอัตโนมัติ โดยการกดเลขหมายเพียงเลขเดียว (เช่น 8) เมื่อเวลากดเลข "8" ก็ให้ไปสุ่มเลือกเลขหมายที่ว่างแล้วส่งสัญญาณไปที่ตัวมัลติเพลกซ์ ตัวอย่างเช่นเลขหมายที่กำหนดให้เป็นเบอร์ปลายทางในที่นี้คือ Ext.54 และ Ext.55 ให้ทำการจัดกลุ่มเลขหมายและระบุเอาไว้ว่าถ้ากดเลข "8" แล้วให้ PABX เข้ามาสุ่มเลือกเลขหมายเบอร์ที่ว่างเบอร์ใดก็ได้ใน 2 หมายเลขนี้ แล้วเมื่อได้ยินสัญญาณให้กดหมายเลขจากปลายทางก็กดเลขหมายภายในได้ซึ่งฟังก์ชันนี้มีความยืดหยุ่นสูงในกรณีที่ด้านปลายทางมีตู้สาขาอัตโนมัติด้วย

3.2.2 การเชื่อมต่อแบบ OPX กับ KTS แบบมีตู้สาขาอัตโนมัติทั้ง 2 ด้าน

ในการเชื่อมต่อ OPX กับ KTS ของตัวมัลติเพลกซ์เข้ากับ PABX เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยใช้การโอนเลขหมายภายในจากต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งทั้งด้านต้นทางและปลายทางมี PABX วิธีนี้เป็นวิธีที่ค่อนข้างสะดวกเพราะอาศัย PABX เป็นตัวช่วยในการอำนวยความสะดวกกรณีการกดเลขหมายภายในที่สถานีปลายทางและการโอนเลขหมายภายในไปยังเลขหมายภายในอื่นๆ ซึ่งไม่จำเป็นต้องเสียเวลาต่อโทรศัพท์ใหม่อีกครั้ง และสามารถแสดงโครงสร้างของระบบนี้ได้ดังรูปที่ 3.4

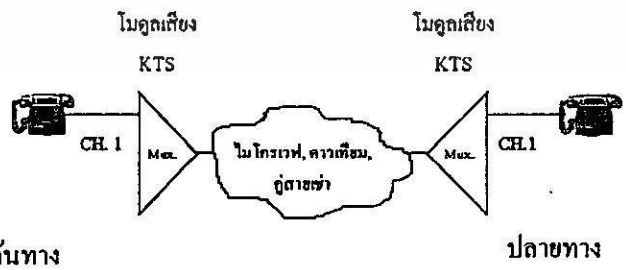
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การเชื่อมต่อแบบ OPX กับ KTS แบบมีตู้สาขาอัตโนมัติทั้ง 2 ด้าน

จากรูปที่ 3.4 เป็นการโอนเลขหมายภายในจากด้านต้นทางไปยังปลายทาง โดยด้านต้นทางและปลายทางมี PABX ทั้ง 2 ด้าน ในที่นี้นำเลขหมายภายในจากทางต้นทางคือเบอร์ Ext.55 ส่งเข้าตัวมัลติเพลกซ์ที่เป็นโมดูลแบบ OPX และต่อกับตัวมัลติเพลกซ์ที่ปลายทางที่เป็นโมดูลแบบ KTS ที่พอร์ทของ KTS นี้จะนำไปเชื่อมต่อกับ PABX ที่การ์ด Co. ของทางด้านปลายทางซึ่งจะเป็นเสมือนเลขหมายของ TOT อีกเลขหมายหนึ่ง นอกจากนี้ให้ทำการโปรแกรม PABX ทั้ง 2 ด้านให้กด "9" เพื่อโทรออกสายนอกและกด "8" เพื่อโทรผ่านดาวเทียม ดังนั้นจะพบว่าการโทรศัพท์จะสะดวกขึ้นทั้ง 2 ด้านโดยแค่ทำการกด "8" เพื่อให้ PABX ทำการสุ่มเลือกช่องสัญญาณโทรศัพท์ที่ว่าง และหลังจาก PABX เลือกช่องสัญญาณที่ว่างได้แล้ว ก็จะได้ยินเสียงสัญญาณให้กดเลขหมายของโทรศัพท์ภายในของอีกด้านหนึ่งซึ่งระบบนี้ถือว่าดีกว่ามีความยืดหยุ่นสูงกว่าการต่อ OPX กับ KTS แบบปลายทางที่ไม่มีตู้สาขาอัตโนมัติ สำหรับตัวกลางในการส่งเช่น ระบบไมโครเวฟอาจเป็นแบบจุดต่อจุด หรือระบบสื่อสารดาวเทียมแบบ SCPC ที่ใช้ตัวมัลติเพลกซ์ต่อที่ด้านต้นทางและปลายทาง

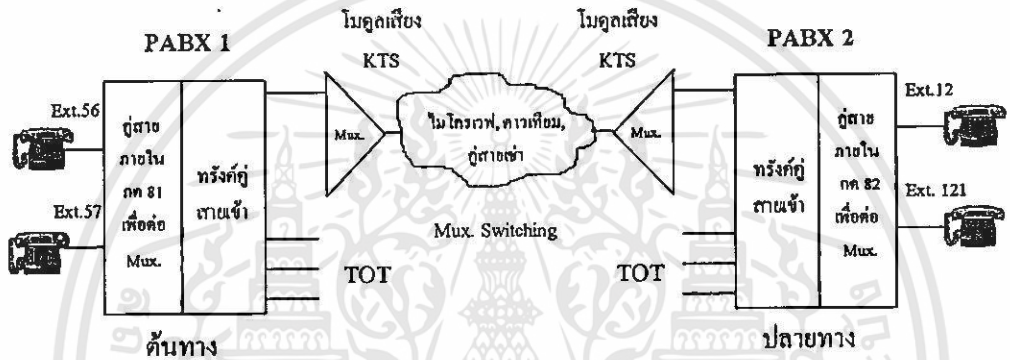
3.2.3 การเชื่อมต่อแบบ KTS กับ KTS



รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อ KTS กับ KTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อแบบ KTS กับ KTS ที่แสดงในรูปที่ 3.5 มีประโยชน์กับระบบที่ไม่มีตู้สาขาอัตโนมัติทั้งด้านต้นทางและด้านปลายทาง คือมีเพียงแค่เครื่องโทรศัพท์ 2 เครื่องก็สามารถใช้งานได้ โดยที่ระบบนี้มีชื่อเรียกอีกชื่อว่าสายด่วน (Hot Line) มีหลักการทำงานคือถ้าทางด้านใดด้านหนึ่งทำการยกหูโทรศัพท์ขึ้นมาตัวมัลติเพลกซ์เมื่อตรวจพบการยกหูโทรศัพท์ก็จะส่งสัญญาณไปให้ทางด้านตรงกันข้ามให้ทำการส่งสัญญาณกระดิ่งเรียก ทำให้เกิดสัญญาณเสียงเรียกที่ด้านปลายทาง และถ้าทางปลายทางรับสายการสื่อสารก็จะสมบูรณ์ สำหรับการประยุกต์การใช้งานระบบโทรศัพท์แบบ KTS กับ KTS มีวิธีการใช้งานอยู่วิธีหนึ่ง ซึ่งต้องอาศัยการใช้ระบบสวิตช์ชิ่งของตัวมัลติเพลกซ์เข้าช่วย ซึ่งการทำงานของระบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การใช้ระบบสวิตช์ชิ่งของตัวมัลติเพลกซ์

จากรูปที่ 3.5 มีหลักการทำงานคืออาศัยฟังก์ชั่นการเชื่อมต่อแบบ KTS กับ KTS โดยเมื่อทำการยกหูโทรศัพท์จะมีสัญญาณกระดิ่งเรียกไปยังปลายทาง ดังนั้นอาศัยหลักการนี้ในการประยุกต์ใช้กับการทำสวิตช์ที่ตัวมัลติเพลกซ์ในการสุ่มเลือกช่องสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 3.6 และใช้การโปรแกรมตู้ให้ไปเชื่อมต่อกับเบอร์ที่ต่อกับตัวมัลติเพลกซ์ เช่นทางด้านต้นทางให้โปรแกรมตัด "81" เมื่อต้องการโทรไปทางปลายทางผ่านดาวเทียม ส่วนทางด้านปลายทางถ้าต้องการโทรผ่านดาวเทียมมาที่ทางด้านต้นทางก็ให้โปรแกรมให้ที่ตู้ตัด "82" เพื่อโทรเข้ามาทางด้านต้นทาง ตัวอย่างเช่น Ext.56 ต้องการโทรไปปลายทางที่ Ext.121 จะมีขบวนการเริ่มต้นที่ Ext.56 ทำการยกหูโทรศัพท์เมื่อได้ยินสัญญาณให้กดหมายเลขของ PABX ที่ด้านต้นทางให้ทำการกด "81" และ PABX จะทำการสุ่มช่องสัญญาณที่ว่างให้ (เฉพาะที่ได้โปรแกรมเอาไว้) จากนั้นเมื่อ PABX เลือกช่องสัญญาณที่ต่อกับตัวมัลติเพลกซ์ได้แล้ว ตัวมัลติเพลกซ์ก็จะเสมือนมีการยกหูที่ทางด้านต้นทางทำให้ไปเกิดสัญญาณกระดิ่งที่ทางด้านปลายทาง ในที่นี้จะมีอยู่ 1 ขั้นตอนที่ตัวมัลติเพลกซ์ต้องทำคือการทำให้ตัวเองเป็นสวิตช์ชิ่ง คือสามารถที่จะเลือกต่อช่องสัญญาณใดของตัวมัลติเพลกซ์ก็ได้ และเมื่อมีสัญญาณกระดิ่งเรียกมาที่ปลายทางก็จะเหมือนกับว่ามีสายเรียกเข้ามาที่เบอร์ TOT นั่นเอง ในช่วงนี้

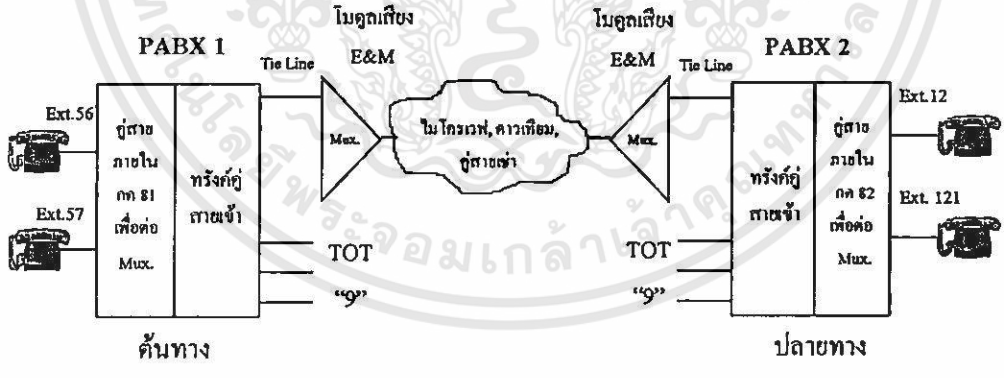
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการโปรแกรมให้ทุกเบอร์มีสัญญาณตอบรับอัตโนมัติ (disa voice) เพื่อบอกให้กดเบอร์ภายในของทางฝั่งปลายทาง ดังนั้นก็จะมีสัญญาณเรียกจาก PABX2 ไปยังเบอร์ 121 (Ext.121) เมื่อผู้รับทำการยกหูการสื่อสารก็จะสมบูรณ์

ระบบนี้เหมาะกับการเชื่อมต่อระหว่าง PABX กับ PABX ทั้ง 2 ด้าน โดยทำหน้าที่เป็นสวิตช์อัตโนมัติในกรณีที่ PABX ต่างยี่ห้อกันและเกิดปัญหาการทำสุ่มเลือกหมายเลขอัตโนมัติเพื่อใช้ติดต่อหรือแก้ไขระดับสัญญาณที่มีปัญหาในการสุ่มเลือกอัตโนมัติของ PABX ทั้ง 2 ด้าน

3.2.4 การเชื่อมต่อแบบ E&M กับ E&M

โมดูลแบบ E&M เป็นโมดูลที่ใช้เชื่อมต่อเข้ากับทรังค์ของ PABX โดยเป็นรูปแบบหนึ่งของการเชื่อมต่อทั้ง 3 อย่าง (OPX, KTS และ E&M) ข้อมูลทุกอย่างของระบบโทรศัพท์จะถูกเชื่อมต่อเข้าโดยตรงกับทรังค์ของ PABX ทั้ง 2 ด้าน ระบบ E&M มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า "Tie line" และนอกจากนี้แล้วระบบ E&M สามารถแบ่งออกตามรูปแบบของสัญญาณควบคุมออกได้เป็น 5 ชนิดด้วยกันคือ E&M รูปแบบที่ I, E&M รูปแบบที่ II, E&M รูปแบบที่ III, E&M รูปแบบที่ IV และ E&M รูปแบบที่ V โดยในที่นี้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของทั้ง 5 ชนิดจะต่างกันและที่นิยมใช้กันมากได้แก่ E&M รูปแบบที่ V และ E&M รูปแบบที่ I นอกจากนี้แล้วการแบ่งชนิดของ E&M ยังสามารถแบ่งตามการส่งสัญญาณได้อีกคือแบบ 2 สาย (2 wires) หรือ แบบ 4 สาย (4 wires) โครงสร้างของระบบแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การต่อ PABX แบบ E&M กับ E&M

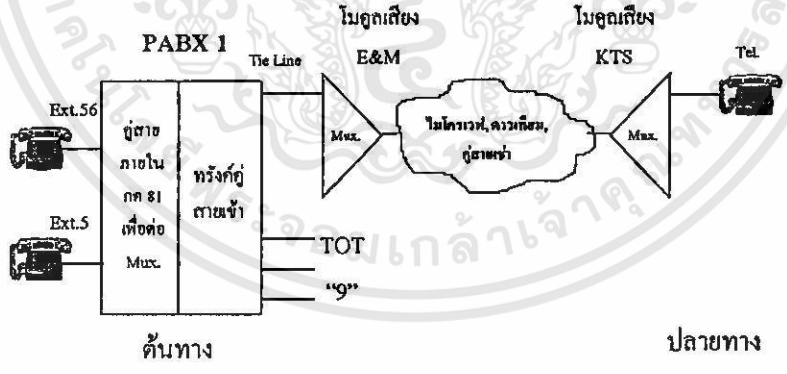
การทำงานของระบบมีลักษณะที่คล้ายการทำงานของระบบ KTS เชื่อมต่อกับ KTS ที่มี PABX ทั้ง 2 ด้านแต่แบบ Tie Line นี้มีคุณสมบัติที่ดีกว่าและเหนือกว่าในเรื่องของความยืดหยุ่นคือผู้ใช้ทั้ง 2 ด้านสามารถทำฟังก์ชั่นของ PABX ด้านตรงข้ามได้เหมือนการทำงานของ PABX ฝั่งที่อยู่ด้านเดียวกันโดยสามารถทำได้ครบทุกฟังก์ชั่นไม่ว่าจะเป็นทางด้านปลายทางข้ามมาทำฟังก์ชั่นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านต้นทางหรือสลับกัน ซึ่งมีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าการทำงานแบบ Remote Extension หรือการโอนเบอร์จากต้นทางไปยังปลายทางเพราะการทำงานแบบนี้ทางปลายทางสามารถตัด "9" ออกสายนอกที่ทางด้านต้นทางได้ แต่ทางด้านต้นทางไม่สามารถตัด "9" ออกสายนอกที่ทางด้านปลายทางได้ ส่วนระบบ E&M นั้นไม่ว่าท่านจะอยู่ที่ใดก็สามารถทำฟังก์ชั่นของตู้ทางด้านปลายทางได้เหมือนกับที่ท่านอยู่ที่ต้นทาง

ตัวอย่างการทำงานถ้าทางเบอร์ Ext.55 ต้องการโทรไปทางปลายทางก็ทำการยกหูโทรศัพท์แล้วทำการกด "81" แล้ว PABX1 ก็จะทำการสุ่มเลือกช่องสัญญาณไปที่ตัวมัลติเพลกซ์ทางด้านต้นทาง และตัวมัลติเพลกซ์ทางด้านต้นทางก็จะส่งสัญญาณไปที่ตัวมัลติเพลกซ์ทางด้านปลายทาง จากนั้นตัวมัลติเพลกซ์ทางด้านปลายทางจะส่งสัญญาณไปยัง PABX2 ที่ปลายทางและสามารถกดเบอร์ 120 ได้ นอกจากนี้ถ้าหากทางด้านต้นทางต้องการโทรออกทางด้านปลายทางก็มีวิธีโดยยกหูโทรศัพท์ เมื่อได้ยินสัญญาณให้กดหมายเลขให้กด "81" แล้วก็รอสัญญาณให้กดหมายเลขของ PABX2 แล้วจึงกด "9" เพื่อต่อออกสายนอกได้ ซึ่งถ้าเป็นการเชื่อมต่อแบบแบบ Remote Extension แล้วทางด้านต้นทางไม่สามารถที่จะโทรออกสายนอกทางด้านปลายทางได้ ซึ่งนี่คือความยืดหยุ่นของระบบ Tie Line แต่ระบบก็มีข้อเสียตรงราคาของการ์ด E&M จะมีราคาที่สูงกว่าการ์ดแบบ OPX และ KTS

3.2.5 การเชื่อมต่อแบบ E&M กับ KTS



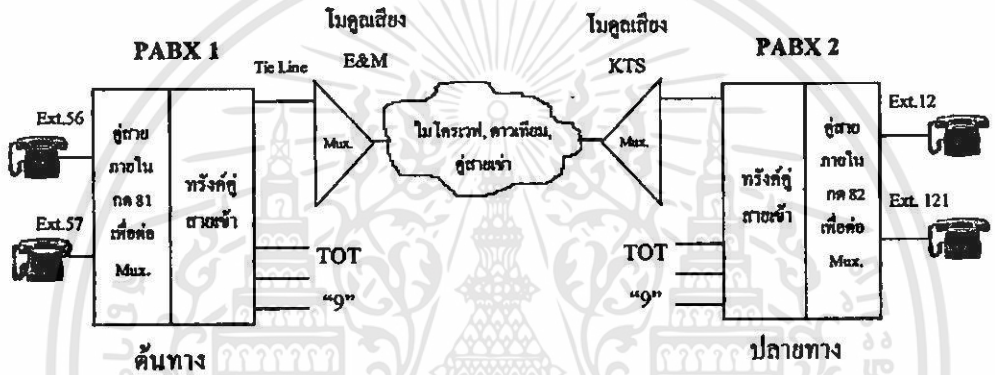
รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อ PABX แบบ E&M กับ KTS

ความสามารถเฉพาะของโมดูลแบบ KTS อีกอย่างนอกเหนือจากการที่สามารถเชื่อมต่อแบบ OPX กับ KTS หรือแบบ KTS กับ KTS แล้วระบบโมดูลแบบนี้ยังสามารถเชื่อมต่อกับโมดูลแบบ E&M ได้อีกด้วยเช่น E&M กับ KTS ซึ่งพบว่าโมดูลแบบนี้มีความสามารถที่ยืดหยุ่นได้มากที่สุดเพราะสามารถเชื่อมต่อได้กับทุกโมดูล ในการเชื่อมต่อแบบ E&M กับ KTS นี้มีประโยชน์อยู่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างคือ อย่างแรกใช้สำหรับ PABX ที่ไม่มีการ์ดที่เป็นแบบ E&M มีแต่ที่เป็นแบบ KTS และสามารถเชื่อมต่อได้ดังรูปที่ 3.8 การทำงานของระบบถ้าด้านเครื่องเลขหมายภายในต้องการโทรไปทางด้านปลายทางให้กด "81" แล้วจะมีสัญญาณกระดิ่งเรียกไปด้านปลายทางที่เครื่องโทรศัพท์ทันที

ในรูปที่ 3.9 เป็นการต่อ PABX อีกแบบหนึ่งโดยอาศัยการต่อโมดูลของตัวมัลติเพลกซ์แบบ E&M กับ KTS การประยุกต์ใช้งานในกรณีนี้ใช้กับระบบที่ PABX ด้านหนึ่งมีการ์ด E&M แต่ PABX อีกด้านหนึ่งมีเฉพาะการ์ด Co. ซึ่งถ้าใช้ฟังก์ชั่นนี้ก็สามารถเชื่อมต่อกันได้ แต่ระบบที่ใช้จะไม่มีความยืดหยุ่นมากนัก แต่ก็สามารถใช้แก้ปัญหาชั่วคราวไปได้ ทั้งนี้ PABX แบบ Tie-line [17] ถูกออกแบบมาเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดอยู่แล้ว



รูปที่ 3.9 การต่อ PABX แบบ E&M กับ KTS ที่มีตู้สาขาอัตโนมัติทั้ง 2 ด้าน

ประโยชน์อีกข้อหนึ่งของการต่อแบบ E&M กับ KTS คือสามารถใช้โมดูลแบบ KTS ในการตรวจสอบโมดูลแบบ E&M ว่าดีหรือเสียอย่างไรซึ่งทำให้ผู้ตรวจสอบไม่จำเป็นต้องตรวจสอบด้วยโมดูลแบบ E&M ซึ่งง่ายต่อการใช้ฟังก์ชันทดสอบของตัวมัลติเพลกซ์เพื่อตรวจสอบหาสาเหตุการเกิดปัญหาอย่างคร่าวๆ ได้โดยง่าย

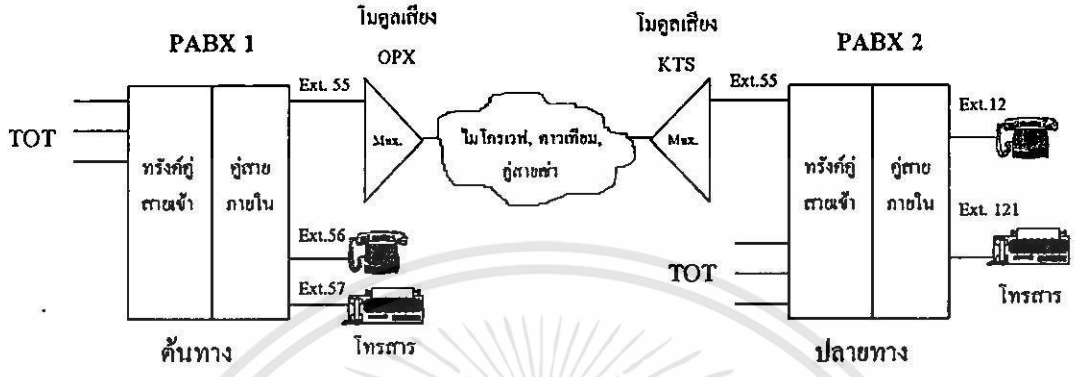
3.3 การเชื่อมต่อโทรสารผ่านระบบสื่อสารดาวเทียม

การเชื่อมต่อระบบโทรสารผ่านดาวเทียมในที่นี้สามารถเชื่อมต่อผ่านตัวมัลติเพลกซ์ได้เช่นเดียวกับการเชื่อมต่อระบบโทรศัพท์ผ่านดาวเทียมแบบ SCPC โดยอาศัยโมดูลเสียงแบบ OPX และ KTS ทำงานร่วมกัน ซึ่งแบบที่นิยมเชื่อมต่อกันมากได้แก่การโอนเบอร์จากด้านต้นทางไปด้านปลายทาง ในการเชื่อมต่อโทรสารผ่านตัวมัลติเพลกซ์โดยต่อเข้ากับระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมมีรูปแบบในการเชื่อมต่อ 2 รูปแบบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การเชื่อมต่อโทรสารโดยใช้เบอร์ต่อภายใน

การเชื่อมต่อโทรสารโดยใช้เบอร์ต่อภายใน เป็นการเชื่อมต่อโดยอาศัยเครื่องโทรสารต่อเข้ากับเบอร์ต่อภายในสำนักงานและสามารถแสดงการทำงานได้ดังรูปที่ 3.10



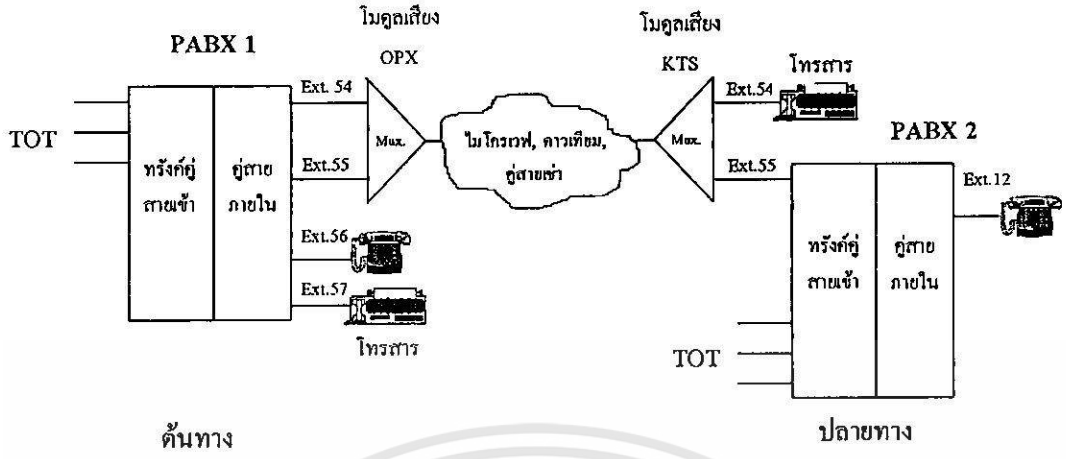
รูปที่ 3.10 การเชื่อมต่อโทรสารผ่านระบบแบบใช้เบอร์ต่อภายใน

ในรูปที่ 3.10 เป็นการทำงานของการต่อเครื่องโทรสารที่เบอร์ต่อภายในสำนักงาน ในที่นี้อาศัยโมดูลเสียงของตัวมัลติเพลกซ์ที่ต้นทางเป็นแบบ OPX และโมดูลที่ปลายทางเป็นแบบ KTS ซึ่งเป็นการโอนเบอร์ภายในจากสำนักงานไปยังสาขา การทำงานเมื่อทางด้านปลายทางต้องการส่งโทรสารจะทำการกดหมายเลขที่กำหนดให้ไปยังด้านต้นทาง เมื่อตัวมัลติเพลกซ์ทำการเชื่อมต่อช่องสัญญาณเสร็จก็จะได้ยินสัญญาณให้กดหมายเลขและสามารถกดเบอร์ภายในที่เป็นเบอร์โทรสารที่ต้นทางได้ และเช่นกันการส่งโทรสารจากต้นทางมายังปลายทางก็ทำในทำนองเดียวกัน

3.3.2 การเชื่อมต่อโทรสารแบบสายคงที่ (Fixed Line)

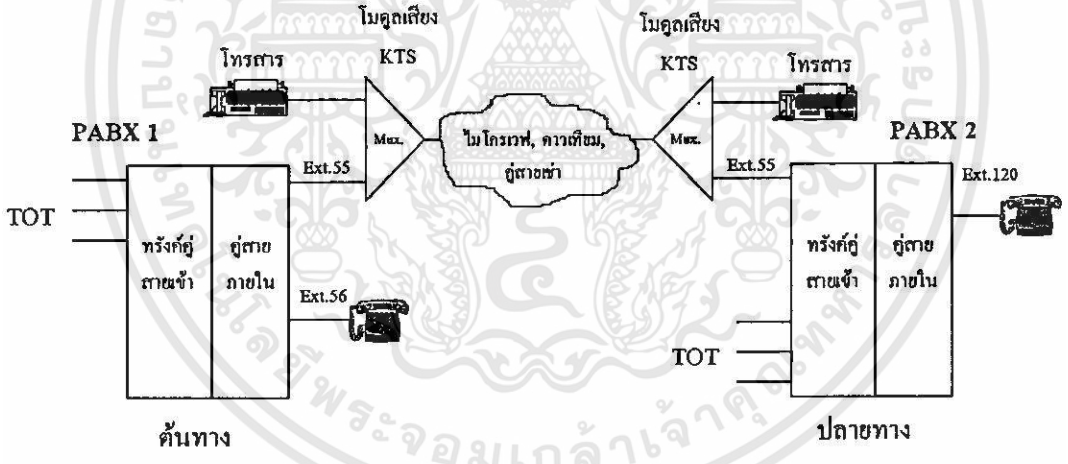
ในการเชื่อมต่อแบบนี้แตกต่างกับแบบ การเชื่อมต่อโทรสารผ่านระบบแบบใช้เบอร์ต่อภายใน ตรงที่ตัวโทรสารที่ด้านปลายทางไม่ได้นำเข้า PABX เพราะต้องการตัดส่วนของการแย่งกันใช้ช่องสัญญาณ โดยเหมาะกับสำนักงานที่มีความจำเป็นต้องใช้การส่งโทรสารเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องแยกเบอร์โทรสารเบอร์นี้ไว้ต่างหากเพื่อไม่ให้เกิดการขัดจังหวะในการส่งโทรสาร แต่มีข้อเสียตรงที่ประสิทธิภาพของระบบโทรศัพท์ยังมีไม่มากเท่าที่ควร รูปแบบของการเชื่อมต่อสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การเชื่อมต่อโทรสารแบบสายคงที่ (Fixed Line)

3.3.3 การเชื่อมต่อโทรสารแบบสายตรง



รูปที่ 3.12 การเชื่อมต่อโทรสารแบบสายตรง

ในรูปที่ 3.12 เป็นการเชื่อมต่อโทรสารแบบสายตรง โดยที่ไม่ต้องอาศัย PABX ของทั้ง 2 ด้านในการเชื่อมต่อระบบนี้ข้อดีของระบบคือโทรสารเชื่อมต่อโดยตรงกับตัวมัลติเพลกซ์จึงทำให้ไม่มีการผิดเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดจากการเชื่อมต่อผ่านระบบตู้สาขาอัตโนมัติ และเหมาะกับระบบที่มีการ์ดของ PABX ไม่เพียงพอ ส่วนข้อเสียของระบบนี้คือไม่มีความยืดหยุ่นที่เพียงพอเพราะเครื่องโทรสารสามารถติดต่อกันได้เพียง 2 เครื่องเท่านั้นและไม่สามารถติดต่อหรือเคลื่อนย้ายเครื่องโทรสารไปอยู่ที่ไกลๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ระบบสื่อสารข้อมูล

ความสำคัญของระบบสื่อสารข้อมูลที่ต้องศึกษาเพราะมีความจำเป็นต้องใช้ในการส่งข้อมูลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ถ้าหากไม่มีความรู้ความเข้าใจการส่งข้อมูลผ่านระบบก็จะไม่สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นตลอดจนไม่สามารถหาแนวทางหรือรูปแบบในการส่งที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อต้องส่งข้อมูลผ่านสื่อกลางที่แตกต่างกันออกไปและสามารถศึกษาการส่งข้อมูลได้ดังนี้

3.4.1 รูปแบบการสื่อสารข้อมูล

การสื่อสารข้อมูลที่ใช้อยู่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบคือ

1. การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)
2. การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous)

3.4.1.1 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเป็นวิธีการส่งแบบดั้งเดิม เหมาะสำหรับการส่งข้อมูลแบบที่มีความเร็วสูงไม่มากนัก เช่นการส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์สองเครื่องด้วยวิธีถ่ายโอนข้อมูล (Transfer File) โดยคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องอาจเรียกว่าเทอร์มินัล ในการส่งจะใช้ส่งข้อมูลในรูปแบบของตัวอักษร โดยเทอร์มินัลแบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีบัฟเฟอร์ที่สูงมากนัก และการสื่อสารที่เห็นกันทั่วๆ ไปได้แก่การส่งข้อมูลผ่านพอร์ทอนุกรมของคอมพิวเตอร์ ประสิทธิภาพของการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสจะไม่สูงมากนักโดยรวมแล้วประมาณ 80% เพราะในการส่งต้องมีส่วนที่สูญเสียคือบิตที่ทำหน้าที่เป็นบิตเริ่มต้น (Start bit) และบิตที่ใช้ปิดท้าย (Stop bit) ซึ่งการสูญเสียนี้อาจจะประมาณได้ 20%

รูปที่ 3.13 เฟรมการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

ในรูปที่ 3.13 เป็นเฟรมที่ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสโดยบิตเริ่มต้น (Start bit) ทำหน้าที่บอกอุปกรณ์ปลายทางว่าต่อไปนี้เป็นบิตของข้อมูล ส่วนข้อมูลอาจมีความยาวได้ไม่เท่ากันซึ่งแล้วแต่ข้อตกลงของผู้ใช้บริการ และส่วนของบิตปิดท้าย (Stop bit) ทำหน้าที่แจ้งส่วนสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

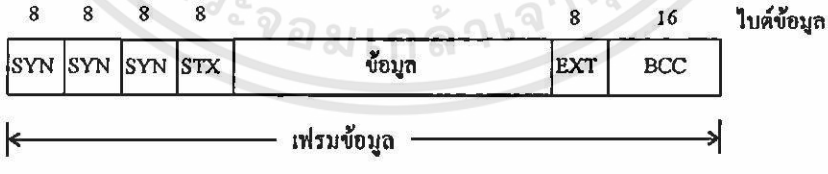
สุดของข้อมูลที่ส่ง การประยุกต์ใช้การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสได้แก่ การโอนถ่ายข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์สองเครื่อง การเชื่อมต่อระบบคอมพิวเตอร์ผ่านโมเดม การใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุปกรณ์ การเข้าถึงระบบจากระยะไกล (Remote Access) เป็นต้น

3.4.1.2 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส เป็นการพัฒนารูปแบบการส่งให้มีความยืดหยุ่นสูงกว่าการส่งแบบอะซิงโครนัส ในการส่งข้อมูลจะทำการส่งเป็นบล็อกข้อมูลและมีความยาวได้ไม่จำกัดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของระบบสายส่ง ในการส่งข้อมูลแบบนี้จำเป็นต้องอาศัยการทำงานแบบเข้าจังหวะซึ่งอาศัยสัญญาณนาฬิกาเป็นตัวอ้างอิง สำหรับรูปแบบของการส่งจะทำการเพิ่มบิตตรวจสอบความถูกต้องของเฟรมที่ส่งและใช้เฮดเดอร์ในการบอกว่าบล็อกของข้อมูลเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ใดและจุดหมายปลายทางของข้อมูลอยู่ที่ใด โดยการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ คาแรกเตอร์โอเรียนต์ [18] (Character Oriented) และแบบบิตโอเรียนต์ (Bit Oriented)

3.4.1.2.1 คาแรกเตอร์โอเรียนต์

การส่งข้อมูลแบบคาแรกเตอร์โอเรียนต์ของระบบซิงโครนัส เป็นการส่งข้อมูลแบบบล็อก ซึ่งเป็นไบต์ของตัวอักษรอย่างเช่น BISYNC ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างของข้อมูลได้ดังรูปที่ 3.14 เมื่อ SYN คือซิงโครนัสไบต์ของการส่งทำหน้าที่เป็นการบอกให้ปลายทางเตรียมรับข้อมูล ส่วน STX (Start of Text) เป็นส่วนเริ่มต้นของบล็อกข้อมูล ส่วน ETX (End of Text) ใช้สำหรับบอกว่าเป็นการสิ้นสุดการส่งข้อมูล ส่วน BCC (Block Check Character) ทำหน้าที่ตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลที่ส่ง



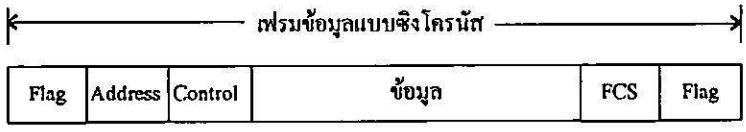
รูปที่ 3.14 โครงสร้างของคาแรกเตอร์โอเรียนต์

3.4.1.2.2 บิตโอเรียนต์

การส่งข้อมูลแบบบิตโอเรียนต์เป็นการพัฒนารูปแบบการส่งอีกขั้นหนึ่งให้สามารถส่งข้อมูลในรูปแบบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ข้อมูลแบบตัวอักษร (text file) ไปในสายส่งซึ่งการส่งข้อมูลจะใช้บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบล็อกข้อมูลให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าได้ตามต้องการและสามารถแสดงโครงสร้างของเฟรมข้อมูลได้ดังรูปที่ 3.15



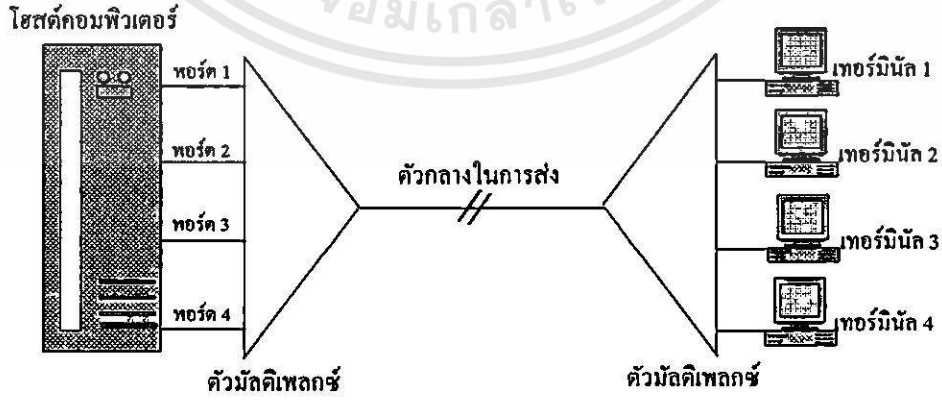
รูปที่ 3.15 โครงสร้างบิตโอเรียนต์

เมื่อ Flag ใช้บอกจุดเริ่มต้นหรือจุดสิ้นสุดของข้อมูลในเฟรมข้อมูล ในส่วนของ Control ใช้ควบคุมการส่งเฟรมของข้อมูล ส่วนของ Address ใช้บอกจุดปลายทางที่ข้อมูลต้องถูกส่งไป และส่วนของ FCS (Frame Check Sequence) ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของเฟรมข้อมูลที่ส่ง

สำหรับประสิทธิภาพของการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 90% ขึ้นไป ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพของระบบสูงพอสมควร

3.4.2 การมัลติเพลกซ์สัญญาณ

การมัลติเพลกซ์เป็นการใช้ช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลร่วมกัน โดยเป็นการรวมการส่งข้อมูลที่มีความเร็วในการส่งที่ไม่มากหลายๆ ช่องสัญญาณเข้าด้วยกันแล้วส่งข้อมูลไปบนสื่อกลางเดียวกันซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณมีเพิ่มสูงขึ้น รูปแบบของการมัลติเพลกซ์มีด้วยกันหลายรูปแบบได้แก่แบบ FDM เป็นการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความถี่ แบบ TDM เป็นการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา เป็นต้น ส่วนการมัลติเพลกซ์ข้อมูลจะมีแบบ TDM และแบบ STDM



รูปที่ 3.16 การมัลติเพลกซ์สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.16 เป็นการมัลติเพลกซ์ช่องสัญญาณที่เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่าเทอร์มินัล 4 เครื่องเข้ากับโฮสต์คอมพิวเตอร์ โดยปกติถ้าไม่ใช้ตัวมัลติเพลกซ์แล้วการต่อเครื่องเทอร์มินัลแต่ละเครื่องเข้ากับโฮสต์คอมพิวเตอร์จำเป็นต้องใช้โมเดมจำนวน 8 เครื่องในการเชื่อมต่อหรือใช้สายนำสัญญาณจำนวน 8 เส้นซึ่งสิ้นเปลืองสายนำสัญญาณและประสิทธิภาพในการใช้สายส่งมีน้อยลง แต่ถ้าหากทำการมัลติเพลกซ์สัญญาณแล้วพบว่าประสิทธิภาพในการใช้สายนำสัญญาณมีสูงมาก

3.4.3 โครงข่ายสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์

โครงข่ายสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์เป็นโครงข่ายที่ใช้ในการเชื่อมต่อระบบสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์ภายในองค์กรกับคอมพิวเตอร์ที่อยู่นอกองค์กรหรือต่างสาขากัน การแบ่งโครงข่ายสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์สามารถแบ่งเป็นระบบใหญ่ๆ ได้ 3 ระบบคือ

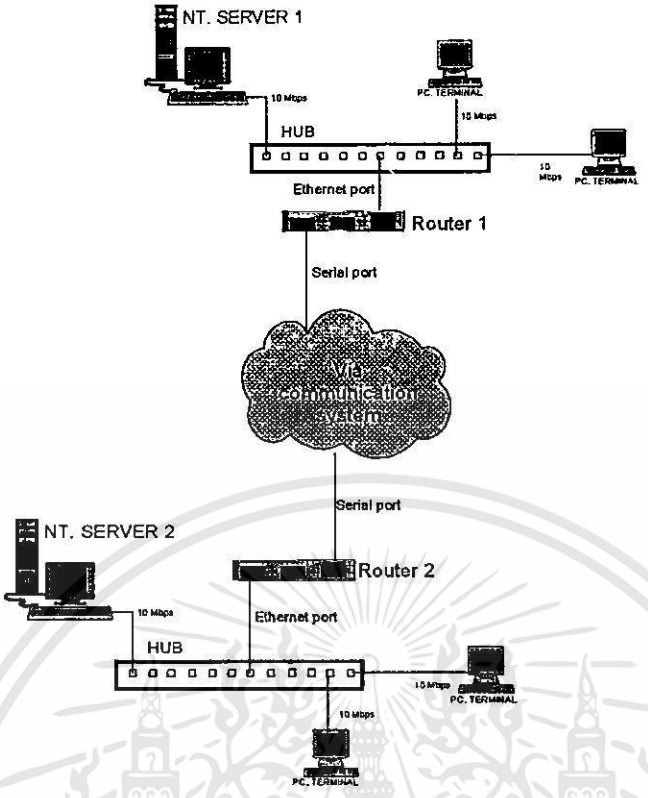
- โครงข่าย LAN (Local Area Network)
- โครงข่าย MAN (Metropolitan Area Network)
- โครงข่าย WAN (Wire Area Network)

ในที่นี้จะขอกล่าวเพียง 2 โครงข่ายที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์ที่ใช้ปัจจุบัน อันได้แก่ โครงข่าย LAN และ โครงข่าย WAN [19] โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.4.3.1 โครงข่าย LAN

ระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในปัจจุบันที่มีการสื่อสารข้อมูลกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์ที่อยู่ภายในสำนักงานโดยใช้ระบบเชื่อมโยงที่เรียกว่า LAN (Local Area Network) โดยระบบ LAN ต่างระบบหรือต่างวงกันก็สามารถเชื่อมต่อกันได้ ในระหว่างวง LAN เครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละตัวสามารถติดต่อสื่อสารกันด้วยโปรโตคอลที่เรียกว่า IP (Internet Protocol) โดยมีคอมพิวเตอร์หลักที่เรียกว่า เซอร์ฟเวอร์ (Server) เป็นตัวควบคุมหลักและคอมพิวเตอร์แต่ละตัวสามารถเชื่อมต่อเข้ามาถึงเซอร์ฟเวอร์ โดยการต่อผ่าน HUB โดยใช้สาย UTP ที่มี 8 เส้นในการเชื่อมต่อที่ความเร็ว 10 เมกกะบิตต่อวินาที และต้องมีการ์ดที่ต่อกับคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่าการ์ด LAN ติดตั้งอยู่ในตัวคอมพิวเตอร์แต่ละตัวด้วย คอมพิวเตอร์แต่ละตัวรู้จักกันได้โดยการรู้จัก IP address โดยต้องมีการกำหนด IP address ของคอมพิวเตอร์แต่ละตัวเข้าไปดังนั้นเครื่องก็สามารถรู้จักกันและเซอร์ฟเวอร์จะยอมให้สามารถทำงานต่างๆ ได้ตามที่กำหนดขอบเขตของคอมพิวเตอร์แต่ละตัวไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



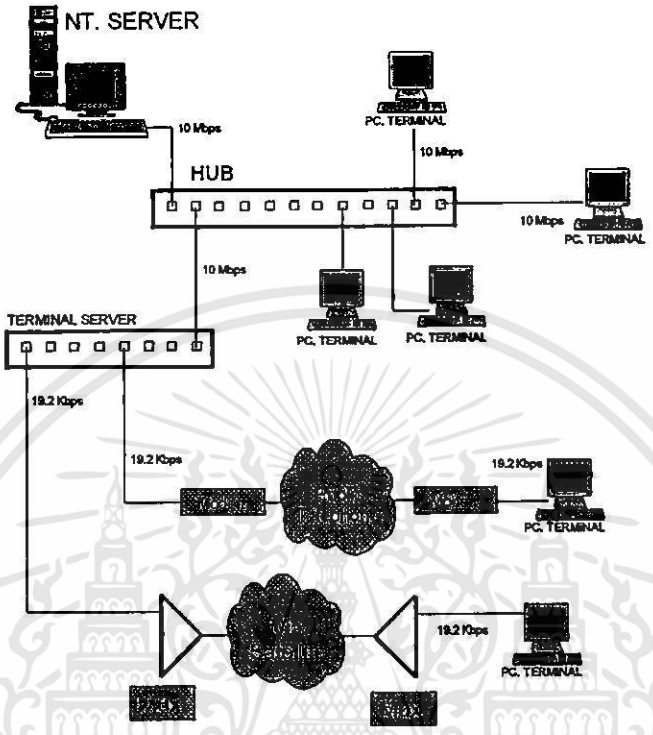
รูปที่ 3.17 การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย LAN 2 โครงข่าย

รูปที่ 3.17 เป็นการเชื่อมต่อโครงข่ายภายใน 2 โครงข่าย โดยเป็นการเชื่อมต่อโครงข่าย LAN 2 โครงข่ายเข้าด้วยกัน เครื่องคอมพิวเตอร์ในแต่ละโครงข่ายจะถูกกำหนดให้มี IP address ของแต่ละเครื่องที่แตกต่างกัน ส่วนการเชื่อมต่อข้ามโครงข่ายอาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่าเราท์เตอร์ในการเชื่อมต่อ ทั้งนี้เราท์เตอร์ทำหน้าที่เป็นเหมือนผู้จัดการโครงข่าย โดยทำหน้าที่คัดเลือกและส่งข้อมูลจากโครงข่ายหนึ่งไปยังอีกโครงข่ายหนึ่งที่ต้องเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน ในการเชื่อมโยงจำเป็นต้องใช้เราท์เตอร์ 2 ตัวทำการเชื่อมต่อผ่านระบบสื่อสารข้อมูล ซึ่งอาจเป็นโครงข่ายไมโครเวฟ โครงข่ายการสื่อสารดาวเทียม โครงข่ายไฟเบอร์ออฟติค ตลอดจนโครงข่ายคู่สายเช่า (Lease Line) หรืออื่นๆ ในการออกแบบระบบให้เกิดความประหยัดสามารถใช้อุปกรณ์อื่นที่มีราคาถูกกว่าเราท์เตอร์ทำหน้าที่แทนเราท์เตอร์ได้เช่น บริดจ์ (Bridge) แต่มีข้อแม้ว่าบริดจ์สามารถเชื่อมต่อโครงข่ายที่มีการทำงานของเซอร์ฟเวอร์บน plat form เดียวกันเท่านั้น เช่น Windows NT กับ Windows NT แต่ถ้าหากเป็น Windows NT กับ Netware แล้วไม่สามารถใช้บริดจ์ทำหน้าที่เชื่อมต่อโครงข่ายได้ ต้องใช้เราท์เตอร์ในการเชื่อมต่อแทน ในที่นี้พอร์ทของเราท์เตอร์ที่ใช้เชื่อมต่อระบบสื่อสารเรียกว่าพอร์ท WAN (Wide Area Network) หรือบางผู้ผลิตอาจเรียกว่าพอร์ทอนุกรม (serial port)

สำหรับโปรโตคอลที่พอร์ท WAN ของเราท์เตอร์สามารถกำหนดได้หลายรูปแบบเช่น แบบ HDLC (High Level Data Link Control) แบบ PPP (Point-to-point Protocol) แบบ X.25 แบบเฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีเลย์ (Frame Relay) ตลอดจนแบบ ATM (Asynchronous Transfer Mode) ขึ้นอยู่กับเราท์เตอร์ว่ามีการกำหนดพารามิเตอร์ไว้อย่างไร สำหรับความเร็วในการส่งข้อมูลของพอร์ท WAN มีด้วยกันหลายระดับตั้งแต่ 9.6 kbps จนถึง 1.544 Mbps

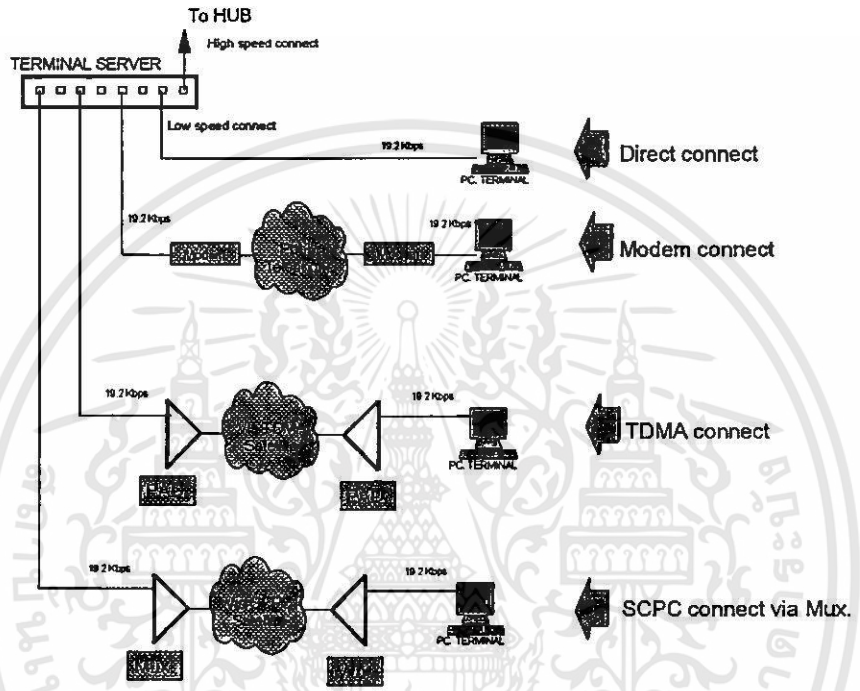


รูปที่ 3.18 การต่อระบบความเร็วต่ำเข้ากับระบบความเร็วสูง

การเชื่อมต่อระบบคอมพิวเตอร์จากทางสาขาเข้ามาที่สำนักงานใหญ่เพื่อรับหรือส่งข้อมูลกับสำนักงานใหญ่สามารถทำได้โดยทางสาขาอาจไม่มีระบบ LAN ต่ออยู่ก็ได้ การทำงานในลักษณะนี้เรียกว่าการเข้าถึงจากปลายทาง (Remote Access) ซึ่งรูปแบบของการเชื่อมต่อสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.18 สำหรับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อแบบเข้าถึงจากปลายทางได้แก่ เทอร์มินัลเซอร์ฟเวอร์ (Terminal Server) โดยทำหน้าที่แจก IP address ไปให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ามายังระบบคอมพิวเตอร์ภายในสำนักงานใหญ่โดยผ่านระบบโมเดม สำหรับความเร็วที่ใช้ในการสื่อสารมีตั้งแต่ 9.6 kbps จนถึง 56 kbps แต่ส่วนใหญ่แล้วจะอยู่ที่ 9.6 kbps จนถึง 19.2 kbps นอกจากการเชื่อมต่อผ่านโมเดมแล้วยังสามารถใช้ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมในการเชื่อมต่อได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.18 การเชื่อมต่อผ่านระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมแบบอะซิงโครนัสจำเป็นต้องกำหนดโปรโตคอลเป็นแบบ X.25 และอาศัยอุปกรณ์ PAD (Packet Assembler /Deassembler) ในการแปลง X.25 มาเป็นการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปแบบการเชื่อมต่อที่ความเร็วต่ำที่แสดงในรูปที่ 3.18 เหมาะที่จะใช้เป็นตัวเชื่อมโยงการสื่อสารข้อมูลระหว่างสองสำนักงาน โดยระบบนี้จะเห็นว่าที่สำนักงานต้นทางมีวง LAN ทำการเชื่อมโยงกันอยู่ แต่ที่สำนักงานปลายทางไม่มีระบบ LAN ดังนั้นเพื่อให้ทางด้านปลายทางสามารถเข้ามาใช้เครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่สำนักงานต้นทางได้ จึงได้ออกแบบระบบนี้ขึ้น โดยระบบนี้จะเชื่อมต่อกันที่ความเร็วต่ำๆ เท่านั้น



รูปที่ 3.19 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับระบบผ่านอุปกรณ์ต่างๆ

ในรูปที่ 3.19 เป็นความสามารถของตัวเทอร์มินัลเซอฟร์เวอร์ (Terminal Server) ที่สามารถนำเอาอุปกรณ์ต่างๆ มาต่อได้มากมายโดยที่ตัวมันมีอินเตอร์เฟสเป็น RJ45 ส่วนปลายอีกด้านจะเป็น RS-232C หรือ RS-485 หรือ RJ45 ก็ได้ นอกจากนี้แล้วในตัวเทอร์มินัลเซอฟร์เวอร์ยังสามารถกำหนดได้อีกว่าจะให้อินเตอร์เฟสเป็น DTE (Data Terminal Equipment) หรือ DCE (Data Communication Equipment) จากรูปที่ 3.19 ในส่วนแรกเป็นการเชื่อมต่อโดยตรง (Direct connect) โดยต่อพอร์ทอนุกรมของคอมพิวเตอร์เข้ากับเทอร์มินัลเซอฟร์เวอร์โดยตรง แต่ระบบนี้ไม่ค่อยมีประโยชน์เพราะคอมพิวเตอร์ที่ทำงานอยู่ภายในสำนักงานส่วนใหญ่จะมีการ์ด LAN เชื่อมต่ออยู่และความเร็วที่ได้จะช้ากว่าการทำงานในระบบ LAN ในส่วนที่สองเป็นการต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับโมเดม (Modem connect) ระบบนี้ตัวเทอร์มินัลเซอฟร์เวอร์ถูกต่อเข้ากับโมเดมและสำหรับคอมพิวเตอร์ที่ปลายทางจะต่อเข้ากับโมเดมเช่นเดียวกันจากนั้นทำการเชื่อมต่อโมเดมเข้ากับคู่สายโทรศัพท์เมื่อเชื่อมต่อเสร็จคอมพิวเตอร์ด้านปลายทางก็สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบที่สำนักงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหญ่ได้ การประยุกต์ใช้งานระบบนี้ได้แก่การต่อระบบเข้ากับผู้ให้บริการอินเตอร์เนต (Internet service provider) ทั้งหลายที่มีอยู่ ส่วนที่ 3 เป็นการเชื่อมต่อผ่านระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมแบบ TDMA ที่ใช้โปรโตคอลแบบ X.25 [20] ผ่านอุปกรณ์ PAD (Packet Assembler/Deassembler) โดยที่พอร์ทของ PAD สามารถต่อเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาได้โดยตรงซึ่งจะเหมือนการต่อสายตรงเข้าคอมพิวเตอร์แต่มีข้อเสียตรงมีค่าเวลาหน่วงที่เกิดขึ้นจะมากกว่าการใช้โมเดม แต่มีข้อดีตรงราคาถูกกว่าการใช้โมเดมเชื่อมต่อเข้ามาเพราะถ้าอยู่ในพื้นที่ห่างไกลกันมากก็จะเสียค่าโทรศัพท์ทางไกลยิ่งมากขึ้นเท่านั้น ส่วนที่ 4 การเชื่อมต่อผ่านระบบ SCPC โดยผ่านระบบมัลติเพลกซ์ระบบนี้เกิดขึ้นเพราะความต้องการใช้โทรศัพท์ทางไกลผ่านดาวเทียม แล้วพบว่าใช้ประสิทธิภาพของมัลติเพลกซ์ไม่คุ้มค่าจึงทำการต่อพอร์ทอะซิงโครนัสเข้าไปและต่อเข้ามายังสถานีต้นทางก็สามารถเข้าสู่ระบบที่สำนักงานใหญ่ได้ ซึ่งจะได้ประโยชน์ที่มากกว่าการต่อโทรศัพท์เพียงอย่างเดียว แต่ระบบนี้จะไม่คุ้มค่าถ้าหากมีการต่อใช้ ข้อมูลเพียงอย่างเดียว

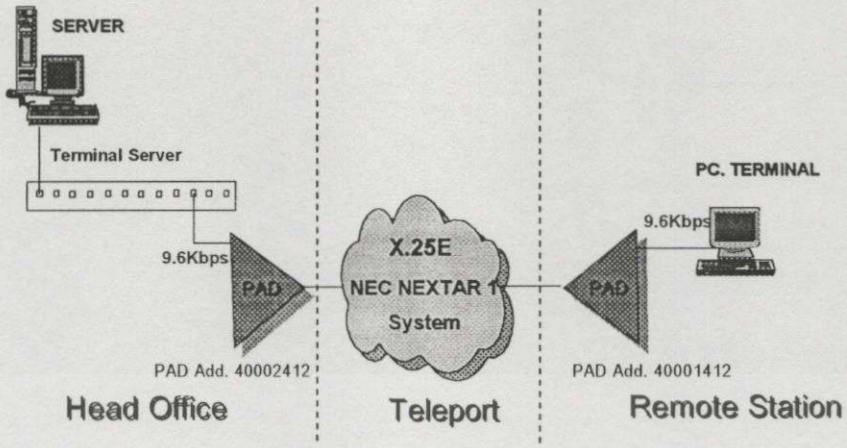
3.4.3.2 โครงข่าย WAN

โครงข่าย WAN เป็นโครงข่ายขนาดใหญ่สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างไกลกว่าโครงข่าย LAN และ MAN (Metropolitan Area Network) โดยโครงข่ายนี้เป็นการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์ระบบสื่อสารต่างๆ โดยมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลง IP address แล้วส่งผ่านโปรโตคอลที่ใช้สื่อสารในรูปแบบต่างๆ กัน คืออุปกรณ์เราท์เตอร์หรืออุปกรณ์บริดจ์ ทั้งนี้เราท์เตอร์จำเป็นต้องใช้โมเดมหรือสื่อต่างๆ เพื่อส่งสัญญาณโดยอาจจะเป็นเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม โมเดมสำหรับคู่สายเช่า (Lease line) หรือโมเดมสำหรับไฟเบอร์ออฟติค ในที่นี้สามารถแสดงรูปแบบต่างๆ ของการเชื่อมโยงโดยอาศัยโปรโตคอลต่างๆ เช่นแบบ X.25 แบบ HDLC แบบ PPP แบบ Frame relay หรือ แบบ ATM โดยอาศัยสื่อต่างๆ เช่นโครงข่าย X.25 การเชื่อมต่อผ่านโมเดม (Dial modem) การเชื่อมต่อผ่านโครงข่ายเฟรมรีเลย์ (Frame Relay network) หรือการเชื่อมต่อผ่านโครงข่าย ATM (ATM Network) ในที่นี้จะแสดงรูปแบบอุปกรณ์ที่ใช้งานจริงเพื่อใช้เชื่อมโยง โดยเน้นไปด้านระบบสื่อสารดาวเทียมดังนี้

3.4.3.2.1 การเชื่อมต่อ PAD ผ่านโครงข่าย X.25 ในระบบดาวเทียม TDMA

การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ด้านปลายทางเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้านต้นทาง โดยที่คอมพิวเตอร์ด้านต้นทางใช้อุปกรณ์เทอร์มินัลเซอฟร์เวอร์ และใช้ระบบสื่อสารดาวเทียมแบบ TDMA และโปรโตคอลที่ใช้ในโครงข่ายคือ X.25 ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้แปลงโปรโตคอลแบบ X.25 เป็นการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสได้แก่อุปกรณ์ PAD ซึ่งแสดงได้ดังรูป 3.20 ในรูปเป็นการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์จากสถานีปลายทางเข้าโครงข่าย X.25 แล้วทำการเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์เทอร์มินัลเซอฟร์เวอร์ที่สำนักงานใหญ่

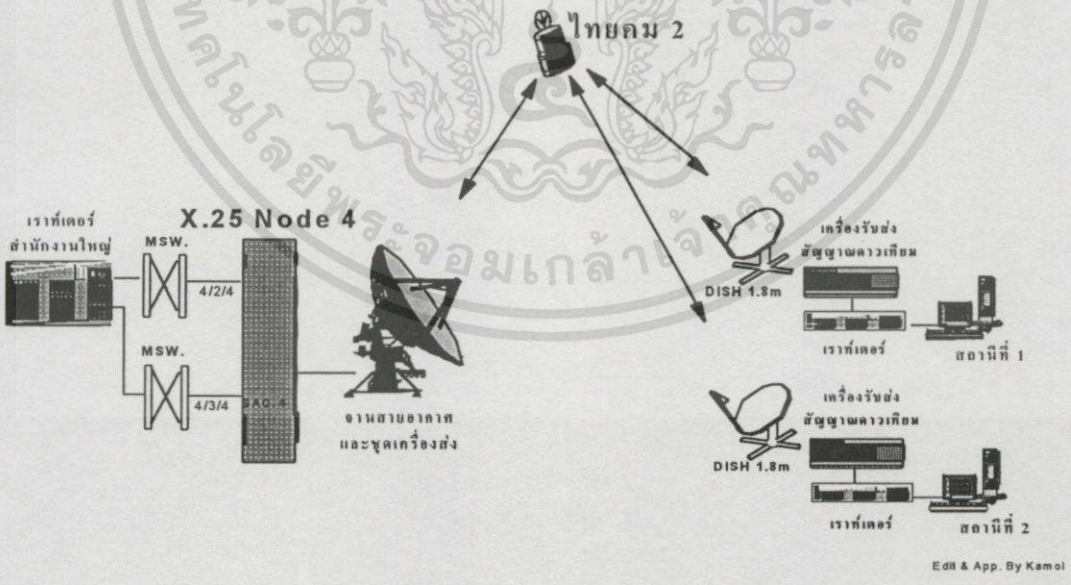
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ PAD เข้ากับโครงข่าย AA/TDMA

3.4.3.2.2 การเชื่อมต่อเราท์เตอร์แบบ X.25 ในโครงข่ายดาวเทียม TDMA

รูปที่ 3.21 เป็นการสื่อสารข้อมูลผ่านดาวเทียมระบบ TDMA อีกชนิดหนึ่งโดยใช้อุปกรณ์เราท์เตอร์ในการเชื่อมต่อและโปรโตคอลของระบบใช้ X.25 ในรูปที่ 3.21 เป็นระบบที่ใช้งานจริง โดยสถานีต้นทางใช้อุปกรณ์เราท์เตอร์ต่อเข้ากับโหนด X.25 และทำการส่งข้อมูลผ่านดาวเทียมระบบ TDM ที่สถานีปลายทางมีเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมระบบ TDMA ต่อเข้ากับอุปกรณ์เราท์เตอร์และเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารข้อมูลภายในสำนักงาน



รูปที่ 3.21 การเชื่อมต่อเราท์เตอร์ด้วย X.25 ผ่านระบบดาวเทียม TDM/TDMA

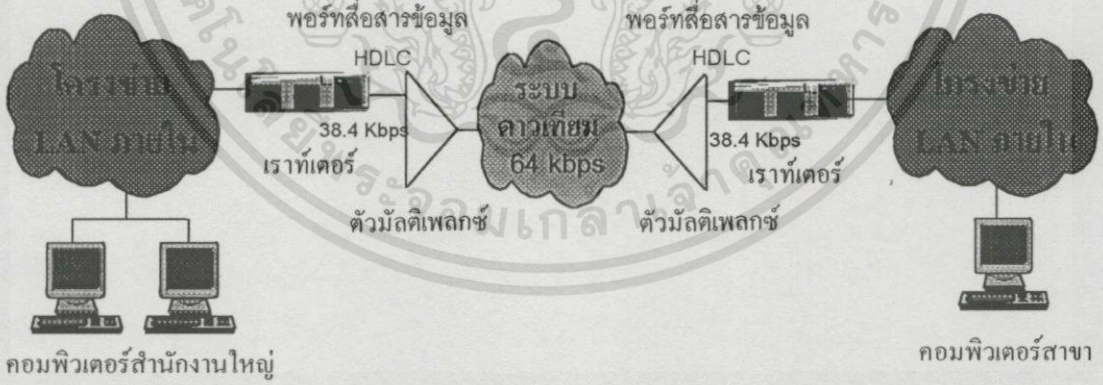
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.2.3 การเชื่อมต่อเราท์เตอร์แบบ PPP

การเชื่อมต่อเราท์เตอร์ด้วยโปรโตคอล PPP [7] เป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุด และไม่ยุ่งยากในการกำหนดพารามิเตอร์ของพอร์ทสื่อสารข้อมูลโดยส่วนใหญ่แล้วการเชื่อมต่อจะใช้กับสื่อกลางที่ง่ายๆ เช่นระบบคู่สายเช่า การเชื่อมต่อด้วยระบบไมโครเวฟ โดยระบบที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมีตัวมัลติเพลกซ์เข้ามาเกี่ยวข้อง เพราะอาศัยแค่อินเตอร์เฟสแบบ RS-232C หรือ V.35 ในการเชื่อมต่อก็เพียงพอและสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.22

รูปที่ 3.22 การเชื่อมต่อเราท์เตอร์แบบ PPP

3.4.3.2.4 การเชื่อมต่อเราท์เตอร์ผ่านตัวมัลติเพลกซ์แบบ HDLC



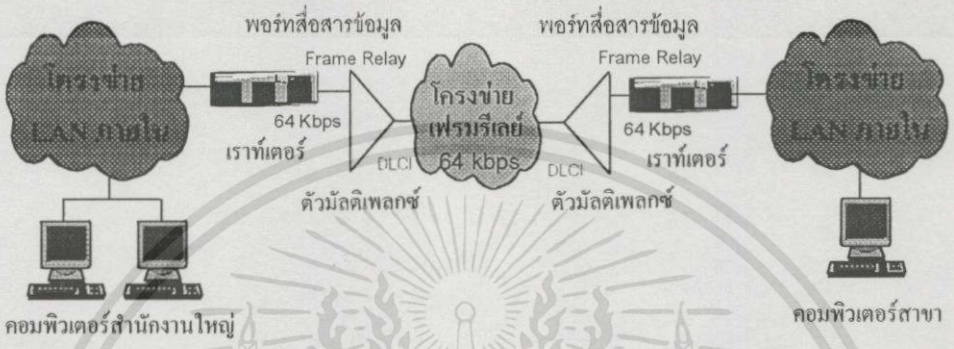
รูปที่ 3.23 การเชื่อมต่อเราท์เตอร์ผ่านตัวมัลติเพลกซ์แบบ HDLC

รูปที่ 3.23 เป็นการเชื่อมต่อเราท์เตอร์ผ่านตัวมัลติเพลกซ์โดยกำหนดให้ตัวมัลติเพลกซ์มีการทำงานแบบ HDLC ที่พอร์ทสื่อสารข้อมูลที่ต่อเราท์เตอร์ เพื่อเชื่อมโยงโครงข่าย LAN 2 โครงข่ายเข้าด้วยกันโดย ทำการเชื่อมโยงที่อัตราข้อมูล 38.4 กิโลบิตต่อวินาทีผ่านพอร์ทสื่อสารข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของตัวมัลติเพลกซ์ซึ่งการเชื่อมต่อแบบ HDLC นี้ใช้กับตัวมัลติเพลกซ์ที่เป็นแบบเก่าแต่ส่วนใหญ่แล้วการเชื่อมต่อที่ใช้อุปกรณ์ตัวมัลติเพลกซ์แบบใหม่ๆ จะใช้โปรโตคอลแบบเฟรมรีเลย์เพราะคุณภาพในการส่งที่ดีกว่า และสามารถส่งข้อมูลได้เร็วกว่าแต่ต้องมีการลงทุนที่สูงกว่า

3.4.3.2.5 การเชื่อมต่อเราท์เตอร์ผ่านตัวมัลติเพลกซ์แบบเฟรมรีเลย์



รูปที่ 3.24 การต่อเราท์เตอร์แบบเฟรมรีเลย์เพื่อเชื่อมโยงโครงข่าย

ในรูปที่ 3.24 เป็นการเชื่อมโยงเราท์เตอร์ผ่านระบบสื่อสารข้อมูลแบบเฟรมรีเลย์ สำหรับโครงข่ายเฟรมรีเลย์เป็นโครงข่ายสาธารณะที่การส่งข้อมูลต้องอาศัย DLCI [21], [22] พารามิเตอร์ทำหน้าที่เชื่อมโยงข้อมูลทั้งโครงข่าย สำหรับการเชื่อมโยงโครงข่ายต้องอาศัยโครงข่ายเฟรมรีเลย์และอุปกรณ์เราท์เตอร์ในการเชื่อมโยง แต่ถ้าโครงข่ายเป็นเพียงโครงข่ายที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับโครงข่ายเฟรมรีเลย์สาธารณะ ก็สามารถเชื่อมโยงระบบ 2 โครงข่ายผ่านระบบเฟรมรีเลย์ได้ โดยอาศัยอุปกรณ์มัลติเพลกซ์ที่สามารถกำหนดให้มีการส่งแบบเฟรมรีเลย์ได้ เช่นระบบสื่อสารดาวเทียมแบบ SCPC ที่มีการต่อตัวมัลติเพลกซ์ที่สามารถกำหนดพารามิเตอร์ที่พอร์ตสื่อสารข้อมูลให้เป็นแบบเฟรมรีเลย์ดังแสดงในรูปที่ 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบระบบฮาร์ดแวร์และการออกแบบซอฟแวร์

4.1 การออกแบบระบบทางฮาร์ดแวร์

4.1.1 จุดประสงค์ของการออกแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบฮาร์ดแวร์และการออกแบบซอฟแวร์เพื่อใช้ควบคุมระบบ สิ่งแรกที่จะกล่าวถึงคือการออกแบบระบบฮาร์ดแวร์ในที่นี้พิจารณาวัตถุประสงค์ของการให้บริการเพื่อจะได้สามารถนำเอาอุปกรณ์ที่มีอยู่มาใช้ออกแบบระบบให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุดโดยมีเป้าหมายของระบบดังนี้

1. การให้บริการส่งสัญญาณภาพหรือการส่งข้อมูลแบบ hop เดียวที่อัตราข้อมูล 384 กิโลบิตต่อวินาทีได้
2. สามารถให้บริการโทรศัพท์ผ่านโครงข่ายทั้งหมดได้
3. สามารถให้บริการส่งโทรสารผ่านโครงข่ายทั้งหมดได้
4. จำนวนสถานีมีทั้งหมด 3 สถานี
5. ความสามารถเชื่อมโยงข้อมูลของทุกสถานีในโครงข่าย LAN ได้
6. ระบบต้องสามารถควบคุมการทำงานได้สะดวก และสามารถทำได้จากทุกสถานี

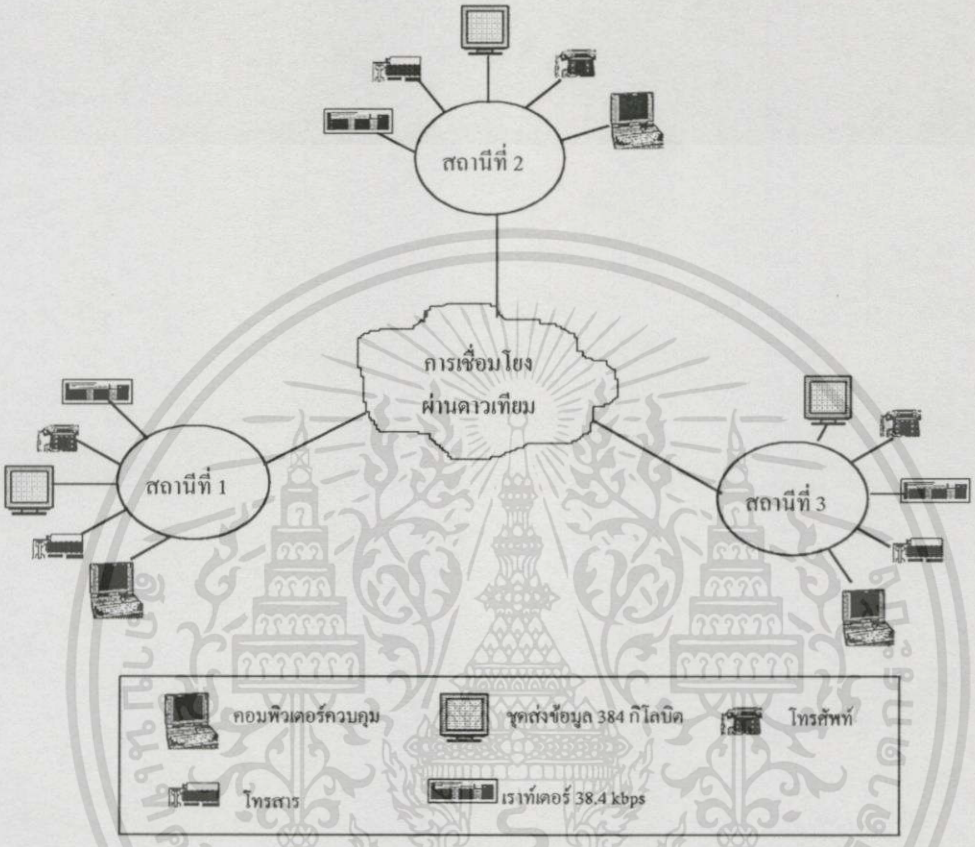
4.1.2 โครงสร้างของระบบโดยรวม

การออกแบบระบบโดยรวบรวมวัตถุประสงค์ทั้งหมดของระบบข้างต้นเข้าไว้ และแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งการออกแบบจะครอบคลุมการส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที นอกจากนี้ทุกสถานีสามารถใช้บริการโทรศัพท์ภายในโครงข่ายซึ่งสามารถติดต่อสื่อสารได้กับทุกสถานี การออกแบบใช้เฉพาะระบบ SCPC เท่านั้นและสามารถพิจารณาแบ่งระบบสื่อสารออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกใช้สำหรับการส่งข้อมูลความเร็วสูงซึ่งใช้การส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที โดยใช้ความถี่คลื่นพาห์ทั้งหมด 2 ความถี่ และในส่วนที่ 2 เป็นการให้บริการระบบโทรศัพท์ โทรสาร การส่งข้อมูลระหว่างโครงข่ายผ่านเราท์เตอร์ และคำสั่งควบคุมการทำงานของระบบ โดยส่งผ่านตัวมัลติเพลกซ์ซึ่งใช้อัตราความเร็วในการส่งเป็น 64 กิโลบิตต่อวินาที และใช้ความถี่คลื่นพาห์ทั้งหมด 4 ความถี่และมีสถานีกลางขนาดเล็กอยู่ที่สถานีศูนย์กลาง

ในที่นี้สามารถแสดงการเชื่อมโยงที่อัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาทีแยกออกจากการเชื่อมโยงอุปกรณ์ที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาทีได้ดังแสดงในรูปที่ 4.2 การทำงานของระบบรับส่งข้อมูลที่อัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาทีถูกกำหนดความถี่ส่งที่แน่นอนคือ 3806.15 MHz และความถี่รับกำหนดไว้ที่ 3785.85 MHz เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนในการออกแบบซอฟแวร์ซึ่งการสั่งให้คลื่นพาห์ส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือหยุดส่งจะถูกควบคุมด้วยซอฟแวร์ ดังนั้นข้อผิดพลาดที่จะเกิดการส่งคลื่นพาห์ที่ซ้ำกัน 2 ตัวจะไม่เกิดขึ้นแน่นอน ส่วนความถี่ในการรับก็ถูกกำหนดเอาไว้แน่นอนคือถูกกำหนดให้รับความถี่จากตัวที่ทำหน้าที่ส่งคลื่นพาห์ตัวแรกหรือถ่ายทอดสัญญาณไว้เป็นหลัก



รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระบบ

รูปที่ 4.1 เป็นชุดอุปกรณ์ทั้งหมดของทุกสถานีที่มีการเชื่อมโยงผ่านระบบดาวเทียม โดยสถานีดาวเทียมจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือชุดส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็ว 384 กิโลบิตต่อวินาที และชุดส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็ว 64 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งส่วนประกอบของชุดส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาทีประกอบด้วยเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B สถานีละ 1 เครื่อง และอุปกรณ์ที่นำมาเชื่อมต่อกับชุดเครื่องรับส่ง ส่วนชุดรับส่งข้อมูลที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที ประกอบด้วย เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ของแต่ละสถานีและตัวมัลติเพลกซ์ของแต่ละสถานีซึ่งทำหน้าที่รวมข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ คือโทรศัพท์ โทรสาร การส่งข้อมูลเพื่อเชื่อมต่อระบบ LAN ของทุกสถานีและระบบควบคุมการทำงานของระบบจากต้นทางและจากปลายทาง เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบส่วนประกอบของระบบสื่อสารดาวเทียมที่ใช้ในการ

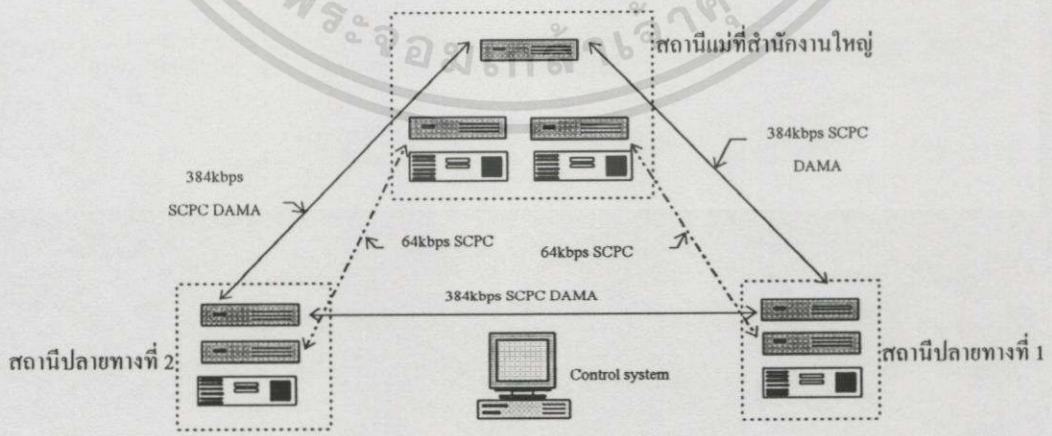
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบจะเน้นการนำอุปกรณ์เก่ามาใช้งานให้เกิดประโยชน์มากที่สุด โดยไม่เน้นอุปกรณ์ที่ต้องจัดซื้อเข้ามาใหม่ และการออกแบบระบบประกอบด้วย

- ชุดจานสายอากาศพาราโบล่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.7 เมตร
- ชุด out door unit ที่ต่อกับจานสายอากาศภายนอก
- เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมรุ่น SDM 650B จำนวน 2 ชุด
- ตัวมัลติเพลกซ์ MICOM รุ่น 5K และโมดูลเสียง
- คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมการทำงานของระบบ

อุปกรณ์เหล่านี้เป็นอุปกรณ์เก่าเกือบทั้งสิ้นเช่น เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมรุ่น SDM 650B เป็นอุปกรณ์เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมรุ่นแรกๆ ที่นำเข้ามาให้บริการ ส่วนตัวมัลติเพลกซ์ใช้ MICOM รุ่น 5K ซึ่งเป็นรุ่นเก่าที่สุด โดยในปัจจุบันเกือบจะไม่ได้ใช้งานแล้วเพราะมีรุ่นใหม่ที่ใช้งานได้ดีกว่าในเรื่องคุณภาพเสียงที่ในปัจจุบันสามารถรองรับมาตราฐาน G.729 ได้และโปรโตคอลในการรับส่งข้อมูลของตัวมัลติเพลกซ์รุ่นใหม่สามารถรองรับการส่งแบบเฟรมรีเลย์ได้เข้ามาใช้แทนที่ อีกทั้งความเร็วของตัวมัลติเพลกซ์ยังสามารถรองรับได้สูงกว่ารุ่น 5K มาก

ระบบ DAMA เป็นระบบที่ผสมผสานการทำงานของระบบดาวเทียมสองระบบคือระบบ SCPC และระบบ TDMA ซึ่งระบบ SCPC เป็นระบบที่ใช้สำหรับทำการส่งหรือรับข้อมูลด้วยอัตราเร็วสูง ส่วนระบบ TDMA เป็นระบบที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน เช่น การส่งคลื่นพาห์ หรือหยุดส่งคลื่นพาห์ของระบบ SCPC การควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด ในที่นี้การออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA ที่จัดสร้างขึ้นนี้เป็นการนำเอาระบบ SCPC มาทำงานทั้งระบบ โดยไม่มีระบบ TDMA เข้ามาเกี่ยวข้องแต่ใช้ระบบ SCPC เพียงอย่างเดียวและมีโครงสร้างของระบบดังแสดงในรูปที่ 4.2



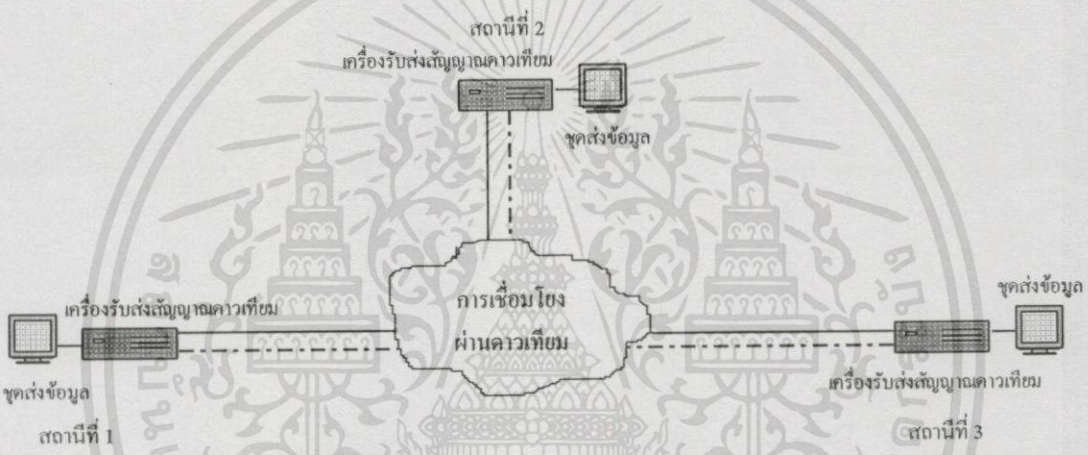
รูปที่ 4.2 โครงสร้างของระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำเอาระบบ SCPC มาใช้งานแทนระบบ DAMA ซึ่งส่วนประกอบของระบบจะประกอบไปด้วยระบบ SCPC ที่ทำงานที่อัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที และระบบ SCPC ที่ใช้เพื่อรองรับระบบโทรศัพท์ โทรสาร ระบบการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส และระบบการควบคุมการส่งคลื่นพาห์หรือการหยุดส่งคลื่นพาห์ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมความเร็ว 384 กิโลบิตต่อวินาที

4.1.3 การออกแบบระบบรับส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที

ในรูปที่ 4.3 เป็นการออกแบบระบบรับส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็ว 384 กิโลบิตต่อวินาที โดยมีจำนวนสถานีทั้งหมด 3 สถานี คือสถานีหนึ่งทำหน้าที่เป็นสถานีแม่ตั้งอยู่ที่สำนักงานใหญ่ ส่วนอีก 2 สถานีทำหน้าที่เป็นสถานีปลายทางซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างของระบบได้ดังรูปที่ 4.3



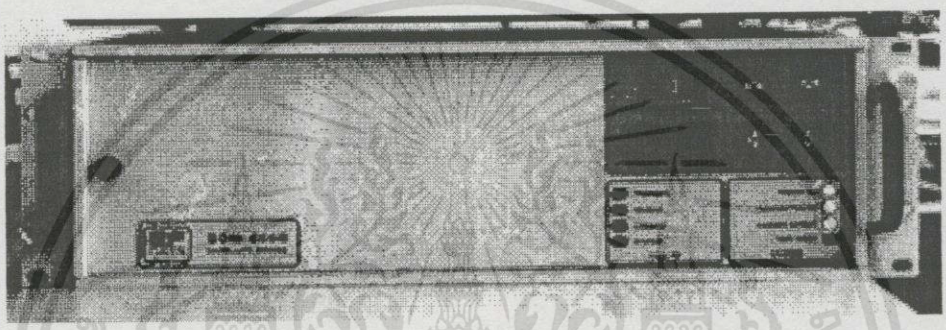
รูปที่ 4.3 การเชื่อมต่อชุดส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที

การออกแบบระบบการส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งออกแบบให้มีการทำงานแบบ SCPC DAMA สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 โดยการเชื่อมโยงระบบจะใช้ความถี่เพียงคู่เดียวสำหรับการส่งและรับสัญญาณในช่วงเวลาหนึ่งส่วนเครื่องรับอีกสถานีหนึ่งที่ไม่ได้ส่งข้อมูลให้กำหนดความถี่ใช้งานไว้ที่ความถี่รับของเครื่องส่งหลัก การประยุกต์ให้งานระบบนี้กับระบบวีดีโอคอนเฟอร์เรนซ์ของสถาบันการศึกษาที่มีการสลับเปลี่ยนสถานีส่งโดยให้ศูนย์ที่มีอาจารย์ทำการสอนให้กำหนดความถี่ส่งหลักไว้ส่วนเครื่องรับอื่นๆ ให้ตั้งความถี่รับมาที่ความถี่ส่งของสถานีที่ส่งสัญญาณ ซึ่งทุกสถานีสามารถรับภาพจากสถานีส่งได้ ในการออกแบบระบบรับส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที แต่ละสถานีประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ความถี่ที่ใช้งาน อุปกรณ์ภายในและอุปกรณ์ภายนอกจานสายอากาศของระบบสื่อสารดาวเทียม ตลอดจนอินเตอร์เฟสของอุปกรณ์ สายนำสัญญาณ และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการต่อพ่วงซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.1 เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B

เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ที่นำมาใช้ในการออกแบบเนื่องด้วยเป็นเครื่องรับส่งที่มีใช้อยู่ในหลายบริษัทและที่สำคัญเป็นอุปกรณ์เก่าซึ่งตรงกับวัตถุประสงค์ของการออกแบบข้อหนึ่งที่นำเอาอุปกรณ์เก่ามาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ส่วนข้อดีอีกข้อหนึ่งคือเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B สามารถควบคุมการทำงานได้ด้วยซอฟแวร์ นอกจากการควบคุมด้วยเมนูควบคุมที่อยู่บนตัวเครื่องรับส่ง ซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการออกแบบและสามารถแสดงลักษณะของเครื่องรับส่ง SDM 650B ได้ดังรูปที่ 4.4



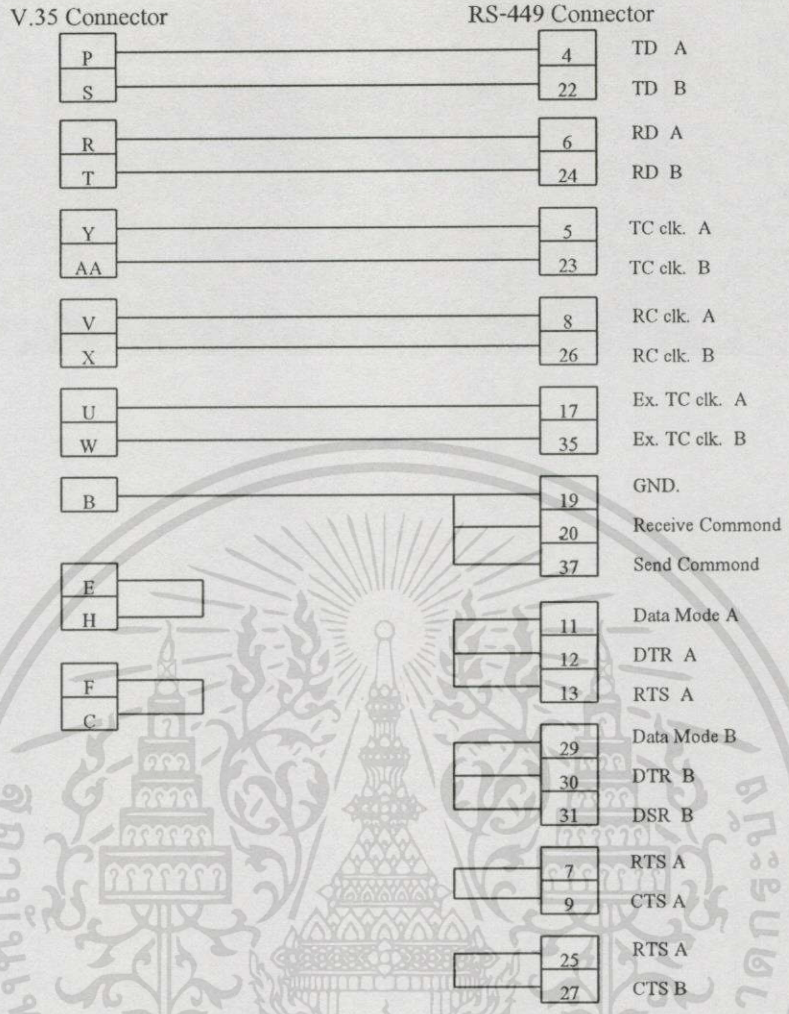
รูปที่ 4.4 เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B

ในรูปที่ 4.4 เป็นลักษณะด้านหน้าของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ที่ใช้ในการออกแบบระบบ เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมนี้สามารถใช้ได้กับการส่งข้อมูลที่อัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาทีและที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที และการควบคุมการทำงานของระบบสามารถทำได้ 2 วิธีคือ ควบคุมด้วยเมนูควบคุมที่ด้านหน้ามุมขวามือ ส่วนวิธีที่ 2 เป็นการควบคุมด้วยซอฟแวร์

4.1.3.2 อินเตอร์เฟสของ SDM 650B

อินเตอร์เฟสของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B คือส่วนที่ทำหน้าที่รับข้อมูลและส่งข้อมูลที่ต้องการมอดูเลตจากอุปกรณ์ภายนอกเข้ามาที่ตัวเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม ในที่นี้อินเตอร์เฟสเป็นแบบมาตรฐาน V.35 ซึ่งสามารถเลือกระดับอัตราการส่งข้อมูลได้หลายอัตราต่างๆ กัน ในที่นี้ทำการส่งข้อมูลผ่านดาวเทียมใช้อัตราการส่งข้อมูลที่ 384 กิโลบิตต่อวินาที แต่อินเตอร์เฟสของอุปกรณ์ CODEC ที่นำมาต่อด้วยเป็นแบบ RS-449 จึงต้องทำการแปลงอินเตอร์เฟสจาก V.35 เป็น RS-449 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

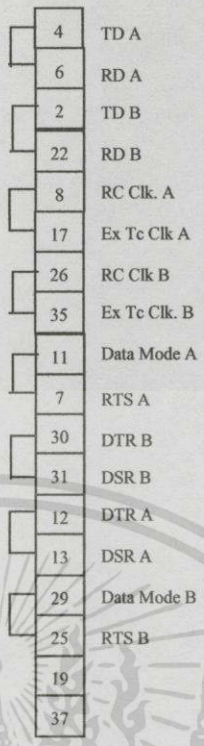


รูปที่ 4.5 การต่ออินเตอร์เฟสแบบ RS-449 กับอินเตอร์เฟส V.35

4.1.3.3 ลูปปลั๊กของอินเตอร์เฟส RS-449

ลูปปลั๊กทำหน้าที่ในการลูปสัญญาณจากอินเตอร์เฟสที่เป็นมาตรฐานต่างๆ เช่น RS-232C มาตรฐาน V.35 มาตรฐาน RS-530 หรือมาตรฐาน RS-449 และอื่นๆ วัตถุประสงค์ของการทำลูปปลั๊กเพื่อทำการหน้าที่ส่งผ่านข้อมูลจากต้นทางที่ส่งไปกลับมาเพื่อเช็คการทดสอบ BER ของระบบเวลาที่เกิดปัญหากับระบบ เพื่อเช็คหาความเสียหายว่าเกิดที่ส่วนใดของระบบ ในที่นี้แสดงขาสัญญาณไม่ครบทุกขา โดยขาอินเตอร์เฟส RS-449 มีทั้งหมด 37 ขาแต่แสดงเฉพาะที่จำเป็น ได้ดังในรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 อินเตอร์เฟสแบบลูปปลั๊กของ RS-449

4.1.3.4 การต่อ CODEC และชุดส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที

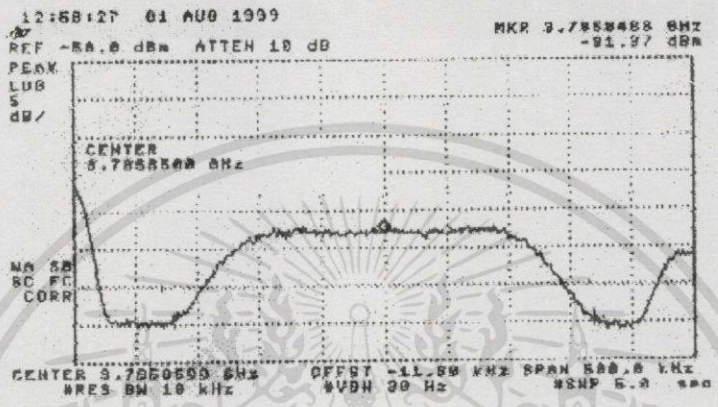
การเชื่อมต่อระบบในรูปที่ 4.7 เป็นอุปกรณ์ CODEC ที่นำมาใช้ทดลองส่งภาพซึ่งเป็นของ BT มีอินเตอร์เฟสเป็น RS-449 และมีสัญญาณเสียงมาตราฐาน G.728

รูปที่ 4.7 CODEC BT ที่ใช้เชื่อมต่อเพื่อส่งสัญญาณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.5 การมอดูเลตและความถี่ที่ใช้งาน

การมอดูเลตของระบบการส่งที่อัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาทีใช้การมอดูเลตแบบ QPSK และใช้การเข้ารหัสแบบ FEC ที่อัตรา 3/4 ทั้งนี้สาเหตุที่เลือกการเข้ารหัสด้วย FEC อัตรา 3/4 เพราะว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัตรา 1/2 แล้วอัตรา 3/4 สามารถประหยัดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าที่อัตรา 1/2 อยู่ประมาณ 25% ซึ่งทำให้สามารถประหยัดค่าเช่าช่องสัญญาณดาวเทียมลงได้อีกมาก



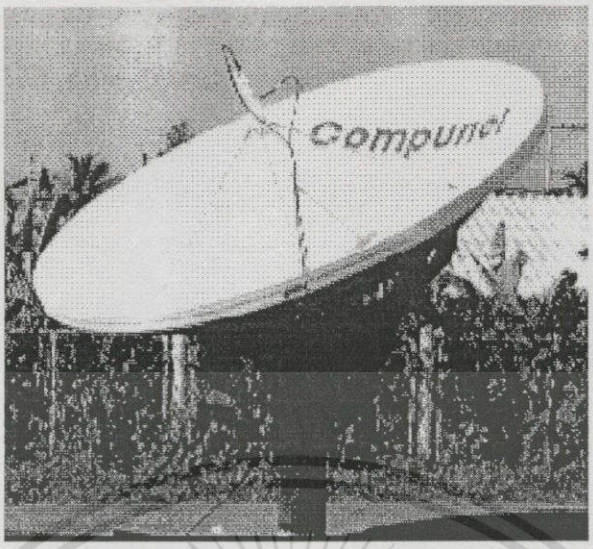
รูปที่ 4.8 เป็นแบนด์วิดท์ที่ 384 kbps ที่ FEC อัตรา 3/4

ในรูปที่ 4.8 เป็นแบนด์วิดท์ของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมระดับสัญญาณจุดยอดอยู่ที่ -81.37 dBm และระดับสัญญาณอ้างอิงอยู่ที่ -58.0 dBm ในรูปนี้เครื่องรับสัญญาณปลายทางรับสัญญาณได้ค่า E_b/N_o เท่ากับ 9.5 dB สำหรับการส่งข้อมูลใช้อัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที ที่ FEC อัตรา 3/4 โดยทำการทดสอบที่ความถี่ใช้งานจริง 3785.85 MHz ค่าแบนด์วิดท์รวมทั้งหมดของการส่งที่อัตรานี้คือ 350 kHz ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับที่ FEC อัตรา 1/2 พบว่าแบนด์วิดท์แคบกว่ากันถึงประมาณ 25-30% จึงเลือกใช้การเข้ารหัสที่ FEC อัตรา 3/4 นี้ในการออกแบบ

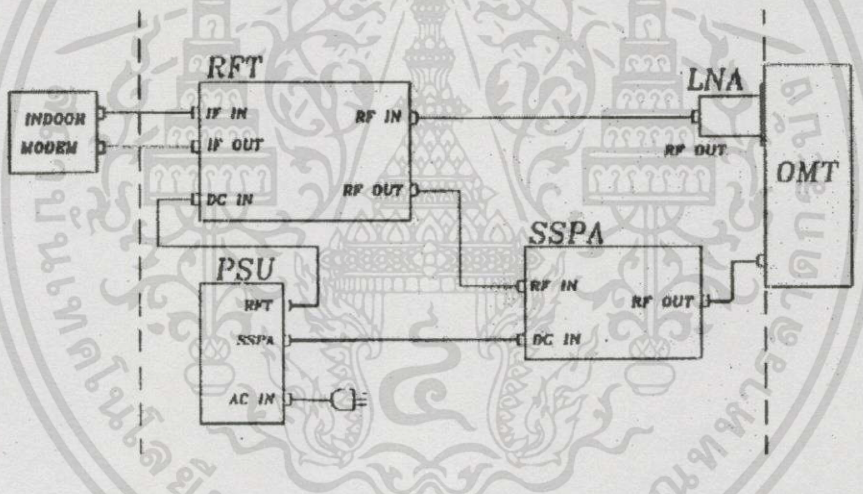
4.1.3.6 จานสายอากาศและอุปกรณ์เอาท์ดอร์ของระบบ

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงระบบจานสายอากาศและอุปกรณ์เอาท์ดอร์ของการออกแบบสำหรับจานสายอากาศใช้จานสายอากาศแบบพาราโบลาขนาด 3.7 เมตร ค่าอัตราขยายของจานสายอากาศขนาด 3.7 เมตร ด้านส่งมีค่า 45 dBi และด้านรับมีค่า 42 dBi สำหรับค่า G/T ของจานสายอากาศมีค่า 20.7 dBi ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถนำไปคำนวณหาค่างบประมาณระบบเชื่อมโยง (link budget) ของระบบที่ออกแบบได้ สำหรับรูปร่างของจานสายอากาศสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 จานสายอากาศพาราโบล่าขนาด 3.7 เมตรที่ใช้งาน

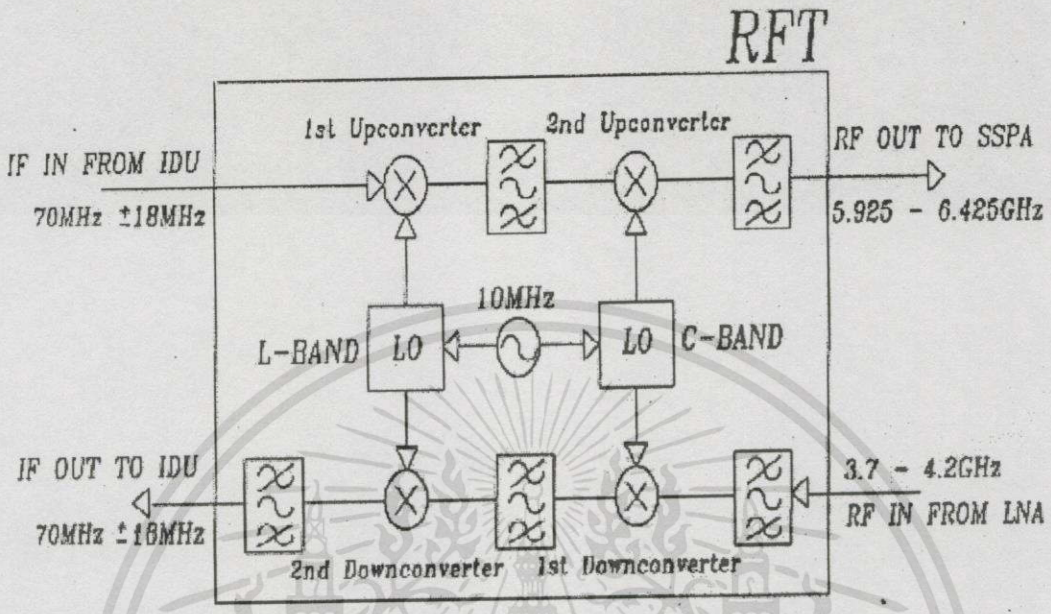


รูปที่ 4.10 การต่อชุดอุปกรณ์ภายนอกของจานสายอากาศ

ในรูปที่ 4.10 เป็นการต่ออุปกรณ์ภายนอกยี่ห้อ AGILIS [23] โดยอุปกรณ์ภายนอกประกอบด้วย 4 ส่วนคือชุด PSU ชุด RFT ชุด SSPA และชุด LNA โดยแต่ละชุดมีหน้าที่แตกต่างกันดังนี้ชุด PSU (Power Supply Unit) หรือชุดจ่ายไฟทำหน้าที่แปลงไฟ AC เป็นไฟ DC เพื่อจ่ายให้อุปกรณ์ชุดอื่นๆ ในส่วนของชุด RFT หรือชุดขยายย่านความถี่วิทยุทำหน้าที่แปลงสัญญาณ IF จากเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมมาเป็นสัญญาณ RF เพื่อส่งไปยังจานสายอากาศ และนอกจากนี้ยังทำหน้าที่แปลงสัญญาณ RF จาก LNA เป็นสัญญาณ IF เพื่อส่งให้เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม ในส่วนของชุด SSPA (Solid State Power Amplifier) หรือชุดภาคขยายสัญญาณทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ได้รับจากก RF out แล้วส่งต่อไปที่ feed เพื่อส่งไปยังดาวเทียมต่อไป และอุปกรณ์ชุดสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท้ายคือ LAN (Low Noise Amplifier) ซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณจากจานสายอากาศมาทำการขยายและส่งไปยังอุปกรณ์ RFT ต่อไป



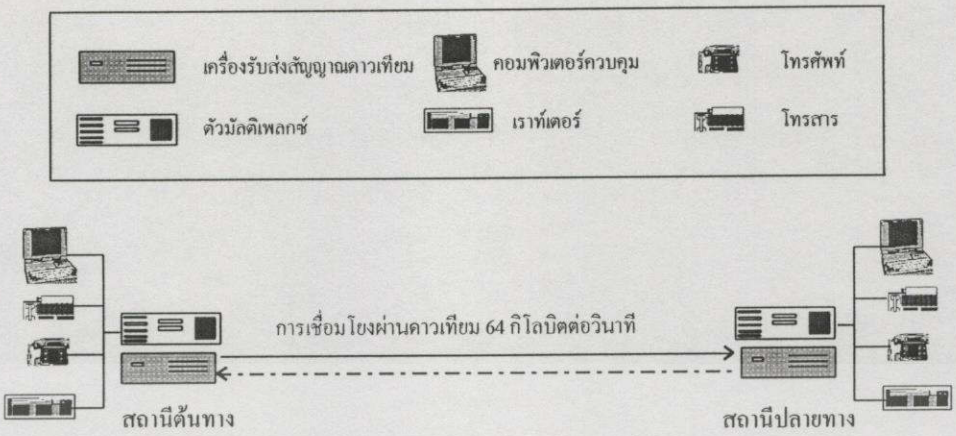
รูปที่ 4.11 ส่วนประกอบภายในของอุปกรณ์ RFT

ในรูปที่ 4.11 เป็นบล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ RFT ภายในด้านส่งจะมีชุด upconverter 2 ชุดซึ่งแต่ละชุดจะใช้วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์เป็นตัวกรองสัญญาณ โดยชุด upconverter ชุดแรกถูกด้วยความถี่ย่าน L ซึ่งได้จากวงจรกำเนิดความถี่ 10 MHz และชุด upconverter ชุดที่ 2 ถูกคูณด้วยความถี่ย่าน C ดังรูป และเช่นเดียวกันด้าน downconverter ก็มีจำนวน 2 ชุด โดยชุดแรกที่รับสัญญาณจาก LNA เมื่อผ่านวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์แล้วจะถูกคูณด้วยความถี่ย่าน C แล้วสัญญาณเมื่อผ่านแบนด์พาสฟิลเตอร์ก็จะถูกคูณอีกครั้งด้วยความถี่ย่าน L จากนั้นจึงผ่านวงจรฟิลเตอร์ได้เป็นสัญญาณ IF และต่อเข้าไปยังอุปกรณ์เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมต่อไป

4.1.4 การออกแบบระบบรับส่งข้อมูลด้วยอัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที

การออกแบบระบบส่งข้อมูลด้วยอัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาทีมีจุดประสงค์คือทำการรวมการส่งระบบโทรศัพท์ โทรสาร และการสื่อสารข้อมูลเพื่อเชื่อมโยงโครงข่ายทุกโครงข่ายของแต่ละสถานีเข้าด้วยกันโดยอาศัยการส่งข้อมูลต่างๆ ผ่านตัวมัลติเพลกซ์ซึ่งสามารถแสดงระบบโดยรวมได้ดังรูปที่ 4.12 ซึ่งอุปกรณ์ของระบบประกอบด้วยเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ตัวมัลติเพลกซ์ MICOM รุ่น 5K เครื่องโทรศัพท์ โทรสาร อุปกรณ์เราท์เตอร์ใช้สำหรับเชื่อมต่อโครงข่าย LAN และคอมพิวเตอร์ควบคุมระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



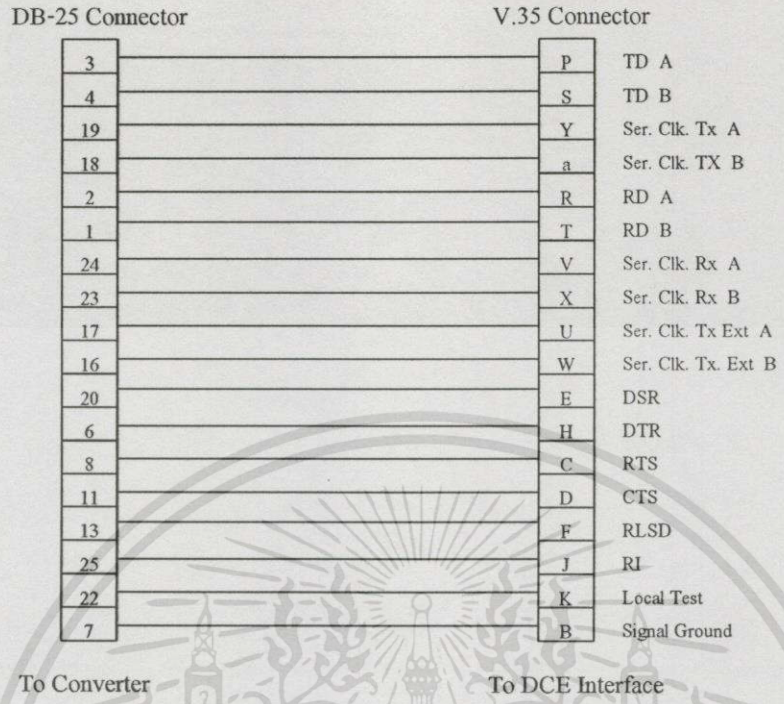
รูปที่ 4.12 รายละเอียดการเชื่อมต่อข้อมูลที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที

สำหรับระบบนี้จะใช้การเชื่อมต่อโครงข่ายดาวเทียมแบบ SCPC โดยมีสถานีแม่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณโทรศัพท์ และโทรสารไปยังด้านปลายทาง ในระบบนี้ถ้าหากสถานีปลายทางต้องโทรหาสถานีแม่ที่ต้นทางการโทรศัพท์ผ่านดาวเทียมก็เป็นแบบ hop เดียว แต่ถ้าหากสถานีปลายทางต้องการโทรศัพท์ไปหาสถานีปลายทางด้วยกันต้องมีการโทรศัพท์แบบ 2 hops ผ่านดาวเทียมซึ่งคุณภาพของสัญญาณเสียงจะด้อยกว่าการโทรศัพท์แบบ hop เดียวผ่านดาวเทียม ในเรื่องการสื่อสารข้อมูลสามารถหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาการส่งสัญญาณข้อมูลแบบ 2 hops ได้โดยออกแบบให้การเชื่อมโยงข้อมูลมาที่สถานีแม่เป็นหลักเช่นระบบ E-mail อาศัยการฝากข้อมูลเข้ามาที่สถานีแม่ที่ต้นทางเป็นหลัก เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการอ่านข้อมูลระหว่างสถานีปลายทางกับสถานีปลายทาง สำหรับความถี่ที่ใช้งานของทุกสถานีจะเป็นความถี่ที่ตายตัวโดยการเชื่อมต่อระหว่างสถานีแม่ไปยังสถานีปลายทางแต่ละแห่ง จะใช้ความถี่ 1 คู่ หรือ 2 ความถี่ในการเชื่อมต่อกัน ในที่นี้มีจำนวนสถานีทั้งหมด 3 สถานีดังนั้นจำนวนความถี่ที่ใช้งานมีทั้งหมด 4 ความถี่ ในการเชื่อมต่อระบบต่างๆ ที่กล่าวมา ใช้การส่งข้อมูลที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาทีและสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

4.1.4.1 การเชื่อมต่อระบบ SDM 650B กับตัวมัลติเพลกซ์

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ที่ได้กล่าวมาคือโทรศัพท์ 1 เลขหมาย โทรสาร 1 เลขหมาย และระบบสื่อสารข้อมูลที่ทำงานโดยอาศัยเราท์เตอร์เป็นตัวเชื่อมต่อระบบ LAN ของทุกสถานีเข้าด้วยกัน ซึ่งใช้การส่งข้อมูลด้วยอัตรา 38.4 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับการเชื่อมต่อตัวมัลติเพลกซ์เข้ากับเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B เนื่องจากอินเตอร์เฟสของ SDM 650B เป็น V.35 ส่วนทรังค์ของตัวมัลติเพลกซ์เป็น RS-232C ดังนั้นจึงต้องมีอะแดปเตอร์ในการแปลงอินเตอร์เฟส และมีการต่อของแต่ละขา (pin assignment) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.13

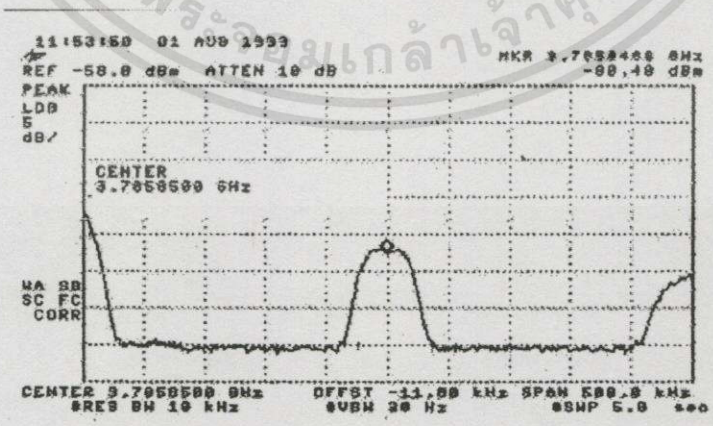
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 การต่อ pin assignment ของอินเตอร์เฟส V.35 และ RS-232C

4.1.4.2 การมอดูเลตและการเข้ารหัสที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที

สำหรับการมอดูเลตของการส่งข้อมูลที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที ใช้การส่งข้อมูลแบบ QPSK ด้วยอัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที และใช้การตรวจสอบความผิดพลาดด้วยการเข้ารหัสแบบ FEC ด้วยอัตรา 3/4 สำหรับการเชื่อมต่อระบบและความถี่ใช้งาน และค่าแบนด์วิดท์มีค่า 75 kHz จุดยอดของสัญญาณอยู่ที่ -80.40 dBm ระดับสัญญาณอ้างอิงอยู่ที่ -58.0 dBm



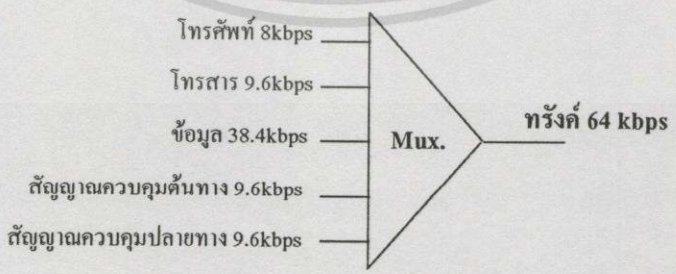
รูปที่ 4.14 แบนด์วิดท์ที่ 64 kbps ที่ FEC อัตรา 3/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.14 เป็นหน้าจอเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมที่ได้ปรินทร์ออกมาซึ่งแสดงขนาดของแบนด์วิดท์ของระบบการส่งข้อมูลที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที โดยทำการทดสอบที่ความถี่ 3785.85 MHz การส่งใช้การเข้ารหัสแบบ FEC อัตรา 3/4 เช่นเดียวกับการส่งที่อัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที ที่การส่งอัตรานี้สามารถประหยัดแบนด์วิดท์ในการใช้งานได้มากกว่าอัตรา 1/2 และสามารถทำงานได้ที่คุณภาพสัญญาณใกล้เคียงกับอัตรา 1/2 ในที่นี้เครื่องรับสัญญาณด้านปลายทางสามารถรับค่า E_b/N_o ได้เท่ากับ 9.5 dB

4.1.4.3 ตัวมัลติเพลกซ์ MICOM รุ่น 5K

การออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA วัตถุประสงค์ในการออกแบบอีกข้อหนึ่งคือการใช้อุปกรณ์เก่าที่มีอยู่เพื่อไม่ต้องลงทุนเพิ่ม ซึ่งในที่นี้ตัวมัลติเพลกซ์ที่ใช้เป็นยี่ห้อ MICOM รุ่น 5K ซึ่งเป็นตัวมัลติเพลกซ์แบบสะแตติสติก (statistic) โดยตัวมัลติเพลกซ์แบบสะแตติสติกมีข้อดีคือสามารถส่งข้อมูลเกินกว่าความจุทรังค์ของตัวมัลติเพลกซ์ได้ (Over Bandwidth) ซึ่งในการออกแบบใช้การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสที่อัตรา 9.6 กิโลบิตต่อวินาที 2 พอร์ท และการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัสสำหรับเชื่อมต่อเราท์เตอร์ที่อัตราข้อมูล 38.4 กิโลบิตต่อวินาที การส่งโทรสารที่อัตรา 9.6 กิโลบิตต่อวินาที การส่งโทรศัพท์ที่อัตรา 8 กิโลบิตต่อวินาที รวมช่องสัญญาณทั้งหมด 5 ช่องซึ่งพบว่าอัตราข้อมูลทั้งหมดที่ใช้รวมเป็น 75.2 กิโลบิตต่อวินาที แต่ทรังค์ของตัวมัลติเพลกซ์มีเพียง 64 กิโลบิตต่อวินาที แต่ตัวมัลติเพลกซ์ก็ยังสามารถทำงานได้ เพราะเป็นตัวมัลติเพลกซ์แบบสะแตติสติก ในการเชื่อมต่อพอร์ทของตัวมัลติเพลกซ์ถ้าหากไม่มีการใช้งานหรือไม่มีการส่งข้อมูลที่พอร์ทก็จะไม่มีการจองช่องสัญญาณแต่อย่างใดจึงไม่เกิดการใช้แบนด์วิดท์ของตัวมัลติเพลกซ์ทำให้ระบบสามารถทำงานได้ เช่นในการออกแบบนี้ พอร์ทที่เป็นอะซิงโครนัสเมื่อไม่มีการส่งข้อมูลควบคุมจากต้นทางไปยังปลายทางหรือจากปลายทางมาที่ต้นทางก็จะไม่มีการดึงแบนด์วิดท์ของตัวมัลติเพลกซ์มาใช้ทำให้สามารถทำงานที่แบนด์วิดท์เกินได้

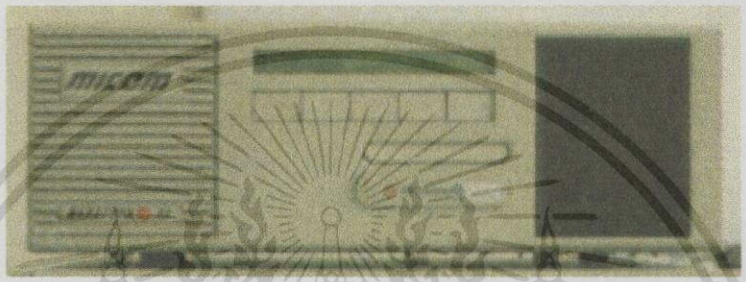


ตัวมัลติเพลกซ์ MICOM รุ่น 5K

รูปที่ 4.15 โครงสร้างการต่อสัญญาณต่างๆ เข้ากับตัวมัลติเพลกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.15 เป็นโครงสร้างการเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์ โทรสาร การเชื่อมต่อสัญญาณควบคุมจากต้นทางและปลายทาง ตลอดจนพอร์ทที่ต่อกับเราท์เตอร์เพื่อเชื่อมต่อโครงข่าย LAN ของแต่ละสถานีเข้าด้วยกัน โดยเชื่อมต่อผ่านตัวมัลติเพลกซ์ MICOM รุ่น 5K ซึ่งในรูปที่ 4.15 นี้แสดงอินพุทของตัวมัลติเพลกซ์ที่มีอัตราการส่งข้อมูลชนิดต่างๆ รวม 75.2 กิโลบิตต่อวินาที ส่วนที่ทรังค์ของตัวมัลติเพลกซ์มีค่าเพียง 64 กิโลบิตต่อวินาที ส่วนในรูปที่ 4.16 เป็นลักษณะด้านหน้าของตัวมัลติเพลกซ์ MICOM รุ่น 5K ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระบบในการออกแบบนี้



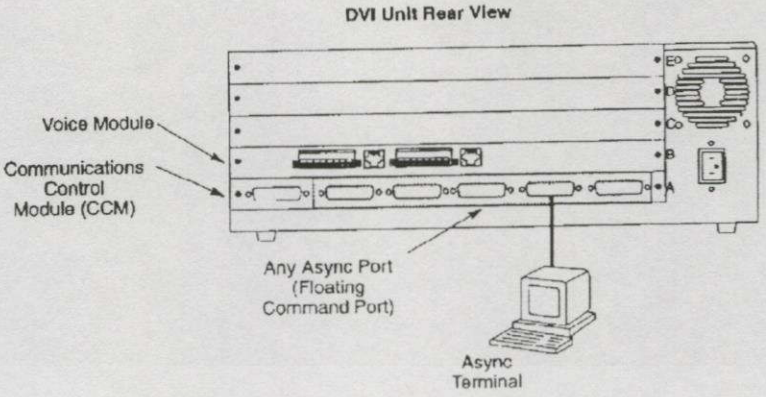
รูปที่ 4.16 ตัวมัลติเพลกซ์ MICOM รุ่น 5 K

จากรูปที่ 4.16 เป็นตัวมัลติเพลกซ์ MICOM รุ่น 5 K โดยตัวมัลติเพลกซ์รุ่นนี้เป็นรุ่นเก่าการควบคุมสามารถทำได้ 2 วิธี คือโดยเมนูหน้าเครื่อง และวิธีที่ 2 โดยการใช้พอร์ทควบคุม สำหรับวิธีแรกไม่ค่อยสะดวกเพราะสามารถทำได้ช้าและเมนูบางฟังก์ชันก็มีไม่ครบ แต่วิธีที่ 2 จะสะดวกที่สุด

4.1.4.4 การเชื่อมต่อโมดูลเสียงสำหรับโทรศัพท์และโทรสารผ่านตัวมัลติเพลกซ์ MICOM

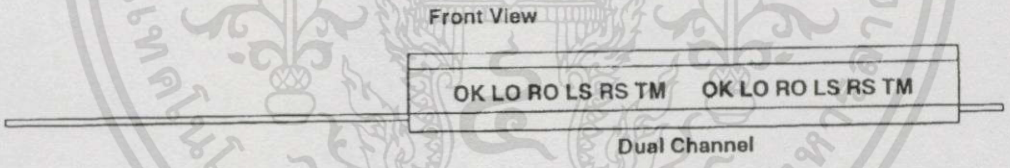
โมดูลเสียงและโทรสารของตัวมัลติเพลกซ์ยี่ห้อ MICOM หรือมีชื่อเฉพาะเรียกว่า DVI (Data Voice Integration) โดยโมดูลเสียงและโทรสารทำหน้าที่แปลงสัญญาณเสียงแบบแอนะลอกจากโทรศัพท์ไปเป็นสัญญาณดิจิตอลและทำการแปลงสัญญาณเสียงเพื่อส่งผ่านพอร์ททรังค์ หรือพอร์ท CCM (Communication Control Module) และส่งต่อไปยังอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ ซึ่งภายในสัญญาณเสียงประกอบด้วย dialing information ซึ่งใช้ในการบอกจุดหมายปลายทางของการเรียก สำหรับในส่วนปลายทาง digitized voice signal จะถูกดีมัลติเพลกซ์และส่งต่อไปยังช่องสัญญาณเสียงและโทรสารที่กำหนดโดยตำแหน่งปลายทาง (Destination Adddress) และทำการแปลงกลับสัญญาณที่ถูกแปลงเป็นเชิงเลข (digitize) ให้อยู่ในรูปของสัญญาณแอนะลอกอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

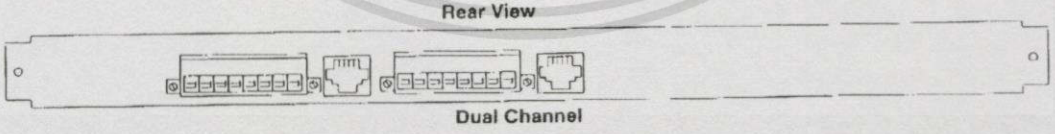


รูปที่ 4.17 รายละเอียดของตัวมัลติเพลกซ์ MICOM

ในรูปที่ 4.17 เป็นด้านหลังของอุปกรณ์ MICOM รุ่น 5K ซึ่งประกอบด้วยโมดูลเสียงแบบ OPX หรือ KTS โดยการเปลี่ยนจัมเปอร์ภายในโมดูลนั้นๆ ในที่นี้โมดูลเสียงอยู่ที่การ์ด B นอกจากนั้นยังแสดงอินเตอร์เฟสที่เป็น RS-232C สำหรับเชื่อมต่อข้อมูลในแบบซิงโครนัสหรืออะซิงโครนัสซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งการ์ด A โดยทุกพอร์ทผู้ใช้สามารถกำหนดได้ว่าพอร์ทใดต้องการให้มีโปรโตคอล แบบใด ในพอร์ทด้านซ้ายมือสุดเป็นพอร์ททรังค์ของ MICOM ใช้ต่อกับเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมหรือโมเดมที่ใช้กับระบบสื่อสารทั่วไป



(ก) โมดูลเสียงด้านหน้า



(ข) โมดูลเสียงด้านหลัง

รูปที่ 4.18 โมดูลเสียงแบบคู่ของตัวมัลติเพลกซ์ MICOM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.18 เป็นโมดูลเสียงด้านหน้าและด้านหลังของตัวมัลติเพลกซ์ซึ่งใน 1 การ์ดประกอบด้วย 2 วงจรโดยแต่ละวงจรสามารถกำหนดให้มีการทำงานแบบ OPX หรือ KTS ได้จากการเปลี่ยนจัมเปอร์ภายในโมดูล ซึ่งในรูปที่ 4.18 (ก) เป็นโมดูลด้านหน้าซึ่งประกอบด้วยสัญญาณ OK คือ สภาพพร้อมให้บริการ LO คือ Local Off Hook ส่วน RO คือ Remote Off Hook และ LS คือ Local Send และ RS คือ Remote Send ส่วน TM คือ Test Mode หมายถึงอยู่ในสภาวะทดสอบช่องสัญญาณทั้งหมดนี้ประกอบรวมเป็นหนึ่งวงจรเสียง

ในรูปที่ 4.18 (ข) เป็นโมดูลด้านหลังซึ่งมีอินเตอร์เฟส 2 รูปแบบให้เลือกคือแบบ RJ-11 ซึ่งเหมาะกับการนำเครื่องโทรศัพท์มาต่อโดยตรง และอีกส่วนเป็นแบบที่เรียกว่า Terminal Block ซึ่งเหมาะกับการต่อระบบ E&M มากกว่าเพราะมีจำนวนคู่สายใช้งานที่มากกว่าแบบ RJ-11

4.1.4.5 อินเตอร์เฟสของโมดูลเสียงแบบ KTS และ OPX

สำหรับอินเตอร์เฟสที่ใช้ทำการเชื่อมต่อโทรศัพท์และโทรสารสามารถแสดงได้ดังรูป 4.19 โดยโมดูลแบบ KTS (Key Telephone System) จะทำหน้าที่ต่อกับตัวเครื่องรับโทรศัพท์และทำการกำเนิดสัญญาณกระดิ่งและสัญญาณเชื่อมต่อระบบให้ นอกจากต่อกับเครื่องโทรศัพท์ธรรมดาแล้วยังสามารถต่อกับตู้สาขาอัตโนมัติด้านการ์ด Co. ได้อีกด้วย

รูปที่ 4.19 อินเตอร์เฟสของโมดูลเสียงแบบ KTS

ในรูปที่ 4.19 เป็นอินเตอร์เฟสเมนูของโมดูลเสียงแบบ KTS ซึ่งแต่ละหัวข้อสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้ ในหัวข้อ MODE เป็นการเลือกการทำงานว่าจะให้โมดูลทำงานในโหมดสัญญาณเสียงอย่างเดียวหรือในโหมดสัญญาณเสียงและโทรสาร ในหัวข้อ Digitizing Rate เป็นการเลือกอัตราการชักตัวอย่าง (sampling) สัญญาณ หัวข้อ Input level gain และ output level attenuation เป็นการปรับอัตราขยายและการลดทอนของสัญญาณเสียง หัวข้อ Bandwidth สามารถเลือกรูปแบบได้ 3 รูปแบบคือ Voice activated คือจะจองช่องสัญญาณเฉพาะการทำงานในโหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรสาร ส่วน Continuous เป็นการจองช่องสัญญาณค้างเมื่อระบบโทรศัพท์และโทรสารมีการทำงานทำให้เปลืองแบนด์วิดท์ ส่วน Dynamic ระบบจะทำงานที่อัตราของ digitizing rate แต่ไม่สามารถใช้กับการส่งโทรสารได้ หัวข้อ Background สามารถเลือกได้ 2 ข้อคือ Regenerate หมายถึงสัญญาณรบกวนจะถูกกำเนิดขึ้นที่ตัวมัลติเพลกซ์ที่ช่องสัญญาณที่ใช้งานและด้านที่กำหนดเท่านั้นที่จะได้ยินเสียง background นั้น ส่วน Silence เป็นการกำหนดให้ช่องสัญญาณนั้นไม่มีการกำเนิดเสียงรบกวนขึ้นมาในขณะใช้งานซึ่งดูไม่เป็นธรรมชาติเท่าใด หัวข้อ Priority มีให้เลือก 2 ระดับ คือ High จะให้ความสำคัญกับช่องสัญญาณนั้นสูง และ Low หมายถึงให้ความสำคัญน้อยลงมา หัวข้อ Signaling Format มีให้เลือก 3 หัวข้อคือ Repeated Ring หมายถึงให้ตัวโมดูลทำการทวนสัญญาณกระดิ่งที่ส่งมาจากด้าน OPX ส่วน Interrupted Ring 2/4 และ Interrupted 2 Ring 1/2 เป็นการสั่งให้โมดูลเสียงทำการกำเนิดสัญญาณกระดิ่งเรียกขึ้นมาเอง เหมาะสำหรับการเชื่อมต่อแบบ hot line หัวข้อ Ringing Frequency เป็นความถี่ที่สามารถเลือกใช้กับสัญญาณกระดิ่ง หัวข้อ Fax digitizing rate เป็นการบอกถึงการกำหนดอัตรการแปลงเป็นเชิงเลข (digitizing) ของการส่งโทรสารโดยทั่วไปใช้อัตราเดียวกับการส่งสัญญาณเสียง

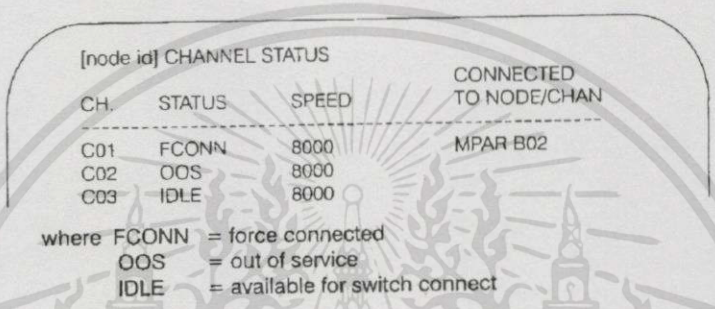
รูปที่ 4.20 อินเตอร์เฟสของโมดูลเสียงแบบ OPX

สำหรับโมดูลเสียงแบบ OPX (Off Premises Extension) ในรูปที่ 4.20 ทำหน้าที่รับสัญญาณจาก PABX แล้วทำการแปลงกลับสัญญาณเพื่อส่งให้ตัวมัลติเพลกซ์และส่งไปยังปลายทางต่อไป สำหรับเมนูของอินเตอร์เฟสแบบ OPX ก็คล้ายกับแบบ KTS จะมีบางหัวข้อที่แตกต่างคือ หัวข้อ Number of Ring เป็นการกำหนดจำนวนกระดิ่งเรียกที่ต้องการให้ด้าน KTS ทำการทวนสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

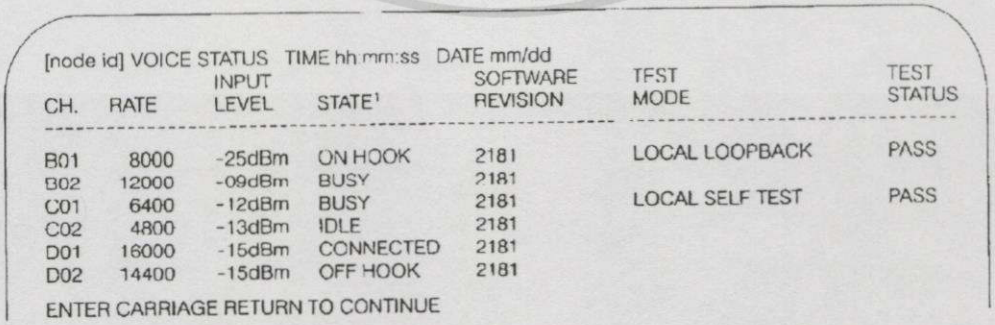
4.1.4.6 การใช้ซอฟแวร์เชื่อมต่อช่องสัญญาณของตัวมัลติเพลกซ์ MICOM

การเชื่อมต่อช่องสัญญาณของตัวมัลติเพลกซ์สามารถทำได้โดยใช้ซอฟแวร์ควบคุมภายในตัวมัลติเพลกซ์ที่ให้มา โดยใช้คอมพิวเตอร์ทำการต่อเข้าที่พอร์ทควบคุมของตัวมัลติเพลกซ์ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดพอร์ทเองได้ในตอนแรกของการติดตั้ง โดยมีพารามิเตอร์คือ อัตราบอดเป็น 9.6 กิโลบิตต่อวินาที ความยาวข้อมูลเป็น 8 บิต ส่วนบิตเริ่มต้นเป็น 1 บิตปิดท้ายเป็น 1 และ parity เป็น none สำหรับซอฟแวร์ของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมก็เป็นซอฟแวร์จำพวก Hyper Terminal หรือ Crosstalk หรือ PC Plus หรือซอฟแวร์สื่อสารอื่นๆ



รูปที่ 4.21 ซอฟแวร์แสดงตัวอย่างสถานะการต่อช่องสัญญาณ

ในรูปที่ 4.21 เป็นตัวอย่างสถานะของการต่อช่องสัญญาณต่างๆ ซึ่งมีประโยชน์ในการแจ้งการผิดปกติของระบบ โดยมีสถานะของการเชื่อมต่อ 3 รูปแบบคือ FCONN หรือ Force Connected เป็นการสั่งให้ช่องสัญญาณเชื่อมต่อกันตลอดเวลา ส่วน OOS หรือ Out Off Service หมายถึงช่องสัญญาณด้านใดด้านหนึ่งมีปัญหาต้องทำการทดสอบเพื่อแก้ไขต่อไป ส่วน IDLE หมายถึงช่องสัญญาณนั้นทำการเชื่อมต่อในโหมดสวิตช์ซึ่งโดยให้ตัวมัลติเพลกซ์ทำหน้าที่สวิตช์ช่องสัญญาณแทน PABX ซึ่งถูกใช้ในกรณีที่ PABX ทำฟังก์ชั่นการสุ่มเลือกหมายเลขอัตโนมัติไม่ได้



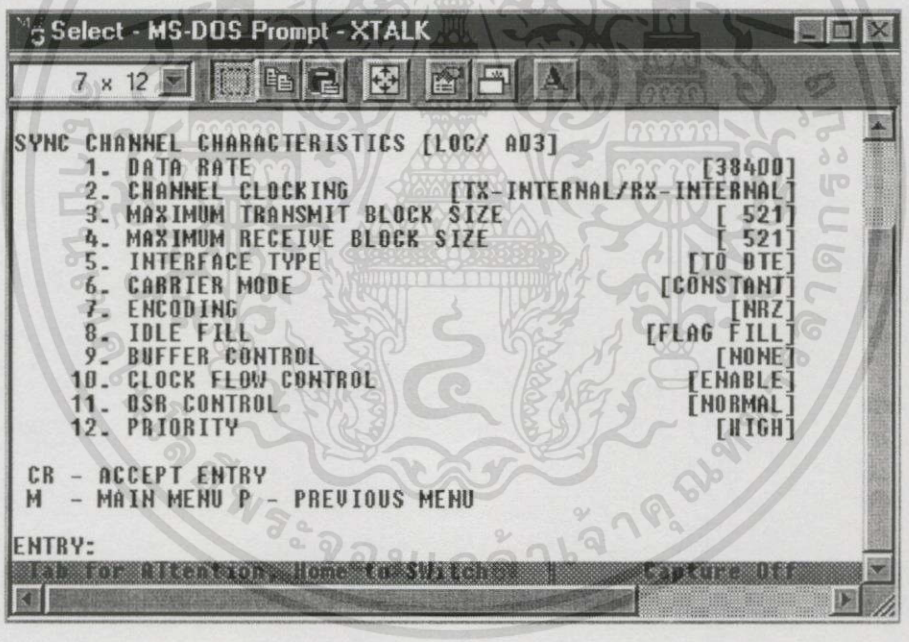
รูปที่ 4.22 สถานะของช่องสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูป 4.22 เป็นการบอกถึงการทำงานในเวลาปัจจุบันของช่องสัญญาณเสียงแต่ละช่องว่ากำลังถูกใช้งานอยู่หรือไม่ได้ถูกใช้งาน นอกจากนี้ยังบอกถึงอัตราในการเชื่อมต่อของแต่ละช่องสัญญาณและบอกถึงโหมดการทำงานด้วย เช่น ON HOOK เป็นตัวบอกว่าช่องสัญญาณไม่ได้ใช้งาน OFF HOOK บอกว่ากำลังมีการใช้งานช่องสัญญาณนี้อยู่ ส่วน BUSY หมายถึงช่องสัญญาณอยู่ในสภาวะทดสอบหรือเกิดการผิดปกติของช่องสัญญาณ สภาวะ IDLE หมายถึงช่องสัญญาณนี้มีการเชื่อมต่อในโหมดสวิตช์ชิ่งและไม่มีการใช้งานในขณะนั้น ส่วน CONNECTED หมายถึงช่องสัญญาณถูกใช้งานในโหมดสวิตช์ชิ่งและมีการใช้งานในขณะนั้น

4.1.4.7 พอร์ทสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

สำหรับพอร์ทสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส ถูกกำหนดโปรโตคอลในการเชื่อมต่อแบบ DLC โดยมีการเชื่อมต่อที่ 38.4 กิโลบิตต่อวินาที และอุปกรณ์ที่มาเชื่อมต่อด้วยคือเราท์เตอร์ [24] Cisco มีอินเตอร์เฟสเป็น RS-232C

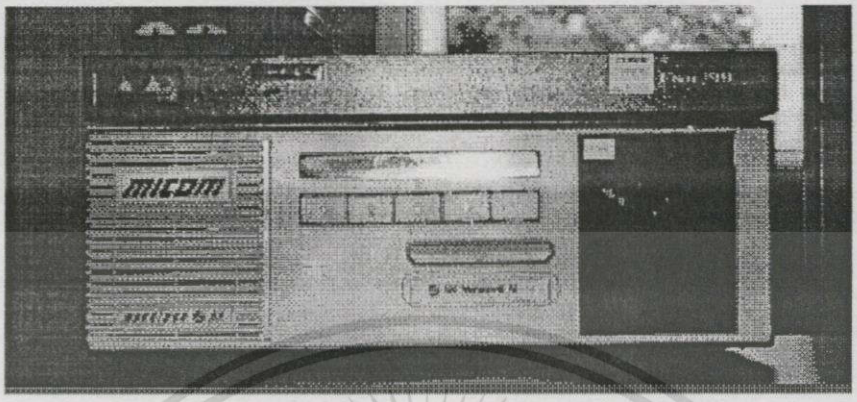


รูปที่ 4.23 เมนูของโปรโตคอลแบบ DLC ของ MICOM

สำหรับอินเตอร์เฟสเมนูของการส่งข้อมูลแบบ DLC สามารถแสดงได้ดังรูป 4.23 โดยภายในเมนูมีส่วนต่างๆ ที่สำคัญคือ อัตราข้อมูลที่ใช้ส่ง (Data rate) ในที่นี้สามารถส่งได้สูงสุด 38.4 กิโลบิตต่อวินาที ส่วนต่อไปคือสัญญาณนาฬิกาที่ใช้จ่ายให้อุปกรณ์ที่นำมาต่อร่วม และส่วนของการเข้ารหัสว่าเป็นแบบ NRZ หรือ NRZI ในส่วนของการกำหนดความยาวของบล็อกข้อมูลที่ใช้ส่งระหว่างตัวมัลติเพลกซ์และอุปกรณ์ที่นำมาต่อร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

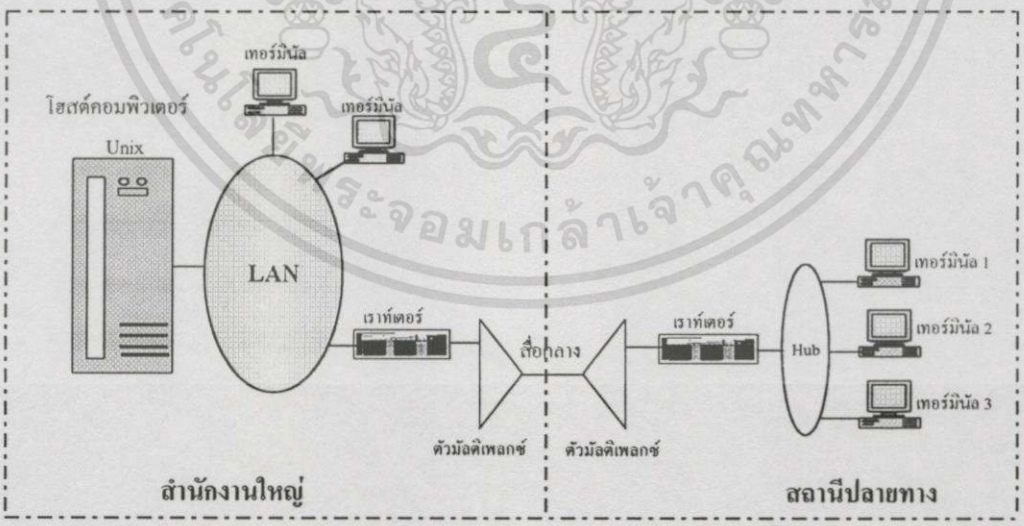
4.1.4.8 เราท์เตอร์ที่นำมาเชื่อมต่อ



รูปที่ 4.24 เราท์เตอร์Cisco กับตัวมัลติเพลกซ์ MICOM รุ่น 5K

ในรูปที่ 4.24 เป็นตัวมัลติเพลกซ์ MICOM รุ่น 5K กับเราท์เตอร์ Cisco รุ่น 2509 ที่ใช้ในการออกแบบระบบ LAN เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลผ่านโครงข่าย WAN โดยตัวมัลติเพลกซ์มีการกำหนดโปรโตคอลเป็นแบบ DLC และสามารถแสดงการเชื่อมต่อระบบทั้งหมดได้ดังรูปที่ 4.25

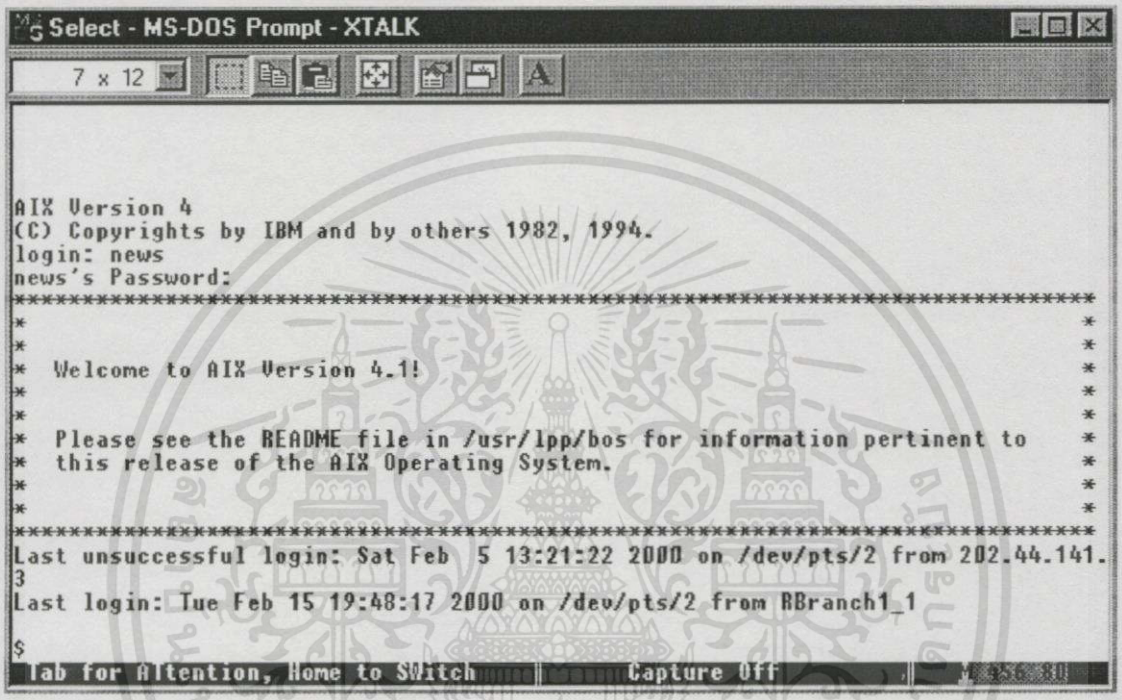
4.1.4.9 การเชื่อมต่อข้อมูลในระบบ LAN ไปยังสถานีปลายทาง



รูปที่ 4.25 การออกแบบระบบ LAN เพื่อเชื่อมโยงไปยังสถานีปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.25 เป็นการออกแบบการเชื่อมต่อระบบ LAN ไปยังสถานีปลายทางที่ใช้งานจริง โดยระบบที่สถานีต้นทางเป็น Unix และที่สถานีปลายทางทำการเชื่อมต่อโครงข่ายด้วยเราท์เตอร์ผ่านตัวมักติเพลกซ์ การทำงานที่สถานีปลายทางมี hub เป็นตัวเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ผ่านการ์ด LAN ส่วนที่ต้นทางเราท์เตอร์ถูกต่อเข้ากับโครงข่าย LAN แล้วจึงเชื่อมต่อเข้าระบบ Unix ในรูปที่ 4.26 เป็นการ log in เข้าระบบ Unix ที่สถานีต้นทางของเครื่องคอมพิวเตอร์ปลายทาง

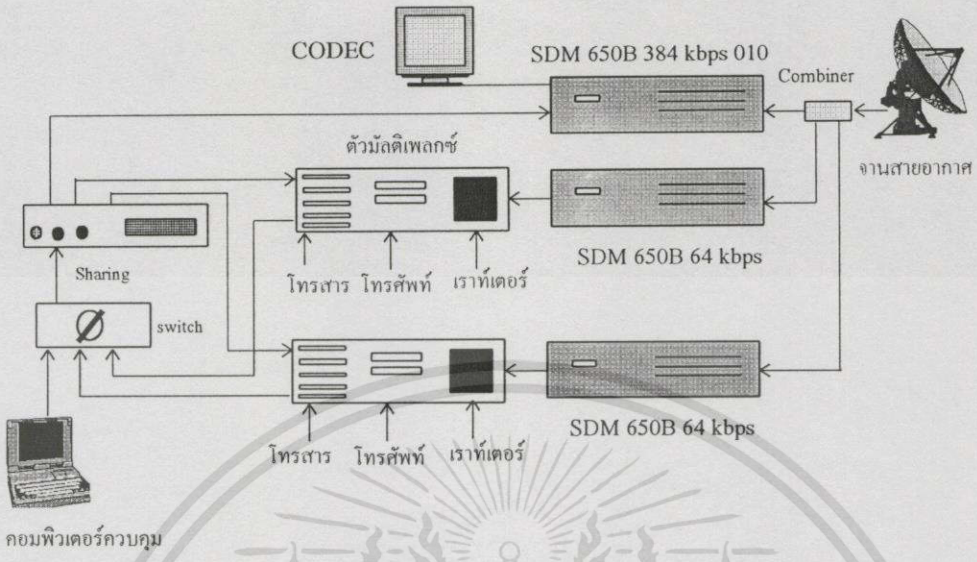


รูปที่ 4.26 การเชื่อมต่อระบบสื่อสารข้อมูลปลายทางไปที่ต้นทาง

จากรูปที่ 4.26 เป็นการใช้โปรแกรมครอสทอร์กทำการเชื่อมต่อระบบ Unix ที่สถานีต้นทาง ซึ่งในการเชื่อมโยงจริงจะใช้โปรแกรม DL 200 เป็นโปรแกรมในการเชื่อมโยงระบบแทนสำหรับในรูปนี้ระบบปฏิบัติการเป็นระบบ Unix ของ Anix เป็นรุ่นที่ 4.1 โดยเมื่อทำการเชื่อมต่อระบบก็จะเข้าสู่การใส่ log in ของผู้ที่จะเข้ามาใช้ระบบเพื่อตรวจสอบสิทธิของผู้ใช้ระบบ เมื่อทำการใส่ log in แล้วระบบจะตรวจสอบสิทธิว่าผู้ของเข้าใช้งานระบบมีรหัสผ่านที่ถูกต้องหรือไม่ ในที่นี้เป็นการใส่รหัสผ่านของผู้ขอเข้าใช้ระบบหรือ new's Password เมื่อรหัสผ่านถูกต้องผู้ขอเข้าใช้ระบบจึงสามารถเข้าใช้ระบบได้ แต่ถ้าหากรหัสผ่านไม่ถูกต้องผู้ขอเข้าใช้ระบบก็จะไม่สามารถเข้าใช้ระบบได้ ในส่วนของโปรแกรม DL 200 เป็นโปรแกรมอีมูเลชั่นช่วยในการปฏิบัติการในที่นี้ระบบที่ใช้ต้องอยู่ในระบบปฏิบัติการแบบดอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.10 อุปกรณ์ด้านต้นทางของระบบ 64 กิโลบิตต่อวินาที



รูปที่ 4.27 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของสถานีด้านต้นทาง

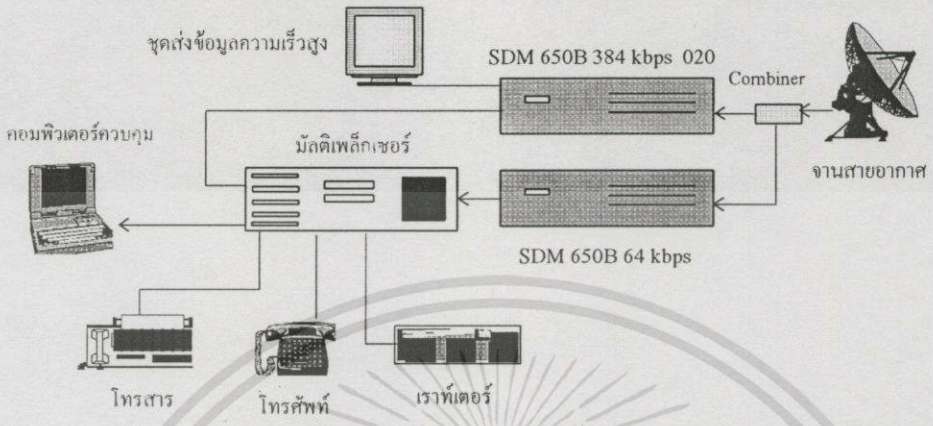
จากรูปที่ 4.27 เป็นการต่ออุปกรณ์ที่สถานีแม่หรือสถานีต้นทาง ซึ่งที่สถานีแม่ประกอบด้วยเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ที่ส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที จำนวน 1 เครื่องและชุดเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมแบบ SCPC ขนาด 64 กิโลบิตต่อวินาที อีก 2 ชุด สำหรับใช้ติดต่อถึงกันระหว่างสถานีปลายทางทั้ง 2 สถานีกับสถานีแม่ที่ต้นทาง และชุดอุปกรณ์มัลติเพลกซ์อีก 2 ชุดซึ่งทำหน้าที่รองรับการส่งระบบโทรศัพท์ โทรสารรวมถึงชุดรับส่งข้อมูลผ่านเราท์เตอร์และชุดคอมพิวเตอร์ควบคุมตัวเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมที่อัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับที่สถานีต้นทางจะมีอุปกรณ์เพิ่มอีก 2 ชิ้นคือชุด sharing และชุดสวิตช์ข้อมูล (data switch) ซึ่งทำหน้าที่เป็นชุดกระจาย (broadcast) สัญญาณคำสั่ง

4.1.4.11 อุปกรณ์ปลายทางของระบบ 64 กิโลบิตต่อวินาที

การออกแบบระบบส่งข้อมูลด้วยอัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที โดยใช้เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B โดยใช้ความถี่ทั้งหมด 4 ความถี่คือ 3805.675, 3805.750, 3805.275 และ 3805.90 เมกกะเฮิรตซ์ ที่สถานีปลายทางทั้ง 2 แห่งจะมีอุปกรณ์ที่เหมือนกันซึ่งประกอบด้วยเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B 2 เครื่อง เครื่องแรกสำหรับรับส่งข้อมูลที่อัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งระบบนี้เป็นแบบ SCPC DAMA [25] ส่วนตัวที่ 2 ใช้ในการรับส่งสัญญาณดาวเทียมที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาทีซึ่งทำหน้าที่ส่งผ่านระบบโทรศัพท์ โทรสาร ระบบการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (ใช้สำหรับต่อเราท์เตอร์) และชุดควบคุมการส่งหรือหยุดส่งของคลื่นพาห์ของเครื่องรับส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณขนาด 384 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งชุดเครื่องรับสัญญาณชุดที่ 2 นี้มีการทำงานแบบ SCPC คือ จองช่องสัญญาณไว้ตลอด และสามารถแสดงอุปกรณ์ปลายทางได้ดังรูป 4.28



รูปที่ 4.28 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ปลายทาง

จากรูปที่ 4.28 ตัวมัลติเพลกซ์ประกอบด้วยช่องสัญญาณโทรศัพท์ที่แซมปลิงด้วยอัตรา 8 กิโลบิตต่อวินาที และโทรสารที่ 9.6 กิโลบิตต่อวินาที ช่องสัญญาณข้อมูลอะซิงโครนัสที่อัตราข้อมูล 9.6 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับทำหน้าที่ควบคุมตัวเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 384 กิโลบิตต่อวินาทีให้สามารถส่งหรือหยุดส่งคลื่นพาห์ได้จากด้านต้นทาง และช่องสัญญาณอะซิงโครนัสที่อัตรา 9.6 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับเป็นช่องสัญญาณควบคุมการทำงานจากทางด้านปลายทางอีก 1 ช่องสัญญาณ รวมทั้งช่องสัญญาณขนาด 38.4 กิโลบิตต่อวินาทีแบบซิงโครนัส ซึ่งรวมช่องสัญญาณทั้งหมดเป็น 75.2 กิโลบิตต่อวินาทีซึ่งจะพบว่าแบนวิดท์มีค่าเกินกว่าแบนวิดท์ของช่องสัญญาณดาวเทียม แต่ในที่นี้สามารถทำได้เพราะตัวมัลติเพลกซ์เป็นแบบสะแตติสติกซึ่งสามารถส่งสัญญาณที่เกินขนาดของแบนด์วิดท์ของทรังค์ได้

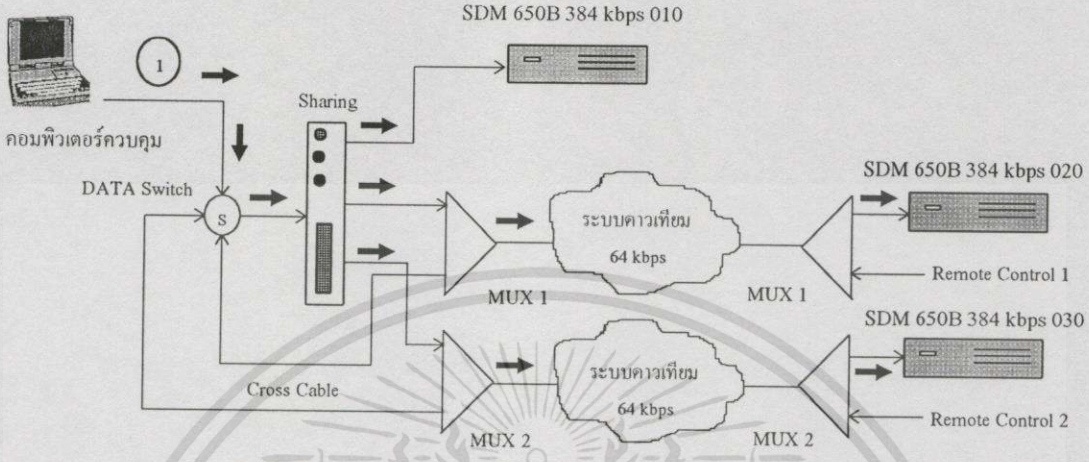
4.1.5 การออกแบบระบบควบคุมการส่งสัญญาณจากต้นทาง

วัตถุประสงค์ของการออกแบบระบบควบคุมเพื่อควบคุมการทำงานของระบบโดยสามารถสั่งให้เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ตัวใดส่งหรือหยุดส่งสัญญาณและเปลี่ยนแปลงความถี่ส่งหรือรับได้อย่างอัตโนมัติ

รูปที่ 4.29 เป็นเส้นทางเดินของสัญญาณควบคุมจากด้านต้นทางไปยังอุปกรณ์ปลายทางทั้ง 2 แห่ง โดยสัญญาณควบคุมจากต้นทางจะถูกส่งผ่านสวิตช์ข้อมูล (data switch) จากนั้นสัญญาณส่วนนี้จะถูกส่งผ่านอุปกรณ์ Sharing ซึ่งทำหน้าที่กระจายสัญญาณจากพอร์ทหนึ่งไปยังหลายๆ พอร์ทแล้วนำสัญญาณจากพอร์ทเหล่านี้ส่งต่อไปยังพอร์ทอะซิงโครนัสของตัวมัลติเพลกซ์แล้วทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งไปยังปลายทางและที่พอร์ทปลายทางจะทำการต่อเข้ากับพอร์ทควบคุมของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B เพื่อทำการควบคุมระบบต่อไป



รูปที่ 4.29 การต่ออุปกรณ์ควบคุมระบบและเส้นทางเดินของสัญญาณควบคุม

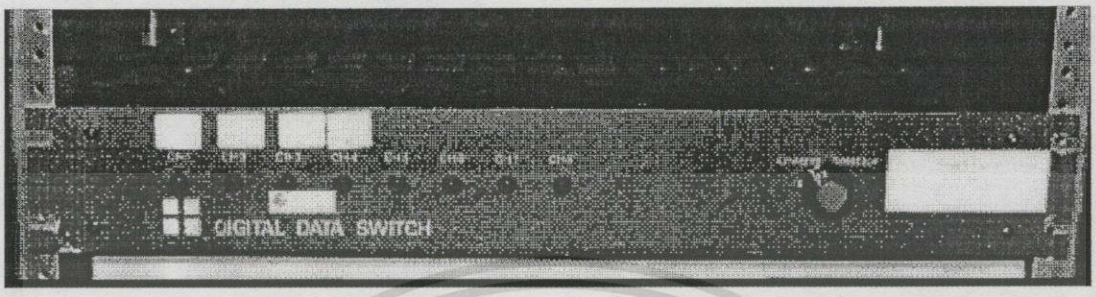
จากรูปที่ 4.29 เป็นกลไกการควบคุมการทำงานโดยส่งชุดคำสั่งควบคุมจากสถานีต้นทางไปยังสถานีปลายทางทั้ง 2 แห่งโดยอาศัยพอร์ทของตัวมัลติเพลกซ์ทำงานร่วมกับสวิตช์ข้อมูลและ sharing การควบคุมทางต้นทางทำได้โดยใช้คอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมควบคุมการทำงานต่อเข้ากับสวิตช์ข้อมูล ซึ่งเอาท์พุทของสวิตช์ข้อมูลจะต่อเข้ากับอินพุทของตัวกระจายข้อมูล และที่เอาท์พุทของตัวกระจายข้อมูลจะต่อเข้ากับพอร์ทควบคุมการทำงานของตัวเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ตัวที่ 010 ส่วนที่ด้านปลายทางสัญญาณควบคุมจะถูกส่งผ่านพอร์ทอะซิงโครนัสของตัวมัลติเพลกซ์ไปที่ปลายทางทั้ง 2 แห่งโดยต่อผ่านพอร์ทของตัวมัลติเพลกซ์ที่ตำแหน่ง A3 และที่พอร์ท A3 ทางด้านปลายทางต่อเข้ากับพอร์ทควบคุมของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ตัวที่ 020 ที่อยู่ที่สถานีที่ 1 และตัวที่ 030 ที่อยู่ที่สถานีที่ 2 ขนาด 384 กิโลบิตต่อวินาที ดังนั้นจึงสามารถทำการกระจายสัญญาณไปควบคุมเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมขนาด 384 กิโลบิตต่อวินาที แต่ละตัวได้ดังแสดงรายละเอียดของทางเดินสัญญาณควบคุมจากต้นทางไปยังปลายทางได้ดังรูปที่ 4.29

4.1.5.1 สวิตช์ข้อมูล (Data Switch)

เป็นอุปกรณ์ที่ตั้งอยู่ที่ต้นทางใช้ในการควบคุมให้สถานีใดเป็นตัวกระจายสัญญาณโดยตัวสวิตช์ข้อมูลที่ใช้จะมีอินเตอร์เฟสในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อินพุทและเอาท์พุทแบบ RS-232C ซึ่งสวิตช์ข้อมูลที่ใช้เป็นแบบ 4 อินพุทและมีเอาท์พุท 1 เอาท์พุท ในที่นี้พอร์ทเอาท์พุทจะต่อเข้ากับอุปกรณ์ Sharing ซึ่งทำหน้าที่กระจายสัญญาณ ส่วนพอร์ทอินพุทในที่นี้ใช้ทั้งหมด 3 พอร์ทสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

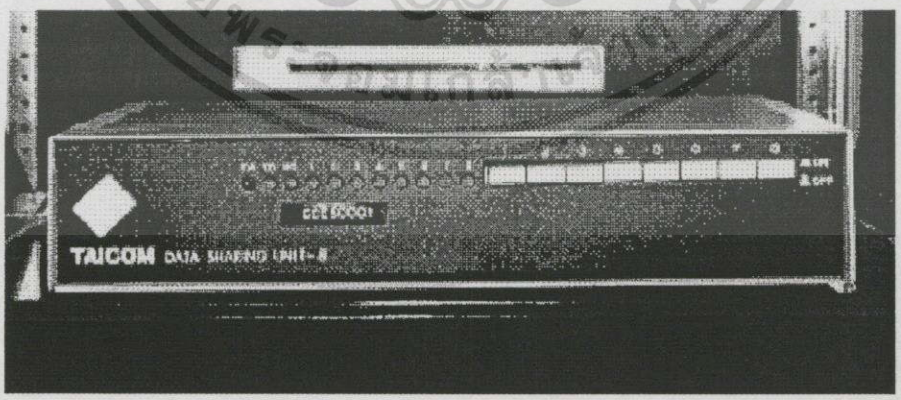
3 สถานี โดยพอร์ทแรกต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ควบคุมจากสถานีต้นทางโดยใช้สายตรง (direct cable) ในการต่อ ส่วนพอร์ทที่ 2 และ 3 จะต่อเข้ากับพอร์ทอะซิงโครนัสของตัวมัลติเพลกซ์ที่ใช้ควบคุมจากปลายทางโดยใช้สายครอส สำหรับตัวสวิตช์ข้อมูลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 อุปกรณ์สวิตช์ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ

4.1.5.2 ตัวกระจายสัญญาณ (Sharing)

เป็นอุปกรณ์ตั้งอยู่ที่ต้นทางโดยเป็นอุปกรณ์ที่มีอินพุทเดียวแต่มีหลายเอาท์พุท สำหรับหน้าที่ของตัว Sharing (ในที่นี้ต่อไปจะใช้คำว่าตัวกระจายข้อมูลแทน) คือทำการรับสัญญาณที่ส่งเข้ามาจากเอาท์พุทของสวิตช์ข้อมูล ตัวกระจายข้อมูลจะรับข้อมูลที่เข้ามาพอร์ทเดียวแล้วกระจายสัญญาณไปยังสถานีปลายทางแต่ละแห่ง โดยส่งผ่านพอร์ทอะซิงโครนัสของตัวมัลติเพลกซ์ สำหรับสายควบคุมจากพอร์ทจะใช้สายตรงหรือสายครอส ก็ได้ขึ้นอยู่กับการกำหนดจัมเปอร์ของพอร์ทเอาท์พุทของตัวกระจายข้อมูล ว่าให้เป็นแบบที่นำไปต่อกับอุปกรณ์ DTE หรือ DCE สำหรับรูปร่างของตัวกระจายข้อมูลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ตัวกระจายข้อมูลหรือ sharing ที่ใช้ในการออกแบบ

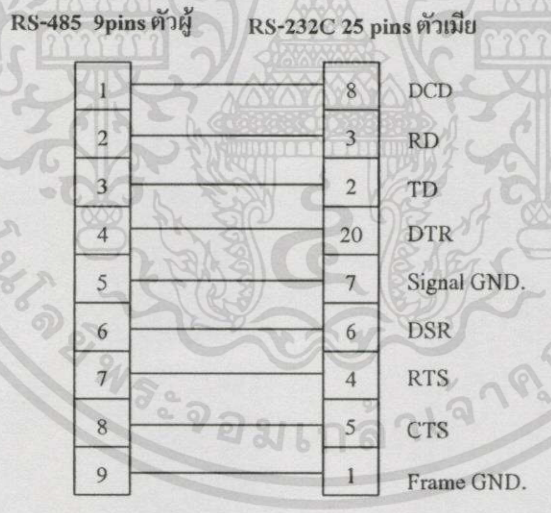
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5.3 พอร์ทอะซิงโครนัสของตัวมัลติเพลกซ์

ในการควบคุมเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B จำเป็นต้องกำหนดพารามิเตอร์ที่พอร์ทควบคุมและที่พอร์ทของตัวมัลติเพลกซ์ให้ตรงกัน ในการส่งข้อมูลควบคุมการทำงานของระบบจะใช้พอร์ทอะซิงโครนัสทำการส่งข้อมูลแบบ text file โดยต้องกำหนดการส่งข้อมูลผ่านตัวมัลติเพลกซ์ด้วยอัตรา 9600 บิตต่อวินาทีและใช้บิตเริ่มต้นเป็น 1 บิต และบิตปิดท้าย (stop bit) มีขนาดเป็น 1 บิต การส่งข้อมูลเป็นแบบครึ่งดูเพลกซ์ (half duplex) ส่วนความยาวที่ใชในการส่งข้อมูลมีขนาด 7 บิต ค่าพาริตี้เป็นแบบ Even

4.1.5.4 การแปลงอินเตอร์ของพอร์ทควบคุม

ในรูปที่ 4.32 เป็นการแปลงอินเตอร์เฟสจาก RS-485 มาเป็น RS-232C เพราะที่พอร์ทควบคุมของตัว SDM 650B เป็นอินเตอร์เฟสแบบ RS-485 ตัวเมีย ส่วนพอร์ทที่จะนำมาต่อที่สวิตช์ข้อมูล (data switch) เป็นแบบ RS-232C ตัวผู้จึงต้องทำการแปลงอินเตอร์เฟสจาก RS-485 มาเป็น RS-232C ดังแสดงในรูปที่ 4.32 ซึ่งสายที่ใช้เป็นแบบสายตรงธรรมดา โดยดูจากมาตรฐานของ RS-485 และ RS-232C เข้ามาเปรียบเทียบกันตลอด และจึงต่อสายแต่ละเส้นเข้าด้วยกัน



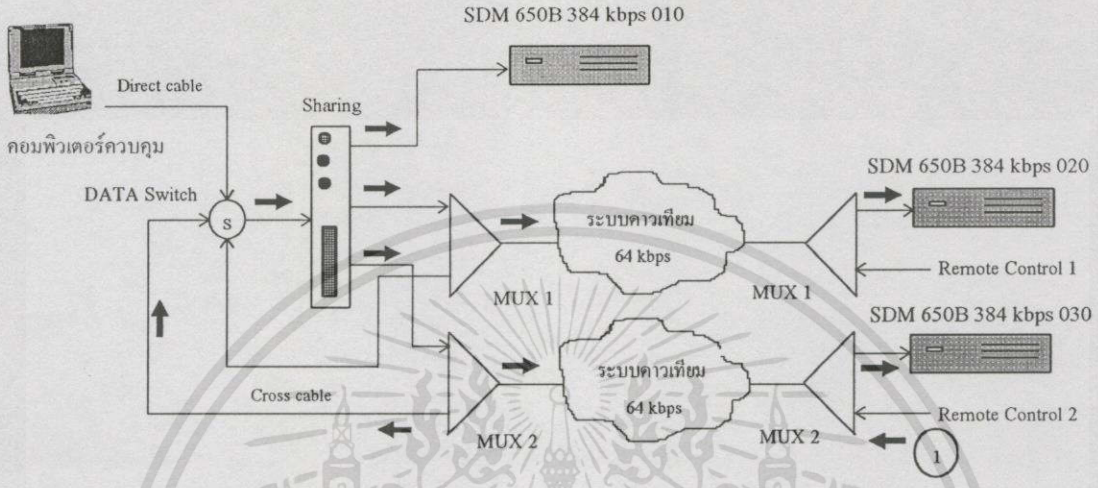
รูปที่ 4.32 การแปลงสายอินเตอร์เฟส RS-485 เป็น RS-232C แบบสายตรง

4.1.6 การออกแบบระบบควบคุมจากปลายทาง

ในการออกแบบสามารถแยกได้ว่าเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ตัวใดตั้งอยู่ที่สถานีใดได้ โดยการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมแต่ละตัวเช่น 010, 020 และ 030 เป็นต้นโดยการกำหนดที่ดิฟสวิตช์ภายในตัว SDM 650B ในรูปที่ 4.33 เป็นเส้นทางการส่งสัญญาณควบคุมจากสถานีปลายทาง 030 กลับมาที่ต้นทางเพื่อทำการกระจายสัญญาณกลับไปยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีต่างๆ อีกที โดยส่งผ่านพอร์ทอะซิงโครนัสของตัวมัลติเพลกซ์และส่งผ่านระบบดาวเทียมกลับมาที่สถานีกลางแล้วผ่านเข้าสวิตช์ขอมูลแล้วจึงส่งเข้าไปที่ตัวกระจายสัญญาณอีกทีหนึ่ง และทำการกระจายสัญญาณส่งไปตามพอร์ทของตัวมัลติเพลกซ์เพื่อต่อไปยังเครื่องรับส่งสัญญาณ SDM 650B ให้ทำงานตามคำสั่งที่ส่งไปอีกที



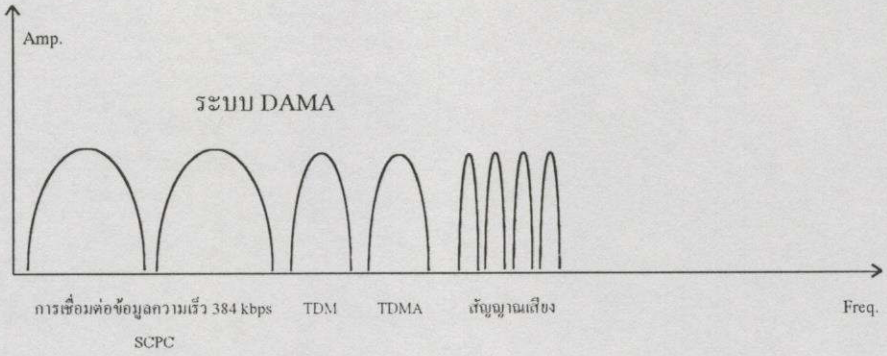
รูปที่ 4.33 การส่งสัญญาณควบคุมจากปลายทาง

การควบคุมจากสถานีปลายทางในที่นี้ทำการต่อคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมควบคุมการทำงานต่อผ่านพอร์ทอะซิงโครนัสของตัวมัลติเพลกซ์ที่เชื่อมต่อมายังด้านสถานีต้นทาง และที่พอร์ทของตัวมัลติเพลกซ์ที่ต้นทางต่อเข้ากับสวิตช์ข้อมูลซึ่งที่เอาท์พุทของสวิตช์ข้อมูลต่อกับอินพุทของตัวกระจายสัญญาณอยู่อีกทีและทำการเลือกสวิตช์ ไปยังสถานีปลายทางที่ต้องการเข้ามาควบคุม ดังนั้นที่สถานีปลายทางก็จะสามารถเข้ามาควบคุมการทำงานของระบบและสามารถกระจายสัญญาณเพื่อทำการควบคุมระบบได้ แต่ปัญหาที่ตามมาคือค่าเวลาหน่วง เพราะระบบดาวเทียมที่ทำการควบคุมจากด้านปลายทางจะต้องกินเวลาเป็น 2 เท่าของการกระจายสัญญาณด้วยคอมพิวเตอร์ที่ต้นทาง เพราะตัวปลายทางจะต้องทำการส่งคำสั่งควบคุมมาที่สถานีต้นทางก่อนแล้วจึงกระจายคำสั่งนั้นไปยังสถานีอื่นๆ อีกต่อไป ทำให้ต้องใช้โปรแกรมที่มีการหน่วงเวลาที่พอเหมาะ เพราะถ้าหากเวลาที่ทำการส่งข้อมูลที่เร็วเกินไป แล้วตัวเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยังไม่พร้อมรับสัญญาณจะทำให้การกระจายสัญญาณไม่ประสบผลสำเร็จ

4.1.7 การออกแบบสเปกตรัมและข้อจำกัดในการออกแบบ

การเปรียบเทียบระบบสเปกตรัมของการออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA กับสเปกตรัมของระบบ DAMA จริงพบว่าสามารถเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 การเปรียบเทียบสเปกตรัมสัญญาณ

จากรูปที่ 4.34 พบว่าการออกแบบระบบมีข้อจำกัดคือไม่สามารถออกแบบให้มีสถานีปลายทางจำนวนมากได้เพราะจะทำให้แบนด์วิดท์ที่ใช้งานมีสูงกว่าระบบ DAMA มากทำให้เป็นการสิ้นเปลืองในที่นี้จำนวนสถานีที่มากที่สุดเป็น 5 สถานี

การคำนวณหาจุดเปรียบเทียบความคุ้มของการออกแบบว่าระบบที่ออกแบบสามารถทำงานได้เท่าใดในกรณีแบนด์วิดท์ของระบบสามารถสรุปข้อเปรียบเทียบออกมาได้โดยระบบที่ออกแบบและระบบ DAMA มีสิ่งที่เหมือนกันคือแบนด์วิดท์ของระบบการส่งข้อมูลที่อัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาทีมีค่าที่เท่ากัน ส่วนระบบอื่นๆ มีค่าแบนด์วิดท์ที่แตกต่างกันและสามารถแสดงส่วนที่แตกต่างกันได้ดังนี้

- ระบบ DAMA มีการใช้ระบบ TDM/TDMA เข้ามาใช้ในการควบคุมระบบโดยใช้การมอดูเลตแบบ BPSK ที่อัตราข้อมูล 56 กิโลบิตต่อวินาทีที่ช่องสัญญาณขาเข้าและขาออกซึ่งได้ค่าแบนด์วิดท์โดยรวมของทั้งสองความถี่ประมาณ 224 กิโลเฮิรตซ์
- การส่งข้อมูลเพื่อเชื่อมโยงระบบสื่อสารคอมพิวเตอร์ใช้อัตรา 38.4 กิโลบิตต่อวินาทีซึ่งระบบต้องเชื่อมต่อกันตลอดเวลาโดยใช้การสื่อสารแบบ SCPC ผ่านดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในการเชื่อมโยงระบบโทรศัพท์และระบบโทรสารของระบบ DAMA ใช้การแซมปลิงด้วยอัตรา 9.6 กิโลบิตต่อวินาทีและกำหนดให้แต่ละสถานีใช้เพียง 1 ช่องสัญญาณคือโอกาสที่จะใช้โทรศัพท์และโทรสารมีเพียง 50% เท่านั้น

- ในการออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA ใช้ช่องสัญญาณของทุกสถานีเป็นค่าคงที่โดยการส่งสัญญาณผ่านตัวมัลติเพลกซ์ทั้งการสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์ที่อัตราข้อมูล 38.4 กิโลบิตต่อวินาที และการส่งโทรสารด้วยการแซมปลิงที่อัตรา 9.6 กิโลบิตต่อวินาที และการส่งระบบโทรศัพท์ด้วยการแซมปลิงที่อัตรา 8 กิโลบิตต่อวินาที รวมถึงการส่งสัญญาณควบคุมระบบ SCPC DAMA [25] รวมเข้าไปในตัวมัลติเพลกซ์ซึ่งใช้การส่งข้อมูลแบบ SCPC ที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที

ตารางที่ 4.1 แบนด์วิดท์ต่อจำนวนสถานีของระบบ DAMA

ระบบ DAMA	2 สถานี	3 สถานี	4 สถานี	5 สถานี	6 สถานี
TDM/TDMA 56kbps	224	224	224	224	224
โทรศัพท์-โทรสาร 9.6kbps	19.2	28.8	38.4	48.0	57.6
การเชื่อมโยงข้อมูล 38.4kbps	153.6	230.4	307.2	384	460.8
แบนด์วิดท์รวม (kbps)	396.8	483.2	569.6	656	742.6

จากตารางที่ 4.1 เป็นการคำนวณหาแบนด์วิดท์ของระบบ DAMA ที่ใช้งานจริงเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหาจุดคุ้มของระบบที่ออกแบบเมื่อพิจารณาในด้านแบนด์วิดท์ ซึ่งผลของการพิจารณาแบนด์วิดท์จากตารางที่ 4.1 พบว่าพารามิเตอร์ที่ทำให้แบนด์วิดท์ของระบบสูงขึ้นคือค่าการส่งข้อมูลที่อัตรา 38.4 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งในการออกแบบระบบนี้ไม่สามารถลดค่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้เพราะต้องเชื่อมต่อข้อมูลผ่านเราท์เตอร์อยู่ตลอดเวลา จึงทำให้แบนด์วิดท์ส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงขนาดตามการเชื่อมโยงข้อมูล สำหรับช่องจำนวนสถานีมีหน่วยเป็นแบนด์วิดท์

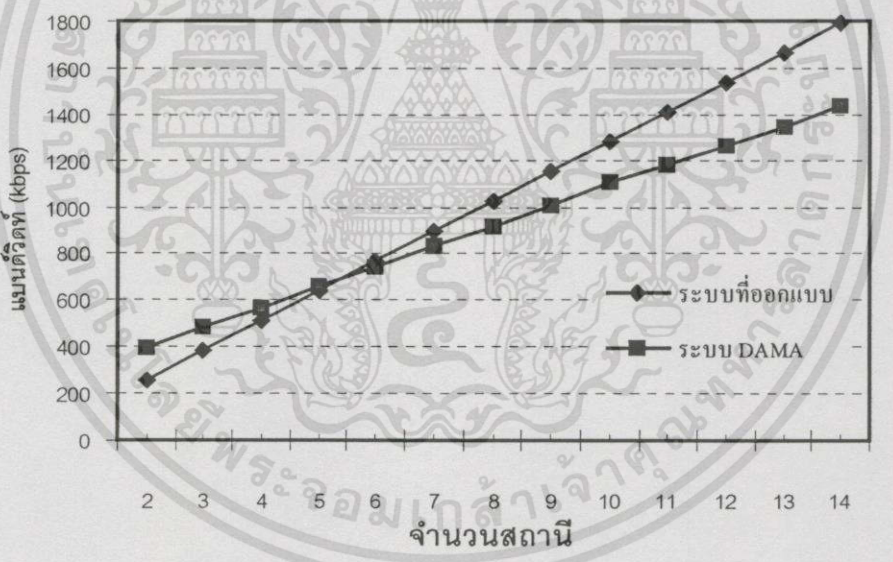
ข้อเสียเปรียบข้อหนึ่งของระบบ DAMA ต่อระบบที่ออกแบบคือในเรื่องการส่งสัญญาณโทรศัพท์และโทรสารเนื่องจากระบบ DAMA มีการออกแบบเพื่อใช้แบนด์วิดท์ให้เกิดประโยชน์มากที่สุดดังนั้นระบบโทรศัพท์และโทสารจึงออกแบบให้ใช้เพียง 50% ดังนั้นโอกาสที่จะมีการใช้งานโทศัพท์และโทรสารที่เกิดขึ้นพร้อมกันย่อมมีความเป็นไปได้สูงที่สัญญาณกาใช้งานจะไม่ว่าง แต่ถ้าเป็นระบบที่ออกแบบ เนื่องจากโทรศัพท์และโทรสารถูกแบ่งช่องสัญญาณไว้แล้วสถานีละ 2 ช่องสัญญาณดังนั้นโอกาสที่โทรศัพท์และโทรสารจะไม่ว่างจึงมีน้อยมากและสามารถใช้งานระบบได้ 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบแบนด์วิดท์ของระบบ DAMA กับระบบที่ออกแบบ

ระบบที่เปรียบเทียบ	2 สถานี	3 สถานี	4 สถานี	5 สถานี	6 สถานี
ระบบ DAMA	396.8	483.2	569.6	656.0	742.6
ระบบที่ออกแบบ	256.0	384.0	512.0	640.0	768.0

สำหรับตารางที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบแบนด์วิดท์ของระบบ DAMA กับระบบที่ออกแบบพบว่าแบนด์วิดท์ของระบบที่ออกแบบในช่วงต้นๆ คือจำนวนสถานีประมาณ 5 สถานีลูกข่าย หรือ 5 สถานีปลายทางจะได้จำนวนแบนด์วิดท์ของระบบที่ออกแบบมีค่าน้อยกว่าระบบ DAMA แต่ถ้าจำนวนสถานีปลายทางของระบบที่ออกแบบมีจำนวนมากกว่า 5 สถานีพบว่าแบนด์วิดท์โดยรวมของระบบที่ออกแบบจะสูงกว่าระบบ DAMA และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งถ้าหากใช้จำนวนสถานีมากกว่า 5 สถานีแล้วระบบที่ออกแบบจะมีความคุ้มค่าน้อยลง



รูปที่ 4.35 กราฟเปรียบเทียบความคุ้มของระบบที่ออกแบบกับระบบ DAMA

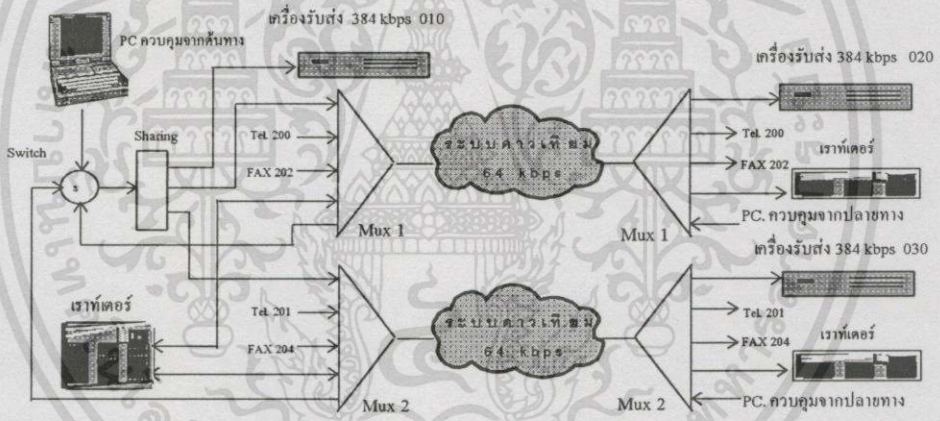
จากรูปที่ 4.35 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนสถานีต่อจำนวนแบนด์วิดท์ที่ใช้ของระบบ DAMA และระบบที่ออกแบบ ซึ่งพบว่าในช่วงต้นแบนด์วิดท์ของระบบที่ออกแบบจะใช้น้อยกว่าระบบ DAMA แต่เมื่อจำนวนสถานีมีมากกว่า 5 สถานีปลายทางทำให้จำนวนแบนด์วิดท์ของระบบที่ออกแบบเริ่มต้องใช้มากกว่าระบบ DAMA ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าระบบที่ออกแบบสามารถคุ้มทุนในเรื่องแบนด์วิดท์ที่จำนวนสถานีมีไม่เกิน 5 สถานีแต่ถ้าหากระบบมีจำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีมากกว่าก็จะไม่คุ้มค่าในเรื่องการเช่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณดาวเทียม ซึ่งจากกราฟแนวโน้มในการใช้แบนด์วิดท์ของระบบที่ออกแบบจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นอัตราส่วนที่คงที่ต่อจำนวนสถานี

4.1.8 โครงสร้างของระบบที่ใช้งานจริง

ในการออกแบบระบบเพื่อใช้งานจริงทำการส่งเบอร์โทรศัพท์ จากสถานีต้นทางไปยังสถานีปลายทางแบบ Remote Extension โดยที่การออกแบบให้มีโทรศัพท์ที่ทำการโอนไปทางปลายทาง 1 เบอร์ และในระบบเพื่อความสะดวกให้สามารถส่งโทรสารจากต้นทางไปยังปลายทางได้ในที่นี้ก็อาศัยการโอนเบอร์เช่นเดียวกับระบบโทรศัพท์แต่มีข้อแตกต่างตรงตัวมัลติเพลกซ์ต้องมีการกำหนดอัตราแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณที่มีขนาดต่างกัน ระบบโทรศัพท์ใช้แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณเป็น 8 กิโลบิตต่อวินาที ส่วนระบบโทรสารใช้แบนด์วิดที่ของช่องสัญญาณเป็น 9.6 กิโลบิตต่อวินาที โดยมีการออกแบบดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 โครงสร้างของระบบที่ใช้งานจริง

จากรูปที่ 4.36 นอกจากระบบโทรศัพท์และโทรสารแล้วยังรวมถึงการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายคอมพิวเตอร์ระหว่างแต่ละสถานีโดยเชื่อมโยงผ่านอุปกรณ์เราท์เตอร์และในที่นี้ยังมีช่องสัญญาณควบคุมระบบ SCPC DAMA จากสถานีต้นทางและช่องสัญญาณควบคุมจากสถานีปลายทางแบบอะซิงโครนัสอีกรวม 2 ช่องสัญญาณซึ่งทำงานที่อัตราข้อมูล 9.6 กิโลบิตต่อวินาทีดังแสดงในรูป

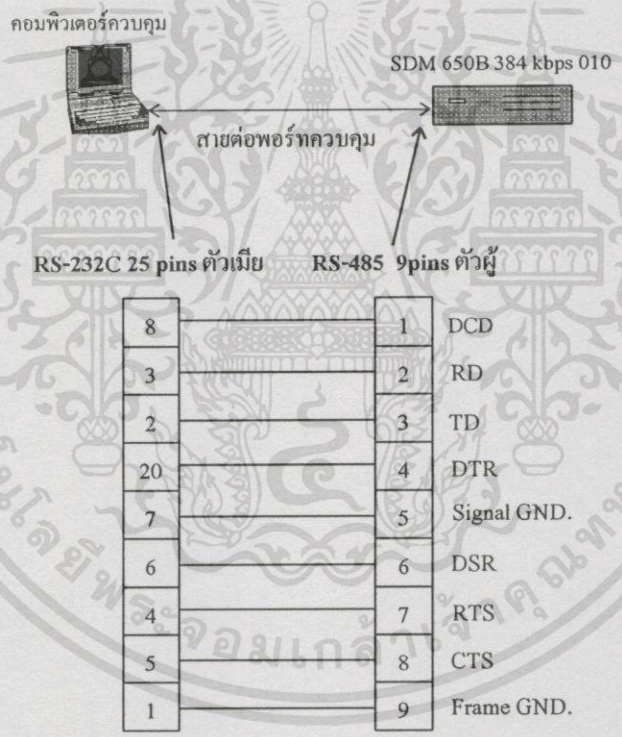
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การออกแบบซอฟแวร์

ในการออกแบบซอฟแวร์เพื่อควบคุมระบบใช้โปรแกรมวิชวลเบสิกเพื่อออกแบบอินเตอร์เฟสให้สามารถใช้งานได้ง่าย สำหรับสิ่งสำคัญในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ SDM 650B มีด้วยกัน 2 ส่วน คือส่วนของการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ควบคุมเข้ากับเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B และส่วนที่สองคือซอฟแวร์ที่ออกแบบเพื่อใช้ในการควบคุม ในที่นี้จะแบ่งการพิจารณาเป็นส่วนๆ ดังนี้

4.2.1 ส่วนเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ควบคุมเข้ากับพอร์ทควบคุมของ SDM 650B

ส่วนการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมกับตัวเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.37



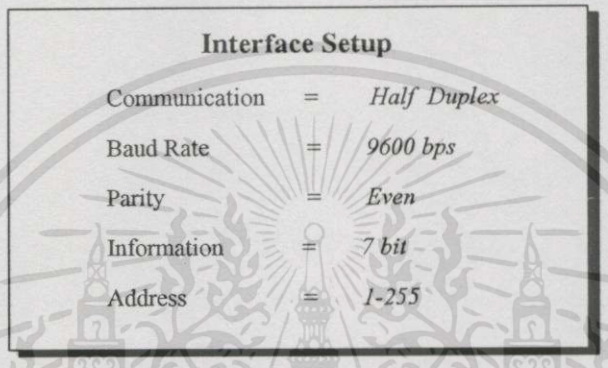
รูปที่ 4.37 การต่อสายควบคุมกรณี RS-232C กับ RS-485

ในรูปที่ 4.37 เป็นการต่อสายจากคอมพิวเตอร์ควบคุมไปยังพอร์ทของเครื่องรับส่งสัญญาณ SDM 650B โดยสายอินเตอร์เฟสที่ใช้กำหนดให้ที่คอมพิวเตอร์เป็น RS-232C แต่ที่ตัว SDM 650B เป็น RS-485 จึงต้องแปลงอินเตอร์เฟสของสายให้เข้ากันได้ดังแสดงในรูปที่ 4.37 สำหรับซอฟแวร์ที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับส่วนควบคุมของ SDM 650B มีด้วยกันหลายโปรแกรมแต่ที่ใช้งานกันทั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปได้แก่โปรแกรมสื่อสารข้อมูล เช่น Crosstalk, PC Plus, Telix, Terminal และ Hyper Terminal เป็นต้น

นอกจากนี้ต้องทำการกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถเชื่อมต่อกับ SDM 650B ได้อย่างถูกต้องเพราะตัว SDM 650B ถ้าหากทำการกำหนดพารามิเตอร์ที่ไม่ถูกต้องจะไม่สามารถควบคุมการทำงานได้ ซึ่งพารามิเตอร์ของการกำหนดพอร์ทควบคุมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 การกำหนดพารามิเตอร์ของโปรแกรมที่ใช้ควบคุม SDM 650B

จากรูปที่ 4.38 เป็นอินเตอร์เฟสที่ใช้ในการควบคุมการเชื่อมต่อตัว SDM 650B ซึ่งสามารถอธิบายแต่ละส่วนได้คือ ส่วน Communication มีค่าเป็นครึ่งดูเพลกซ์ ส่วนบอดเรตเป็นอัตราการส่งข้อมูลในที่นี้สามารถกำหนดในตัว SDM 650B ได้เป็น 9600 บิตต่อวินาที ค่าพาริตี้ในตัว SDM 650B สามารถกำหนดให้เป็น Odd หรือ Even ได้ ในที่นี้กำหนดไว้เป็น Even และในหัวข้อ Address สามารถกำหนดได้หลายค่าตั้งแต่ 1 ถึง 255 ในการออกแบบนี้กำหนดไว้ 3 ตำแหน่งคือ ตำแหน่ง 010 ตำแหน่ง 020 และตำแหน่ง 030 ซึ่งตำแหน่ง 010 แทนสถานีต้นทางหรือสถานีแม่ ตำแหน่ง 020 แทนสถานีปลายทางที่ 1 และตำแหน่ง 030 แทนสถานีปลายทางที่ 2

4.2.2 การออกแบบซอฟแวร์เพื่อควบคุมระบบ

ในการออกแบบซอฟแวร์ใช้วิชวลเบสิก [26],[27] ในการออกแบบ โดยมีสิ่งที่ต้องกำหนดหลายอย่างเช่น รูปแบบคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B การแบ่งแยกหมวดหมู่ของคำสั่ง การออกแบบอินเตอร์เฟสของเมนูในแต่ละส่วน โฟร์ชาร์ทของการทำงานในแต่ละขั้น เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนต่างๆ สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1 คำสั่งเบื้องต้นในการควบคุมระบบ

คำสั่งเบื้องต้นในการสั่งงานให้เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมทำงานมีหลายคำสั่งซึ่งแต่ละคำสั่งถูกรวบรวมไปเขียนเป็นซอฟแวร์ในการควบคุมระบบและสามารถแสดงคำสั่งที่สำคัญได้ดังนี้

4.2.2.1.1 คำสั่งและการตอบสนอง

ในหัวข้อคำสั่งและการตอบสนองคำสั่งเป็นการแสดงรูปแบบของคำสั่งและรูปแบบของการตอบสนองเพื่อช่วยในการนำไปเขียนซอฟแวร์ โดยรูปแบบของคำสั่งและการตอบสนองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.39

รูปแบบคำสั่งและการตอบสนอง

Command: <*add*/COM_'cr'

Response: <*add*/COM_

รูปที่ 4.39 รูปแบบคำสั่งและการตอบสนอง

รูปที่ 4.39 ในบรรทัดแรกเป็นรูปแบบคำสั่งโดยใช้เครื่องหมายน้อยกว่า (<) ในการแสดงคำสั่ง และ add เป็นตำแหน่งของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ตัวที่ต้องการให้ทำคำสั่งนั้น ส่วน COM_ คือชุดคำสั่งที่ต้องการให้ทำตาม และ 'cr' หมายถึงการกด Enter และเมื่อป้อนคำสั่งเรียบร้อยแล้วในบรรทัดที่สองเป็นการแสดงการตอบสนองคำสั่งของตัว SDM 650B ซึ่งส่งกลับมาที่ตัวคอมพิวเตอร์ควบคุมและแสดงด้วยเครื่องหมายมากกว่า (>)

4.2.2.1.2 คำสั่ง Remote

เป็นการเริ่มต้นสั่งให้เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ทำงานอยู่ในโหมดควบคุมด้วยซอฟแวร์ซึ่งสามารถแสดงคำสั่งการควบคุมระยะไกล (Remote Control) ได้ดังรูปที่ 4.40

คำสั่ง Remote

Command: <*010*/REM_'cr'

Response: <*010*/REM_

รูปที่ 4.40 คำสั่งควบคุมระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.40 เป็นคำสั่งควบคุมจากระยะไกลหรือ Remote ในที่นี้เป็นการควบคุมเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ตัวที่มีหมายเลขหรือตำแหน่งเป็น 010 และในส่วนของคำสั่งเขียนแทนด้วย REM_'cr' ซึ่งเป็นการสั่งให้ใช้คำสั่ง Remote

4.2.2.1.3 คำสั่งการเปลี่ยนความถี่

การเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่ต้องใช้ในที่นี้แบ่งเป็นความถี่ส่งและความถี่รับซึ่งแยกคนละความถี่กันและสามารถแสดงคำสั่งการเปลี่ยนความถี่ได้ดังรูปที่ 4.41

คำสั่งเปลี่ยนความถี่ส่ง

Command: *<010/*MF_125.8500'cr'

Response: *>010/*MF_125.8500

คำสั่งเปลี่ยนความถี่รับ

Command: *<020/*DF_146.1500'cr'

Response: *>020/*DF_146.1500

รูปที่ 4.41 คำสั่งการเปลี่ยนความถี่ด้านส่งและด้านรับ

จากรูปที่ 4.41 เป็นคำสั่งควบคุมการเปลี่ยนความถี่ส่งและความถี่รับและการตอบสนองของคำสั่ง ในบรรทัดคำสั่งของหัวข้อคำสั่งเปลี่ยนความถี่ส่งเป็นการสั่งให้เครื่องรับส่งตัวที่มีตำแหน่ง 010 เปลี่ยนความถี่ส่งเป็นความถี่ IF ที่ 125.8500 MHz โดยตัวอักษรที่ใช้แทนความถี่ด้านส่งคือ MF (Modulation Frequency) ส่วนในหัวข้อคำสั่งเปลี่ยนความถี่รับเป็นการสั่งให้เครื่องรับตำแหน่ง 020 เปลี่ยนความถี่รับเป็นความถี่ IF ที่ 146.1500 MHz โดยตัวอักษรที่ใช้แทนความถี่ด้านรับคือ DF (Demodulation Frequency) สำหรับความถี่ที่ใช้เป็นความถี่ IF ที่ 140 MHz ข้อดีของ SDM 650B อีกข้อคือ ความถี่ IF สามารถใช้ได้ทั้ง 70 และ 140 MHz โดยใช้การเปลี่ยนที่เมนูพารามิเตอร์ของตัวเครื่องรับส่งได้ทันที

4.2.2.1.4 คำสั่งส่งและหยุดส่งคลื่นวิทยุ

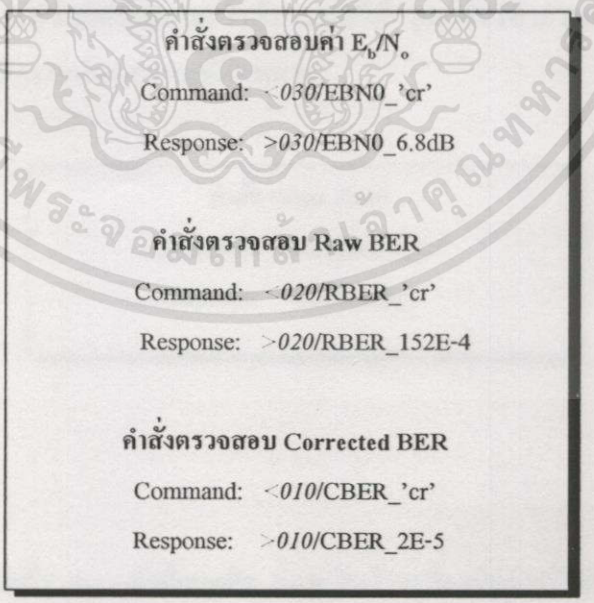
คำสั่งให้เครื่องรับส่งทำการส่งคลื่นวิทยุหรือหยุดส่งคลื่นวิทยุมีความจำเป็นอย่างมากและทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของเครื่องรับส่งตัวใดก็ตามต้องทำการหยุดส่งคลื่นความถี่วิทยุก่อนทุกครั้งเพื่อป้องกันการเกิดสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.42คำสั่งส่งและหยุดส่งคลื่นวิทยุ

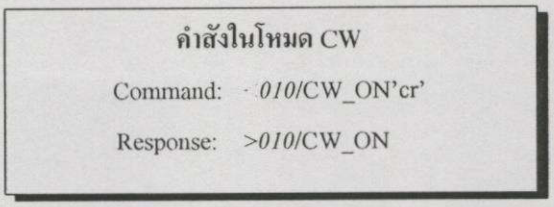
ในรูปที่ 4.42 คำสั่งส่งคลื่นวิทยุเป็นการสั่งให้เครื่องรับส่งทำการส่งความถี่วิทยุที่ความถี่ที่กำหนดออกไปในรูปของสัญญาณที่ถูกมอดูเลต ส่วนคำสั่งหยุดส่งคลื่นวิทยุเป็นการสั่งให้เครื่องรับส่งหยุดส่งคลื่นวิทยุออกไปในรูปที่ 4.42 เป็นการสั่งให้เครื่องรับที่ตำแหน่ง 010 ทำการส่งคลื่นวิทยุ ส่วนเครื่องรับส่งที่ตำแหน่ง 030 ให้ทำการหยุดส่งความถี่วิทยุ

4.2.2.1.5 คำสั่งตรวจสอบค่าสถานะของเครื่องรับ



รูปที่ 4.43 คำสั่งตรวจสอบสถานะของ SDM 650B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.46 คำสั่งในโหมดส่งคลื่นต่อเนื่อง (CW)

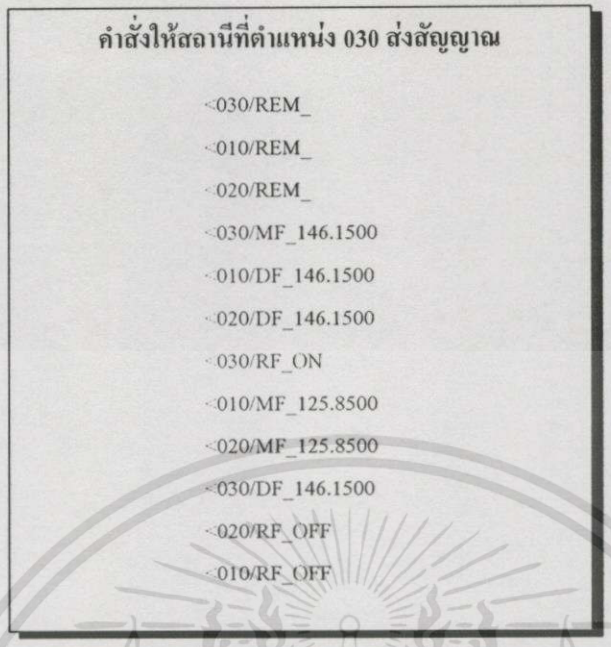
ในรูปที่ 4.46 เป็นการสั่งให้เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมทำงานในโหมดส่งสัญญาณต่อเนื่องเพื่อใช้ในการตรวจสอบการทำงานของระบบกรณีเกิดการผิดพลาดในการทำงานของระบบและอีกกรณีหนึ่งเพื่อการปรับจานสายอากาศ

4.2.3 คำสั่งควบคุมการทำงานจริงของระบบ

ในการใช้งานระบบจริงชุดคำสั่งที่ใช้สั่งงานต้องสั้นและกระทัดรัดมากที่สุดเพื่อให้การส่งข้อมูลสามารถทำได้เร็วที่สุดและลดค่าเวลาหน่วงให้มากที่สุด ในที่นี้กำหนดให้สถานีมีทั้งหมด 3 สถานีโดยสถานีที่หนึ่งแทนด้วยตำแหน่ง 010 สถานีที่สองแทนด้วยตำแหน่ง 020 และสถานีที่ 3 แทนด้วยตำแหน่ง 030 ในการออกแบบพารามิเตอร์ของระบบจะถูกกำหนดคงที่ไว้ตั้งแต่แรกเพื่อไม่ให้เสียเวลาในการส่งชุดคำสั่งซ้ำซึ่งทำให้เสียเวลาในการทำคำสั่งแต่ละคำสั่ง เวลาที่เปลี่ยนแปลงสถานีส่งและรับข้อมูลก็ให้กำหนดแค่คำสั่งเปลี่ยนแปลงความถี่ การหยุดส่งคลื่นพาห์และการสั่งให้ส่งคลื่นพาห์เท่านั้นซึ่งช่วยประหยัดเวลาในการควบคุมระบบได้มาก ในการออกแบบคำสั่งต้องแบ่งคำสั่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกเป็นการกำหนดความถี่รับของแต่ละสถานีและความถี่ส่ง แต่ให้ที่สถานีส่งทำการรับส่งตัวเองคือให้กำหนดความถี่รับเป็นความถี่เดียวกับความถี่ส่งก่อน เมื่อทำการให้อีกสถานีหนึ่งทำการส่งสัญญาณกับสถานีที่ทำการส่งจึงกำหนดให้ตัวรับทำการส่งคลื่นพาห์ออกมา

ในรูปที่ 4.47 เป็นการกำหนดให้สถานี 030 ทำการส่งสัญญาณเป็นสถานีหลัก ส่วนสถานี 020 และสถานี 010 ทำหน้าที่รับสัญญาณ ในที่นี้ให้สถานี 030 ทำการรับส่งตัวเองเพื่อป้องกันปัญหาการไม่ซิงโครนัสของสัญญาณจากสถานีอื่น แต่เมื่อต้องการรับส่งสัญญาณกับสถานีอื่นก็ให้ทำการเปลี่ยนความถี่รับของสถานี 030 เป็นความถี่ของสถานีที่ต้องการส่งแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



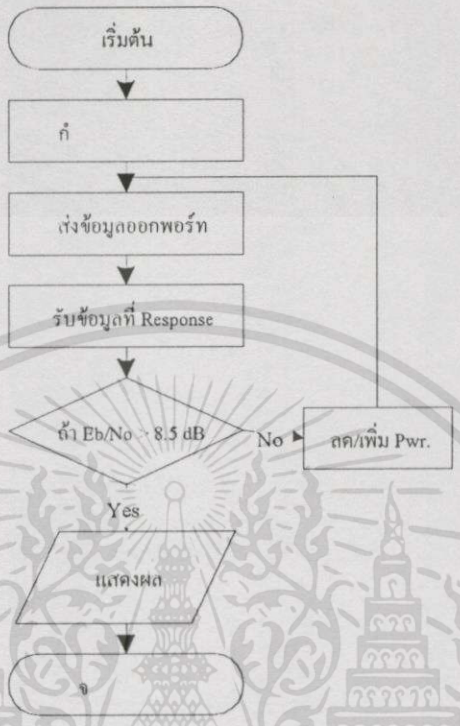
รูปที่ 4.47 การกำหนดพารามิเตอร์ในการเปลี่ยนสถานีส่ง

รูปที่ 4.48 ตัวอย่างชุดคำสั่งควบคุม

ในรูปที่ 4.48 เป็นการสั่งให้สถานี 030 ทำการเปลี่ยนความถี่ในการรับเป็นความถี่ของสถานีที่ต้องการส่งข้อมูลด้วยคือสถานี 010 โดยต้องทำการสั่งให้สถานี 010 ทำการส่งคลื่นพาห์ก่อน จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนความถี่ด้านรับของตัว 030 เป็นความถี่ของสถานี 010 จะเห็นว่าทุกขั้นตอนของการส่งคำสั่งควบคุมต้องทำการใช้คำสั่ง REM เพื่อควบคุมเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมก่อนเสมอ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาบางสถานีไม่รับคำสั่งควบคุมนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 โฟร์ชาร์ทในการควบคุมการทำงาน



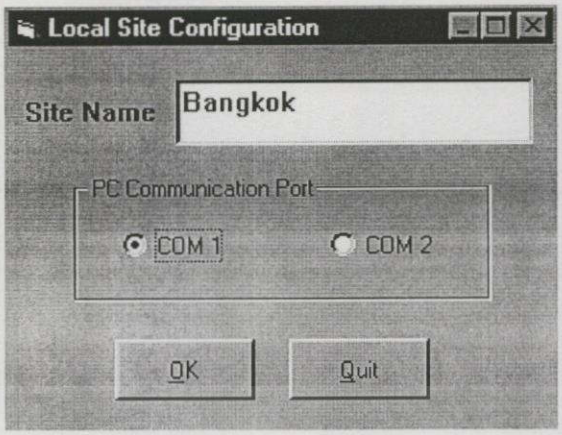
รูปที่ 4.49 โฟร์ชาร์ทของโปรแกรมควบคุมการทำงาน

ในรูปที่ 4.49 เป็นการแสดงโฟร์ชาร์ทการทำงานของซอฟแวร์ที่ออกแบบโดยเริ่มตั้งแต่การเลือกชื่อสถานี การกำหนดคอมพอร์ทของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม การกำหนดพารามิเตอร์ในการส่งและรับสัญญาณ เช่น กำลังงานในการส่งของแต่ละสถานี ความถี่ที่ใช้ในการรับสัญญาณ ความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ค่าแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการส่ง และส่วนอื่นๆ ตลอดจนการกำหนดการทดสอบระบบซึ่งแต่ละเมนูจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

4.2.5 เมนูเริ่มต้นการทำงานของระบบ

ในรูปที่ 4.50 เป็นเมนูแรกของระบบปฏิบัติการที่ออกแบบซึ่งให้ผู้ดูแลระบบทำการใส่ชื่อสถานที่และเลือกคอมพอร์ทของคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมโยงโปรแกรมที่ออกแบบเข้ากับพอร์ทควบคุมการทำงานของ SDM 650B การป้องกันระบบถ้าหากไม่ทำการใส่ชื่อสถานที่และคอมพอร์ทของคอมพิวเตอร์ระบบจะไม่สามารถไปทำเมนูอื่นได้ และชื่อสถานที่ที่ตั้งไว้จะไปปรากฏในเมนูหลักเพื่อแจ้งให้ทราบว่าระบบทำงานอยู่ที่สาขาใดและไม่เกิดการสับสนในการสั่งงานระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.50 เมนูการเลือกสถานที่และคอมพอร์ท

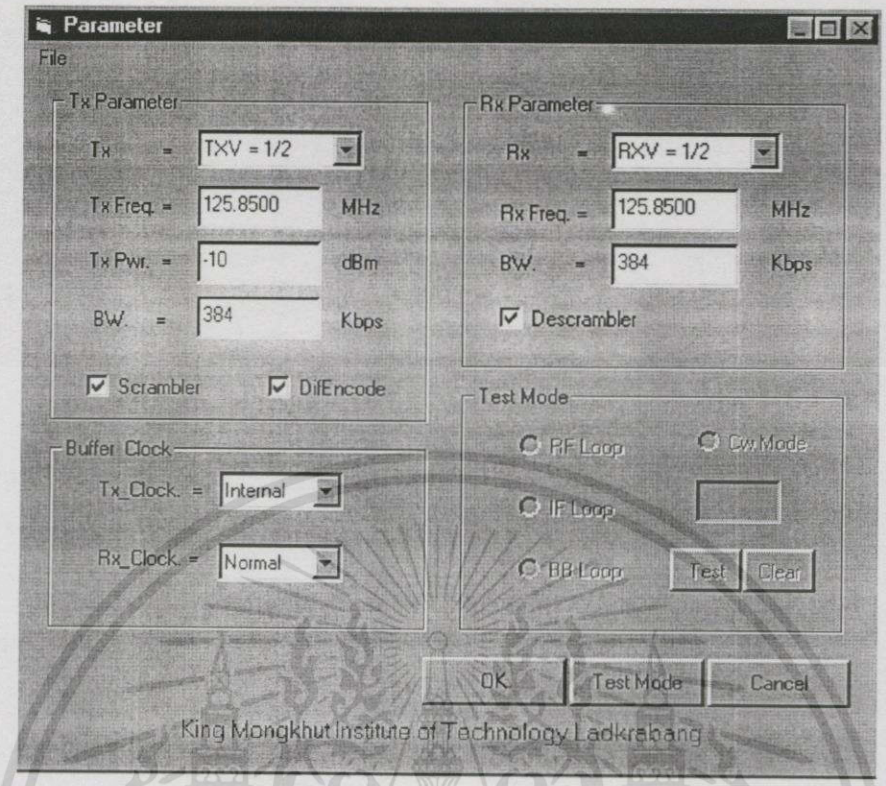
4.2.6 เมนูพารามิเตอร์

เมนูในการกำหนดพารามิเตอร์ในการส่งสัญญาณของระบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.51 ซึ่งภายในเมนูมีการกำหนดพารามิเตอร์ของตัวเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม ไม่ว่าจะเป็นการกำหนดความถี่ในการส่งสัญญาณ การกำหนดความถี่ในการรับสัญญาณ การเลือกอัตราข้อมูลในการมอดูเลต การเลือกแบนด์วิดท์ที่ใช้งาน การกำหนดกำลังงานส่งของสถานี การเลือกรูปแบบการมอดูเลต การเลือกสัญญาณนาฬิกาของระบบ ตลอดจนการกำหนดพารามิเตอร์ในการทดสอบระบบ เช่นการส่งคลื่นพาห์ในโหมดต่อเนื่อง การทดสอบลูปแบบเบสแบนด์ การกำหนดการลูปแบบ IF และการกำหนดการลูปแบบ RF เป็นต้น

ในรูปที่ 4.51 เป็นการแสดงการกำหนดพารามิเตอร์ของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B มีการทำงานด้วยการส่งข้อมูลที่อัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที ทำการส่งด้วยค่า -10 dBm ในที่นี้ทำการกำหนดความถี่รับกับความถี่ส่งเป็นความถี่เดียวกันหรือที่เรียกว่าการรับส่งตัวเอง โดยใช้ความถี่ 128.8500 MHz ที่เป็นความถี่ IF การมอดูเลตแบบ QPSK ด้วย FEC อัตรา 1/2 ทั้งด้านรับและด้านส่ง และนอกจากนี้ยังทำการ scrambler และ descrambler สัญญาณเพื่อป้องกันอีกด้วย ในส่วนของสัญญาณนาฬิกาด้านส่งเป็นการส่งจากตัวเครื่องรับส่ง ส่วนทางด้านรับให้ทำการรับสัญญาณนาฬิกาจากเครื่องรับส่งด้านตรงข้าม

รูปที่ 4.51 เป็นการเปลี่ยนสถานีคู่ในการส่งสัญญาณเป็นอีกสถานีหนึ่งโดยสถานีที่ทำการส่งคลื่นพาห์อยู่ครั้งแรกต้องทำการหยุดส่งสัญญาณก่อนแล้วจึงสั่งให้อีกสถานีหนึ่งทำการส่งคลื่นพาห์ที่ถูกมอดูเลตแล้วขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

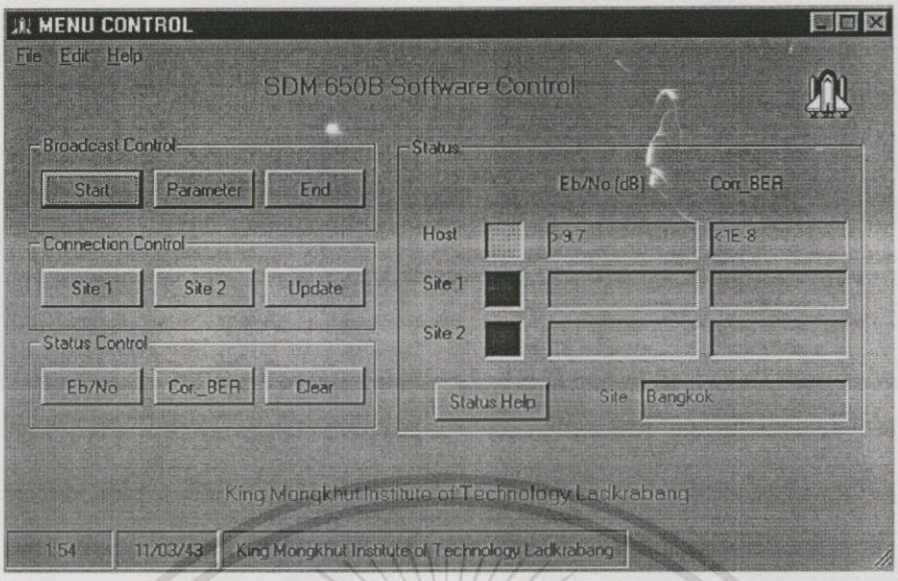


รูปที่ 4.51 เมนูพารามิเตอร์ในการกำหนดการเลือกใช้อุปกรณ์

4.2.7 เมนูหลักของการควบคุม

สำหรับการควบคุมการทำงานอัตโนมัติของระบบอาศัยซอฟแวร์ทำการเปรียบเทียบค่า E_b/N_o ของแต่ละสถานี ถ้าค่าที่ได้ต่ำไปให้เพิ่มกำลังส่งของสถานีส่ง แต่ถ้าเพิ่มจนถึงค่า threshold ที่กำหนดให้แจ้งทางชุดแสดงผลเพื่อทำการตรวจสอบระบบต่อไป ภายในเมนูหลักประกอบด้วย 5 ส่วนคือส่วนของแถบเมนูซึ่งประกอบด้วยส่วนของ File ส่วนของ Edit และส่วนของ Help สำหรับส่วนประกอบที่สองได้แก่ส่วนควบคุมการกระจายสัญญาณซึ่งได้แก่การ Start การกำหนดพารามิเตอร์ และการสิ้นสุดการทำงาน (End) และส่วนประกอบที่สามหรือ Connection Control ประกอบด้วยสถานีที่ต้องการเชื่อมต่อด้วยทั้ง 2 สถานีและส่วนอัปเดทข้อมูล สำหรับส่วนที่สี่เป็นส่วนควบคุมสถานะของการทำงาน ซึ่งประกอบด้วยการเช็คค่า E_b/N_o ค่า Cor_BER และคำสั่งการ Clear ข้อมูลที่บันทึกค่าผิดพลาดที่เก็บสะสมไว้เพื่อรายงานเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกับระบบ และในส่วนสุดท้ายเป็นชุด Status ทำหน้าที่แจ้งสถานะการทำงานของแต่ละสถานีว่าอยู่ในสภาวะพร้อมทำงานหรือไม่

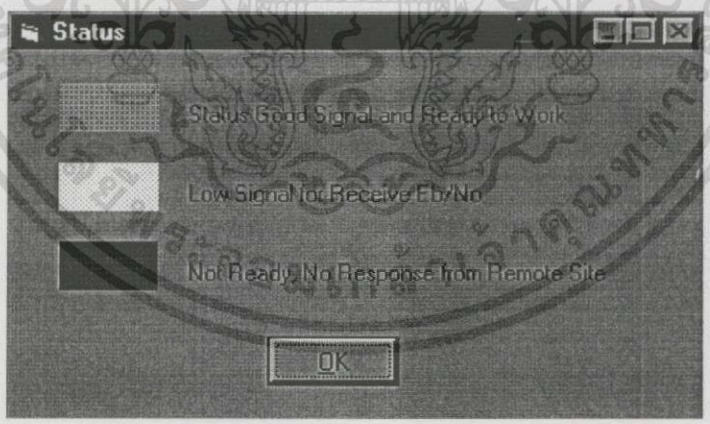
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.52 เมนูหลักในการทำงานของระบบ

สำหรับเมนูหลักในการควบคุมการทำงานของระบบมีส่วนที่สำคัญคือ Start ทำหน้าที่ส่งคลื่นพาห์ ส่วนปุ่ม End ทำหน้าที่หยุดการส่งคลื่นพาห์ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.52

4.2.8 ส่วนแสดงสถานะของแต่ละสถานี



รูปที่ 4.53 หน้าจอสถานะการทำงานของ SDM 650B

รูปที่ 4.53 เป็นการแสดงสถานะการทำงานของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมของแต่ละสถานีว่ามีการทำงานอยู่ในลักษณะพร้อมทำงานซึ่งแสดงด้วยสีเขียว หรือสภาวะรับสัญญาณ E_b/N_o ได้ต่ำซึ่งแสดงด้วยสีเหลือง และสภาวะรับสัญญาณไม่ได้ซึ่งแสดงด้วยสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในการออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA ที่ได้สร้างขึ้นมีผลการทดลองซึ่งจะกล่าวถึงค่าที่ได้จากการคำนวณในการทดลองและค่าที่ได้จากการวัด โดยมีส่วนประกอบตั้งแต่การติดตั้งจานสายอากาศและการปรับโพลาไรเซชัน การทดสอบระบบ การทดสอบอัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate) การเปรียบเทียบค่า BER กับค่า E_b/N_o ที่การส่งข้อมูลด้วยอัตรา 64 และ 384 กิโลบิตต่อวินาทีด้วยการเข้ารหัส FEC ที่อัตรา 1/2 อัตรา 3/4 และอัตรา 7/8 ตลอดจนการวัดหาค่าเวลาหน่วงของระบบที่ได้ทำการออกแบบ ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

5.1 การติดตั้งและการปรับโพลาไรเซชันของจานสายอากาศ

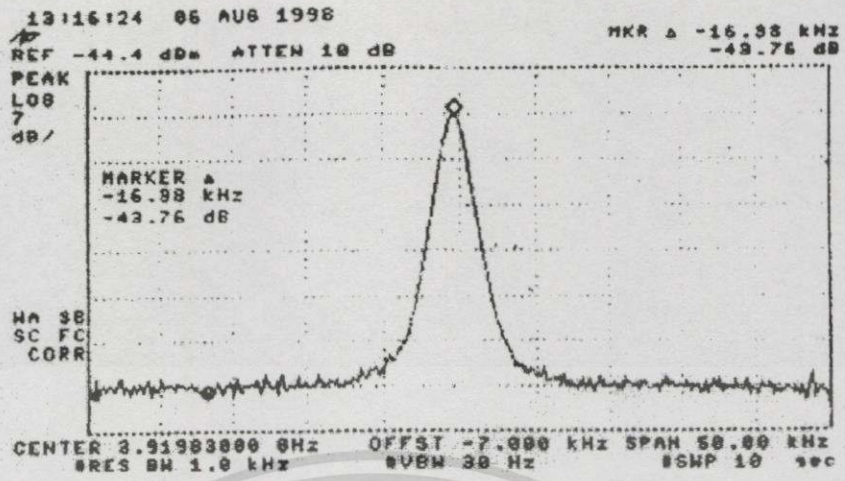
ขั้นตอนการติดตั้งจานสายอากาศเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งเพราะการติดตั้งถ้าหากทำได้ถูกต้องก็สามารถใช้งานระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่ถ้าหากการติดตั้งทำได้ไม่ถูกต้องตามข้อกำหนดก็จะเกิดผลกระทบต่อระบบเช่นการเกิดการกวนกันของสัญญาณข้ามโพลาไรเซชัน (Cross Polarization interfere) [28] และการเกิดการรบกวนของสัญญาณช่องข้างเคียงได้โดยในหัวข้อนี้จะแสดงการติดตั้งจานสายอากาศและการปรับโพลาไรเซชันของจานสายอากาศให้เป็นไปตามข้อกำหนดของไทยคม

5.1.1 ขั้นตอนการปรับโพลาไรเซชัน

ในขั้นตอนแรกจะเริ่มตั้งแต่การติดตั้งจานสายอากาศสำหรับระบบ โดยในที่นี้ระบบจานสายอากาศใช้จานสายอากาศพาราโบล่าขนาด 3.7 เมตร ทำการติดตั้งเพื่อรับสัญญาณดาวเทียมจากดาวเทียมไทยคม 2 ใช้งานทรานสพอนเดอร์ที่ 3 และมีโพลาไรเซชันด้านแนวนอน สำหรับรูปในการปรับโพลาไรเซชัน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 ในที่นี้จานสายอากาศถูกติดตั้งที่สถานีดาวเทียมที่กรุงเทพมหานครมีค่าละติจูดเป็น 13.36 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 100.42 องศาตะวันออก ส่วนดาวเทียมไทยคมอยู่ที่ตำแหน่งลองจิจูด 78.5 องศาตะวันออก ทั้งนี้ค่าที่ได้จากการคำนวณมุมของจานสายอากาศในหัวข้อ 5.7.3 มีค่ามุมเงยเป็น 60.2 องศา และมุมอาซิมุทเป็น 240.13 องศา

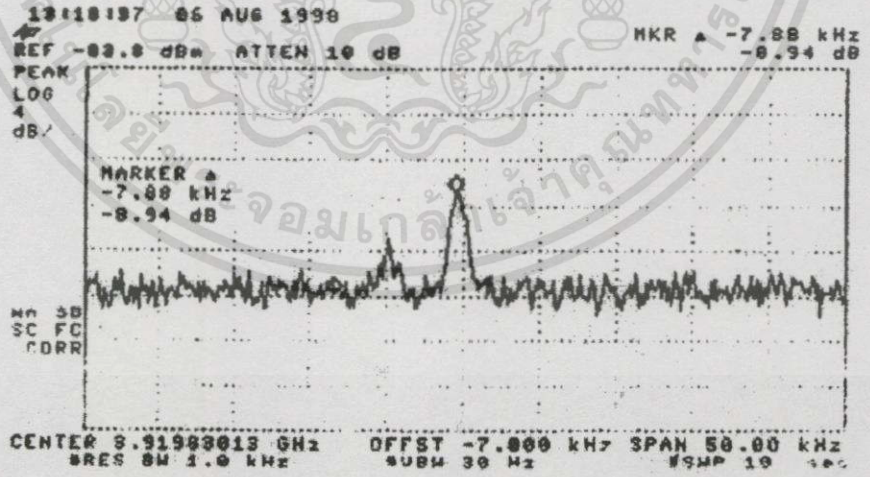
จากรูปที่ 5.1 เป็นการปรับโพลาไรเซชันของจานสายอากาศโดยเป็นการแสดงโพลาไรเซชันด้าน Co-Polarized ในที่นี้ใช้ความถี่ในการปรับเป็นความถี่ 3919.830 เมกกะเฮิรตซ์เป็นความถี่ในการปรับ เพราะความถี่นี้จะเป็นช่วงที่ว่างของทรานสพอนเดอร์ด้าน Co-polarized และที่ด้าน Cross polarized ก็เป็นช่วงว่างด้วย ในที่นี้ทางไทยคมกำหนดค่าผลต่างของระดับ Co-polarized กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 การปรับโพลาไรเซชันของจานสายอากาศ

ระดับสัญญาณ Cross-Polarized ให้มีผลต่างกัน -30 dB ในการปรับมีขั้นตอนคือทำการส่งคลื่นพาห์ในโหมด CW (Continue Wave) ที่สูงที่สุดดังแสดงในรูปที่ 5.1 ในที่นี้คือ 35 dBm แล้วทำการปรับมุมก้มเงย ปรับมุมซ้ายขวาแล้วจึงปรับโพลาไรเซชันเมื่อได้ค่าคลื่นที่สูงที่สุดแล้วให้ปรับไปดูที่ cross-polarized แล้วทำการปรับให้ได้ค่าสัญญาณต่ำที่สุดโดยด้าน Co-po มีระดับสัญญาณที่ไม่ลดลง ในที่นี้ทางไทยคมกำหนดให้ผลต่างของ Co-polarized กับ Cross-polarized มีค่าต้องไม่น้อยกว่า 30 dB เพราะถ้าหากน้อยกว่านี้จะเกิด inter-modulation ได้ง่าย



รูปที่ 5.2 ครอสโพลาไรเซชันในการปรับจานสายอากาศ

สำหรับรูปที่ 5.2 เป็นการแสดงสัญญาณด้าน cross-polarized ของการปรับจานสายอากาศที่เกิดขึ้นที่ทรานสพอนเดอร์ของดาวเทียมไทยคม 3 ซึ่งจากรูปนี้พบว่าการปรับเป็นไปตามข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของไทยคมเพราะผลต่างระหว่าง Co-polarized กับ Cross-polarized มีค่ามากกว่า 30 dB ตามข้อกำหนด

ขั้นตอนในการปรับมุมก้มเงยและมุมกวาดของจานสายอากาศรวมถึงโพลาไรเซชันมีวิธีการปรับสามารถทำได้ 2 วิธี วิธีแรกโดยการใช้สเปกตรัมในการหาค่าที่จานสายอากาศแต่วิธีการนี้ไม่ค่อยสะดวกเพราะจะต้องใช้สเปกตรัมในการออกไปติดตั้งซึ่งต้องมีจำนวนสเปกตรัมที่เพียงพอต่อความต้องการ และการนำสเปกตรัมออกไปทำการวัดสัญญาณนอกสถานที่อาจทำให้เกิดความเสียหายได้ง่าย อีกทั้งยังต้องมีบุคลากรที่ต้องมีความสามารถสูงในการใช้อุปกรณ์สูง ซึ่งบางครั้งช่างเทคนิคทั่วไปอาจไม่สามารถทำได้ ส่วนวิธีที่สองเป็นวิธีที่สะดวกและง่ายต่อการปฏิบัติงานของผู้ออกไปทำงานด้านนอกเพราะอาศัยสถานีกลางหรือ Hub ในการช่วยปรับโพลาไรเซชันของจานสายอากาศ โดยมีวิธีการทำงานดังนี้

1. เมื่อทำการติดตั้งจานสายอากาศเสร็จให้หาตำแหน่งคร่าวๆ ของจานสายอากาศที่ควรจะเป็นเช่นดาวเทียมไทยคม 2 และ ไทยคม 3 ที่ตำแหน่งสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินในเมืองไทยมีมุมก้มเงยอยู่ประมาณ 60 องศา และมุมอาซิมุทประมาณ 240 องศา
2. ทำการต่อเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมและตั้งความถี่รับไว้ที่ความถี่ของสถานีที่มีการทำงานอยู่จริงและทำการปรับมุมก้มเงย มุมกวาด และโพลาไรเซชันอย่างคร่าวๆ ให้ได้สัญญาณสูงที่สุด
3. ติดต่อสถานีดาวเทียมเพื่อช่วยดูสเปกตรัมของสัญญาณว่าจะให้ใช้ความถี่ใดในการปรับโพลาไรเซชันและช่วยดูสัญญาณด้าน Cross-polarization และ Co-Polarization
4. ทำการส่งคลื่นพาห์ของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมในโหมด CW แล้วทำการปรับมุมกวาดจนระดับสัญญาณ Co-Polarization สูงที่สุดแล้วทางสถานีดาวเทียมทำการดู Cross-Polarization ว่ามีระดับสัญญาณที่แตกต่างกัน 30 dB อย่างข้อกำหนดของไทยคมหรือไม่ จากนั้นทำการปรับมุมก้มเงยและดูระดับสัญญาณที่สูงที่สุด
5. เมื่อระดับสัญญาณด้านมุมกวาดและมุมก้มเงยอยู่ในระดับที่สูงที่สุดและสัญญาณด้าน Cross-Polarization อยู่ในระดับมาตรฐานให้เริ่มปรับโพลาไรเซชันของจานสายอากาศที่อยู่บริเวณ feeder ของจานสายอากาศจนกระทั่งได้ระดับสัญญาณที่สูงที่สุดแล้วจึงทำการล็อกส่วนต่างๆ ให้เข้าที่ทั้งหมดและเช็คระดับสัญญาณอีกครั้งว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากหรือไม่ ถ้าหากเมื่อทำการล็อกส่วนต่างๆ แล้วแต่สัญญาณกลับลดลงจนไม่ได้มาตรฐานต้องทำการปรับจานสายอากาศใหม่ แต่ถ้าทำการล็อคแล้วระดับสัญญาณเปลี่ยนแปลงไม่มากหรือไม่เปลี่ยนแปลงก็เป็นการเสร็จสิ้นการปรับโพลาไรเซชัน

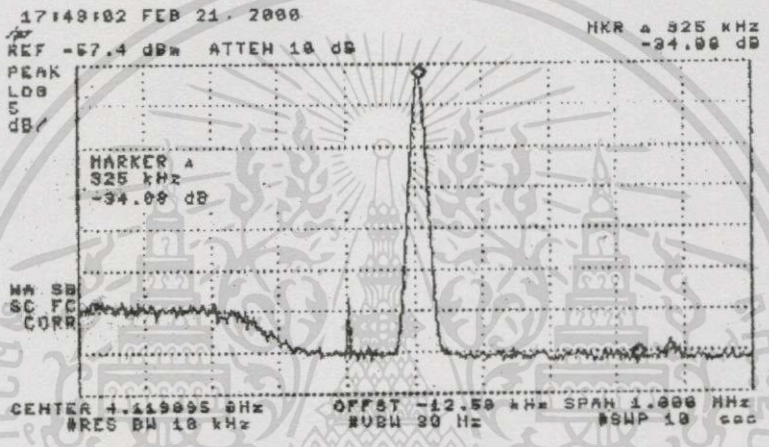
จะเห็นว่าวิธีที่ 2 เป็นวิธีที่ง่ายในการทำงานโดยไม่จำเป็นต้องมีสเปกตรัมเป็นจำนวนมากและไม่ต้องมีบุคลากรระดับสูงในการติดตั้งจานสายอากาศและอายุการใช้งานสเปกตรัมก็จะใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

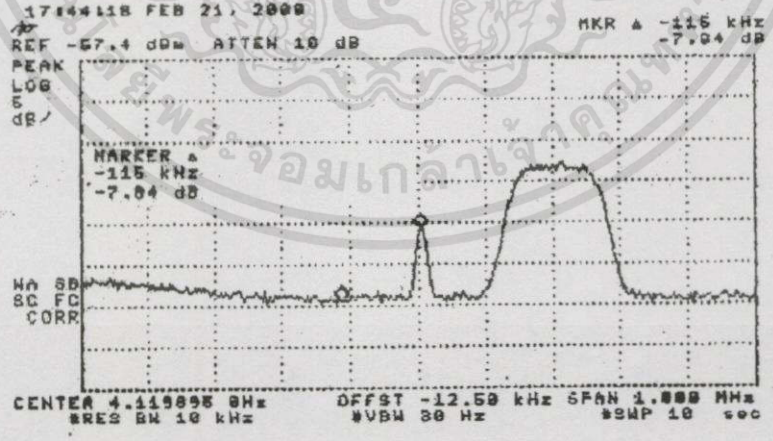
ได้ทนทานมากขึ้นซึ่งเป็นข้อดี ส่วนข้อเสียคือต้องเสียค่าใช้จ่ายในการโทรศัพท์เข้ามาที่สถานีดาวเทียมและบางสถานที่ระบบโทรศัพท์อาจมีปัญหาทำให้การปรับโพลาไรเซชันอาจทำได้ลำบากมาก

5.1.2 ผลที่เกิดจากการปรับจานสายอากาศที่ไม่ได้มาตรฐาน

ในหัวข้อนี้แสดงการปรับจานสายอากาศแบบไม่ได้มาตรฐานซึ่งทำให้เกิดผลเสียอย่างมากต่อช่องสัญญาณข้างเคียง และช่องสัญญาณที่อยู่บนครอสโพลาไรเซชันในที่นี้รูปที่ 5.3 (ก) และ (ข) เป็นการปรับจานสายอากาศได้ค่าผลต่างของ co-polar และ cross-po ไม่ถึง 30 dB ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนไปด้าน cross-po สูง



รูปที่ 5.3 (ก) สัญญาณ CW ทางด้าน Co-polarization

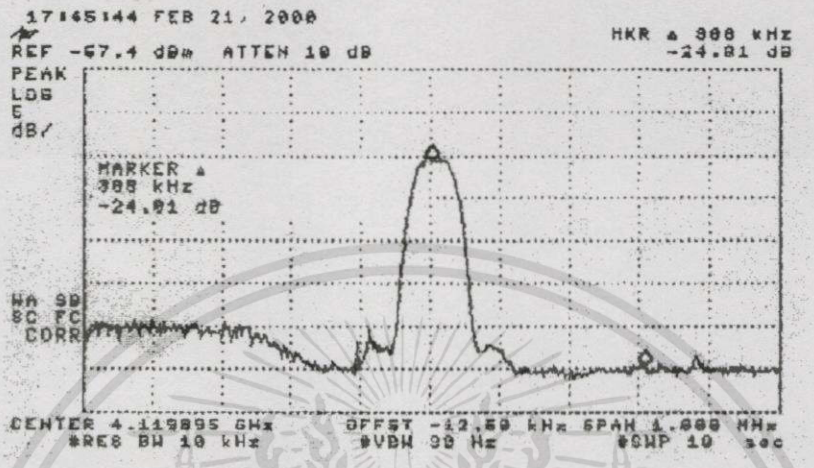


รูปที่ 5.3 (ข) สัญญาณ CW ทางด้าน Cross-polarization

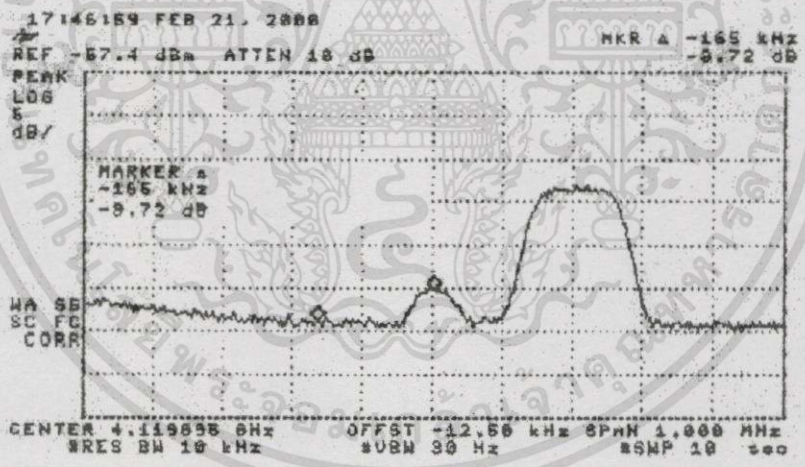
ในรูปที่ 5.3(ก) เป็นสัญญาณในโหมด CW ด้านโคโพลาไรเซชันซึ่งวัดได้ค่าระดับสัญญาณที่ -34.0 dB และในรูป 5.3 (ข) เป็นสัญญาณ CW ซึ่งวัดได้จากด้านครอสโพลาไรเซชันโดยมีระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเป็น -7.04 dB จากรูปทั้งสองเมื่อหาค่าผลต่างแล้วพบว่าค่าผลต่างเป็น -26.96 dB ซึ่งค่าที่ได้ไม่ถึง -30 dB ซึ่งทางไทยคมถือว่าเป็นการปรับที่ไม่ได้มาตรฐานและสามารถแสดงผลกระทบที่เกิดได้ในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.4 (ก) สัญญาณที่เกิดจากการมอดูเลตที่โพลาไรเซชันไม่ได้มาตรฐาน

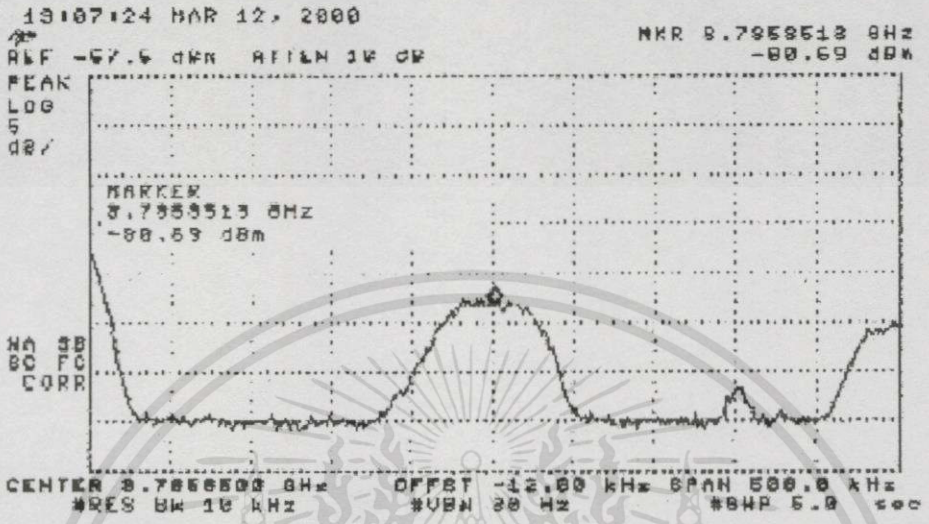


รูปที่ 5.4 (ข) สัญญาณที่เกิดจากการรบกวนเนื่องจากโพลาไรเซชั่นไม่ได้มาตรฐาน

ในรูปที่ 5.4 (ก) เป็นสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแล้วซึ่งใช้ความถี่เดียวกับสัญญาณที่ทำการปรับโพลาไรเซชันคือความถี่ 4119.895 MHz โดยเป็นการมอดูเลตแบบ QPSK ที่อัตราข้อมูล 64 กิโลบิตต่อวินาที และใช้การเข้ารหัสแบบ FEC ด้วยอัตรา 1/2 โดยสัญญาณหลังทำการมอดูเลตได้ระดับสัญญาณเป็น -24.01 dB สำหรับรูปที่ 5.4 (ข) เป็นสัญญาณรบกวนที่ด้านครอสโพลาไรเซชันโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่วัดได้มีขนาด -3.72 dB ซึ่งในขณะที่วัดไม่มีสัญญาณใช้งานอยู่และสัญญาณที่ไปรบกวนนี้จะสร้างผลกระทบต่อสถานีที่ใช้ความถี่นั้นอยู่ด้านครอสโพลาไรเซชัน



รูปที่ 5.5 การเกิดสัญญาณรบกวนขณะมีการใช้ช่องสัญญาณอยู่

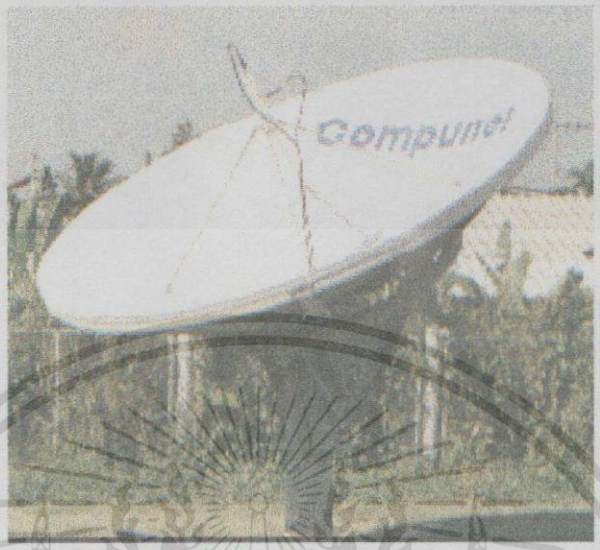
ในการเกิดสัญญาณรบกวนบางครั้งถ้าหากระดับสัญญาณที่เข้ามารบกวนไม่สูงมากจะทำให้การใช้งานระบบของสถานีที่ถูกรบกวนเกิดการทำงานที่ด้อยประสิทธิภาพลงและไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยการดูที่สเปกตรัมแต่ถ้าหากทำการทดสอบ BER ดูจะพบมี BER เกิดขึ้นสูง และวิธีการเดียวที่จะรู้ได้ว่ามีสัญญาณรบกวนเข้ามาหรือไม่โดยการหยุดส่งความถี่ที่ใช้งานเพื่อดูว่าบริเวณความถี่ที่ใช้งานมีสัญญาณแปลกปลอมเข้ามาหรือไม่เท่านั้น และอาจต้องขอความร่วมมือจากผู้ให้บริการดาวเทียมที่ใช้ความถี่เดียวกับความถี่ของสถานีที่ถูกรบกวน แต่อยู่ต่างทรานสพอนเดอร์กันช่วยหยุดส่งความถี่เพื่อตรวจหาที่มาของสัญญาณรบกวนซึ่งสิ้นเปลืองทั้งเวลาและเกิดการขัดจังหวะการทำงานของระบบขึ้น ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องย้ายไปใช้ความถี่อื่นเพื่อให้เกิดความรวดเร็วและไม่เกิดการขัดจังหวะการทำงานของสถานีที่ถูกรบกวนเป็นเวลานานเกินไป

5.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยและออกแบบ

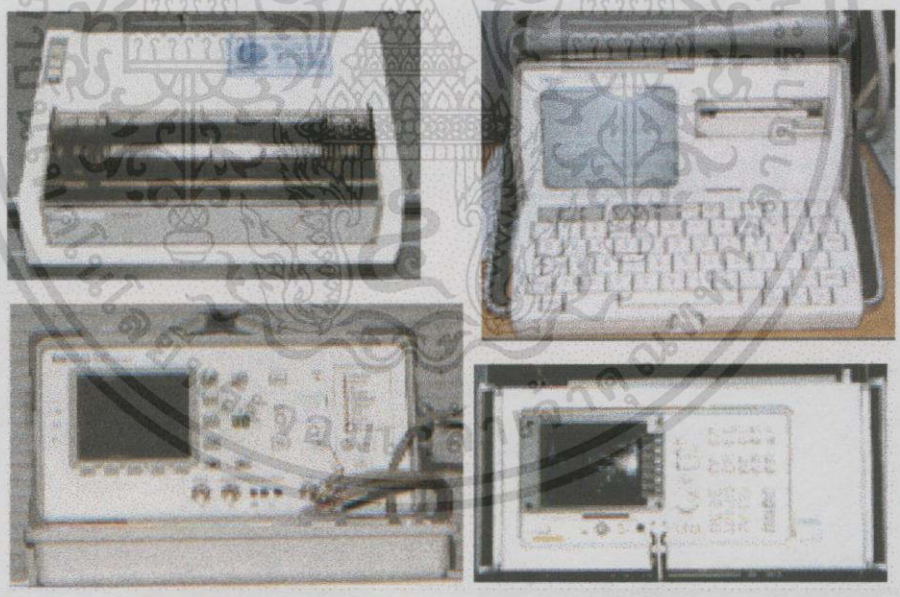
รูปที่ 5.6 เป็นจานสายอากาศแบบพาราโบล่าขนาด 3.7 เมตรที่ใช้ในการทดลอง ส่วนในรูปที่ 5.7 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองระบบประกอบด้วยปรินท์เตอร์ของ HP ทำหน้าที่ปรินท์รูปร่างของสเปกตรัมสัญญาณที่วัดได้ และรูปของโปรโตคอล HP 4952 ซึ่งใช้ในการซิมมูเลตสัญญาณและทดสอบอัตราบิตผิดพลาดตลอดจนการหาแฟรมผิดพลาดที่แกิดแบบ Bad และแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abort และในส่วนของสเปกตรัมที่ใช้ในการวัดสัญญาณและเป็นอุปกรณ์ในการช่วยปรับโพลาไรเซชันของจานสายอากาศและการหาสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในด้านความถี่ของดาวเทียม



รูปที่ 5.6 จานสายอากาศขนาด 3.7 เมตรแบบพาราโบล่าที่ใช้ทดลอง



รูปที่ 5.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองระบบ

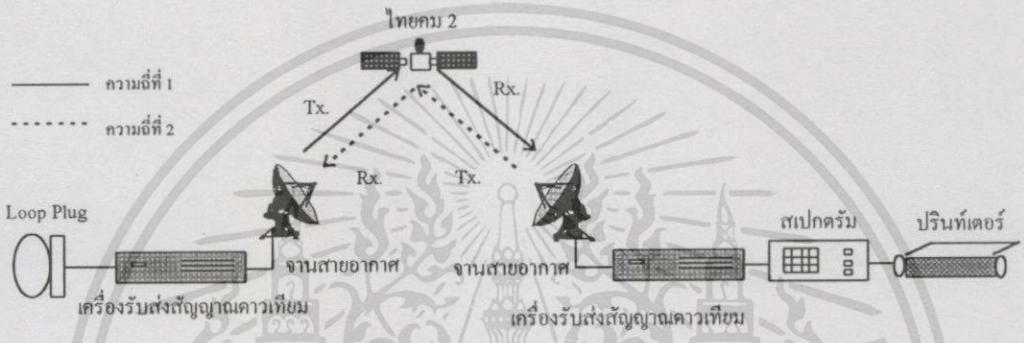
ในรูปที่ 5.7 เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยปรินทร์เตอร์ของ HP เครื่องทดสอบ BER ของ HP สเปกตรัมสำหรับวัดความถี่และโปรโตคอล HP 4952

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การทดสอบระบบ

ในการทดสอบระบบแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนคือการทดสอบระบบเพื่อหาคุณสมบัติเฉพาะของระบบที่ออกแบบเช่นค่า BER ที่สามารถทำงานได้ การวัด BER และค่า E_b/N_o ของระบบที่ออกแบบ ส่วนขั้นตอนที่สองเป็นการวัดคุณสมบัติของระบบเมื่อทำการใช้งานจริงในที่นี้ทำการทดสอบทีละส่วนโดยสามารถทดสอบทั้ง 2 ส่วนได้ดังนี้

5.3.1 การทดสอบหาคุณสมบัติเฉพาะของระบบ



รูปที่ 5.8 การต่ออุปกรณ์เพื่อวัดแบนด์วิดท์ของระบบผ่านสเปกตรัม

ในที่นี้ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นค่า BER ของระบบและค่า E_b/N_o ของระบบรวมถึงการหาค่าแบนด์วิดท์ [29] ของสัญญาณที่ทำการมอดูเลต การวัดค่าเวลาหน่วง (Delay Time) ของระบบและการวัดค่า Round Trip Time ของระบบที่ออกแบบ และการเปรียบเทียบค่า BER กับค่า E_b/N_o ของระบบที่ออกแบบเพื่อใช้เป็นคุณสมบัติของระบบและบันทึกไว้เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสัญญาณของระบบเมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานาน

5.3.1.1 แบนด์วิดท์ของเครื่องรับส่งสัญญาณ SDM 650B ที่ 384 kbps

ในรูปที่ 5.8 เป็นการต่ออุปกรณ์เพื่อวัดแบนด์วิดท์ของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ที่ส่งด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที และ 64 กิโลบิตต่อวินาทีโดยใช้การมอดูเลตแบบ QPSK เข้ารหัสแบบคอนโวลูชัน และใช้การตรวจสอบอัตราผิดพลาดแบบ FEC สำหรับรายละเอียดในการปรับสเปกตรัมคือ ค่า Res. BW เท่ากับ 10 kHz ค่า VBW เท่ากับ 30 Hz ค่า SPAN เท่ากับ 1.0 MHz ความถี่ของช่องสัญญาณบนทรานส์พอนเดอร์ของดาวเทียมไทยคม 2 ที่ทรานส์พอนเดอร์ที่ 2 ที่ใช้วัดที่ 384 กิโลบิตต่อวินาที คือ 3808.0 MHz โดยมีค่าระดับอ้างอิงที่ -58.5 dBm (Ref -58.5 dBm) ส่วนความถี่บนทรานส์พอนเดอร์ของดาวเทียมที่ใช้ในการวัดที่ 64 กิโลบิตต่อวินาทีคือ 3785.85 MHz และมีค่าระดับสัญญาณอ้างอิงที่ -58.0 dBm (Ref. -58.0 dBm) ในรูปที่ 5.9 (ก) เป็นการแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

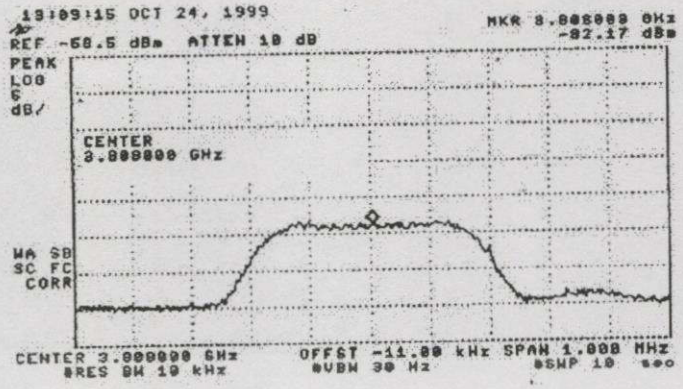
แบนด์วิดท์ของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ที่ส่งด้วยอัตราข้อมูล 384 กิโลบิตต่อวินาที ที่การเข้ารหัสด้วย FEC อัตรา 1/2 ส่วนในรูปที่ 5.9 (ข) เป็นแบนด์วิดท์ของเครื่องรับส่งที่การเข้ารหัสด้วย FEC อัตรา 3/4 ส่วนในรูปที่ 5.9 (ค) เป็นแบนด์วิดท์ของ SDM 650B ที่การเข้ารหัสด้วย FEC อัตรา 7/8 ซึ่งสามารถเปรียบเทียบขนาดแบนด์วิดท์ของการเข้ารหัสทั้ง 3 อัตราได้ โดยแบนด์วิดท์ที่ FEC อัตรา 1/2 มีค่าประมาณ 500 kHz มีค่าระดับสัญญาณอยู่ที่ -82.17 dBm ส่วนที่ FEC อัตรา 3/4 มีแบนด์วิดท์ประมาณ 350 kHz มีค่าระดับสัญญาณอยู่ที่ -80.69 dBm และที่ FEC อัตรา 7/8 มีแบนด์วิดท์ประมาณ 300 kHz มีค่าระดับสัญญาณอยู่ที่ -79.92 dBm ในที่นี้พบว่าที่แบนด์วิดท์ของอัตรา 3/4 สามารถนำมาใช้ได้ดีกับระบบที่ออกแบบเพราะมีข้อดีที่สามารถประหยัดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าที่ FEC อัตรา 1/2 ซึ่งทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการเช่าแบนด์วิดท์ของดาวเทียมได้มาก ส่วนที่อัตรา 7/8 พบว่าการนำมาใช้งานแล้วมีอัตราบิตผิดพลาดมากถึงแม้แบนด์วิดท์จะแคบกว่าก็ตาม และต้องใช้กำลังงานส่งของเครื่องส่งสัญญาณดาวเทียมที่ค่อนข้างสูงเพื่อที่จะทำให้ได้ค่า BER ที่เท่ากับการส่งที่ FEC อัตรา 1/2 และอัตรา 3/4 จากการวัดสามารถสรุปค่าระดับสัญญาณที่ FEC อัตราต่างๆ กันโดยเครื่องส่งสัญญาณดาวเทียมใช้กำลังงานส่งเดียวกันได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบระดับสัญญาณ

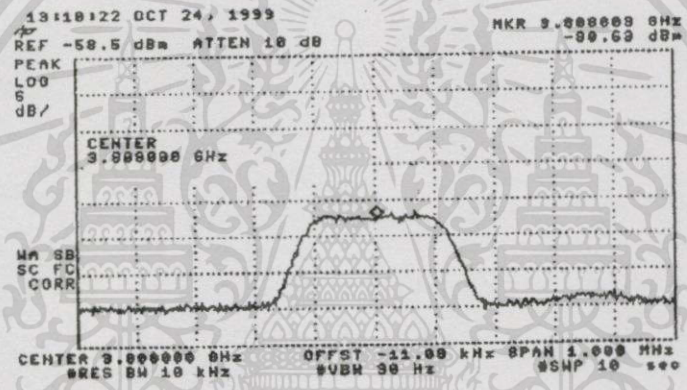
การมอดูเลตแบบ QPSK ที่ 384 kbps	FEC 1/2	FEC 3/4	FEC 7/8
ค่าระดับสัญญาณ (peak) dBm	-82.17	-80.69	-79.92
ผลต่างของสัญญาณ (dB) เทียบกับสัญญาณอ้างอิง	-23.67	-22.19	-21.42

จากตารางที่ 5.1 เป็นค่าระดับสัญญาณที่ยอดคลื่นทำการวัดที่ FEC อัตราต่างๆ กันโดยพบว่าที่ FEC อัตรา 1/2 มีระดับสัญญาณที่ต่ำกว่าที่อัตรา 3/4 อยู่ 1.48 dB และที่อัตรา 1/2 มีระดับสัญญาณอ้างอิงที่ต่ำกว่าอัตรา 7/8 อยู่ 2.25 dB และนอกจากนี้ในตารางยังสามารถแสดงค่าผลต่างของระดับสัญญาณที่การเข้ารหัสแบบ FEC ด้วยอัตรา 1/2 อัตรา 3/4 และอัตรา 7/8 เมื่อเทียบกับระดับสัญญาณอ้างอิงคือ -58.5 dBm โดยสามารถแสดงเป็นค่าได้คือที่ FEC อัตรา 1/2 มีผลต่างเป็น -23.67 dB และที่ FEC อัตรา 3/4 มีผลต่างเป็น -22.19 dB และที่ FEC อัตรา 7/8 มีผลต่างของสัญญาณเป็น -21.42 dB และค่าผลต่างนี้แสดงได้ว่าค่า C/N ของการส่งที่ FEC อัตรา 1/2 จะด้อยกว่าการส่งที่ FEC อัตรา 3/4 และอัตรา 7/8

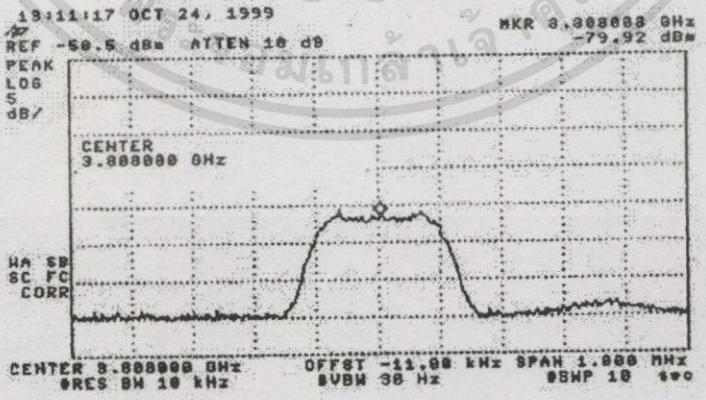
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 (ก) ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ 384 kbps ที่ FEC อัตรา 1/2



รูปที่ 5.9 (ข) ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ 384 kbps ที่ FEC อัตรา 3/4

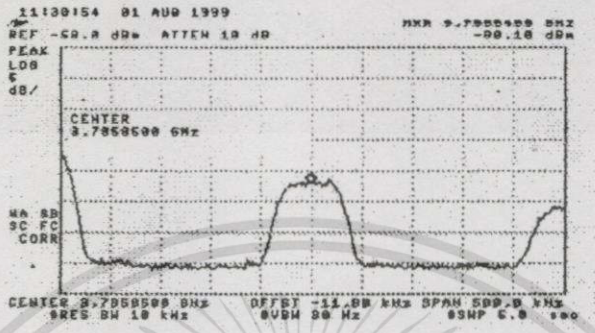


รูปที่ 5.9 (ค) ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ 384 kbps ที่ FEC อัตรา 7/8

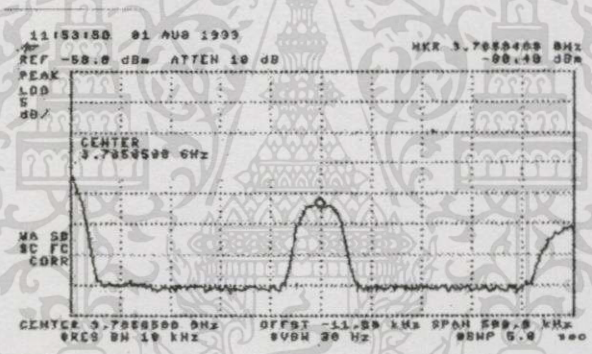
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.2 แบนด์วิดท์ของเครื่องรับส่งสัญญาณ SDM 650B ที่ 64 kbps

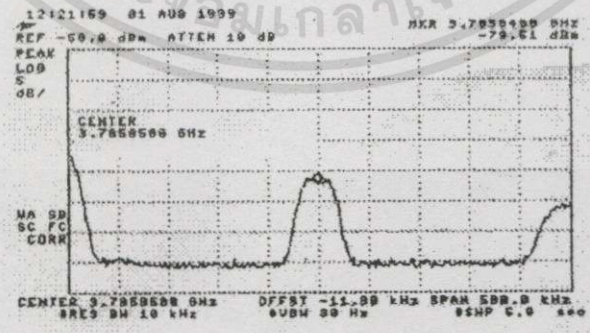
รูปที่ 5.10 เป็นการเปรียบเทียบขนาดของแบนด์วิดท์ที่เกิดจากการมอดูเลตที่อัตราข้อมูล 64 กิโลบิตต่อวินาทีด้วยการมอดูเลตแบบ QPSK โดยใช้การเข้ารหัสแบบ FEC ที่อัตรา 1/2 อัตรา 3/4



รูปที่ 5.10 (ก) ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ 64 kbps ที่ FEC อัตรา 1/2



รูปที่ 5.10 (ข) ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ 64 kbps ที่ FEC อัตรา 3/4



รูปที่ 5.10 (ค) ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ 64 kbps ที่ FEC อัตรา 7/8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอัตรา 7/8 พบว่าแบนด์วิดท์ของการเข้ารหัสด้วยอัตรา 1/2 เป็น 100 kHz ส่วนที่อัตรา 3/4 มีค่า 75 kHz และที่อัตรา 7/8 เป็น 64 kHz จากการทดลองพบว่าการเข้ารหัสแบบ FEC ด้วยอัตรา 3/4 สามารถประหยัดแบนด์วิดท์กว่าอัตรา 1/2 ประมาณ 25% และที่อัตรา 7/8 สามารถประหยัดแบนด์วิดท์กว่าที่อัตรา 1/2 ประมาณ 40% ทั้งนี้เมื่อแบนด์วิดท์แคบลงทำให้ค่า C/N ของระบบดีขึ้นด้วยประมาณ 1-2 dB สำหรับการส่งที่อัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาทีที่ FEC อัตรา 3/4 สามารถประหยัดแบนด์วิดท์ได้ 28% และที่อัตรา 7/8 สามารถประหยัดได้ประมาณ 39% เมื่อเทียบกับ FEC ที่อัตรา 1/2 โดยค่า C/N ที่อัตรา 7/8 จะสูงกว่าที่อัตรา 1/2 ประมาณ 2.25 dB ที่กำลังงานส่งเดียวกัน ในรูปเป็นการทดลองโดยตั้งค่าความถี่ทดสอบที่ 3785.85 MHz ค่า Res. BW เท่ากับ 10 kHz ค่า VBW เท่ากับ 30 Hz ค่าการ SPAN เท่ากับ 500 kHz ระดับสัญญาณอยู่ที่ -80.4 dBm ค่า Ref. Level อยู่ที่ -58.0 dBm โดยแต่ละรูปวัดที่กำลังงานส่งที่ต่างกัน

นอกจากนี้พารามิเตอร์อีกตัวที่มีผลต่อแบนด์วิดท์ของระบบการมอดูเลตคือค่า Roll off หรือค่า ρ ซึ่งเป็นค่าที่ถูกกำหนดโดยตัวมอดูเลตของเครื่องรับส่งสัญญาณแต่ละตัว โดยขึ้นอยู่กับวงจรภายในซึ่งค่า ρ มีค่าได้ตั้งแต่ 0.3 ถึง 1.0 และค่า ρ ของการส่งที่อัตราต่างกันสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบอัตราข้อมูล 64 kbps กับค่า ρ ที่ค่า FEC ต่าง ๆ

การส่งข้อมูลที่ 64 kbps	จำนวนข้อมูล (kbps)		
QPSK ที่ ρ ต่างกัน	FEC 1/2	FEC 3/4	FEC 7/8
$\rho = 1.00$	128	85.33	73.14
$\rho = 0.75$	112	74.66	64
$\rho = 0.50$	96	64	54.85

การหาแบนด์วิดท์ที่ใช้งานและจำนวนข้อมูลที่ใช้ส่งแสดงได้ดังตารางที่ 5.2 ซึ่งพบว่าค่า roll off ของการมอดูเลตมีผลอย่างมากกับจำนวนข้อมูลที่ใช้ส่งคือถ้าค่า roll off ยิ่งมีค่ามากจำนวนข้อมูลที่ใช้ก็จะมากขึ้นและจำนวนข้อมูลนี้จะส่งผลโดยตรงกับแบนด์วิดท์ทำให้แบนด์วิดท์เพิ่มขึ้น จากตารางที่ 5.2 เป็นการคำนวณจำนวนข้อมูล จากการเปรียบเทียบการส่งข้อมูลที่ ค่า ρ เท่ากับ 1 เท่ากับ 0.75 และเท่ากับ 0.5 พบว่าผลต่างของจำนวนข้อมูลในรูปเปอร์เซนต์ของค่า ρ ที่ 0.75 เทียบกับที่ 1.0 คิดเป็น 12.5% และเมื่อทำการเปรียบเทียบที่ค่า ρ เท่ากับ 1 กับที่ค่า 0.5 แล้วจำนวนข้อมูลเป็นเปอร์เซนต์คือ 25% และจากตารางที่ 5.2 เมื่อทำการเปรียบเทียบที่ค่า FEC อัตราต่างๆ กันเมื่อคิดจำนวนข้อมูลเทียบเป็นเปอร์เซนต์คือ ρ เท่ากับ 1 ที่ FEC อัตรา 1/2 เทียบกับค่า FEC ที่อัตรา 3/4 พบว่าเปอร์เซนต์ความแตกต่างของจำนวนข้อมูลเป็น 33.33% และเมื่อทำการเปรียบเทียบที่อัตรา 1/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับที่อัตรา 7/8 มีค่าเท่ากับ 42.86% และสามารถสรุปการเข้ารหัส FEC ที่อัตรา 3/4 พบว่าที่แบนด์วิดท์ 1 MHz ถ้าใช้ FEC อัตรา 1/2 จะสามารถกำหนดความถี่ใช้งานได้ 4 คู่ แต่ถ้าเป็นอัตรา 3/4 จะกำหนดความถี่ได้ถึง 5 คู่ ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายได้อย่างมาก ในขณะที่คุณภาพของระบบยังคงใกล้เคียงกับ FEC อัตรา 1/2

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบอัตราข้อมูล 384 kbps กับค่า ρ ที่ค่า FEC ต่าง ๆ

การส่งข้อมูลที่ 384 kbps QPSK ที่ ρ ต่างกัน	จำนวนข้อมูล (kbps)		
	FEC 1/2	**FEC 3/4**	**FEC 7/8**
$\rho = 1.00$	768	512	438.85
$\rho = 0.75$	672	448	384
$\rho = 0.50$	576	384	329.1

สำหรับตารางที่ 5.3 เป็นการเปรียบเทียบอัตราข้อมูล 384 kbps กับค่า ρ ที่ค่า FEC ต่าง ๆ ซึ่งผลที่ได้จะใกล้เคียงกับตารางที่ 5.2 คือที่จากการเปรียบเทียบการส่งข้อมูลที่ค่า ρ เท่ากับ 1 กับค่า ρ ที่ค่าเท่ากับ 0.75 จะได้ค่าเปอร์เซนต์เป็น 12.5% และเมื่อเทียบกับที่ ρ เท่ากับ 0.50 พบว่าค่าเปอร์เซนต์เป็น 25% และเมื่อเปรียบเทียบที่ค่า FEC ต่างๆ กันแต่ใช้ค่า ρ ค่าเดียวกันพบว่าที่ FEC อัตรา 3/4 มีค่าเป็นเปอร์เซนต์คือ 33.33% เทื่อเทียบกับที่ FEC อัตรา 1/2 ส่วนที่ FEC อัตรา 7/8 คิดเป็น 42.85% เมื่อเทียบกับที่ FEC อัตรา 1/2 ซึ่งข้อมูลของตารางที่ 5.2 และ 5.3 นี้จะใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อหาแบนด์วิดท์ของสัญญาณดาวเทียมที่จำเป็นต้องใช้เพื่อเป็นประโยชน์ในการคำนวณค่า link budget ของการออกแบบระบบต่อไป

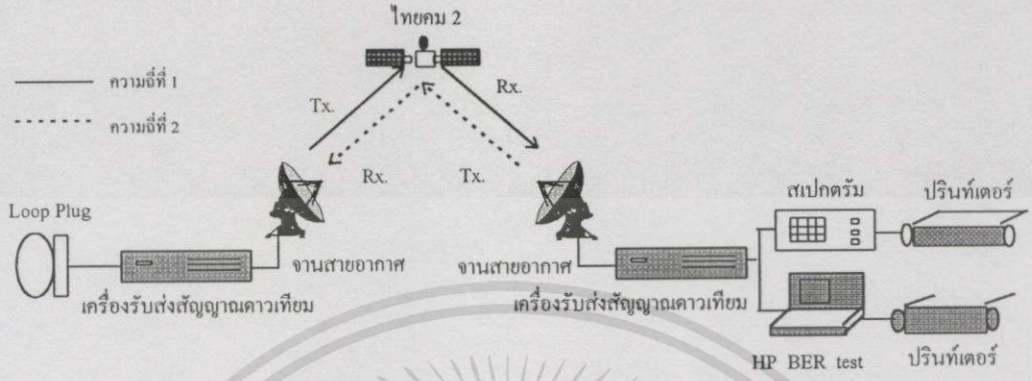
5.3.1.3 การทดสอบ BER ของเครื่องรับส่งสัญญาณ SDM 650B ที่ 384 kbps

ในที่นี้ก่อนที่จะทำการเปิดระบบเพื่อใช้งานต้องทำการทดสอบหาค่าผิดพลาดของระบบก่อนว่าเกิดการผิดพลาดขึ้นหรือไม่โดยทำการวัดค่า BER ของระบบซึ่งสามารถแสดงวิธีการวัด BER ได้ดังในรูปที่ 5.11

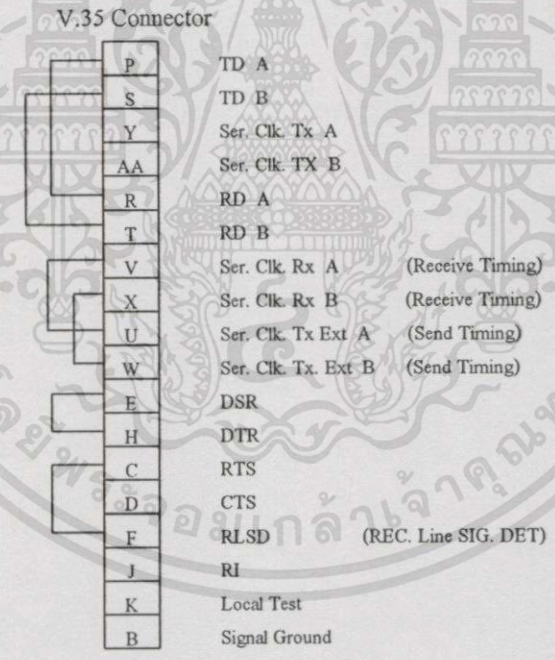
ในรูปเป็นการทดสอบ BER ของระบบโดยใช้เครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม 2 ตัวใช้งานที่ความถี่ที่กำหนดคือ 3785.85 MHz และใช้ตัวทดสอบอัตราบิตผิดพลาดของ HP (HP BER Test) ต่อที่อินเตอร์เฟสของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B โดยใช้อินเตอร์เฟส V.35 ส่วนที่ปลายทางสามารถต่อตัวทดสอบอัตราบิตผิดพลาดของ HP อีกตัวหนึ่งที่อินเตอร์เฟส V.35 ก็ได้หรือกรณีที่มีตัวทดสอบอัตราบิตผิดพลาดของ HP เพียงตัวเดียวก็สามารถต่อลูปปลั๊กเข้าที่อินเตอร์เฟส V.35 ของเครื่องรับส่งสัญญาณที่อีกด้านหนึ่งโดยลูปปลั๊ก V.35 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.12 ซึ่งใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองนี้ใช้ค่า E_b/N_o ของเครื่องรับส่งสัญญาณแต่ละตัวเป็น 9.7 dB โดยทดสอบทั้งที่ FEC อัตรา 1/2 และที่ FEC อัตรา 3/4



รูปที่ 5.11 การต่ออุปกรณ์ทดสอบ BER ของระบบ

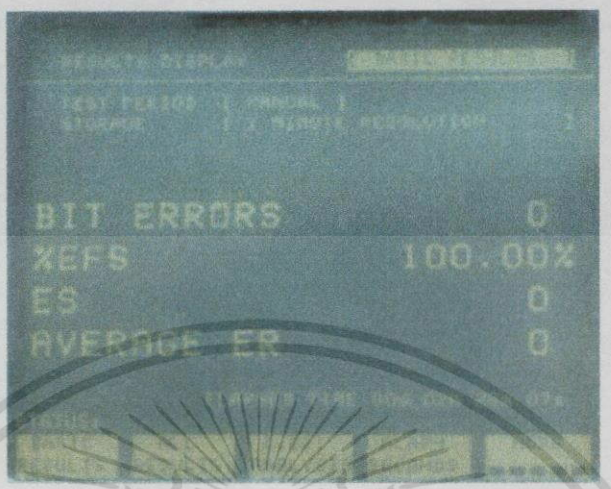


รูปที่ 5.12 ลูปปลั๊กของอินเตอร์เฟส V.35 เพื่อใช้ในการทดสอบอินเตอร์เฟส

ในรูปที่ 5.12 เป็นการสร้างลูปปลั๊กของอินเตอร์เฟส V.35 โดยนำสัญญาณส่วนที่เป็นการส่งและรับข้อมูลมาเชื่อมต่อกันโดยนำสัญญาณ TD.A ไปต่อเข้ากับสัญญาณ RD.A และสัญญาณ TD.B ไปต่อเข้ากับสัญญาณ RD.B และในส่วนของสัญญาณนาฬิกาของระบบก็นำสัญญาณ clk. Tx Ext A ต่อเข้ากับ clk. Rx A และต่อ clk. Tx Ext B ต่อเข้ากับ clk. Rx B เพื่อเป็นสัญญาณนาฬิกาให้

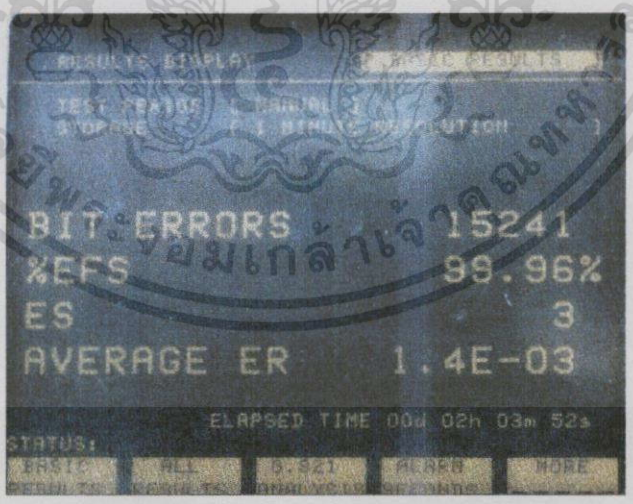
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับระบบ ส่วนในเรื่องสัญญาณควบคุมทำการต่อสัญญาณ DSR เข้ากับสัญญาณ DTR เพื่อเช็คเทอร์มินัลว่าต่ออยู่ และสัญญาณ RTS ถูกนำไปต่อกับ RLSD



รูปที่ 5.13 การทดสอบ BER ที่เวลา 2 ชั่วโมง 30 นาทีแบบไม่มีอัตราบิตผิดพลาด

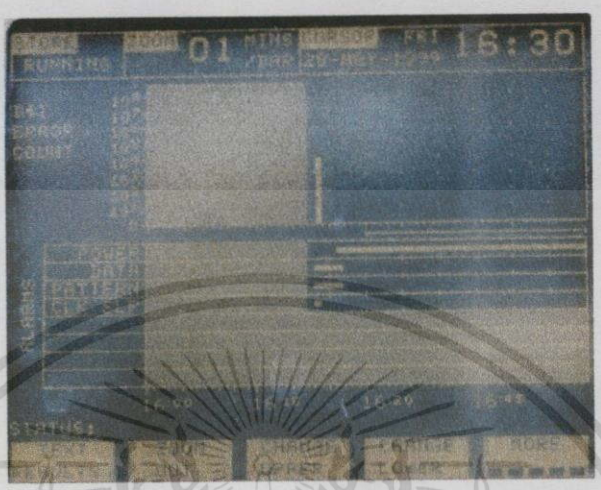
ในรูปที่ 5.13 เป็นการทดสอบ BER ของระบบโดยทำการทดสอบที่ค่า FEC อัตรา 3/4 พบว่าไม่มีค่าผิดพลาดเกิดขึ้นในการทดสอบนั้นการทดสอบทำที่เวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งค่า %EFS หรือ Error Free Seconds มีค่าเป็น 100% หรือไม่มี BER เกิดขึ้นในขณะทดสอบ



รูปที่ 5.14 การทดสอบ BER ที่เวลา 2 ชั่วโมง 3 นาทีแบบมีอัตราบิตผิดพลาด

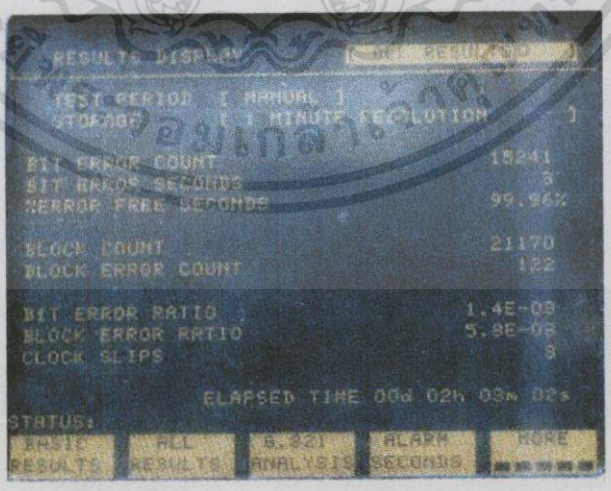
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 5.14 เป็นการเกิด bit error ขึ้น 15241 บิตและมีค่า ES หรือช่วงเวลาที่เกิดบิตผิดพลาด 3 วินาทีรวมอัตราส่วนบิตผิดพลาดเป็น 1.4E-03 และมีเปอร์เซนต์บิตผิดพลาดเป็น 99.96% ซึ่งจากรูปเป็นเครื่องทดสอบอัตราบิตผิดพลาดของ HP รุ่น 37732A



รูปที่ 5.15 การเกิดบิตผิดพลาดแสดงในรูปแบบของกราฟ

ในรูปที่ 5.15 เป็นกราฟของการเกิด error ของการทดสอบ BER เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 3 นาที โดยภายในรูปแสดงการนับบิตผิดพลาดและการเกิดการแจ้งเตือนในรูปแบบต่างๆ เมื่อเกิดการผิดพลาดของข้อมูลเช่นการเกิดสัญญาณนาฬิกาไม่เข้าจังหวะ (Clock slip) การเกิดรูปแบบของข้อมูลผิดพลาด (Pattern Alarm) การเกิดข้อมูลผิดพลาด (Data Alarm) เป็นต้น



รูปที่ 5.16 เมนูแสดงผลแบบละเอียดของการทดสอบ BER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 5.16 เป็นเมนูของตัวทดสอบอัตราบิตผิดพลาดของ HP รุ่น 37732A แบบละเอียด ซึ่งแสดงผลส่วนของการผิดพลาดที่ละเอียดกว่าเมนูในรูปที่ 5.14 โดยในส่วนที่เพิ่มเข้ามาคือแสดงส่วนของการนับบล็อคข้อมูล (Block Count) ซึ่งในรูปมีค่า 21170 บล็อค และแสดงบล็อคข้อมูลที่ผิดพลาด (Block Error Count) ในรูปมีค่า 122 บล็อค และแสดงในส่วนของอัตราส่วนบล็อคข้อมูลที่ผิดพลาด (Block Error Ratio) ซึ่งในรูปมีค่า 5.8E-03 และสุดท้ายแสดงในส่วนของจำนวนการเกิด Clock Slip โดยในรูปมีการเกิด clock slip 3 ครั้ง

5.3.1.4 การทดสอบ BER ของเครื่องรับส่งสัญญาณ SDM 650B ที่ 64 kbps

ในการทดสอบ BER ของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมที่ 64 กิโลบิตต่อวินาทีทำโดยใช้วิธีการเดียวกับการทดสอบ BER ที่ 384 กิโลบิตต่อวินาที และจากการทดสอบได้ผลเช่นเดียวกับการทดสอบที่ 384 กิโลบิตต่อวินาทีคือไม่มีอัตราผิดพลาดแต่อย่างใด ทั้งนี้ทดสอบด้วย FEC อัตรา 1/2 และอัตรา 3/4 ที่ค่า E_b/N_o ของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมเป็น 9.7 dB ทั้ง 2 เครื่องโดยเครื่องส่งที่ส่งด้วย FEC อัตรา 3/4 ต้องใช้กำลังงานส่งสูงกว่าที่อัตรา FEC 1/2 อยู่ประมาณ 1.5-2 dBm ในรูปที่ 5.17 เป็นการทดสอบ BER ผ่านระบบ SCPC ที่ 64 กิโลบิตต่อวินาทีของ SDM 650B

```
**** HP 4952 Printer Output ****

    Bit Error Rate Test

Elapsed Seconds: 30712
Errored Seconds:     0

Block Count:     288
Block Errors:      0

Bit Count:  1 966 368 912
Bit Errors:        0
```

รูปที่ 5.17 การทดสอบ BER ที่อัตรา 64 kbps ผ่าน SDM 650B

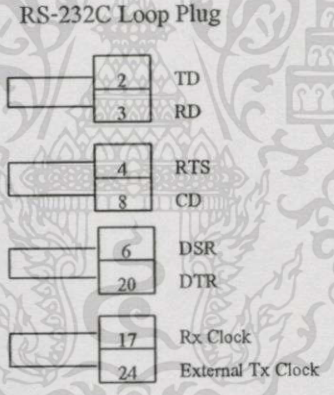
ในรูปที่ 5.17 เป็นการทดสอบ BER ที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาทีอีกรูปแบบหนึ่งโดยทดสอบผ่านเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B โดยใช้โปรโตคอล HP 4952 และในรูปที่ได้เป็นการปรินท์ออกมาทางปรินท์เตอร์ของ HP โดยเวลาที่ใช้ในการทดสอบ (Elapsed Seconds) เป็น 30712 และเวลาของการเกิด error (Error Seconds) ไม่มี และจำนวนบล็อกข้อมูล (Block

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Count) เป็น 288 และ block error ไม่มี ส่วนค่าจำนวนบิตที่ใช้ส่ง (Bit Count) เป็น 1,966,368,912 บิต และไม่มีบิตผิดพลาด

5.3.1.5 การทดสอบ BER ผ่านตัวมัลติเพลกซ์ MICOM

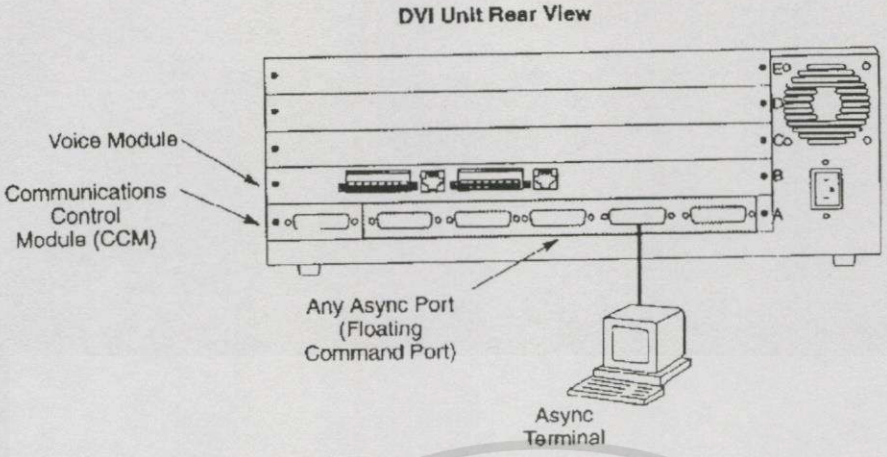
ในที่นี้ขอเสนอการทดสอบ BER ผ่านตัวมัลติเพลกซ์ MICOM ซึ่งเป็นตัวมัลติเพลกซ์แบบ Statistic โดยทั่วไปแล้วไม่สามารถทดสอบ BER ผ่านตัวมัลติเพลกซ์แบบนี้ได้ แต่เนื่องจากในตัวมัลติเพลกซ์นี้มีโหมดการทำงานแบบ TDM อยู่ด้วยซึ่งถ้าหากใช้โปรโตคอลนี้ในการเชื่อมต่อสามารถทำการทดสอบ BER ของตัวมัลติเพลกซ์ได้ด้วย ซึ่งเป็นการดีเพราะเป็นการยืนยันว่าในระบบการส่งข้อมูลไม่มีค่าผิดพลาดเกิดขึ้น ในการทดสอบ BER ที่ตัวมัลติเพลกซ์ต้องใช้อินเตอร์เฟสเป็นมาตรฐาน V.24 หรือ RS-232C ดังนั้นถ้าหากไม่มีโปรโตคอลในการทดสอบ 2 ตัวก็จำเป็นต้องใช้ลูปปลั๊กเป็นอินเตอร์เฟส V.24 ซึ่งสามารถทำการลูปสัญญาณกลับมาได้โดยแสดงการลูปดังรูปที่ 5.18 การทำลูปแบบนี้เป็นการยืนยันว่าสัญญาณสามารถเดินทางถึงพอร์ทที่ทำการเชื่อมต่อด้วยแล้วจึงถูกลูปกลับมาที่ด้านส่งอีกที



รูปที่ 5.18 การต่อลูปปลั๊กสำหรับอินเตอร์เฟส RS-232C

ในรูปที่ 5.18 เป็นการต่อลูปปลั๊กของอินเตอร์เฟส RS-232C โดยทำการต่อสัญญาณขา TD เข้ากับขา RD เพื่อส่งข้อมูลย้อนกลับไปต้นทาง ส่วนขา CD ทำการต่อเข้ากับ RTS และขา DSR ต่อเข้ากับขา DTR เพื่อให้สัญญาณ DSR เช็คว่ามีสัญญาณ DTR หรือมีอุปกรณ์ต่อและเปิดอยู่ตลอด และขา Rx Clock จะทำการต่อเข้ากับขา External Tx Clock เพื่อทำการรับสัญญาณนาฬิกามาใช้เปรียบเทียบกับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 อินเตอร์เฟส RS-232C ของ MICOM

ในรูปที่ 5.19 เป็นอินเตอร์เฟสของตัวมัลติเพลกซ์ MICOM ที่เป็น RS-232C โดยอินเตอร์เฟสนี้จะถูกบรรจุอยู่ในโมดูลล่างสุดคือโมดูล A และสามารถใช้งานได้ 5 อินเตอร์เฟสและมีอีก 1 อินเตอร์เฟสอยู่ที่ตำแหน่ง A1 ทำหน้าที่เป็นทรั้งค์เพื่อเชื่อมต่อตัวมัลติเพลกซ์เข้ากับเครื่องรับส่งสัญญาณรวมมีอินเตอร์เฟสทั้งหมด 6 อินเตอร์เฟสและใน 5 อินเตอร์เฟสที่ใช้งานผู้ใช้สามารถกำหนดได้เองว่าจะให้อินเตอร์เฟสใดทำหน้าที่เป็นพอร์ทอะซิงโครนัสและพอร์ทซิงโครนัสซึ่งถือว่ามีความยืดหยุ่นสูง นอกจากนี้ต้องมี 1 อินเตอร์เฟสหรือ 1 พอร์ทถูกใช้เพื่อทำหน้าที่เป็นพอร์ทควบคุมตัวมัลติเพลกซ์ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดได้เองเช่นกัน

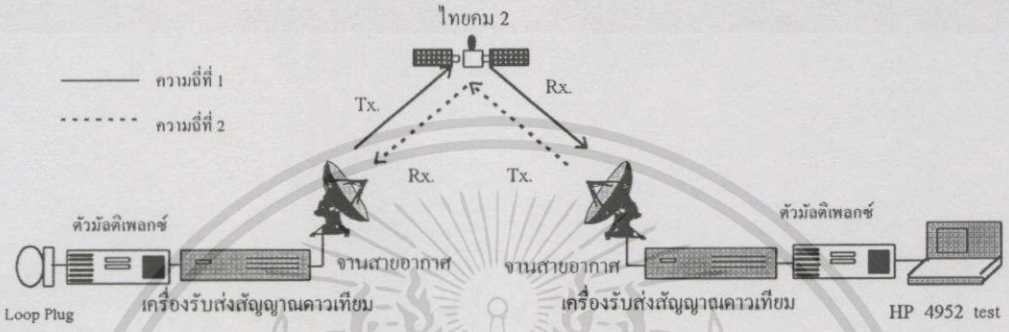
```
**** HP 4952 Printer Output ****
Bit Error Rate Parameter Setup
Pattern      511
Block Size 1000 bits
Duration   Continuous
Bits/sec     Ext
Framing      None
```

รูปที่ 5.20 หน้าจออินเตอร์เฟสของเครื่องทดสอบ BER HP 4952

ในรูปที่ 5.20 เป็นอินเตอร์เฟสของหน้าจอเครื่องทดสอบ BER หรือโปรโตคอล HP รุ่น 4952 ที่ใช้ทดสอบโดยมีเมนูที่จำเป็นคือ รูปแบบ (Pattern) ถูกกำหนดให้เป็นแบบ 511 และขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ บล๊อคที่ใช้ส่ง (Block Size) กำหนดให้เป็น 1000 บิต และช่วงเวลาทดสอบ (Duration) กำหนดให้ทดสอบแบบต่อเนื่อง (Continuous) สำหรับหัวข้อความเร็วในการส่ง (Bits/sec) สามารถเลือกได้ว่าเริ่มส่งที่ 300 บิตต่อวินาทีจนถึง 64 กิโลบิตต่อวินาทีแต่ในที่นี้กำหนดให้เป็นแบบ Ext หรือให้รับสัญญาณนาฬิกาจากตัวเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมที่นำมาต่อ และหัวข้อเฟรมข้อมูล (Framing) ถูกกำหนดให้เป็น None



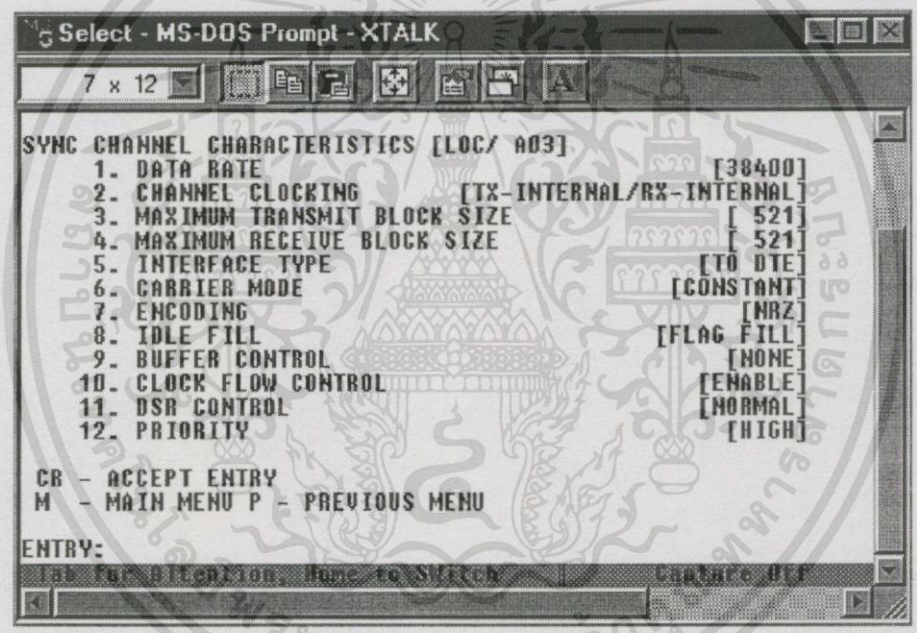
รูปที่ 5.21 การทดสอบ BER ที่พอร์ท RS-232C ของตัวมัลติเพลกซ์

การทดสอบ BER ของตัวมัลติเพลกซ์แบบที่มีการใช้โปรโตคอลของพอร์ทเป็น TDM เพื่อทำการทดสอบ BER ทั้งนี้การกำหนดความเร็วในการทดสอบควรทำที่ความเร็วสูงที่สุดเท่าที่จะทำได้เพราะการทดสอบจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการทดสอบที่ความเร็วต่ำเช่น 4.8 กิโลบิตต่อวินาที เพราะโอกาสที่ตัวมัลติเพลกซ์เกิดผิดพลาดหรือ error ขึ้นอาจจะมีได้แต่ถ้าใช้ความเร็วในการทดสอบต่ำๆ อาจทำให้ในช่วงเวลาที่เกิดการผิดพลาด ไม่สามารถตรวจพบความผิดพลาดในระบบได้เพราะแบนด์วิดท์แคบเกินไป แต่ถ้าใช้แบนด์วิดท์กว้างเช่น 38.4 กิโลบิตต่อวินาทีโอกาสที่จะพบความผิดพลาดจะมีได้สูงเพราะถือว่ามีการใช้งานระบบถึง 60% แต่ถ้าเป็นที่ 4.8 กิโลบิตต่อวินาทีจะเป็นเปอร์เซนต์การใช้งานเพียง 7.5% เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.6 การทดสอบการซิมมูเลตข้อมูลผ่านตัวมัลติเพลกซ์

นอกจากรูปแบบของการทดสอบ BER ผ่านตัวมัลติเพลกซ์แล้ว ยังสามารถทดสอบการทำงานได้จากการส่งข้อมูลข่าวสารผ่านระบบ แล้วทำการเช็คเฟรมของข้อมูลที่กลับมาว่ามีผิดพลาดบ้างหรือไม่ โดยจะใช้รูปแบบของวงจรทดสอบแบบเดียวกับการทดสอบ BER ที่พอร์ท RS-232 ของตัวมัลติเพลกซ์เพียงแต่ไม่จำเป็นต้องมีการกำหนดให้พอร์ทมีการทำงานแบบ TDM แต่สามารถกำหนดเป็นแบบ DLC ทั่วๆ ได้ (SDLC หรือ HDLC) ในการเช็คจะทำการเช็คข้อมูลที่เสียหาย (Bad) หรือข้อมูลที่เป็น Abort ถ้าหากพบว่าเกิดมีข้อมูลที่เป็น Bad กลับมาแสดงว่าตัวมัลติเพลกซ์เกิดมีการขอส่งข้อมูลซ้ำหรือมี BER เกิดขึ้นบ้างเล็กน้อยในระบบ แต่ถ้าหากเกิด Abort ขึ้นแสดงว่าตัวมัลติเพลกซ์เกิดการร้องขอให้มีการส่งข้อมูลซ้ำเป็นจำนวนมากสาเหตุอาจเกิดมาจากมี BER เกิดขึ้นสูงมากซึ่งอาจทำให้การสื่อสารไม่ประสบความสำเร็จ



รูปที่ 5.22 การกำหนดโปรโตคอลแบบ DLC เพื่อใช้ทดสอบซิมมูเลตของตัวมัลติเพลกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
**** HP 4952 Printer Output ****

Monitor/Simulate Parameter Setup

Protocol    HDLC    Display  Frame
Code      ASCII 8
Bits/sec 38.4K     Err chk  CCITT
Parity     None


                   DTE clockDCE
Mode       EX NRZI
                   Bit senseNorm.
                   Ext Addr Off
                   Ext Ctrl Off
```

รูปที่ 5.23 เมนูของโปรโตคอล 4952 ที่ใช้กำหนดพารามิเตอร์ในการทำงาน

ในรูปที่ 5.23 เป็นโปรโตคอล HP 4952 ซึ่งแสดงเมนูในการซิมมูเลตเฟรมข้อมูลเพื่อใช้ส่งผ่านพอร์ทสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัสของตัวมัลติเพลกซ์ MICOM โดยทำการกำหนดโปรโตคอลแบบ HDLC กำหนดการแสดงผลเป็นแบบเฟรมข้อมูล ใช้การเข้ารหัสแบบ ASCII 8 และทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 38.4 กิโลบิตต่อวินาที กำหนดการเช็คความผิดพลาดแบบ CCITT กำหนดให้อุปกรณ์ DEC ทำหน้าที่จ่ายสัญญาณนาฬิกา กำหนดการทำงานในโหมด Ext. NRZI

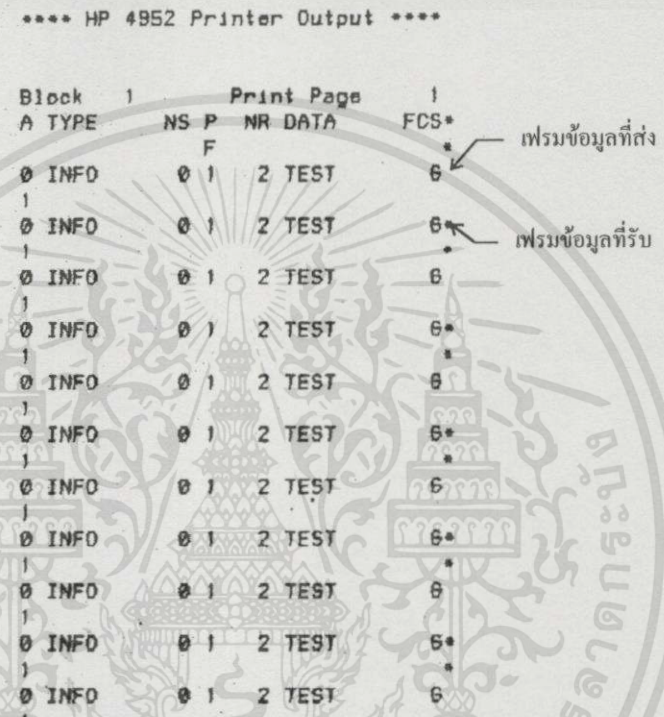
```
**** HP 4952 Printer Output ****

Simulate DTE

Block  1
Set Lead RTS    On
  and then
Set Lead DTR    On

Block  2
Send 505TEST66E
     f10    00f
  and then
Wait    100

Block  3
Goto Block   2
```

รูปที่ 5.24 เมนูการเขียนคำสั่งซิมมูเลตของโปรโตคอล 4952 แบบ DTE

ในรูปที่ 5.24 เป็นเมนูในการซิมมูเลตของโปรโตคอล HP 4952 แบบ DTE เพื่อเชื่อมต่อกับตัวมัลติเพลกซ์ที่พอร์ทแบบ DCE โดยการซิมมูเลตทำการกำหนดข้อมูลเป็นบล็อค ในบล็อคที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้สัญญาณ RTS และสัญญาณ DTR ของโปรโตคอลมีค่าเป็น on คือพร้อมทำงาน ในบล็อคที่ 2 ทำการกำหนดการส่งข้อมูลคำว่า TEST ในเลเยอร์ที่ 2 โดยกำหนดให้มีการส่งแบบต่อเนื่องและทำการเช็คเฟรมข้อมูลปิดท้ายด้วย Good Frame check และหลังจากส่งข้อมูลแล้วให้ทำการหยุดรอเวลาไป 100 mSec ส่วนในบล็อคที่ 3 เป็นการบอกให้เริ่มส่งข้อมูลในบล็อคที่ 2 ต่อไปและทำซ้ำไปเรื่อยๆ



รูปที่ 5.25 ผลของการซิมมูเลตของโปรโตคอลแบบ HDLC

ในรูปที่ 5.25 เป็นผลของการซิมมูเลตสัญญาณที่ได้โดยทำการปริ้นท์ข้อมูลออกมาทางกระดาษพิมพ์ในรูปจะมีเฟรมข้อมูลอยู่ 2 ชนิดคือเฟรมข้อมูลที่ส่งออกไป และเฟรมข้อมูลที่รับกลับเข้ามาในที่นี้สังเกตุจากเฟรมข้อมูลที่ส่งด้านหลังตัว G ซึ่งเป็นการเช็คว่าเฟรมที่รับเข้ามาเป็นเฟรมที่ดี ถ้าไม่มีเครื่องหมายดอกจันทร์ต่อท้ายคือเฟรมที่ส่งออกไป แต่ถ้าเป็นเฟรมที่รับเข้ามาจะมีเครื่องหมายดอกจันทร์ต่อท้ายเสมอ ซึ่งการทดสอบแบบนี้สามารถดูได้เพียงเฟรมข้อมูลที่ส่งผ่านตัวมัลติเพลกซ์ เมื่อถูกส่งไปปลายทางแล้วถูกส่งกลับมามีความถูกต้องเป็นปกติหรือไม่เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
**** HP 4952 Printer Output ****

Block   7        Print Page      1
A TYPE      NS P  NR DATA       FCS*
              F                   *
0 INFO      0 1   1 TEST         G
1
0 INFO      0 1   1 TEST         G*
1                                 *
0 INFO      0 1   1 TEST         G
1
0 INFO      0 1   1 TEST         G*
1                                 *
0 INFO      0 1   1 TEST         G
1
0 INFO      0 1   1 TEST         G*
1                                 *
0 INFO      0 0   0 nn           B
0                     uu
0 INFO      0 0   0 nn           B*
0                     uu          *
0 INFO      0 1   1 TEST         G
1
0 INFO      0 1   1 TEST         G*
1                                 *
0 INFO      0 1   1 TEST         G
1
```

ข้อมูลเฟรมที่เป็น Bad

รูปที่ 5.26 ผลของการซิมมูเลตของโปรโตคอล HDLC แบบมี Bad

```
**** HP 4952 Printer Output ****

Block  21        Print Page      1
A TYPE      NS P  NR DATA       FCS*
              F                   *
0 INFO      0 1   1 TEST         G
1
0 INFO      0 1   1 TEST         G*
1                                 *
0 INFO      0 1   1 TEST         G
1
0 INFO      0 1   1 TEST         G*
1                                 *
0 INFO      0 1   1 TEST         G
1
0 INFO      0 1   1 IE           A*
1                                 *
0 INFO      0 1   1 TEST         B
1
0 INFO      0 1   1 TEST         G
1
0 INFO      0 1   1 TEST         G
1
0 INFO      0 1   1 TEST         G
1
0 INFO      0 1   1 TEST         G
1
```

ข้อมูลเฟรมที่เป็น Abort

รูปที่ 5.27 ผลของการซิมมูเลตของโปรโตคอล HDLC แบบมี Abort

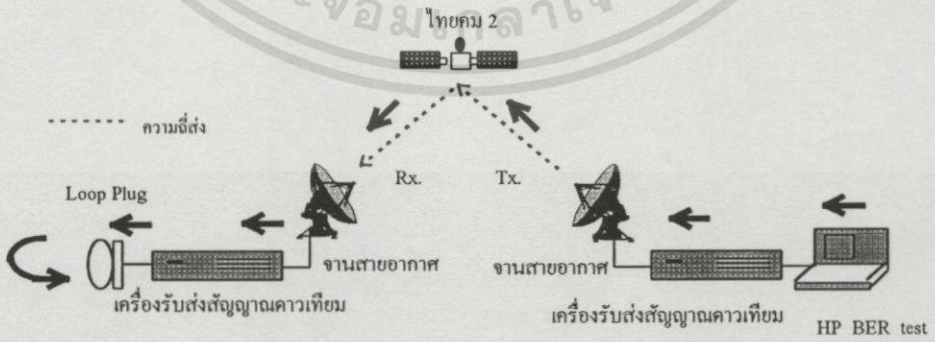
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 5.26 เป็นข้อมูลที่เกิดจากการซิมมูเลตข้อความ Test ไปในตัวมัลติเพลกซ์แล้วเกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบ โดยในรูปเกิดมีอัตราบิตผิดพลาดสูงขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งทำให้ข้อมูลในส่วนนั้นเกิด Bad ขึ้นแต่การเกิด Bad นี้บางครั้งยังอาจยอมรับได้ ถ้าจำนวนอัตราบิตผิดพลาดไม่สูงเกินไป แต่ถ้าหากจำนวนอัตราบิตผิดพลาดมีสูงมาจะทำให้เกิด Bad เป็นจำนวนมากซึ่งทำให้ตัวมัลติเพลกซ์ต้องมีการร้องขอให้ส่งข้อมูลซ้ำเป็นจำนวนมากทำให้การรับส่งข้อมูลในช่วงเวลานั้นทำได้ช้ามากจนไม่อาจยอมรับได้

ส่วนในรูปที่ 5.27 เป็นการเกิด Abort ขึ้นในตัวมัลติเพลกซ์สาเหตุของการเกิด Abort นั้นมาจากการที่เกิด Clock Slip ขึ้นในระบบเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมซึ่งมาจากการเกิดอัตราบิตผิดพลาดอย่างมากทำให้ระบบไม่สามารถใช้งานต่อไปได้และต้องแก้ไขโดยทันที ในการเกิด Abort นั้นถือเป็นการไม่สามารถยอมรับได้ในระบบการส่งซึ่งถือว่ามีค่าอัตราบิตผิดพลาดสูงกว่าการเกิด Bad ในระบบ สำหรับการเช็คข้อมูลที่เป็นแบบอะซิงโครนัสผ่านการซิมมูเลตด้วยโปรโตคอลสามารถหาค่าความผิดพลาดได้เช่นกันโดยดูจาก Frame Check Sequence ว่าดีตลอดหรือไม่หรือว่าเฟรมที่ถูกส่งออกไปและกลับมามี Bad เกิดขึ้นซึ่งข้อมูลที่มี Bad เกิดขึ้นบางครั้งยังสามารถยอมรับได้เพราะอาจเกิดจากความผิดพลาดชั่วขณะเท่านั้น แต่ถ้าหากข้อมูลที่รับกลับมาเกิด Abort ถือว่าไม่สามารถยอมรับได้เพราะเวลาเกิด Abort หมายถึงการสื่อสารอาจเกิดการขาดช่วงไปทำให้ข้อมูลที่ส่งไปไม่สามารถแก้ไขกลับได้เลย

5.3.1.7 ค่าเวลาหน่วงและค่า Round Trip Time ของระบบที่ออกแบบ

ค่าเวลาหน่วง (Delay Time) ของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ใช้การมอดูเลตแบบ QPSK ในการทดสอบค่าเวลาหน่วงของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B สามารถแสดงทิศทางการวัดสัญญาณได้ดังรูปที่ 5.28



รูปที่ 5.28 ทิศทางการวัดเวลาหน่วงของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 5.28 เป็นการเดินทางของสัญญาณซึ่งเริ่มต้นที่เครื่องทดสอบ BER และส่งไปยังตัวเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมทำการมอดูเลตแล้วส่งไปยังดาวเทียมและไปยังความถี่ขาลงแล้วเข้าเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมไปยังอินเตอร์เฟสของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม ในการทดสอบใช้การมอดูเลตแบบ QPSK ด้วย FEC อัตราต่างกัน โดยทดสอบกับเครื่องรับส่งที่มีบัฟเฟอร์การ์ดและไม่มีบัฟเฟอร์การ์ด เพื่อใช้ประกอบการเลือกระบบที่เหมาะสม จากการทดลองสามารถเปรียบเทียบค่าเวลาหน่วงและค่า Round Trip Time ของระบบได้ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบค่าเวลาหน่วงของเครื่องรับส่ง SDM 650B กรณีต่างๆ

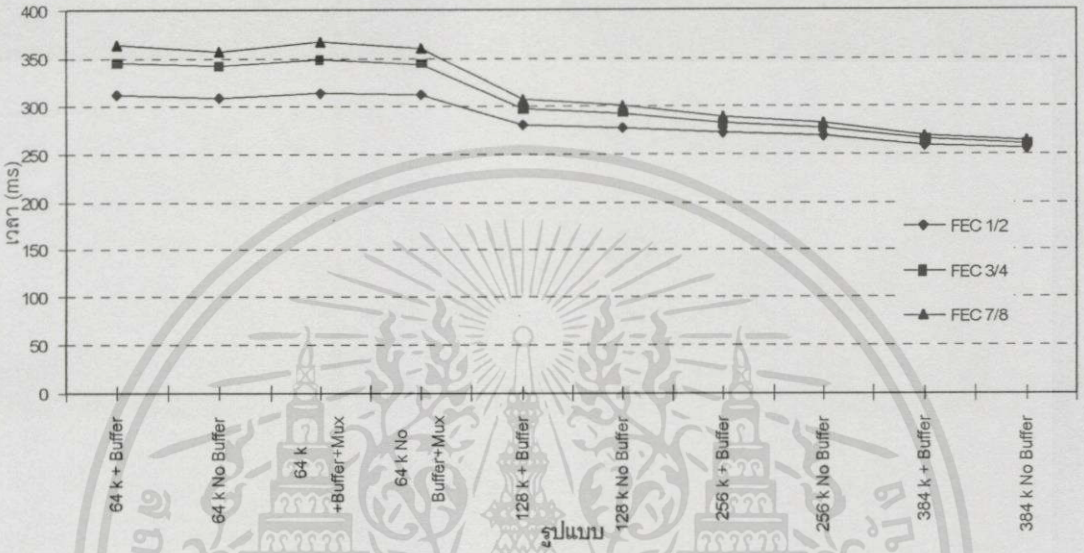
รูปแบบการทดลอง SDM 650B	FEC 1/2	FEC 3/4	FEC 7/8
64 kbps มีบัฟเฟอร์การ์ด	311.8 ms	345.5 ms	363.8 ms
64 kbps ไม่มีบัฟเฟอร์การ์ด	308.0 ms	340.9 ms	357.0 ms
64 kbps มีบัฟเฟอร์การ์ด+ตัวมัลติเพลกซ์	313.8 ms	347.7 ms	365.7 ms
64 kbps ไม่มีบัฟเฟอร์การ์ด+ตัวมัลติเพลกซ์	310.6 ms	342.9 ms	359.5 ms
128 kbps มีบัฟเฟอร์การ์ด	279.0 ms	296.4 ms	305.6 ms
128 kbps ไม่มีบัฟเฟอร์การ์ด	275.7 ms	291.4 ms	299.4 ms
256 kbps มีบัฟเฟอร์การ์ด	271.6 ms	281.1 ms	287.4 ms
256 kbps ไม่มีบัฟเฟอร์การ์ด	268.5 ms	276.6 ms	281.7 ms
384 kbps มีบัฟเฟอร์การ์ด	257.0 ms	263.9 ms	268.6 ms
384 kbps ไม่มีบัฟเฟอร์การ์ด	254.1 ms	259.1 ms	262.4 ms

ค่าที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 5.4 เป็นการวัดค่าเวลาหน่วงของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ที่การทดลองลักษณะต่างๆ กัน จากตารางพบว่าที่อัตรา FEC 1/2 ในทุกกรณีไม่ว่าจะมีบัฟเฟอร์การ์ดหรือไม่มีก็ตามค่าเวลาหน่วงที่ได้จะต่ำกว่าที่ FEC อัตรา 3/4 และ FEC อัตรา 7/8 เสมอสาเหตุเพราะกรณีการใช้วงจรเข้ารหัสที่อัตรา 3/4 และอัตรา 7/8 ต้องใช้วงจรภายในระบบที่ซับซ้อนกว่าที่อัตรา 1/2 จึงทำให้เวลาในการเข้ารหัสและถอดรหัสต้องใช้มากขึ้น นอกจากนี้ในตารางที่ 2 ยังสามารถบอกได้ว่าการใช้ความเร็วในการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นเช่นกรณีที่ความเร็ว 64 กิโลบิตต่อวินาทีกับที่อัตราข้อมูล 128 กิโลบิตต่อวินาทีที่อัตรา FEC เดียวกันค่าเวลาหน่วงจะมีค่าที่ต่างกันโดยการส่งข้อมูลด้วยอัตราข้อมูลที่สูงกว่าจะทำให้ค่าเวลาหน่วงลดลง

นอกจากค่าเวลาหน่วงของระบบแล้วยังมีค่าเวลาอีกค่าหนึ่งคือค่า Round Trip Time หรือค่าเวลาที่สัญญาณส่งผ่านไปถึงปลายทางแล้วสัญญาณตอบกลับถูกส่งกลับมาถึงต้นทาง ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณสองเท่าของค่าเวลาหน่วง ค่า round trip time มีความสำคัญต่อระบบในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประยุกต์ใช้งานตัวอย่างเช่นกรณีการ ping ข้อมูลผ่านเราท์เตอร์ไปยังอุปกรณ์ปลายทางเพื่อหาความผิดพลาดในระบบโดยการ ping เป็นการส่งข้อมูลที่เป็นแพคเก็ตขนาดคงที่จำนวนเท่าเท่ากันและมีความยาวของข้อมูลขนาดเล็กๆ ไปในระบบเมื่อข้อมูลถึงปลายทางในที่นี้คือ IP Address ที่เรากำหนดแล้วข้อมูลจะถูกส่งย้อนกลับมาที่ต้นทางและต้นทางจะทำการวัดค่าเวลาที่ข้อมูลเดินทางซึ่งก็คือค่า Round trip time นั่นเอง และในที่นี้ได้ทำการวัดและสามารถแสดงค่าเวลาได้ดังตารางที่ 5.5



รูปที่ 5.29 การเปรียบเทียบเวลาหน่วงของระบบดาวเทียม

ในรูปที่ 5.29 เป็นการเปรียบเทียบเวลาหน่วงของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม ในกรณีต่างๆ ที่ได้จากตารางที่ 5.4 โดยใช้ค่า FEC อัตราต่างๆ กัน พบว่าการส่งที่อัตราความเร็วสูงค่าเวลาหน่วงที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าการส่งที่อัตราความเร็วต่ำ และค่า FEC อัตรา 1/2 จะมีค่าเวลาหน่วงที่น้อยกว่าที่ FEC อัตรา 3/4 และ FEC อัตรา 7/8 เสมอ

ในตารางที่ 5.5 เป็นผลการหาค่า round trip time ของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ที่การเข้ารหัสด้วย FEC อัตราต่างๆ กันและที่ตัวเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมที่มีบัฟเฟอร์การ์ดและไม่มีบัฟเฟอร์การ์ด ซึ่งการทดลองทำที่ค่า E_b/N_o ของเครื่องรับเป็น 9.6 dB และค่า BER ของเครื่องรับเป็น 10^{-09} จากการทดลองได้ทำการใช้โปรโตคอลอนาไลซ์เซอร์ทำการซิมมูเลตส่งข้อมูลตัวอักษรไปและกลับโดยด้านปลายทางทำการใช้ลูปปลั๊ก ต่อเพื่อให้สัญญาณเดินทางกลับมาแล้วทำการวัด round trip time ของระบบทั้งที่มีบัฟเฟอร์การ์ดที่ตัวอินเตอร์เฟสของ SDM 650B และแบบที่ไม่มีบัฟเฟอร์การ์ด จากตารางที่ 2 ค่า round trip time ที่การเข้ารหัสด้วย FEC อัตรา 1/2 จะมีค่าน้อยกว่าที่อัตรา 3/4 และอัตรา 7/8 และจากผลการทดลองค่า round trip time จะลดลงเมื่อทำการส่งด้วยอัตราข้อมูลที่สูงขึ้น จากการทดลองที่อัตราข้อมูล 64 กิโลบิตต่อวินาที ที่ FEC อัตรา 1/2 จะมีเวลาหน่วงต่างกับอัตรา 3/4 ประมาณ 64.8 mS และที่อัตรา 7/8 จะแตกต่างประมาณ 98 mS แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อัตราข้อมูล 384 กิโลบิตต่อวินาที ที่ FEC อัตรา 1/2 จะมีค่าเวลาหน่วงต่างกับอัตรา 3/4 ประมาณ 10.8 mS และที่อัตรา 7/8 ประมาณ 16.4 mS

ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบค่า Round trip time ของเครื่องรับส่ง SDM 650B กรณีต่างๆ

รูปแบบการทดลอง SDM 650B	FEC 1/2	FEC 3/4	FEC 7/8
64 kbps มีบัฟเฟอร์การ์ด	624.6 ms	692.4 ms	728.6 ms
64 kbps ไม่มีบัฟเฟอร์การ์ด	617.6 ms	682.4 ms	715.6 ms
64 kbps มีบัฟเฟอร์การ์ด+ตัวมัลติเพลกซ์	629.1 ms	696.9 ms	733.1 ms
64 kbps ไม่มีบัฟเฟอร์การ์ด+ตัวมัลติเพลกซ์	622.1 ms	686.9 ms	720.1 ms
128 kbps มีบัฟเฟอร์การ์ด	559.8 ms	594.2 ms	612.1ms
128 kbps ไม่มีบัฟเฟอร์การ์ด	552.8 ms	585.2 ms	601.6ms
256 kbps มีบัฟเฟอร์การ์ด	544.1 ms	563.2 ms	576.2 ms
256 kbps ไม่มีบัฟเฟอร์การ์ด	538.0 ms	554.2 ms	565.3 ms
384 kbps มีบัฟเฟอร์การ์ด	515.0 ms	528.8 ms	538.4 ms
384 kbps ไม่มีบัฟเฟอร์การ์ด	510.0 ms	520.8 ms	526.4 ms

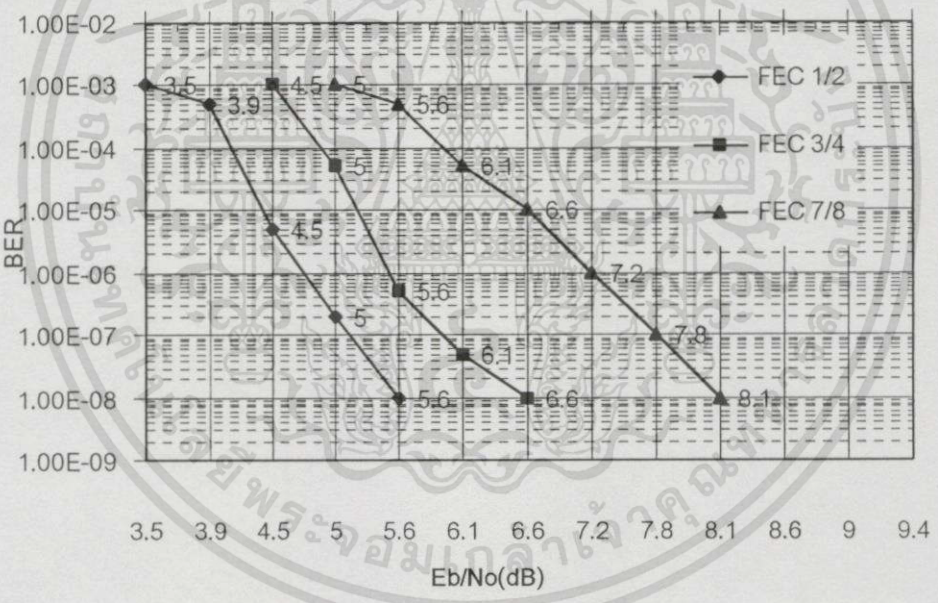
รูปที่ 5.30 การวัดค่า Round Trip Time ของ SDM 650B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.30 เป็นหน้าจอการวัด Round Trip Time ของ SDM 650B ที่การส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที โดยการวัดด้วยโปรโตคอล 4952 ซึ่งค่าที่อ่านออกมาเท่ากับ 511.3 ms สำหรับขั้นตอนในการวัดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.29

5.3.1.8 การเปรียบเทียบค่า BER และ E_b/N_o ของการส่งที่ 64 กิโลบิตต่อวินาที

ในการทดลองทำการวัดค่า E_b/N_o ของระบบที่อินเซอร์วิทซ์รีดเอาท์ของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมโดยการวัดทำการส่งที่กำลังส่งหนึ่งที่ได้ค่า E_b/N_o ที่ค่า 9.5 dB แล้วทำการลดกำลังงานส่งลงมาทีละ 0.5 dBm และสามารถหาค่า E_b/N_o เปรียบเทียบกับค่า BER ซึ่งในที่นี้ทำการวัดที่อัตราข้อมูล 64 กิโลบิตต่อวินาทีที่การเข้ารหัสแบบ FEC อัตรา 1/2 อัตรา 3/4 และที่อัตรา 7/8 โดยทำการเปรียบเทียบค่า BER ที่ค่า 10^{-08} ผลการทดลองพบว่าค่า E_b/N_o ของการเข้ารหัสที่ FEC อัตรา 1/2 อยู่ที่ 5.6 dB ส่วนที่ FEC อัตรา 3/4 ค่า E_b/N_o อยู่ที่ 6.6 dB ที่ FEC อัตรา 7/8 ค่า E_b/N_o อยู่ที่ 8.1 dB ซึ่งพบว่าการมอดูเลตที่ใช้การเข้ารหัสที่อัตรา FEC ค่าสูงจะต้องใช้ค่า E_b/N_o ที่



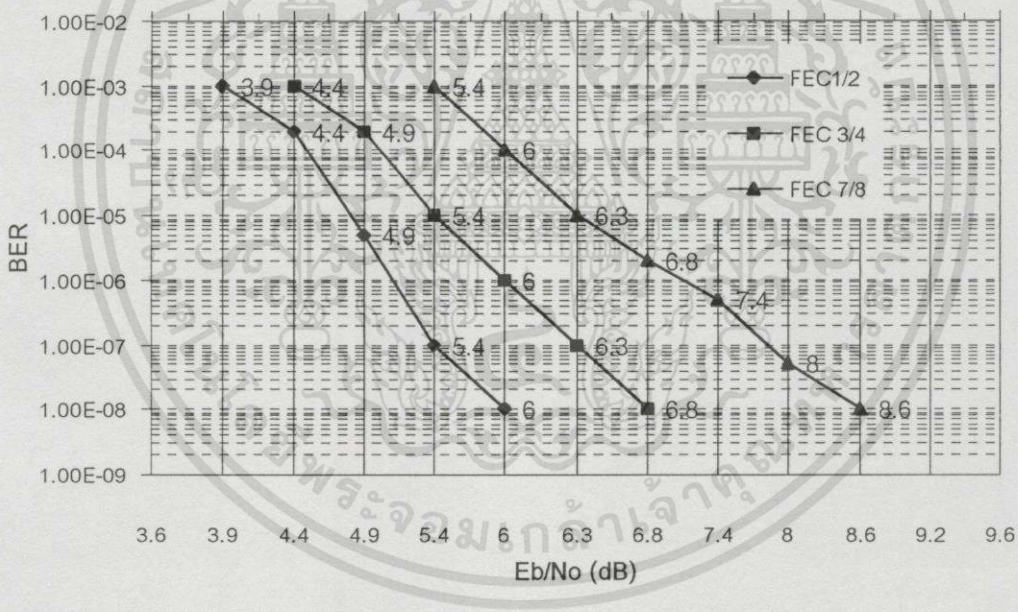
รูปที่ 5.31 การเปรียบเทียบค่า E_b/N_o กับ BER ที่อัตราข้อมูล 64 กิโลบิตต่อวินาที

สูงกว่า เมื่อเทียบกับการเข้ารหัสที่อัตราต่ำกว่าที่ค่า BER เดียวกัน ส่วนการเปรียบเทียบค่า C/N (Carrier to Noise) กับค่ากำลังงานส่งพบว่าการส่งที่กำลังงานส่งเดียวกัน ค่า C/N ของการเข้ารหัสด้วย FEC อัตรา 1/2 จะต่ำกว่าที่ FEC อัตรา 3/4 อยู่ 1 dB และค่า C/N ที่ FEC อัตรา 1/2 จะต่ำกว่า FEC อัตรา 7/8 อยู่ 2.7 dB เปรียบเทียบที่ค่า BER เท่ากับ 10^{-08} ซึ่งค่าที่ได้นี้จะใช้พิจารณาเลือกอัตราของการเข้ารหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.9 การเปรียบเทียบค่า BER และ E_b/N_o ของการส่งที่ 384 กิโลบิตต่อวินาที

รูปที่ 5.32 เป็นการเปรียบเทียบค่า E_b/N_o กับ BER ที่อัตราข้อมูล 384 กิโลบิตต่อวินาทีเมื่อเทียบกับค่า FEC อัตรา 1/2 อัตรา 3/4 และที่อัตรา 7/8 ผลจากการวัดสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า BER และค่า E_b/N_o ของการส่งนี้ได้ และพบว่ารูปของกราฟที่ได้มีลักษณะเดียวกับการส่งที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที โดยที่ค่า BER เดียวกัน การส่งที่ FEC อัตรา 1/2 ได้ค่า E_b/N_o ที่น้อยกว่า จากกราฟเปรียบเทียบค่า E_b/N_o ที่ 6 dB พบว่าที่ FEC อัตรา 1/2 ได้ค่า BER เป็น 10^{-08} ส่วนที่ FEC อัตรา 3/4 ได้ค่า BER เป็น 10^{-06} และที่ FEC อัตรา 7/8 ได้ค่า BER เป็น 10^{-04} ซึ่งจากการวัดพบว่าค่า BER ของ FEC อัตรา 1/2 จะดีกว่าที่อัตรา 3/4 และอัตรา 7/8 หรือถ้าหากเปรียบเทียบที่อัตรา BER 10^{-08} จะพบว่าผลต่างของค่า E_b/N_o ที่อัตรา 3/4 ต่างกัน 0.8 dB เมื่อเทียบกับอัตรา 1/2 และที่อัตรา 7/8 มีผลต่างอยู่ 2.6 dB เมื่อเทียบกับอัตรา 1/2 ซึ่งค่านี้จะใช้ในการพิจารณาเลือกการเข้ารหัสเพราะว่าผลต่างของอัตรา 3/4 จะแตกต่างเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับอัตรา 1/2 ซึ่งทำให้ใช้การเพิ่มกำลังงานส่งของอีกด้านเพียงเล็กน้อยก็จะได้ค่า BER เดียวกับอัตรา 1/2



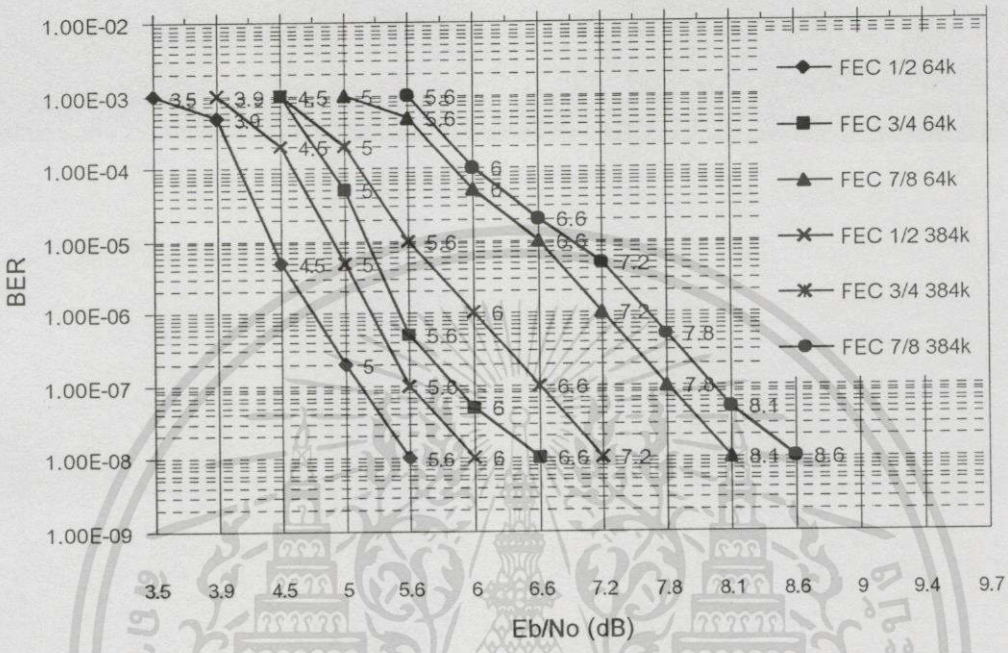
รูปที่ 5.32 การเปรียบเทียบค่า E_b/N_o กับ BER ที่อัตราข้อมูล 384 กิโลบิตต่อวินาที

5.3.1.10 เปรียบเทียบค่า BER และ E_b/N_o ของการส่งที่ 64 kbps และ 384 kbps

ในรูปที่ 5.33 เป็นการเปรียบเทียบค่า BER และค่า E_b/N_o ของการส่งข้อมูลที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาทีและ 384 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับการวัดค่า BER และค่า E_b/N_o นี้ทำในขณะที่สภาพอากาศแจ่มใสและเนื่องจากการทดลองใช้งานความถี่ที่ย่าน C ซึ่งย่านความถี่นี้ผลกระทบของสภาพอากาศอันเนื่องมาจากการตกของฝนมีผลน้อยกับการทำงานที่ย่านนี้ จากกราฟพบว่าที่อัตราการส่ง

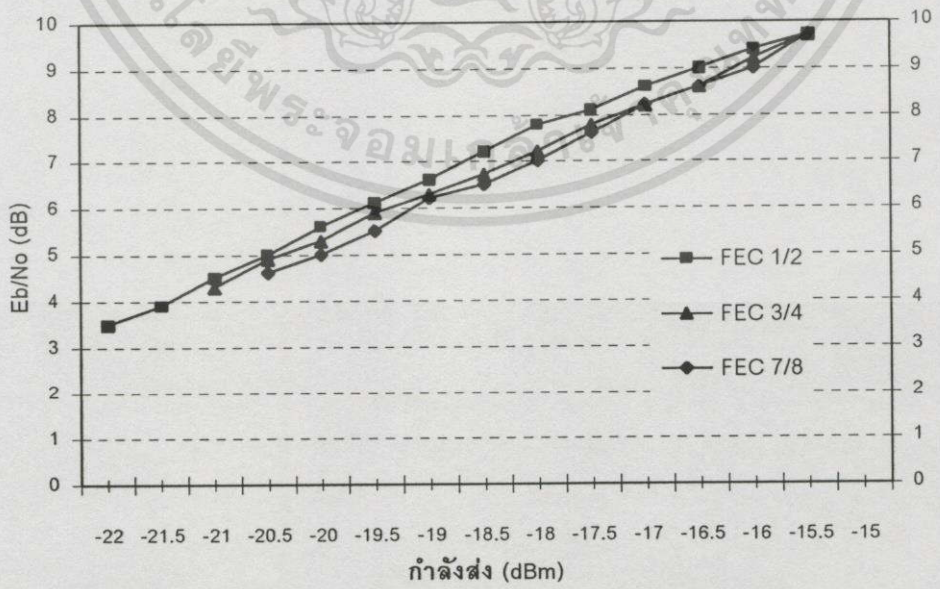
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างกันแต่ใช้ FEC อัตราเดียวกันจะใช้ค่า E_b/N_o ที่แตกต่างกันเล็กน้อยก็จะได้ค่า BER เดียวกัน เช่น ที่ BER เท่ากับ 10^{-08} ของการส่งที่ 64 และ 384 กิโลบิตต่อวินาทีค่าผลต่างจะมีเพียง 0.4 dB โดยที่อัตราการส่งข้อมูลที่ต่ำกว่าจะใช้ค่า E_b/N_o ที่ต่ำกว่าเพื่อที่จะได้ค่า BER เดียวกัน



รูปที่ 5.33 การเปรียบเทียบค่า E_b/N_o และค่า BER ของการส่งที่ 64 kbps และ 384 kbps

5.3.1.11 การเปรียบเทียบค่ากำลังงานส่ง และ E_b/N_o ของการส่งที่ 64 กิโลบิตต่อวินาที

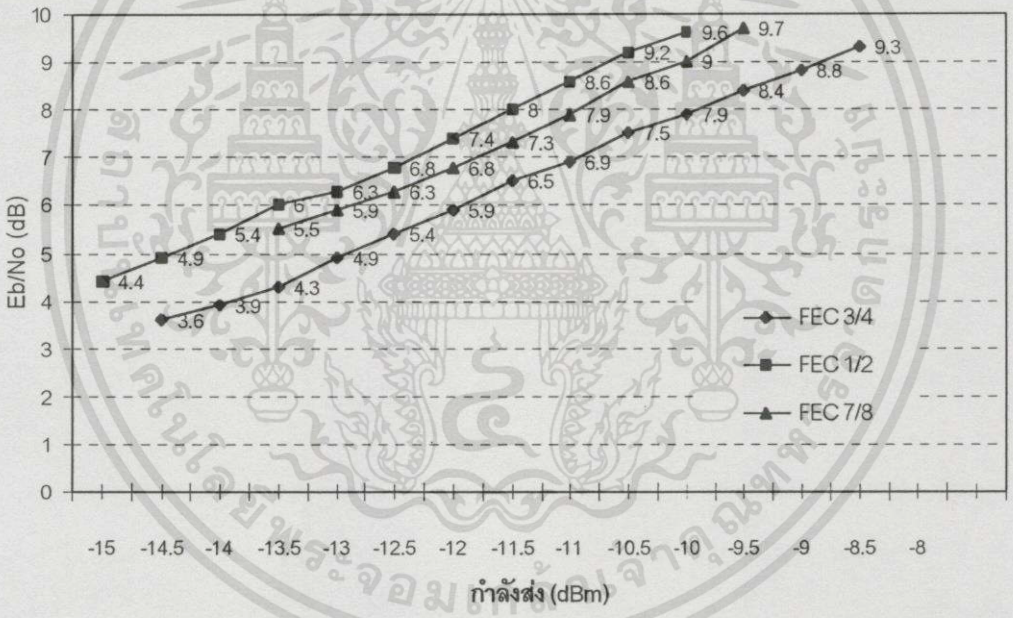


รูปที่ 5.34 การเปรียบเทียบค่ากำลังงานส่งและค่า E_b/N_o ของการส่งที่ 64 กิโลบิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.34 เป็นการเปรียบเทียบค่ากำลังงานส่งของสถานีส่งกับค่า E_b/N_o ของสถานีรับที่การส่งข้อมูลด้วยอัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที โดยใช้ FEC ที่อัตรา 1/2 อัตรา 3/4 และอัตรา 7/8 จากกราฟพบว่าที่ FEC อัตรา 1/2 เครื่องรับสามารถรับสัญญาณได้ดีแม้ในค่า E_b/N_o ที่ค่าต่ำๆ หมายถึงไม่จำเป็นต้องใช้กำลังงานส่งที่สูงนัก ส่วนเครื่องรับส่งที่ใช้ FEC อัตรา 3/4 ต้องใช้กำลังงานส่งที่สูงกว่าที่อัตรา 1/2 จึงจะสามารถรับสัญญาณได้ ซึ่งที่ FEC อัตรา 7/8 ก็เช่นกัน ในที่นี้ทำการเปรียบเทียบค่ากำลังงานส่งที่ -19.5 dBm พบว่า FEC อัตรา 1/2 ได้ค่า E_b/N_o เท่ากับ 6.1 dB ส่วนที่ FEC อัตรา 3/4 ได้ค่า E_b/N_o เท่ากับ 5.9 dB และที่ FEC อัตรา 7/8 ได้ค่า E_b/N_o เท่ากับ 5.5 dB และจากกราฟจะพบว่าค่า E_b/N_o ของ FEC อัตรา 1/2 จะสูงกว่าทั้ง 2 อัตราเสมอ ส่วนที่ FEC อัตรา 3/4 นั้นบางครั้งค่า E_b/N_o ที่ได้ก็ไม่ได้สูงกว่าอัตรา 7/8 เสมอไปมีบางครั้งอาจได้ค่าที่เท่ากันได้

5.3.1.12 การเปรียบเทียบค่ากำลังงานส่ง และ E_b/N_o ของการส่งที่ 384 กิโลบิตต่อวินาที

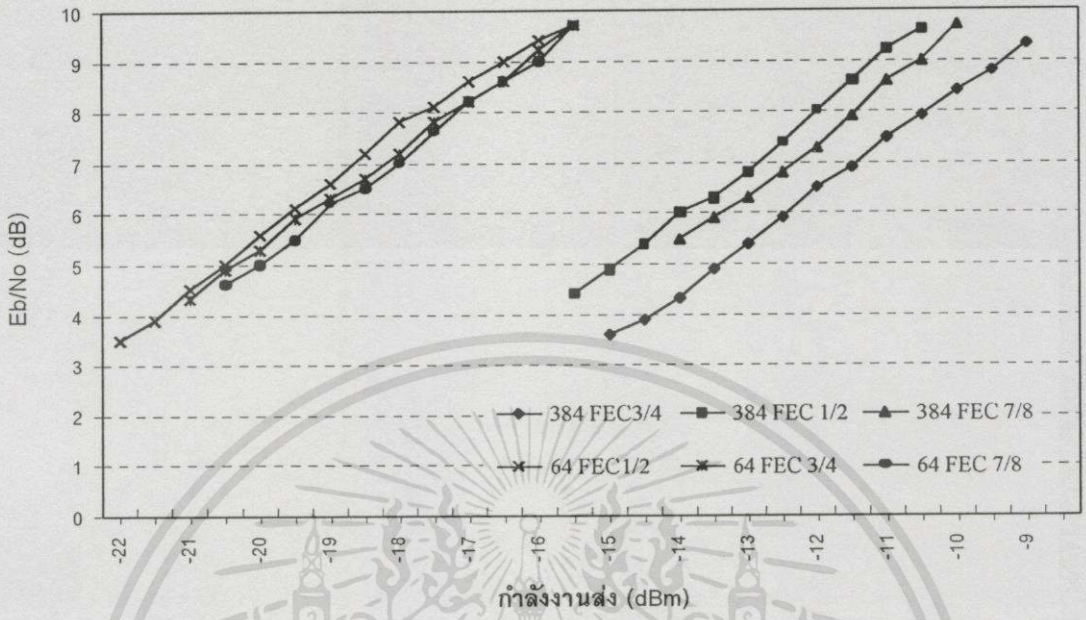


รูปที่ 5.35 การเปรียบเทียบค่ากำลังงานส่งและ E_b/N_o ของการส่งที่ 384 กิโลบิตต่อวินาที

ในรูปที่ 5.35 เป็นการเปรียบเทียบกำลังงานส่งและ E_b/N_o ของการส่งที่อัตราข้อมูล 384 กิโลบิตต่อวินาที โดยการมอดูเลตแบบ QPSK และใช้การเข้ารหัสแบบ FEC ด้วยอัตรา 1/2 อัตรา 3/4 และอัตรา 7/8 และพบว่าการส่งที่อัตราข้อมูลสูงกว่าต้องใช้กำลังงานส่งที่สูงกว่าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.13 การเปรียบเทียบค่ากำลังงานส่งและ E_b/N_o ของการส่งที่ 64 kbps และ 384 kbps



รูปที่ 5.36 การเปรียบเทียบค่ากำลังงานส่งและ E_b/N_o ของการส่งที่ 64 kbps และ 384 kbps

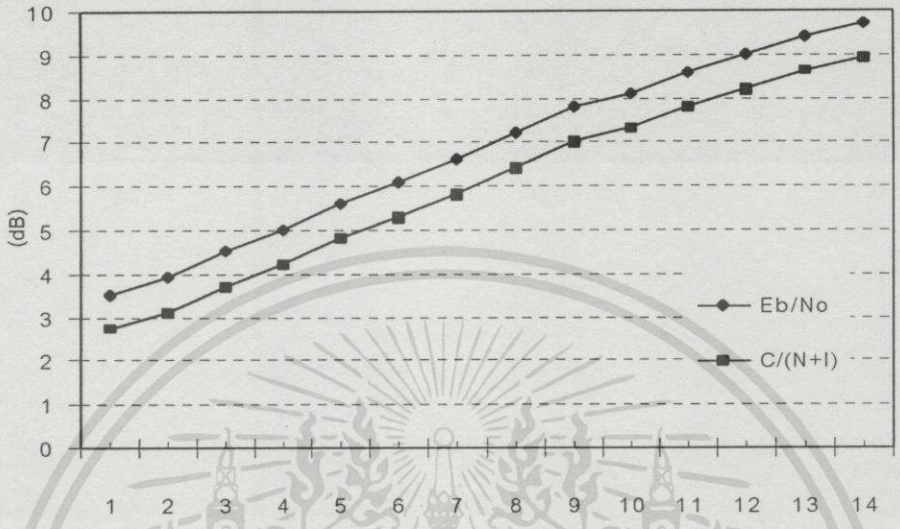
ในรูปที่ 5.36 เป็นการเปรียบเทียบการส่งข้อมูลที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที และ 384 กิโลบิตต่อวินาทีโดยเปรียบเทียบถึงกำลังงานในการส่ง พบว่าที่การส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาทีจำเป็นต้องใช้กำลังงานส่งที่สูงกว่าการส่งข้อมูลด้วยอัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที ทั้งนี้เพราะขนาดของข้อมูลมีจำนวนที่มากกว่า ดังนั้นเมื่อมีการมอดูเลตก็จำเป็นต้องใช้แบนด์วิดท์ที่กว้างกว่า รวมถึงต้องใช้กำลังงานในการส่งที่สูงกว่า โดยพบว่าที่การส่ง 64 กิโลบิตต่อวินาทีช่วงของการทำงานที่ได้ค่า E_b/N_o ตั้งแต่ 3.6 dB จนถึง 9.7 dB เริ่มต้นที่ -22 dBm จนถึง -15.5 dBm ส่วนที่การส่ง 384 กิโลบิตต่อวินาทีค่า E_b/N_o ตั้งแต่ 3.6 dB จนถึง 9.7 dB มีค่าตั้งแต่ -15.5 dBm จนถึง -9.5 dBm ซึ่งผลต่างของระดับการรับสัญญาณ E_b/N_o ที่ต่ำสุดของอัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาทีกับอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาทีในเชิงของกำลังงานส่งมีค่าต่างกัน 6 dB

5.3.1.14 การเปรียบเทียบค่า C/(N+I) และ E_b/N_o ของการส่งที่ 64 kbps

ค่า C/(N+I) กับค่า E_b/N_o เป็นค่าที่สัมพันธ์กันโดยสามารถหาค่า E_b/N_o ได้จากการนำเอาค่า C/(N+I) ไปรวมกับค่า 10log(Noise BW/Data Rate) ซึ่งค่า C/(N+I) นี้จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรแบนด์วิดท์ของสัญญาณรบกวน และค่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณรบกวนนี้ขึ้นอยู่กับค่า FEC ที่ใช้ว่ามีอัตราเป็นเช่นไร ถ้าค่า FEC มีอัตราสูงค่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณรบกวนก็จะแคบกว่าอัตราการส่งข้อมูล ในรูปที่ 5.37 ค่าที่ได้จากการใช้ FEC อัตรา 1/2 จะได้ค่า E_b/N_o ที่มีค่าสูง

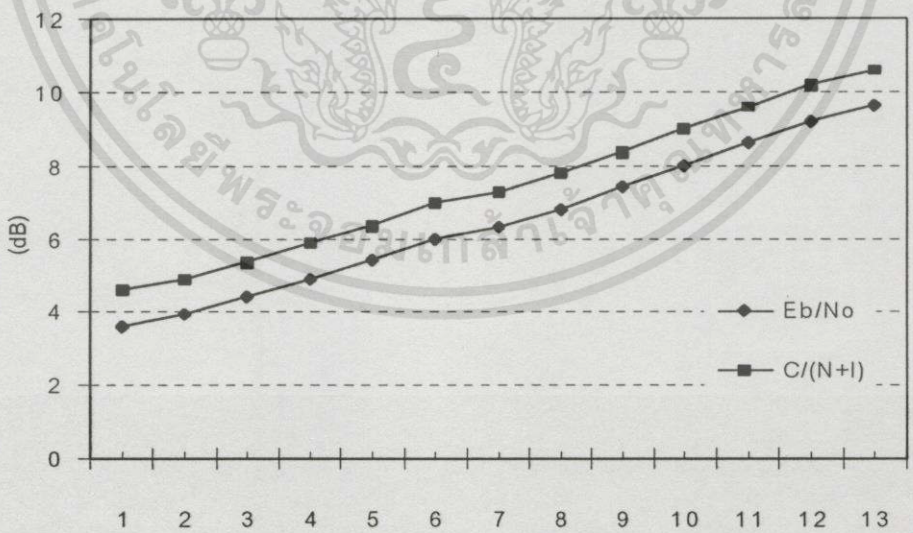
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าค่า C/(N+I) เพราะค่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณรบกวนมีค่าสูงกว่าค่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ใช้ส่งจากการคำนวณจึงได้ค่า E_b/N_o จะมีค่าสูงกว่าค่า C/(N+I)



รูปที่ 5.37 การเปรียบเทียบค่า C/(N+I) และ E_b/N_o ของการส่งที่ 64 kbps

5.3.1.15 การเปรียบเทียบค่า C/(N+I) และ E_b/N_o ของการส่งที่ 384 kbps



รูปที่ 5.38 การเปรียบเทียบค่า C/(N+I) และ E_b/N_o ของการส่งที่ 384 kbps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.38 เป็นการเปรียบเทียบค่า C/(N+I) และ E_b/N_o ของการส่งที่ 384 กิโลบิตต่อวินาที ผลที่ได้พบว่าค่า C/(N+I) มีค่าแตกต่างกับรูปที่ 5.37 คือค่า C/(N+I) สูงกว่าค่า E_b/N_o สาเหตุเนื่องมาจากการใช้ FEC อัตรา 3/4 แทนอัตรา 1/2 ในการเข้ารหัสซึ่งทำให้ค่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณรบกวนมีค่าน้อยกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ใช้ส่งซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการ 10log(Noise BW/Data Rate) ในที่นี้แบนด์วิดท์ของการส่งข้อมูลมีค่า 384 กิโลบิตต่อวินาที และค่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณรบกวนที่ FEC อัตรา 3/4 ของการส่งข้อมูลที่ค่านี้มีค่าเป็นประมาณ 307 กิโลบิตต่อวินาที ดังนั้นค่า 10log(384/307) มีค่าเป็น 0.9719 และค่าที่ได้นี้จะเป็นค่าคงที่เพื่อใช้ในการคำนวณค่า C/(N+I) หรือค่า E_b/N_o ต่อไป

5.3.1.16 การเปรียบเทียบค่า C/(N+I) และ E_b/N_o ของการส่งที่ 64 kbps และ 384 kbps

รูปที่ 5.39 การเปรียบเทียบค่า C/(N+I) และ E_b/N_o ของการส่งที่ 64 kbps และ 384 kbps

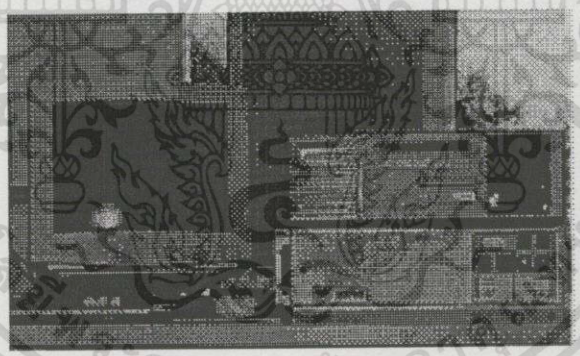
สำหรับรูปที่ 5.39 เป็นการเปรียบเทียบค่าจากรูปที่ 5.37 และ 5.38 เข้าด้วยกันพบว่าค่า E_b/N_o ของการส่งที่ 64 กิโลบิตต่อวินาที มีค่าใกล้เคียงกับ C/(N+I) ที่ 384 กิโลบิตต่อวินาที ส่วนค่า C/(N+I) ของการส่งที่ 64 กิโลบิตต่อวินาที จะแตกต่างกับค่า C/(N+I) ของการส่งที่ 384 กิโลบิตต่อวินาทีมากเนื่องจากค่า FEC ที่ใช้เป็นอัตราที่แตกต่างกันคือที่การส่งข้อมูลด้วยอัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาทีใช้ FEC อัตรา 1/2 ซึ่งค่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณรบกวนจะมีสูงกว่าอัตราการส่งข้อมูล ส่วนที่การส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาทีใช้ FEC อัตรา 3/4 ซึ่งค่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณรบกวนจะมีค่าน้อยกว่าอัตราการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 การทดสอบระบบใช้งานจริง

ในการทดสอบการใช้งานจริงแบ่งการทดสอบเป็นสองส่วน คือที่การควบคุมการทำงานของระบบผ่านซอฟแวร์ที่ออกแบบซึ่งสามารถทำได้เป็นที่น่าพอใจโดยสามารถควบคุมได้จากทั้งต้นทางและปลายทางแต่มีข้อจำกัดตรงจำนวนสถานีปลายทางมีจำนวนสูงสุดได้ไม่เกิน 5 สถานี เพราะถ้ามากกว่านี้การส่งสัญญาณควบคุมจะทำได้ช้าเมื่อทำการควบคุมจากด้านปลายทาง และในส่วนของสัญญาณโทรศัพท์ โทรสารและการเชื่อมโยงโครงข่ายข้อมูลผ่านเราท์เตอร์สามารถทำงานได้ผลดี

รูปที่ 5.40 เป็นชุดควบคุมซึ่งประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ควบคุมพร้อมซอฟแวร์ ส่วนด้านขวามือเป็นเครื่องรับส่ง SDM 650B และตัวมัลติเพลกซ์ MICOM รุ่น 5K โดยอุปกรณ์ทั้งสามชิ้นเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ปลายทางทั้งสิ้น ภายในตัวมัลติเพลกซ์จะมีการรวมการส่งสัญญาณเสียงที่อัตรา 8 กิโลบิตต่อวินาที สัญญาณโทรสารที่อัตรา 9.6 กิโลบิตต่อวินาที สัญญาณข้อมูลที่อัตรา 38.4 กิโลบิตต่อวินาที และช่องสัญญาณควบคุมจากต้นทางที่อัตรา 9.6 กิโลบิตต่อวินาที และช่องสัญญาณควบคุมจากต้นทางที่อัตรา 9.6 กิโลบิตต่อวินาทีสำหรับคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมใช้คอมพิวเตอร์รุ่นที่มีความเร็วตั้งแต่เพ็นเทียมขึ้นไป สำหรับหน่วยความจำควรมีตั้งแต่ 32 Mbps ขึ้นไป และซอฟแวร์ที่ต้องการเป็นวินโดวส์ 95 หรือวินโดวส์รุ่นอื่นๆ ก็ได้



รูปที่ 5.40 ชุดอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบ

5.3.2.1 ค่า E_b/N_o และ BER ที่ใช้งานจริง

จากการทดสอบระบบส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาทีและ 64 กิโลบิตต่อวินาที ในการใช้งานจริงสามารถหาค่า BER และค่า E_b/N_o ของการทำงานของระบบที่สามารถยอมรับได้และที่ไม่สามารถยอมรับได้ของการทดลองนี้โดยค่า E_b/N_o ต่ำสุดคือค่าที่การทำงานของระบบยังสามารถยอมรับได้ หมายถึงเครื่องรับสามารถทำงานได้ โดยตัวมัลติเพลกซ์ไม่มีการขอส่งข้อมูลซ้ำ สำหรับค่า E_b/N_o ที่ใช้ได้ดีจากตารางหมายถึงค่าที่ได้ทำการเพื่อผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศเอาไว้ด้วย ทำให้เวลาเกิดฝนตกหนักแล้วระบบไม่เกิดการขอส่งข้อมูลซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

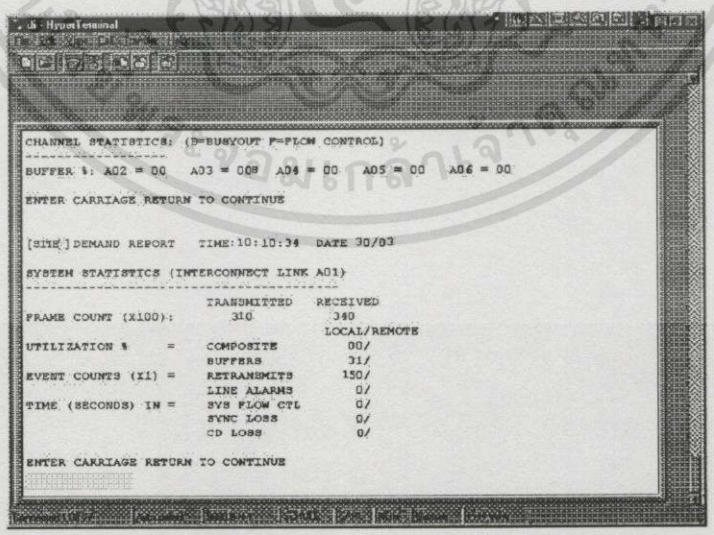
ส่วนค่าบิตผิดพลาดสูงสุดคือค่าที่ระบบยังสามารถทำงานได้ ซึ่งสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังตาราง ที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ค่า BER และ E_b/N_o ของระบบที่ออกแบบ

รูปแบบการส่ง	E_b/N_o (dB)		บิตผิดพลาด	
ที่ FEC 3/4	ต่ำสุด	ใช้ได้ดี	สูงสุด	ใช้ได้ดี
64 kbps	5.7	8	10^{-7}	$< 10^{-8}$
384 kbps	7.7	9.6	10^{-9}	$<10^{-9}$

ตารางที่ 5.7 เป็นการแสดงค่า E_b/N_o และ BER ของทั้ง 2 ระบบคือที่ 64 กิโลบิตต่อวินาที และ 384 กิโลบิตต่อวินาทีพบว่าค่าที่ต่ำที่สุดที่ระบบ 64 กิโลบิตต่อวินาทียังสามารถทำงานได้ดีอยู่ คือ 5.7 dB ส่วนค่าที่สามารถใช้งานได้ดีคือ 8 dB และในส่วนของค่า BER ที่สามารถมีได้สูงสุดอยู่ที่ 10^{-07} และค่าที่สามารถใช้งานได้ดีคือน้อยกว่า 10^{-08} ในส่วนของการส่งข้อมูลที่ 384 กิโลบิตต่อวินาที ค่า E_b/N_o ต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้คือ 7.7 dB โดยที่ไม่ทำให้สัญญาณภาพเกิดการหยุดชะงัก และค่าที่ใช้งานได้ดีอยู่ที่ 9.6 dB ส่วนค่า BER ที่สามารถยอมรับได้อยู่ที่ 10^{-09} และค่าที่สามารถใช้งานได้ดีคือค่าที่น้อยกว่า 10^{-09}

5.3.2.2 ค่า E_b/N_o ที่ทำให้เกิดการขอส่งข้อมูลซ้ำ



รูปที่ 5.41 การเกิด Retransmits ในตัวมัลติเพลกซ์ที่ค่า E_b/N_o ได้ 5.7 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนรูปที่ 5.41 เป็นการเกิดการขอส่งข้อมูลซ้ำ (retransmits) ในตัวมัลติเพลกซ์ เมื่อการรับสัญญาณของเครื่องรับมีค่า E_b/N_o เป็น 5.7 dB ซึ่งส่งผลกระทบทำให้คุณภาพของโทรศัพท์ผ่านดาวเทียมลดลง คือสัญญาณเสียงขาดหาย บางครั้งมีเสียงสะท้อนเกิดขึ้น ในส่วนของโทรสารการส่งจะทำไม่ได้ ในส่วนของการส่งข้อมูลจะทำได้ช้ามาก ในที่นี้ใช้โปรแกรม Hyper Terminal ในการเป็นโปรแกรมสื่อสารกับตัวมัลติเพลกซ์และอ่านค่าการรขอส่งข้อมูลซ้ำออกมา

5.3.2.3 เวลาในการสวิตช์สถานี

ความเร็วในการสวิตช์ข้อมูลหรือความเร็วในการสวิตช์สถานีเป็นการทดสอบความสามารถในการสวิตช์ข้อมูลเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงสถานีรับส่งข้อมูลทั้งนี้เนื่องจากจำนวนสถานีมีผลต่อความยาวของซอฟแวร์ที่ใช้ เพราะซอฟแว์ต้องอาศัยกาส่งข้อมูลแบบไฟล์ตัวอักษร ยิ่งถ้าจำนวนสถานีมีมากเท่าใดเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลก็ยิ่งมากขึ้นทำให้เวลาของการซิงโคนัสของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมตัวสุดท้ายทำได้ช้า และสามารถแสดงเวลาในการซิงโครนัสสัญญาณของเครื่งรับส่งสัญญาณดาวเทียมต่อจำนวนสถานีได้จากตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ความเร็วในการสวิตช์สถานี

จำนวนสถานี	2 สถานี	3 สถานี	4 สถานี	5 สถานี	6 สถานี
เวลาในการซิงโครนัส(วินาที)	5	8	10	12	15

จากตารางที่ 5.7 เป็นเวลาที่ใช้ในการซิงโครนัสสัญญาณของเครื่องรับส่งสัญญาณ SDM 650B ตัวแรกจนถึงตัวสุดท้ายที่ซิงโครนัสสัญญาณได้ โดยเวลาที่ใช้ในการซิงโครนัสสัญญาณในตารางที่ 5.7 มีหน่วยเป็นวินาที และจากการทดลองพบว่าเวลาจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนสถานีมีมากขึ้น สาเหตุเพราะคำสั่งในการควบคุมยาวมากขึ้นกว่าจะหมดชุดคำสั่งและทำคำสั่งอื่น แต่เวลาในการซิงโครนัสไม่ใช่เวลาที่สัญญาณเสถียร ซึ่งเวลาเสถียรจะกล่าวในหัวข้อถัดไปในที่นี้จากกการทดลองพบว่าเวลาที่ระบบที่ออกแบบสามารถทำงานได้ดีที่สุดอยู่ที่ 12 วินาที ซึ่งจากตารางคือจำนวนสถานีปลายทางสามารถมีได้สูงสุด 5 สถานี

5.3.2.4 ระดับความแรงของสัญญาณในการสวิตช์สถานีเทียบกับค่า E_b/N_o ของสถานี

การเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณทำไปเพื่อตรวจสอบความเร็วของการรับส่งสัญญาณว่าที่อัตรา E_b/N_o ที่ค่าเท่าใดใช้เวลาในการซิงโครนัสเป็นเวลาเท่าใด ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบเวลาและสามารถแสดงเวลาในการซิงโครนัสสัญญาณดังแสดงได้ในตารางที่ 5.8 และตารางที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 เวลาในการซิงโครนัสของสัญญาณเทียบกับค่า E_b/N_o ที่การส่งข้อมูล 64 kbps

E_b/N_o (dB)	9.5	9.0	8.5	8.0	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5
เวลาในการซิงโครนัส (วินาที)	60	60	63	65	70	72	75	80	85	90	93

จากตารางที่ 5.8 เป็นการเปรียบเทียบระดับสัญญาณที่รับได้หรือค่า E_b/N_o ของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ที่การส่งข้อมูลด้วยอัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที โดยทำการตั้งเครื่องรับส่งให้สามารถรับสัญญาณได้ค่า E_b/N_o ที่กำหนดในตารางแล้วจึงทำการหยุดส่งคลื่นพาห์และเมื่อเริ่มทำการส่งคลื่นพาห์อีกครั้งก็เริ่มจับเวลาจนกระทั่งเครื่องรับส่งสัญญาณสามารถซิงโครนัสสัญญาณได้จึงอ่านค่าเวลาที่ได้ออกมา สำหรับค่าเวลาในตารางที่ 5.8 และ 5.9 มีหน่วยเป็นวินาที ซึ่งผลการทดลองพบว่าเวลาในการซิงโครนัสสัญญาณจะใช้เวลามากขึ้นเมื่อการรับสัญญาณได้ไม่ดี และอัตราขยายของจานสายอากาศด้านรับก็มีผลต่อเวลาในการซิงโครนัสสัญญาณด้วย

ตารางที่ 5.9 เวลาในการซิงโครนัสสัญญาณเทียบกับค่า E_b/N_o ที่การส่งข้อมูล 384 kbps

E_b/N_o (dB)	9.5	9.0	8.5	8.0	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5
เวลาในการซิงโครนัส (วินาที)	5.3	4.0	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	7.0
เวลาในการเสถียร (วินาที)	5.0	12	14	14	15	15	20	20	25	25	30

ตารางที่ 5.9 แสดงถึงเวลาในการซิงโครนัสสัญญาณของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM 650B ที่การส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งพบว่าเวลาที่ใช้ในการซิงโครนัสสัญญาณจะเร็วกว่าการส่งข้อมูลที่อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาทีและค่าเวลาที่ได้มีค่าแตกต่างกันน้อยกว่าเมื่อเทียบกับค่า E_b/N_o ที่ค่าต่างๆ สำหรับหน่วยในการวัดค่าในตารางที่ 5.9 มีหน่วยเวลาเป็นวินาที และเวลาในการซิงโครนัสสัญญาณเป็นเวลาที่เครื่องรับส่งสัญญาณสามารถรับค่า E_b/N_o ได้เท่ากับค่าที่กำหนดและจะใช้เวลานานกว่าเวลาในการซิงโครนัสสัญญาณ

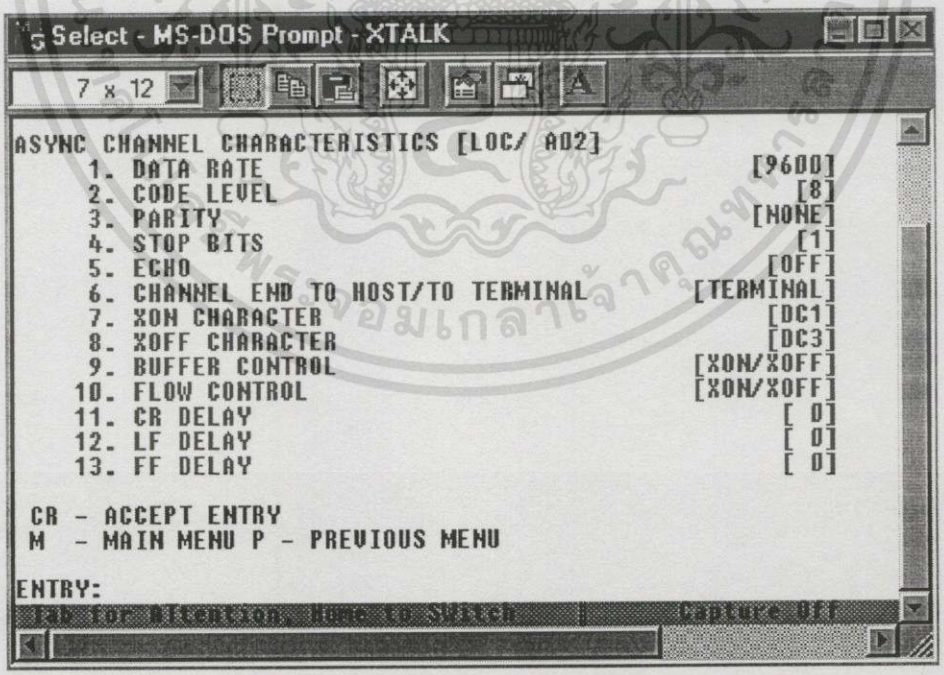
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การกำหนดพารามิเตอร์ของตัวมัลติเพลกซ์ในการออกแบบ

การกำหนดการทำงานของตัวมัลติเพลกซ์ซึ่งต้องกำหนดให้มีการทำงานหลายรูปแบบในที่นี้จะกล่าวถึงการกำหนดพารามิเตอร์ของพอร์ทที่ใช้ในการต่ออุปกรณ์เราท์เตอร์ซึ่งมีการทำงานของช่องสัญญาณแบบซิงโครนัส และการกำหนดพารามิเตอร์ของพอร์ทอะซิงโครนัสที่ใช้สำหรับเป็นพอร์ทควบคุมการทำงานของระบบ SCPC DAMA ตลอดจนการกำหนดพารามิเตอร์ของพอร์ทที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเสียงและพอร์ทที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณโทรสารซึ่งมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันและสามารถแสดงวิธีการกำหนดพารามิเตอร์ในแต่ละรูปแบบได้ดังนี้

5.4.1 การกำหนดพารามิเตอร์ของพอร์ทอะซิงโครนัสของตัวมัลติเพลกซ์สำหรับชุดควบคุม

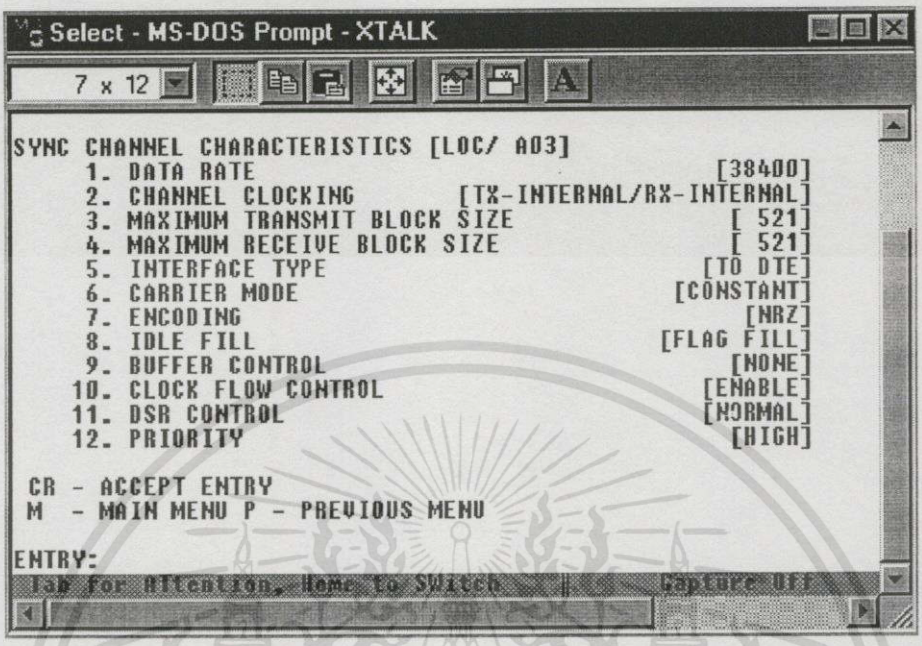
ในรูปที่ 5.42 เป็นอินเตอร์เฟสที่ใช้ในการเชื่อมต่อพอร์ทอะซิงโครนัส ของอุปกรณ์ตัวมัลติเพลกซ์ ซึ่งมีพารามิเตอร์คร่าวๆ ที่จำเป็นต้องกำหนดคือการทำงานที่อัตรา 9600 บิตต่อวินาที มีระดับข้อมูลที่ใช้ส่งเป็น 8 บิต มีพาริตี้เป็น None และมีบิตปิดท้ายเป็น 1ในหัวข้อที่ 6 เป็นตัวบอกว่าอุปกรณ์ที่นำไปต่อด้วยเป็น Terminal หรือเครื่อง PC ทั่วๆ ไปซึ่งในหัวข้อนี้ยังสามารถกำหนดให้เป็น Host ได้อีก สำหรับค่า XON Character และ XOFF Character ถูกกำหนดให้มีการทำงานเป็น DC1 และ DC3 ส่วนหัวข้อของค่า Buffer control และหัวข้อของค่า Flow control ถูกให้ทำงานในโหมดของ XON/XOFF



รูปที่ 5.42 อินเตอร์เฟสของการกำหนดการทำงานแบบอะซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 การกำหนดพารามิเตอร์ของพอร์ทซิงโครนัสสำหรับเชื่อมโยงเราท์เตอร์

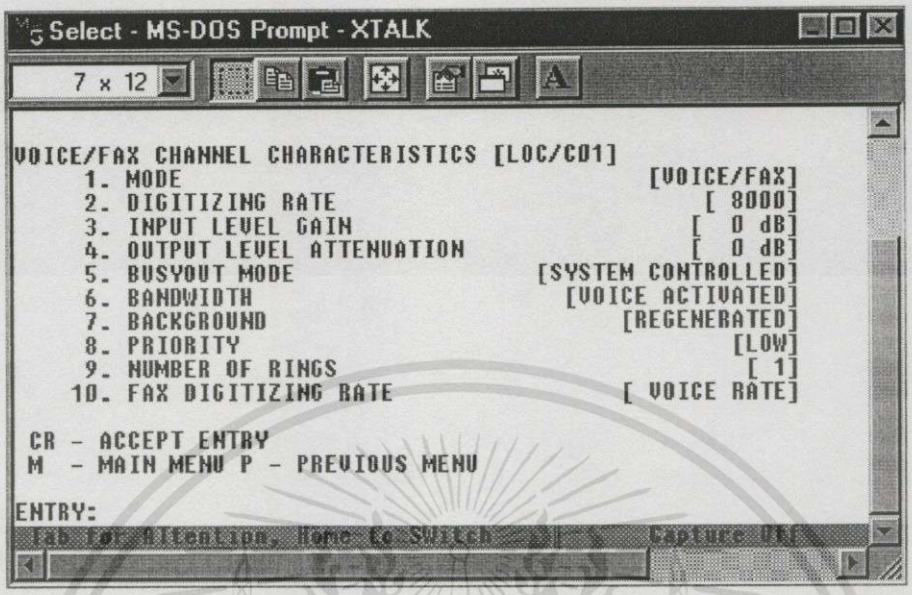


รูปที่ 5.43 อินเตอร์เฟสของการทำงานแบบซิงโครนัสของตัวมัลติเพลกซ์

ในรูปที่ 5.43 เป็นการกำหนดความเร็วในการส่งข้อมูลสามารถกำหนดได้จากหัวข้อ Data Rate ซึ่งความเร็วสูงสุดของอินเตอร์เฟส RS-232C สามารถทำงานได้ที่ 38.4 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับในหัวข้อ Channel Clock เป็นการกำหนดให้ตัวมัลติเพลกซ์ทำการจ่ายสัญญาณนาฬิกา หรือให้อุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับตัวมัลติเพลกซ์ทำหน้าที่จ่ายสัญญาณนาฬิกา โดยที่ยังสามารถกำหนดได้อีกว่าด้านส่งเป็นตัวจ่ายสัญญาณนาฬิกา (Tx-Internal) และด้านรับเป็นตัวรับสัญญาณนาฬิกา (Rx-External) แต่ในที่นี้กำหนดให้ทั้งด้านส่งและด้านรับทำหน้าที่จ่ายสัญญาณนาฬิา ในหัวข้อ Maximum Transmit Block Size และ Maximum Receive Block Size เป็นการกำหนดจำนวนของบล็อกข้อมูลสูงสุดที่สามารถส่งและรับได้โดยต้องทำให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะนำมาต่อด้วย ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเป็น 521 เท่ากันทั้งค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ส่วนหัวข้อ Interface Type เป็นตัวบอกว่าพอร์ทที่จะนำไปต่อด้วยเป็นอุปกรณ์ DTE หรือ DCE ในที่นี้กำหนดให้ต่อกับ DTE ส่วนหัวข้อ Encoding สามารถเลือกให้เป็น NRZ หรือ NRZI และหัวข้อ Idle Fill สามารถเลือกให้เป็น Flag Fill หรือ Mark Fill หัวข้อ DSR Control สามารถกำหนดให้มีการทำงานแบบ Normal หรือแบบ Force On ได้ โดยถ้ากำหนดเป็น Force On จะเป็นการสั่งให้สัญญาณ DSR อยู่ในสภาวะ High ตลอด ในรูปที่ 5.43 นี้เป็นอินเตอร์เฟสที่ใช้จริงกับอุปกรณ์เราท์เตอร์ Cisco

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 การกำหนดพารามิเตอร์ของพอร์ทสัญญาณเสียงของตัวมัลติเพลกซ์

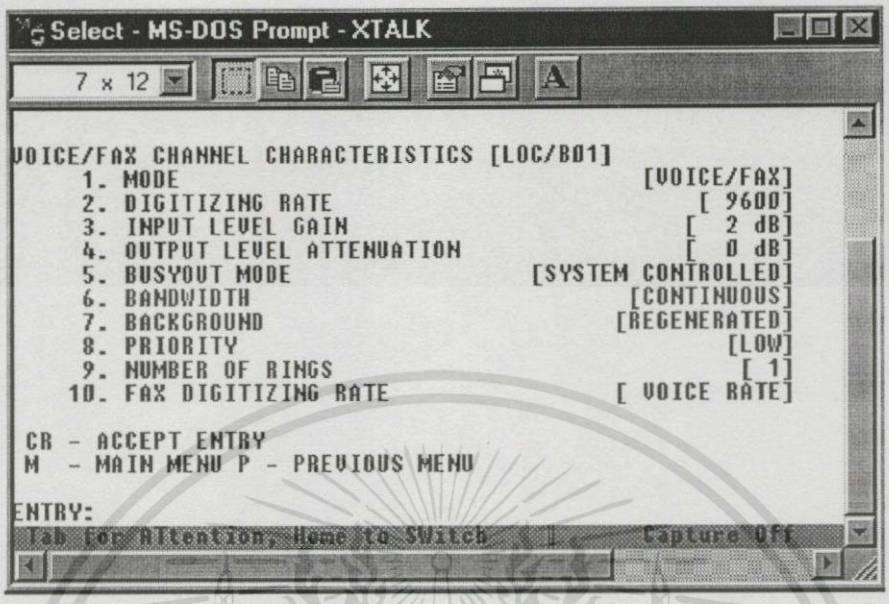


รูปที่ 5.44 อินเตอร์เฟสของการกำหนดพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณเสียง

รูปที่ 5.44 เป็นอินเตอร์เฟสของช่องสัญญาณเสียงของตัวมัลติเพลกซ์ MICOM โดยมีสิ่งที่สำคัญดังนี้ หัวข้อ Mode สามารถเลือกให้ทำงานในโหมดสัญญาณเสียงหรือสัญญาณโทรสารและอาจเลือกให้ใช้ได้ทั้งสัญญาณเสียงและสัญญาณโทรสาร หัวข้อ Digitizing Rate เป็นอัตราการแซมปลิงข้อมูลของช่องสัญญาณนั้นในที่นี้ถ้าเป็นการส่งสัญญาณเสียงอย่างเดียวจะให้อัตราอยู่ที่ 8000 bits ส่วนหัวข้อ Input Level Gain เป็นการปรับอัตราขยายของสัญญาณเสียงที่เข้ามาให้มีอัตราขยายที่สูงขึ้น หัวข้อ Output Level Attenulation ทำหน้าที่ลดระดับสัญญาณเสียงที่ส่งออกไปให้ค่อยลง ทั้ง 2 หัวข้อนี้ถ้าหากมีการปรับไว้ให้ค่าสูงจะทำให้เกิดเสียงสะท้อนขึ้นในการส่งผ่านสื่อกลางที่เป็นระบบดาวเทียมได้เพราะในระบบมีค่าเวลาหน่วงสูงมาก หัวข้อ Busy Mode กำหนดให้ระบบเป็นตัวจัดการทั้งหมด หัวข้อ Bandwidth ในที่นี้แบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ Voice Activate เป็นการกำหนดให้ตัวมัลติเพลกซ์ทำการจองช่องสัญญาณเพื่อใช้งานเฉพาะในโหมดของการส่งโทรสารเท่านั้น ถ้ากำหนดเป็น Continuous เป็นการบอกให้ตัวมัลติเพลกซ์ทำการจองช่องสัญญาณค้างเมื่ออยู่ในการทำงานทั้งในโหมดสัญญาณเสียงและการส่งโทรสาร ถ้ากำหนดให้อยู่ในโหมด Dynamic ตัวมัลติเพลกซ์จะมีการยอมให้ทำงานที่อัตราเดียวกับ Digitizing rate เท่านั้น และระบบโทรสารจะไม่สามารถส่งผ่านได้ หัวข้อ BackGround เป็นการกำหนดให้ตัวมัลติเพลกซ์กำเนิดสัญญาณรบกวนเล็กน้อยออกมาเมื่อไม่มีเสียงพูดลงไปในช่องสัญญาณเสียงเมื่อกำหนด Back Ground เป็น Regenerate แต่ถ้ากำหนดเป็น Silence จะทำให้เวลาไม่มีเสียงพูดเสียง Back Ground จะเงียบซึ่งไม่ค่อยเป็นธรรมชาติ หัวข้อ Fax Digitizing Rate เป็นการกำหนดอัตราการแซมปลิงสัญญาณโทรสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.4 การกำหนดพารามิเตอร์ของพอร์ทโทรสารของตัวมัลติเพลกซ์



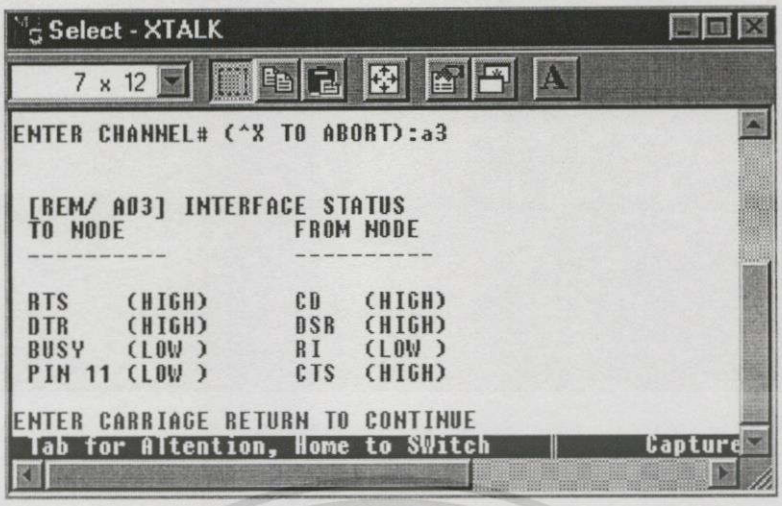
รูปที่ 5.45 อินเตอร์เฟสของการต่อระบบโทรสาร

ในรูปที่ 5.45 อินเตอร์เฟสของการต่อระบบโทรสารซึ่งเป็นอินเตอร์เฟสเดียวกับการส่งสัญญาณเสียงจะแตกต่างกันตรง Digitizing Rate ซึ่งใช้ที่อัตรา 9.6 กิโลบิตต่อวินาที และหัวข้อ Bandwidth เพราะจะไม่สามารถกำหนดให้เป็นแบบ Dynamic ได้เพราะการกำหนดแบบนี้ระบบจะไม่รองรับการส่งโทรสารผ่านตัวมัลติเพลกซ์ และถ้าหากแบนด์วิดท์เหลือพอควรกำหนดให้แบนด์วิดท์เป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous) ไว้สำหรับการส่งโทรสารจะดีที่สุด

5.4.5 การตรวจสอบสถานะของพอร์ทสื่อสารข้อมูล

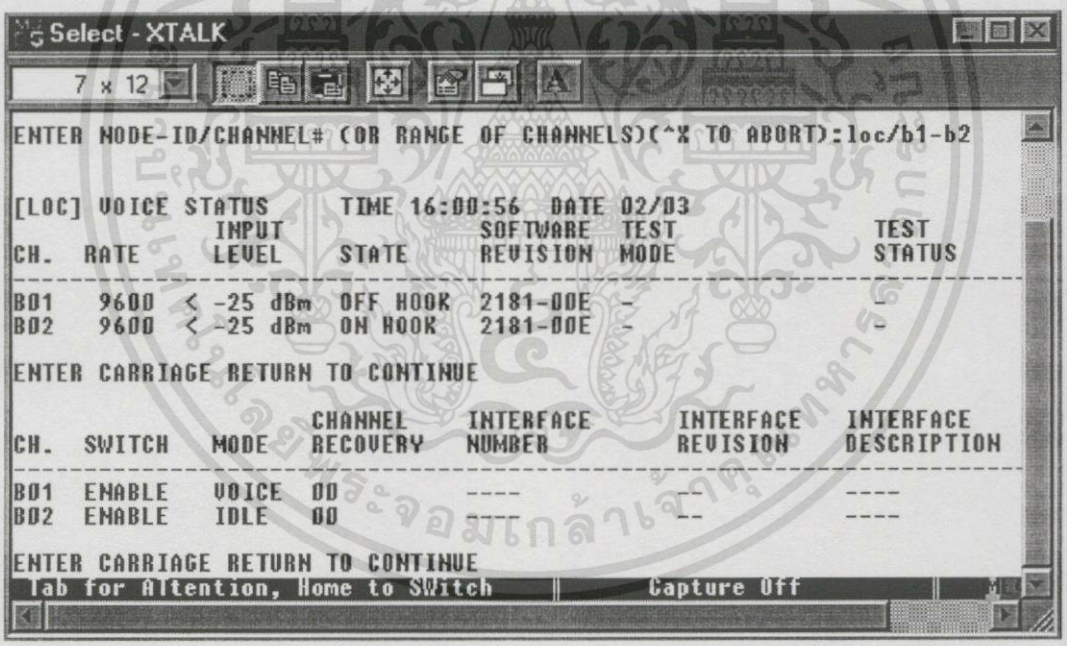
ในรูปที่ 5.46 เป็นสถานะทางกายภาพของพอร์ทสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัสของตัวมัลติเพลกซ์ที่สามารถดูได้ในที่นี้ประกอบด้วยสถานะ 2 อย่างคือ High และ Low โดยประกอบด้วยสัญญาณของตัวมัลติเพลกซ์คือ CD, DSR และ CTS ซึ่งมีสถานะเป็น High หมด และสัญญาณในส่วนของอุปกรณ์ที่นำมาต่อกับตัวมัลติเพลกซ์คือ RTS และสัญญาณ DTR ซึ่งมีสถานะเป็น High แต่ถ้าตรวจดูแล้วสัญญาณ DTR เป็น Low อาจหมายถึงไม่ได้ทำการเปิดอุปกรณ์เอาไว้ ซึ่งการตรวจสอบแบบนี้สามารถทำได้ในระดับกายภาพเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.46 สถานะทางกายภาพของพอร์ท

5.4.6 การตรวจสถานะของพอร์ทเสียงของตัวมัลติเพลกซ์

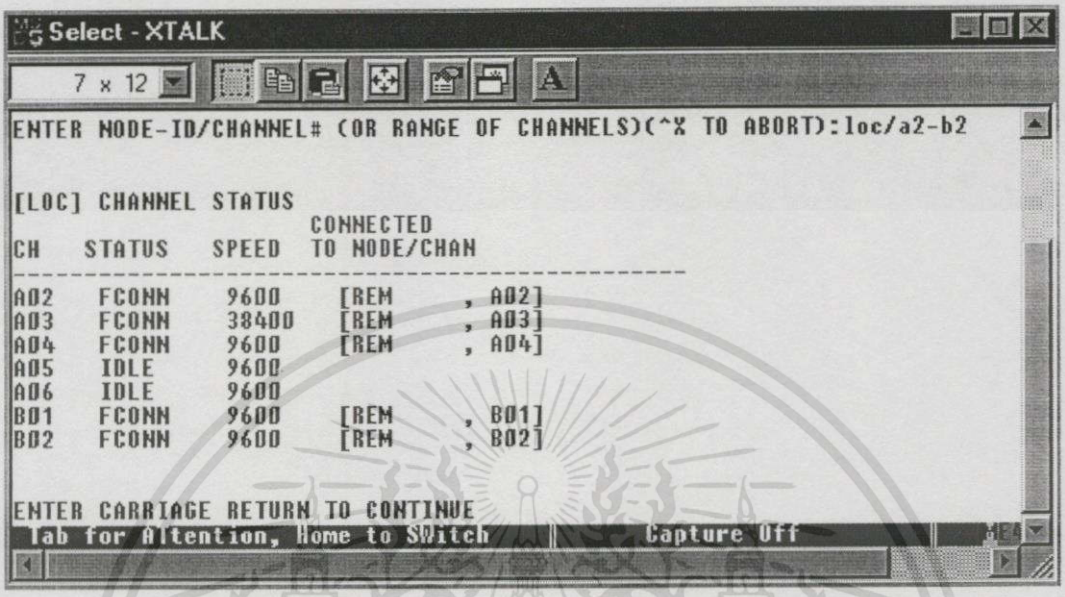


รูปที่ 5.47 การตรวจสอบการทำงานของช่องสัญญาณเสียง

ในรูปที่ 5.47 เป็นการตรวจสอบการทำงานของช่องสัญญาณเสียงของตัวมัลติเพลกซ์ โดยสามารถตรวจสอบได้ว่าช่องสัญญาณใดใช้งานอยู่ ในที่นี้ช่องสัญญาณเสียง B01 มีการ Off Hook แสดงว่ามีการใช้งานที่ช่องสัญญาณนี้ ส่วนการทำงานของช่องสัญญาณนี้อยู่ในโหมดใดสามารถดู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ โดยดูจากหัวข้อโหมด (Mode) ในที่นี้ช่องสัญญาณเสียง B01 อยู่ในโหมดสัญญาณเสียง (Voice Mode) หรือมีการใช้โทรศัพท์อยู่ที่ช่องสัญญาณเสียง B01 นี้



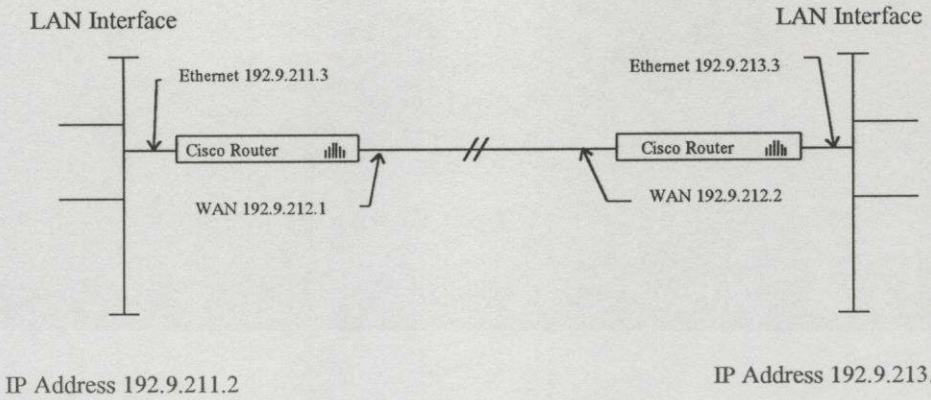
รูปที่ 5.48 การเชื่อมต่อพอร์ทของตัวมัลติเพลกซ์

ในรูปที่ 5.48 เป็นการใช้ซอฟแวร์ในการเชื่อมต่อตัวมัลติเพลกซ์โดยช่องสัญญาณ A02 และ A04 เป็นช่องสัญญาณแบบอะซิงโครนัสที่อัตราข้อมูล 9600 บิตต่อวินาที ส่วนช่องสัญญาณ A03 เป็นช่องสัญญาณแบบซิงโครนัสทำการเชื่อมต่อกับช่องสัญญาณด้านปลายทางหรือ REM ที่ช่อง A03 ส่วนช่องสัญญาณ B01 และ B02 เป็นช่องสัญญาณเสียงโดยทำการเชื่อมต่อเข้ากับช่องสัญญาณด้าน REM ที่ช่องสัญญาณ B01 และ B02

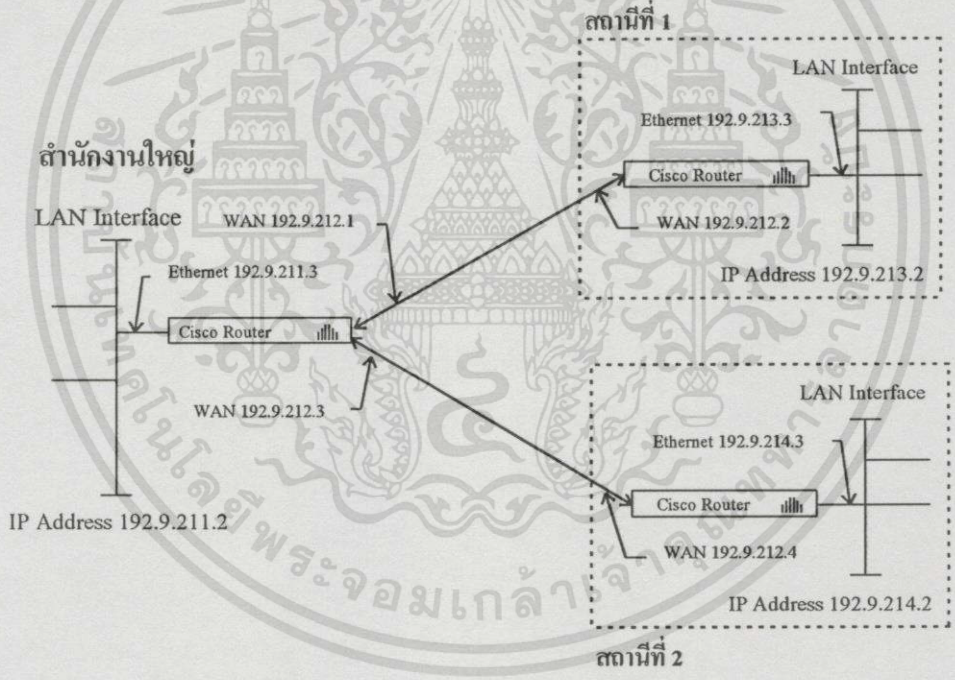
5.5 การกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์เพื่อเชื่อมโยงโครงข่าย

ในการเชื่อมโยงโครงข่าย LAN ของสถานีทั้ง 3 สถานีเข้าด้วยกันจำเป็นต้องทำการเชื่อมโยงโดยอาศัยเราท์เตอร์ เพราะเราท์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีความยืดหยุ่นมาก และสามารถให้บริการเชื่อมโยงโครงข่ายได้ดีโดยมีการจัดการหาเส้นทางโดยอัตโนมัติให้กับระบบ ในรูปที่ 5.49 เป็นการเชื่อมต่อโครงข่าย LAN 2 โครงข่ายโดยใช้เราท์เตอร์ 2 ตัวในการเชื่อมต่อโครงข่าย 2 โครงข่ายที่มี IP Address เป็น 192.9.211.2 และโครงข่ายที่มี IP Address [31] เป็น 192.9.213.2 เข้าด้วยกัน โดยใช้การเชื่อมต่อผ่านพอร์ท WAN และใช้ IP Address ของเราท์เตอร์ในการเชื่อมต่อเป็น 192.9.212.1 ที่พอร์ท WAN ของตัวที่ 1 และตัวที่ 2 มี IP Address เป็น 192.9.212.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.49 การเชื่อมต่อเราท์เตอร์และการกำหนด IP Address



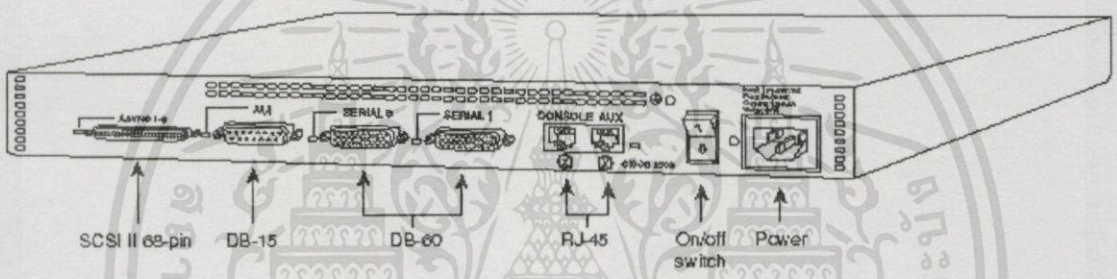
รูปที่ 5.50 การต่อเราท์เตอร์ที่ใช้ในระบบ

ในรูปที่ 5.50 เป็นการต่อเราท์เตอร์ที่มี LAN อยู่ 3 โครงข่ายโดยในการออกแบบใช้เราท์เตอร์ที่สำนักงานใหญ่เป็นแบบที่มี 2 WAN เพื่อความประหยัดและเราท์เตอร์ที่สาขาเป็นแบบที่มี 1 WAN และทำการกำหนด IP Address ที่เชื่อมต่อกับพอร์ท WAN เป็น 4 IP Address คือ 192.9.212.1 และ 192.9.212.2 เพื่อทำการเชื่อมโยงจากสถานีที่หนึ่งไปยังสำนักงานใหญ่ และ IP Address 192.9.212.3 และ 192.9.212.4 ทำการเชื่อมโยงจากสำนักงานใหญ่ไปยังสถานีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.1 เราท์เตอร์ที่ใช้ในระบบ

สำหรับการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายสื่อสารข้อมูลผ่านระบบโครงข่ายดาวเทียมในที่นี้ พิจารณาประสิทธิภาพสำหรับการเชื่อมโยงหลายโครงข่ายเข้าด้วยกันให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยอาศัยอุปกรณ์เราท์เตอร์ในการเชื่อมต่อผ่านตัวมัลติเพลกซ์ด้วยอัตราข้อมูล 38.4 กิโลบิตต่อวินาที ในที่นี้ใช้เราท์เตอร์ Cisco รุ่น 2509 เป็นตัวเชื่อมต่อเพราะมี 2 WAN พอร์ท ดังนั้นเราท์เตอร์ 1 ตัวจึงสามารถเชื่อมต่อสาขาได้ถึง 2 สาขาโดยอินเตอร์เฟสของเราท์เตอร์เป็นแบบ RS 232 และกำหนดสัญญาณนาฬิกาของตัวเราท์เตอร์ให้รับจากภายนอก (External Clock) โดยกำหนดให้ตัวมัลติเพลกซ์เป็นตัวจ่ายสัญญาณนาฬิกาที่อัตรา 38.4 กิโลบิตต่อวินาที ในรูปที่ 5.51 เป็นอุปกรณ์เราท์เตอร์ Cisco รุ่น 2509



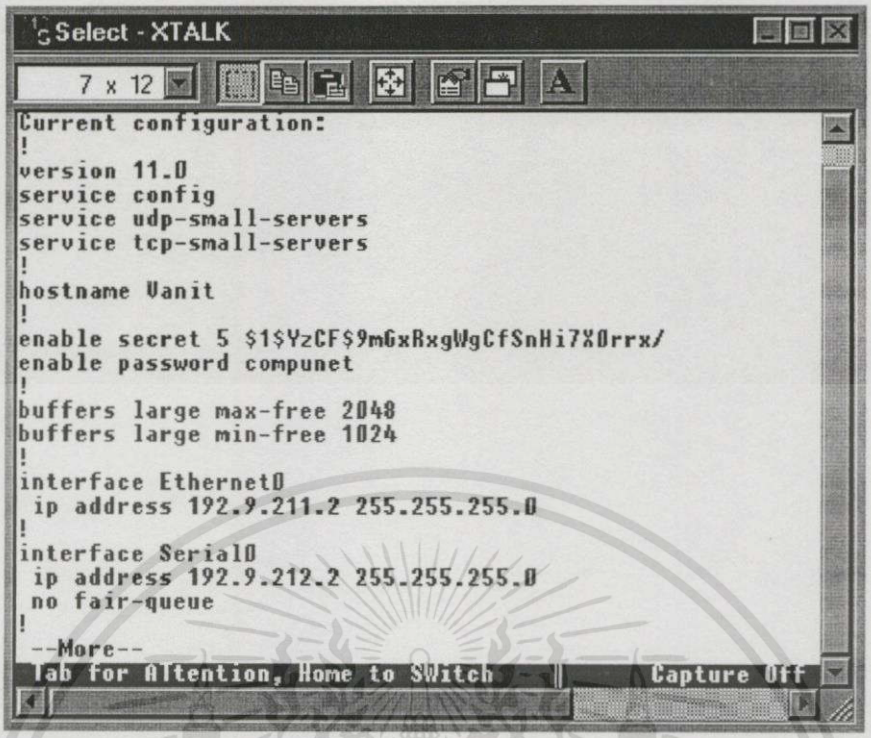
รูปที่ 5.51 เราท์เตอร์ Cisco 2509

ในรูปที่ 5.51 เป็นเราท์เตอร์ Cisco 2509 ซึ่งประกอบด้วยพอร์ท Serial 2 พอร์ทหรือ 2 WAN พอร์ท ทำหน้าที่เชื่อมต่อโครงข่าย WAN ซึ่งอินเตอร์เฟสเป็นแบบ DB 60 ส่วนพอร์ทที่ทำหน้าที่ควบคุมตัวเราท์เตอร์ใช้พอร์ทแบบ RJ 45 และมีชื่อเรียกว่าพอร์ท Console

5.5.2 ตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์แบบ HDLC เพื่อใช้งาน

การกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์เพื่อทำการเชื่อมต่อระบบตัวมัลติเพลกซ์ซึ่งถูกกำหนดให้ใช้โปรโตคอลแบบ HDLC โดยทั่วไปแล้วเป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดมาตั้งแต่โรงงานมีความซับซ้อนไม่มากและนอกจากพารามิเตอร์หรือโปรโตคอลแบบ HDLC แล้วยังมีพารามิเตอร์แบบ X.25 แบบเฟรมรีเลย์ และแบบ PPP อีกด้วยในที่นี้แสดงการเชื่อมต่อแบบ HDLC ที่สามารถกำหนดได้ที่ตัวเราท์เตอร์ Cisco ดังแสดงในรูปที่ 5.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.52 ตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์แบบ HDLC

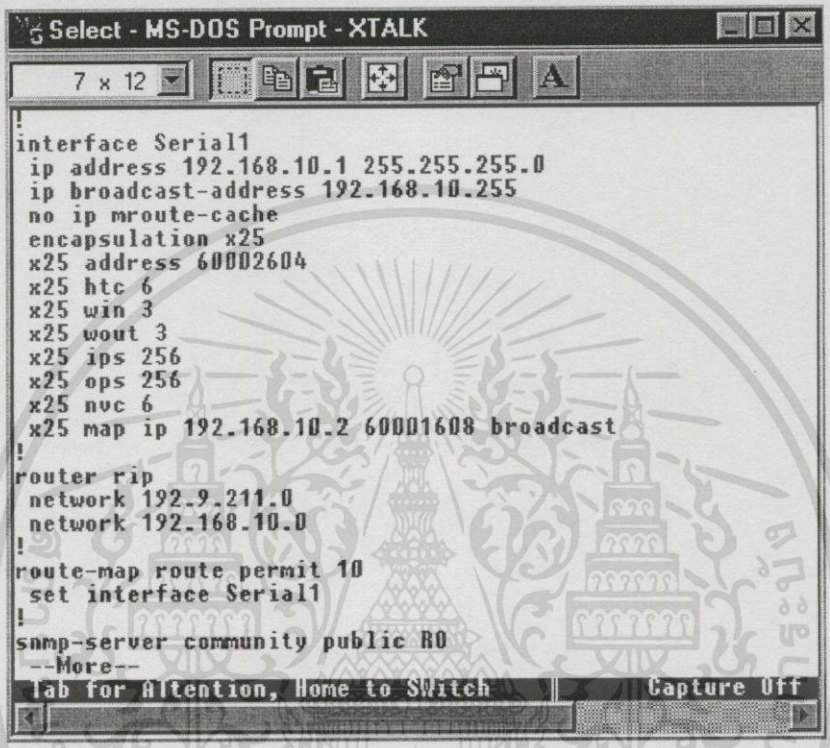
ในรูปที่ 5.52 เป็นตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์แบบ HDLC ซึ่งต้องกำหนด IP Address ที่พอร์ท WAN ในรูปนี้อินเตอร์เฟส Serial 0 หรือพอร์ท WAN 0 ถูกกำหนดให้เป็นแบบ HDLC ซึ่งเป็นพารามิเตอร์แบบที่กำหนดมาตั้งแต่เริ่มต้นที่โรงงานและมีค่าที่ต้องเปลี่ยนแปลงน้อย โดยมี IP Address เป็น 192.9.212.2 และมี Subnet mask เป็น 255.255.255.0 ส่วนทางด้าน LAN ในที่นี้จะเป็นอินเตอร์เฟสอีเทอร์เน็ต 0 (Ethernet 0) ซึ่งมี IP Address เป็น 192.9.211.2 และมี Subnet mask เป็น 255.255.255.0 ดังในรูปที่ 5.52

5.5.3 ตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์แบบ X.25

ในรูปที่ 5.53 เป็นตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์ Cisco แบบ X.25 เพื่อใช้ในการต่อเข้ากับโครงข่ายหัวข้อที่สำคัญที่ต้องกำหนดคือ IP Address ที่พอร์ท WAN หรือในที่นี้คือพอร์ท Serial 1 ซึ่งมี IP Address เป็น 192.168.10.1 และมี Subnet mask เป็น 255.255.255.0 ในส่วนที่ 2 คือต้องกำหนด IP Broadcast Address ในที่นี้คือ 192.168.10.255 หัวข้อต่อไปคือการกำหนดให้เราท์เตอร์ทำงานในแบบ X.25 ในที่นี้คือการทำ Encapsulation เป็น X.25 หัวข้อถัดไปคือ Address ของ X.25 ในที่นี้คือ 60002604 และหัวข้อ X.25 htc เป็น 6 หัวข้อขนาดของวินโดวส์หรือ win และ wout มีค่าเป็น 3 ส่วนค่า X.25 ips และ X.25 ops เป็นค่าขนาดของอินพุทและเอาท์พุทแพคเก็ต ถูกกำหนดให้เป็น 256 หัวข้อ X.25 nvc ถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 6 ต่อจากนั้นอยู่ในขั้นตอนการแม็พ IP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Address กับ X.25 Address เข้าด้วยกันในที่นี้ทำการแม็พ IP Address 192.168.10.2 เข้ากับ X.25 Address 60001608 แล้วทำการกระจายสัญญาณไปในโครงข่าย X.25 สำหรับหัวข้อ Router Rip เป็นการบอกให้เราท์เตอร์ทำการเชื่อมต่อ 2 โครงข่ายเข้าด้วยกันในที่นี้คือโครงข่าย 192.168.10.0 กับโครงข่าย 192.9.212.0 เข้าด้วยกัน

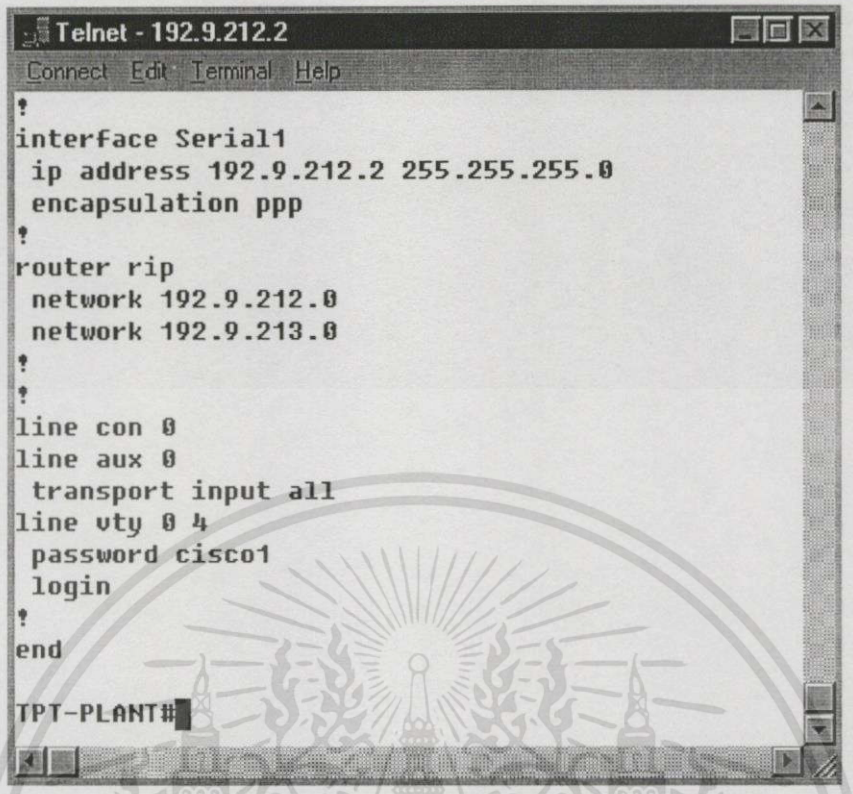


รูปที่ 5.53 ตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์แบบ X.25

5.5.4 ตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ ของเราท์เตอร์ แบบ PPP

ในรูปที่ 5.54 เป็นตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์ Cisco แบบ PPP โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญคือการทำ Encapsulation แบบ PPP ซึ่งการต่อเราท์เตอร์โดยใช้พารามิเตอร์แบบนี้สามารถใช้ในการต่อเราท์เตอร์ต่างชนิดกันหรือต่างยี่ห้อมาต่อเชื่อมกัน นอกจากนั้นก็เป็นการกำหนด IP Address ของเราท์เตอร์ซึ่งที่อินเตอร์เฟส Serial 1 หรือพอร์ท WAN 1 มีการกำหนด IP Address เป็น 192.9.212.2 และมี Subnet mask 255.255.255.0 นอกจากนี้แล้วยังมีพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกคือการกำหนด Router Rip เพื่อเป็นการบอกให้เราท์เตอร์ที่ IP Address ของพอร์ท WAN รู้จักกับ IP Address ที่พอร์ทอีเทอร์เน็ต (Ethernet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.54 ตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ของเราท์เตอร์แบบ PPP

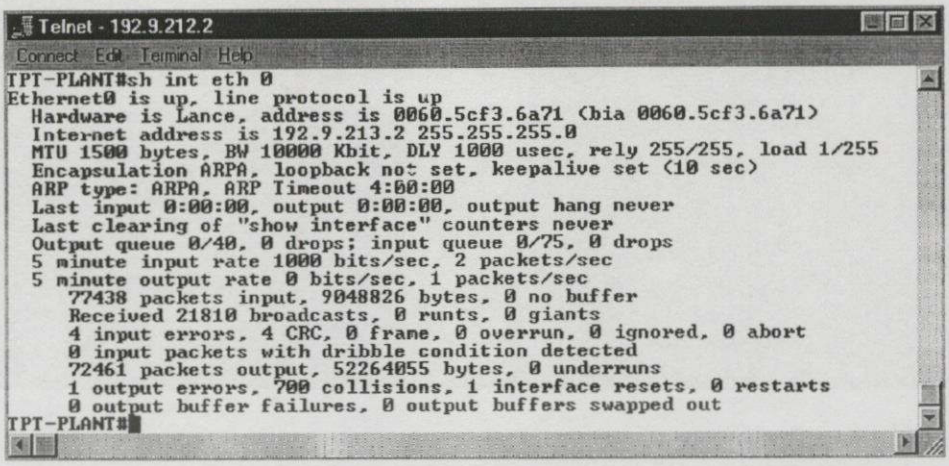
5.5.5 การตรวจสอบการทำงานของเราท์เตอร์

สำหรับขั้นตอนในการตรวจสอบการทำงานของเราท์เตอร์เพื่อดูว่าเราท์เตอร์สามารถเชื่อมต่อระหว่างกันได้หรือไม่และสามารถเชื่อมต่อกับด้านพอร์ท Ethernet ของวง LAN ได้หรือไม่มีวิธีการง่ายๆ ดังนี้

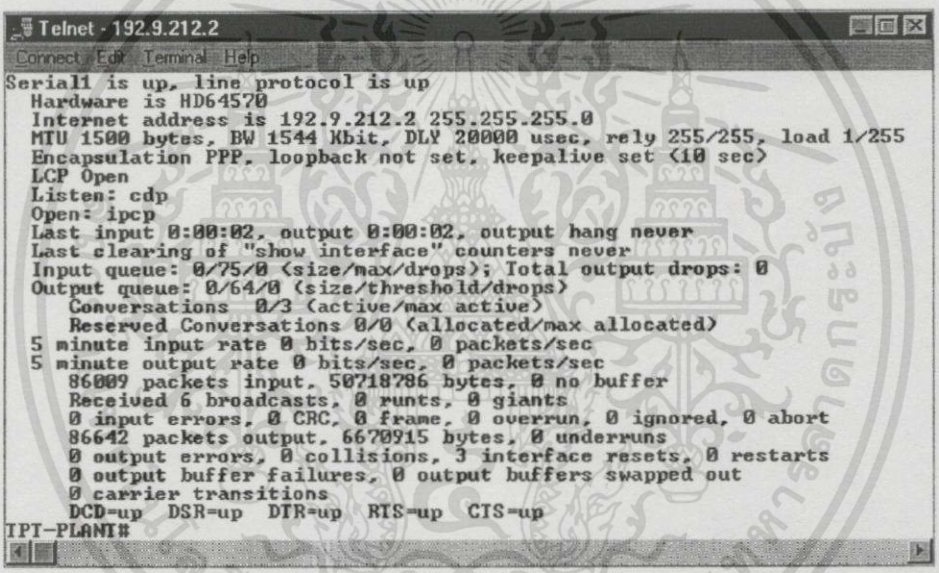
5.5.5.1 การทดสอบด้วยการดูสถานะของพอร์ทของเราท์เตอร์

การดูสถานะของพอร์ทของเราท์เตอร์เป็นการตรวจสอบการทำงานในขั้นกายภาพ (Physical) ของระบบโดยจะเช็คว่าสัญญาณด้าน Line Up หรือ Down และอีกส่วนคือการเช็คโปรโตคอลของระบบว่า Up หรือ Down โดยสามารถเช็คได้ทั้งที่พอร์ทอีเทอร์เน็ต (Ethernet) และที่พอร์ทอนุกรม (Serial) หรือ พอร์ท WAN ที่ใช้ต่อกับอุปกรณ์สื่อสารนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.55 การดูสถานะของพอร์ท Ethernet ของเราท์เตอร์



รูปที่ 5.56 การดูสถานะของพอร์ท Serial 1 ของเราท์เตอร์

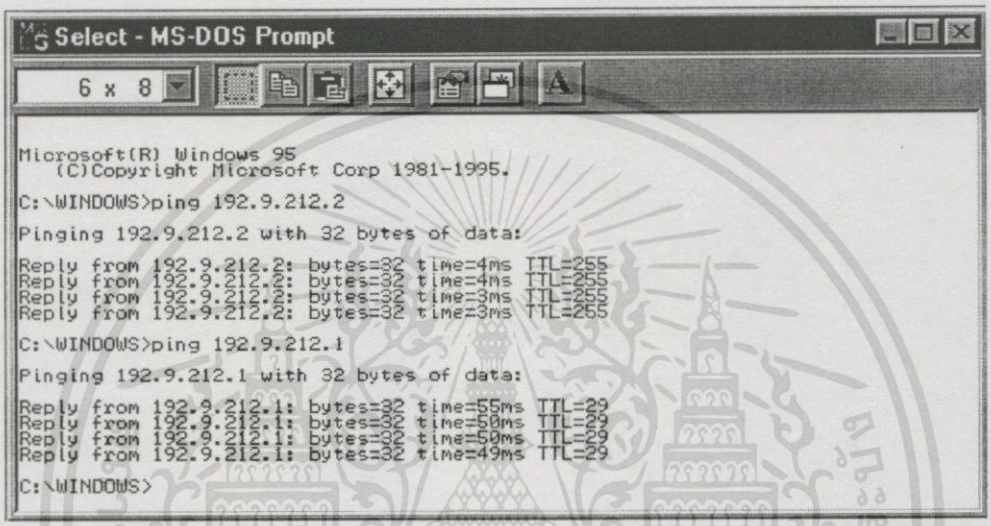
นอกจากนี้การเช็คสถานะที่พอร์ท WAN ยังสามารถแสดงสัญญาณทางกายภาพ (Physical) ของพอร์ทที่เชื่อมต่ออยู่และพอร์ท WAN เอง เช่นสัญญาณที่มาจากตัวโมเดมเช่น DCD DSR และ CTS ส่วนสัญญาณที่มาจากพอร์ท WAN เองได้แก่ DTR และ RTS ซึ่งจะเช็คได้ว่า Up หรือ Down ดังในรูปที่ 5.56

5.5.5.2 การทดสอบด้วยการ Ping IP Address

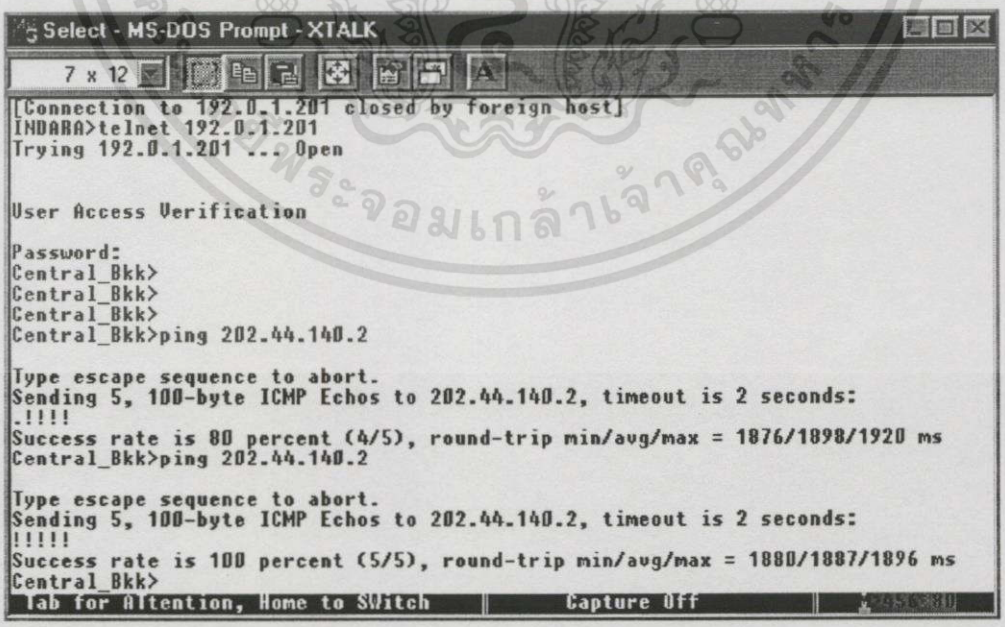
การ Ping IP Address ของเราท์เตอร์เป็นคุณสมบัติทั่วๆ ไปที่บอกว่าการเชื่อมต่อเราท์เตอร์สามารถทำได้สำเร็จหรือไม่ โดยถ้าการเชื่อมต่อสามารถทำได้สำเร็จก็จะสามารถ Ping ไปยังโครง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข่ายตรงข้ามที่ทำการเชื่อมต่อได้โดยจะปรากฏเวลาของการ Ping ออกมาแต่ถ้า Ping ไม่ได้อาจแสดงคำว่า Time Out หรือไม่รู้จัก IP Address นั้นและสามารถแสดงเวลาของการ Ping ได้ดังแสดงในรูปที่ 5.57 ซึ่งเป็นการใช้คำสั่ง Ping ที่อยู่ในวินโดวส์ทำการ Ping ไปยัง IP Address ของพอร์ท WAN ที่อยู่ด้านตรงข้าม ในที่นี้จะแสดงตัวอย่างการ Ping IP Address ผ่านระบบสื่อสารข้อมูลแบบต่างๆ อันได้แก่ระบบไมโครเวฟ ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมแบบ TDMA และระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมแบบ SCPC เป็นต้น



รูปที่ 5.57 การ Ping IP Address ของเราท์เตอร์ผ่านระบบไมโครเวฟ

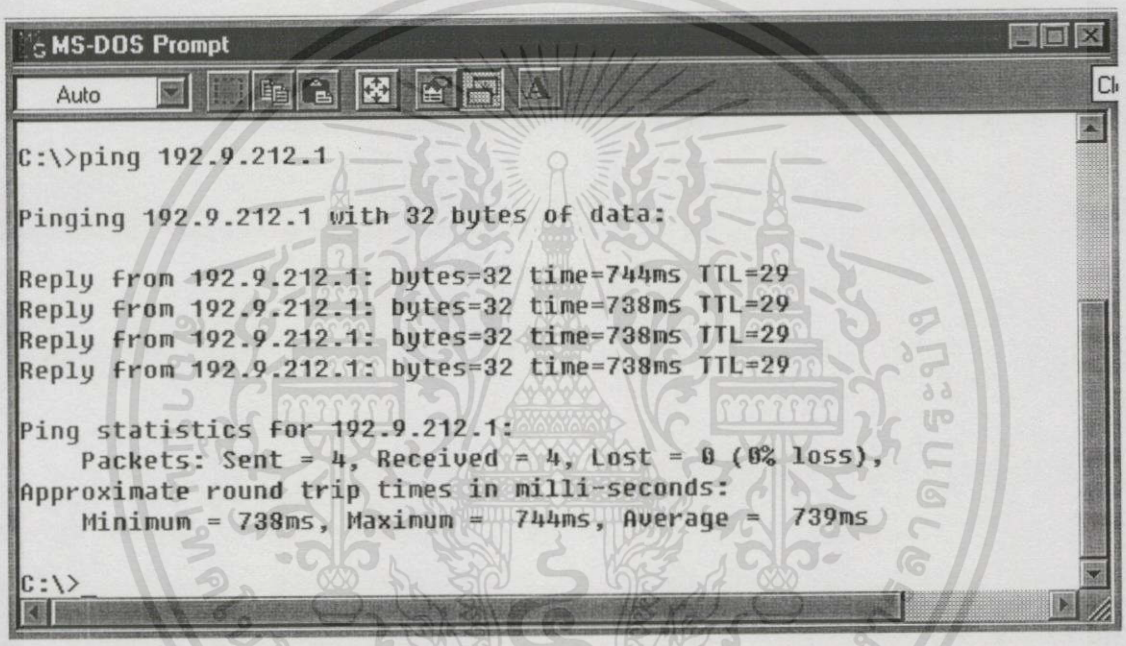


รูปที่ 5.58 การ Ping IP Address ผ่านดาวเทียมระบบ TDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 5.57 เป็นการ Ping IP Address ของเราท์เตอร์ผ่านระบบไมโครเวฟโดยได้ค่าเวลาที่ใช้ในการ Ping ออกมาเป็นประมาณเวลา 50 mSec ในที่นี้เป็นการ Ping โดยอาศัยคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในโครงข่ายคอมพิวเตอร์ที่มี IP Address เป็น 192.9.212.2 ในการ Ping จะใช้จำนวนข้อมูลขนาดเล็กๆ ประมาณ 32 ไบต์

ในรูปที่ 5.58 เป็นตัวอย่างการ Ping ข้อมูลผ่านระบบสื่อสารข้อมูลผ่านดาวเทียมแบบ TDMA โดยใช้รูปแบบการ Ping ผ่านโปรแกรมครอสทอร์กซึ่งสามารถ Ping ได้เช่นเดียวกัน ในที่นี้ต้องใช้โปรแกรม Telnet เข้ามาช่วยในการ Ping ซึ่งได้ค่าเวลาในการ Ping ประมาณ 1,887 mSec โดยใช้ข้อมูลในการ Ping ที่ 100 ไบต์



รูปที่ 5.59 การ Ping เราท์เตอร์ผ่านระบบดาวเทียมที่ออกแบบ

ในรูปที่ 5.59 เป็นการ Ping เราท์เตอร์ผ่านระบบที่ออกแบบซึ่งได้ค่าเวลาเฉลี่ยประมาณ 739 ms ซึ่งส่งข้อมูลด้วยอัตรา 38.4 กิโลบิตต่อวินาที

5.5.5.3 การทดสอบด้วยการ Telnet

การ Telnet เป็นการประยุกต์ใช้งานของระบบอีกงานหนึ่งซึ่งสามารถใช้ในการทดสอบการเชื่อมต่อได้เช่นเดียวกันรูปแบบที่ง่ายที่สุดคือการ Telnet ไปยังปลายทางถ้าสามารถ Ping ได้แสดงว่าระบบสามารถเชื่อมต่อกันได้ 5.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA โดยในการออกแบบใช้อุปกรณ์เก่าที่มีอยู่ในหน่วยงานมาทำการออกแบบใช้งานให้เกิดประโยชน์มากที่สุด เพื่อลดการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ระบบ DAMA ใหม่ ซึ่งต้องนำเข้าและมีการลงทุนที่สูงมากเมื่อเทียบกับสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบัน ในการออกแบบระบบแบ่งการออกแบบเป็นทางด้านฮาร์ดแวร์ การออกแบบซอฟแวร์ การทดสอบระบบที่ออกแบบเพื่อหาคุณสมบัติเฉพาะ การทดสอบการใช้งานจริง และการวัดคุณสมบัติของระบบ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

1. การออกแบบทางฮาร์ดแวร์ เมื่อเปรียบเทียบระบบที่ออกแบบกับระบบ DAMA พบว่าระบบที่ออกแบบถ้าต้องการให้ทำงานได้เหมือนระบบ DAMA ต้องแบ่งระบบเป็น 2 ส่วน คือ ระบบส่งข้อมูลด้วยอัตรา 384 Kbps กับระบบส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์มัลติเพลกซ์ เพื่อรองรับการทำงานระบบโทรศัพท์ โทรสาร ระบบสื่อสารข้อมูลเพื่อเชื่อมโยงโครงข่าย และระบบควบคุมการทำงานของระบบสื่อข้อมูลด้วยอัตรา 384 Kbps จากระบบที่ออกแบบมีข้อได้เปรียบกว่าระบบ DAMA จริงซึ่งใช้เครื่องรับส่งชุดเดียวกัน ทั้งการส่งข้อมูลความเร็วสูง และระบบสื่อสารอื่นๆ ดังนั้นหากเครื่องรับส่งเกิดเสียหาย ระบบจะไม่สามารถทำงานได้เลย แต่ถ้าเป็นระบบที่ออกแบบ จะสามารถทำงานได้ แม้เครื่องรับส่งระบบใดระบบหนึ่งเสีย ซึ่งอาจใช้วิธีแมนนวลควบคุมอุปกรณ์ได้ ยกเว้นกรณีอุปกรณ์ภายนอกเสีย และระบบที่ออกแบบสามารถทำงานได้ใกล้เคียงกับระบบ DAMA

2. ข้อดีของระบบส่งโทรศัพท์และโทรสารของระบบที่ออกแบบต่อระบบ DAMA คือ ระบบที่ออกแบบกำหนดให้โทรศัพท์และโทรสารแยกจากกัน โดยระบบโทรศัพท์ใช้การแซมปลิงที่อัตรา 8 กิโลบิตต่อวินาที ส่วนโทรสารใช้การแซมปลิงด้วยอัตรา 9.6 กิโลบิตต่อวินาที และให้แต่ละสถานีมีโทรศัพท์และโทรสารอย่างละเครื่อง ในกรณีที่โทรสารไม่ได้ใช้งานสามารถนำมาใช้เป็นโทรศัพท์ได้ด้วย ส่วนระบบ DAMA เนื่องจากต้องการประหยัดแบนด์วิดท์ส่วนใหญ่ออกแบบให้มีโทรศัพท์และโทรสารร่วมกันเพียงสถานีละ 1 เครื่อง จึงทำให้การใช้งานระบบที่ออกแบบสามารถใช้โทรศัพท์ใช้ได้ 100 % แต่ระบบ DAMA อาจใช้งานได้เพียง 50% เทียบกับระบบ DAMA

3. การออกแบบทางซอฟแวร์ เนื่องจากระบบใช้เครื่องรับส่ง SDM 650B ซึ่งสามารถควบคุมได้จากเมนูด้านหน้าเครื่องและด้วยรีโมท แต่ยังไม่มีการเขียนซอฟแวร์ออกมาควบคุมการทำงานของระบบ ดังนั้นการทำวิจัยจึงได้จัดสร้างซอฟแวร์เพื่อควบคุมตัวรับส่งสัญญาณดาวเทียม SDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

650B โดยเฉพาะขึ้นเป็นครั้งแรก และซอฟแวร์ที่ออกแบบสามารถใช้ได้อย่างกว้างขวางกับทุกบริษัทที่มีเครื่องรับส่งสัญญาณประเภทนี้ แต่ข้อเสียของการออกแบบซอฟแวร์อยู่ตรงที่จำนวนสถานีลูกข่ายหรือสถานีปลายทางจะถูกจำกัดลงด้วยเหตุผล 2 ประการ คือความยาวของคำสั่งควบคุม และเหตุผลที่สองคือจำนวนแบนด์วิดท์ของระบบที่ออกแบบจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อจำนวนสถานีมีมากขึ้นแต่ระบบ DAMA จะมีการเพิ่มขึ้นของแบนด์วิดท์ที่อัตราหนึ่งและเมื่อถึงจุดหนึ่งระบบจะสามารถประหยัดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าระบบที่ออกแบบในที่นี้คือเมื่อมีจำนวนสถานีปลายทางเกิน 5 สถานีระบบ DAMA จะประหยัดแบนด์วิดท์กว่าระบบที่ออกแบบ

4. การทดสอบระบบที่ออกแบบทำการทดสอบเพื่อหาค่า BER ที่เหมาะสมกับระบบการส่งสัญญาณภาพหรือข้อมูลที่อัตราความเร็วสูง เทียบกับค่า Eb/No ของเครื่องรับ ซึ่งพบว่าค่า Eb/No ที่เหมาะสมกับการส่งข้อมูลที่อัตรา 384 Kbps อยู่ที่ 9.6 dB และค่าต่ำสุดอยู่ที่ 7.7 dB ส่วนการส่งข้อมูลและสัญญาณเสียงย่านระบบ 64 Kbps อยู่ที่ 8 dB และค่าต่ำสุดอยู่ที่ 3.5 dB

นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบ การใช้แบนด์วิดท์ ของระบบโดยใช้การเข้ารหัส FEC ที่อัตรา 3/4 และอัตรา 1/2 ของการส่งข้อมูลทั้ง 2 ชนิด โดยสามารถลดแบนด์วิดท์ในการส่งลงได้ประมาณ 25% โดยที่คุณภาพของสัญญาณที่ได้ใกล้เคียงกัน

ปัญหาและการแก้ไข

ปัญหาที่พบและวิธีการแก้ ไขในการออกแบบและจัดสร้างระบบสามารถแสดงได้ดังนี้

1. ปัญหาการส่งโทรสารผ่านดาวเทียมแบบ 2 hop ไม่ผ่าน

การออกแบบนี้ใช้การส่งโทรศัพท์และโทรสารผ่านดาวเทียมไปยังสถานีต้นทางแบบ hop เดียวแต่ถ้าหากต้องการโทรศัพท์จากปลายทางไปหาสถานีปลายทางด้วยกันต้องใช้ระบบโทรศัพท์ผ่านดาวเทียมแบบ 2 hops ซึ่งระบบเสียงอาจเกิดเสียงก้องมาก แต่ถ้าหากใช้ระบบ DAMA ระบบโทรศัพท์และโทรสารจะเป็นแบบ hop เดียวตลอด ในที่นี้สามารถแก้ไขได้โดยการลดเวลาหน่วงของเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม โดยตัดส่วนบัฟเฟอร์ของตัวเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมออกทั้งสองด้าน แล้วระบบจึงสามารถส่งโทรสารผ่านดาวเทียมแบบ 2 hops ได้

2. ปัญหาการสิ้นเปลืองแบนด์วิดท์ในการออกแบบ

ในการออกแบบสามารถลดขนาดของแบนด์วิดท์ลงได้โดยการเปลี่ยนการเข้ารหัสแบบ FEC ด้วยอัตรา 3/4 แทน FEC อัตรา 1/2 โดยที่ขนาดของแบนด์วิดท์สามารถลดลงได้ประมาณ 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปัญหาการเข้าถึงข้อมูลของแต่ละโครงข่าย

ปัญหาการเข้าถึงข้อมูลของแต่ละโครงข่ายเกิดการ time out เนื่องจากการที่ต้องส่งข้อมูลแบบ 2 hops ระหว่างสถานีปลายทางกับสถานีปลายทางด้วยกัน แนวทางในการแก้ไขสามารถทำได้โดยการวางเซอร์ฟวอร์ไว้ที่สถานีกลางโดยเซอร์ฟเวอร์นี้ทำหน้าที่เป็นเมลเซอร์ฟเวอร์ (mail server) ดังนั้นการดึงจดหมายจึงเป็นการดึงจากสถานีกลาง ซึ่งทำให้เวลาหน่วงของระบบลดลงเพราะไม่ต้องดึงข้อมูลแบบ 2 hops ระหว่างสถานีทำให้ลดการแกิด time out ลงได้

แนวทางในการพัฒนาต่อไป

การออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถพัฒนาต่อได้ 2 แนวทางดังต่อไปนี้

1. การพัฒนาทางฮาร์ดแวร์

ในการออกแบบด้านการควบคุมการส่งและหยุดส่งสัญญาณของสถานีปลายทางแบบ SCPC DAMA ควรพัฒนาให้สามารถควบคุมได้ในเวลาเดียวกันจากทุกสถานี เพราะปัจจุบันออกแบบให้สามารถควบคุมได้จากทุกสถานที่ก็จริงแต่คอมพิวเตอร์ที่ควบคุมสามารถควบคุมได้เพียงเครื่องเดียว ดังนั้นถ้าหากสามารถทำให้ควบคุมได้จากทุกสถานีในเวลาเดียวกันก็จะเป็นการดีเพื่อป้องกันปัญหาการที่สถานีที่ต้องควบคุมเกิดไม่สามารถควบคุมระบบได้ชั่วขณะ

2. การพัฒนาทางซอฟแวร์

สำหรับการพัฒนาทางซอฟแวร์สามารถทำได้โดยพัฒนาให้ระบบมีความยืดหยุ่นสูงขึ้นเช่น สามารถแสดงกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่า E_b/N_o ของแต่ละสถานีและออกแบบให้มีการเช็คสถานะค่า E_b/N_o ของทุกสถานีในทุก ๆ 10 นาทีเพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงของระบบ และนอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาซอฟแวร์ให้ใช้งานได้กับเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมในรุ่นอื่นๆ ที่มีคำสั่งใกล้เคียงกันเช่น ASM 2400 ซึ่งเป็นตระกูลเดียวกับ SDM 650B เพียงแต่เป็นคนละรุ่นกันและมีคำสั่งบางคำสั่งที่แตกต่างกัน ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] VITACOM Corporation. "SCPC/DAMA Training Course Materials." USA. : VITACOM. November 1996.

[2] กมล โพธิ์งาม และณรงค์ เหมกรณ์. "การออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่ 21, พ.ศ. 2541. หน้า 497-500.

[3] กมล โพธิ์งาม และณรงค์ เหมกรณ์. "รูปแบบการมอดูเลตและการจัดสรรแบนด์วิดท์ในการออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA." การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ครั้งที่ 38, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กุมภาพันธ์ 2543. หน้า

[4] John Everett. **VSATs very small aperture terminal.** London : Perter Peregrinus. 1992.

[5] EF Data Corporation. **SDM 650B Satellite modem Installation and Operation manual.** 4th. Ed. December 1991.

[6] สมศักดิ์ อัศวกุลไพบูลย์. **การเขียนโปรแกรมบนวินโดวส์ด้วย Visual Basic 4.0.** กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2540.

[7] Travis Russell. **Telecommunications Protocols.** USA. : McGraw-Hill, Inc. 2000.

[8] Micom Communication Corp. **Voice/Fax Module user's Manual.** Los Angeles : Micom. 1993.

[9] ณรงค์ เหมกรณ์. **การสื่อสารดาวเทียม.** กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2533.

[10] ประสิทธิ์ ทีฆพุฒิ. **การสื่อสารดาวเทียม.** กรุงเทพมหานคร : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2536.

[11] B.G. Evans. **Satellite Communication System.** 2nd Ed. United Kingdom : Peter Peregrinus Ltd. 1993.

[12] Dennis Roddy. **Satellite Communications.** 2nd. Ed. Singapore : McGRAW-Hill International Edition. 1996.

[13] Wilbur L. Pritchard, Henri G. Suyderhoud, Robert A. Nelson. **Satellite Communication Systems Engineering.** 2nd. Ed. New Jersey : Prentice Hall Prt. 1993.

[14] บัณฑิต โรจน์อารยานนท์. **หลักการไฟฟ้าสื่อสาร.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2537.

[15] David Calcutt, Laurie Tetley. **Satellite Communications : Principles and Application.** London : Great Britain. 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[16] Micom Communication Corp. **MARATHON 5K Release 3.1 Startup Guide**.Los Angeles: Micom. October 1993.

[17] Micom Communication Corp. **MARATHON NetRunner ClearVoice Module User's Manual**. Los Angeles : Micom. August 1996.

[18] พิพัฒน์ หิรัญย์วณิชชากร. **ระบบสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์**. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2540.

[19] William Stallings. **Data and Computer Communications.** 4th. Ed. USA. : Macmillan Publishing Company. 1994.

[20] วาทิต เบญจพลกุล. **การสื่อสารข้อมูล.** กรุงเทพมหานคร : สัมฤทธิ์การพิมพ์. 2541.

[21] Gilbert Held. **FRAME RELAY NETWORKING.** England : John Wiley & Sons Ltd. 1999.

[22] กมล โพธิ์งาม และณรงค์ เหมกรณ์. "การส่งสัญญาณเสียงและข้อมูลบนเฟรมรีเลย์ผ่านระบบ ดาวเทียมแบบ SCPC." การประชุมเสนอผลงานวิชาการระดับประเทศ ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, มิถุนายน 2543. หน้า

[23] AGILIS. **AGILIS COMMUNICATION TECHNOLOGIES.** Singapore : AGILIS Pte Ltd. 1996.

[24] Cisco System. "Cisco Connection Documentation." [CD-ROM]. USA. : Cisco System, Inc. 1996.

[25] Tri T. Ha. **Digital Satellite Communications.** 2nd. Ed. Singapore : McGraw-Hill Communication Series. 1990.

[26] สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพาณิช. **Visual Basic 5.0 Professional การใช้คำสั่งและคอนโทรล Active X.** กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2540.

[27] กิตติ ภักดีวัฒนะกุล , จำลอง ครูอุตสาหะ. **Visual Basic 5 ฉบับ โปรแกรมเมอร์.** พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพมหานคร : เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์. 2541.

[28] Bruno Pattan. **Satellite-Based Global Cellular Communications.** USA. : McGraw-Hill, Inc. 1998.

[29] Timothy Pratt. **Satellite Communications.** Singapore : John Wiley & Sons, Inc. 1986.

[30] Micom Communication Corp. **MARATHON 5KT Pro Owner's Manual.** Los Angeles : Micom. November 1996.

[31] Cisco System. "Cisco Connection Installation Disc." [CD-ROM]. USA. : Cisco System, Inc. 1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

1. "การออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 21, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2538), หน้า 497-500
2. "รูปแบบการมอดูเลตและการจัดสรรแบนด์วิดท์ในการออกแบบระบบ SCPC เลียนแบบการทำงานระบบ DAMA", การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 38, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, (กุมภาพันธ์ 2543)
3. "การส่งสัญญาณเสียงและข้อมูลบนเฟรมรีเลย์ผ่านระบบดาวเทียมแบบ SCPC", การประชุมเสนอผลงานวิชาการระดับประเทศ ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, (10-11 มิถุนายน 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมช่วยในการคำนวณการออกแบบ

ในที่นี้ทำการทดสอบโปรแกรมที่ออกแบบมาเพื่อช่วยในการคำนวณระบบหรือการหาพารามิเตอร์ของระบบสื่อสารดาวเทียม โดยโปรแกรมออกแบบมาให้มีการทำงานที่สัมพันธ์กันทุกอินเตอร์เฟสซึ่งเมื่อทำการคำนวณพารามิเตอร์หนึ่งไปแล้วค่าพารามิเตอร์นี้จะถูกกเก็บไว้ใช้เป็นข้อมูลของอินเตอร์เฟสอื่นๆ ด้วยซึ่งทำให้ไม่จำเป็นต้องใส่ค่าพารามิเตอร์หลายตัวถ้าต้องการคำนวณเพียงบางพารามิเตอร์เท่านั้น

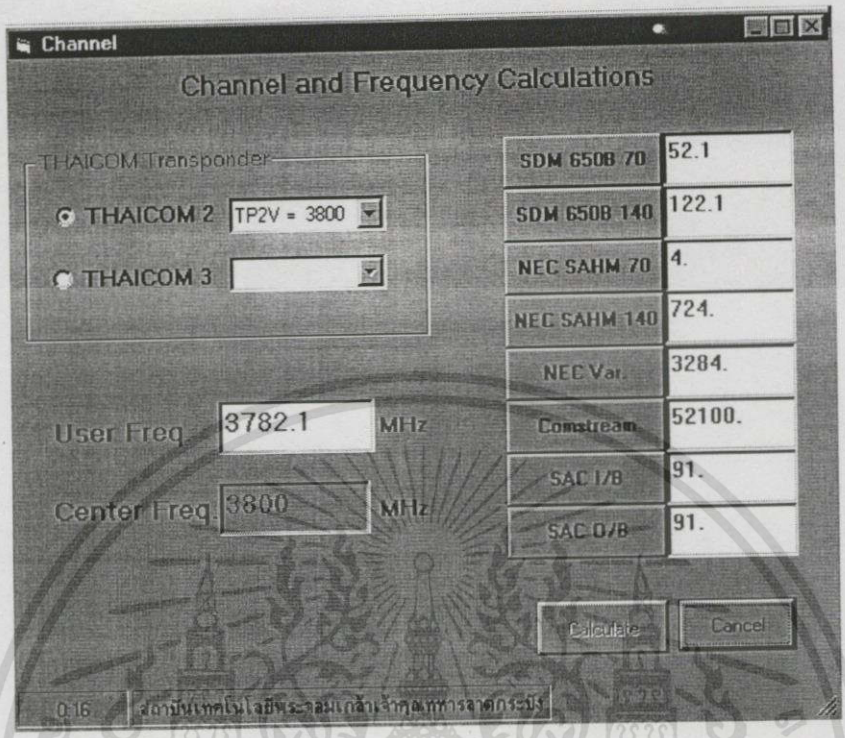
ข-1 เมนูหลักของโปรแกรมช่วย

รูปที่ ข-1 เมนูหลักของโปรแกรมช่วย

ในรูปที่ ข-1 เป็นเมนูหลักของโปรแกรมช่วยซึ่งประกอบด้วยการคำนวณระบบต่างๆ เช่น ค่า EIRP ค่า C/N ค่า E_bN_o และค่า G/T ของระบบ ตลอดจนอัตราขยายของจานสายอากาศ และการคำนวณช่องสัญญาณดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-2 เมนูโปรแกรมคำนวณช่องสัญญาณดาวเทียม

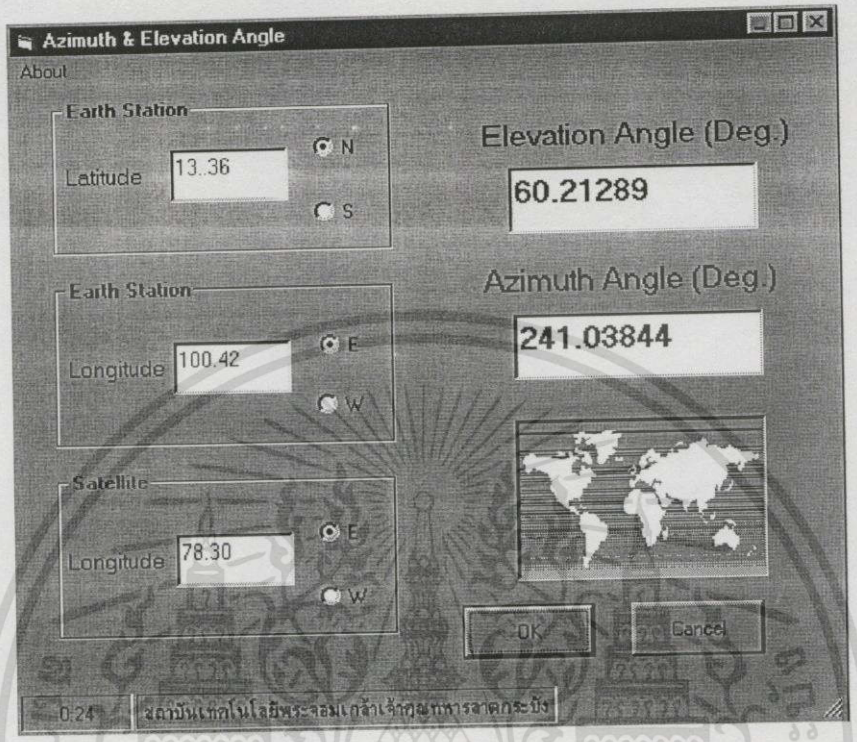


รูปที่ ข-2 อินเตอร์เฟสของเมนูการคำนวณช่องสัญญาณ

ในรูปที่ ข-2 เป็นอินเตอร์เฟสของเมนูการคำนวณช่องสัญญาณดาวเทียมโดยสามารถคำนวณได้ทั้งดาวเทียมไทยคม 2 และไทยคม 3 ในทุกทรานสพอนเดอร์ ในที่นี้ออกแบบให้อินเตอร์เฟสสามารถทำงานได้ยืดหยุ่นมากที่สุดและออกแบบให้แต่ละความถี่สัมพันธ์กับเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมหลายชนิดเช่น SDM 650B และ NEC ที่ความถี่ IF 70 MHz และที่ 140 MHz เครื่องรับส่งสัญญาณแบบ NEC ที่ใช้กับระบบผู้ใช้แบบ SCPC (NEC Var.) เครื่องรับส่งแบบ Comstem และช่องสัญญาณของระบบ TDMA ด้านขาเข้าและขาออก โดยที่ค่าความถี่ใช้งานสามารถกำหนดได้โดยต้องสัมพันธ์กับความถี่ศูนย์กลาง (Center Freq.) นอกจากนี้ยังออกแบบให้สามารถคำนวณกลับเพียงแต่ใส่ช่องสัญญาณที่ตัวเครื่องรับส่งตัวใดตัวหนึ่งแล้วทำการคำนวณความถี่ใช้งานและช่องสัญญาณของเครื่องรับส่งสัญญาณแต่ละเครื่องออกมาทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นสูง สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณสามารถหาได้จากบทที่ 2 ในสมารที่ (35), (36) และ (37)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-3 เมนูการคำนวณมุม El และมุม Az ของจานสายอากาศ

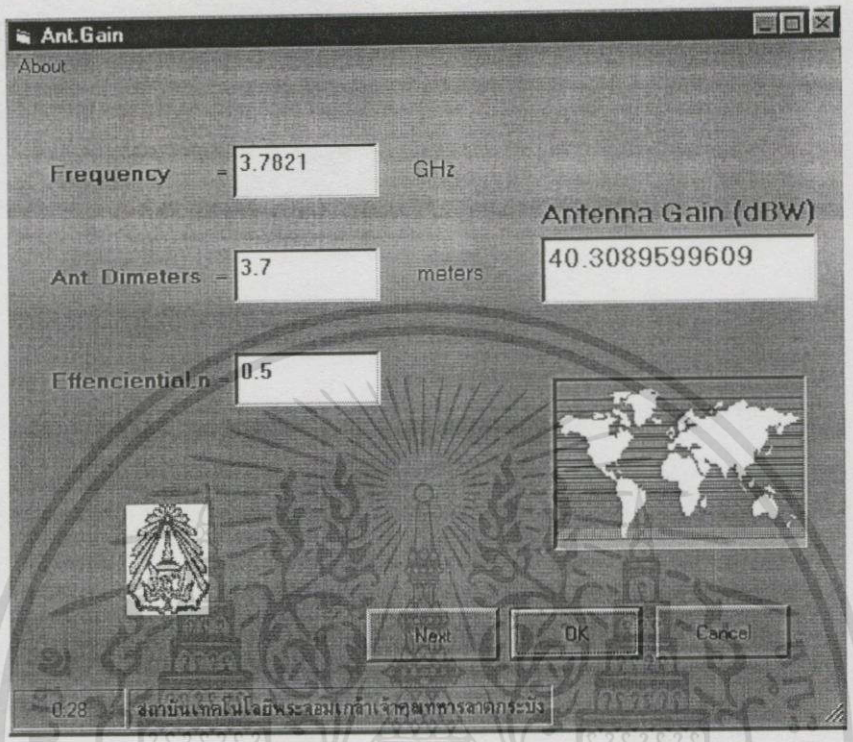


รูปที่ ข-3 เมนูการคำนวณมุม Elevation และมุม Azimuth

ในรูปที่ ข-3 เป็นเมนูการคำนวณมุม Elevation หรือมุมก้มเงยของจานสายอากาศ และมุม Azimuth หรือมุมกวาดของจานสายอากาศในที่นี้พารามิเตอร์ที่สำคัญมี 3 ค่า คือค่าตำแหน่งของจานสายอากาศที่สถานีภาคพื้นดินตั้งอยู่คือค่ามุมละติจูดที่สัมพันธ์กับทิศเหนือและทิศใต้ และค่ามุมลองจิจูดซึ่งสัมพันธ์กับทิศตะวันออกและทิศตะวันตก และค่าสุดท้ายคือค่ามุมลองจิจูดของตัวดาวเทียมที่ทำการหาที่สัมพันธ์กับทิศตะวันออกและทิศตะวันตก สำหรับค่าที่ได้ออกมาจะเป็นค่าตำแหน่งการติดตั้งจานสายอากาศที่มุม Az เทียบกับทิศตะวันออกและค่ามุมก้มเงยของจานสายอากาศ ในที่นี้สามารถหาค่าต่างๆ ได้จากสมการที่แสดงในบทที่ 2 ในสมการที่ (33) และสมการที่ (34) จากรูปที่ ข-3 เป็นการหาค่ามุม Az และมุม El ของจานสายอากาศที่สถานีภาคพื้นดินตั้งอยู่ที่ละติจูด 13.36 องศาเหนือ และลองจิจูด 100.42 องศาตะวันออก ตำแหน่งของดาวเทียมที่คำนวณคือดาวเทียมไทยคมอยู่ที่ลองจิจูด 78.30 องศาตะวันออก สำหรับค่าที่ได้คือมุม Az เท่ากับ 241.038 องศา และมุม El เท่ากับ 60.21 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-4 เมนูการคำนวณอัตราขยายของจานสายอากาศ

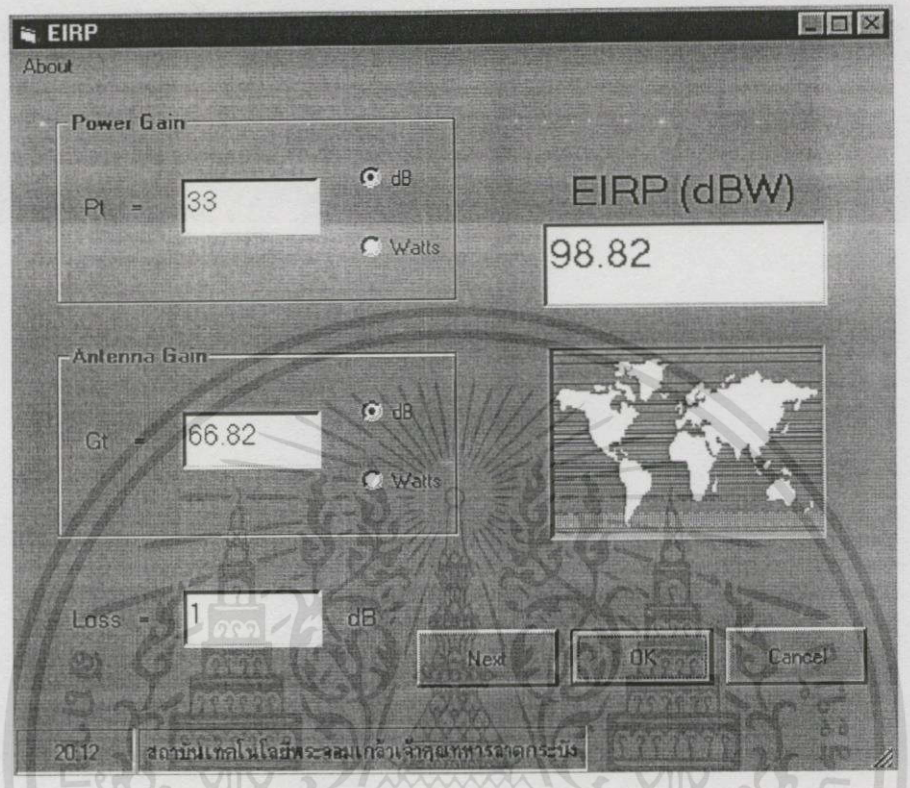


รูปที่ ข-4 การคำนวณหาอัตราขยายของจานสายอากาศ

ในรูปที่ ข-4 เป็นการคำนวณหาค่าอัตราขยายของจานสายอากาศ (Antenna Gain) โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญมี 3 ค่าคือค่าความถี่ใช้งาน ค่าความกว้างของจานสายอากาศและค่าประสิทธิภาพของจานสายอากาศในที่นี้ทำการหาค่าอัตราขยายของจานสายอาศ โดยกำหนดให้ความถี่ที่ใช้งานคือ 3.7821 GHz และจานสายอากาศที่ใช้เป็นแบบพาราโบลามีขนาด 3.7 เมตรค่าประสิทธิภาพของจานสายอากาศเป็น 0.5 ดังนั้นเมื่อใช้ซอฟแวร์ที่สร้างทำการคำนวณจะได้ค่าอัตราขยายของจานสายอากาศเป็น 40.30 dBW ดังแสดงในรูปที่ ข-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-5 เมนูการหาค่า EIRP ของจานสายอากาศ

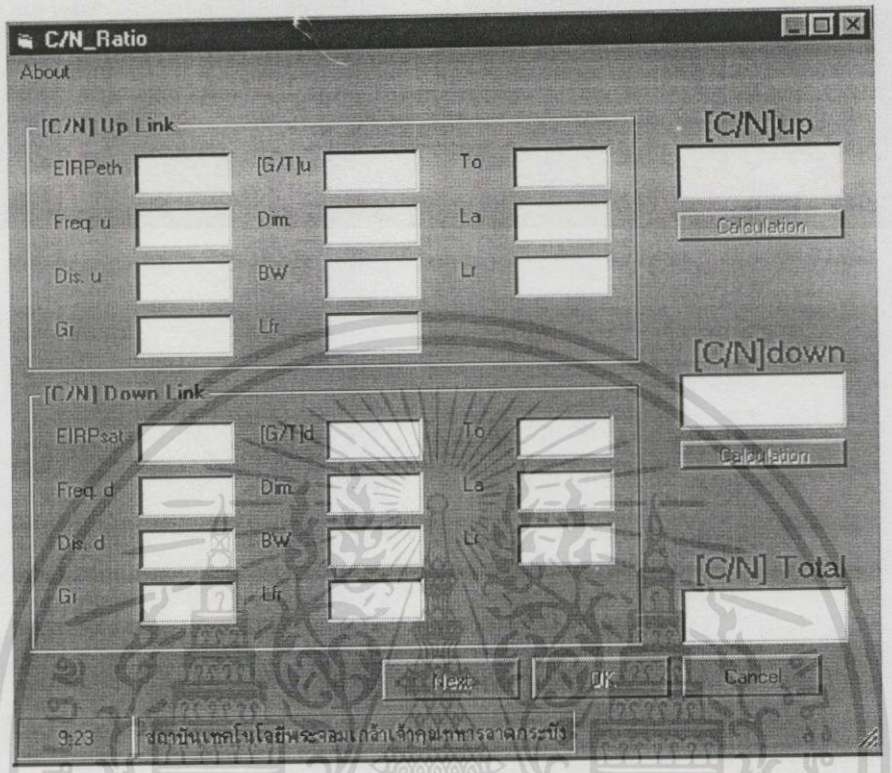


รูปที่ ข-5 เมนูการหาค่า EIRP ของจานสายอากาศ

ในรูปที่ ข-5 เป็นเมนูการหาค่า EIRP ของจานสายอากาศโดยมีพารามิเตอร์ที่สำคัญอยู่ 3 ค่า คือค่าอัตราขยายของจานสายอากาศ ค่ากำลังงานส่ง และค่าการสูญเสียของจานสายอากาศซึ่งได้ออกแบบให้สามารถคำนวณได้ทั้งในหน่วยที่เป็นเดซิเบลและหน่วยวัตต์ เพื่อสะดวกต่อการใช้งานของผู้ใช้ จากรูปเป็นการคำนวณหาค่า EIRP เมื่อภาคขยายมีขนาด 2 kW และจานสายอากาศมีขนาด 20 เมตร เมื่ออัตราขยายของจานสายอากาศมีค่า 66.82 dB ที่ความถี่ 14.25 GHz และค่า Feeder loss มีค่า 1 dB เมื่อทำการหาค่า EIRP จากซอฟแวร์ที่ออกแบบจะได้ค่า 98.82 dBW สำหรับสมการที่ใช้สามารถหาได้จากบทที่ 2 โดยใช้สมการที่ (18)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-6 เมนูการหาค่า C/N ของระบบ



รูปที่ ข-6 เมนูการหาค่า C/N ของระบบ

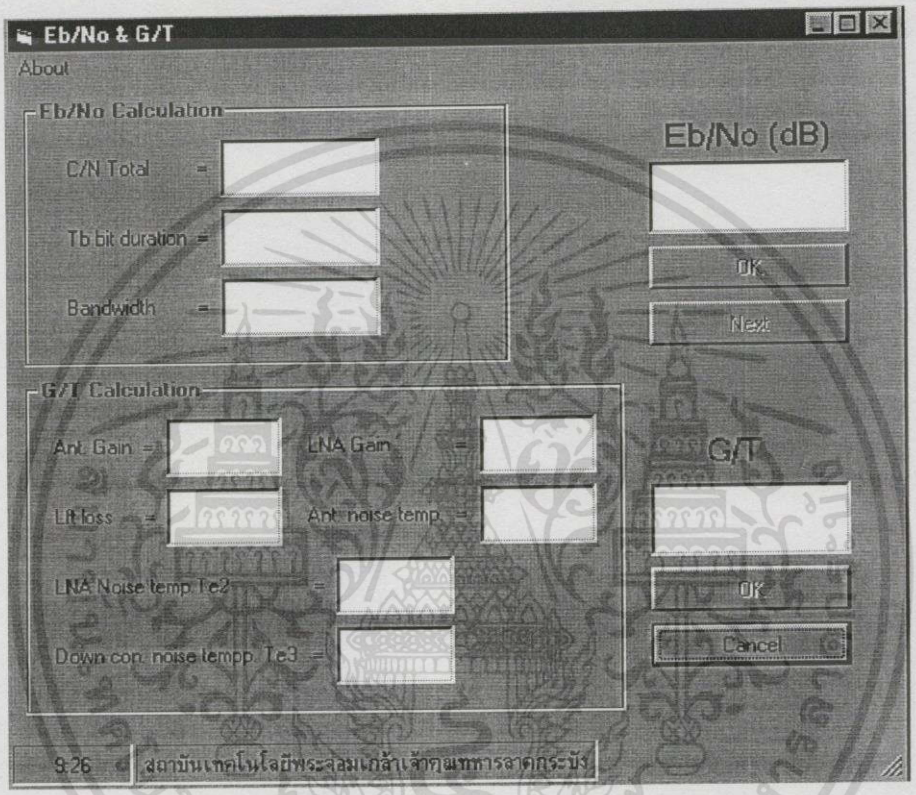
ในรูป ข-6 ค่าพารามิเตอร์ของการหาค่า C/N ของระบบซึ่งวิธีการหาจะหาค่า C/N ด้านขาขึ้นหรือ Up Link และหาค่า C/N ด้านขาลงหรือ Down Link ของระบบหลังจากนั้นนำค่า C/N ที่หาได้ทั้งทาง Up Link และ Down Link มาทำการหาค่า C/N รวมหรือ C/N Total ของระบบ โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญในที่นี้มีหลายค่าทางด้าน C/N ขาขึ้นค่าที่สำคัญคือ ค่า $EIRP_{eth}$ ของสถานีภาคพื้นดิน ค่า Freq u. หรือค่าความถี่ขาขึ้นที่ใช้งาน ค่า G/T_u ด้านขาขึ้น ค่า Dis u. หรือค่าระยะทางจากพื้นโลกถึงดาวเทียม ค่า BW หรือค่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งาน ค่า Gr หรือค่าอัตราขยายของจานสายอากาศ ค่า Dim. หรือค่าความกว้างของจานสายอากาศ ค่า Lfr. หรือค่าการสูญเสียจาก Feeder ค่า To. หรือค่าอุณหภูมิของจานสายอากาศ ค่า La หรือค่าการสูญเสียจากชั้นบรรยากาศ ค่า Lr หรือค่าการสูญเสียจากน้ำฝน

ส่วนค่า C/N ทางด้านขาลงมีพารามิเตอร์ที่สำคัญหลายค่าเช่นกันคือ ค่า $EIRP_{sat+}$ ของจานสายอากาศดาวเทียม ค่า Freq d. หรือค่าความถี่ใช้งานขาลง ค่า Dis d. หรือค่าระยะทางจากดาวเทียมถึงสถานีภาคพื้นดิน ค่า Gr หรือค่าอัตราขยายของจานสายอากาศ ค่า G/T_D ของดาวเทียม ค่า Dim.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือค่าขนาดของจานสายอากาศ ค่า BW หรือค่าแบนด์วิดท์ของจานสายอากาศ ค่า Lfr. หรือค่าการสูญเสียจาก Feeder ค่า To. หรือค่าอุณหภูมิของจานสายอากาศ ค่า La หรือค่าการสูญเสียจากชั้นบรรยากาศ ค่า Lr หรือค่าการสูญเสียจากน้ำฝน

ข-7 เมนูการหาค่า E_b/N_o ของระบบและค่า G/T



รูปที่ ข-7 เมนูการหาค่า E_b/N_o ของจานสายอากาศและค่า G/T

ในรูปที่ ข-7 เป็นเมนูการหาค่า E_b/N_o และค่า G/T ของโปรแกรมช่วยที่ออกแบบโดยยังไม่ได้ทำการป้อนค่าต่างๆ ลงไปสำหรับสมการที่ใช้ในการหาค่า E_b/N_o สามารถหาได้จากสมการที่ (29) ในบทที่ 2 และค่า G/T สามารถหาได้จากสมการที่ (30) และ (31) ในบทที่ 2 เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
โปรแกรมที่ออกแบบเพื่อควบคุมระบบ

โปรแกรมในส่วนเริ่มการทำงาน

```
Private Sub cmdOK1_Click()
    Visible = False
    frmMain.Show
    frmMain!SNam.Text = Na.Text
End Sub

Private Sub Form_Load()
    cmdOK1.Enabled = False
    Option1.Enabled = False
    Option2.Enabled = False
End Sub

Private Sub Na_Change()
    Option1.Enabled = True
    Option2.Enabled = True
End Sub

Private Sub Option1_Click()
    cmdOK1.Enabled = True
    comOne.CommPort = 1
End Sub

Private Sub Option2_Click()
    cmdOK1.Enabled = True
    comOne.CommPort = 2
End Sub
```

โปรแกรมในส่วนเมนูหลัก

```
Option Explicit
Private Declare Function WinHHelp _
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Lib "user32" Alias "WinHelpA" ( _
    ByVal hwnd As Long, _
    ByVal lpHelpFile As String, _
    ByVal wCommand As Long, _
    ByVal dwData As Long _
) As Long

Const TOHSV = 1
Const TORGB = 2

Dim RGBColor
Dim R, G, B, H, S, V

Private Sub Command7_Click()
    Form3.Show
End Sub

Private Sub menuExit_Click()
    End
End Sub

Private Sub cmdStart_Click()
    Dim Buffer As Variant
    comOne.CommPort = 2
    comOne.Settings = "9600,n,8,1"
    comOne.InBufferSize = 1024
    comOne.InputMode = comInputModeText
    comOne.InputLen = 0
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<010/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<020/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<030/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    comOne.Output = "<010/MF_146.1500" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<020/DF_146.1500" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<030/DF_146.1500" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<010/RF_ON" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<010/DF_146.1500" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<020/MF_125.8500" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<030/MF_125.8500" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<020/RF_OFF" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<030/RF_OFF" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
End Sub

Private Sub cmdSite1_Click()
    Dim Buffer As Variant
    comOne.Settings = "9600,e,7,1"
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<010/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<020/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<030/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<020/RF_ON" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<030/RF_OFF" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<010/DF_125.8500" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<010/RF_ON" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
End Sub

Private Sub cmdSite2_Click()
    Dim Buffer As Variant
    comOne.Settings = "9600,e,7,1"
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<010/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<020/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<030/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<020/RF_OFF" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<030/RF_ON" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<010/DF_125.8500" & vbCr
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<010/RF_ON" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
End Sub

Private Sub comOne _OnComm()
    Dim Buffer As Variant
    ShowData Text1, (StrConv(Buffer, vbUnicode))
    lblHost.Caption = comOne.Input
End Sub

Private Static Sub ShowData(Term As Control, Data As String)
    On Error GoTo Handler
    Const MAXTERMSIZE = 16000
    Dim TermSize As Long, i
' Make sure the existing text doesn't get too large.
    TermSize = Len(Term.Text)
    If TermSize > MAXTERMSIZE Then
      Term.Text = Mid$(Term.Text, 4097)
      TermSize = Len(Term.Text)
    End If

  ' Point to the end of Term's data.
    Term.SelStart = TermSize

    ' Filter/handle BACKSPACE characters.
    Do
      i = InStr(Data, Chr$(8))
      If i Then
        If i = 1 Then
          Term.SelStart = TermSize - 1
          Term.SelLength = 1
          Data = Mid$(Data, i + 1)
        Else
          Data = Left$(Data, i - 2) & Mid$(Data, i + 1)
        End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End If
  Loop While i

  ' Eliminate line feeds.
  Do
    i = InStr(Data, Chr$(10))
    If i Then
      Data = Left$(Data, i - 1) & Mid$(Data, i + 1)
    End If
  Loop While i

  ' Make sure all carriage BufInt%urns have a line feed.
  i = 1
  Do
    i = InStr(i, Data, Chr$(13))
    If i Then
      Data = Left$(Data, i) & Chr$(10) & Mid$(Data, i + 1)
      i = i + 1
    End If
  Loop While i

  ' Add the filtered data to the SelText property.
  Term.SelText = Data
  Term.SelStart = Len(Term.Text)
Exit Sub

Handler:
  MsgBox Error$
  Resume Next
End Sub

Private Sub cmdEbNo_Click()
  comOne.Settings = "9600,E,7,1"
  comOne.PortOpen = True
  comOne.Output = "<010/REM_" & vbCr
  comOne.PortOpen = False
  comOne.PortOpen = True
  comOne.Output = "<020/REM_" & vbCr
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<030/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<010/EBN0_" & vbCr
    lblHost.Caption = comOne.Input
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<020/EBN0_" & vbCr
    lblSite.Caption = comOne.Input
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<030/EBN0_" & vbCr
    lblSite1.Caption = comOne.Input
    comOne.PortOpen = False
End Sub

Private Sub cmdTx_Signal_Click()
    comOne.Settings = "9600,E,7,1"
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<010/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<020/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<030/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<010/CBER_" & vbCr
    lblErrorH.Caption = comOne.Input
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<020/CBER_" & vbCr
    lblErrorS1.Caption = comOne.Input
    comOne.PortOpen = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<030/CBER_" & vbCr
    lblErrorS2.Caption = comOne.Input
    comOne.PortOpen = False
End Sub

Private Sub cmdEnd_Click()
    End
End Sub

Private Sub cmdClear_Click()
    comOne.Settings = "9600,e,7,1"
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = " <010/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<010/CLSF_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = " <020/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<020/CLSF_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = " <030/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<030/CLSF_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
End Sub

Private Sub cmdParameter_Click()
    Form1.Show
End Sub

Private Sub cmdStatus_Click()
    Form3.Show
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Private Sub cmdUpdate_Click()
    comOne.Settings = "9600,E,7,1"
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<010/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<020/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<030/REM_" & vbCr
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<010/EBN0_" & vbCr
    lblHost.Caption = comOne.Input
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<020/EBN0_" & vbCr
    lblSite.Caption = comOne.Input
    comOne.PortOpen = False
    comOne.PortOpen = True
    comOne.Output = "<030/EBN0_" & vbCr
    lblSite1.Caption = comOne.Input
    comOne.PortOpen = False
End Sub

Private Sub mnuAbout_Click()
    Form4.Show
End Sub

Private Sub mnuExit_Click()
    End
End Sub

Private Sub mnuSetup_Click()
    Form1.Show
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub
```

โปรแกรมในส่วนกำหนดพารามิเตอร์ของสถานี

```
Private Sub cmdCancel1_Click()
    Form1.Visible = False
End Sub

Private Sub cmdOK1_Click()
    Form1.Visible = False
End Sub

Private Sub cmdTestMode_Click()
    optCW.Enabled = True
    optIFLoop.Enabled = True
    optRFLoop.Enabled = True
    optBBLoop.Enabled = True
End Sub

Private Sub Form_Load()
    cmdTest.Enabled = False
    cmdClr.Enabled = False
    optCW.Enabled = False
    optRFLoop.Enabled = False
    optIFLoop.Enabled = False
    optBBLoop.Enabled = False

    Dim Txdata(9) As String
    Txdata(1) = "TXV = 1/2"
    Txdata(2) = "TXV = 3/4"
    Txdata(3) = "TXV = 7/8"
    Txdata(4) = "TXV = N/A"
    Txdata(5) = "TXV = BP12"
    Txdata(6) = "TXA = BP12"
    Txdata(7) = "TXB = 1/2"
    Txdata(8) = "TXC = 7/8"
    Txdata(9) = "TXD = 1/2"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    For i% = 1 To 9
        Combo1.AddItem Txdata(i%)
    Next i%
    Dim Rxdata(9) As String
    Rxdata(1) = "RXV = 1/2"
    Rxdata(2) = "RXV = 3/4"
    Rxdata(3) = "RXV = 7/8"
    Rxdata(4) = "RXV = N/A"
    Rxdata(5) = "RXV = BP12"
    Rxdata(6) = "RXA = BP12"
    Rxdata(7) = "RXB = 1/2"
    Rxdata(8) = "RXC = 7/8"
    Rxdata(9) = "RXD = 1/2"
    For i% = 1 To 9
        Combo2.AddItem Rxdata(i%)
    Next i%
    Dim Txclk(2) As String
    Txclk(1) = "Internal"
    Txclk(2) = "External"
    For i% = 1 To 2
        Combo3.AddItem Txclk(i%)
    Next i%
    Dim Rxclk(2) As String
    Rxclk(1) = "Normal"
    Rxclk(2) = "Inverted"
    For i% = 1 To 2
        Combo4.AddItem Rxclk(i%)
    Next i%
End Sub

Private Sub optBBLoop_Click()
    cmdTest.Enabled = True
    cmdClr.Enabled = True
End Sub

Private Sub optCW_Click()
    cmdTest.Enabled = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    cmdClr.Enabled = True
End Sub

Private Sub optIFLoop_Click()
    cmdTest.Enabled = True
    cmdClr.Enabled = True
End Sub

Private Sub optRFLoop_Click()
    cmdClr.Enabled = True
    cmdTest.Enabled = True
End Sub
```

โปรแกรมช่วยคำนวณพารามิเตอร์ดาวเทียม

```
Option Explicit
    Dim VFreq As Single
    Dim VSdm70 As Single
    Dim VSdm140 As Single
    Dim VHub70 As Single
    Dim VHub140 As Single
    Dim VIdu As Single
    Dim VComst As Single
    Dim VSacin As Single
    Dim VSacout As Single
    Dim i As Integer
    Dim VCenter As Single

Private Sub cmdCancel7_Click()
    Call Clear
    Form7.Visible = False
End Sub

Private Sub cmdComst_Click()
    Call Clear
    Comst.Enabled = True
    cmdComst.Enabled = True
    cmdOK7.Enabled = False
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub cmdHub140_Click()
    Call Clear
    Hub140.Enabled = True
    cmdHub140.Enabled = True
    cmdOK7.Enabled = False
End Sub

Private Sub cmdHub70_Click()
    Call Clear
    Hub70.Enabled = True
    cmdHub70.Enabled = True
    cmdOK7.Enabled = False
End Sub

Private Sub cmdIDU_Click()
    Call Clear
    IDU.Enabled = True
    cmdIDU.Enabled = True
    cmdOK7.Enabled = False
End Sub

Private Sub cmdOK7_Click()
    Call Enable
     Dim FullName, Cent  As String
     FullName = Combo2.Text
    Cent = Right(FullName, 4)
    Center.Text = Cent
    VCenter = Val(Center.Text)
    VIdu = (Val(Freq.Text) - 3700) / 0.025
    IDU.Text = Format(VIdu, "#####.####")
    VSdm70 = 70 - (VCenter - Val(Freq.Text))
    Sdm70.Text = Format(VSdm70, "#####.####")
    VSdm140 = 140 - (VCenter - Val(Freq.Text))
    Sdm140.Text = Format(VSdm140, "#####.####")
    VSacin = (140 - (VCenter - Val(Freq.Text)) - 113) / 0.1
    Sacin.Text = Format(VSacin, "#####.####")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    VSacout = (140 - (VCenter - Val(Freq.Text)) - 113) / 0.1
    Sacout.Text = Format(VSacout, "#####.####")
    VComst = 70000 - (3800000 - (Val(Freq.Text) * 1000))
    Comst.Text = Format(VComst, "#####.####")
    VHub70 = ((70 - (VCenter - Val(Freq.Text))) - 52) / 0.025
    Hub70.Text = Format(VHub70, "#####.####")
    VHub140 = ((140 - (VCenter - Val(Freq.Text))) - 104) / 0.025
    Hub140.Text = Format(VHub140, "#####.####")
End Sub

Private Sub cmdSacin_Click()
    Call Clear
    Sacin.Enabled = True
    cmdSacin.Enabled = True
    cmdOK7.Enabled = False
End Sub

Private Sub cmdSacout_Click()
    Call Clear
    Sacout.Enabled = True
    cmdSacout.Enabled = True
    cmdOK7.Enabled = False
End Sub

Private Sub cmdSDM140_Click()
    Call Clear
    Sdm140.Enabled = True
    cmdSDM140.Enabled = True
    cmdOK7.Enabled = False
End Sub

Private Sub cmdSDM70_Click()
    Call Clear
    Sdm70.Enabled = True
    cmdSDM70.Enabled = True
    cmdOK7.Enabled = False
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Comst_Change()
    Dim FullName4, Centr  As String
    FullName4 = Comst.Text
    Centr = Right(FullName4, 6)
    Comst.Text = Centr
    VFreq = ((Val(Comst.Text) - 70000) + 3800000) / 1000
    Freq.Text = Format(VFreq, "#####.###")
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Combo1.Enabled = False
    Combo2.Enabled = False
    cmdOK7.Enabled = False
    cmdSDM70.Enabled = False
    cmdSDM140.Enabled = False
    cmdHub70.Enabled = False
    cmdHub140.Enabled = False
    cmdIDU.Enabled = False
    cmdComst.Enabled = False
    cmdSacin.Enabled = False
    cmdSacout.Enabled = False
    Sdm70.Enabled = False
    Sdm140.Enabled = False
    Hub70.Enabled = False
    Hub140.Enabled = False
    IDU.Enabled = False
    Comst.Enabled = False
    Sacin.Enabled = False
    Sacout.Enabled = False
    Freq.Enabled = False
    Dim TC2(24) As String
       TC2(1) = "TP1H =  3740"
       TC2(2) = "TP2H =  3780"
       TC2(3) = "TP3H =  3820"
       TC2(4) = "TP4H =  3860"
       TC2(5) = "TP5H =  3900"
       TC2(6) = "TP6H =  3940"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    TC2(7) = "TP7H =  3980"
    TC2(8) = "TP8H =  4020"
    TC2(9) = "TP9H =  4060"
    TC2(10) = "TP10H = 4100"
    TC2(11) = "TP11H = 4140"
    TC2(12) = "TP12H = 4180"
    TC2(13) = "TP1V =  5965"
    TC2(14) = "TP2V =  6005"
    TC2(15) = "TP3V =  6045"
    TC2(16) = "TP4V =  6085"
    TC2(17) = "TP5V =  6125"
    TC2(18) = "TP6V =  6165"
    TC2(19) = "TP7V =  6205"
    TC2(20) = "TP8V =  6245"
    TC2(21) = "TP9V =  6285"
    TC2(22) = "TP10V = 6325"
    TC2(23) = "TP11V = 6365"
    TC2(24) = "TP12V = 6405"
For i% = 1 To 24
    Combo1.AddItem TC2(i%)
Next i%
Dim TC3(24) As String
    TC3(1) = "TP1H =  5945"
    TC3(2) = "TP2H =  5985"
    TC3(3) = "TP3H =  6025"
    TC3(4) = "TP4H =  6065"
    TC3(5) = "TP5H =  6105"
    TC3(6) = "TP6H =  6145"
    TC3(7) = "TP7H =  6185"
    TC3(8) = "TP8H =  6225"
    TC3(9) = "TP9H =  6265"
    TC3(10) = "TP10H = 6305"
    TC3(11) = "TP11H = 6345"
    TC3(12) = "TP12H = 6385"
    TC3(13) = "TP1V =  3720"
    TC3(14) = "TP2V =  3760"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        TC3(15) = "TP2V =  3800"
        TC3(16) = "TP4V =  3840"
        TC3(17) = "TP5V =  3880"
        TC3(18) = "TP6V =  3920"
        TC3(19) = "TP7V =  3960"
        TC3(20) = "TP8V =  4000"
        TC3(21) = "TP9V =  4040"
        TC3(22) = "TP10V = 4080"
        TC3(23) = "TP11V = 4120"
        TC3(24) = "TP12V = 4160"
    For i% = 1 To 24
        Combo2.AddItem TC3(i%)
    Next i%
End Sub

Private Sub Freq_Change()
    cmdOK7.Enabled = True
End Sub

Private Sub Hub140_Change()
    Dim FullName8, Central  As String
    FullName8 = Hub140.Text
    Central = Right(FullName8, 6)
    Hub140.Text = Central
    VFreq = ((Val(Hub140.Text) * 0.025) - 36) + VCenter
    Freq.Text = Format(VFreq, "#####.###")
End Sub

Private Sub Hub70_Change()
    Dim FullName7, Central  As String
    FullName7 = Hub70.Text
    Central = Right(FullName7, 6)
    Hub70.Text = Central
    VFreq = ((Val(Hub70.Text) * 0.025) - 18) + VCenter
    Freq.Text = Format(VFreq, "#####.###")
End Sub

Private Sub IDU_Change()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Dim FullName3, Central  As String
    FullName3 = IDU.Text
    Central = Right(FullName3, 6)
    IDU.Text = Central
    VFreq = (Val(IDU.Text) * 0.025) + 3700
    Freq.Text = Format(VFreq, "#####.###")
End Sub

Private Sub OptTC2_Click()
    Combo2.Text = " "
    Combo2.Enabled = False
    Combo1.Enabled = True
End Sub

Private Sub OptTC3_Click()
    Combo1.Text = " "
    Combo1.Enabled = False
    Combo2.Enabled = True
    Freq.Enabled = True
End Sub

Public Sub Clear()
    Sdm70.Text = " "
    Sdm140.Text = " "
    Hub70.Text = " "
    Hub140.Text = " "
    IDU.Text = " "
    Comst.Text = " "
    Sacin.Text = " "
    Sacout.Text = " "
    Freq.Text = " "
    cmdSDM70.Enabled = False
    cmdSDM140.Enabled = False
    cmdHub70.Enabled = False
    cmdHub140.Enabled = False
    cmdIDU.Enabled = False
    cmdComst.Enabled = False
    cmdSacin.Enabled = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    cmdSacout.Enabled = False
End Sub

Public Sub Enable()
    cmdSDM70.Enabled = True
    cmdSDM140.Enabled = True
    cmdHub70.Enabled = True
    cmdHub140.Enabled = True
    cmdIDU.Enabled = True
    cmdComst.Enabled = True
    cmdSacin.Enabled = True
    cmdSacout.Enabled = True
    Sdm70.Enabled = False
    Sdm140.Enabled = False
    Hub70.Enabled = False
    Hub140.Enabled = False
    IDU.Enabled = False
    Comst.Enabled = False
    Sacin.Enabled = False
    Sacout.Enabled = False
    cmdOK7.Enabled = False
End Sub

Private Sub Sacin_Change()
    Dim FullName5, Centr  As String
    FullName5 = Comst.Text
    Centr = Right(FullName5, 6)
    Comst.Text = Centr
    VFreq = (((Val(Sacin.Text) * 0.1) - 27) + VCenter)
    Freq.Text = Format(VFreq, "#####.###")
End Sub

Private Sub Sacout_Change()
    Dim FullName6, Centr  As String
    FullName6 = Comst.Text
    Centr = Right(FullName6, 6)
    Comst.Text = Centr
    VFreq = (((Val(Sacout.Text) * 0.1) - 27) + VCenter)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Freq.Text = Format(VFreq, "#####.###")
End Sub

Private Sub Sdm140_Change()
    Dim FullName1, Centr  As String
    FullName1 = Sdm140.Text
    Centr = Right(FullName1, 6)
    Sdm140.Text = Centr
    VFreq = ((Val(Sdm140.Text) - 140) + VCenter)
    Freq.Text = Format(VFreq, "####.###")
End Sub

Private Sub Sdm70_Change()
    Dim FullName2, Centra  As String
    FullName2 = Sdm70.Text
    Centra = Right(FullName2, 6)
    Sdm70.Text = Centra
    VFreq = (Val(Sdm70.Text) - 70) + VCenter
    Freq.Text = Format(VFreq, "#####.###")
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายกมล โพธิ์งาม เกิดเมื่อวันที่ 5 เมษายน 2514 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (โทรคมนาคม) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2537 และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (อีเล็คโทรนิค) จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ

ปี พ.ศ. 2536 ถึง 30 มกราคม พ.ศ. 2538 เป็นอาจารย์โรงเรียนเทคโนโลยีช่างอุตสาหกรรมกรุงเทพ (หัวหมาก) ปี พ.ศ. 2538 ถึง ตุลาคม 2538 เป็นวิศวกรฝ่ายวิจัยผลิตภัณฑ์ UPS ของบริษัท Leonic ตุลาคม พ.ศ. 2538 เป็นเจ้าหน้าที่วิศวกรฝ่ายบริการลูกค้า (Customer Service Engineer) ของบริษัทคอมพิวเนท คอร์ปอเรชัน จำกัด ทำหน้าที่ทดสอบระบบและประสานงานด้านบริการกับลูกค้าในส่วนสื่อสารข้อมูลผ่านดาวเทียม ปี พ.ศ. 2541 จนถึงปัจจุบันเป็นเจ้าหน้าที่วิศวกรฝ่ายโครงข่าย (Network Engineer) ของบริษัทคอมพิวเนท คอร์ปอเรชัน จำกัด ทำหน้าที่ดูแลการทดสอบอุปกรณ์ใหม่ๆ และการประยุกต์ใช้งานโครงข่าย VSAT ทั้งแบบ TDMA และ SCPC ตลอดจนโครงข่ายไมโครเวฟภาคพื้นดินของบริษัท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้