

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยและการพัฒนาฉบับสมบูรณ์

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่
(Ku and C Band Satellite Receiver System)

รศ. ดร. ถวิติ พึ่งมา
ศ. มนูญ สุขเกษม
รศ. ณรงค์ เหมกรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

RCH

ปีงบประมาณ 2539

TK

5104

๓๒๗๘๙

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 34421

วัน, เดือน, ปี..... 1 พ.ย. 2542



T034421

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น การค้า
ไม่ได้รับอนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่ Ku and C band Satellite Receiver System

บทคัดย่อ

รายงานการวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่พร้อมกันได้แก่ ความถี่ย่าน Ku-band และ C-band โดยใช้จานสายอากาศรับสัญญาณเพียงจานเดียวที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 เมตร โดยอาศัยหลักการของตัวรับสัญญาณแบบขั้วคู่ (Dual Feed Horn) เพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมไทยคม ซึ่งผลจากการวิจัยนี้จะช่วยให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบรับสัญญาณดาวเทียม และยังช่วยลดพื้นที่ในการติดตั้งจานสายอากาศลงอีกด้วย อีกทั้งยังเป็นการช่วยส่งเสริมการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีของประเทศอีกทางหนึ่งด้วย

Abstract

This paper presents a experiment results of two frequencies receiver for Ku and C bands in satellite broadcasting system. By using the 1.8 meters diameter of parabolic antenna with dual feed horn to receive the signal from THAICOM satellite. Our propose this system can be able to save not only budget but a place to install also.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การวิจัยและออกแบบติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่	
2.1 คุณสมบัติของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่	2
2.2 ลักษณะ โครงสร้างของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่	2
2.3 การออกแบบเครื่องรับสัญญาณ	3
2.4 หลักการทำงาน การทดสอบและผลการทดสอบ	7
บทที่ 3 บทวิจารณ์	
3.1 ปัญหาและอุปสรรค	10
3.2 ผลที่ได้รับจากโครงการวิจัยนี้	10
3.3 บทสรุป	11
3.4 รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่จากโครงการวิจัยนี้	11
เอกสารอ้างอิง	12
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่จากโครงการวิจัยนี้	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม	2
รูปที่ 2 แสดงงานรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้รับสัญญาณความถี่ย่าน Ku-band และ C-band	5
รูปที่ 3 แสดง Feed Horn แบบขั้วสัญญาณคู่ที่ใช้ในการรับสัญญาณย่าน Ku-band และ C-band	5
รูปที่ 4 แสดงโมดูลของส่วนรับสัญญาณดาวเทียม	6
รูปที่ 5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของส่วนสัญญาณดาวเทียมที่ออกแบบเป็นชุด โมดูล	6
รูปที่ 6 แสดงบล็อกของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม	7
รูปที่ 7 แสดงชุดอุปกรณ์บันทึกสัญญาณ	8
รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างของผลการทดลองที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่	9



บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันการสื่อสารดาวเทียมมีความเจริญก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น จนกระทั่งมีการนำเอาจานสายอากาศและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งจะเห็นได้จากหน่วยงานทั้งภาครัฐบาล และเอกชน บริษัทต่างๆ หรือแม้แต่บ้านที่อยู่อาศัย ก็เริ่มมีการนำเอาเครื่องรับสัญญาณมาใช้กัน ซึ่งแนวโน้มในปัจจุบันและต่อไปในอนาคตจะมีการขยายความถี่ให้บริการทั้ง 2 ย่านความถี่ คือ ในความถี่ย่าน Ku-band และ C-band ซึ่งจะต้องใช้เครื่องรับสัญญาณที่ภาคพื้นดินจำนวน 2 ชุด รวมถึงงานรับสัญญาณด้วย ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมชนิดที่สามารถรับสัญญาณได้ทั้ง 2 ย่านความถี่ ในเวลาเดียวกัน คือทั้ง Ku-band (10.95-12.7 GHz) และ C-band (3.7-4.2 GHz) โดยใช้จานสายอากาศเพียงจานเดียว และตัวรับสัญญาณ (Feed Horn) แบบขั้วสัญญาณคู่ร่วมกับภาคขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (LNA : Low Noise Amplifier) เข้าสู่ภาคการลดทอนความถี่ลง (Down Converter) ไปยังภาค RF Driver จะได้ความถี่ IF เพื่อส่งต่อไปยังเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมชนิดแบนด์กว้างที่ทางทีมงานวิจัยได้พัฒนาขึ้น ให้สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ทั้งย่าน Ku-band และ C-band ซึ่งผลการวิจัยนี้จะช่วยให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบรับสัญญาณดาวเทียม และยังช่วยลดพื้นที่ในการติดตั้งจานสายอากาศลงอีกด้วย

การรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่นี้ ได้นำเอาหลักการของตัวรับสัญญาณแบบคู่ (Dual Feed Horn) ที่สามารถรับความถี่ได้ทั้ง 2 ความถี่ (Ku-band และ C-band) โดยมีการบังคับสัญญาณแบบที่มีการแยกสัญญาณระหว่าง Right-Hand Circular Polarization (RHCP) กับ Left-Hand Circular Polarization (LHCP)

บทที่ 2

การวิจัยและออกแบบติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่

2.1 คุณสมบัติของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่

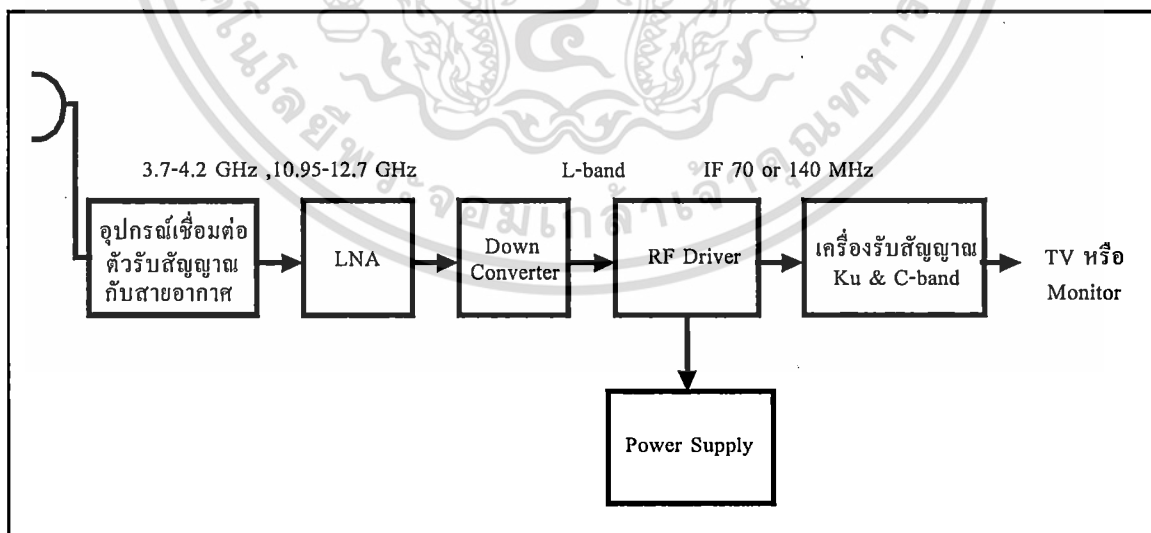
สำหรับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่ ที่ได้ทำการวิจัยและออกแบบขึ้นนั้น ได้มีการกำหนดคุณสมบัติเบื้องต้นไว้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่

รายละเอียด	คุณสมบัติ
ย่านความถี่	3.7 ถึง 12.7 GHz
ความแรงของสัญญาณ	มากกว่า 55 dBm เหนือที่พู่ท
การสูญเสียย้อนกลับ	น้อยกว่า -15 dB
อาร์เอฟพอร์ต	WR 229 Compatible

2.2 ลักษณะโครงสร้างของเครื่องรับสัญญาณแบบ 2 ความถี่

ส่วนประกอบของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบ่งออกเป็นหลายส่วนด้วยกัน ดังแสดงในบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

2.3 การออกแบบเครื่องรับสัญญาณ

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่ จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญๆ ดังนี้ คือ

- (1) อุปกรณ์ส่วนที่ติดตั้งภายนอกอาคาร (ODU : Outdoor Unit)
- (2) อุปกรณ์ส่วนที่ติดตั้งภายในอาคาร (IDU : Indoor Unit)

นอกจากนี้ยังประกอบด้วยเครื่องรับสัญญาณ (Receiver) ชนิดแบนด์กว้าง ระบบรีโซแนนท์ ซึ่งเป็นชนิด Dual รีโซแนนท์ และแหล่งจ่ายไฟ โดยอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียมเหล่านี้ จะทำหน้าที่เปลี่ยนระดับความถี่ของสัญญาณให้มีความถี่ต่ำลงจากระดับความถี่ 3.7-4.2 GHz และ 10.95-12.7 GHz ให้อยู่ในระดับความถี่ IF ซึ่งมีความถี่ 70 MHz หรือ 140 MHz

2.3.1 อุปกรณ์ส่วนที่ติดตั้งภายนอกอาคาร (ODU : Outdoor Unit)

อุปกรณ์ในส่วนที่ติดตั้งภายนอกอาคารจะประกอบไปด้วย

1. ส่วนของจานสายอากาศ (Satellite Dish Antenna)

จานสายอากาศจะทำหน้าที่รับสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียม โดยใช้หลักการสะท้อนที่พื้นผิวรูปโคงพาราโบลิก แล้วรวมสัญญาณมาไว้ที่จุดรวมสัญญาณ (Focal Point) วัสดุที่เหมาะสมในการผลิตจานนั้น คือ อะลูมิเนียม เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและไม่ขึ้นสนิม ซึ่งเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งกับประเทศไทย โดยในการวิจัยจะใช้จานที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 เมตร

หลักการทำงานของจานสายอากาศ

สัญญาณจากดาวเทียมจะตกกระทบพื้นผิวจาน ซึ่งมีลักษณะเป็นผิวโคงพาราโบลิก จากนั้นจะสะท้อนขึ้นไปรวมกัน ณ จุดโฟกัส ซึ่งอยู่ด้านหน้าจาน ซึ่งควรรวบรวมสัญญาณให้มาที่จุดโฟกัสให้ได้มากที่สุด

ในโครงการวิจัยจะใช้จานสายอากาศที่มีลักษณะเป็นจานพาราโบล่า และทำการติดตั้งที่ศาลาอาคารภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งเส้นรุ้ง $13^{\circ}45'36''$ เหนือ และเส้นแวง $100^{\circ}48'17''$ ตะวันออก โดยรับสัญญาณจากดาวเทียมไทยคม 1 ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งเส้นแวง 78.5 องศาตะวันออก เหนือเส้นศูนย์สูตร ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 โดยลักษณะต่างๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบจานสายอากาศ แสดงได้ดังตารางที่ 2

2. ส่วนของอุปกรณ์รวมสัญญาณ หรือ Feed Horn

Feed Horn จะเป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะคล้ายแตร ทำหน้าที่รวบรวมสัญญาณที่สะท้อนจากผิวจาน ดังนั้นตำแหน่งของ Feed Horn จะอยู่ที่จุดโฟกัส ในโครงการวิจัยนี้จะใช้ Feed Horn แบบหัวสัญญาณคู่ โดยใช้เทคนิคการโพลาไรซ์ ซึ่งเทคนิคการโพลาไรซ์ ก็คือ เทคนิคในการส่งสัญญาณที่สามารถเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณให้มากขึ้นจากช่องความถี่ที่มีอยู่จำกัด โดยการกำหนดให้ความถี่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นใบเซอร์เชียนดำเนินการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละช่องของดาวเทียมคาบเกี่ยวกัน และกำหนดให้มีมุมโพลาไรซ์ที่แตกต่างกัน เพื่อป้องกันการรบกวนกันเอง โดยในโครงการวิจัยนี้จะใช้เทคนิค Circular Polarization คือ มุมโพลาไรซ์แบบหมุน สัญญาณจะเคลื่อนที่แบบ Helically Rotation Pattern ซึ่งมีการปรับมุมโพลาไรซ์ในการแยกสัญญาณระหว่าง Right Hand Circular Polarization และ Left Hand Circular Polarization โดยใช้ Dual Feed Horn ที่สามารถแยกสัญญาณออกได้ 2 ย่านทั้งในย่าน Ku-band และ C-band เพื่อส่งสัญญาณต่อเข้าไปยังเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

3. ส่วนแปลงสัญญาณ

อุปกรณ์ในส่วนแปลงสัญญาณนั้น จะออกแบบมาในลักษณะโมดูล ที่สามารถติดตั้งไว้ที่โครงสร้างของตัวรับสัญญาณโดยตรง รวมทั้งแหล่งจ่ายกำลังของส่วนนี้ก็จะติดตั้งไว้กับจานสายอากาศได้เลย ในรูปที่ 4 แสดงโมดูลของส่วนรับสัญญาณดาวเทียมที่ติดตั้งอยู่นอกอาคาร ในส่วนของอุปกรณ์รับสัญญาณนี้ จะประกอบไปด้วยวงจรถ่ายขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (LNA) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของแอมพลิไฟเออร์ (Microwave Amplifier) ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณที่ผ่านเข้ามาจาก Feed Horn ซึ่งมีค่าทำให้มีขนาดสูงขึ้น แต่จะลดขนาดของสัญญาณรบกวนลง โดยจะมีกำลังขยายประมาณ 1 ล้านเท่า เมื่อขยายสัญญาณแล้ว จะส่งต่อไปยังส่วนที่สองคือ วงจรแปลงสัญญาณลง หรือ Down Converter ซึ่งทำหน้าที่แปลงความถี่จาก 4 GHz ให้เหลือ 1 GHz หรือที่เรียกว่า Intermediate Frequency (IF) ผ่านออกจาก LNB ผ่านเข้าสู่ส่วน RF Driver และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ดังบล็อกไดอะแกรมที่แสดงในรูปที่ 5

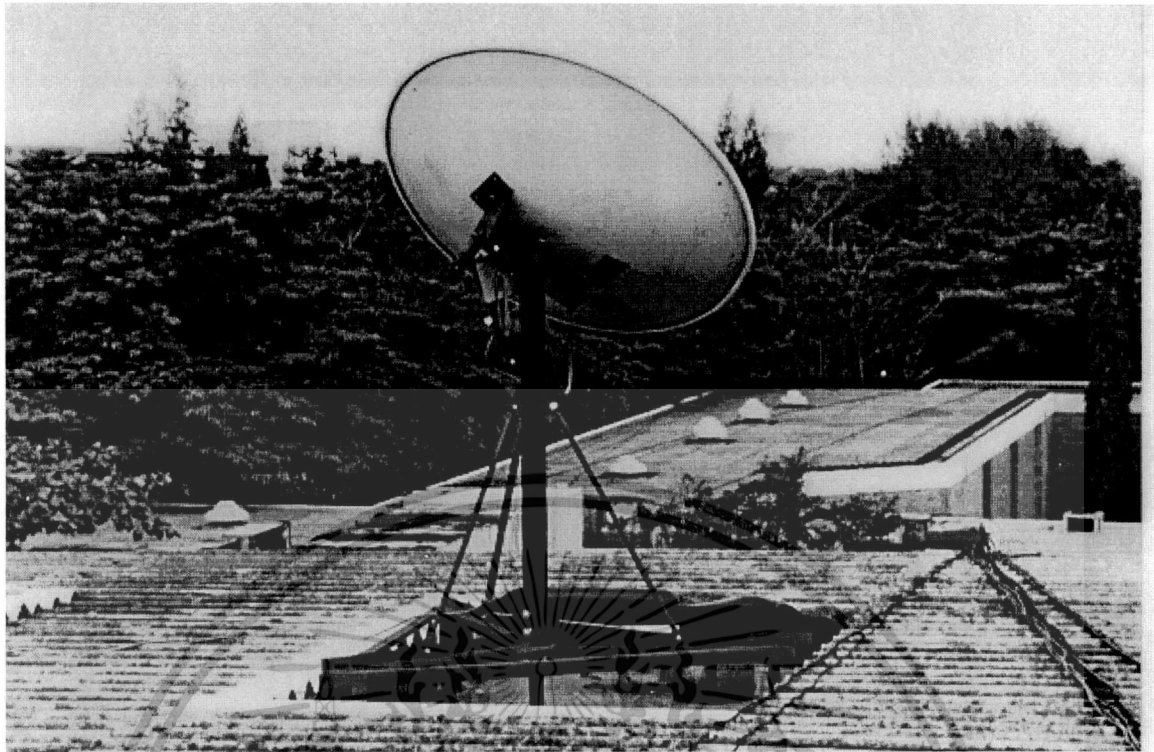
4. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ทำหน้าที่แปลงสัญญาณในช่อง IF ที่ผ่านมาจาก LNB ให้เป็น RF (Radio Frequency) แล้วส่งต่อไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ หรืออมินิเตอร์ต่อไป

ตาราง ที่ 2 แสดงลักษณะต่างๆ ของอุปกรณ์ในระบบจานสายอากาศ

ดาวเทียมที่ใช้ในการทดลอง	ดาวเทียมไทยคม 1
ตำแหน่งดาวเทียม	78.5 องศาตะวันออก
ความถี่ที่รับ (Modulated carrier)	3.7-4.2 GHz และ 10.95-12.7 GHz
โพลาไรเซชัน	Circular
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจานรับ	1.8 เมตร
อัตราขยายของจานสายอากาศรับ	38.2 dB
มุมเงยของจานสายอากาศรับ	59.60 องศา
มุมอาซิมูทของจานสายอากาศรับ	59.88 องศา

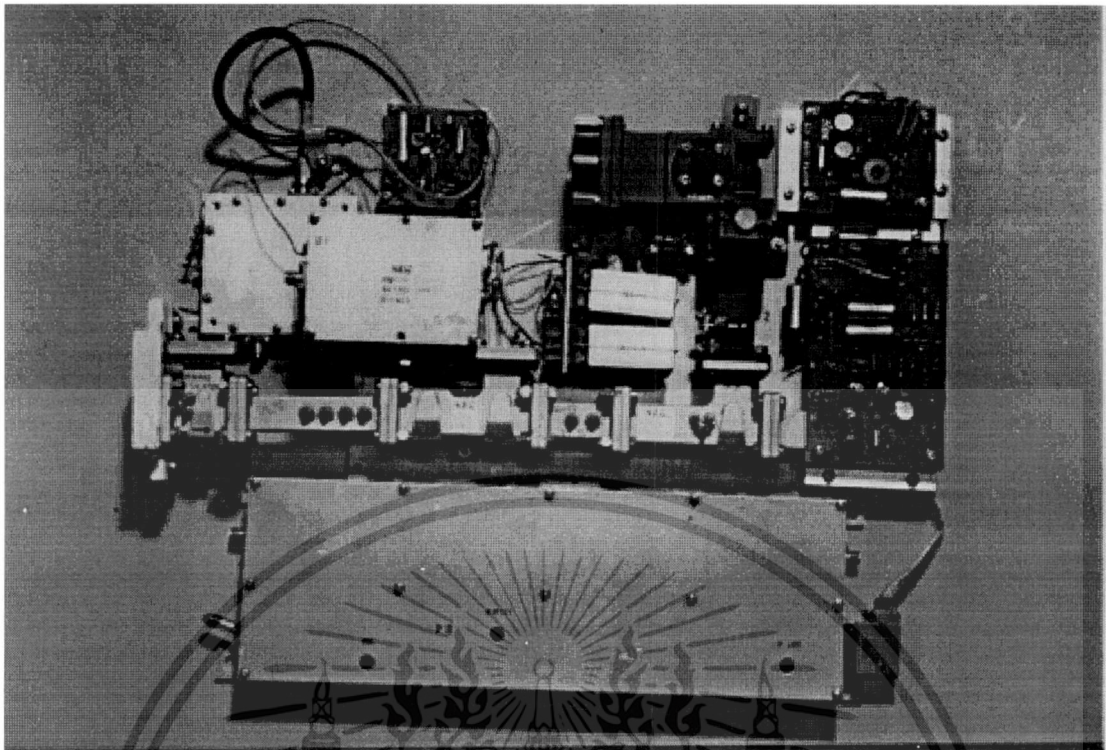
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



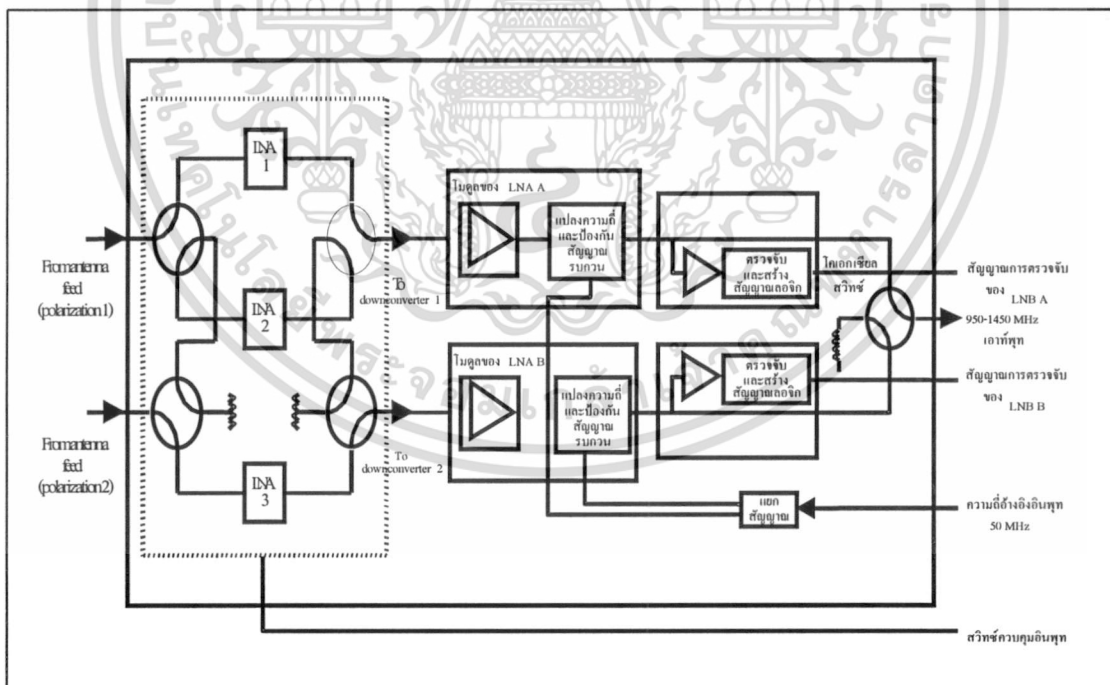
รูปที่ 2 แสดงงานรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้รับสัญญาณความถี่ย่าน Ku-band และ C-band



รูปที่ 3 แสดง Feed Horn แบบขั้วสัญญาณคู่ที่ใช้ในการรับสัญญาณย่าน Ku-band และ C-band เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 แสดง โมดูลของส่วนรับสัญญาณดาวเทียม



รูปที่ 5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของส่วนสัญญาณดาวเทียมที่ออกแบบเป็นชุด โมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

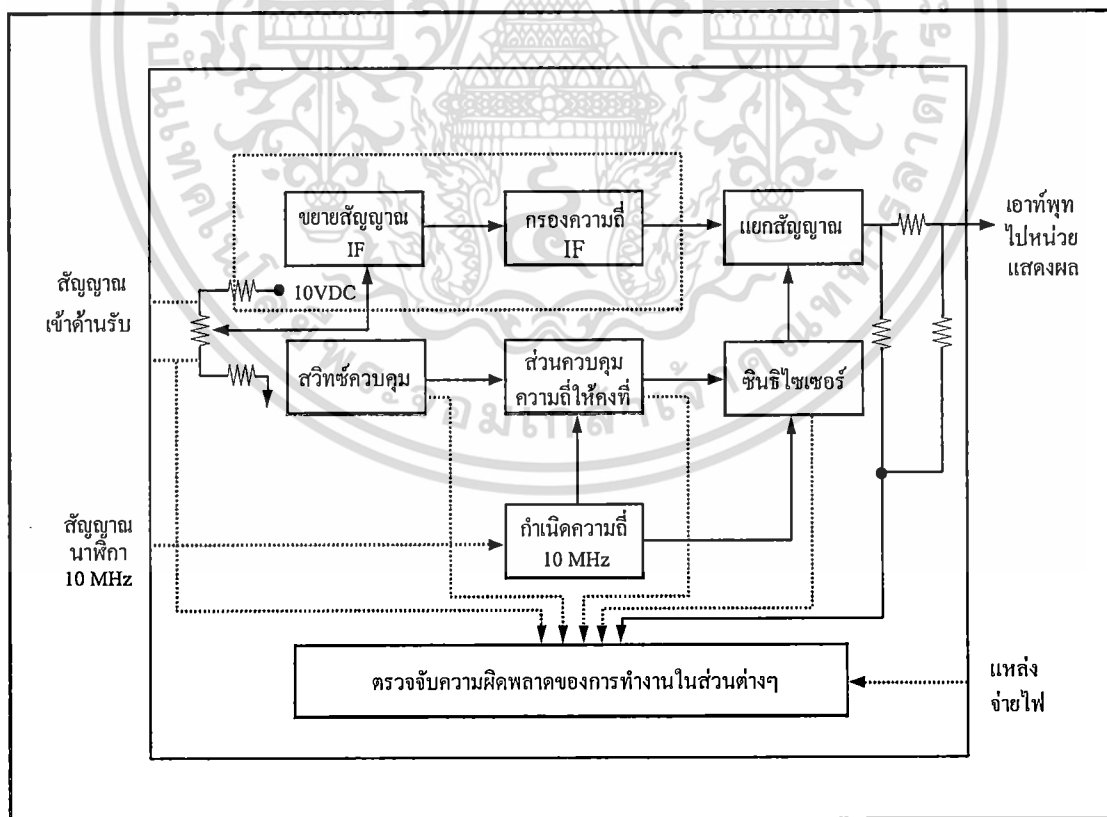
2.3.2 อุปกรณ์ส่วนที่ติดตั้งภายในอาคาร (IDU : Indoor Unit)

หลังจากที่ได้ทำการขยายสัญญาณความถี่และแปลงสัญญาณลงมาเป็นสัญญาณความถี่ IF แล้วก็จะส่งสัญญาณต่อมายังภาครับสัญญาณ โดยส่วนของเครื่องรับสัญญาณความถี่นี้แสดงไว้ในบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 6 ซึ่งจะติดตั้งไว้ภายในอาคาร โดยทางอินพุทเมื่อได้รับสัญญาณ IF เข้ามาก็จะทำการขยายสัญญาณและกรองสัญญาณนี้ จากนั้นจะส่งไปยังภาคดีมอดูเลท (Demodulate) เพื่อทำการแยกเอาสัญญาณ IF ออกไป โดยจะได้สัญญาณออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) มาจากส่วนสังเคราะห์ความถี่ ซึ่งมีความกว้างของแถบความถี่ 500 MHz การปรับจะปรับได้เป็นลำดับขั้น โดยแต่ละขั้นๆ ละ 2.5 MHz

2.4 หลักการทำงาน การทดสอบและผลการทดสอบ

2.4.1 หลักการทำงาน

เมื่อเครื่องรับสัญญาณความถี่แบบ 2 ความถี่ ได้รับสัญญาณความถี่ผ่านจานสายอากาศ ส่วนของอุปกรณ์รับสัญญาณความถี่จะทำหน้าที่เปลี่ยนระดับความถี่ของสัญญาณให้มีความถี่ต่ำลงจากระดับความถี่ 3.7-4.2 GHz และ 10.95-12.7 GHz ให้อยู่ในระดับความถี่ IF ซึ่งมีความถี่ 70 MHz หรือ 140 MHz จากนั้นจึงผ่านสัญญาณไปยังอุปกรณ์ภาคขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (LNA)



รูปที่ 6 แสดงบล็อกของเครื่องรับสัญญาณความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อทำการตัดทอนการรบกวนต่างๆ และเพิ่มกำลังการขยายให้มากขึ้นก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจรแปลงสัญญาณลงมาเป็นสัญญาณความถี่ IF แล้วส่งต่อไปยังภาครับสัญญาณของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม เพื่อทำการขยายสัญญาณและกรองสัญญาณ จากนั้นจึงส่งไปยังภาคมอดูเลท เพื่อทำการแยกรหัส IF ออกไป โดยจะได้สัญญาณออสซิลเลเตอร์มาจากส่วนสังเคราะห์ความถี่ ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนแปลงค่าได้

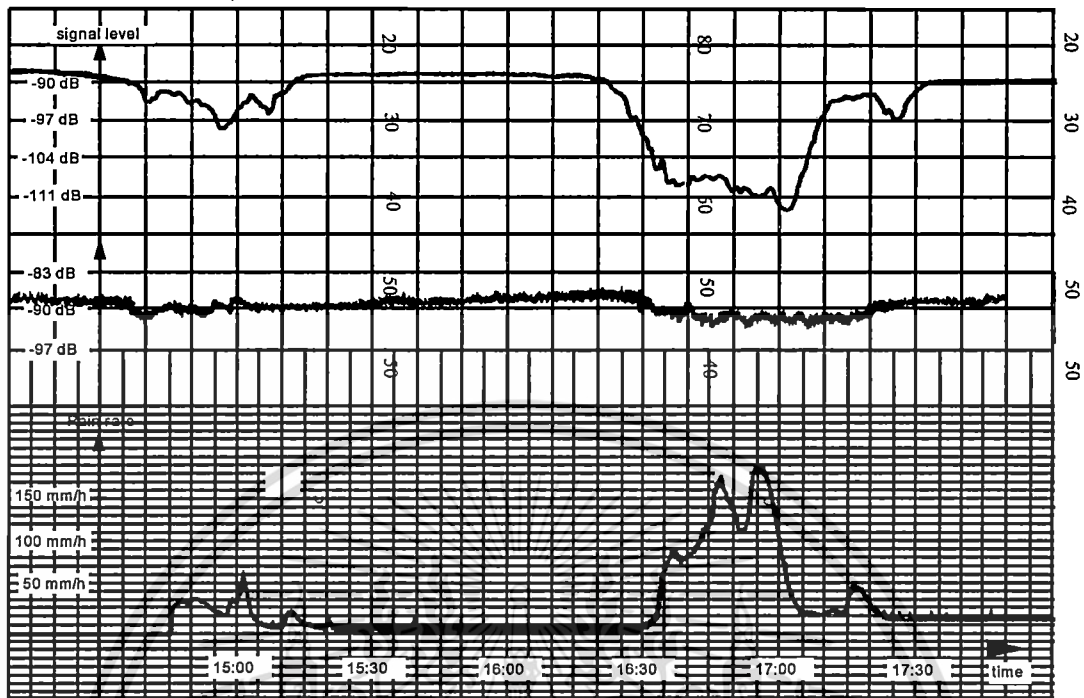
2.4.2 การทดสอบและผลการทดสอบ

ในการทดสอบเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ Ku-band และ C-band ที่ได้ทำการวิจัยและออกแบบขึ้นนั้น หลังจากที่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดที่คาดฟ้าของตึกภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมแล้วได้ทำการทดสอบผลการวัดสัญญาณด้วยชุดอุปกรณ์บันทึกสัญญาณตามรูปที่ 7 โดยทั่วไปจะมีระดับของสัญญาณที่ -90 dB และจะมีผลการตัดทอนของสัญญาณมากในขณะที่มีฝนตก โดยเฉพาะการรับสัญญาณดาวเทียมในความถี่ย่าน Ku-band ดังแสดงให้เห็นในกราฟรูปที่ 8 ส่วนในความถี่ย่าน C-band นั้นในช่วงเวลากลางคืนจะเกิดปรากฏการณ์การแกว่งของระดับสัญญาณ (Scintillation) อันเป็นปรากฏการณ์ที่ขึ้น Spread F ของชั้นบรรยากาศ Ionosphere ซึ่งเปรียบเทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน จากผลการทดลองนี้ จะเห็นว่าหากปรับปรุงการรับสัญญาณให้ดีแล้ว คงจะได้ระดับของสัญญาณที่เพิ่มขึ้นอีก



รูปที่ 7 แสดงชุดอุปกรณ์บันทึกสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างของผลการทดลองที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 บทวิจารณ์

3.1 ปัญหาและอุปสรรค

ในการออกแบบสร้างเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่นั้น ได้ประสบปัญหาและอุปสรรคทางด้านวัสดุอุปกรณ์บางอย่างที่จะนำมาใช้มีราคาแพงมาก หรืออุปกรณ์และคู่มือบางอย่างก็ไม่สามารถหาได้ในประเทศไทย ซึ่งแก้ปัญหาได้โดยการขอความช่วยเหลือทางด้านวัสดุอุปกรณ์หรือเอกสารที่จำเป็นจากมหาวิทยาลัยโตเกียว แห่งประเทศญี่ปุ่น ซึ่งได้รับความร่วมมือให้การสนับสนุนเป็นอย่างดีทางด้านข้อมูล ให้คำปรึกษา รวมทั้งได้รับความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์ที่สำคัญๆ เช่น งานสายอากาศ ซอฟต์แวร์ เป็นต้น

3.2 ผลที่ได้รับจากโครงการวิจัยนี้

จากการทดลองสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่ แล้วนำไปทดสอบการรับสัญญาณดาวเทียมในความถี่ย่าน Ku-band และ C-band เราพบว่าเครื่องต้นแบบสามารถที่จะรับสัญญาณดาวเทียมได้ทั้งสองความถี่ ในเวลาเดียวกัน โดยใช้ชุดงานสายอากาศชุดเดียวกัน จากผลการทดลองปรากฏว่าเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่ ที่ได้ทำการออกแบบขึ้นสามารถรับสัญญาณได้ทั้ง 2 ความถี่ ดังนั้นในการรับสัญญาณดาวเทียมทั้ง 2 ย่านความถี่นั้น แทนที่จะต้องใช้ชุดงานสายอากาศในการรับสัญญาณถึง 2 ชุด ก็สามารถที่จะใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่ที่มีการใช้ชุดงานสายอากาศเพียงชุดเดียวก็สามารถรับสัญญาณความถี่ได้ทั้ง 2 ย่าน จึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อชุดงานสายอากาศซึ่งมีราคาสูง อีกทั้งยังเป็นการประหยัดพื้นที่ในการติดตั้งงานสายอากาศอีกด้วย จากผลที่ได้ทำให้การสื่อสารดาวเทียมมีความแพร่หลายมากยิ่งขึ้น เนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณแบบ 2 ความถี่เพียงชุดเดียว ก็สามารถให้บริการในการรับสัญญาณความถี่ทั้งในย่าน Ku-band และ C-band ได้พร้อมกัน ซึ่งเป็นราคาที่ไมแพงมากนัก ประชาชนทั่วไปสามารถที่จะใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่ ได้ด้วยราคาที่ต่ำลง ดังนั้นอุตสาหกรรมในด้านการสื่อสารดาวเทียมสามารถพัฒนาไปสู่ระบบใหม่ๆ ได้มากขึ้น เนื่องจากชุดงานสายอากาศมีราคาถูกลง มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย บริษัทต่างๆ จึงมีการแข่งขันการให้บริการเสริมกันมากขึ้น เพื่อเป็นการตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้น และเกิดการแข่งขันกันในด้านบริการ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อประชาชนโดยทั่วไป นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาไปสู่อุตสาหกรรมด้านการสื่อสารทางไกล และระบบมัลติมีเดีย เช่น การด้านการศึกษาทางไกล การประชุมทางไกล ห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์ การช้อปปิ้งผ่านดาวเทียม และการรักษาพยาบาลทางไกล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 บทสรุป

จากตัวอย่างของผลการทดลองที่วัดได้จากเครื่อง Recorder และเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน จะเห็นว่าสัญญาณที่รับได้ทั้งในย่าน Ku-band และ C-band มีระดับสัญญาณที่ใช้ได้ คือ -90 dB และจะถูกลดทอนลงตามปริมาณของการตกของฝน ซึ่งจะพบว่าที่อัตราการตกของฝนที่ 170 มม./ชม. สัญญาณดาวเทียมที่รับได้ในย่าน Ku-band นั้นจะถูกลดทอนลงถึง 20 dB ส่วนในย่าน C-band นั้น จะไม่มีผลกระทบมากนัก ดังนั้นแนวทางที่จะพัฒนาต่อไปก็คือ การวิเคราะห์ผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับการรับสัญญาณดาวเทียมทั้งในย่าน Ku-band และ C-band เพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงระบบการรับสัญญาณดาวเทียมให้มีคุณภาพ โดยชดเชยกับอัตราการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้การติดต่อสื่อสารเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

3.4 รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่จากโครงการวิจัยนี้

1. “การรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่ย่าน Ku และ C แบนด์” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18 จัดโดยภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร วันที่ 22-24 พฤศจิกายน 2538 หน้า 280 ถึง 284

เอกสารอ้างอิง

1. พิเชษ เสนาะถ้ำ อธิรัชชัย อรุณศรีแสงไชย และถวิล พึ่งมา “เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมตรวจสอบสภาพอากาศที่ลาดกระบัง” การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15 ธันวาคม 2535
2. Timothy Pratt and Charles W. Bostian “Satellite Communications”, John Wiley&Sons, 1986.
3. Arthur C. Clarke, “World Satellite Almanac” , MLEINC P.O. BOX 159, 1991.
4. T. Puangma and Y. Moriya, “Rain Attenuation along Earth-to-Space Paths in Thailand and Development of Moment rainfall Intensity Recorder”, The 12th (1991) International Telecommunication Symposium, Feb 27-March 1.
5. T. Puangma, Y. Moriya and H. Samamoto, “Rainfall Intensity Recorder Used Flow Sensor”, Technical Digest of the 8th Sensor Symposium, pp. 173-176, 1989.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานมหกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
ครั้งที่ 18



จัดโดย - -

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

การรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่ย่าน Ku และ C แบนด์

Ku and C bands Satellite Receiving System

ถาวร คันทรงมาศกุล * ถวิล พึ่งมา ** ประกิจ ดั่งศิลาพันธ์ ** Y. Moriya ***

บทคัดย่อ

ในบทความนี้นำเสนอการรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่พร้อมกัน ได้แก่ ความถี่ย่าน Ku-band และ C-band โดยใช้จานสายอากาศรับสัญญาณเพียงจานเดียวที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 เมตร โดยอาศัยหลักการของตัวรับสัญญาณ (Feed horn) แบบขั้วสัญญาณคู่เพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมไทยคม ซึ่งผลจากการวิจัยนี้จะช่วยให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบรับสัญญาณดาวเทียมและยังช่วยลดพื้นที่ในการติดตั้งจานสายอากาศลงอีกด้วย อีกทั้งยังเป็นการช่วยส่งเสริมการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีของประเทศอีกทางหนึ่งด้วย

Abstract

This paper presents a experiment results of two frequencies receiver for Ku and C bands in satellite broadcasting system. By using the 1.8 meters diameter of parabolic antenna with dual feed horn to receive the signal from THAICOM satellite. Our propose this system can be cable to save not only budget but also save for place to install.

1. บทนำ

ปัจจุบันการสื่อสารดาวเทียมมีความก้าวหน้ามากขึ้นจนกระทั่งมีการนำเอางานรับและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังจะเห็นได้จากความหน่วยงานบริษัทหรือแม้แต่บ้านที่อยู่อาศัยก็เริ่มมีการนำเครื่องรับสัญญาณมาใช้กัน[1] ซึ่งแนวโน้มในปัจจุบันและต่อไปในอนาคตจะมีการขยายความถี่ให้บริการทั้ง 2 แบนด์ คือ Ku-band และ C-band ซึ่งจะทำให้เครื่องรับสัญญาณที่ภาคพื้นดินนั้น จะต้อง มี 2 ชุด รวมถึงงานรับสัญญาณด้วย ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้แนวความคิดที่จะพัฒนาเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมชนิดที่สามารถรับสัญญาณได้ทั้ง 2 แบนด์ ในเวลาเดียวกันคือทั้ง Ku-band (10.95-12.7 GHz) และ C-band (3.7-4.2 GHz)[2] โดยใช้จานสายอากาศเพียงจานเดียว และตัวรับสัญญาณ (Feed horn) แบบขั้วสัญญาณคู่ร่วมกับภาคขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (LNA : Low

Noise Amplifier) เข้าสู่ภาคการลดทอนความถี่ลง (Down Converter) ไปยังภาค RF Driver จะให้ความถี่ IF เพื่อส่งต่อไปยังเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมชนิดแบนด์กว้างที่ทางทีมงานวิจัยได้พัฒนาขึ้นให้สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ทั้งย่าน Ku-band และ C-band ซึ่งผลจากการวิจัยนี้จะช่วยให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบรับสัญญาณดาวเทียมและยังช่วยลดพื้นที่ในการติดตั้งจานสายอากาศลงอีกด้วย

การรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่นี้ได้นำเอาหลักการของการนำเอาตัวรับสัญญาณแบบคู่ (Dual feed horn) ที่สามารถรับความถี่ได้ทั้งสองความถี่ (Ku-band และ C-band) โดยมีการบังคับสัญญาณแบบที่มีการแยกสัญญาณระหว่าง Right-Hand Circular Polarization (RHCP) กับ Left-Hand Circular Polarization (LHCP)

2. การต่อระบบสัญญาณแบบ 2 ความถี่

การรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่ที่ได้กำหนดคุณสมบัติไว้ดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่

ย่านความถี่	3.7 ถึง 12.7 GHz
ความแรงของสัญญาณ	มากกว่า 55 dBm เคาท์พุท
การสูญเสียย้อนกลับ	น้อยกว่า -15 dB
อาร์ทเพอร์ท	WR 229 Compatible

3. การทำงานของระบบ

ส่วนประกอบของอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียมแบ่งออกเป็นหลายส่วนด้วยกันดังแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 1[3] โดยจะมีส่วนประกอบดังนี้คือส่วนที่ติดตั้งภายในอาคาร (IDU:Indoor Unit) ส่วนที่ติดตั้งนอกอาคาร (ODU:Outdoor Unit) เครื่องรับสัญญาณ (Receiver) ชนิดแบนด์กว้างและแหล่งจ่ายไฟ โดยอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียมนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนระดับความถี่ของสัญญาณให้มีความถี่ต่ำลงจากระดับความถี่ 3.7-4.2 GHz และ 10.95-12.7 GHz ให้อยู่ในระดับความถี่ IF ซึ่ง มีความถี่ 70 MHz หรือ 140 MHz

* นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์

** รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

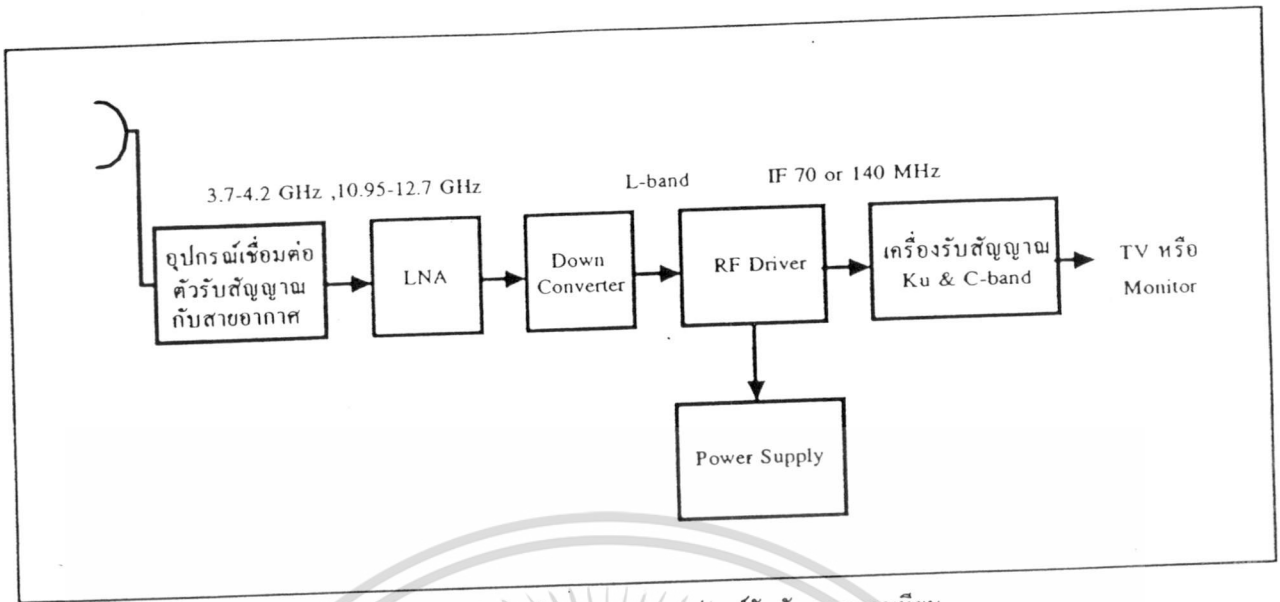
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

*** Professor from TOKAI UNIVERSITY

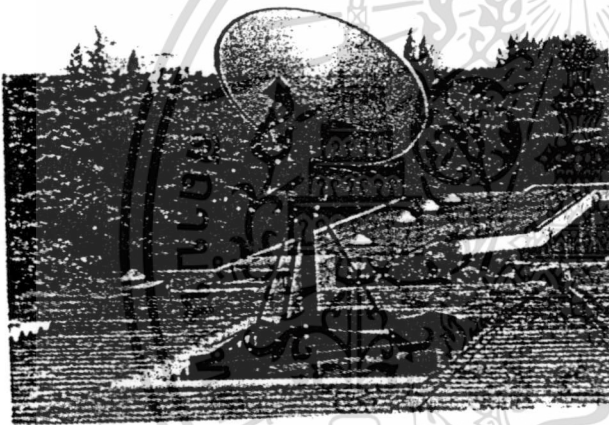
KANAGAWA JAPAN

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันฯ ส่วนผู้รับควรใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

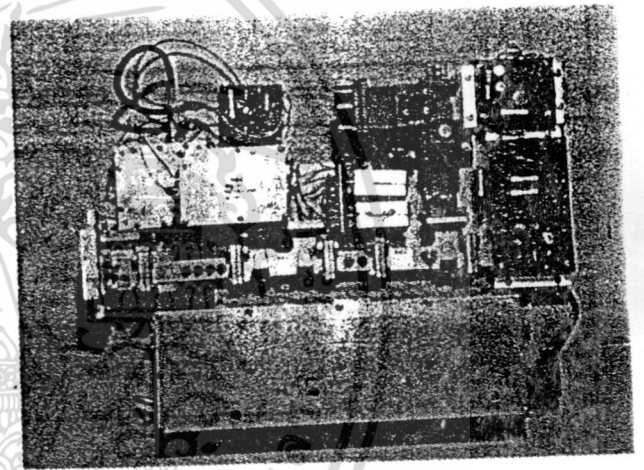
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



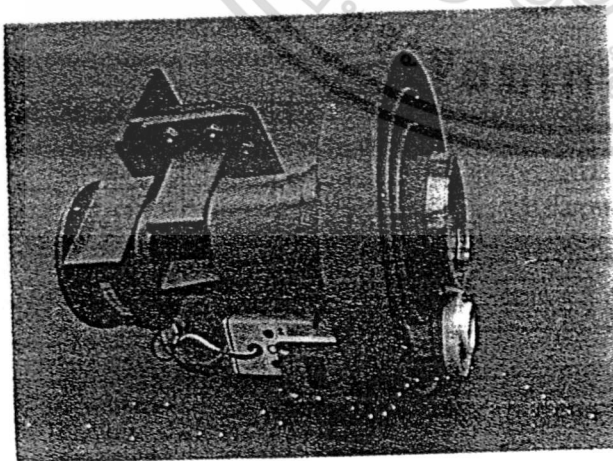
รูปที่ 1 แสดงบล็อกโคอะแกรมของอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม



รูปที่ 2 แสดงจานรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้รับสัญญาณความถี่ย่าน Ku-band และ C-band



รูปที่ 4 แสดงโมดูลของส่วนรับสัญญาณดาวเทียม



รูปที่ 3 แสดง Feed horn แบบขั้วสัญญาณคู่ที่ใช้ในการรับสัญญาณย่าน Ku-band และ C-band

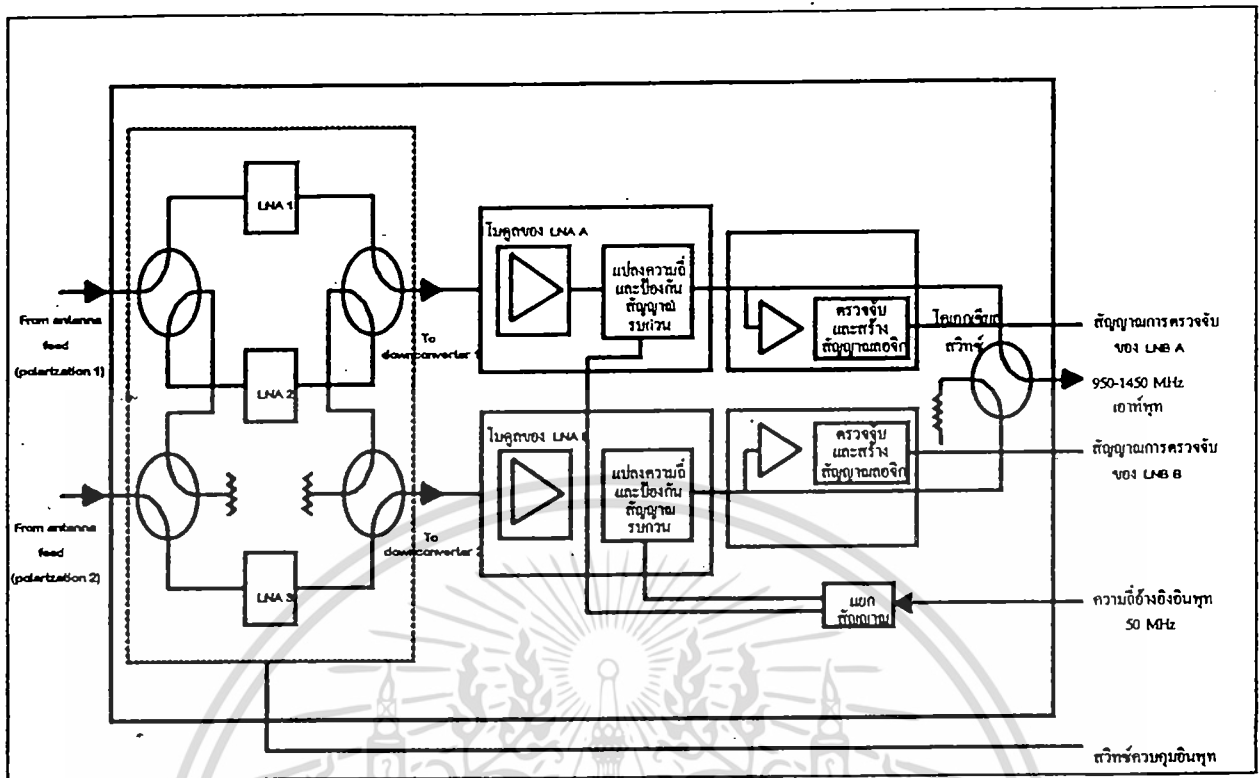
3.1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่นอกอาคาร (ODU: Outdoor Unit)

อุปกรณ์ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยจานสายอากาศขนาด 1.8 เมตร กับ Feed horn แบบขั้วสัญญาณคู่ซึ่งรูปที่ 2 และรูปที่ 3 และส่วนแปลงสัญญาณซึ่งออกแบบมาในลักษณะโมดูลที่สามารถติดตั้งไว้ที่โครงสร้างของตัวรับสัญญาณ โดยตรงรวมทั้งแหล่งจ่ายกำลังของส่วนนี้จะติดตั้งไว้กับขั้วของจานสายอากาศได้เลย ในรูปที่ 4 แสดงโมดูลของส่วนรับสัญญาณดาวเทียมที่ติดตั้งอยู่นอกอาคาร ในส่วนของอุปกรณ์รับสัญญาณนี้จะประกอบไปด้วยวงจรรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (LNA) วงจรแปลงสัญญาณลง (Down Converter) และส่วน RF Drive แสดงเป็นบล็อกโคอะแกรมดังรูปที่ 5

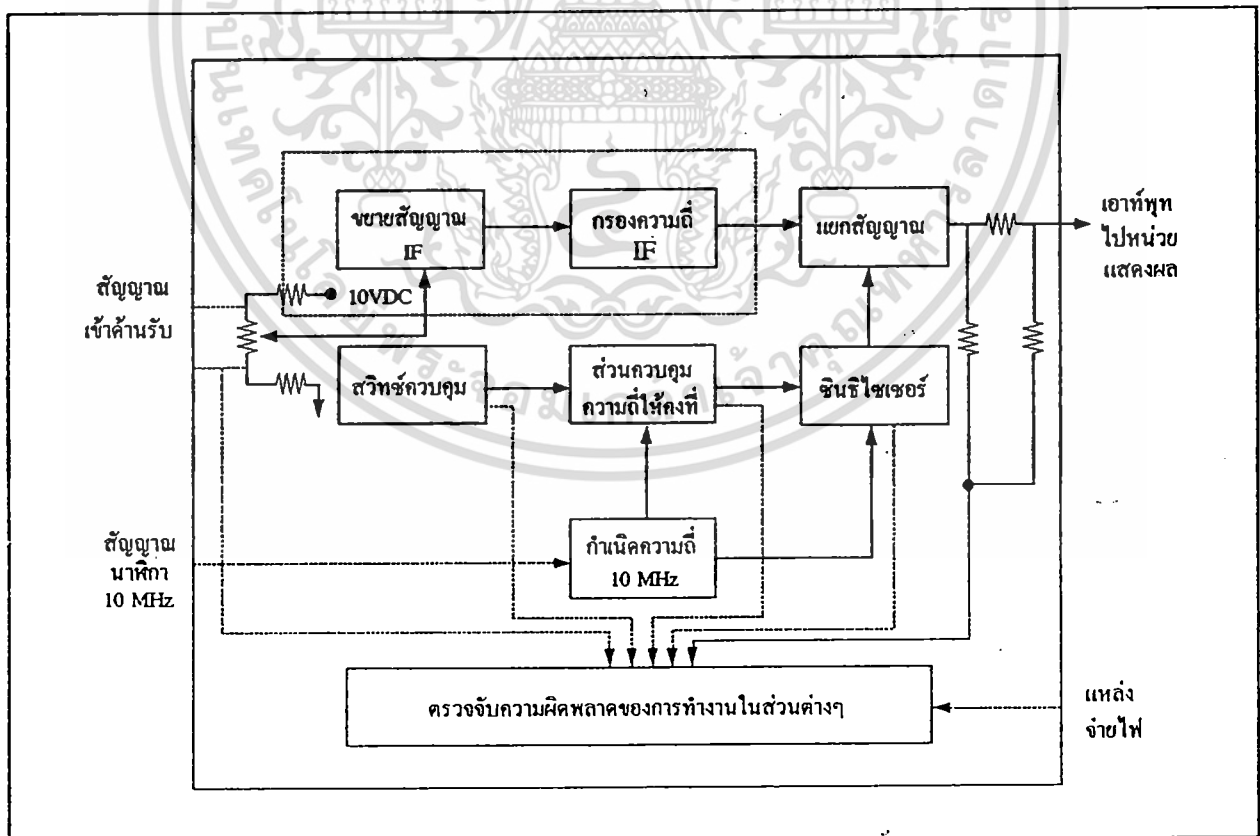
3.2 อุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในอาคาร (IDU : Indoor Unit)

หลังจากที่ได้ทำการขยายสัญญาณดาวเทียมและแปลงสัญญาณลงมาเป็นสัญญาณความถี่ IF แล้วก็จะส่งต่อมายังภาครับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

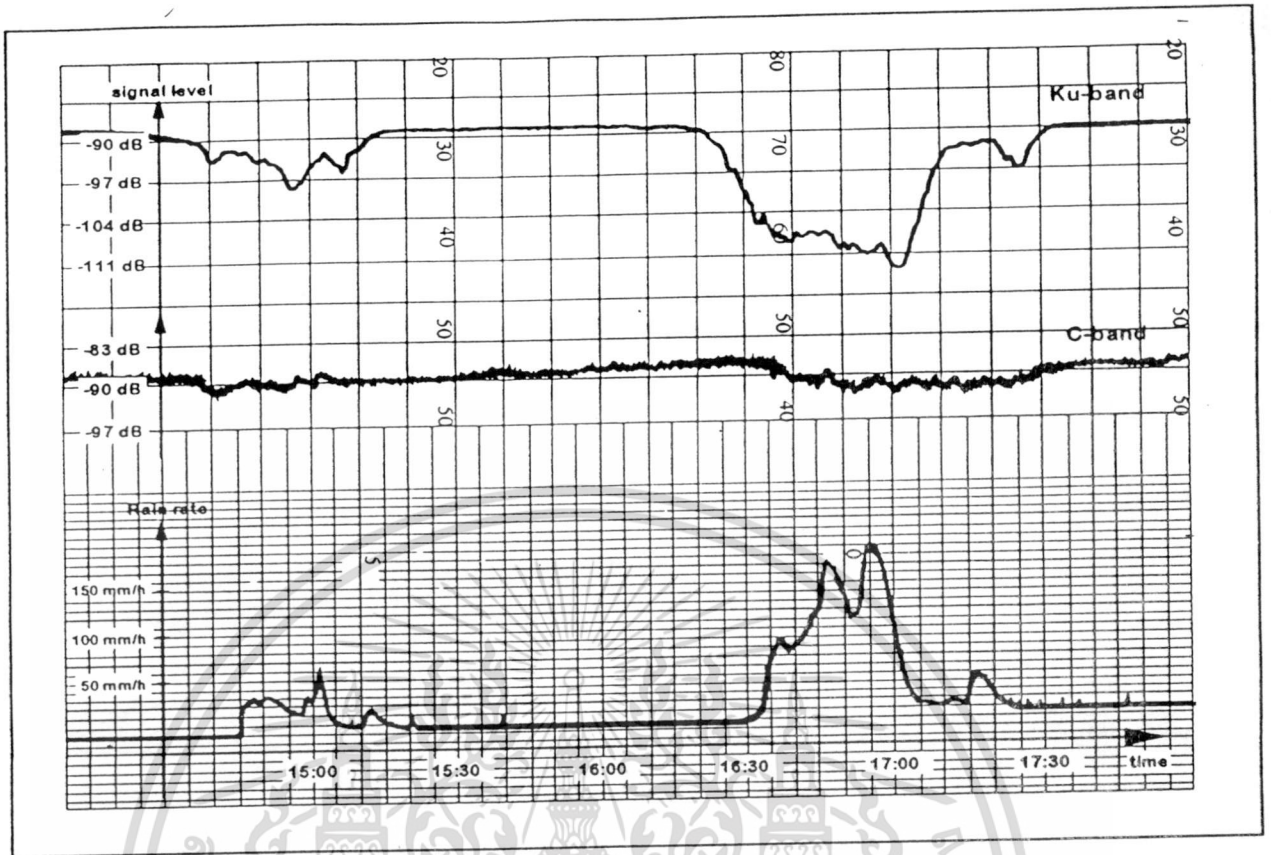


รูปที่ 5 แสดงบล็อกโคแอดเจอร์ของส่วนสัญญาณความถี่ที่ออกแบบเป็นชุด โมดูล

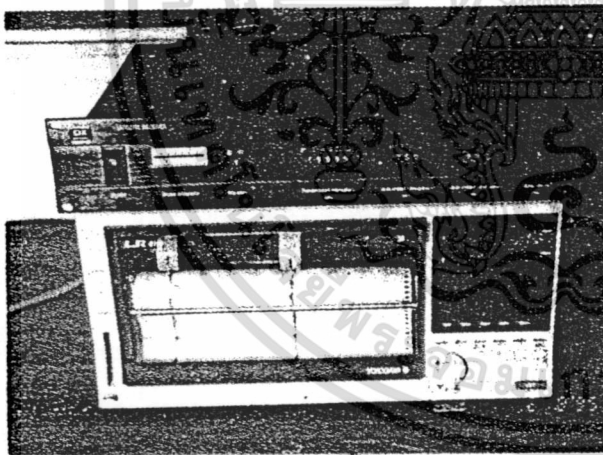


รูปที่ 6 แสดงบล็อกของเครื่องรับสัญญาณความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างของผลการทดลองที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่



รูปที่ 8 แสดงชุดอุปกรณ์บันทึกสัญญาณ

โดยส่วนของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมนี้แสดงไว้ในบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 6 ซึ่งจะติดตั้งไว้ภายในอาคาร โดยทางอินพุทเมื่อได้รับสัญญาณ IF เข้ามาก็จะทำการขยายสัญญาณและกรองสัญญาณจากนั้นจะส่งไปยังภาคดีมอดูเลท (Demodulate) ทำการแยกเอาสัญญาณ IF ออกไป โดยจะได้สัญญาณออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) มาจากส่วนสังเคราะห์ความถี่ ซึ่งผู้ใช้สามารถปรับระดับความถี่ได้เองด้วย ดิพสวิตช์ (Dip switch) ซึ่งมีความกว้างของย่านความถี่ 500 MHz การปรับจะปรับได้เป็นลำดับขั้น โดยแต่ละขั้นๆ ละ 2.5 MHz

4. การทดสอบและผลการทดสอบ

ในการทดสอบระบบของการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ Ku-band และ C-band นี้ หลังจากที่ได้ติดตั้งระบบทั้งหมดที่ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมบนคาบค้ำฟ้าของตึกแล้วได้ทดสอบผลการวัดสัญญาณด้วยชุดอุปกรณ์บันทึกสัญญาณตามรูปที่ 8 โดยทั่วไปจะมีระดับของสัญญาณที่ -90 dB และจะมีผลการลดทอนของสัญญาณมากในขณะที่มีฝนตกดังกราฟ รูปที่ 7 ซึ่งเปรียบเทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน[5] จากผลการทดลองนี้จะเห็นว่าหากปรับปรุง การรับให้ดีขึ้นแล้วคงได้ระดับสัญญาณที่เพิ่มขึ้นอีก

5. บทสรุป

จากตัวอย่างของผลการทดลองที่วัดได้จากเครื่อง Recorder และเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนจะเห็นว่าสัญญาณที่รับทั้ง Ku-band และ C-band มีระดับสัญญาณที่ใช้ได้คือ -90 dB และ จะถูกลดทอนลงตามปริมาณการตกของฝน ซึ่งจะพบว่าที่อัตราการตกของฝนที่ 170 มม./ชม. สัญญาณดาวเทียม ที่รับได้ในย่าน Ku-band จะถูกลดทอนลงถึง 20 dB ส่วนในย่าน C-band นั้นจะไม่มีผลกระทบมากนัก ดังนั้นแนวทางที่จะพัฒนาต่อไปก็คือ การวิเคราะห์ผลกระทบต่างๆที่จะเกิดขึ้นกับการรับ สัญญาณดาวเทียมทั้งในย่าน Ku-band และ C-band เพื่อประโยชน์ในการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการรับสัญญาณดาวเทียมให้มีคุณภาพโดยสอดคล้องกับอัตราการลดทอนของสัญญาณที่จะเกิดขึ้นซึ่งจะ ทำให้การติดต่อสื่อสารเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] พิเชษ เสนาะลำ อธิธิชัย อรุณศรีแสงไชย และถวิล พึ่งมา "เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมตรวจสอบสภาพอากาศที่ลาดกระบ้ง". การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 15 ธันวาคม 2535
- [2] Timothy Pratt and Charles W. Bostian "Satellite Communications", John Wiley & Sons, 1986.
- [3] Arthur C. Clarke, "World Satellite Almanac", MLE INC P.O. BOX 159, 1991.
- [4] T. Puangma and Y. Moriya, "Rain Attenuation along Earth-to-Space Paths in Thailand and Development of Moment rainfall Intensity Recorder", The 12th (1991) International Telecommunication Symposium, Feb 27-March 1.
- [5] T. Paungma, Y. Moriya and H. Samamoto, "Rainfall Intensity Recorder Used Flow Sensor", Technical Digest of the 8th Sensor Symposium, pp.173-176, 1989.