

การจำลองผลการรบกวนของสัญญาณสะท้อนแบบครึ่งคาบ
เนื่องจากเครื่องบินต่อการรับคลื่นสัญญาณโทรทัศน์

SIMULATION OF QUASI-PERIODIC FLUCTUATION
CAUSED BY AIRCRAFT SCATTERING PHENOMENON
IN TV BROADCASTING

ปาริชาติ สงวนชาติ
PARICHART SANGONCHART

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-916-8

การจำลองผลการรบกวนของสัญญาณสะท้อนแบบครึ่งคาบ
เนื่องจากเครื่องบินต่อการรับคลื่นสัญญาณโทรทัศน์

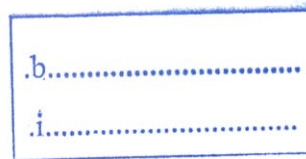
SIMULATION OF QUASI-PERIODIC FLUCTUATION
CAUSED BY AIRCRAFT SCATTERING PHENOMENON
IN TV BROADCASTING



ปาริชาติ สงวนชาติ

PARICHART SANGONCHART

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 49567
วัน, เดือน, ปี 24 ก.พ. 2547



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-916-8

**SIMULATION OF QUASI-PERIODIC FLUCTUATION
CAUSED BY AIRCRAFT SCATTERING PHENOMENON
IN TV BROADCASTING**

PARICHART SANGONCHART

**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**

2003

ISBN 974-324-916-8

COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจำลองผลการรบกวนของสัญญาณสะท้อนแบบครึ่งคาบ เนื่องจากเครื่องบิน
ต่อการรับคลื่นสัญญาณโทรทัศน์
SIMULATION OF QUASI-PERIODIC FLUCTUATION CAUSED BY
AIRCRAFT SCATTERING PHENOMENON IN TV BROADCASTING

ชื่อนักศึกษา นางสาวปาริชาติ สงวนชาติ

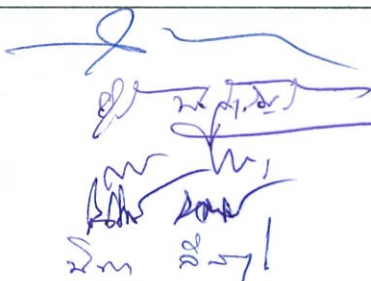
รหัสประจำตัว 41061185

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.นิภา ลีลาจจิ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาดีพงษ์	
ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์	
รศ.สมยศ จุณณะปิยะ	
รศ.ณรงค์ เหมกรณ์	
รศ.นิภา ลีลาจจิ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 16 ตุลาคม 2546 เวลา 14.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น 4 (ห้อง E12-402)



วันที่.....9.....เดือน.....ตุลาคม.....พ.ศ.....2546.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจำลองผลการรบกวนของสัญญาณสะท้อนแบบครึ่งคาบเนื่องจากเครื่อง
บินต่อการรับคลื่นสัญญาณโทรทัศน์

นักศึกษา นางสาวปาริชาติ สงวนชาติ

รหัสประจำตัว 41061185

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ. 2546

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ. นิภา ตีลาจติ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการจำลองผลกระทบของสัญญาณโทรทัศน์ขณะที่มีเครื่องบินบินผ่าน ซึ่ง
เป็นสาเหตุให้สัญญาณภาพโทรทัศน์ที่รับได้ไม่ชัดเจน ระดับสัญญาณที่รับได้มีการแกว่งขึ้นลง
ลักษณะคล้ายคลื่นรูปซายน์ โดยมีการแกว่งขึ้นลงของแอมพลิจูดอย่างสม่ำเสมอจากค่าน้อยๆจนถึง
ค่าสูงสุดหรือต่ำสุดแล้วจึงกลับลดลงเข้าสู่สภาวะปกติ ซึ่งเรียกว่า การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่าง
กะทันหันแบบครึ่งคาบ (Quasi-periodic fading) ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นในขณะที่มีเครื่องบินบิน
ผ่านเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น โดยจะทำการจำลองผลสำหรับสัญญาณช่อง 3 และช่อง 9 เนื่อง
จากสถานีส่งอยู่จุดเดียวกัน เพื่อศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆ อันได้แก่ ระยะทางระหว่าง
สถานีส่งและสายอากาศรับ ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ ความสูงของเครื่องบิน
ความสูงของสายอากาศรับ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน มุมเส้นทางการบิน ชนิดของสายอากาศ และ
ความถี่ที่ใช้ส่ง จากผลการจำลองรูปคลื่นที่ได้เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองพบว่ารูป
คลื่นมีลักษณะสอดคล้องกัน

Thesis Title Simulation of Quasi-periodic Fluctuation Caused by Aircraft Scattering
 Phenomena in TV Broadcasting

Student Ms. Parichart Sangonchart

Student ID. 41061185

Degree Master of Engineering

Programme Electrical Engineering

Year 2003

Thesis Advisor Assoc. Prof. Nipha Leelaruji

Thesis Co-Advisor Dr. Chuwong Phongcharoenpanich

ABSTRACT

This thesis presents the simulation of the effect of the TV broadcasting received signal caused by the aircraft scattering phenomenon. The received signal is fluctuated as sinusoidal waveform and its level is uniformly increased and decreased until reaches the steady-state situation. This phenomenon is called “Quasi-periodic fading”. This situation is occurred from the aircraft scattering. The simulation is carried out for channel 3 and channel 9 of TV broadcasting because the transmitting sites are the same location. The influenced parameters such as the distance between the transmitting side and receiving antenna, the distance between the aircraft and receiving antenna, the height of the aircraft from the earth, the receiving antenna height from the earth, the percentage of the reflection coefficient, the angle of the flight, the antenna types and the operating frequency are studied. The results from the simulation is confirmed by the measurements.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยการสนับสนุนจากบุคคลต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. นิภา ลีลาสุทธิ ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำสั่งสอน แก้ไขปัญหา และให้คำปรึกษาที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ศ.ดร. โยชิอากิ โมริยะ และ รศ. ณรงค์ เหมกรรณ์ สำหรับการช่วยเหลือ แนะนำสั่งสอนและให้คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ สำหรับการช่วยเหลือแก้ไขและให้คำแนะนำในบางจุดที่ผู้วิจัยติดปัญหาบางอย่าง ซึ่งทำให้ผู้วิจัยเข้าใจในปัญหานั้นในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณศุภชัย เกรียงชนสาร สำหรับการช่วยเหลือ ช่วยคิดแก้ไขปัญหาต่างๆตั้งแต่เริ่มต้นในการวิจัยจนสามารถทำสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณอนุชิต วงศ์กীরติกุล สำหรับความช่วยเหลือในการหาข้อมูลและให้คำปรึกษาในด้านต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณไพโรจน์ วัณชุม สำหรับความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในส่วนของโปรแกรมในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณทิมมพร บุญซึก สำหรับการช่วยเหลือในส่วนของ การทดลองทดลองจนปัญหาบางจุดที่ให้คำแนะนำเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณสาคร มากสวัสดิ์ และน้องสศุติ มากสวัสดิ์ สำหรับการช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาในด้านต่างๆทดลองจนกำลังใจที่มีให้เสมอมา

และสุดท้ายขอขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่ๆ สำหรับความอนุเคราะห์ให้การช่วยเหลือสนับสนุนทุกด้าน และกำลังใจที่มีให้อย่างเปี่ยมล้นเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ลักษณะปรากฏการณ์ การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบ.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบที่พบในระบบสื่อสารผ่าน ดาวเทียม.....	5
2.3 การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบในระบบสื่อสารภาคพื้นดิน...12	
2.4 สรุปผล.....	17
บทที่ 3 หลักการกระจายคลื่นวิทยุโทรทัศน.....	18
3.1 การกระจายคลื่นวิทยุ.....	18
3.2 การแบ่งแยกความถี่วิทยุ.....	21
3.3 ระบบมาตรฐาน โทรทัศน์.....	21
3.4 ความถี่ และช่องสัญญาณ โทรทัศน์.....	22
3.5 การส่งสัญญาณภาพและเสียง โทรทัศน์.....	25
3.5.1 หลักการส่งสัญญาณภาพโทรทัศน์.....	26
3.5.2 หลักการส่งสัญญาณเสียงโทรทัศน์.....	27
3.6 สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในการรับสัญญาณ โทรทัศน์.....	28

สารบัญ (ต่อ)

3.7 ทฤษฎีสายอากาศ.....	32
3.7.1 การแบ่งชนิดของสายอากาศ.....	33
3.7.2 หลักการของสายอากาศ.....	33
3.7.3 การกระจายคลื่นของสายอากาศ.....	34
3.7.4 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Antenna Pattern).....	35
3.7.5 สภาพเจาะจงทิศทางสายอากาศ (Directivity).....	35
3.7.6 อัตราขยายของสายอากาศ (Gain).....	38
3.7.7 สายอากาศไดโพล.....	38
3.8 สรุปผล.....	41
บทที่ 4 การคำนวณและจำลองผลกระทบต่อการรับสัญญาณโทรทัศน์ขณะมีเครื่องบินผ่าน.....	42
4.1 ปัญหาของการรับสัญญาณโทรทัศน์.....	42
4.2 การจำลองการส่งและรับสัญญาณ โทรทัศน์ขณะมีเครื่องบินบินผ่าน.....	44
4.2.1 หลักการหน้าตัดขวางเรดาร์ (Radar cross section).....	46
4.2.2 การหาค่าตัวประกอบเชิงพื้นที่.....	48
4.2.3 การคำนวณหาค่าอัตราส่วนของสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณตรง.....	50
4.2.3.1 การหาค่าอัตราส่วนสัมประสิทธิ์การสะท้อนทั้งหมด หรือค่า α	52
4.2.3.2 การหาค่าความต่างเฟส หรือค่า δ	52
4.2.3.3 การหาระดับสัญญาณที่รับได้ หรือค่า $ E_r $	53
4.2.3.4 การหาค่าอัตราส่วนของสัญญาณที่รับได้ต่อคลื่นตรง.....	53
4.3 สรุปผล.....	55
บทที่ 5 การจำลองรูปคลื่น การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบ.....	57
5.1 บทนำ.....	57
5.2 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง.....	58
5.2.1 กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน หรือค่า R% เป็นตัวแปร.....	58
5.2.2 กำหนดให้มุมเส้นทางบิน หรือค่า ϕ เป็นตัวแปร.....	62
5.2.3 กำหนดให้ความสูงของเครื่องบิน หรือ ค่า h เป็นตัวแปร.....	68
5.2.4 กำหนดให้ระยะทางระหว่างเครื่องบิน และสายอากาศรับ หรือ ค่า D_x เป็นตัวแปร.....	71
5.2.5 กำหนดให้ระยะทางระหว่างสถานีส่ง และสายอากาศรับ หรือ d เป็นตัวแปร.....	74

สารบัญ (ต่อ)

5.2.6	ค่าความสูงของสายอากาศรับหรือ h_2 เป็นตัวแปร.....	77
5.2.7	กำหนดให้ความถี่ของสัญญาณ หรือ f เป็นตัวแปร.....	80
5.2.8	เปรียบเทียบระหว่างสายอากาศแบบไดโพล และแบบยาگی.....	85
5.3	ผลการทดลอง.....	88
5.3.1	ผลการทดสอบความแรงสนามไฟฟ้าสัญญาณโทรทัศน์.....	89
5.4	ผลการเปรียบเทียบระหว่างรูปคลื่นที่ได้จากการจำลอง และรูปคลื่นที่ได้จากการทดลอง.....	91
5.5	สรุปผล.....	92
บทที่ 6	สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	93
6.1	สรุปผลจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง.....	93
6.2	สรุปผลจากการทดลอง.....	94
6.3	ข้อเสนอแนะ.....	94
6.4	แนวทางในการพัฒนา.....	96
	เอกสารอ้างอิง.....	97
	ภาคผนวก.....	99
	ภาคผนวก ก.....	100
	ภาคผนวก ข.....	102
	ประวัติผู้เขียน.....	103

สารบัญตาราง

ตารางที่.....	หน้า
3.1 การแบ่งย่านความถี่.....	21
3.2 ช่องโทรทัศน์ในความถี่ย่าน VHF ในประเทศไทย.....	22
3.3 แสดงช่องความถี่ออกอากาศของสถานีโทรทัศน์ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย.....	24
4.1 แสดงหน้าตัดขวางเรดาร์ของวัตถุชนิดต่าง ๆ.....	46
4.2 รายละเอียดความยาวและความสูงของรูปจำลองเครื่องบิน.....	49
5.1 กำหนดพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการคำนวณ.....	58
5.2 กำหนดพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการคำนวณ.....	62
5.3 กำหนดพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการคำนวณ.....	68
5.4 กำหนดพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการคำนวณ.....	71
5.5 กำหนดพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการคำนวณ.....	74
5.6 กำหนดพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการคำนวณ.....	77
5.7 กำหนดพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการคำนวณ.....	80
5.8 ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของระดับสัญญาณที่รับได้และคาบเวลาของแต่ละช่อง.....	83
5.9 กำหนดพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการคำนวณ.....	85
5.10 ค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุด และคาบเวลาของสัญญาณช่อง 3 และช่อง 9.....	91

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนเทียบกับความสูง.....	6
2.2 (ก) QPM ที่ 1.5 GHz.....	8
(ข) QPM ที่ 244 MHz	8
2.3 QPEM ที่ 244 MHz	8
2.4 (ก) QPMax ที่ 1.5 GHz	9
(ข) QPMax ที่ 244 MHz	10
2.5 Quasi – periodic scintillation ที่ความถี่ 150 MHz.....	10
2.6 Quasi – periodic scintillation ที่ความถี่ 150 MHz.....	11
2.7 Quasi – periodic scintillation ที่ความถี่ 150 MHz.....	11
2.8 Quasi – periodic scintillation ที่ความถี่ 150 MHz.....	12
2.9 การจำลอง fast fading	13
2.10 รูปจำลองเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นในอากาศว่างบนพื้นเรียบ.....	14
2.11 Quasi – periodic fading ที่ความถี่ 189 MHz.....	15
2.12 Quasi – periodic fading ที่ความถี่ 60.75 MHz.....	15
2.13 ผลการจำลองรูปคลื่นที่ความถี่ 60.75 MHz.....	16
3.1 การเดินทางของคลื่นวิทยุ.....	19
3.2 แถบความถี่ของโทรทัศน์ 1 ช่อง.....	23
3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงการส่งสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์.....	26
3.4 ลักษณะภาพซ้อน (ghosting) ที่รบกวนภาพโทรทัศน์.....	28
3.5 ลักษณะภาพเบลอที่รบกวนภาพโทรทัศน์.....	29
3.6 ลักษณะภาพที่เกิดจากการรบกวนจากสถานีข้างเคียง.....	29
3.7 ลักษณะภาพที่เกิดจากการรบกวนจากช่องความถี่เดียวกัน.....	30
3.8 ลักษณะภาพที่เกิดจากการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	31
3.9 ลักษณะภาพที่เกิดจากการรบกวนจากคลื่นวิทยุเอฟ.เอ็ม.....	31
3.10 ลักษณะภาพที่เกิดจากการรบกวนจากวิทยุสมัครเล่น.....	32
3.11 การกระจายแรงดันและกระแสบนสายนำสัญญาณยาว $\frac{\lambda}{4}$	34
3.12 ไดโพลชนิดยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น.....	34
3.13 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล ชนิดยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นซึ่งวางตัวในแนวระนาบ.....	39

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดยาวครึ่งหนึ่ง ของความยาวคลื่นซึ่งวางตัวในแนวตั้ง.....	40
3.15 สายอากาศไดโพลชนิดยาวเต็มความยาวคลื่น.....	40
3.16 สายอากาศไดโพลชนิด 1.5 λ	41
4.1 การเดินทางของคลื่น โทรทัศน์เมื่อมีสิ่งกีดขวางเส้นทางการแพร่กระจายของคลื่น.....	42
4.2 ภาพที่รับได้ในลักษณะพรั่มวหรือเป็นเงาภาพซ้อนกัน.....	43
4.3 การเดินทางของคลื่นเมื่อมีเครื่องบินเป็นสิ่งกีดขวาง.....	43
4.4 การจำลองการส่งและรับสัญญาณ โทรทัศน์เมื่อมองจากด้านข้าง.....	44
4.5 มองจากด้านบน.....	45
4.6 มุม Bistatic RCS.....	47
4.7 การแบ่งสเกลด้านข้างของเครื่องบินโดยแบ่งเส้นตรงเป็นช่วง ๆ.....	48
4.8 การกำหนดช่วงความยาวของเครื่องบิน.....	48
4.9(ก) แสดงค่า bistatic RCS ที่ความถี่ 60.75 MHz.....	50
4.9(ข) แสดงค่า bistatic RCS ที่ความถี่ 208.75 MHz.....	50
4.10 ขั้นตอนในการประมวลผล.....	55
5.1 การส่งสัญญาณ โทรทัศน์ช่อง 3 และช่อง 9.....	57
5.2(ก) ผลการจำลองรูปคลื่นเมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ 10%.....	59
5.2(ข) ผลการจำลองรูปคลื่นเมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ 20%.....	59
5.2(ค) ผลการจำลองรูปคลื่นเมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ 30%.....	60
5.3 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของระดับสัญญาณที่รับได้ เมื่อเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน.....	60
5.4 เปรียบเทียบคาบเวลาของสัญญาณที่รับได้เมื่อเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน.....	61
5.5 ทิศทางการบินของเครื่องบิน.....	63
5.6(ก) มุมเส้นทางบินเท่ากับ 0 องศา.....	63
5.6(ข) มุมเส้นทางบินเท่ากับ 20 องศา.....	63
5.6(ค) มุมเส้นทางบินเท่ากับ 40 องศา.....	64
5.6(ง) มุมเส้นทางบินเท่ากับ 60 องศา.....	64
5.6(จ) มุมเส้นทางบินเท่ากับ 80 องศา.....	64
5.6(ฉ) มุมเส้นทางบินเท่ากับ -20 องศา.....	65

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6(ข) มุมเส้นทางบินเท่ากับ –40 องศา.....	65
5.6(ช) มุมเส้นทางบินเท่ากับ –60 องศา.....	65
5.6(ฉ) มุมเส้นทางบินเท่ากับ –80 องศา.....	66
5.7 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อเปลี่ยนมุมค่าต่าง ๆ.....	66
5.8 เปรียบเทียบคาบเวลาของคลื่นที่รับได้เมื่อเปลี่ยนมุมค่าต่าง ๆ.....	67
5.9(ก) ความสูงของเครื่องบินเท่ากับ 1 กม.	69
5.9(ข) ความสูงของเครื่องบินเท่ากับ 2 กม.	69
5.9(ค) ความสูงของเครื่องบินเท่ากับ 3 กม.	69
5.10 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของระดับสัญญาณที่ความสูงต่าง ๆ.....	70
5.11 เปรียบเทียบคาบเวลาที่ความสูงต่าง ๆ.....	70
5.12 รูปคลื่นจำลองเมื่อเปลี่ยนระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับค่าต่าง ๆ.....	72
5.12(ก) ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับเท่ากับ 15 กม.	72
5.12(ข) ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับเท่ากับ 30 กม.	72
5.12(ค) ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับเท่ากับ 40 กม.	72
5.13 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของระดับสัญญาณเมื่อเปลี่ยน ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ.....	73
5.14 เปรียบเทียบคาบเวลาเมื่อเปลี่ยนค่าระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับต่าง ๆ.....	73
5.15 รูปคลื่นจำลองเมื่อเปลี่ยนระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับ.....	75
5.15(ก) ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับเท่ากับ 45 กม.	75
5.15(ข) ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับเท่ากับ 80 กม.	75
5.15(ค) ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับเท่ากับ 100 กม.	75
5.16 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่ระยะทาง ระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับต่าง ๆ.....	76
5.17 เปรียบเทียบคาบเวลาที่ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับต่าง ๆ.....	76
5.18(ก) รูปคลื่นจำลองเมื่อกำหนดให้ความสูงของสายอากาศรับเท่ากับ 5 เมตร.....	78
5.18(ข) รูปคลื่นจำลองเมื่อกำหนดให้ความสูงของสายอากาศรับเท่ากับ 15 เมตร.....	78
5.18(ค) รูปคลื่นจำลองเมื่อกำหนดให้ความสูงของสายอากาศรับเท่ากับ 30 เมตร.....	78
5.19 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของระดับสัญญาณ เมื่อเปลี่ยนความสูงของสายอากาศรับ.....	79

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.20	เปรียบเทียบคาบเวลาเมื่อเปลี่ยนความสูงของเสาอากาศรับ.....79
5.21(ก)	รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้ความถี่ช่อง3 (60.75 MHz).....81
5.21(ข)	รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้ความถี่ช่อง5 (108.75 MHz).....81
5.21(ค)	รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้ความถี่ช่อง7 (194.75 MHz).....81
5.21(ง)	รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้ความถี่ช่อง9 (208.75 MHz).....82
5.21(จ)	รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้ความถี่ช่อง11 (227.75 MHz).....82
5.21(ฉ)	รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้ความถี่ช่อง29หรือช่อง ไอทีวี (540.75 MHz).....82
5.22	เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของแต่ละช่องความถี่เมื่อมุมเส้นทางบิน เปลี่ยนแปลง.....83
5.23	เปรียบเทียบคาบเวลาที่ความถี่ต่างๆเมื่อมุมเส้นทางบินเปลี่ยนแปลง.....84
5.24	เปรียบเทียบคาบเวลาที่ความถี่ต่างๆเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างเครื่องบินและสาย อากาศรับ.....84
5.25	รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้สายอากาศแบบไดโพล.....85
5.26	รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้สายอากาศแบบยาگی.....86
5.27	เปรียบเทียบทิศทางการรับสัญญาณระหว่างสายอากาศแบบไดโพลและแบบยาگی.....86
5.28	อุปกรณ์การทดลองทดสอบสัญญาณโทรทัศน์.....88
5.29	ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระหว่างช่อง3 และช่อง9.....89
5.30	ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระหว่างช่อง3 และช่อง9.....90
5.31	ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระหว่างช่อง3 และช่อง9.....90

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในอนาคตอันใกล้จะมีสนามบินแห่งใหม่ของประเทศไทย คือ สนามบินสุวรรณภูมิซึ่งตั้งขึ้นใกล้บริเวณชุมชนลาดกระบัง ซึ่งจากการศึกษาผู้วิจัยพบว่าการบินของเครื่องบินจะมีผลกระทบต่ออย่างมากต่อการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุโทรทัศน์ในย่านความถี่ VHF สัญญาณสะท้อนจากเครื่องบินจะรบกวนการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุโทรทัศน์ ทำให้สัญญาณภาพที่รับได้มีการผิดปกติ เช่น เกิดภาพเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว และมีเงาสะท้อนบ่อยครั้ง โดยเกิดในระยะเวลาสั้น ๆ โดยเฉพาะช่องสัญญาณความถี่ต่ำ เช่น ช่อง 3 จะมีปัญหามากกว่าช่องอื่นเพราะใช้ความถี่แบนด์ต่ำ และจากการทดลองวัดความแรงสัญญาณโทรทัศน์ พบว่ามีลักษณะเป็นรูปแบบที่ชัดเจน เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบ (quasi – periodic fading)

ในปี พ.ศ.2540 จากวิทยานิพนธ์ของ นิภา สิลารุจิ [1] ได้ทำการศึกษาผลกระทบที่มีต่อสัญญาณโทรทัศน์ที่เกิดจากเครื่องบินบินผ่านเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น โดยในการคำนวณหาความแรงสนามไฟฟ้าของสัญญาณที่รับได้ เกิดจากผลรวมของการสูญเสียปกติกับคลื่นที่แตกกระเจิงเนื่องจากเครื่องบิน ซึ่งในส่วนของ การสูญเสียเนื่องจากเครื่องบินจะใช้พารามิเตอร์ที่เป็นพื้นที่หน้าตัดขวางของเครื่องบินเข้ามาเกี่ยวข้อง ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาต่อโดยได้แนวความคิดมาจากบทความของ Jerome I. Glaster [2] ซึ่งเป็นการใช้หลักการของหน้าตัดขวางเรดาร์ (radar cross section) มาประยุกต์ใช้โดยคิดพื้นที่ของเครื่องบินตามจริง ซึ่งได้เลือกแบบจำลองของเครื่องบิน โบอิง 747 มาใช้ในงานวิจัยโดยทำการแบ่งสเกลด้านข้างของเครื่องบินออกเป็นส่วนๆ และกำหนดความกว้างและความสูงเป็นพารามิเตอร์ค่าต่างๆ เพื่อใช้ในการหาค่าหน้าตัดขวางเรดาร์ตามหลักการของ Jerome ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ ในขณะที่มีเครื่องบินบินผ่านเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น โดยได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบจากค่าตัวแปรต่าง ๆ คือ ระดับความสูงของเครื่องบิน มุมของเส้นทางบินของเครื่องบิน สัมประสิทธิ์การสะท้อนของเครื่องบิน ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับ ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ ความสูงของสายอากาศรับและความถี่ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งผลที่ได้สามารถนำไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงให้การรับสัญญาณวิทยุโทรทัศน์มีประสิทธิภาพดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคลื่นวิทยุโทรทัศน์ขณะมีเครื่องบินบินผ่าน โดยการสร้างแบบจำลองขึ้นมาเมื่อมีเครื่องบินตัดผ่านเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น โดยกำหนดตัวแปร

ต่างๆ คือ ระดับความสูงของเครื่องบิน ความสูงของสายอากาศรับ ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากเครื่องบิน ทิศทางของเส้นทางบินและความถี่ที่ใช้ส่งสัญญาณ เพื่อศึกษาว่าแต่ละตัวแปร มีผลกระทบต่อสัญญาณที่รับได้อย่างไรบ้างด้วยการสร้างแบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์และเปรียบเทียบกับผลการทดลองในพื้นที่ต่างๆ กันเพื่อหาข้อสรุปว่ามีปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลกระทบต่อสัญญาณคลื่นวิทยุโทรทัศน์ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขให้สัญญาณที่รับได้มีคุณภาพดีขึ้น

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติฐานของการศึกษาผลกระทบที่มีต่อสัญญาณโทรทัศน์ขณะมีเครื่องบินบินผ่านคือ เป็นการจำลองเหตุการณ์ต่างๆ ที่มีตัวแปรใดบ้างเข้ามาเกี่ยวข้องที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบ ซึ่งทำให้เกิดการรบกวนสัญญาณโทรทัศน์ทำให้ภาพดูได้ไม่ชัดเจนหรือมีคุณภาพลดลง ในการคำนวณจะคิดเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่รับได้ซึ่งเกิดจากผลรวมของคลื่นตรงและคลื่นสะท้อนต่อสัญญาณตรงจากสถานีส่ง ได้ทำการจำลองเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นในอากาศว่างบนพื้นเรียบจึงไม่คิดค่าการสูญเสียต่างๆ เช่น การสูญเสียจากสายนำสัญญาณ การสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น การสูญเสียจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ และนำหลักการของหน้าตัดขวางเรดาร์มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณ โดยคอมพิวเตอร์

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

จากวิทยานิพนธ์ของ นิภา ลีลาธุจิ พ.ศ. 2540 เป็นการจำลองผลกระทบที่มีต่อสัญญาณโทรทัศน์ขณะมีเครื่องบินบินผ่าน คำนวณรูปคลื่นที่เป็นปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบ โดยคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้ใช้พื้นที่ตัดขวางของเครื่องบินเป็นพารามิเตอร์ที่เข้ามาเกี่ยวข้องในการหาค่าการสูญเสียเนื่องจากการกระเจิงของเครื่องบินเพื่อคำนวณหาความแรงสนามไฟฟ้าที่รับได้จากค่าการสูญเสียของคลื่นปกติกับคลื่นที่แตกกระเจิงเนื่องจากเครื่องบิน ผู้วิจัยจึงได้นำแนวความคิดของ Jerome I. Glaster ซึ่งได้คิดขนาดของเครื่องบินตามจริงมาประยุกต์ใช้กับหลักการของหน้าตัดขวางเรดาร์ (radar cross section) โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้แบบจำลองของเครื่องบิน โบอิง 747 ซึ่งมีการแบ่งพื้นที่เครื่องบินออกเป็นช่วงๆ โดยกำหนดพารามิเตอร์เป็นค่าต่างๆ เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าหน้าตัดขวางเรดาร์ตามหลักการของ Jerome และใช้เป็นค่าสัมประสิทธิ์เนื่องจากการสะท้อน เพื่อคำนวณหาความแรงสนามไฟฟ้าที่รับได้จากผลรวมของคลื่นตรงกับคลื่นสะท้อน โดยทำการจำลองเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นในอากาศว่าง (free space) บนพื้นที่เรียบขณะมีเครื่องบินบินผ่าน จึงไม่คิดค่าการสูญเสียใดๆ ดังนั้นเครื่องบินจึงเป็นเพียงปัจจัยเดียวที่มีผลต่อคลื่นสะท้อน

1.5 ขอบเขตของงานวิจัยและเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้ครอบคลุมการทดลองวัดสัญญาณ โทรทัศน์ด้วยเครื่องวัดความแรงสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ ทั้งความถี่สูงและความถี่ต่ำ โดยได้ทำการทดลองวัดสัญญาณที่บริเวณใกล้กับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และได้วิเคราะห์ผลการจำลองรูปคลื่นของสัญญาณสะท้อนจากเครื่องบินด้วยค่าตัวแปรต่าง ๆ นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้ เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสัญญาณที่รับได้ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงให้การรับสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น

สำหรับส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท โดยบทที่ 1 เป็นบทนำ ซึ่งจะกล่าวถึงที่มาของงานวิจัยตลอดจนถึงแนวความคิดและขอบเขตของงานวิจัยต่างๆ ส่วนรายละเอียดของเนื้อหาในอีก 5 บทต่อไปมีดังต่อไปนี้คือ

บทที่ 2 กล่าวถึง ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบที่พบในระบบสัญญาณควมเทียมและระบบสัญญาณภาคพื้นดินของนักวิจัยหลายๆท่านจากหลายๆบทความที่ได้ทำการวิจัยมาก่อนหน้านี้ ซึ่งได้อธิบายการเกิดปรากฏการณ์นี้ด้วยเหตุผลแตกต่างกันและได้กล่าวถึงในส่วนของผู้วิจัยที่พบปรากฏการณ์นี้เนื่องจากการสะท้อนคลื่นจากเครื่องบิน

บทที่ 3 กล่าวถึง หลักการการแพร่กระจายคลื่นวิทยุโทรทัศน์ตลอดจนหลักการส่งสัญญาณโทรทัศน์ เพื่อผู้อ่านจะได้ทำความเข้าใจเนื้อหาพื้นฐานพอสังเขป และได้กล่าวถึงทฤษฎีสายอากาศโดยเน้นที่สายอากาศแบบไดโพลครึ่งความยาวคลื่นซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ผู้วิจัยใช้เป็นสายอากาศรับในการทดลอง เนื่องจากสะดวกต่อการติดตั้งและมีราคาถูก

บทที่ 4 กล่าวถึงผลกระทบที่มีต่อสัญญาณโทรทัศน์จากหลายสาเหตุที่ทำให้ภาพที่รับได้ไม่ชัดเจน ซึ่งในส่วนของผู้วิจัยได้เสนอสาเหตุที่ทำให้สัญญาณโทรทัศน์รับได้ไม่ชัดเจนเนื่องจากเครื่องบินบินผ่านเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นและกล่าวถึงหลักการจำลองและคำนวณผลกระทบที่มีต่อสัญญาณโทรทัศน์ขณะมีเครื่องบินบินผ่าน

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการจำลองเมื่อเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ คือ ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับ ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ ความสูงของเครื่องบิน ความสูงของสายอากาศรับ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน มุมของเส้นทางบิน ความถี่ของสถานีส่งและชนิดของสายอากาศ จะได้รูปคลื่นจำลองตามการเปลี่ยนตัวแปรค่าต่างๆแตกต่างกันเพื่อหาข้อสรุปว่ามีปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อ

ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการ
รบกวนสัญญาณ โทรทัศน์ และทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้

บทที่ 6 เป็นบทสุดท้ายกล่าวถึง บทสรุปปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสัญญาณโทรทัศน์และข้อเสนอแนะ
ในการแก้ไขเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสัญญาณโทรทัศน์ ตลอดจนแนวทางในการพัฒนาต่อไป

บทที่ 2

ลักษณะปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน แบบครึ่งคาบ

2.1 บทนำ

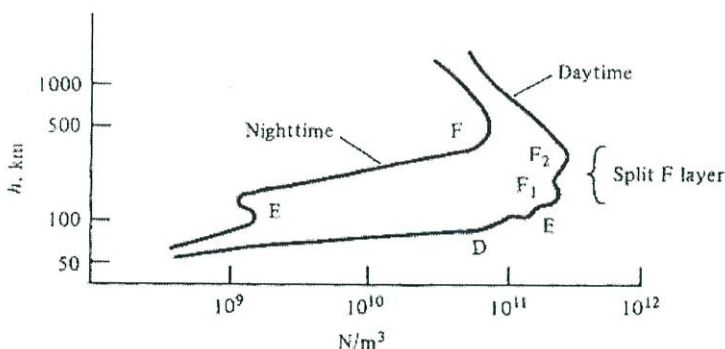
การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบ คือ ปรากฏการณ์ที่มีลักษณะการแกว่งขึ้นลงของสัญญาณคล้ายคลื่นรูปซายน์ จากค่าน้อย ๆ ไปจนถึงค่าสูงสุดหรือต่ำสุดแล้วค่อย ๆ กลับสู่ภาวะปกติอีกครั้ง ซึ่งปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ทั้งในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมและระบบสื่อสารภาคพื้นดิน การเกิดในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมสามารถเรียกได้อีกชื่อว่า Quasi-periodic Scintillation มักเกิดจากความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์และไอโอโนสเฟียร์ ส่วนการเกิดการเปลี่ยนแปลง แอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบในระบบสื่อสารภาคพื้นดินพบในการแพร่กระจายคลื่นวิทยุโทรทัศนในย่านความถี่ VHF และ UHF โดยเฉพาะในย่านความถี่ VHF แบนด์ต่ำจะพบปรากฏการณ์นี้ได้ง่ายซึ่งเกิดจากกระบวนการการรบกวนของสัญญาณสะท้อนจากสิ่งกีดขวางต่าง ๆ เช่น ตึกอาคาร สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ หรือ เครื่องบินที่บินผ่านเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น ปรากฏการณ์นี้สามารถเรียกได้อีกชื่อว่า Quasi-periodic Fading [1]

2.2 การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบที่พบในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม

เมื่อดาวเทียมส่งสัญญาณวิทยุลงมายังสถานีภาคพื้นดิน จะเกิดการแกว่งของสัญญาณคล้ายสัญญาณรูปซายน์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสะท้อนจากสิ่งกีดขวางหรือเกิดจากการรบกวนกันระหว่างช่วงคลื่นที่ไม่สม่ำเสมอและยังอาจเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้สัญญาณที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดและเฟสซึ่งเรียกว่าเกิดปรากฏการณ์การจางหาย (Fading) สำหรับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นมีความสูงประมาณ 90 ถึง 1000 กิโลเมตรจากพื้นโลกมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอน 10^{10} ถึง 10^{12} ต่อลูกบาศก์เมตร [3] แบ่งเป็นชั้นย่อย ๆ ได้ 3 ชั้นคือ ชั้น ดี , อี และ เอฟ ในชั้น ดี เป็นชั้นในระดับความสูงที่ต่ำที่สุดโดยมีความสูงอยู่ระหว่าง 50 ถึง 90 กิโลเมตรจากพื้นดิน ชั้นนี้จะปรากฏเฉพาะในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ และจะจางหายไปในช่วงเวลากลางคืน ชั้น อี อยู่เหนือชั้น ดี ที่ระดับความสูง 90 ถึง 140 กิโลเมตร สามารถพบได้ทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ในชั้นนี้แบ่งย่อยออกเป็นชั้น Sporadic-E หรือแทนด้วยสัญลักษณ์ Es ซึ่งเป็นชั้นที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากที่สุดที่ระดับความสูงประมาณ 100 กิโลเมตรจากพื้นดินและมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูงเกือบเป็น

10 เท่าของชั้นอีปกติ ลักษณะของชั้นบรรยากาศนี้จะไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างอิเล็กตรอน ทำให้คลื่นวิทยุสามารถทะลุผ่านบางช่วงไปได้และบางช่วงที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูงยังสามารถทำให้คลื่นวิทยุสะท้อนกลับหรือเกิดการหักเหมีผลทำให้สัญญาณที่รับได้มีการเสริมหรือหักล้างกันทางเฟสและแอมพลิจูด และชั้นที่อยู่บนสุดคือชั้น เอฟ อยู่ในระดับความสูง 140 ถึง 400 กิโลเมตร มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากที่สุดที่ระดับความสูง 230 ถึง 400 กิโลเมตรเป็นชั้นที่มีผลต่อการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุในระยะทางไกลแม้ในเวลากลางคืน เป็นชั้นที่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันต่อสัญญาณดาวเทียมมากกว่าชั้นอื่นๆซึ่งในชั้น เอฟ ยังแบ่งเป็นชั้นย่อยๆออกเป็นชั้นเอฟหนึ่ง และ เอฟสอง ชั้นเอฟ นี้จะปรากฏในเวลากลางคืนจากการรวมตัวของชั้นเอฟหนึ่ง และเอฟสอง

ในรูปที่ 2.1 แสดงรูปภาพของความหนาแน่นอิเล็กตรอนเทียบกับความสูงจากพื้นโลกในระหว่างช่วงเวลากลางวันและกลางคืน



รูปที่ 2.1 ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนเทียบกับความสูง

พบว่า ในช่วงกลางคืนไม่พบปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นดีเลย์ เราจะพบว่าปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นต่างๆนี้มีผลต่อการสะท้อนของคลื่นวิทยุมายังพื้นโลกโดยจะมีผลที่ช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 ถึง 40 MHz ทำให้การติดต่อสื่อสารส่งถึงกันได้หลายพันกิโลเมตร โดยชั้นอี และชั้นเอฟ จะมีความสำคัญมากที่สุดต่อระบบการสื่อสารคลื่นวิทยุ สำหรับคลื่นวิทยุที่มีความถี่มากกว่า 40 MHz จะสามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศไปได้ส่วนคลื่นวิทยุที่มีความถี่ต่ำกว่า 3 MHz จะถูกดูดกลืนในชั้นนี้ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนจะแปรผันตามช่วงเวลาในแต่ละวัน ฤดูกาลต่างๆและระบบวัฏจักรสุริยะ

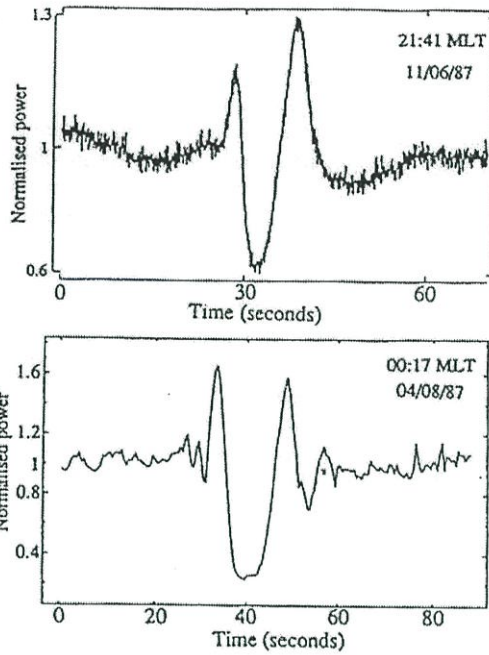
ในปี ค.ศ. 1993 นักวิจัยชื่อ D.J. Rasch and E. Esswx จากประเทศออสเตรเลีย [4] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบที่เกิดจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้สัญญาณเกิดการเลี้ยวเบน(diffraction) เป็นผลให้สัญญาณที่รับได้เกิดการแกว่งตัวในลักษณะของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทัน

ห้แบบครึ่งคาบหรือ Quasi-periodic Scintillation โดยทำการทดลองที่ความถี่ 244 MHz และ 1.5 GHz ในแอนตาร์กติกา ได้เสนอบทความเรื่อง Quasi-periodic Scintillation event at souther auroral latitude เขาได้อ้างอิงบทความต่าง ๆ ที่วิจัยเกี่ยวกับปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบ ของนักวิจัยหลาย ๆ ท่านในบทความของเขาได้แก่

บทความเรื่อง	ผู้วิจัย	ปี ค.ศ.	ความถี่
Regular irregular and twinned rices	Dagg	1957	79 MHz
Regular Es Scintillation	Ireland and Preddey	1967	20 MHz และ 40 MHz
Es-type Scintillation	Basu and Das Gupta	1969	40 MHz
Ringing irregularity or ringer	Slack	1975	20 , 40 และ 136 MHz
Edge and strip events	Kelleher and Martin	1975	40 MHz

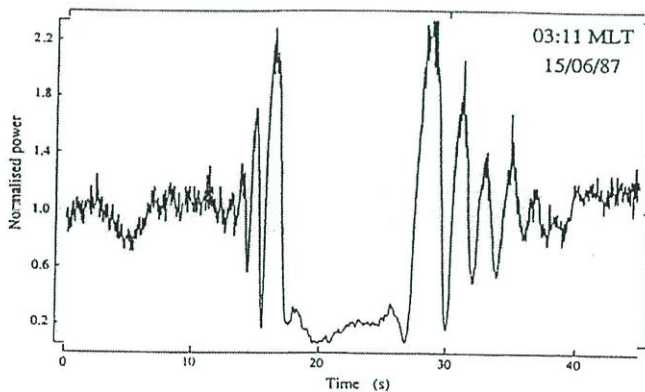
D.J. Rasch and E. Esswx ได้อธิบายในบทความถึงปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบโดยได้แบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่

1. เรียกว่า QPM (Quasi-periodic with central minimum) การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบนี้มีลักษณะคล้ายสัญญาณซายน์แกว่งสลับกัน มีขนาดของแอมพลิจูด เพิ่มขึ้นจากระดับปกติ 3 เดซิเบล พบมากที่ความถี่ VHF และ UHF แสดงการเกิด QPM ที่ความถี่ 244 MHz และ 1.5 GHz ในรูปที่ 2.2 (ก) และ (ข)



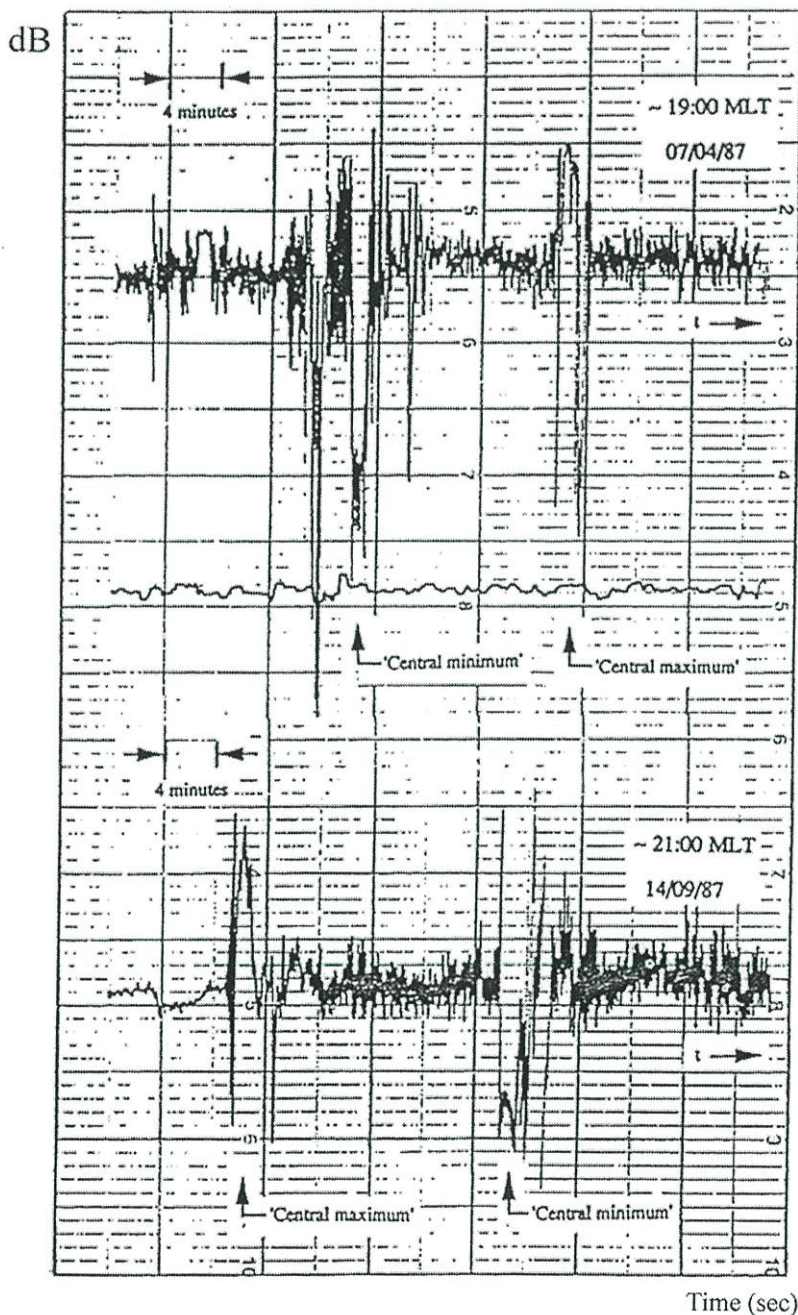
รูปที่ 2.2 (ก) QPM ที่ 1.5 GHz
(ข) QPM ที่ 244 MHz

2. เรียกว่า QPEM (Quasi-periodic with extenced central minimum) การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบแบบนี้มีลักษณะการเกิดรูปคลื่นที่มีคาบเวลาในการเกิดนานกว่าแบบแรกและจะมีช่วงที่ไม่มี การแกว่งขึ้นลงของแอมพลิจูด อีกทั้งยังมีการถูกลดทอนลงไปมากกว่า 10 เดซิเบล จากระดับสัญญาณปกติ แสดงตัวอย่าง QPEM ดังรูปที่ 2.3 โดยใช้ความถี่ 244 MHz

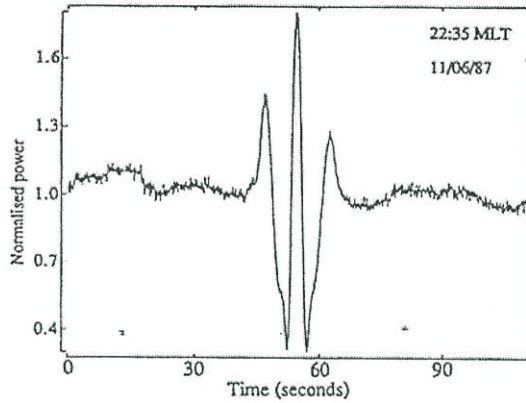


รูปที่ 2.3 QPEM ที่ 244 MHz

3. เรียกว่า QPMAX (Quasi-periodic with central minimum) การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบแบบนี้มี 2 ลักษณะ การเกิดคล้ายแบบที่ 2 แต่จะมี central minimum แทน ดังแสดงตัวอย่างการเกิด QPMAX ในรูปที่ 2.4 (ก) และ (ข) ที่ความถี่ 1.5 GHz และ 244 MHz

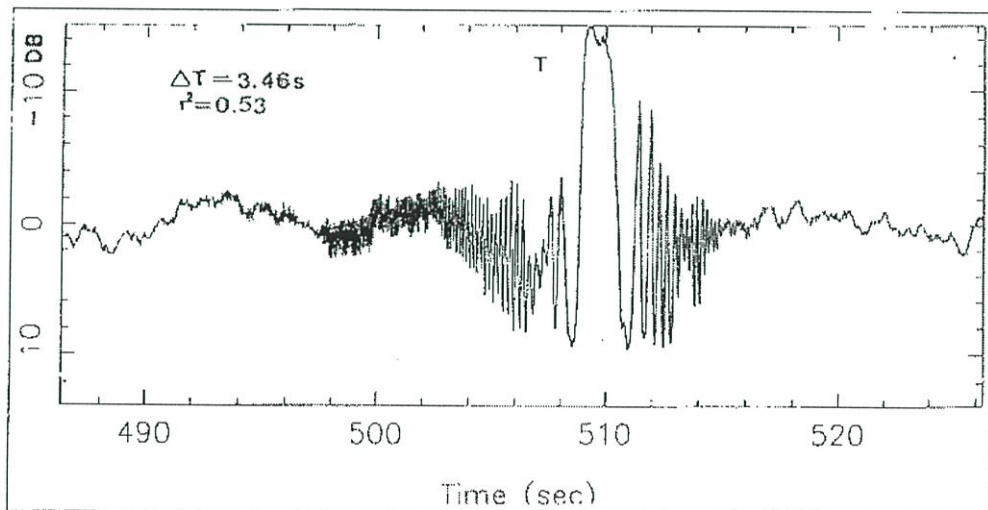


รูปที่ 2.4 (ก) QPMAX ที่ 1.5 GHz



(ข) QP MAX ที่ 244 MHz

ในปีเดียวกันนี้ได้มีนักวิจัยชื่อ Mr. L.A. Hajkowiez จากมหาวิทยาลัยควีนสแลนด์ ประเทศออสเตรเลีย [5] เสนอบทความเรื่อง Multi-Station Observation of an Ionospheric Quasi-periodic Event ได้ทำการทดลองวัดสัญญาณดาวเทียมย่าน VHF ที่ความถี่ 150 MHz พบปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบ มีขนาดของแอมพลิจูดแบบขดคลื่นถึงยอดคลื่นเท่ากับ 24 เดซิเบล ได้อธิบายถึงปรากฏการณ์นี้ว่า เป็นผลจากการสะท้อนคลื่นวิทยุในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ทำให้คลื่นหักเหไปและเมื่อรวมกับคลื่นตรงจากสถานีส่ง จึงทำให้เกิดการเสริมและหักล้างกันของแอมพลิจูดและเฟสที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ขนาดของสัญญาณที่รับได้มีการแกว่งขึ้นลง ดังรูปที่ 2.5

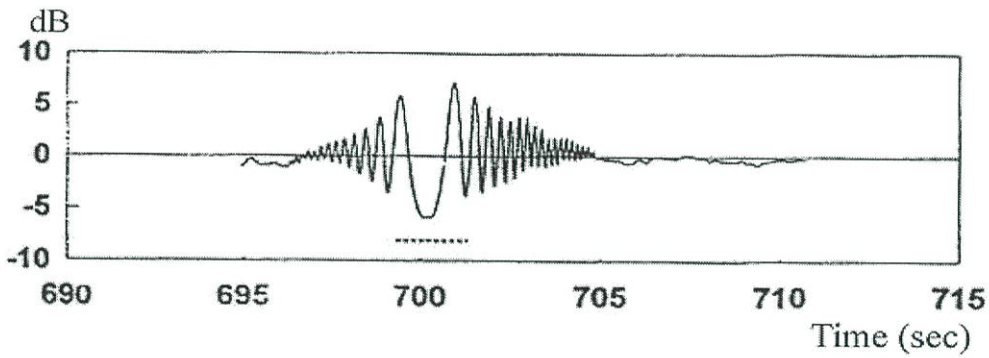


รูปที่ 2.5 Quasi-periodic scintillation ที่ความถี่ 150 MHz

ต่อมาในปีค.ศ.1996 นักวิจัยท่านนี้ได้เสนอบทความเรื่อง Possible ambiguity in defining the ionospheric origin of quasi periodic scintillations [6] ได้ทำการทดลองโดยใช้ความถี่ย่าน VHF ที่ความถี่ 150 MHz

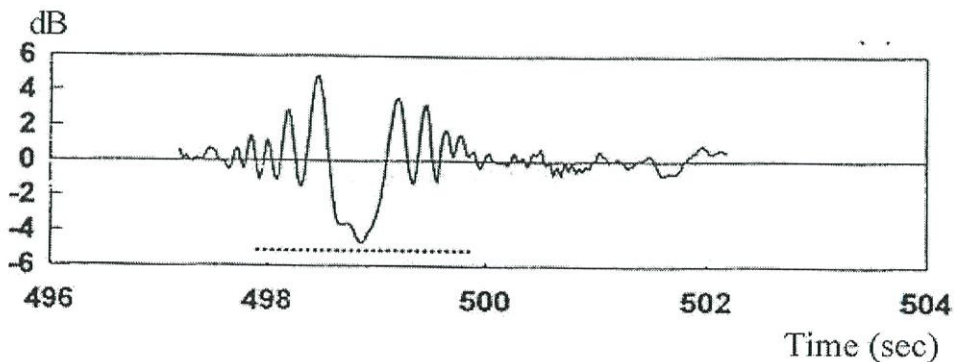
เขาได้อธิบายเพิ่มเติมถึงปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบว่ามีลักษณะการแกว่งของคลื่น 3 แบบคือ

1.ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูงทำให้คลื่นวิทยุที่ส่งผ่านดาวเทียมสะท้อนคลื่นในชั้นบรรยากาศทำให้สัญญาณที่ได้รับเปลี่ยนแปลงขนาดไป แสดงตัวอย่างการเกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบหรือ Quasi-periodic scintillation ดังรูปที่ 2.6



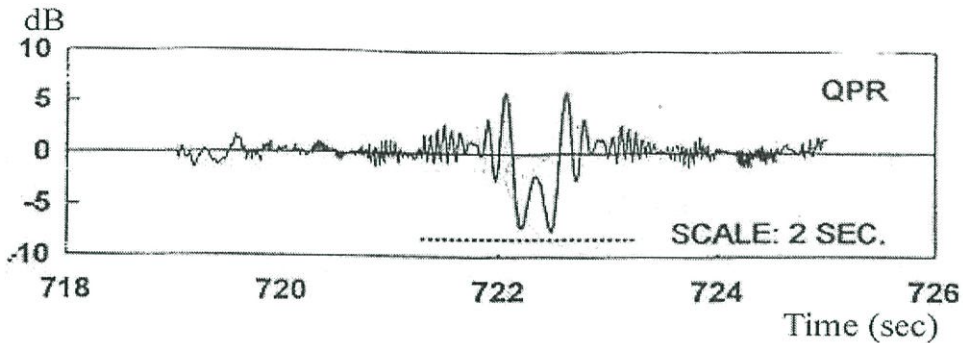
รูปที่ 2.6 Quasi-periodic scintillation ที่ความถี่ 150 MHz

2.ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แต่เกิดจากการรบกวนกันระหว่างคลื่นวิทยุสองความถี่ที่ส่งผ่านดาวเทียมลงมามีลักษณะคล้ายกับการรบกวนของคลื่นวิทยุโทรทัศน์ในระบบสื่อสารภาคพื้นดิน แสดงตัวอย่างการเกิด Quasi-periodic scintillation ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 Quasi-periodic scintillation ที่ความถี่ 150 MHz

3. ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบที่เกิดจากการรบกวนกันของคลื่นวิทยุที่ส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมด้วยความถี่เดียวกัน ลักษณะของรูปคลื่นใกล้เคียงกับแบบที่ 2 ดังรูปที่ 2.8

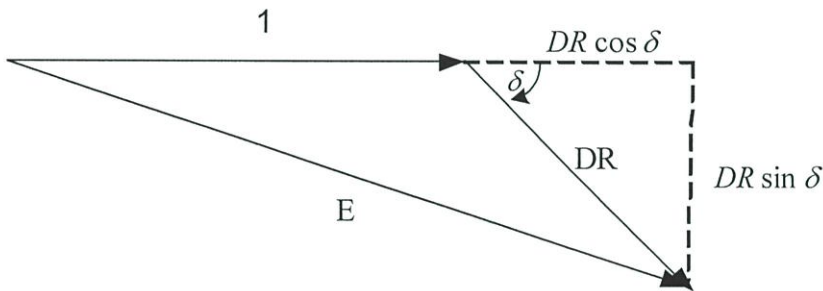


รูปที่ 2.8 Quasi-periodic scintillation ที่ความถี่ 150 MHz

2.3 การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบในระบบสื่อสารภาคพื้นดิน

ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหก็เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิ ความดัน ความชื้น และการกระจายออกไปในแนวตั้งของชั้นบรรยากาศ (vertical distribution) ซึ่งตัวแปรทั้งหมดนี้จะมีผลอย่างมากต่อการเดินทางของคลื่นวิทยุ คลื่นวิทยุที่ส่งจากสายอากาศส่งไปยังสายอากาศรับจะมีลักษณะการเดินทางหลายชนิด สำหรับคลื่นวิทยุในย่านความถี่ VHF และ UHF มีการเดินทางเป็นแบบ Tropospheric Wave ซึ่งก็คือประกอบด้วย คลื่นตรง คลื่นสะท้อนดินและมีคลื่นผิวดินรวมอยู่ด้วย คลื่น Tropospheric Wave นี้เป็นคลื่นที่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ (การเปลี่ยนแปลงนี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นมาจากการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบของอากาศ) ทำให้ความเข้มสนามไฟฟ้าด้านรับเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคลื่นในย่านนี้จะเกิดการหักเห (Refraction) การสะท้อน (Reflection) และการดูดกลืน (Absorption) [7] และอาจเกิดจากคลื่นตรงที่มีการเดินทางตามแนวเส้นสายตา (Line of Sight) เมื่อกระทบกับสิ่งกีดขวางเช่นตึกอาคาร สิ่งก่อสร้างต่างๆ สภาพภูมิประเทศหรือเครื่องบินจะเกิดคลื่นสะท้อนมายังสายอากาศรับทำให้สัญญาณที่รับได้เกิดจากการรวมกันของสัญญาณตรงจากสถานีส่งและสัญญาณสะท้อนจากสิ่งกีดขวางหากเป็นเครื่องบินซึ่งมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาทำให้มีความต่างเฟสเกิดขึ้นดังนั้นสัญญาณที่เครื่องรับจะมีลักษณะเป็นคลื่นที่เปลี่ยนแปลงทั้งเฟสตรงกันและเฟสตรงกันข้ามทำให้มีการเสริมและหักล้างกันทางแอมพลิจูดและเฟส เกิดการ fading ซึ่งก็คือการที่คลื่นวิทยุเกิดการจางหายไปเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วกลับคืนสู่สภาวะปกติ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะต่างๆ ไปคือ fast fading

หรือ short-term fading และ slow fading หรือ long-term fading ซึ่ง slow fading [8] เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสถานะชั้นบรรยากาศที่ไม่เหมาะสม การเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาระหว่างวันหรือฤดูกาลต่างๆ ส่วน fast fading เป็นผลจากสัญญาณที่ได้รับได้ทั้งหมดที่มีการรวมกันทางเฟสของสัญญาณที่มาจากหลายที่แตกต่างกันในชั้นบรรยากาศ กล่าวโดยสรุป สาเหตุที่ทำให้เกิดการ fading คือการเปลี่ยนแปลงสภาพตัวกลางในการเดินทางของคลื่นวิทยุ ทำให้คลื่นวิทยุเกิดการหักเห การสะท้อน การดูดกลืน หรือการกระเจิง (scattering) ได้ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณที่ได้รับ ในที่นี้จะยกตัวอย่างการจำลองแบบง่ายๆในการหาค่า fast fading ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของเส้นทางระหว่างเส้นทางของคลื่นตรงและคลื่นสะท้อนที่เดินทางมายังเครื่องรับในเวลาที่แตกต่างกัน [9] โดยกำหนดให้ δ คือความต่างเฟสระหว่างคลื่นตรงและคลื่นสะท้อนรวมทั้งการเปลี่ยนเฟสเนื่องจากคลื่นสะท้อนคืน โดยให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง π ในรูปที่ 2.1 เป็นการประมาณค่าความแรงสนามไฟฟ้าของสัญญาณที่เป็นผลจากการรวมกันของคลื่นทั้งสอง กำหนดสัญลักษณ์คือ E และ D คือ divergence factor และ R คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยให้คลื่นตรงเท่ากับ 1 เป็นค่าอ้างอิง



รูปที่ 2.9 การจำลอง fast fading

ผลที่ได้จากการรวมกันของสัญญาณทั้งสอง ซึ่งจะได้ระดับสัญญาณที่ทำให้เกิดการ fading คือ

$$E = \sqrt{(1 + DR \cos \delta)^2 + (DR \sin \delta)^2} = \sqrt{1 + 2DR \cos \delta + (DR)^2} \quad (2.1)$$

ในการหาค่าความต่างเฟส (δ) ซึ่งในที่นี้จะยกตัวอย่างการจำลองเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นในอากาศว่าง (free space) และสมมติให้ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ [9] ดังรูปที่ 2.10 กำหนดให้ระยะทางระหว่างสถานีส่ง (Tx) กับสายอากาศรับ (Rx) คือ ระยะทาง d มีค่ามาก ซึ่งสัญญาณที่ได้รับจากสายอากาศรับเกิดจากการรวมสัญญาณระหว่างคลื่นตรงและคลื่นสะท้อนคืน การหาค่าความต่างเฟส (δ) จะสัมพันธ์กับค่าความต่างของเส้นทาง (Δd) ระหว่างเส้นทางของคลื่นตรง (d_d) และคลื่นสะท้อนคืน (d_r) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.2

$$\delta = \frac{2\pi \Delta d}{\lambda} \quad (2.2)$$

สามารถคำนวณหาระยะทางของคลื่นตรงได้จากสมการที่ 2.3 และหาระยะทางของคลื่นสะท้อนดินได้จากสมการที่ 2.4

$$d_d = [d^2 + (h_t - h_r)^2]^{1/2} \quad (2.3)$$

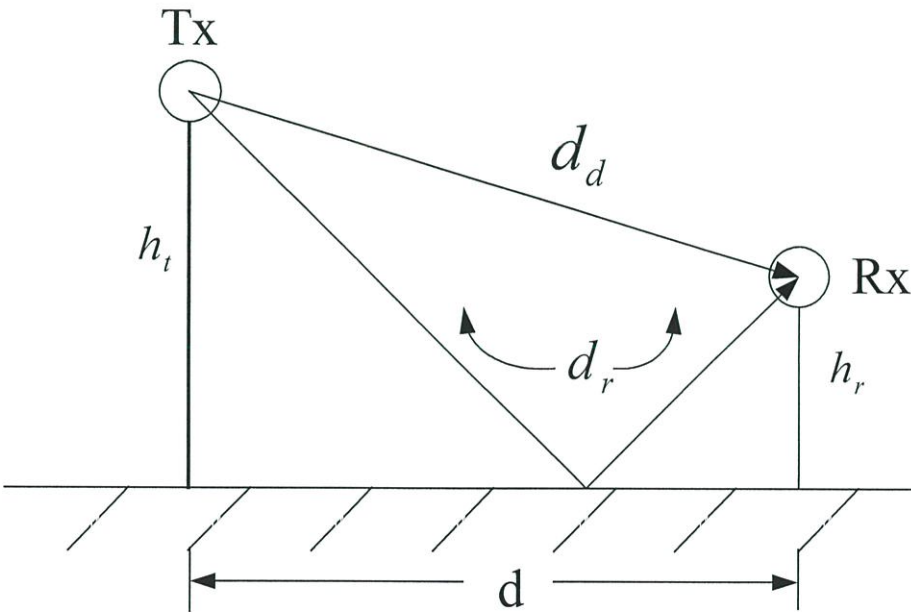
$$d_r = [d^2 + (h_t + h_r)^2]^{1/2} \quad (2.4)$$

และ

$$d_r - d_d = \frac{2h_t h_r}{d} \quad (2.5)$$

โดยที่ h_t คือ ความสูงของสายอากาศส่งและ h_r คือ ความสูงของสายอากาศรับ ดังนั้นความแตกต่างระหว่างเส้นทางคลื่นสะท้อนและคลื่นตรง (Δd) คือ $\frac{2h_t h_r}{d}$ จะสามารถหาค่า

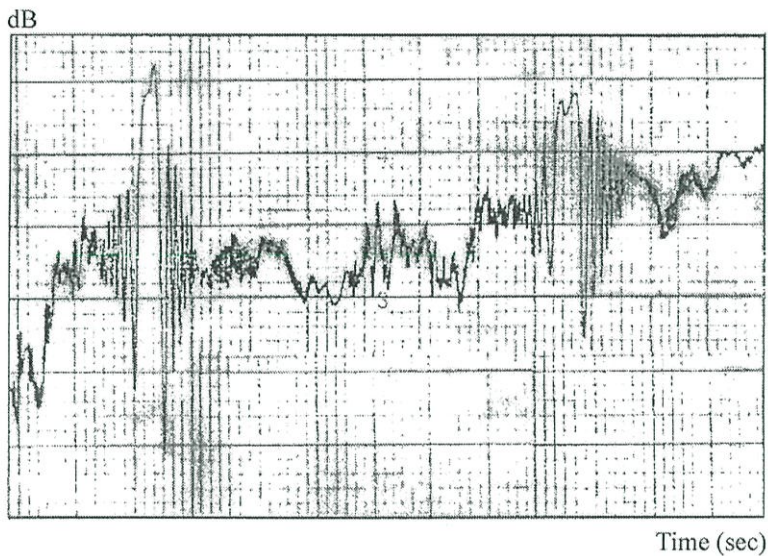
ความต่างเฟสได้เท่ากับ $\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{2h_t h_r}{d} = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d}$ เรเดียน (2.6)



รูปที่ 2.10 รูปจำลองเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นในอากาศว่างบนพื้นราบ

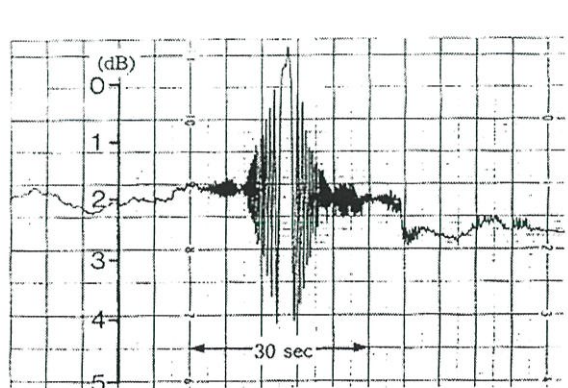
ในปี ค.ศ.1989 จากบทความเรื่อง On the Properties of Elevated Layers over Calcutta and Its Effect on VHF Propagation โดยนักวิจัยชาวอินเดียชื่อ Mr. J Das [10] ทำการทดลองโดยใช้สัญญาณโทรทัศน์ย่าน VHF ที่ความถี่ 189 MHz ได้พบปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด

อย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบ (quasi-periodic fading) มีลักษณะรูปคลื่น ดังรูปที่ 2.11 ได้อธิบายปรากฏการณ์นี้ว่าเป็นการสะท้อนคลื่นวิทยุในชั้นบรรยากาศซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น ความดัน ตลอดเวลาและจากการรวมตัวของละอองไอน้ำในอากาศทำให้คลื่นโทรทัศน์มีการสะท้อนกลับเกิดการหักเหของคลื่น รบกวนสัญญาณจากสถานีส่งเป็นผลให้สัญญาณโทรทัศน์ที่รับได้ไม่ชัดเจน



รูปที่ 2.11 Quasi-periodic fading ที่ความถี่ 189 MHz

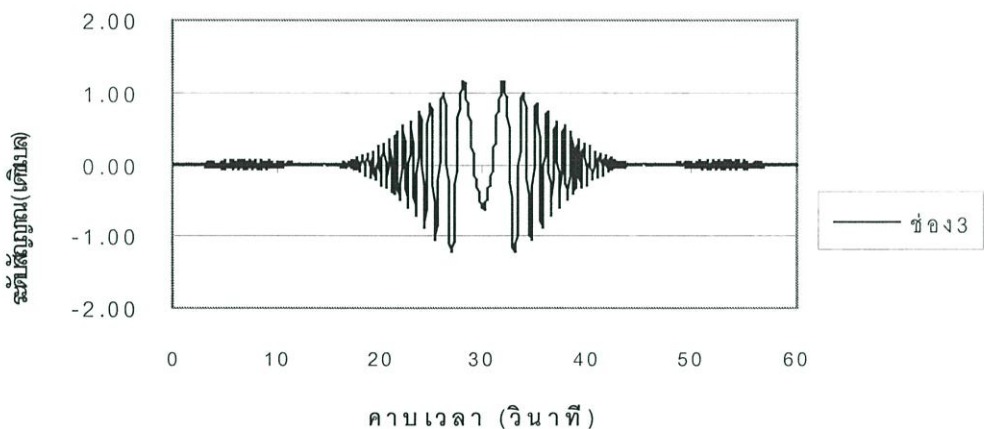
ต่อมาในปี ค.ศ. 1997 จากบทความเรื่อง Relation Between Quasi-Periodic Level Fluctuation and Plane Flight on Television Broadcast Signals in Thailand ของนิภา ทิลาธิ [11] ได้ทดลองรับสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 3 ที่ความถี่ 60.75 MHz ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้พบปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบมีลักษณะคลื่น ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 Quasi-periodic fading ที่ความถี่ 60.75 MHz

พบว่ามิลักษณะรูปคลื่นเกือบสมมาตรกันขนาดของแอมพลิจูดจากยอดคลื่นถึงยอดคลื่นสูงเกือบถึง 5 เดซิเบล มีคาบเวลาของการแกว่งประมาณ 15 วินาที บางครั้งจากการบันทึกได้รูปคลื่นมีขนาดแอมพลิจูดสูงถึง 10 เดซิเบล ได้อธิบายถึงปรากฏการณ์นี้ว่าเกิดขึ้นขณะที่มีเครื่องบินบินผ่านที่ระดับความสูงและทิศทางต่าง ๆ กัน โดยเครื่องบินจะเป็นตัวสะท้อนคลื่นที่ส่งตรงจากสถานี สายอากาศรับจะรับสัญญาณตรงจากสถานีส่งรวมกับสัญญาณสะท้อนจากเครื่องบิน ระยะทางจากสถานีส่งถึงเครื่องบินซึ่งเป็นตัวสะท้อนคลื่นมายังสายอากาศรับจะเปลี่ยนไปตลอดเวลาเพราะเครื่องบินเคลื่อนที่เช่นเดียวกันทำให้สัญญาณที่รับได้มีลักษณะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงของเฟสและแอมพลิจูดที่เสริมและหักล้างกัน เกิดลักษณะของปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบขึ้น และรูปคลื่นที่ได้จะแตกต่างกันออกไปตามขนาดและทิศทางการบินของเครื่องบิน

ในวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัยได้ทำการวิจัยเพิ่มเติม โดยการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาปรากฏการณ์นี้เนื่องจากเครื่องบิน โดยยึดสมมติฐานจากทฤษฎีหน้าตัดขวางเรดาร์ (radar cross section) เข้ามาเกี่ยวข้องและคิดขนาดของเครื่องบินคือ ความยาวและความสูงของเครื่องบินเป็นตัวแปรในการทำแบบจำลอง ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองมีลักษณะดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ผลการจำลองรูปคลื่นที่ความถี่ 60.75 MHz

นอกจากนี้ยังคำนึงถึงตัวแปรอื่นๆที่คาดว่าจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบได้แก่ ระยะทางระหว่างสถานีส่งถึงสายอากาศรับ ระยะทางระหว่างเครื่องบินถึงสายอากาศรับ มุมของเส้นทางบินของเครื่อง ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเครื่องบิน ระดับความสูงของเครื่องบิน ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเครื่องบิน ความสูงของสายอากาศรับ รวมทั้งความถี่ของสัญญาณที่ใช้ส่งและชนิดของสายอากาศ ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวไว้ในบทต่อไป

2.4 สรุป

ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบคือ ปรากฏการณ์ของการแกว่งตัวของสัญญาณวิทยุที่มีลักษณะคล้ายคลื่นรูปซายน์ โดยมีการแกว่งของระดับสัญญาณจากค่าน้อยๆ ไปจนถึงค่าสูงสุดหรือต่ำสุดแล้วค่อยๆ กลับสู่สภาวะปกติอีกครั้งด้วยขนาดที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นทั้งในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมและระบบสื่อสารภาคพื้นดิน ได้มีการวิจัยจากนักวิจัยหลายท่านหลายเชื้อชาติกล่าวถึงปรากฏการณ์นี้ และได้อธิบายการเกิดปรากฏการณ์นี้ด้วยสมมติฐานแตกต่างกัน แต่ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยโดยยึดสมมติฐานตามวิทยานิพนธ์ของ นิภา ทีลา รุจิ [1] ซึ่งได้อธิบายถึงปรากฏการณ์นี้ว่า เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการสะท้อนสัญญาณเนื่องจากเครื่องบินที่บินผ่านเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น โดยผู้วิจัยได้ทำการจำลองผลกระทบที่จะมีผลต่อปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบนี้ โดยทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ ซึ่งน่าจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงนี้และประยุกต์ใช้กับหลักการหน้าต่างขวางเรดาร์ซึ่งคิดขนาดของเครื่องบินตามจริง

บทที่ 3

หลักการกระจายคลื่นวิทยุโทรทัศน์

3.1 การกระจายคลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุที่แพร่กระจายจากสายอากาศของเครื่องส่งไปยังเครื่องรับนั้น เกิดจากการไหลของกระแสไฟฟสลบในสายอากาศทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ซึ่งการกระจายคลื่นนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของสายอากาศ คลื่นวิทยุจะกระจายไปได้ไกลเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญหลายอย่าง เช่น กำลังของเครื่องส่งวิทยุ ความสูงของสายอากาศ ความถี่ของคลื่นวิทยุ สภาพดินฟ้าอากาศ ภูมิประเทศสิ่งแวดล้อม ในเรื่องของกำลังส่ง ความสูงของสายอากาศและความถี่ของคลื่นวิทยุนั้นเราควบคุมและกำหนดตามความต้องการได้ ส่วนสภาพสิ่งแวดล้อม ดินฟ้าอากาศเราไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งมีผลต่อการกระจายคลื่นวิทยุเป็นอย่างมาก

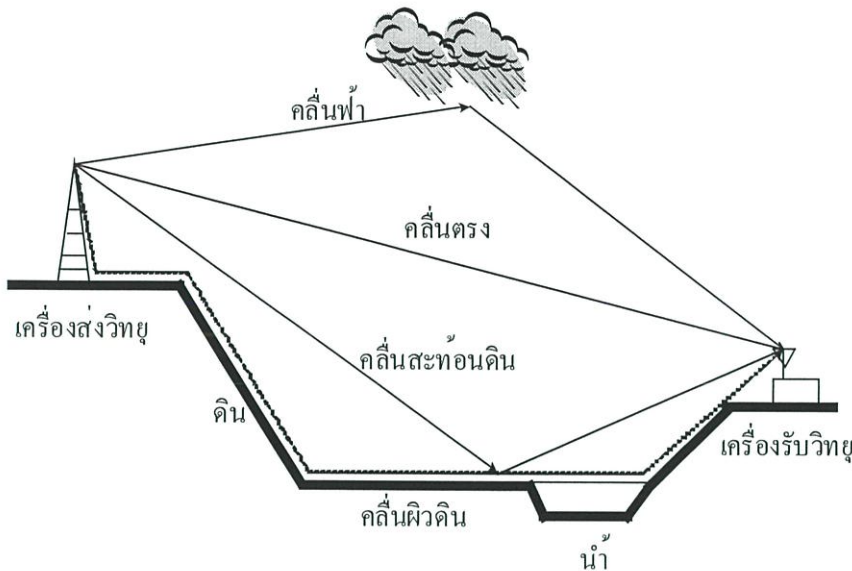
การกระจายคลื่นวิทยุกระจายได้ 4 ลักษณะ คือ คลื่นตรง คลื่นผิวดิน คลื่นสะท้อนดิน และคลื่นฟ้า

คลื่นตรง หมายถึงคลื่นที่เดินทางออกจากสายอากาศของเครื่องส่งผ่านบรรยากาศตรงไปยังสายอากาศเครื่องรับ โดยไม่ได้มีการสะท้อนกลับใด ๆ เลย

คลื่นผิวดิน หมายถึงคลื่นวิทยุที่เดินทางไปตามผิวดินหรือผิวน้ำ สภาพผิวดินหรือป่าจะดูดคลื่นพลังคลื่นวิทยุได้ จึงทำให้ไปไม่ได้ไกล โดยเฉพาะความถี่สูง ๆ จะกระจายไปตามผิวดิน ได้ในระยะใกล้เท่านั้น

คลื่นสะท้อนดิน หมายถึงคลื่นที่ตกกระทบพื้นดินหรือวัตถุต่าง ๆ บนพื้น แล้วเกิดการสะท้อนหักเห อาจสะท้อนครั้งเดียวหรือหลายครั้งจนกว่าจะถึงเครื่องรับ

คลื่นฟ้า หมายถึงคลื่นที่พุ่งขึ้นบนท้องฟ้า แล้วกระทบกับชั้นบรรยากาศแล้วเกิดการสะท้อนหักเหกลับลงมาเข้าเครื่องรับหรือลงมาสะท้อนลงพื้นดินแล้วพุ่งสู่ท้องฟ้าซึ่งอาจจะสะท้อนกลับไปกลับมาหลายครั้ง คลื่นลักษณะนี้จะทำให้การสื่อสารติดต่อกันได้ไกลบนผิวโลก



รูปที่ 3.1 การเดินทางของคลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุที่มีความถี่ต่ำกว่า 3 MHz สามารถเดินทางตามผิวดินได้ดี ส่วนความถี่ระหว่าง 3 –30 MHz จะสะท้อนกับชั้นบรรยากาศได้ดี ซึ่งการสื่อสารยานนี้จะต้องอาศัยคลื่นท้องฟ้าเป็นหลัก แต่คลื่นที่มีความถี่สูงกว่านี้จะถูกดูดกลืนตามผิวดินและทะลุชั้นบรรยากาศไม่มีการสะท้อนกลับ การสื่อสารจึงต้องใช้คลื่นตรงเท่านั้น

คลื่นตรงเป็นคลื่นที่มีทิศทางพุ่งออกจากสายอากาศของเครื่องส่งโดยตรง เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เช่นเดียวกับเส้นสายตา (line of sight) อุปสรรคของคลื่นตรงที่ไปไม่ได้ไกลก็คือ ความโค้งของโลก ภูเขา และตึกสูงเพราะคลื่นจะถูกบังไว้หมด ดังนั้นจึงต้องทำเสาอากาศเครื่องส่งหรือเสาอากาศเครื่องรับให้สูงขึ้น คลื่นตรงที่ใช้ติดต่อสื่อสารย่าน VHF มีความถี่ตั้งแต่ 30 MHz ขึ้นไป เช่น การส่งคลื่นวิทยุ FM และการส่งคลื่นโทรทัศน์ เป็นต้น ระยะทางที่คลื่นตรงจะไปได้บนโลกไม่เกิน 120 กิโลเมตรในทางราบ แต่ถ้าภูมิประเทศเป็นภูเขา เป็นป่า เป็นตึกสูง คลื่นตรงก็ไปไม่ได้ไกล

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความแรงสนามไฟฟ้าของคลื่นตรง รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงเนื่องจาก short-term fading หรือ fast fading มี 2 ปัจจัย [12] คือ ปัจจัยหลัก ได้แก่

1. การสะท้อนจากพื้นผิวโลก รวมทั้งทะเล พื้นดิน ป่า และสิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้น
2. การดูดกลืนของชั้นบรรยากาศซึ่งจะมีผลที่ความถี่ 10 GHz ขึ้นไป

ปัจจัยรอง ได้แก่

1. คลื่นดิน (ground wave) ซึ่งประกอบด้วย คลื่นตรง คลื่นสะท้อนดินรวมทั้งคลื่นผิวดินด้วย
2. การเลี้ยวเบนเนื่องจากสิ่งกีดขวางที่อยู่ใกล้เส้นทางการแพร่กระจายคลื่น
3. การสะท้อนเนื่องจากสิ่งปลูกสร้างของมนุษย์ หรือ ภูเขา
4. การรบกวนจากช่องสัญญาณที่ใช้ร่วมกันในระบบอื่น

ถ้ารับเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นเมื่อความแรงสนามไฟฟ้าที่รับได้เกิดจากคลื่นสะท้อนรวมกับคลื่นตรงเรียกว่า เส้นทางการสอดแทรกของคลื่นสะท้อน (reflection interference path) เราสามารถหาสมการพื้นฐานของการสอดแทรกเนื่องจากคลื่นสะท้อนตามเส้นทางในแนวสายตาได้ [12] ดังนี้ ความแรงสนามไฟฟ้าที่รับได้ กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ E' ซึ่งเกิดจากการรวมกันทางเวกเตอร์ของความแรงสนามไฟฟ้าของคลื่นตรง E_d' และคลื่นสะท้อน E_r' ดังสมการที่ 3.1

$$E' = E_d' + E_r' \quad (3.1)$$

สมมติให้ E_d' คือเวกเตอร์อ้างอิงจึงสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$E' = E_d + E_r e^{-j\Theta} \quad (3.2)$$

E_d คือ แอมพลิจูดของคลื่นตรง

E_r คือ แอมพลิจูดของคลื่นสะท้อน

Θ คือ ความต่างเฟสระหว่างคลื่นตรงกับคลื่นสะท้อน

สามารถคำนวณหาค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่รับได้จากสมการที่ 3.3 คือ

$$E = \sqrt{E_d^2 + E_r^2 - 2E_d E_r \cos(\Theta - \pi)} \quad (3.3)$$

หรือ

$$E = \sqrt{E_d^2 + E_r^2 + 2E_d E_r \cos \Theta} \quad (3.4)$$

ถ้าทำเป็นค่าอัตราส่วนทางแอมพลิจูดของคลื่นสะท้อนต่อคลื่นตรง และให้ ρ_e แทนสัญลักษณ์ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนประสิทธิผลจะได้สมการที่ 3.5 คือ

$$E = E_d \sqrt{1 + \rho_e^2 - 2\rho_e \cos(\Theta - \pi)} \quad (3.5)$$

หรือ

$$E = E_d \sqrt{1 + \rho_e^2 + 2\rho_e \cos \Theta} \quad (3.6)$$

ดังนั้นจะได้อัตราส่วนของระดับสัญญาณที่รับได้ต่อระดับสัญญาณของคลื่นตรง (A) ดังสมการที่ 3.7 คือ

$$A = \frac{E}{E_d} = \sqrt{1 + \rho_e^2 + 2\rho_e \cos \Theta} \quad (3.7)$$

หากกำหนดให้เส้นทางการแพร่กระจายคลื่นเกิดบนระนาบพื้นเรียบโดยไม่มีสิ่งกีดขวางหรืออยู่ในสภาพอวกาศว่าง (free space) ใช้สัญลักษณ์ E_0 แทน E_d และใช้สัญลักษณ์ R แทน ρ_e ในสมการที่ (3.7) ดังนั้นจะได้สมการใหม่คือ

$$A = \frac{E}{E_0} = \sqrt{1 + R^2 + 2R \cos \Theta} \quad (3.8)$$

3.2 การแบ่งย่านความถี่วิทยุ

ย่านความถี่ของคลื่นวิทยุถูกแบ่งออกเป็น 8 ย่านและการสื่อสารแต่ละประเภทก็จะใช้ย่านความถี่แตกต่างกัน ส่วนความถี่ใช้งานของโทรทัศน์ถูกกำหนดไว้สองย่านคือ ย่าน VHF และ UHF ตารางที่ 3.1 เป็นการแบ่งย่านความถี่ในลักษณะต่างๆ

ตารางที่ 3.1 การแบ่งย่านความถี่

ย่านความถี่	ความถี่	การใช้งาน
VLF (very low frequency)	ต่ำกว่า 30 kHz	โทรเลข, โซนาร์
LF (low frequency)	30-300 kHz	โทรพิมพ์, วิทยุเรือ
MF (medium frequency)	300-3,000 kHz	วิทยุ AM ฯลฯ
HF (high frequency)	3-30 MHz	วิทยุสื่อสาร, CB
VHF (very high frequency)	30-300 MHz	โทรทัศน์, วิทยุ, FM
UHF (ultra high frequency)	300-3,000 MHz	โทรทัศน์, การบิน
SHF (super high frequency)	3-30 GHz	ไมโครเวฟ, ดาวเทียม
EHF (extra high frequency)	30-300 GHz	การสื่อสารใยแสง

3.3 ระบบมาตรฐานโทรทัศน์

ระบบมาตรฐานโทรทัศน์มีองค์สำคัญที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับการเลือกใช้ระบบโทรทัศน์ 2 องค์การคือ

- คณะกรรมการที่ปรึกษากิจการวิทยุโทรทัศน์ระหว่างประเทศ หรือที่เรียกว่า CCIR ซึ่งเป็นชื่อย่อตามชื่อในการประชุมที่ฝรั่งเศส เรียกเป็นภาษาอังกฤษว่า International Radio Consultative Committee ปัจจุบันได้เปลี่ยนชื่อเป็น ITU-R (International Telecommunication Union

Radiocommunication Sector) ซึ่งเป็นคณะกรรมการที่กำหนดมาตรฐานของวิทยุ-โทรทัศน์ระหว่างประเทศ เป็นผู้กำหนดมาตรฐานระบบต่างๆของโทรทัศน์ขาว-ดำ 625 เส้น

2. คณะกรรมการสื่อสารของรัฐบาลกลาง (สหรัฐอเมริกา) หรือ FCC (Federal Communication Commission) เป็นคณะกรรมการที่กำหนดมาตรฐานของระบบวิทยุโทรทัศน์ในสหรัฐอเมริกา เป็นผู้กำหนดมาตรฐานต่างๆของโทรทัศน์ขาว-ดำ 525 เส้น

การส่ง-รับสัญญาณโทรทัศน์มีมาตรฐานการกำหนดคุณลักษณะของระบบโทรทัศน์แบบต่างๆโดยแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบใหญ่ๆคือ

1. ระบบ NTSC (National Television System Committee) เป็นคณะกรรมการระบบโทรทัศน์แห่งชาติของสหรัฐอเมริกา เป็นผู้กำหนดระบบมาตรฐานต่างๆของระบบโทรทัศน์และเป็นระบบโทรทัศน์สีแบบระบบแรกซึ่งเป็นระบบ 525 เส้น โดยใช้มาตรฐานตามข้อกำหนดเดิมของ FCC

2. ระบบ PAL (Phase Alternation by Line) เป็นระบบการส่งโทรทัศน์สีที่พัฒนามาจากระบบ NTSC โดยวิศวกรชาวเยอรมัน เป็นระบบมาตรฐานที่ใช้อยู่ในทวีปยุโรปและประเทศไทย

3. ระบบ SECAM (Sequential with a Memory) เป็นระบบที่พัฒนาโดยประเทศฝรั่งเศส

3.4 ความถี่และช่องสัญญาณโทรทัศน์

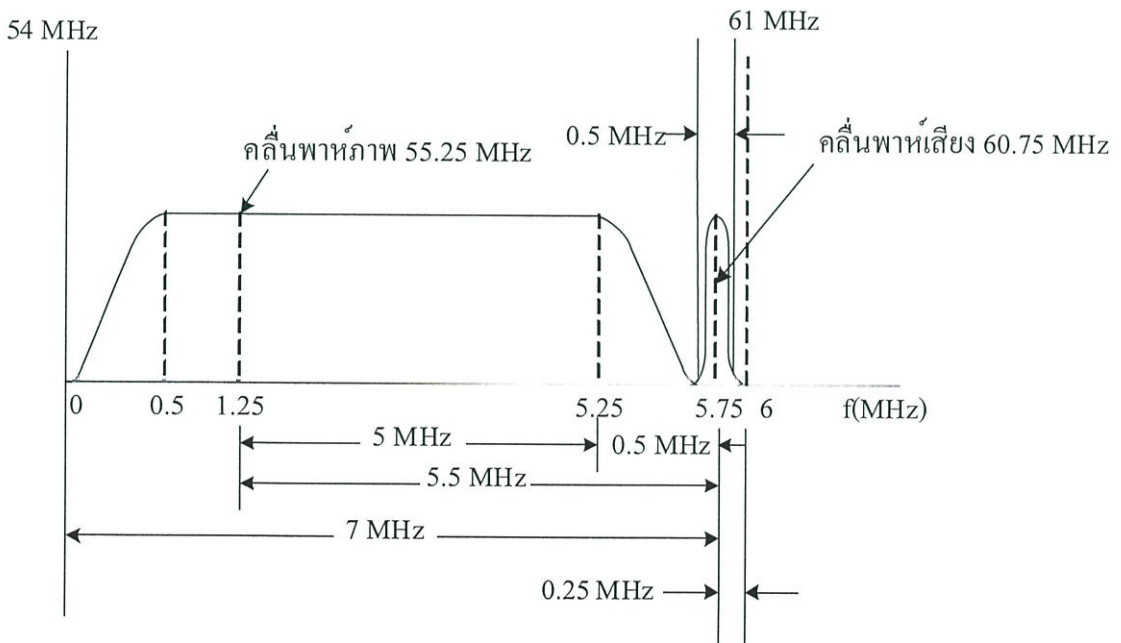
ในประเทศไทยสถานีส่งโทรทัศน์ทั้งหมดใช้ความถี่ตามระบบ ITU-R (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector) ซึ่งเป็นมาตรฐานของยุโรป และส่งออกอากาศในระบบ PAL-B สถานีโทรทัศน์จะใช้ความถี่ในย่าน VHF ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ช่องโทรทัศน์ในความถี่ย่าน VHF ในประเทศไทย

โทรทัศน์ช่องที่		ความกว้างของช่อง (MHz)	คลื่นพาห์ของภาพ (MHz)	คลื่นพาห์ของเสียง (MHz)
VHF แบนด์ต่ำ	2	47 - 54	48.25	53.75
	3	54 - 61	55.25	60.75
	4	61 - 68	62.25	67.75
VHF แบนด์สูง	5	174-181	175.25	180.75
	6	181-188	182.25	187.75
	7	188-195	189.25	194.75
	8	195-202	196.25	201.75
	9	202-209	203.25	208.75
	10	209-216	210.25	215.75
	11	216-223	217.25	222.75
	12	223-230	214.25	229.75

จากตารางที่ 3.2 โทรทัศน์ระบบ ITU-R จะส่งความถี่ในย่าน VHF จำนวน 2 แบนด์คือแบนด์ต่ำจำนวน 3 ช่องคือ ช่อง 2-3-4 ความถี่ตั้งแต่ 47-68 MHz กับแบนด์สูงจำนวน 8 ช่อง ตั้งแต่ช่อง 5 ถึง ช่อง 12 ช่วงความถี่ 174-230 MHz ขอบเขตความถี่แต่ละช่องกว้าง 7 MHz คลื่นพาห้เสียงสูงกว่าคลื่นพาห้ภาพ 5.5 MHz รวมการส่งโทรทัศน์มี 11 ช่อง

สัญญาณโทรทัศน์ที่ถูกลงอากาศ จะประกอบด้วยสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง สัญญาณภาพจะมีคลื่นพาห้ของภาพ (picture carrier) ในระบบ amplitude modulation และสัญญาณเสียงก็จะมีคลื่นพาห้ของเสียง (sound carrier) ในระบบ frequency modulation การส่งสัญญาณภาพออกอากาศ อาจเลือกส่งแบบ amplitude-modulated double sidebands หรือเลือกส่งแบบอื่นก็ได้ แต่เนื่องจากขอบเขตของความถี่ในสัญญาณภาพมีมาก หากส่งความถี่ที่เกี่ยวข้องไปทั้งหมดจะทำให้ความกว้างของช่องโทรทัศน์มีมากเกินไป จึงนิยมใช้วิธีส่งไซด์แบนด์บน (upper sideband) เต็มที่ 5 MHz และส่งบางส่วนทางไซด์แบนด์ล่าง (lower sideband) ซึ่งเรียกว่าแบบ vestigial sideband transmission เพียง 0.75 MHz รวมสโลปของฐานอีก 0.5 MHz ดังนั้นไซด์แบนด์ล่างจึงมีเพียง 1.25 MHz เท่านั้น ดังรูปคลื่นในรูปที่ 3.2 คลื่นพาห้ภาพและเสียงห่างกันอยู่ 5.5 MHz โดยคลื่นพาห้เสียงใช้ความถี่สูงกว่าคลื่นพาห้ภาพ สโลปด้านไซด์แบนด์บนของสัญญาณภาพมีความชัน 0.25 MHz และสโลปของคลื่นพาห้เสียงมีด้านละ 0.25 MHz รวมความกว้างทั้งหมดของสัญญาณโทรทัศน์ 1 ช่องมีความกว้าง 7 MHz ยกตัวอย่างความถี่ช่อง 3 ซึ่งมีช่วงความถี่ 54-61 MHz มีความถี่คลื่นพาห้ภาพ 55.25 MHz และความถี่คลื่นพาห้เสียง 60.75 MHz ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แถบความถี่ของโทรทัศน์ 1 ช่อง

นอกจากการส่งโทรทัศน์ในย่าน VHF ยังมีการส่งในย่าน UHF ความถี่ตั้งแต่ 400-900 MHz ระบบ ITU-R แบ่งย่านความถี่ UHF ออกเป็น 2 แบนด์ คือ ช่วงความถี่ 470-582 MHz ส่งที่ช่อง 21 ถึงช่อง 37 กับช่วงความถี่ 606-790 MHz ส่งที่ช่อง 38 ถึงช่อง 69

สถานีส่งโทรทัศน์ที่เป็นแม่ข่ายจะตั้งอยู่ในกรุงเทพฯ ซึ่งในระบบ VHF มีทั้งหมด 5 ช่องคือ ช่อง 3 ช่อง 5 ช่อง 7 ช่อง 9 และช่อง 11 ส่วนระบบ UHF ของไอทีวีมีอีก 1 ช่องคือช่อง 29 และช่องความถี่พิเศษของโทรทัศน์ช่อง 3 ที่ออกอากาศโดยใช้ UHF ช่องที่ 60 เพื่อขจัดปัญหาในการรับสัญญาณในเขตกรุงเทพฯ โดยจัดตั้งอยู่ 3 แห่ง คือ ที่อาคารจิวเวอร์รี่เทรดเซ็นเตอร์ ถนนสีลม เขตบางรักแห่งแรก อาคารแฟมมิลีคอมเพล็กซ์ สีแยกสุทธิสาร เขตพญาไทแห่งที่สองและอาคารเอ็มโพเรียม ทาวเวอร์ ถนนสุขุมวิท เขตคลองเตยเป็นแห่งที่สาม การกระจายสัญญาณภาพและเสียงไปยังต่างจังหวัด จะส่งผ่านระบบดาวเทียมไปยังสถานีเครือข่ายภาคพื้นดินหลังจากนั้นสถานีเครือข่ายภาคพื้นดินจึงเปลี่ยนความถี่ส่งออกอากาศเป็นระบบ VHF และ UHF ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดใกล้เคียง สถานีเครือข่ายนี้จะมีกระจายอยู่ทั่วประเทศ ออกอากาศในความถี่ช่องที่แตกต่างกันออกไป แต่ในเขตพื้นที่หนึ่งไม่ควรจะมีช่องโทรทัศน์ที่มีความถี่ติดกันจะต้องส่งช่องเว้นช่องเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนกัน เช่น สถานีเครือข่ายที่จังหวัดเชียงใหม่ซึ่งอยู่ไกลจากกรุงเทพฯ สามารถใช้ช่องระบบเลขคือความถี่เดียวกับกรุงเทพฯ ได้ทั้ง 5 ช่อง ส่วนสถานีเครือข่ายที่จังหวัดลำปางซึ่งอยู่ติดกับจังหวัดเชียงใหม่ต้องใช้ช่องที่ไม่ซ้ำกับที่จังหวัดเชียงใหม่โดยต้องใช้ช่องระบบเลขคู่คือ ช่อง 4-6-8-10-12 โดยสถานีเครือข่ายของไทยทีวีสีช่อง 3 ออกอากาศในช่อง 6 สถานีเครือข่ายของโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5 ออกอากาศในช่อง 4 สถานีเครือข่ายของโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 7 ออกอากาศในช่อง 12 และสถานีเครือข่ายของโทรทัศน์กรมประชาสัมพันธ์ช่อง 11 ออกอากาศในช่อง 8 เป็นต้น ตารางที่ 3.3 แสดงช่องความถี่ออกอากาศของสถานีโทรทัศน์ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย

ตารางที่ 3.3 แสดงช่องความถี่ออกอากาศของสถานีโทรทัศน์ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย

จังหวัด	ช่อง 3	ช่อง 5	ช่อง 7	ช่อง 9	ช่อง 11	ไอทีวี
กรุงเทพฯ	3	5	7	9	11	29
กาญจนบุรี	-	-	48	-	-	38
เชียงราย	8	12	6	4	10	27
เชียงใหม่	3	5	7	9	11	34
แม่ฮ่องสอน	6	-	8	10	12	27
แม่สะเรียง แม่ฮ่องสอน	-	-	-	-	-	46
ลำปาง	6	4	12	10	8	29
แพร่	6	4	2	10	8	34
น่าน	7	5	-	9	11	27
ตาก	6	4	12	10	8	34
สุโขทัย	3	-	5	9	-	-
พิษณุโลก	-	11	-	-	7	27

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

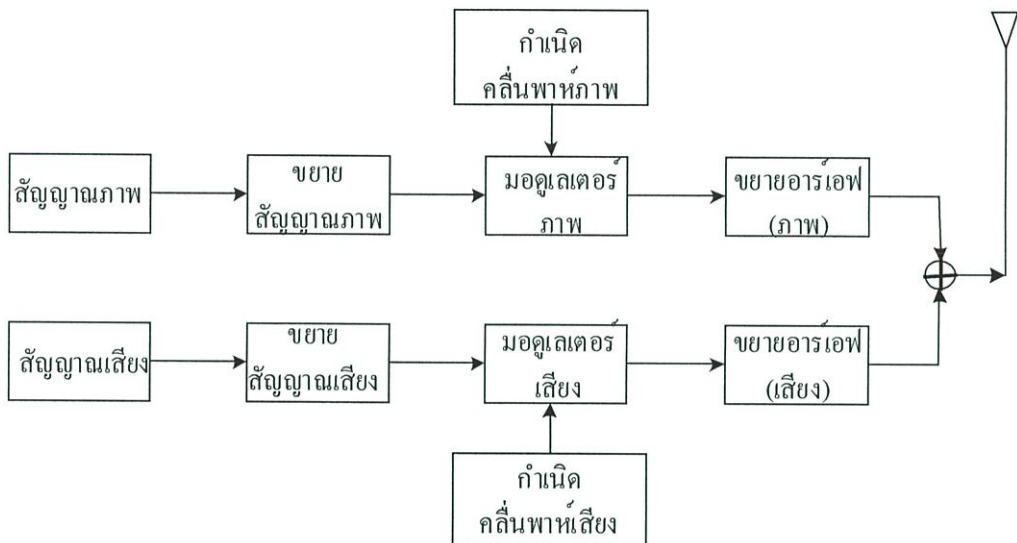
นครสวรรค์	6	8	12	4	10	34
สิงห์บุรี	-	-	-	-	-	28
เพชรบูรณ์	11	3	9	5	7	27
เลข	12	-	8	6	10	34
หนองบัวลำภู	12	-	-	2	-	-
หนองคาย	-	6	4	-	-	-
สกลนคร	7	5	11	9	3	27
ขอนแก่น	7	11	5	9	4	29
ชุมแพ ขอนแก่น	-	-	-	-	-	34
อุบลราชธานี	6	10	12	8	4	27
อุดรธานี	-	-	-	-	10	28
ร้อยเอ็ด	-	-	-	-	-	28
มุกดาหาร	-	-	2	-	4	29
สุรินทร์	7	-	-	9	11	29
บุรีรัมย์	-	5	3	-	-	-
มหาสารคาม	-	-	53	-	-	-
นครราชสีมา	2	8	12	10	6	27
สระแก้ว	6	8	50	10	12	34
ชัยภูมิ	-	-	-	-	-	28
ชลบุรี	-	-	-	50	-	-
พืทยา ชลบุรี	-	38	-	-	-	-
ตราด	7	3	5	9	11	27
ระยอง	6	4	8	10	12	28
ประจวบคีรีขันธ์	6	4	8	10	12	34
ชุมพร	11	7	4	9	5	28
ระนอง	11	3	7	9	5	27
สุราษฎร์ธานี	6	4	8	10	12	29
พังงา	6	-	4	10	-	-
ภูเก็ต	11	3	7	9	5	27
นครศรีธรรมราช	11	3	7	9	5	27
ทุ่งสง นครศรีธรรมราช	-	-	-	-	-	51
หาดใหญ่ สงขลา	2	8	6	4	10	34
ตรัง	6	8	50	10	12	46
สตูล	11	7	51	9	-	27
ยะลา	9	3	7	5	12	37
นราธิวาส	-	4	-	-	-	-

3.5 การส่งสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์

การส่งสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ไปยังเครื่องรับโทรทัศน์เป็นการส่งโดยการแพร่กระจายคลื่นวิทยุไปในอากาศในลักษณะของสนามไฟฟ้าและสามารถรับคลื่นโทรทัศน์ได้โดยการติดตั้งสายอากาศรับซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เครื่องรับโทรทัศน์เปลี่ยนเป็นสัญญาณภาพและเสียงอีกครั้ง ซึ่งภายในเครื่องส่งโทรทัศน์ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณภาพ
2. ส่วนที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเสียง

ในรูปที่ 3.3 เป็นบล็อกไดอะแกรมแสดงการส่งสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงการส่งสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์

3.5.1 หลักการส่งสัญญาณภาพโทรทัศน์

ส่วนนี้จะเปลี่ยนสัญญาณภาพในรูปของแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วรวมกับคลื่นวิทยุซึ่งเป็นคลื่นพาหะ ทำการขยายสัญญาณให้แรงขึ้นเพื่อผสมกับสัญญาณเสียงส่งให้สายอากาศแพร่กระจายเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังสายอากาศเครื่องรับ ส่วนนี้ประกอบด้วย

1. หลอดรับภาพ (camera tube) ทำหน้าที่ในการรับภาพที่อยู่ในรูปของแสง ซึ่งภายในหลอดรับภาพจะมีแผ่นรับภาพ เมื่อแสงตกกระทบความต้านทานของสารไวแสงที่ฉาบอยู่ก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของแสง

2. ภาควิทยุสัญญาณการสแกนที่จอภาพ (camera scan generator) ภาควิทยุสัญญาณการสแกนทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณความถี่เบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนของปืนอิเล็กตรอนทางแนวนอนและแนวตั้ง ส่งให้กับขดลวดเบี่ยงเบนทางแนวนอนและแนวตั้งที่พันอยู่รอบคอหลอดรับภาพ เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กเบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนให้ลำอิเล็กตรอนสแกนได้เต็มหน้าจอ

3. ภาคผลิตสัญญาณซิงก์ (sync pulse generator) ภาคผลิตสัญญาณซิงก์เพื่อควบคุมการสร้าง ความถี่เบี่ยงเบนทางแนวนอนและแนวตั้ง เพื่อให้การสแกนของลำอิเล็กตรอนสอดคล้องสัมพันธ์ กัน ลำอิเล็กตรอนเรียงรายจากด้านบนลงสู่ด้านล่างอย่างเป็นระเบียบ สัญญาณซิงก์จะส่งรวมไปกับ สัญญาณภาพที่วงจรรวมสัญญาณ (combining circuit) รวมกับสัญญาณภาพกลายเป็นสัญญาณภาพ รวม (composite video signal) โดยสัญญาณซิงก์จะถูกส่งไปยังเครื่องรับเพื่อควบคุมการสร้างความถี่ เบี่ยงเบนทางแนวนอนและแนวตั้งที่เครื่องรับโทรทัศน์

4. ภาคขยายสัญญาณภาพ (video amplifier) ภาคขยายสัญญาณภาพทำหน้าที่รับสัญญาณภาพ จากหลอดรับภาพมาทำการขยายให้มีสัญญาณแรงขึ้น เพื่อส่งไปผสมกับสัญญาณซิงก์ก่อนไปทำ การผสมกับคลื่นพาหะภาพเพื่อส่งแพร่กระจายเป็นคลื่นพาหะต่อไป

5. วงจรรวมสัญญาณ (combining circuit) วงจรรวมสัญญาณทำหน้าที่รวมสัญญาณภาพที่ผ่าน การขยายจากภาคขยายสัญญาณภาพและสัญญาณซิงก์ ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมการสร้างความถี่เบี่ยง เบนเข้าด้วยกันก่อนส่งไปผสมกับคลื่นพาหะ

6. ภาคผลิตสัญญาณคลื่นพาหะ (radio frequency oscillator) ภาคผลิตสัญญาณคลื่นพาหะทำหน้าที่ ผลิตคลื่นความถี่วิทยุเพื่อนำไปเป็นคลื่นพาหะของสัญญาณภาพ โดยคลื่นวิทยุที่สร้างขึ้นจะถูกนำไป ผสมกับสัญญาณภาพ ที่ภาคมอดูเลเตอร์ก่อนส่งไปขยายแล้วแพร่กระจายเป็นคลื่นแม่เหล็ก

7. ภาคมอดูเลเตอร์ (modulator) ภาคผสมสัญญาณทำหน้าที่ผสมสัญญาณคลื่นพาหะกับสัญญาณ ภาพรวมก่อนส่งไปทำการขยาย โดยการผสมสัญญาณในการส่งสัญญาณภาพของเครื่องส่งจะเป็น การผสมในแบบ Amplitude Modulator(AM)

8. ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ (RF amplifier) ภาคขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุในส่วน ของสัญญาณภาพที่ทำการมอดูเลตในแบบ AM ให้มีกำลังแรงขึ้นตามกำลังส่งของสถานีโทรทัศน์ ก่อนที่จะนำไปรวมกับความถี่คลื่นวิทยุของสัญญาณเสียงส่งแพร่กระจายเป็นคลื่นแม่เหล็ก

9. ภาครวมสัญญาณ (combining unit) ภาครวมสัญญาณทำหน้าที่รวมสัญญาณคลื่นพาหะภาพและ เสียงที่ผ่านการขยายจากภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ เพื่อรวมเข้าด้วยกัน โดยที่ความถี่คลื่นพาหะ ของภาพจะผสมมาในแบบภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ ในขณะที่คลื่นพาหะเสียงจะผสมในแบบ FM หลังจากนั้นก็จะส่งสัญญาณที่ผสมแล้วไปยังสายอากาศโทรทัศน์เพื่อเปลี่ยนเป็นคลื่นแม่เหล็ก แพร่กระจายออกอากาศต่อไป

3.5.2 หลักการส่งสัญญาณเสียงโทรทัศน์

จะเป็นการเปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยใช้ไมโครโฟน จากนั้นจึงทำการ ขยายสัญญาณให้แรงขึ้นแล้วผสมกับคลื่นพาหะทำการขยายแล้วนำไปรวมกับคลื่นพาหะภาพแล้วส่ง เข้าสู่สายอากาศเพื่อไปยังเครื่องรับ ซึ่งจะประกอบด้วยภาคต่างๆดังนี้

1. ไมโครโฟน (microphone) ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเสียงพูดให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยการกระทบแผ่นไดอะเฟรมไปเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าก่อนนำไปผสมกับคลื่นพาห้ส่งออกอากาศ เมื่อถึงเครื่องรับก็จะเปลี่ยนเป็นเสียงอีกครั้ง โดยลำโพง
2. ภาคขยายสัญญาณเสียง (audio amplifier) ภาคขยายสัญญาณเสียงทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนให้มีกำลังแรงขึ้นก่อนนำไปผสมกับคลื่นความถี่วิทยุเพื่อให้เป็นคลื่นพาห้
3. ภาคผลิตสัญญาณคลื่นพาห้ (radio frequency oscillator) ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเพื่อนำไปเป็นคลื่นพาห้เสียง โดยผสมกับเสียงที่ภาคมอดูเลเตอร์ก่อนทำการขยายส่งออกอากาศ
4. ภาคมอดูเลเตอร์ (modulator) ทำหน้าที่ในการผสมสัญญาณเสียงที่ผ่านการขยายกับคลื่นพาห้ที่สร้างขึ้นจากภาคผลิตคลื่นพาห้เสียง ซึ่งเป็นการผสมในแบบ FM (frequency modulation) เมื่อผสมแล้วก็จะส่งไปทำการขยายที่ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ
5. ภาคขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ (RF amplifier) ภาคขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุในส่วนของสัญญาณเสียงที่ทำการมอดูเลตในแบบ FM แล้วขยายสัญญาณให้มีกำลังแรงขึ้นนำไปรวมกับความถี่คลื่นวิทยุของสัญญาณภาพที่ภาครวมสัญญาณ ก่อนที่จะส่งไปยังสายอากาศเพื่อแปลงเป็นคลื่นแม่เหล็ก แพร่กระจายสัญญาณออกอากาศไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ตามบ้านต่อไป

3.6 สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในการรับสัญญาณโทรทัศน์

ลักษณะต่างๆของสัญญาณภาพโทรทัศน์ที่ถูกรบกวนเนื่องจากหลายสาเหตุแตกต่างกันทำให้สัญญาณภาพที่รับได้ดูได้ไม่ชัดเจนหรือมีคุณภาพลดลง ซึ่งเกิดจากการรบกวนในระบบสายอากาศรับ ได้แยกรายละเอียดออกเป็นดังนี้

1. ภาพซ้อน (ghosting) ภาพโทรทัศน์ที่รับได้จะมีลักษณะเป็นสองภาพซ้อนกันหรือมีลักษณะเป็นเงาซ้อนกันอยู่ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะภาพซ้อน (ghosting) ที่รบกวนภาพโทรทัศน์

หากสัญญาณภาพที่รับได้มีลักษณะเป็นภาพซ้อนกัน (ghosting) ซึ่งมีสาเหตุมาจากสัญญาณสองสัญญาณที่เหมือนกันเดินทางมาถึงเครื่องรับในเวลาที่แตกต่างกัน การแก้ปัญหาคือ ใช้สายนำสัญญาณแบบมีชีลด์ (shield) หรือจุดต่อที่ไม่ทำให้เกิดการแพร่คลื่น หรือใช้สายอากาศรับที่มีค่าสภาพเจาะงทศทางสูงและปรับทิศทางของสายอากาศเพื่อลดการเกิด ghosting ให้น้อยที่สุด หากยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ให้ใช้สายอากาศแบบพิเศษที่สามารถกำจัดสัญญาณภาพซ้อนได้ หรือสัญญาณภาพที่รับได้อาจมีลักษณะเบลอไม่ชัดเจน ลักษณะภาพที่รับได้จะเป็นดังรูปที่ 3.5

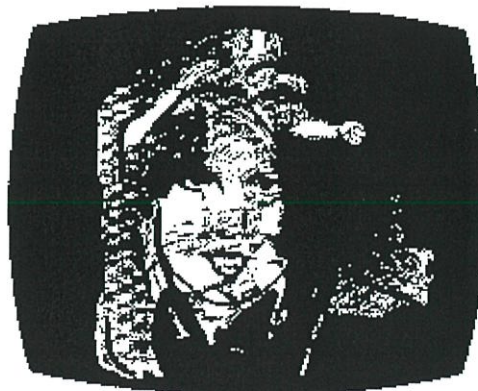


รูปที่ 3.5 ลักษณะภาพเบลอที่รบกวนภาพโทรทัศน์

ซึ่งเกิดจากความถี่ของสัญญาณไม่เหมาะสมกับค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณหรือการต่อกับสายนำสัญญาณอาจผิดพลาด ซึ่งการแก้ปัญหาคือ ให้ตรวจสอบจุดต่อทั้งหมดว่าต่อแน่นดีมัยและจุดต่อไม่ชำรุดเสียหาย ควรใช้สายโคแอกเซียลที่มีคุณภาพ ในส่วนของอุปกรณ์อื่นๆตรวจสอบให้แน่ใจว่ามีค่าอิมพีแดนซ์เหมาะสมกันหรือไม่

2. สัญญาณรบกวน (interference) เกิดจากหลายสาเหตุดังนี้

2.1 สัญญาณรบกวนจากสถานีข้างเคียง ลักษณะภาพที่รับได้แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะภาพที่เกิดจากการรบกวนจากสถานีข้างเคียง

จะทำให้สัญญาณช่องที่รับได้จากสถานีท้องถิ่นถูกรบกวนจากสัญญาณช่องอื่นจากสถานีข้างเคียง เหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นเมื่อสายอากาศรับตั้งอยู่กึ่งกลางระหว่างเครื่องส่งของสองสถานีทำให้ระบบจูนเนอร์ของเครื่องรับโทรทัศน์ทำการขยายทั้งสองความถี่ของสองช่องสัญญาณ ซึ่งเครื่องรับโทรทัศน์บางรุ่นที่เก่าแล้วจะมีแบนด์ของระบบจูนเนอร์ที่กว้างจึงเกิดการรบกวนจากสัญญาณช่องข้างเคียงได้ง่าย สัญญาณรบกวนจากสถานีข้างเคียงยังอาจเกิดจากการที่สัญญาณพาห้เสียงของช่องหนึ่งไปกระทบกับสัญญาณพาห้ภาพของอีกช่องทำให้เกิดความถี่ที่แตกต่างกันสองความถี่ การแก้ปัญหาคือ ใช้อุปกรณ์ตัดและอุปกรณ์กรองสัญญาณรบกวนเนื่องจากสถานีข้างเคียง อาจใช้สายอากาศรับที่มีค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูง หรือใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน

2.2 สัญญาณรบกวนเนื่องจากช่องความถี่เดียวกัน ลักษณะภาพที่รับได้แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ลักษณะภาพที่เกิดจากการรบกวนจากช่องความถี่เดียวกัน

เกิดจากการที่สถานีวิทยุโทรทัศน์สองสถานีแพร่กระจายคลื่นด้วยความถี่เดียวกัน ซึ่ง ITU-R หรือ FCC มีความระมัดระวังในการที่จะกำหนดให้ใช้ความถี่เดียวกันในพื้นที่รับต่างกัน ยกเว้นว่าอาจเกิดจากชั้นบรรยากาศและสภาพภูมิประเทศซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเนื่องจากช่องความถี่เดียวกัน ภาพที่รับได้จากสถานีหนึ่งจะอ่อนกำลังกว่าอีกสถานีที่เหลือแต่ผลกระทบนี้ก็สร้างให้เกิดความรำคาญ สัญญาณรบกวนเนื่องจากช่องความถี่เดียวกันที่เกิดจากชั้นบรรยากาศนั้นจะเกิดขึ้นเป็นบางครั้งบางคราวซึ่งจะเกิดไม่นานเพียงไม่กี่วินาทีเท่านั้น การแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนเนื่องจากช่องความถี่เดียวกันนี้ เป็นการยากที่จะแก้ไขได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงควรใช้สายอากาศรับที่มีค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูง แต่โดยปกติแล้วปัญหานี้เกิดขึ้นได้น้อยมาก

2.3 สัญญาณรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) มีลักษณะของภาพที่รับได้แสดงดังรูปที่ 3.8

ปัญหานี้มักพบบ่อยๆ โดยจะสังเกตเห็นเป็นลักษณะแสงสว่างพาดขวางจอภาพเกิดเสียงต่ำๆรบกวนให้รำคาญ สัญญาณรบกวนประเภทนี้มักเกิดจากหลายสาเหตุโดยมีแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน

กวนที่แตกต่างกัน รวมทั้งอุปกรณ์เครื่องใช้ในครัวเรือนที่มีมอเตอร์เป็นส่วนประกอบเช่น อุปกรณ์เป่าผม เครื่องบดหรือผสมอาหาร หรือเครื่องควบคุมปริมาณความชื้น มอเตอร์จากยวดยานพาหนะ หรือเครื่องมือเครื่องใช้ในโรงพยาบาล เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุให้เกิดสัญญาณรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า การแก้ปัญหาคือใช้สายอากาศรับที่มีค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูงกรณีนี้ที่แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนอยู่ภายนอกบ้านหรือใช้สายโคแอกเชียลแทนเพื่อลดปัญหาจากการรบกวนนี้



รูปที่ 3.8 ลักษณะภาพที่เกิดจากการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.4 สัญญาณรบกวนจากคลื่นวิทยุ FM ลักษณะภาพที่รับได้แสดงดังรูปที่ 3.9

การรบกวนจากคลื่นวิทยุ FM โดยปกติแล้วจะมีผลต่อสัญญาณโทรทัศน์แบนด์สูง (ช่อง 7 ถึง ช่อง 13) แต่ในบางครั้งก็อาจมีผลต่อช่อง 6 ด้วย การแก้ปัญหาคือ ใช้สายส่งสัญญาณแบบสายโคแอกเชียล หรือใช้อุปกรณ์กรองสัญญาณ



รูปที่ 3.9 ลักษณะภาพที่เกิดจากการรบกวนจากการรบกวนจากคลื่นวิทยุเอฟ.เอ็ม

2.5 สัญญาณรบกวนเนื่องจากวิทยุสมัครเล่น ลักษณะภาพที่รับได้แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ลักษณะภาพที่เกิดจากการรบกวนจากการรบกวนจากวิทยุสมัครเล่น

เป็นการส่งสัญญาณด้วยความถี่ citizen band (CB) ทำให้ภาพมีลักษณะเป็นคลื่นดูไม่ชัดเจน บางครั้งมีลักษณะเป็นเส้นขวางหน้าจอโทรทัศน์ การแก้ปัญหาคือ ขอความร่วมมือกับผู้ใช้ให้ช่วยลดสัญญาณรบกวนนี้โดยการติดอุปกรณ์ที่สามารถปรับได้หรือติดตั้งอุปกรณ์กรองสัญญาณ

2.6 สัญญาณรบกวนจากเครื่องบิน เกิดจากเครื่องรับอยู่ใกล้กับสนามบินหรือมีเส้นทางการบินในระดับต่ำ ทำให้สัญญาณสะท้อนจากเครื่องบินเกิดการเสริมหรือหักล้างกันกับสัญญาณตรงจากสถานีส่งเกิดการเปลี่ยนแปลงของเฟดดิ้ง ซึ่งการแก้ปัญหาคือใช้สายอากาศรับที่มีค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูง หากปัญหานี้ยังคงมีอยู่อาจต้องใช้วิธี stack สายอากาศ ในงานวิจัยนี้ได้ยกปัญหาการรบกวนจากเครื่องบินมาศึกษาเพียงอย่างเดียวโดยการพิจารณาแบบจำลองการรบกวนจากเครื่องบินในบริเวณที่ไม่อยู่ใกล้กับสนามบินซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในบทต่อไป

3.7 ทฤษฎีสายอากาศ

สายอากาศเป็นส่วนหนึ่งที่ไม่ได้ในระบบวิทยุโทรทัศน์ ซึ่งจ่ายและรับพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยมีอากาศเป็นตัวกลาง เป็นสื่อกลางระหว่างเครื่องส่งและอากาศหรือเครื่องรับและอากาศ มีมากมายหลายชนิด ดังนั้นในการเลือกใช้สายอากาศจึงขึ้นกับงานที่ใช้และย่านความถี่ของการใช้งานตลอดจนประสิทธิภาพ คุณภาพของสัญญาณโทรทัศน์ที่รับได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสายอากาศแต่ละชนิดซึ่งมีค่าสภาพเจาะจงทิศทางและอัตราขยายเจาะจงทิศทางแตกต่างกันออกไป จึงมีการแบ่งชนิดของสายอากาศออกเป็น 2 ประเภททั่วๆไปคือ แบ่งตามการนำไปใช้งานและตามความถี่

3.7.1 การแบ่งชนิดของสายอากาศ

การแบ่งชนิดของสายอากาศตามลักษณะการใช้งานอาจแบ่งออกเป็นลักษณะกว้าง ๆ คือ

ก) แบ่งสายอากาศในแนวนอน (horizontal antenna) อาจแบ่งเป็นสายอากาศแบบไดโพล เช่น สายอากาศแบบไดโพล (dipole) และสายอากาศแบบห้วง (folded dipole) เป็นต้น

ข) เป็นแบบสายอากาศในแนวตั้ง (vertical antenna) เช่น สายอากาศแบบดิน (ground antenna) แบบมาร์โคนี่ เป็นต้น

ค) สายอากาศแบบพิเศษ เช่น สายอากาศแบบยาจิก แบบเส้นลวดยาวหรือ (long wire antenna) แบบวี แบบสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน (rhombic) เป็นต้น

การแบ่งชนิดของสายอากาศตามความถี่ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางกว่าอาจแบ่งออกเป็น

ก) สายอากาศที่ความถี่ปานกลาง (middle frequency) และที่ความถี่สูง (high frequency) (0.3 MHz - 30MHz) เช่น สายอากาศแบบเส้นลวดยาว สายอากาศแบบวี สายอากาศแบบสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนหรือลอมบิก เป็นต้น

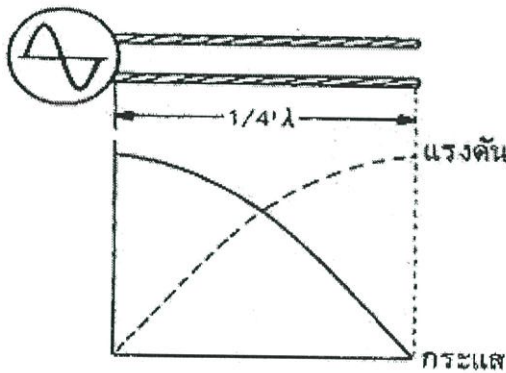
ข) สายอากาศที่ความถี่ VHF และ UHF (30-300MHz และ 300MHz-3GHz) เช่น สายอากาศแบบไดโพล สายอากาศแบบยาจิก สายอากาศแบบควอด เป็นต้น

3.7.2 หลักการของสายอากาศ

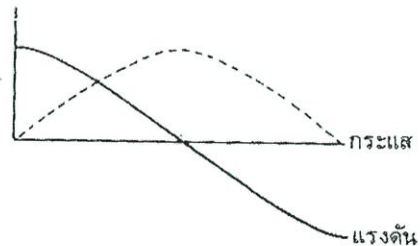
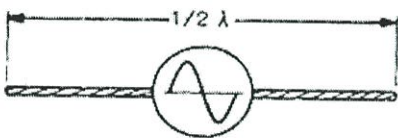
สายอากาศ เป็นส่วนสำคัญของเครื่องรับและเครื่องส่ง ทำหน้าที่กระจายคลื่นจากเครื่องส่งให้ออกอากาศและรับคลื่นวิทยุเข้าสู่เครื่องรับ สายอากาศประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ สายอากาศส่วนใหญ่จึงทำด้วยลวดตัวนำเป็นท่อนตันหรือกลวงเป็นเส้นตรงหรือโค้งงอ แล้วแต่ชนิดของสายอากาศ สายอากาศโดยทั่วไปจะมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น เราสามารถใช้สายอากาศทำหน้าที่เป็นทั้งสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เนื่องจากในทางทฤษฎีจะมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน

ในรูปที่ 3.11 แสดงสายนำสัญญาณชนิดสมดุลความยาว $\frac{\lambda}{4}$ แบบวงจรเปิด จะเห็นว่าคลื่นที่ออกจากเครื่องส่งผสมกับคลื่นสะท้อนได้ผลลัพธ์เป็นคลื่นนิ่ง ความจริงแล้วพลังงานบางส่วนที่ออกไปยังปลายด้านที่เปิดวงจรจะแพร่กระจายคลื่นออกอากาศไปได้ แต่ปริมาณคลื่นที่แพร่กระจายออกไปจะได้น้อย ด้วยเหตุผล 2 ประการคือ ประการแรก สภาพแวดล้อมซึ่งเป็นโหลดสายนำของสัญญาณไม่แมตซ์ ทำให้พลังงานจ่ายให้โหลด (ส่งออกอากาศ) ได้น้อย ประการที่สอง สายทั้ง 2 เส้นอยู่ใกล้กันมาก และต่างเฟสกัน 180 องศา คลื่นที่แพร่กระจายออกไปส่วนใหญ่จะหักล้างกันเอง ถ้าเราวางสายนำสัญญาณให้ห่างออกเป็น 2 เส้น การแพร่กระจายคลื่นทั้งคู่จะมีโอกาสหักล้างกันได้น้อยลง และนอกจากนี้ พลังงานที่จ่ายให้โหลด (ส่งออกอากาศ) จะได้น้อยขึ้นการแพร่กระจายคลื่นจะเพิ่มขึ้นเต็มที่เมื่อปลายสายอยู่ในแนวเดียวกันตามที่รูป 3.12 (ก) สนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายออกไปรอบๆทำให้การแพร่กระจายคลื่นออกได้เต็มที่ สายอากาศที่เรียกว่าไดโพล ความยาวของสายแต่ละ

ข้างเท่ากับ $\frac{\lambda}{4}$ และความยาวรวมเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$ ไดโพลชนิดนี้จึงเรียกว่าไดโพลชนิดยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น (half-wave dipole) รูปคลื่นนิ่งของแรงดันและกระแสบนของสายอากาศไดโพลจะเป็นดังรูปที่ 3.12 (ข) สังเกตว่าปลายทั้งสองของสายอากาศเสมือนเปิดวงจร แรงดันจึงมากที่สุด และมีกระแสไหลน้อยที่สุด จุดกลางของสายอากาศซึ่งเรียกว่าจุดป้อนสัญญาณ (feed point) จะมีกระแสไหลมากที่สุดและแรงดันต่ำที่สุด ดังนั้นตามรูป อิมพีแดนซ์ของไดโพลชนิดยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่ความจริงอิมพีแดนซ์จะเท่ากับ 73 โอห์ม ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานบางส่วนสูญเสียในการแผ่คลื่นออกไป และไม่สะท้อนกลับ



รูปที่ 3.11 การกระจายแรงดันและกระแสบนสายนำสัญญาณยาว $\frac{\lambda}{4}$



(ก) ลักษณะของปลายสายอยู่ในแนวเดียวกัน

(ข) รูปคลื่นนิ่งของแรงดันและกระแส

รูปที่ 3.12 ไดโพลชนิดยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น

3.7.3 การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

เนื่องจากปลายสายอากาศไดโพลทั้งสองด้านมีแรงดันสูง จึงทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่ปลายทั้งสอง สนามไฟฟ้านี้เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกับสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นประจุของตัวเก็บประจุ แต่สนามไฟฟ้าในที่นี้ ไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะแผ่นประจุ แต่กระจายออกสู่อากาศ

ในกรณีเดียวกันนี้จะทำให้สนามแม่เหล็กเกิดขึ้นด้วย เพราะมีกระแสไหลในสายอากาศเนื่องจากกระแสไหลมากที่สุดบริเวณจุดป้อนสัญญาณ สนามแม่เหล็กบริเวณจุดป้อนสัญญาณจึงแรง ทั้ง

สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถแพร่กระจายออกไปได้ คลื่นดังกล่าวจะเดินทางไปเรื่อย ๆ แม้ว่ากระแสและแรงดันจะหยุดป้อนให้สายอากาศแล้วก็ตาม

เมื่อคลื่นเดินทางยิ่งห่างจากสายอากาศเท่าใด พลังงานก็จะอ่อนลง แอมพลิจูดของคลื่น(หรือสนาม) แม่เหล็กไฟฟ้า นิยมวัดเป็นแรงดันที่เหนี่ยวนำบนเส้นลวด (สายอากาศ) เรียกค่าที่วัดได้นี้ว่า ความแรงสนาม (field strength)

ความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับระยะห่างจากเครื่องส่งและกำลังส่งของเครื่องส่ง ความแรงจะน้อยลง ณ จุดที่ห่างออกไปโดยแปรผกผันกับระยะทาง เช่น เมื่อระยะทางไกลออกไป 2 เท่า ความแรงของสัญญาณจะลดลงครึ่งหนึ่ง ในทำนองเดียวกัน ถ้ากำลังส่งของเครื่องส่งมากขึ้น ความแรงสนามก็จะแรงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม ความแรงสนามเป็นค่าแรงดัน (ที่เหนี่ยวนำบนสายอากาศ) แต่เนื่องจากกำลังไฟฟ้าแปรตามกำลังสองของแรงดัน ฉะนั้นความแรงสนามจะเป็นสัดส่วนกับรากที่สอง (square root) ของกำลังเครื่องส่ง นั่นคือ ถ้ากำลังส่งเพิ่มเป็น 2 เท่า ความแรงสนามจะเพิ่มเป็น $\sqrt{2}$ เท่า หรือ 1.414 เท่า

3.7.4 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Antenna Pattern)

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น เป็นการเขียนไดอะแกรมเพื่อแสดงความสามารถในการส่ง(หรือรับ) สัญญาณของสายอากาศในทิศทางต่าง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากสายอากาศจะมีความสามารถในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน ซึ่งจะเป็นตัวกำหนด ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (directivity) คือ การกระจายพลังงานไปในทิศทางหนึ่งมากกว่าในทิศทางอื่นๆ ซึ่งมีความสำคัญในการรับหรือส่งในทิศทางเดียวและป้องกันการรบกวนจากสถานีอื่นๆ

กล่าวโดยสรุป รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นก็คือรูปภาพที่แสดงความสามารถในการแพร่กระจายคลื่น (หรือรับคลื่น) เปรียบเทียบกันไปในทิศทางต่าง ๆ

3.7.5 สภาพเจาะจงทิศทางสายอากาศ (Directivity)

นอกจากรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ เราจะพิจารณาค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (directivity) เพื่อหาลักษณะเฉพาะการกระจายพลังงานของสายอากาศ เป็นตัวบอกว่าสายอากาศจะรับสัญญาณได้ดีในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ คือ ค่าอัตราส่วนของความเข้มของการกระจายพลังงานจากสายอากาศ (radiation intensity) ในทิศทางเฉพาะ (ξ, ζ) ซึ่งมุม ξ คือมุมในแนวตั้งของสายอากาศและมุม ζ คือมุมในแนวระนาบของสายอากาศต่อความเข้มของการกระจายพลังงานเฉลี่ยในทุกทิศทาง [13] นั่นคือ

$$G_d(\xi, \zeta) = \frac{U(\xi, \zeta)}{U_{ave}} = \frac{4\pi U(\xi, \zeta)}{P_{rad}} \quad (3.1)$$

ซึ่ง $U(\xi, \zeta)$ คือ ความเข้มการกระจายพลังงานในทิศทางที่กำหนด

U_{ave} คือ ความเข้มการกระจายพลังงานเฉลี่ย

P_{rad} คือ กำลังจากการกระจายพลังงานทั้งหมด

สภาพเจาะจงทิศทาง $G_d(\xi, \zeta)$ ขึ้นอยู่กับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ซึ่งจะมีค่ามากที่สุดที่มุม $\xi = \frac{\pi}{2}$ และต่ำสุดที่ มุม $\xi = 0$ หรือ π

สำหรับค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไดโพลชนิดยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่วางตัวในแนวตั้งหาได้ดังนี้

สมการสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กคือสมการที่ 3.2 และ 3.3

$$E_\xi = j\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \xi\right)}{\sin \xi} \right] \quad (3.2)$$

$$H_\zeta = j \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \xi\right)}{\sin \xi} \right] \quad (3.3)$$

สามารถหาลำดับของความหนาแน่นพลังงานเฉลี่ยตามเวลา (time-average power density) และความเข้มของการกระจายพลังงาน (radiation intensity) ได้ในสมการที่ 3.4 และ 3.5

$$W_{av} = \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi^2 r^2} \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \xi\right)}{\sin \xi} \right]^2 = \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi^2 r^2} \sin^3 \xi \quad (3.4)$$

และ

$$U(\xi, \zeta) = r^2 W_{av} = \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi^2} \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \xi\right)}{\sin \xi} \right]^2 = \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi^2} \sin^3 \xi \quad (3.5)$$

กำลังจากการกระจายพลังงานทั้งหมด (total power radiated) คือ

$$P_{rad} = \eta \frac{|I_0|^2}{4\pi} \int_0^\pi \frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cos \xi\right)}{\sin \xi} d\xi \quad (3.6)$$

สามารถลดรูปได้เป็น

$$P_{rad} = \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi} \int_0^{2\pi} \frac{(1 - \cos y)}{y} dy = \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi} C_m(2\pi) \quad (3.7)$$

ดังนั้น แทนค่า สมการที่ 3.5 และ 3.7 ในสมการที่ 3.1 จะได้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไดโพลยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นคือ

$$G_d(\xi, \zeta) = \frac{4 \sin^3 \xi}{C_m(2\pi)} \quad (3.8)$$

จาก $C_m(2\pi) = 0.5772 + \ln(2\pi) - C_i(2\pi) = 0.5772 + 1.838 - (-0.02) = 2.435$

ดังนั้นแทนค่าในสมการที่ 3.8 จะได้

$$G_d(\xi, \zeta) = \frac{4}{2.435} \sin^3 \xi = 1.64 \sin^3 \xi = 1.64 \frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cos \xi\right)}{\sin^2 \xi} \quad (3.9)$$

สำหรับค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไดโพลชนิดยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่วางตัวในแนวราบหรือแนวนอนจะได้

$$G_d(\xi, \zeta) = 1.64 \frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cos \zeta\right)}{\sin^2 \zeta} \quad (3.10)$$

ค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด กำหนดสัญลักษณ์คือ D ของสายอากาศกำหนดได้จากอัตราส่วนความเข้มการกระจายพลังงานสูงสุดต่อความเข้มการกระจายพลังงานเฉลี่ย ดังนั้น

$$D = \frac{U_{\max}}{U_{\text{ave}}} = G_d, \max \quad (3.11)$$

หรือ

$$D = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{rad}} \quad (3.12)$$

3.7.6 อัตราขยายของสายอากาศ (gain)

อัตราขยายของสายอากาศเป็นการเปรียบเทียบเอาต์พุตของสายอากาศในทิศทางใดทิศทางหนึ่งเทียบกับเอาต์พุตของสายอากาศอ้างอิง ซึ่งนิยมใช้สายอากาศแบบไดโพลเนื่องจากเป็นสายอากาศชนิดง่ายที่สุดที่เราสามารถสร้างและทดสอบคุณสมบัติได้ในทางปฏิบัติ หรือใช้สายอากาศแบบสมมติที่เรียกว่าสายอากาศแบบไอโซโทรปิก อัตราขยายของสายอากาศจะคล้ายคลึงกับสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศเพราะ สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศหาจากรูปร่างของรูปแบบซึ่งไม่คิดกำลังที่สูญเสียไปคือเป็นสายอากาศที่มีประสิทธิภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นหากสายอากาศมีประสิทธิภาพสูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ค่าอัตราขยายจะเท่ากับค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ ดังนั้นจะได้สมการของอัตราขยายของสายอากาศคือ

$$G(\xi, \zeta) = e_{cd} G_d(\xi, \zeta) \quad (3.13)$$

ซึ่ง e_{cd} คือ ค่าประสิทธิภาพของการกระจายพลังงานของสายอากาศ (antenna radiation efficiency)

3.7.7 สายอากาศไดโพล

สายอากาศไดโพลยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ความยาวของสายเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$ ที่ความถี่ใช้งาน ซึ่งเราคำนวณความยาวได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{f} \quad (3.14)$$

ในที่นี้ λ คือ ความยาวคลื่นหน่วยเป็นเมตร

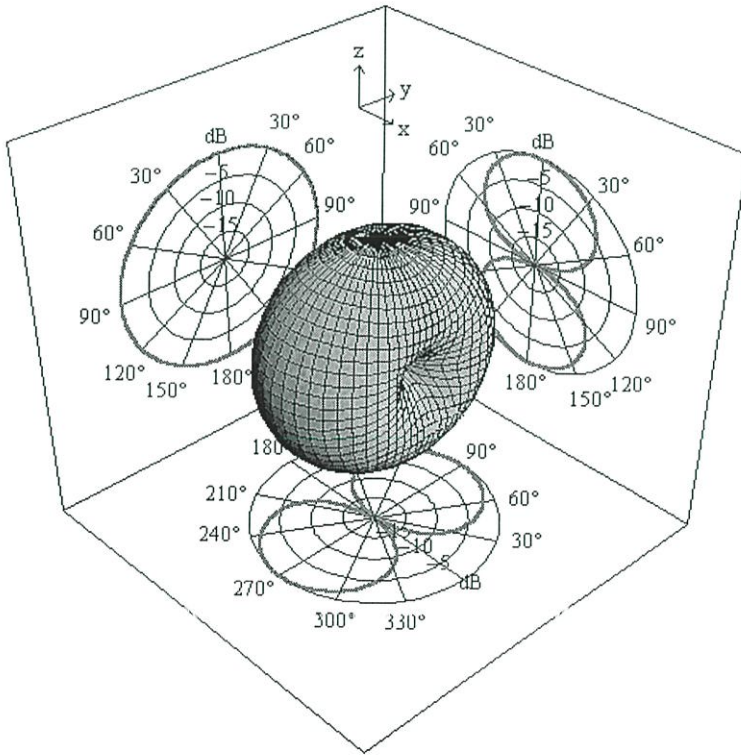
f คือ ความถี่ใช้งานมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

สูตรนี้ใช้คำนวณในกรณีที่คลื่นเดินทางในอากาศว่าง (free space)

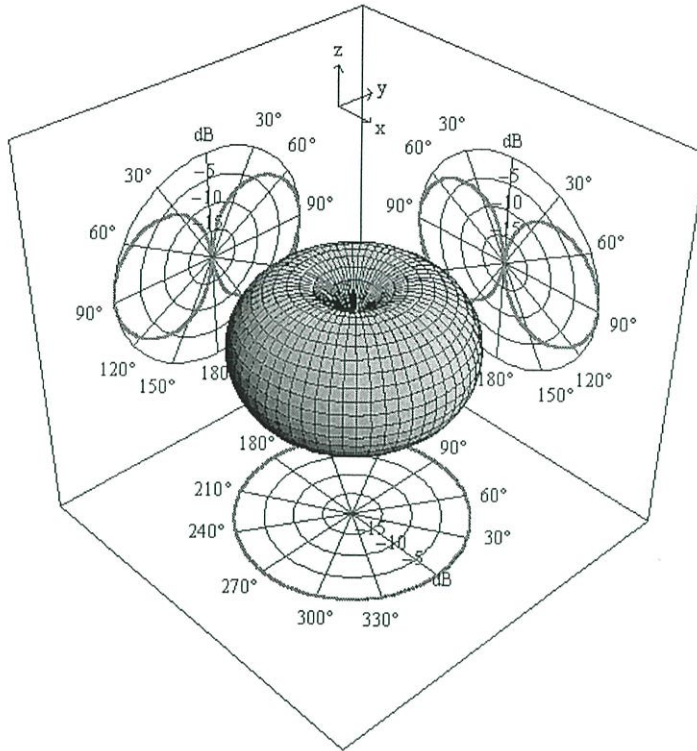
ในรูปที่ 3.13 แสดงให้เห็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่วางตัวในแนวราบ สังเกตว่าการแพร่กระจายคลื่นจะมากที่สุดด้านข้าง (broadside) น้อยที่สุดทางปลายสาย

สำหรับรูปที่ 3.14 เป็นรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศชนิดเดิม แต่วางตัวแนวตั้งสังเกตว่าในกรณีนี้ การแพร่คลื่นจะเท่ากันหมดในทิศทางรอบตัวของสายอากาศ ส่วนการแพร่คลื่นจะน้อยที่สุดในทิศทางชี้ขึ้นฟ้าและลงดินของสายอากาศ เมื่อเขียนกราฟแสดงรูปแบบการแพร่คลื่นลงบน

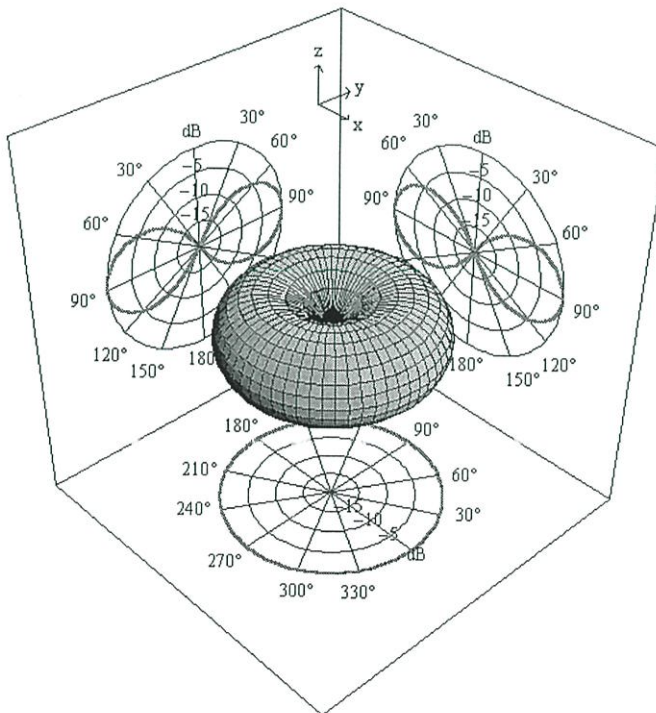
ระนาบในแนวระนาบจะได้เป็นวงกลม เพราะมีการแพร่คลื่นไปรอบๆตัวของสายอากาศเท่ากัน สายอากาศไดโพลมีความยาว $\frac{\lambda}{2}$ จะทำงานเป็นสายอากาศชนิดยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น เมื่อความถี่สูงขึ้นสายอากาศจะทำงานเปลี่ยนไป เนื่องจากความยาวของสายอากาศเทียบกับความยาวคลื่น λ จะได้ค่ายาวขึ้นเช่น สายอากาศไดโพลชนิดยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น จะทำงานเป็นสายอากาศไดโพลชนิดยาวเต็มความยาวคลื่น (full wave) เมื่อความถี่เพิ่มเป็น 2 เท่า (คือความถี่ฮาร์โมนิกที่สอง)รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดยาวเต็มความยาวคลื่น จะเป็นดังรูปที่ 3.15 สังเกตว่ารูปแบบลำคลื่น (lobe) จะแคบลง ถ้าเรานำสายอากาศชนิดชนิดยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ใช้งานที่ความถี่ฮาร์โมนิกที่สาม การแพร่กระจายกระแสนลวดไดโพลจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน (เนื่องจากความยาวของไดโพลจะเป็น 1.5 เท่าของความยาวคลื่น) กระแสจะมากที่สุดที่สุดในบริเวณจุดกลางของสายอากาศ ฉะนั้น ณ จุดป้อนสัญญาณอิมพีแดนซ์จะมีค่าต่ำ แต่รูปแบบของการแพร่คลื่นจะมีจำนวนลำคลื่นมากขึ้นไปอีกดังในรูปที่ 3.16 โดยเพิ่มเป็นลำคลื่นเล็ก ๆ 2 ลำคลื่นทางด้านข้างของสายอากาศ



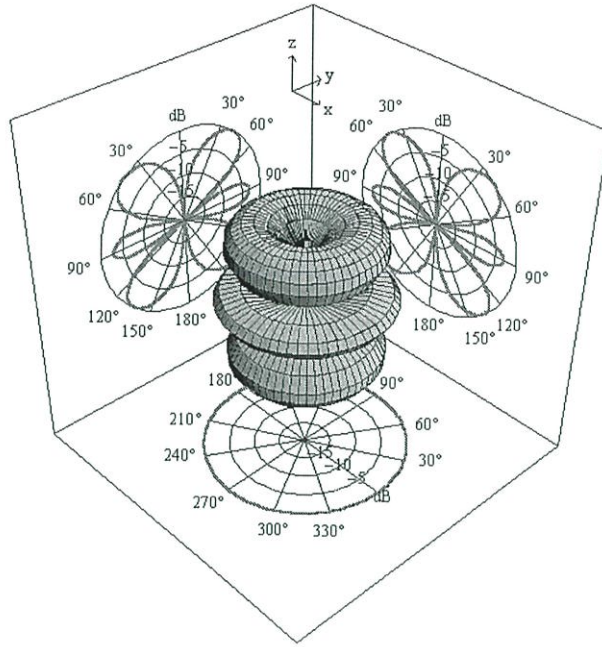
รูปที่ 3.13 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ซึ่งวางตัวในแนวระนาบ



รูปที่ 3.14 รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นซึ่งวางตัวในแนวตั้ง



รูปที่ 3.15 สายอากาศไดโพลชนิดยาวเต็มความยาวคลื่น



รูปที่ 3.16 สายอากาศไดโพลชนิด 1.5λ

3.8 สรุป

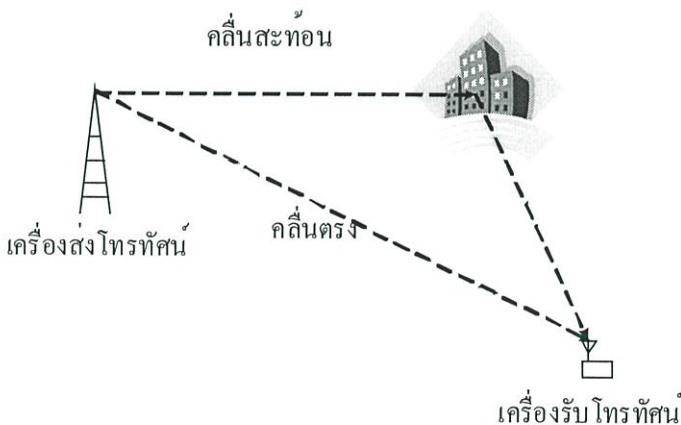
บทนี้ได้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานของคลื่นวิทยุโทรทัศน์ซึ่งได้แก่ ลักษณะการกระจายคลื่นวิทยุ การแบ่งย่านความถี่วิทยุ ตลอดจนการส่งสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ อีกทั้งยังได้อธิบายถึงปัญหาของการรับสัญญาณโทรทัศน์และวิธีแก้ไขต่างๆ และกล่าวถึงทฤษฎีสายอากาศเบื้องต้น โดยได้เน้นทฤษฎีของสายอากาศไดโพลและพิสูจน์สมการของค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไดโพลแบบยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์

บทที่ 4

การคำนวณและจำลองผลกระทบต่อการรับสัญญาณโทรทัศน์ขณะ มีเครื่องบินผ่าน

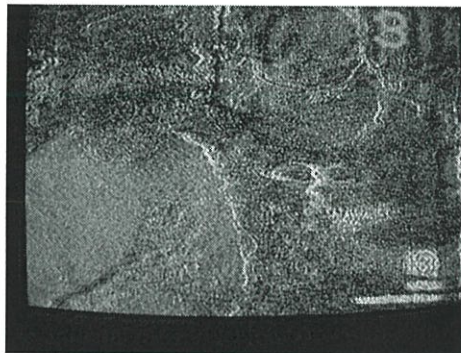
4.1 ปัญหาของการรับสัญญาณโทรทัศน์

คลื่นโทรทัศน์ที่ส่งออกอากาศจากสถานีส่งโทรทัศน์ไปยังสายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ จะเดินทางไปในลักษณะของเส้นสายตา (line of sight) หากเส้นทางระหว่างจุดทั้งสองนี้ไม่มีสิ่งกีดขวาง ก็จะสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ดี แต่ถ้ามีสิ่งกีดขวาง เช่น ตึกสูง ๆ หรือมีภูเขาขวางบังเส้นทางระหว่างสายอากาศเครื่องส่งโทรทัศน์กับสายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ก็จะทำให้สัญญาณโทรทัศน์เดินทางไปได้ น้อยมากหรือไม่ได้เลย เป็นผลให้ไม่สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์หรือหากสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ ก็จะพบว่า สัญญาณโทรทัศน์มีกำลังอ่อนมากจนภาพที่รับได้เกิดการพริ้วไม่ชัดเจน นอกจากนี้ คลื่นโทรทัศน์ยังสามารถสะท้อนได้จากสิ่งกีดขวาง เช่น ตึกสูง ๆ หรือภูเขาอีกด้วย ดังนั้นภาพที่รับได้จากเครื่องรับโทรทัศน์จึงเกิดเป็นภาพที่มีเงาหรือมีสองภาพซ้อนกันอยู่ เนื่องจากเกิดความต่างเฟสตามระยะทางที่ใช้ในการเดินทางของคลื่นสะท้อนและคลื่นตรงจากสถานีส่งมายังสายอากาศเครื่องรับแตกต่างกัน ทำให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณที่ได้มีทั้งส่วนเสริมกันและส่วนที่หักล้างกันของทั้งสองนั่นเอง รูปที่ 4.1 แสดงการเดินทางของคลื่นโทรทัศน์เมื่อมีสิ่งกีดขวางระหว่างเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น สามารถรับคลื่นโทรทัศน์ที่เดินทางเป็นเส้นตรงจากสถานีส่งโทรทัศน์ มายังสายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์แตกต่างกัน ซึ่งผลที่ได้จะทำให้เกิดภาพที่มีเงาหรือมีสองภาพซ้อนกัน

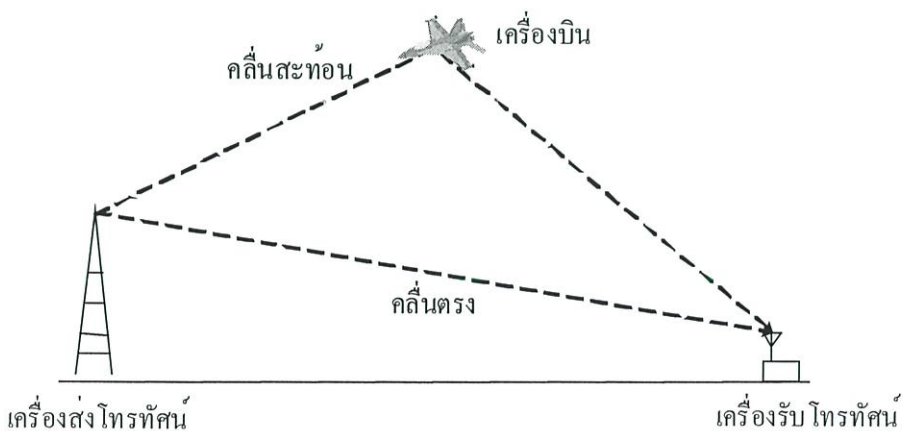


รูปที่ 4.1 การเดินทางของคลื่นโทรทัศน์เมื่อมีสิ่งกีดขวางเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น

หรือเกิดจากการมีสัญญาณรบกวนจากเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการเดินเครื่องด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งวิธีการแก้ไขเพื่อให้มีการรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ดีขึ้นมีหลายวิธี เช่น การเพิ่มขนาดสายอากาศ การเพิ่มค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศแถวลำดับ การเพิ่มความสูงของสายอากาศ หรือการติดตั้งบูสเตอร์ (booster) หรือเครื่องขยายสัญญาณเพื่อเพิ่มอัตราขยายสัญญาณจากสายอากาศให้มีขนาดใหญ่ขึ้นก่อนป้อนเข้าเครื่องรับโทรทัศน์หรือวิธีใช้ตัวกรองเพื่อกรองความถี่ที่ไม่อยู่ในช่วงที่ต้องการออกไป เช่นเดียวกับการที่มีเครื่องบินเป็นสิ่งกีดขวางเพียงแต่เครื่องบินไม่ได้อยู่กับที่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งตลอดเวลา ซึ่งจากบทความทางวิชาการของ นิภา ลีลาจุ [11] ตีพิมพ์ปีพ.ศ. 2540 พบว่า เครื่องบินที่บินผ่านเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสถานีส่งกับสายอากาศเครื่องรับสามารถสะท้อนสัญญาณที่มาจากสถานีส่งทำให้ภาพสัญญาณโทรทัศน์เกิดเป็นภาพสั่นหรือเป็นเงาซ้อนกันชั่วขณะหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 แสดงการเดินทางของคลื่นเมื่อมีเครื่องบินเป็นสิ่งกีดขวาง ภาพสั่นเกิดเพราะขณะเครื่องบินบินผ่านบริเวณนั้นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถูกรบกวนและมีการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณมาก ซึ่งเกินความสามารถของวงจร AGC ในเครื่องรับโทรทัศน์จึงทำให้เกิดภาพสั่น ส่วนภาพซ้อน เกิดจากสัญญาณการสะท้อนจากเครื่องบินเข้าสายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ [14]



รูปที่ 4.2 ภาพที่รับได้ในลักษณะพร่ามัวหรือเป็นเงาภาพซ้อนกัน

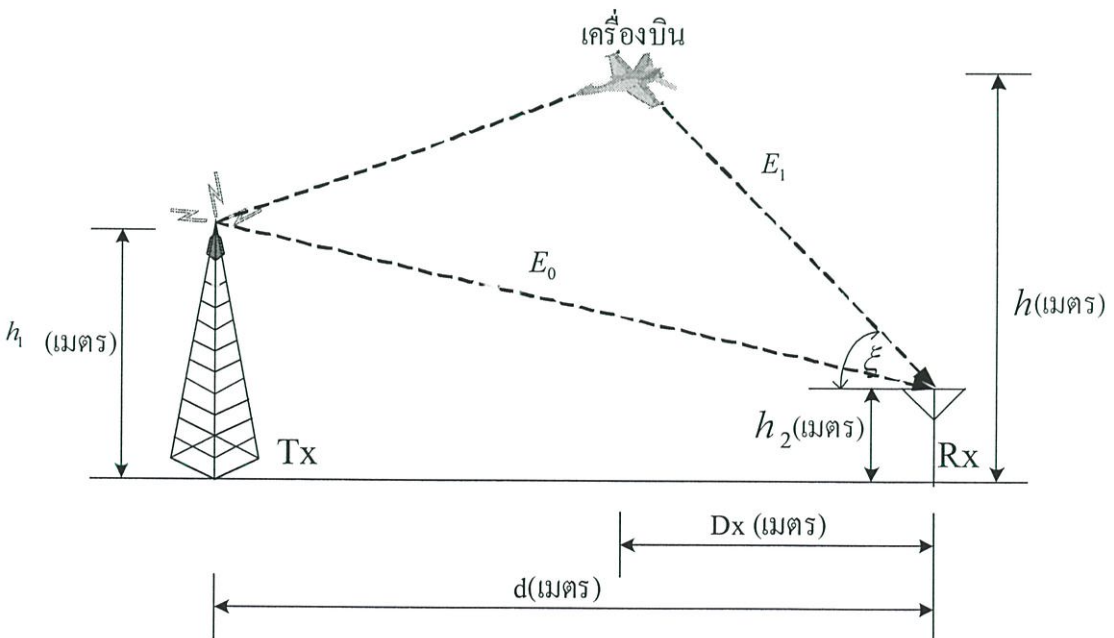


รูปที่ 4.3 การเดินทางของคลื่นเมื่อมีเครื่องบินเป็นสิ่งกีดขวาง

4.2 การจำลองการส่งและรับสัญญาณโทรทัศนซ์ขณะมีเครื่องบินบินผ่าน

ผลกระทบต่อสัญญาณ โทรทัศนซ์ที่เกิดจากเครื่องบินซึ่งทำให้สัญญาณสะท้อนที่เกิดขึ้นไปรบกวนสัญญาณตรงจากสถานีส่งทำให้ภาพที่รับได้ไม่ชัดเจนนี้ ผู้วิจัยได้ทดลองวัดสัญญาณที่รับได้เมื่อมีเครื่องบินบินผ่านในทิศทางและความสูงต่างๆกันผลที่ได้คือ คลื่นมีลักษณะการแกว่งแบบลักษณะคลื่นรูปซายน์ โดยมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดแล้วกลับลดลงด้วยขนาดที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเกิดจากการที่เครื่องบินบินเข้าใกล้เส้นทางการแพร่กระจายคลื่นทางด้านสายอากาศของเครื่องรับแล้วเคลื่อนที่ห่างออกไป เรียกการแกว่งในลักษณะเช่นนี้ว่า การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดแบบครึ่งคาบ (quasi-periodic fading) ผู้วิจัยจึงได้จำลองการส่งและรับสัญญาณโทรทัศนซ์ขณะมีเครื่องบินบินผ่านเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการรบกวนสัญญาณตรงจากสถานีส่งเพื่อเป็นแนวทางแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นนี้ต่อไป

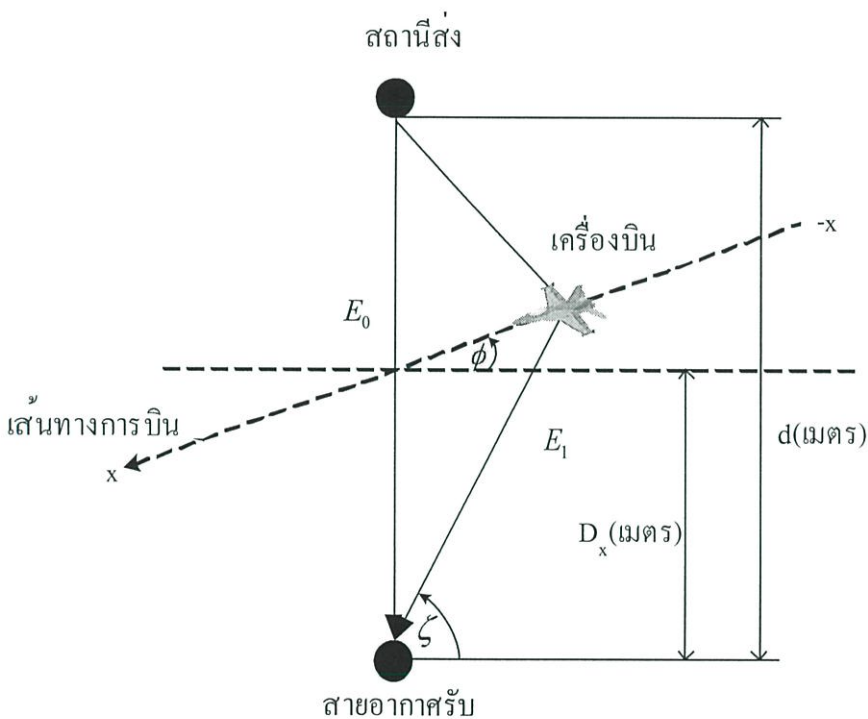
ผู้วิจัยได้ทำการจำลองการบินผ่านของเครื่องบินในระดับความสูงและระยะทางต่างๆ กันรวมทั้งองค์ประกอบหลาย ๆ ค่าซึ่งได้แก่ มุมของเส้นทางบิน สัมประสิทธิ์การสะท้อนของเครื่องบิน ความสูงของสายอากาศรับ และความถี่ของช่องโทรทัศนซ์ที่ใช้ในการส่ง เพื่อเปรียบเทียบลักษณะและขนาดของสัญญาณที่ได้จากการคำนวณของคอมพิวเตอร์กับสัญญาณที่ทดสอบจริง ในรูปที่ 4.4 แสดงการจำลองการเดินทางของคลื่นโทรทัศนซ์เมื่อมีเครื่องบินบินผ่านเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับเมื่อมองจากด้านข้าง (side view) ซึ่งสัญญาณตรง (direct wave) ที่ส่งจากสถานีส่งแทนด้วย E_0 มากระทบกับเครื่องบินทำให้เกิดสัญญาณสะท้อน(indirect wave) ขึ้นแทนด้วย E_1 ทำให้สัญญาณที่รับได้ทางสายอากาศรับเกิดความต่างเฟสขึ้นระหว่างสัญญาณทั้งสองตามระยะทางของเครื่องบินที่เปลี่ยนไป กำหนดให้พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองมีดังนี้



รูปที่ 4.4 การจำลองการส่งและรับสัญญาณโทรทัศนซ์เมื่อมองจากด้านข้าง

จากรูปที่ 4.4 กำหนดให้

T_x	คือ	สถานีส่ง
R_x	คือ	สายอากาศรับ
D_x	คือ	ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ (เมตร.)
d	คือ	ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับ (เมตร.)
h	คือ	ความสูงของเครื่องบินเทียบกับพื้น (เมตร)
h_1	คือ	ความสูงของสถานีส่งเทียบกับพื้น (เมตร)
h_2	คือ	ความสูงของสายอากาศรับเทียบกับพื้น (เมตร)
ζ	คือ	มุมในแนวตั้งของสายอากาศรับ (องศา)



รูปที่ 4.5 มองจากด้านบน

ส่วนในรูปที่ 4.5 เป็นการจำลองเมื่อมองจากด้านบน (top view) จะพบว่ามุมของเส้นทางการบินเกิดขึ้นแทนด้วยมุม ϕ และแทนระยะทางการบินของเครื่องบินด้วยระยะ $-x \dots x$ โดยกำหนดให้

ζ	คือ	มุมในแนวนอนของสายอากาศรับ (องศา)
r_0	คือ	ระยะทางระหว่างสถานีส่งถึงสายอากาศรับ (เมตร)
r_1	คือ	ระยะทางระหว่างสถานีส่งถึงเครื่องบิน (เมตร)
r_2	คือ	ระยะทางระหว่างเครื่องบินถึงสายอากาศรับ (เมตร)

4.2.1 หลักการหน้าตัดขวางเรดาร์ (Radar Cross Section)

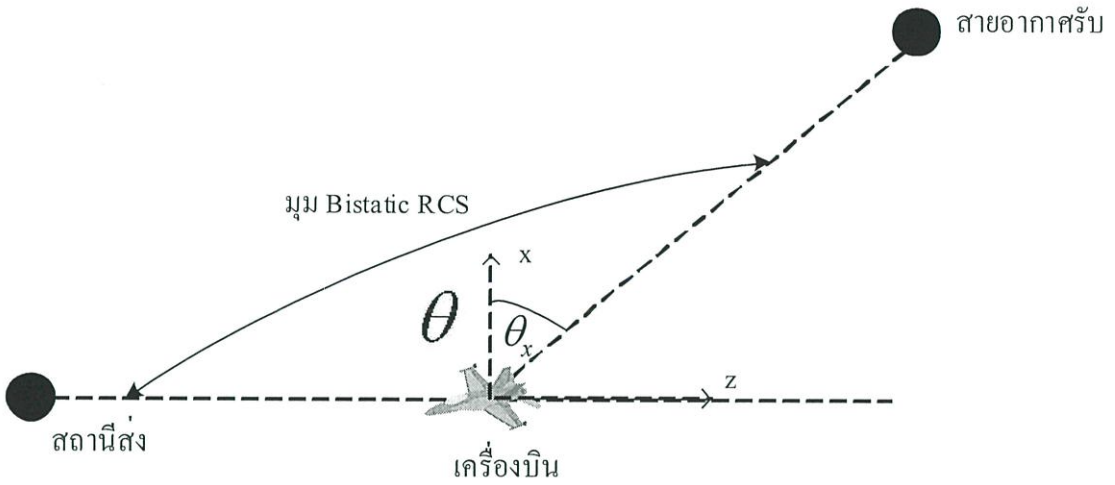
ในวิทยานิพนธ์นี้ผู้วิจัยได้นำหลักการของหน้าตัดขวางเรดาร์ (Radar Cross Section) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งหลักการของหน้าตัดขวางเรดาร์ คือ การที่คลื่นจากสถานีส่งตกกระทบกับวัตถุแล้วทำให้พลังงานของคลื่นนั้นเกิดการกระเจิง (Scattering) ออกทุกทิศทางรอบตัววัตถุ [15] และมีคลื่นบางส่วนสะท้อนไปยังเครื่องรับ มุมที่เกิดขึ้นระหว่างคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนไปยังเครื่องรับเรียกว่า มุม Bistatic ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งจะมีค่ามากที่สุดเมื่อมีมุม Bistatic RCS เท่ากับ 180 องศา [16]

หน้าตัดขวางเรดาร์ของวัตถุที่มีรูปทรงทางเรขาคณิต เช่น ทรงกลม ทรงกระบอก หรือ แผ่นเรียบ เป็นต้น จะมีสูตรในการหาค่าแตกต่างกันออกไปดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงหน้าตัดขวางเรดาร์ของวัตถุชนิดต่างๆ

ชนิดของวัตถุ	หน้าตัดขวางเรดาร์	สัญลักษณ์
ทรงกลม	πa^2	$a =$ รัศมี
ทรงกรวย	$\frac{\lambda^2}{16\pi} \tan^4 \theta$	$\theta =$ มุม
แผ่นโลหะรูปวงกลม	$\frac{4\pi a}{\lambda} \sin \theta$	$a =$ รัศมีของแผ่นโลหะ $\theta =$ มุม
ทรงกระบอก	$\frac{2\pi a L^2}{\lambda}$	$a =$ รัศมี $L =$ ความยาว
แผ่นโลหะผิวเรียบขนาดใหญ่	$\frac{4\pi A^2}{\lambda^2}$	$A =$ พื้นที่ของแผ่นโลหะผิวเรียบ
มุมสะท้อนสามเหลี่ยม	$\frac{4\pi a^2}{3\lambda^2}$	$a =$ ความยาวขอบ

จากตารางที่ 4.1 นี้จะพบว่าค่าหน้าตัดขวางเรดาร์สูงสุดของแผ่นโลหะผิวเรียบขนาดใหญ่จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ยกกำลังสองและผกผันกับความยาวคลื่นด้านส่ง ดังนั้นความถี่ของคลื่นส่งที่มีความถี่สูงหรือมีความยาวคลื่นน้อยจะได้ค่าหน้าตัดขวางเรดาร์มาก [17]



รูปที่ 4.6 มุม Bistatic RCS

จากการวิจัยนี้คิดพื้นที่ของเครื่องบินที่คลื่นจากสถานีส่งตกกระทบเป็นแบบแผ่น โลหะผิวเรียบขนาดใหญ่ ดังนั้นเราจึงสามารถหาหน้าตัดขวางของเครื่องบินที่เป็นพื้นที่คลื่นสะท้อนตามหลักการของหน้าตัดขวางเรดาร์หรือ Radar Cross Section ได้โดยนำ หลักการของ Jerome I. Glaser [2] มาประยุกต์ใช้ซึ่งสมการการหาหน้าตัดขวางเรดาร์จากสมการที่ 4.1

$$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} \left| \sum_{i=1}^N A_i \right|^2 \quad (4.1)$$

กำหนดให้ σ คือ หน้าตัดขวางของเครื่องบินที่เป็นพื้นที่คลื่นสะท้อน (ตารางเมตร)

A_i คือ ตัวประกอบเชิงพื้นที่ของแบบจำลองเครื่องบิน (เมตร)

λ คือ ความยาวคลื่น (เมตร)

N คือจำนวนเส้นแบ่งส่วนของเครื่องบิน

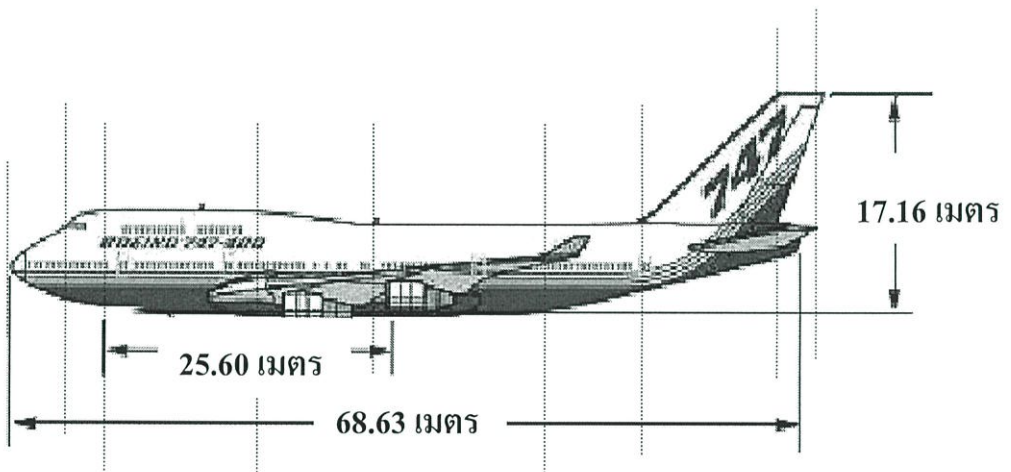
สิ่งที่ต้องพิจารณาในการประยุกต์ใช้กับหลักการนี้คือ

1. ขนาดของวัตถุที่นำมาประยุกต์ใช้จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นของความถี่ส่งมากๆ
2. วัตถุนั้นจะต้องอยู่ไกลจากสถานีส่งและสายอากาศรับ โดยจะต้องมีระยะทางระหว่างวัตถุนั้นถึงสถานีส่ง (หรือสายอากาศรับ) มากกว่า $\frac{2D^2}{\lambda}$ ซึ่ง D คือขนาดของสายอากาศด้านส่งหรือด้านรับที่มากที่สุด
3. ค่าหน้าตัดขวางเรดาร์ยังคงเท่าเดิมแม้จะเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ

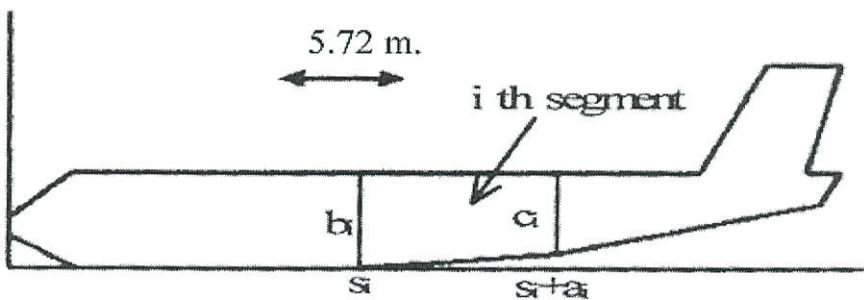
4.2.2 การหาค่าตัวประกอบเชิงพื้นที่

ในการหาค่าตัวประกอบเชิงพื้นที่ของแบบจำลองเครื่องบินซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

1. ประมาณพื้นที่ด้านข้างของเครื่องบิน ผู้วิจัยได้นำโมเดลของเครื่องบินโบอิง 747 มาใช้ในการวิจัยซึ่งมีขนาดความยาวจริงเท่ากับ 70.7 เมตรและความสูงของเครื่องบินเท่ากับ 17.16 เมตร โดยทำการแบ่งสเกลออกเป็นช่วงๆตามพื้นผิวที่มีความเป็นเส้นตรงมากที่สุดดังนั้นจะได้รูปสี่เหลี่ยมหรือ segment ตามขนาดเครื่องบินแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไปดังรูปที่ 4.7 ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดความกว้างและความสูงของเครื่องบินตามสเกลอ้างอิงเท่ากับ 5.72 เมตรแบ่งสเกลโดยกำหนดให้ $a_i = s_{i+1} - s_i$ และ $c_i = b_{i+1}$ ดังรูปที่ 4.8 ดังนั้นจะได้ความยาว a_i ออกมา 9 ค่า b_i 10 ค่า c_i 9 ค่า และ s_i 10 ค่า ตามลำดับ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.7 การแบ่งสเกลด้านข้างของเครื่องบินโดยแบ่งเส้นตรงเป็นช่วง ๆ



รูปที่ 4.8 การกำหนดช่วงความยาวของเครื่องบิน

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดความยาวและความสูงของรูปจำลองเครื่องบิน

ช่วงความยาว (a_i)	(เมตร)	ช่วงความสูง (c_i)	(เมตร)
a_0	5.15	c_0	5.72
a_1	7.15-5.15	c_1	7.44
a_2	22.31-7.15	c_2	7.44
a_3	30.32-22.31	c_3	7.15
a_4	45.76-30.32	c_4	6.86
a_5	55.20-45.76	c_5	5.15
a_6	62.35-55.20	c_6	10.01
a_7	66.92-62.35	c_7	12.58
a_8	70.64-66.92	c_8	10.30
ช่วงความยาว (b_i)	(เมตร)	ช่วงความยาว (s_i)	(เมตร)
b_0	0.86	s_0	0
b_1	5.72	s_1	5.15
b_2	7.44	s_2	7.15
b_3	7.44	s_3	22.31
b_4	7.15	s_4	30.32
b_5	6.86	s_5	45.76
b_6	5.15	s_6	55.20
b_7	10.01	s_7	62.35
b_8	12.58	s_8	66.92
b_9	10.30	s_9	70.64

2. คำนวณหา A_i แต่ละช่วงตามสมการข้างล่าง

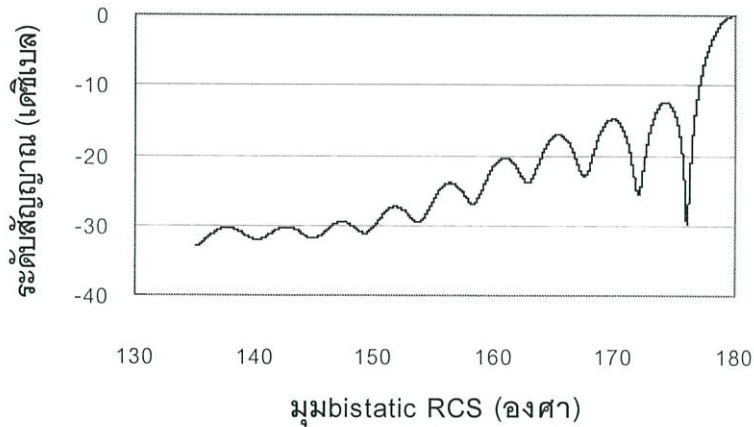
$$A_i = e^{(jua_i)} \left\{ \frac{a_i b_i [e^{(jua_i)} - 1]}{jua_i} + \frac{a_i (c_i - b_i) [e^{(jua_i)} (jua_i - 1) + 1]}{(jua_i)^2} \right\} \quad (4.2)$$

$$\text{โดยที่ } u = \frac{2\pi}{\lambda} \cos \theta_x$$

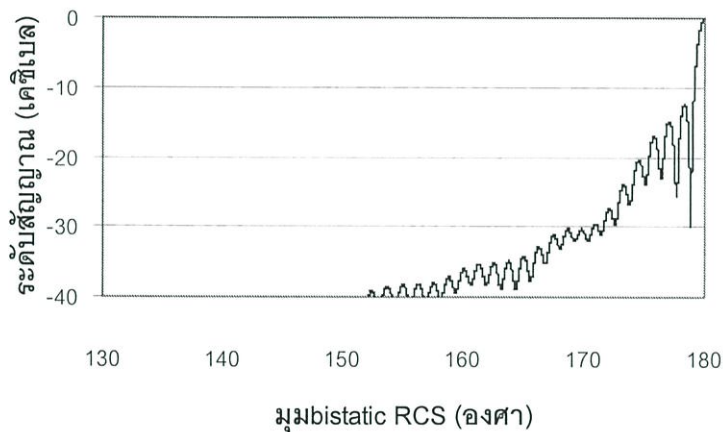
และ θ_x คือ มุม Bistatic RCS ที่ทำมุมกับแกน x กำหนดให้ไม่เกิน 90 องศาแสดงดัง

รูปที่ 4.6

3. หาค่า σ จากสมการที่ 4.1 รูปที่ 4.9 (ก) และ (ข) แสดงตัวอย่างค่าหน้าตัดขวางเรดาร์เมื่อใช้ความถี่ส่งที่ 60.75 MHz และ 208.75 MHz ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 (ก) แสดงค่า bistatic RCS ที่ความถี่ 60.75 MHz



รูปที่ 4.9 (ข) แสดงค่า bistatic RCS ที่ความถี่ 208.75 MHz

4.2.3 การคำนวณหาอัตราส่วนของสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณตรง

เราสามารถคำนวณหาอัตราส่วนของความแรงสนามไฟฟ้าที่รับได้ต่อสัญญาณตรง (RL) จากสมการข้างล่างนี้

$$RL \text{ (dB)} = 20 \log \left| \frac{E_r}{E_0} \right| \quad (4.3)$$

โดยที่ E_r คือ ความแรงของสนามไฟฟ้าที่รับได้ (โวลต์)

E_0 คือ ความแรงของสนามไฟฟ้าจากเครื่องส่ง (โวลต์)

สนามคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบไปด้วย ขนาดและเฟสซึ่งเฟสจะเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรูปขายนี้นั้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_0 = |E_0| e^{-jkr} \quad (4.4)$$

$$E_1 = \beta |E_1| e^{-jkr'} \quad (4.5)$$

r คือ ระยะทางระหว่างสถานีส่งถึงสายอากาศรับหรือ r_0 ดังแสดงในรูปที่ 4.5

r' คือ ระยะทางจากสถานีส่งถึงเครื่องบิน (r_1) รวมกับระยะทางระหว่างเครื่องบินถึงสายอากาศรับ (r_2) หรือ $r_1 + r_2$ ดังรูปที่ 4.5

β คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนประสิทธิผล (effective reflection coefficient)

สามารถคำนวณหาความแรงของสนามไฟฟ้าที่รับได้ (E_r) จากความแรงของสนามไฟฟ้าของสัญญาณตรง (E_0) รวมกับสัญญาณสะท้อน (E_1) ดังนี้

$$E_r = E_0 + E_1 \quad (4.6)$$

$$= |E_0| e^{-jkr} + \beta |E_1| e^{-jkr'} \quad (4.7)$$

$$= |E_0| e^{-jkr} \left\{ 1 + \beta \frac{|E_1|}{|E_0|} e^{-jk(r'-r)} \right\} \quad (4.8)$$

กำหนดให้ $\beta \frac{|E_1|}{|E_0|}$ แทนด้วย α และ $k(r'-r)$ แทนด้วย δ ซึ่ง $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

ดังนั้น

$$E_r = |E_0| e^{-jkr'} [1 + \alpha e^{-i\delta}] \quad (4.9)$$

$(r' - r)$ คือ ผลต่างของระยะทางระหว่างคลื่นตรงกับคลื่นสะท้อนจากเครื่องบิน จากรูปที่ 4.5

คือ $(r_2 + r_1 - r_0)$

α คือ ค่าอัตราส่วนสัมประสิทธิ์การสะท้อนทั้งหมด

k คือ ค่าคงที่เฟสในการแพร่กระจายคลื่น

δ คือ ค่าความต่างเฟสระหว่างคลื่นตรงกับคลื่นสะท้อน

4.2.3.1 การหาค่าอัตราส่วนสัมประสิทธิ์การสะท้อนทั้งหมด หรือค่า α

จาก $\beta \left| \frac{E_1}{E_0} \right|$ แทนด้วย α และกำหนดให้ $\left| \frac{E_1}{E_0} \right|$ แทนด้วย R%

ซึ่งสัมประสิทธิ์การสะท้อนประสิทธิผลหรือ β ได้นำหลักการของหน้าตัดขวางเรดาร์ (Radar Cross Section) มาประยุกต์ใช้ซึ่งต้องพิจารณาค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศด้วย ผู้วิจัยได้เลือกใช้สายอากาศไดโพลแบบยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเพราะสะดวกต่อการใช้งาน ดังนั้นจะได้

$$\beta = G_d \cdot \sigma_{Bi} \quad (4.10)$$

จึงทำให้ได้ค่าอัตราส่วนสัมประสิทธิ์การสะท้อนทั้งหมดคือ

$$\alpha = G_d \cdot \sigma_{Bi} \cdot R\% \quad (4.11)$$

โดยที่ R% คือ เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของคลื่นสะท้อนต่อคลื่นตรง

G_d คือ ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไดโพล

σ_{Bi} คือ ค่าอัตราส่วนของหน้าตัดขวางเรดาร์ของเครื่องบิน

$$\text{โดยที่ } \sigma_{Bi} = \frac{\sigma_\theta}{\sigma_{\theta \max}}$$

ซึ่ง σ_θ คือ ค่าหน้าตัดขวางเรดาร์ของเครื่องบินในทิศทางใดๆ

$\sigma_{\theta \max}$ คือ ค่าหน้าตัดขวางเรดาร์สูงสุดของเครื่องบินซึ่งมีมุม bistatic เท่ากับ

$$180 \text{ องศา } (\sigma_{\theta \max} = \sigma_{\theta=180^\circ})$$

ดังนั้นค่าอัตราส่วนสัมประสิทธิ์การสะท้อนทั้งหมด (α) จึงประกอบด้วย ค่าอัตราส่วนหน้าตัดขวางเรดาร์ของเครื่องบิน (σ_{Bi}) ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไดโพล (G_d) ซึ่งก็คือ ค่าอัตราส่วนของความแรงสนามไฟฟ้าในทิศทางเฉพาะต่อความแรงสนามไฟฟ้าเฉลี่ย และค่าอัตราส่วนของคลื่นสะท้อนต่อคลื่นตรง (R%)

4.2.3.2 การหาค่าความต่างเฟส หรือค่า δ

ในการหาค่าความต่างเฟสระหว่างคลื่นตรงกับคลื่นสะท้อน (δ) สามารถหาได้จากสมการข้างล่าง คือ

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} (r_2 + r_1 - r_0) \quad (4.12)$$

$$r_0 = \sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2} \quad (4.13)$$

$$r_1 = \sqrt{(h - h_1)^2 + (x \cos \phi)^2 + [d - (dx + x \sin \phi)]^2} \quad (4.14)$$

$$r_2 = \sqrt{(h - h_2)^2 + (x \cos \phi)^2 + (dx + x \sin \phi)^2} \quad (4.15)$$

โดยที่ r_0 คือ ระยะทางระหว่างสถานีส่งถึงสายอากาศรับ (เมตร)

r_1 คือ ระยะทางระหว่างสถานีส่งถึงเครื่องบิน (เมตร)

r_2 คือ ระยะทางระหว่างเครื่องบินถึงสายอากาศรับ (เมตร)

4.2.3.3 การหาระดับสัญญาณที่รับได้ หรือค่า $|E_r|$

ในการหาค่าระดับสัญญาณที่รับได้ ซึ่งเกิดจากผลรวมของคลื่นตรงและคลื่นสะท้อน ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะขนาดเพียงอย่างเดียวดังนั้น

$$\text{จาก } |e^{-j\theta}| = |\cos \theta - j \sin \theta| = \sqrt{\cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = 1 \quad (4.16)$$

แทนค่าในสมการที่ 4.9 ดังนั้นจะได้

$$|E_r| = |E_0| [1 + \alpha e^{-j\delta}] \quad (4.17)$$

$$= |E_0| [1 + \alpha \cos \delta - j \alpha \sin \delta] \quad (4.18)$$

$$= |E_0| \sqrt{(1 + \alpha \cos \delta)^2 + (\alpha \sin \delta)^2} \quad (4.19)$$

$$= |E_0| \sqrt{(1 + 2\alpha \cos \delta + \alpha^2 \cos^2 \delta + \alpha^2 \sin^2 \delta)} \quad (4.20)$$

$$= |E_0| \sqrt{(1 + 2\alpha \cos \delta + \alpha^2 (\cos^2 \delta + \sin^2 \delta))} \quad (4.21)$$

$$= |E_0| \sqrt{(1 + \alpha^2 + 2\alpha \cos \delta)} \quad (4.22)$$

4.2.3.4 การหาค่าอัตราส่วนของสัญญาณที่รับได้ต่อคลื่นตรง

จากสมการที่ 4.22 เมื่อแทนค่า ระดับสัญญาณที่รับได้ ($|E_r|$) ในสมการที่ 4.3

$$\text{ดังนั้นจะได้} \quad \text{RL (dB)} = 20 \log \frac{|E_0| \sqrt{(1 + \alpha^2 + 2\alpha \cos \delta)}}{|E_0|} \quad (4.23)$$

$$= 20 \log \sqrt{(1 + \alpha^2 + 2\alpha \cos \delta)} \quad (4.24)$$

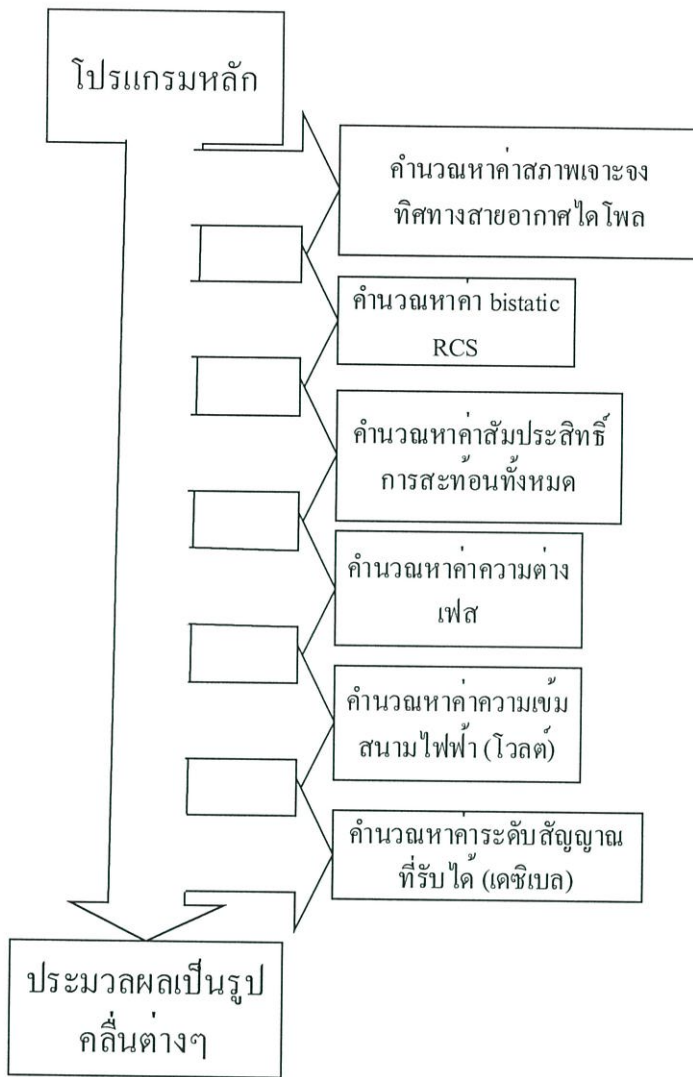
$$= 10 \log (1 + \alpha^2 + 2\alpha \cos \delta) \quad (4.25)$$

ในการพิจารณา G_d หรือ ค่าสภาพเงาเชิงทิศทางของสายอากาศแบบไดโพลนี้เป็นตัวแปรที่จะต้องพิจารณาร่วมด้วยเพื่อบอกความสามารถของสายอากาศในการแพร่กระจายคลื่นได้มากน้อยเพียงใดหรือความสามารถในการส่ง(หรือรับ)สัญญาณของสายอากาศนั่นเอง ซึ่งจะขึ้นกับความยาวและทิศทางของสายอากาศ ในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้สายอากาศไดโพลแบบยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเพราะมีความต้านทาน 73 โอห์ม ซึ่งใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ 75 โอห์มทำให้ไม่มีการสะท้อนกลับและยังง่ายต่อการใช้งานด้วย ส่วนไดโพลที่มีความยาวมากกว่านี้แม้จะมีการชี้ทิศทางดีขึ้นแต่ค่าความต้านทานจะไม่ใกล้เคียงกับสายนำสัญญาณทำให้มีการสะท้อนกลับเกิดขึ้นในตัวนำสัญญาณจึงไม่เลือกใช้ และถ้าใช้สายอากาศไดโพลที่มีความยาวมากกว่าความยาวคลื่นของสัญญาณส่งทำให้มีจำนวนลำคลื่นมากขึ้นแต่คุณสมบัติเกี่ยวกับการชี้ทิศทางจะเสียไปเนื่องจากสามารถรับสัญญาณรบกวนได้ง่าย สมการการแพร่กระจายคลื่น หรือค่าสภาพเงาเชิงทิศทางของสายอากาศไดโพลแบบยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่วางตัวในแนวระนาบคือ

$$G_d = 1.64 \frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cos \zeta\right)}{\sin^2 \zeta} \quad (4.26)$$

โดยที่ มุม ζ คือ มุมในแนวนอนหรือแนวระนาบของสายอากาศไดโพล

ซึ่งจากหลักการเหล่านี้จะถูกประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์สามารถดูขั้นตอนการประมวลผลได้จาก Flowchart ในรูปที่ 4.10 และผลที่ได้คือ รูปคลื่นจำลองแบบมีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบ (quasi-periodic fading) มีลักษณะการแกว่งของสัญญาณแบบรูปคลื่นซายน์ ซึ่งจะแสดงผลในบทต่อไป



รูปที่ 4.10 ขั้นตอนในการประมวลผล

4.3 สรุป

ปัญหาของการรับสัญญาณโทรทัศน์เกิดจากหลายสาเหตุ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เน้นปัญหาของการรับสัญญาณโทรทัศน์ที่เกิดจากคลื่นสะท้อนจากเครื่องบินที่บินผ่านเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น ทำให้สัญญาณภาพที่รับได้มีคุณภาพลดลง โดยได้อธิบายหลักการการจำลองผลกระทบต่างๆซึ่งประกอบด้วยค่าตัวแปรต่างๆคือ ระยะทางระหว่างสถานีส่งกับสายอากาศรับ ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ ความสูงของเครื่องบิน ความสูงของสายอากาศรับ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน มุมเส้นทางบินของเครื่องบิน ความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณและชนิดของสายอากาศ เพื่อหาว่าตัวแปรใดบ้างที่มีผลต่อการเกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบซึ่งทำให้เกิดการรบกวนสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งในการคำนวณเพื่อหาระดับสัญญาณที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบและคาบเวลาในการเกิดจะคิดเป็นค่า

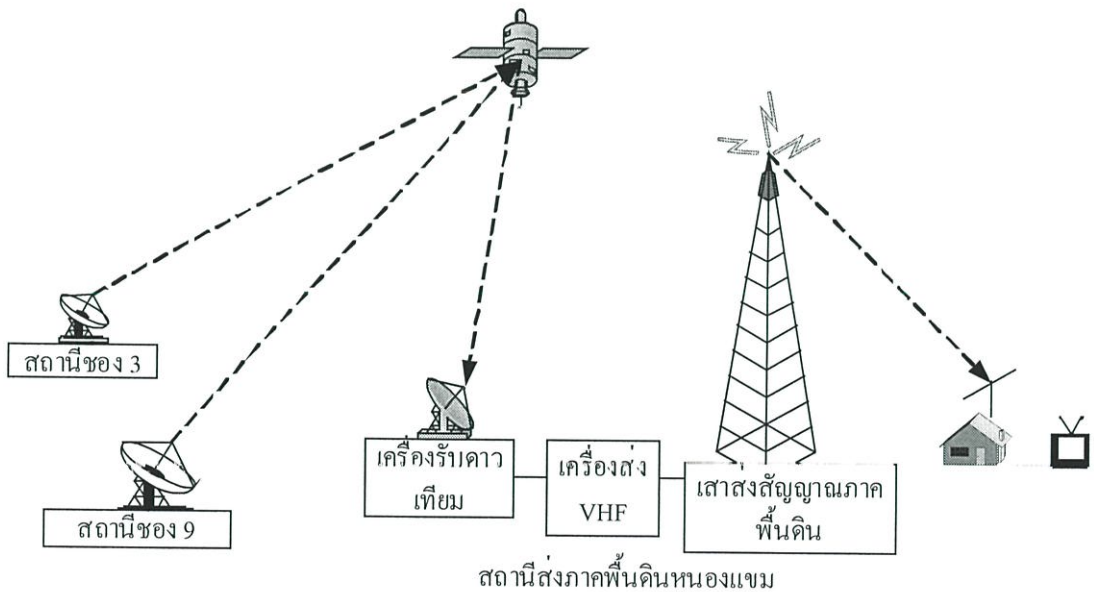
อัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่รับได้ซึ่งเกิดจากผลรวมของคลื่นสะท้อนและคลื่นตรงต่อคลื่นตรงจากสถานีส่ง ส่วนค่าความต่างเฟสจะหาได้จากระยะทางที่ต่างกันในการเดินทางของคลื่นตรงและคลื่นสะท้อน และใช้หลักการหน้าตัดขวางเรดาร์มาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ของเครื่องบินตามจริง ในที่นี้ได้เลือกใช้พื้นที่ของเครื่องบิน โบอิง 747 เพื่อหาค่าอัตราส่วนของหน้าตัดขวางเรดาร์ในทิศทางใดๆต่อหน้าตัดขวางเรดาร์สูงสุด ซึ่งจะเป็นสัมประสิทธิ์ร่วมของค่าอัตราส่วนสัมประสิทธิ์การสะท้อนทั้งหมด โดยนำไปรวมกับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่เหลือ ซึ่งประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเครื่องบินหรือค่าอัตราส่วนระหว่างคลื่นสะท้อนจากเครื่องบินต่อคลื่นตรงจากสถานีส่ง และค่าสภาพเงาเงงทิศทางของสายอากาศรับ จากนั้นนำไปแทนค่าเพื่อหาระดับสัญญาณและคาบเวลาในการเกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบ

บทที่ 5

การจำลองรูปคลื่นการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน แบบครึ่งคาบ

5.1 บทนำ

จากการศึกษาผลกระทบย่านความถี่ VHF ซึ่งมีช่อง 3 ช่อง 5 ช่อง 7 ช่อง 9 และช่อง 11 เพื่อดูผลกระทบแต่ละความถี่เนื่องจากเครื่องบินทุกช่องความถี่ ผลกระทบเกิดได้ทุกช่องสัญญาณ แต่เนื่องจากสัญญาณส่งแต่ละความถี่มีที่ตั้งแตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงเลือกความถี่ช่อง 3 และช่อง 9 เพื่อเปรียบเทียบความถี่ย่านแบนด์ต่ำและแบนด์สูงได้ โดยมีพารามิเตอร์ระยะทางและความสูงต่างๆเท่ากัน เนื่องจากช่อง 3 และช่อง 9 มีเครื่องส่งและเสาอากาศส่งอยู่ที่เดียวกันคือที่หนองแขม ซึ่งช่อง 3 มีสถานีอยู่ที่อาคารเอ็มโพเรียม ถนนสุขุมวิท ส่วนช่อง 9 มีสถานีอยู่ที่สี่แยก อ.ส.ม.ท. เนื่องจากในเมืองไม่มีที่ตั้งเสาอากาศดังนั้นจึงต้องส่งสัญญาณแต่ละช่องไปยังงานรับที่หนองแขมด้วยวิธีการมอดคูเลทของ studio transmitter link (stl) แล้วจึงเปลี่ยนคลื่นพาห้เป็น VHF ทั้งสัญญาณภาพและเสียงทำการส่งออกอากาศต่อไปดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 การส่งสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 3 และช่อง 9

ทำให้เราสามารถเปรียบเทียบผลกระทบที่มีพารามิเตอร์เหมือนกันหมดต่างกันเพียงความถี่เท่านั้น จึงเป็นการเปรียบเทียบที่ตรงระหว่างช่องความถี่สูงและช่องความถี่ต่ำ ลักษณะการแกว่งของคลื่นวิทยุโทรทัศน์ภาคพื้นดิน การแกว่งของสัญญาณมีรูปแบบคล้ายคลื่นรูปซายน์ ขนาดแอมพลิจูดของ

คลื่นจะมีการแกว่งค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด แล้วกลับลดลงด้วยขนาดที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากเครื่องบินที่เป็นตัวสะท้อนคลื่นเคลื่อนที่เข้าใกล้สายอากาศรับ และเคลื่อนห่างออกไป

ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการสร้างแบบจำลองการบินผ่านของเครื่องบินในระดับความสูงและระยะทางต่างกันรวมทั้งเปลี่ยนองค์ประกอบหลายๆค่าเพื่อเปรียบเทียบลักษณะและขนาดสัญญาณที่คำนวณได้จากคอมพิวเตอร์กับสัญญาณที่วัดจริง

5.2 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองรูปคลื่นได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากเครื่องบิน มุมของเส้นทางบินของเครื่องบิน ความสูงของเครื่องบิน ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับ ความสูงของสายอากาศรับ และความถี่ของสถานีส่ง ซึ่ง ผลจากการจำลองรูปคลื่นจะกำหนดให้พารามิเตอร์ที่ต้องการดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนค่าต่างๆเป็นตัวแปรและให้พารามิเตอร์อื่นๆที่เหลือเป็นค่าคงที่ ในการเปรียบเทียบกันเพื่อดูค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดและคาบเวลาจะใช้ความถี่ช่อง 3 และช่อง 9 เนื่องจากมีพารามิเตอร์อื่นๆมีค่าเท่ากันจึงเป็นตัวเปรียบเทียบที่ดีระหว่างช่องความถี่สูงและช่องความถี่ต่ำ และจากผลการจำลองรูปคลื่นในวิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดให้เครื่องบินที่บินผ่านเส้นทางการบินแพร่กระจายคลื่นเป็นเครื่องบินพาณิชย์โบอิง 747 ที่มีความเร็วในการบินเท่ากับ 360 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

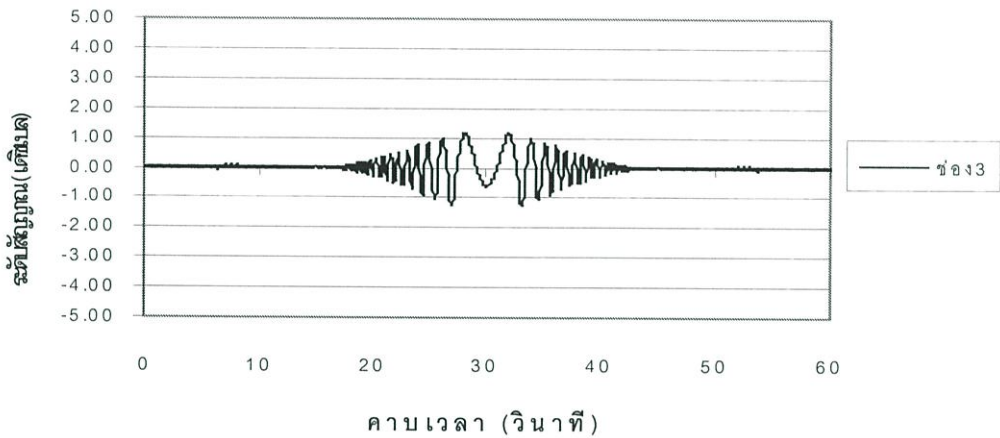
5.2.1 กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนหรือค่า R% เป็นตัวแปร

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนหรือค่า R% คือค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณสะท้อนจากเครื่องบินต่อสัญญาณตรงจากสถานีส่ง โดยกำหนดให้สัญญาณตรงจากสถานีส่งเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ในที่นี้กำหนดให้สัญญาณสะท้อนจากเครื่องบินมายังสายอากาศรับมี 3 ค่าคือ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์

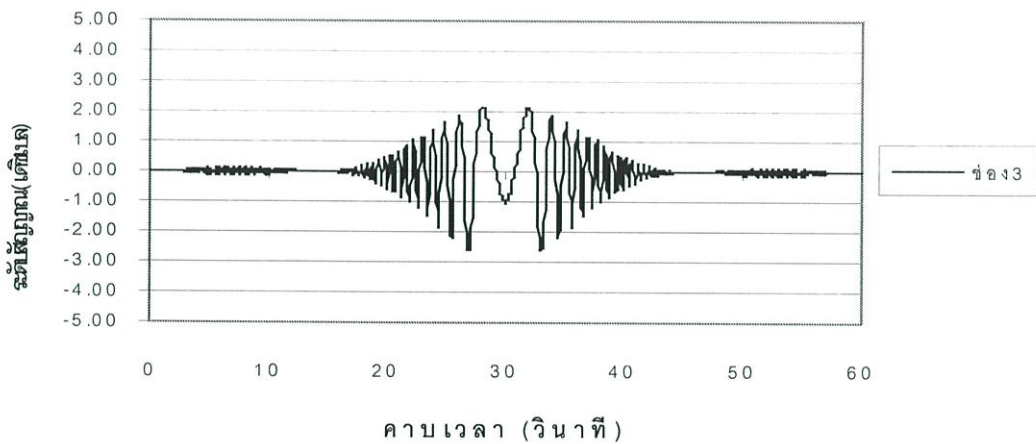
ตารางที่ 5.1 กำหนดพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการคำนวณ

ความถี่คลื่นพาห้ของช่อง 3	f	60.75 MHz
ระยะทางระหว่างสถานีส่งถึงสายอากาศรับ	d	45 กม.
ระยะทางระหว่างเครื่องบินถึงสายอากาศรับ	Dx	22.5 กม.
ความสูงของเครื่องบิน	h	2 กม.
มุมของเส้นทางบิน	ϕ	0 องศา
ความสูงของสายอากาศรับ	h_2	15 เมตร
ความสูงของสายอากาศส่ง	h_1	230 เมตร

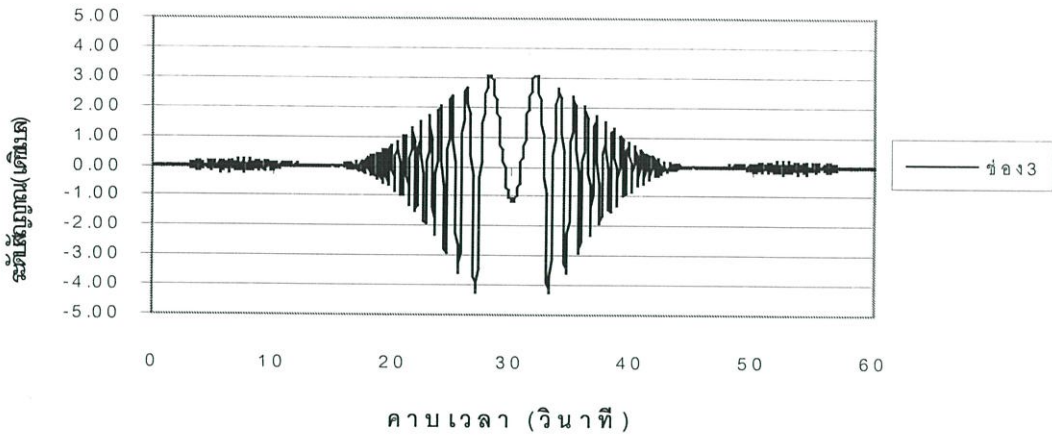
ผลการจำลองรูปคลื่นที่ได้พบว่า เมื่อสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าต่ำขนาดแอมพลิจูดของรูปคลื่นเป็น dB_{p-p} หรือระดับสัญญาณที่รับได้มีค่าน้อยและจะมีค่ามากขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่มีค่ามากขึ้นตามลำดับ สามารถดูการเปลี่ยนแปลงได้จากรูปที่ 5.2 (ก) (ข) และ (ค)



รูปที่ 5.2 (ก) ผลการจำลองรูปคลื่นเมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ 10%

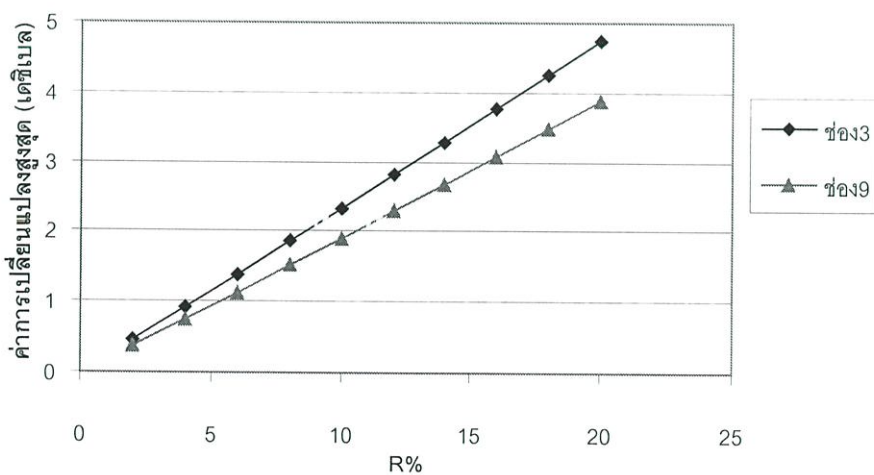


รูปที่ 5.2 (ข) ผลการจำลองรูปคลื่นเมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ 20%

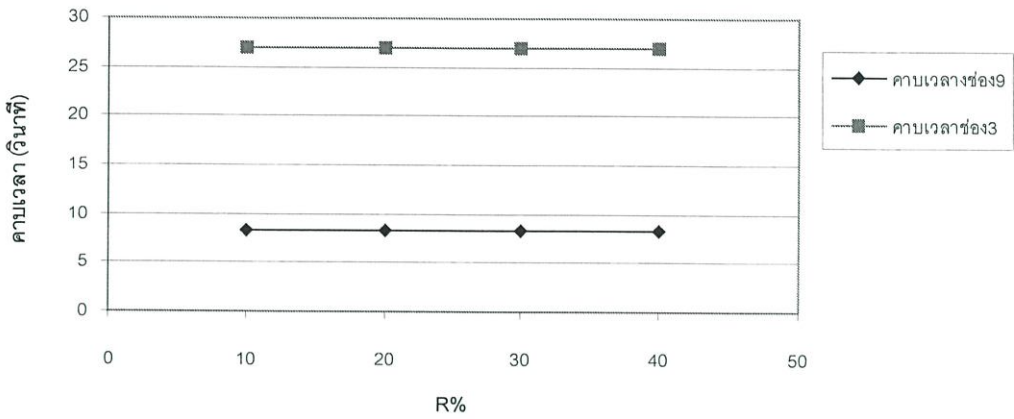


รูปที่ 5.2 (ค) ผลการจำลองรูปคลื่นเมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ 30%

จากผลการจำลองรูปคลื่นในรูปที่ 5.2 พบว่าที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ มีระดับสัญญาณที่รับได้สูงที่สุด โดยมีค่าแอมพลิจูดจากจุดยอดถึงจุดต่ำสุดเท่ากับ 7.34 เดซิเบล เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ มีระดับสัญญาณที่รับได้รองลงมาคือเท่ากับ 4.77 เดซิเบล และระดับสัญญาณที่มีค่าน้อยสุดคือที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเท่ากับ 2.36 เดซิเบล ทั้งสามรูปคลื่นมีคาบเวลาเท่ากันคือ 27 วินาที ส่วนในรูปที่ 5.3 แสดงเส้นกราฟเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากน้อยไปมากโดยใช้สัญญาณช่อง 3 และช่อง 9 เปรียบเทียบกันและในรูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบคาบเวลาเมื่อมีการเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณช่อง 3 และช่อง 9 ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน



รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบคาบเวลาของสัญญาณที่รับได้เมื่อเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

จากรูปที่ 5.3 และ 5.4 พบว่าเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่ามากขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดจะมีค่ามากขึ้นด้วยแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของคาบเวลาโดยที่ช่อง 3 มีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมากกว่าช่อง 9 และมีคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นนานกว่าด้วย สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนคงที่เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสัญญาณตรงเมื่อกระทบกับเครื่องบินจะมีการกระเจิงของสัญญาณทุกทิศทาง ผู้วิจัยจึงได้กำหนดให้สัญญาณที่มีการกระเจิงมายังทิศทางของสายอากาศรับมีค่าเท่ากับ 10 ส่วนต่อสัญญาณตรง 100 ส่วน

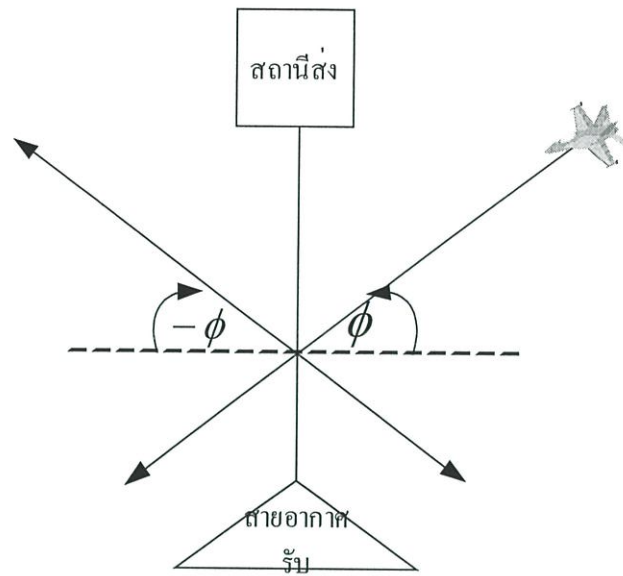
5.2.2 กำหนดให้มุมเส้นทางบินหรือค่า ϕ เป็นตัวแปร

กำหนดให้มุมของเส้นทางบิน คือมุมที่ทำกับเส้นตั้งฉากระหว่างสถานีส่งกับสายอากาศรับ เนื่องจากเครื่องบินบินในทิศทางที่แตกต่างกันจึงกำหนดให้เส้นทางบินของเครื่องบินทำมุมไม่เกิน 90 องศา ซึ่งในที่นี้ได้ทำการเปรียบเทียบรูปคลื่นจำลองโดยใช้มุมเส้นทางบิน 9 ค่า คือมุม 0 , 20 , 40 , 60 , 80, -20 , -40 , -60 และ -80 องศา

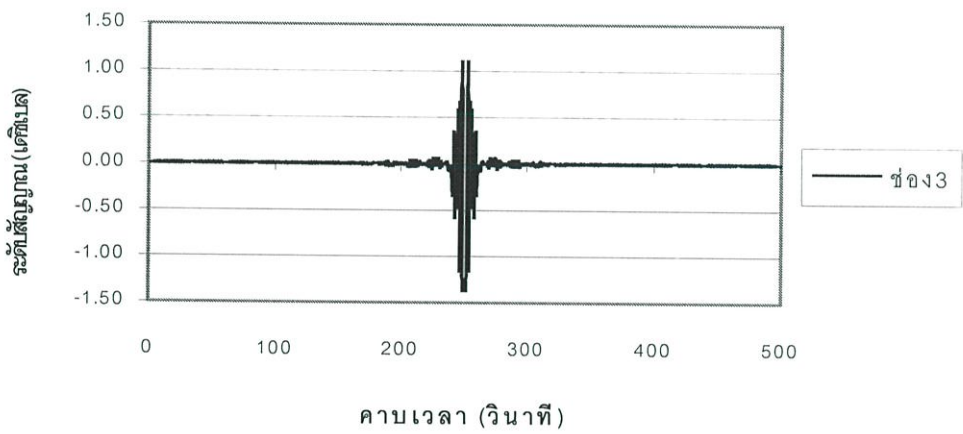
ตารางที่ 5.2 กำหนดพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการคำนวณ

ความถี่คลื่นพาห้ของช่อง 3	f	60.75 MHz
ระยะทางระหว่างสถานีส่งถึงสายอากาศรับ	d	45 กม.
ระยะทางระหว่างเครื่องบินถึงสายอากาศรับ	Dx	22.5 กม.
ความสูงของเครื่องบิน	h	2 กม.
ส.ป.ส.การสะท้อน	R	10%
ความสูงของสายอากาศรับ	h_2	15 เมตร
ความสูงของสายอากาศส่ง	h_1	230 เมตร

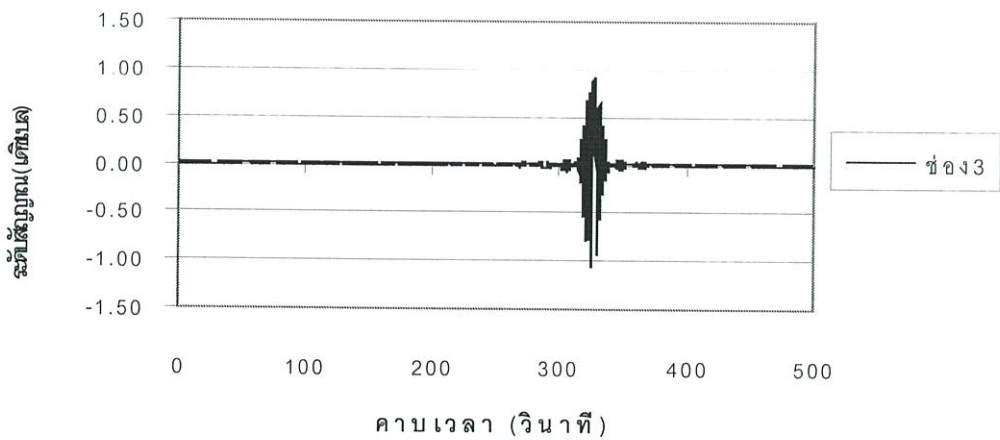
จากผลการจำลองรูปคลื่นของสัญญาณที่รับได้พบว่าเมื่อมุม ϕ เปลี่ยนตำแหน่งรูปคลื่นเปลี่ยนคือเมื่อกำหนดให้มุม ϕ มีค่าเท่ากับ 0 องศา รูปคลื่นที่ได้จะสมมาตรกัน หมายถึงเส้นทางบินของเครื่องบินทำมุมตั้งฉากกับเส้นทางระหว่างสถานีส่งถึงสายอากาศรับ เมื่อกำหนดให้มุม ϕ มีค่ามากขึ้นรูปคลื่นที่ได้จะมีตำแหน่งเอียงไปด้านขวาของกราฟและเมื่อมุม ϕ มีค่าเป็นลบรูปคลื่นจะมีตำแหน่งเอียงไปทางด้านซ้ายของกราฟ ซึ่งจะได้ค่าแอมพลิจูดและคาบเวลาเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้ามสามารถดูทิศทางการบินของเครื่องบินได้ดังรูปที่ 5.5 โดยมีระดับสัญญาณที่รับได้และคาบเวลาน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของมุมเส้นทางบินที่มากขึ้น ดังรูปที่ 5.6 (ก-ข)



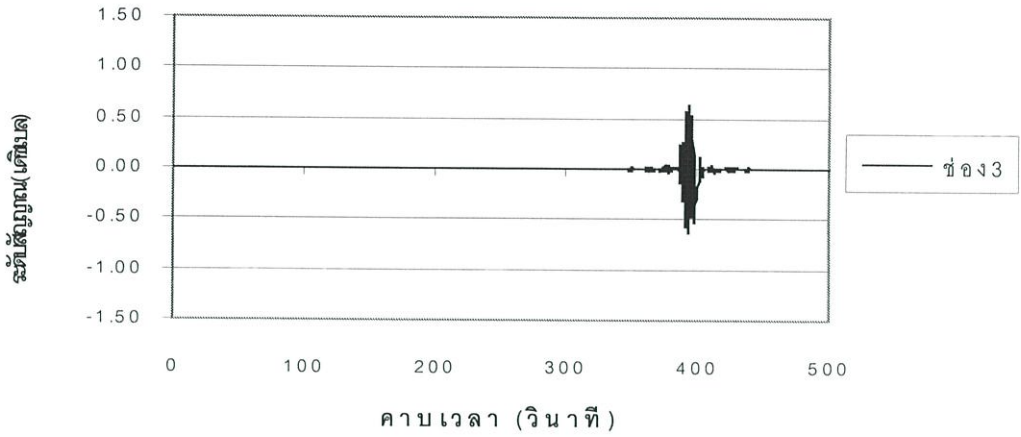
รูปที่ 5.5 ทิศทางการบินของเครื่องบิน



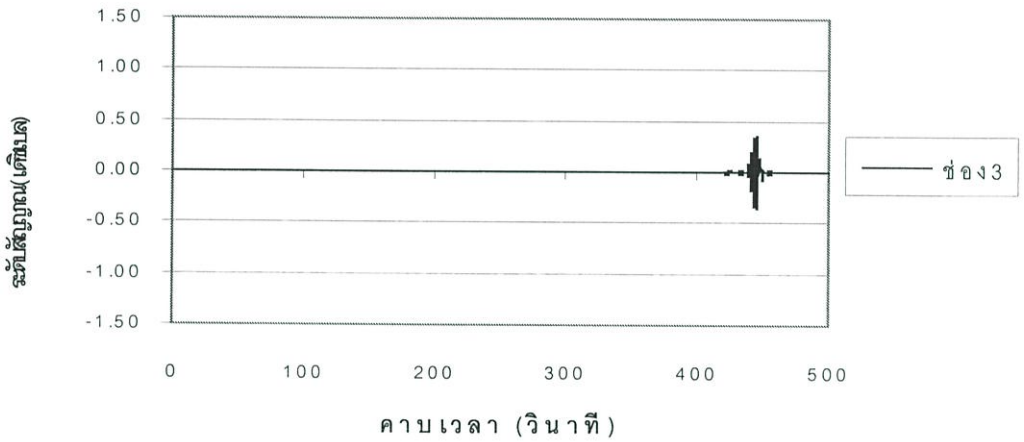
รูปที่ 5.6 (ก) มุมเส้นทางบิน เท่ากับ 0 องศา



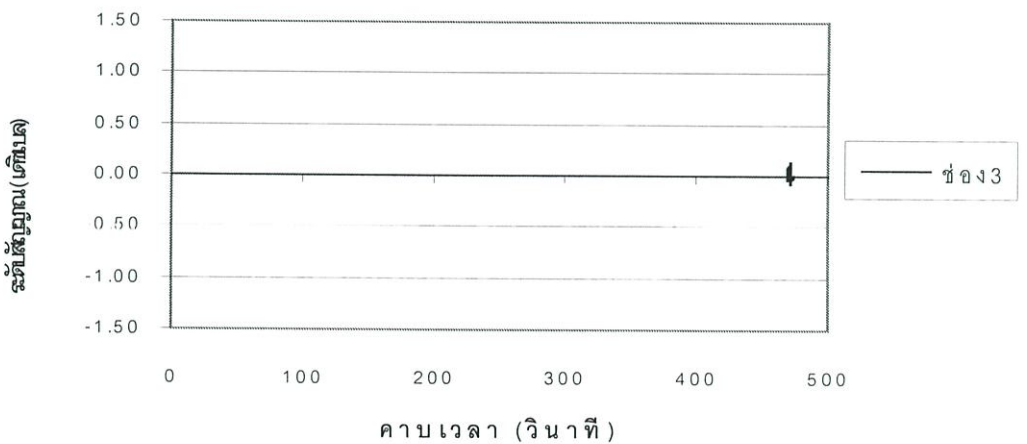
รูปที่ 5.6 (ข) มุมเส้นทางบิน เท่ากับ 20 องศา



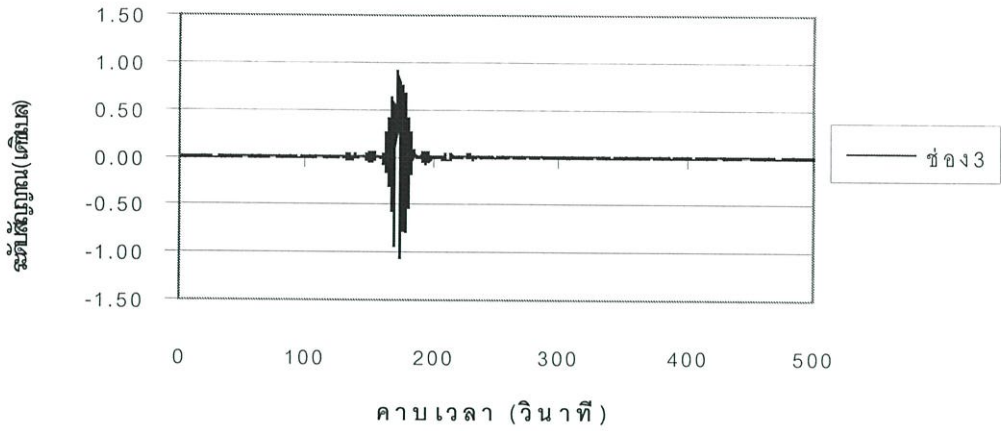
รูปที่ 5.6 (ค) มุมเส้นทางบิน เท่ากับ 40 องศา



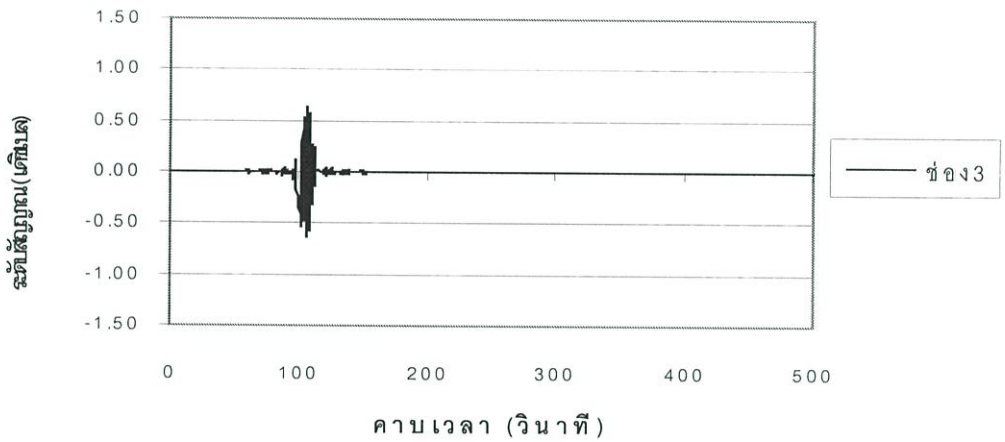
รูปที่ 5.6 (ง) มุมเส้นทางบิน เท่ากับ 60 องศา



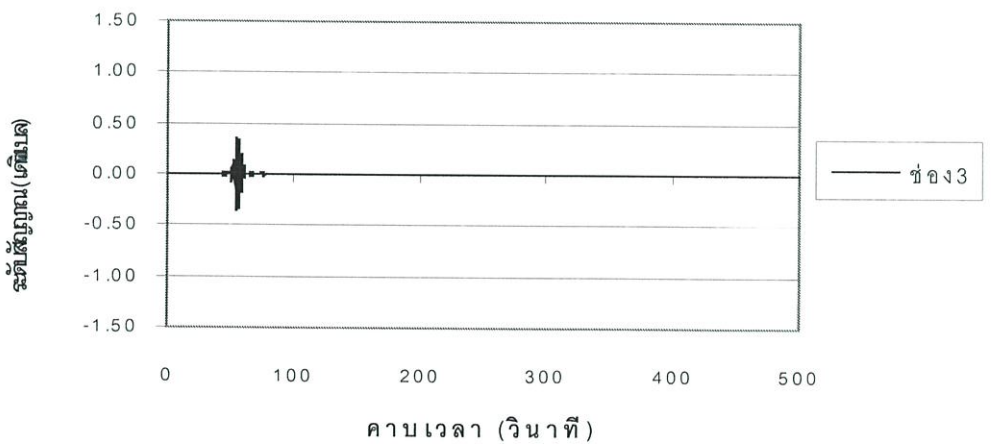
รูปที่ 5.6 (จ) มุมเส้นทางบิน เท่ากับ 80 องศา



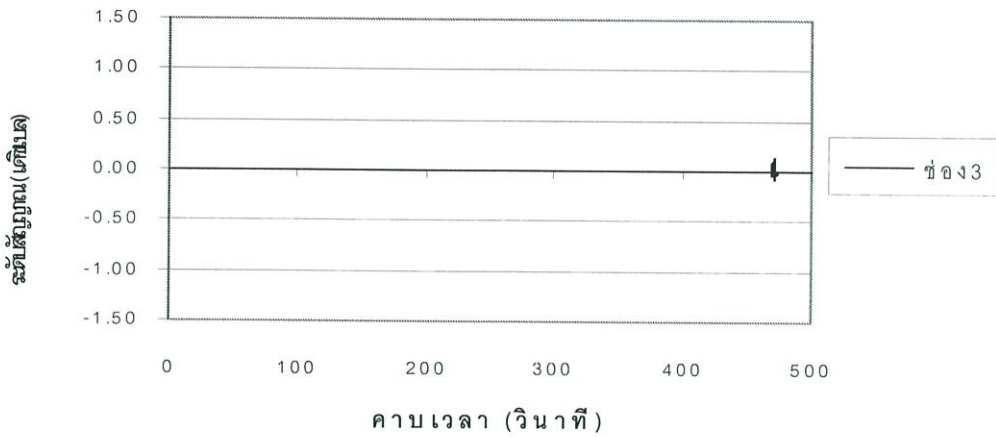
รูปที่ 5.6 (ฉ) มุมเส้นทางบิน เท่ากับ -20 องศา



รูปที่ 5.6 (ช) มุม เส้นทางบิน เท่ากับ -40 องศา



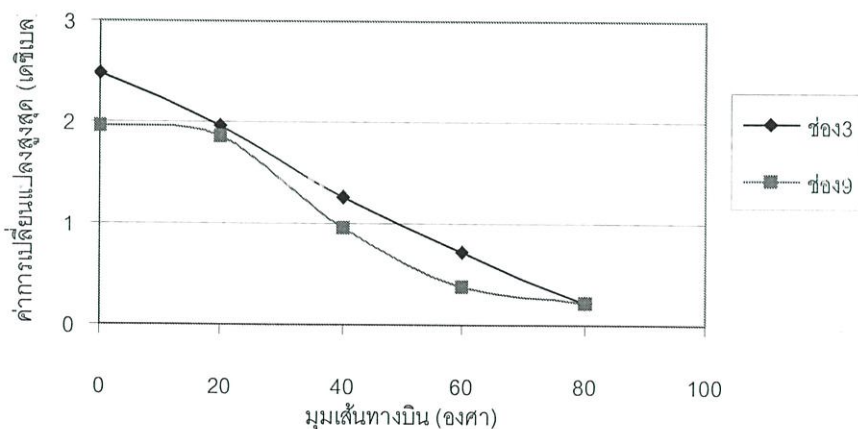
รูปที่ 5.6 (ซ) มุมเส้นทางบิน เท่ากับ -60 องศา



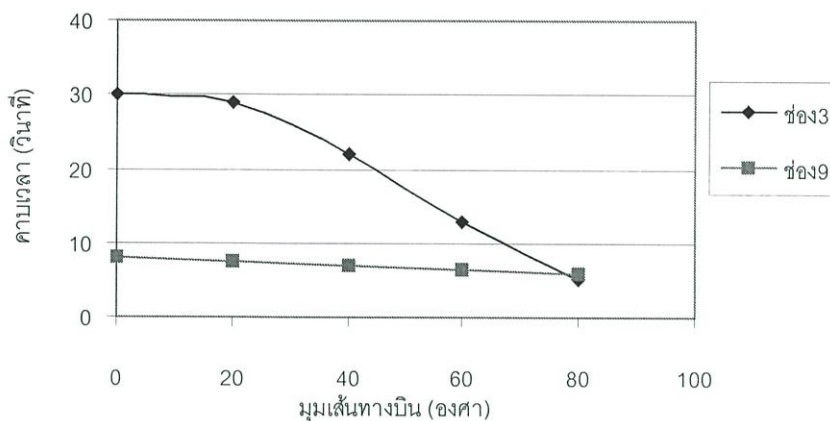
รูปที่ 5.6 (ข) มุมเส้นทางบิน เท่ากับ -80 องศา

รูปที่ 5.6 ลักษณะรูปคลื่นเมื่อมีการเปลี่ยนมุมเส้นทางบินค่าต่างๆ

ผลจากการจำลองเมื่อเปลี่ยนมุมเส้นทางบินค่าต่างๆพบว่ารูปคลื่นที่ได้มีระดับสัญญาณและคาบเวลาน้อยลงเมื่อมุมมีค่ามากขึ้นโดยมีค่ามากที่สุดที่มุมเส้นทางบินเท่ากับ 0 องศา นั่นคือมุมที่ตั้งฉากระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับ โดยมีระดับสัญญาณที่รับได้จากค่าสูงสุดจนถึงค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.36 เดซิเบลและมีคาบเวลาเท่ากับ 27 วินาที ที่มุม 20 และ -20 องศา มีระดับสัญญาณเท่ากับ 2.02 เดซิเบลและมีคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นเท่ากับ 22.5 วินาที ที่มุม 40 และ -40 องศา มีระดับสัญญาณเท่ากับ 1.20 เดซิเบลมีคาบเวลาเท่ากับ 20 วินาที ที่มุม 60 และ -60 องศา มีระดับสัญญาณเท่ากับ 0.67 เดซิเบลมีคาบเวลาเท่ากับ 12.5 วินาที และที่มุม 80 และ -80 องศา มีระดับสัญญาณเท่ากับ 0.17 เดซิเบล มีคาบเวลาเท่ากับ 7.5 วินาที เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดและคาบเวลา ตามการเปลี่ยนมุมค่าต่างๆระหว่างช่อง 3 และช่อง 9 ดังรูปที่ 5.7 และ 5.8



รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อเปลี่ยนมุมค่าต่างๆ



รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบคาบเวลาของคลื่นที่รับได้เมื่อเปลี่ยนมุมค่าต่างๆ

จากรูปที่ 5.7 และ 5.8 ผลที่ได้พบว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดและคาบเวลาจะมีค่าน้อยลงเมื่อมุมเส้นทางบินมีค่ามากขึ้น โดยที่ช่อง 3 มีค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดมากกว่าช่อง 9 และมีคาบเวลาการเกิดรูปคลื่นนานกว่าช่อง 9 ด้วย

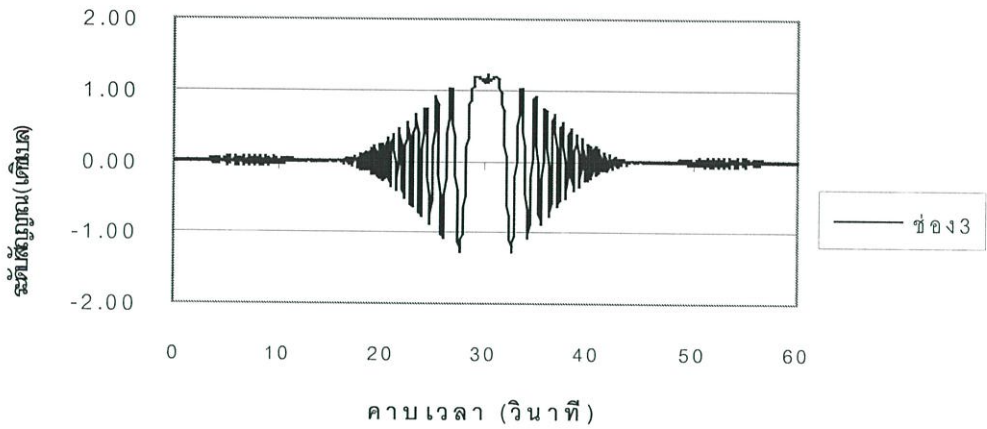
5.2.3 กำหนดให้ความสูงของเครื่องบินหรือ h เป็นตัวแปร

ความสูงของเครื่องบิน กำหนดให้คือระดับความสูงจากเครื่องบินถึงพื้นดิน ในที่นี้ได้ทำการเปรียบเทียบรูปคลื่นที่ได้จากการจำลอง โดยกำหนดให้ความสูงของเครื่องบินเท่ากับ 1 , 2 และ 3 กิโลเมตร

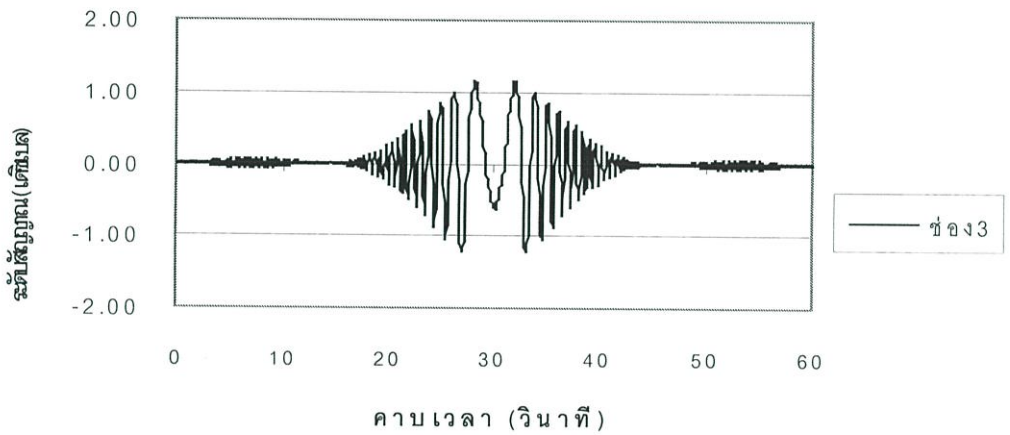
ตารางที่ 5.3 กำหนดพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการคำนวณ

ความถี่คลื่นพาห้ของช่อง 3	f	60.75 MHz
ระยะทางระหว่างสถานีส่งถึงสายอากาศรับ	d	45 กม.
ระยะทางระหว่างเครื่องบินถึงสายอากาศรับ	D_x	22.5 กม.
มุมของเส้นทางบิน	ϕ	0 องศา
ส.ป.ส.การสะท้อน	R	10%
ความสูงของสายอากาศรับ	h_2	15 เมตร
ความสูงของสายอากาศส่ง	h_1	230 เมตร

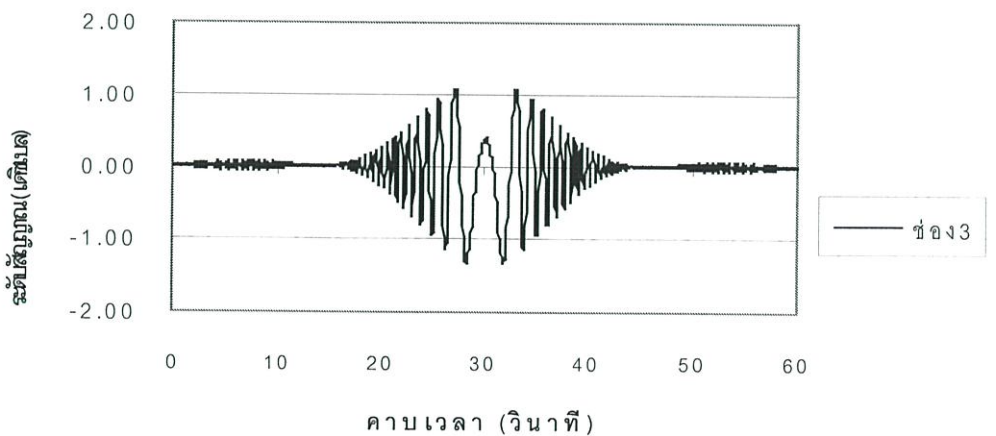
จากรูปคลื่นจำลองรูปที่ 5.9 (ก) (ข) และ (ค) เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้พบว่า มีระดับสัญญาณที่รับได้และคาบเวลาใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับสัญญาณที่ความสูง 1 กิโลเมตร เท่ากับ 2.48 เดซิเบล มีคาบเวลาเท่ากับ 27 วินาที ที่ความสูง 2 กิโลเมตรมีระดับสัญญาณเท่ากับ 2.36 เดซิเบล มีคาบเวลาเท่ากับ 27 วินาทีเช่นกัน



รูปที่ 5.9 (ก) ความสูงของเครื่องบิน เท่ากับ 1 กม.



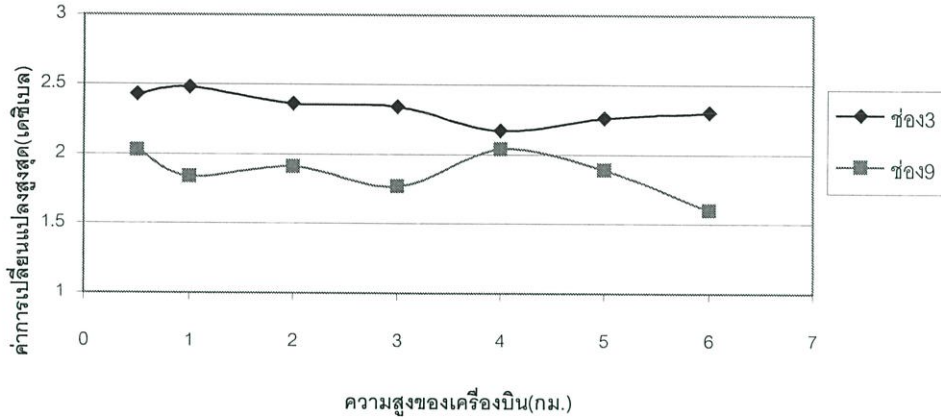
รูปที่ 5.9 (ข) ความสูงของเครื่องบิน เท่ากับ 2 กม.



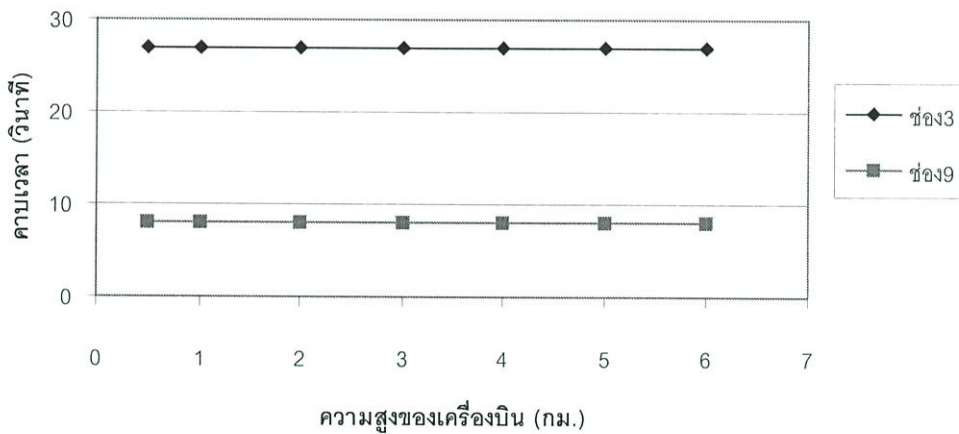
รูปที่ 5.9 (ค) ความสูงของเครื่องบิน เท่ากับ 3 กม.

รูปที่ 5.9 ลักษณะรูปคลื่นเมื่อเปลี่ยนระดับความสูงของเครื่องบินค่าต่างๆ

ในรูปที่ 5.10 คือกราฟเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของระดับสัญญาณที่รับได้เทียบกับความสูงของเครื่องบิน และรูปที่ 5.11 เป็นการเปรียบเทียบคาบเวลาเทียบกับความสูงของเครื่องบินที่ความสูงต่างๆกันจากน้อยไปมาก โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณช่อง 3 และช่อง 9



รูปที่ 5.10 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของระดับสัญญาณที่ความสูงต่างๆ



รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบคาบเวลาที่ความสูงต่างๆ

จากรูปที่ 5.10 และ 5.11 พบว่าเมื่อความสูงของเครื่องบินมากขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดและคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยที่ช่อง 3 จะมีคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นนานกว่าช่อง 9 แต่มีค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดใกล้เคียงกัน

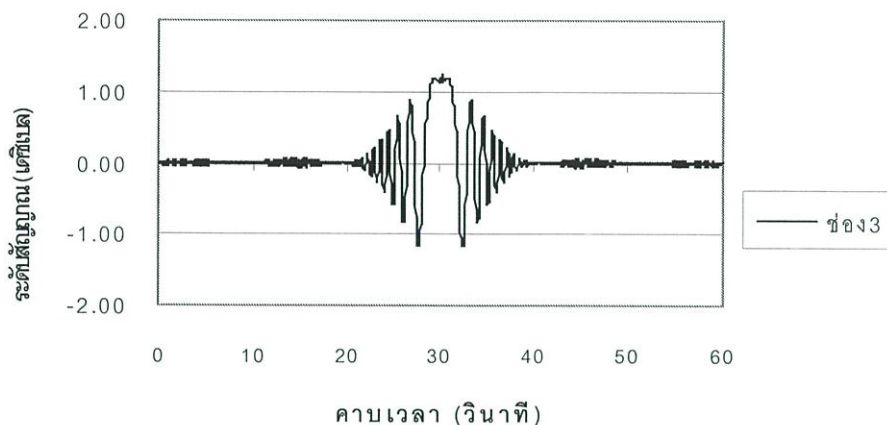
5.2.4 กำหนดให้ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ หรือ D_x เป็นตัวแปร

เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างของรูปคลื่นที่ได้จากการจำลองเมื่อเปลี่ยนระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ ในที่นี้ได้กำหนดค่าระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับไว้ 3 ค่า คือ ที่ระยะทาง 15 , 30 และ 40 กิโลเมตร

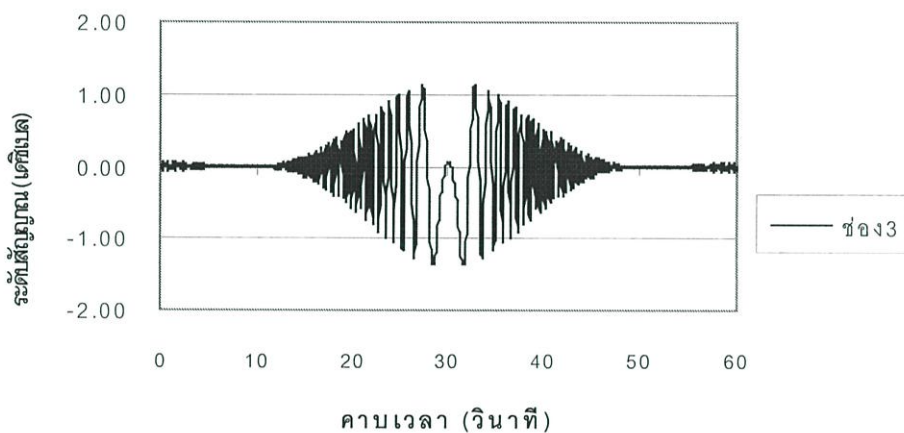
ตารางที่ 5.4 กำหนดตัวแปรคงที่ที่ใช้ในการคำนวณ

ความถี่คลื่นพาห้ของช่อง 3	f	60.75 MHz
ระยะทางระหว่างสถานีส่งถึงสายอากาศรับ	d	45 กม.
ความสูงของเครื่องบิน	h	2 กม.
มุมของเส้นทางบิน	ϕ	0 องศา
ส.ป.ส.การสะท้อน	R	10%
ความสูงของสายอากาศรับ	h_2	15 เมตร
ความสูงของสายอากาศส่ง	h_1	230 เมตร

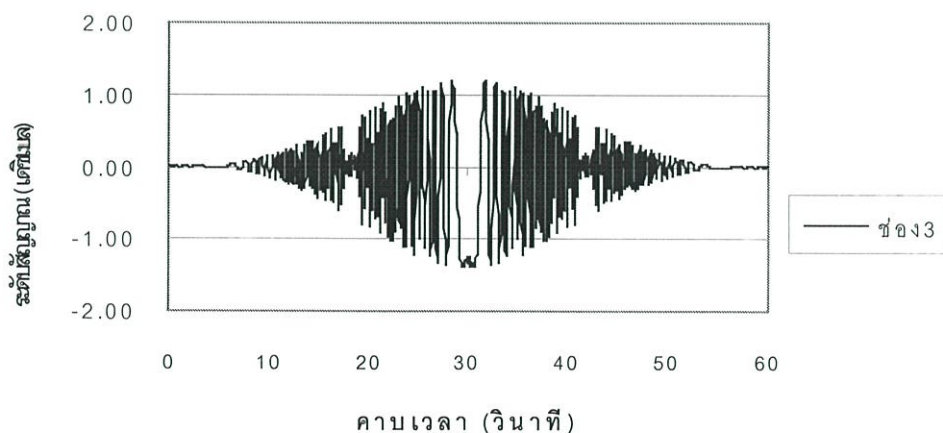
จากผลการจำลองรูปคลื่นดังรูปที่ 5.12 (ก) (ข) และ(ค) เมื่อเปลี่ยนระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับจากค่าน้อยไปมากพบว่ารูปคลื่นมีระดับสัญญาณใกล้เคียงกันแต่มีคาบเวลาต่างกัน โดยจะมีคาบเวลาการเกิดรูปคลื่นนานขึ้นเมื่อระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับมากขึ้น ซึ่งในรูปที่ 5.12 (ก) ที่ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับเท่ากับ 15 กม. จะมีระดับสัญญาณเท่ากับ 2.41 เดซิเบล มีคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นเท่ากับ 18 วินาที รูปที่ 5.12 (ข) ที่ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับเท่ากับ 30 กม. มีระดับสัญญาณเท่ากับ 2.5 เดซิเบลมีคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นเท่ากับ 36 วินาที และในรูปที่ 5.12 (ค)ที่ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับเท่ากับ 40 กม. มีระดับสัญญาณเท่ากับ 2.58 เดซิเบล มีคาบเวลาเท่ากับ 48 วินาที ตามลำดับ



รูปที่ 5.12 (ก) ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับเท่ากับ 15 กม.



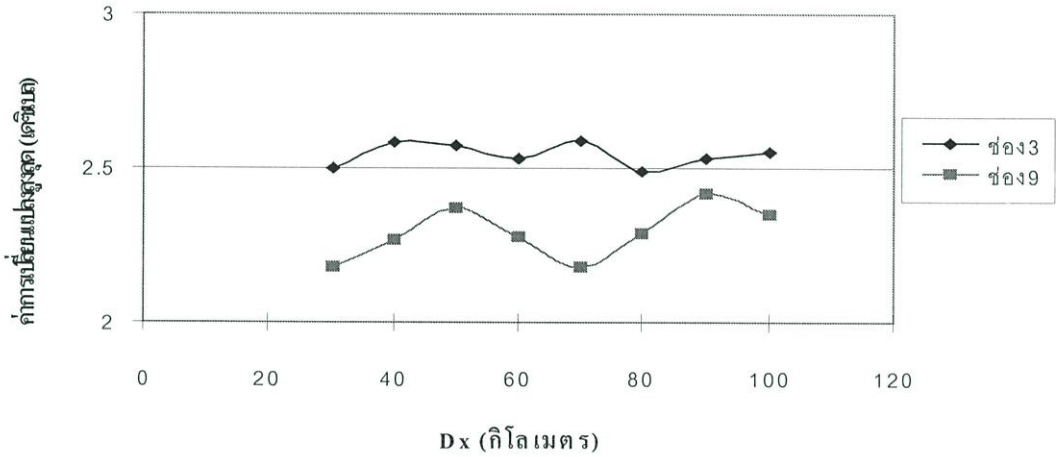
รูปที่ 5.12 (ข) ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับเท่ากับ 30 กม.



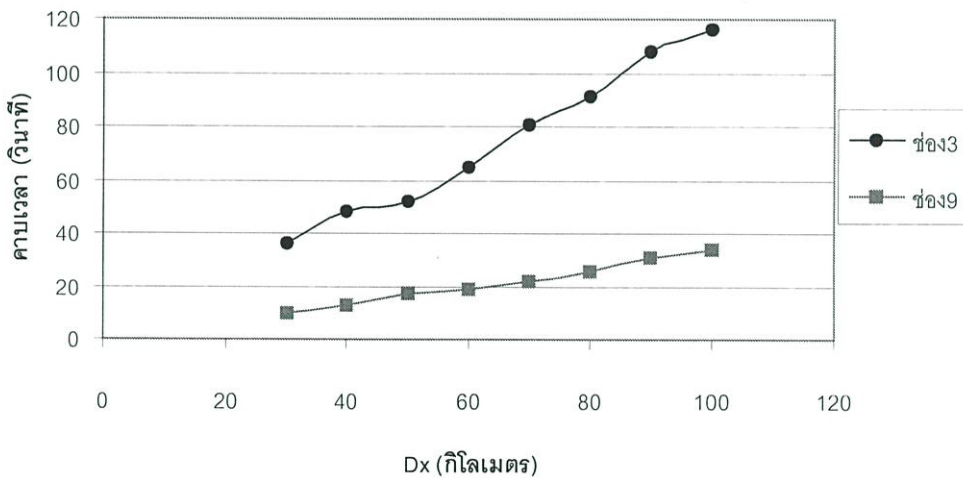
รูปที่ 5.12 (ค) ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับเท่ากับ 40 กม.

รูปที่ 5.12 รูปคลื่นจำลองเมื่อเปลี่ยน ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับค่าต่างๆ

สามารถดูการเปลี่ยนแปลงได้จากกราฟในรูปที่ 5.13 และ 5.14 ซึ่งเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของระดับสัญญาณที่รับได้และคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นที่ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับต่างๆจากค่าน้อยไปมากโดยใช้ความถี่ช่อง 3 และช่อง 9 เปรียบเทียบกัน



รูปที่ 5.13 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของระดับสัญญาณเมื่อ เปลี่ยนระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ



รูปที่ 5.14 เปรียบเทียบคาบเวลาเมื่อเปลี่ยนค่าระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับต่างๆ

ผลที่ได้จากรูปที่ 5.13 และ 5.14 พบว่าเมื่อระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับมากขึ้น ทำให้คาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นนานขึ้นแต่ค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของระดับสัญญาณที่รับได้เปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยที่ช่อง 3 มีคาบเวลาการเกิดรูปคลื่นนานกว่าช่อง 9 แต่ค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดใกล้เคียงกัน นั่นคือจากการรับภาพจะพบว่าภาพของช่อง 3 จะมีเงาเคลื่อนไหวนานกว่าช่อง 9

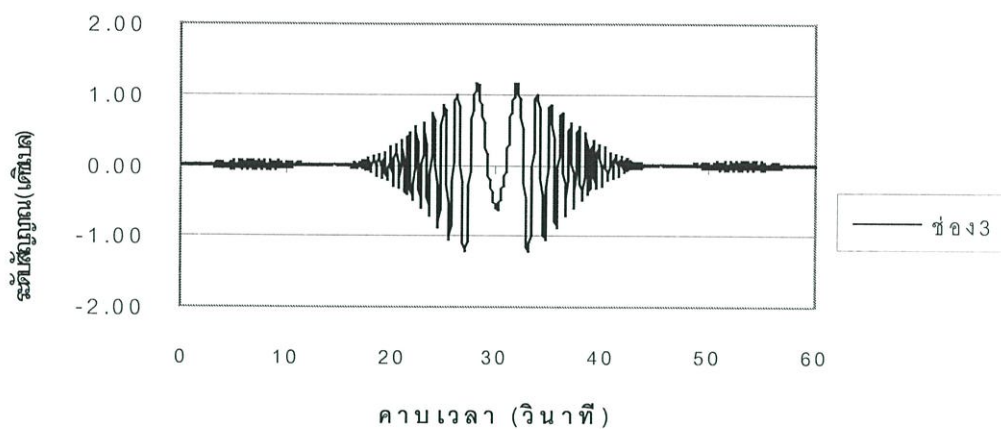
5.2.5 กำหนดให้ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับหรือ d เป็นตัวแปร

ในการเปรียบเทียบรูปคลื่นที่ได้จากการจำลองเพื่อดูระดับสัญญาณที่รับได้และคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นเมื่อเปลี่ยนตัวแปรคือระยะทางระหว่างสถานีส่งกับสายอากาศรับ โดยกำหนดให้พารามิเตอร์อื่นๆที่ดังตารางที่ 5.5 ในที่นี้ได้กำหนดให้ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับมี 3 ค่า คือ 45 , 80 และ 100 กิโลเมตร

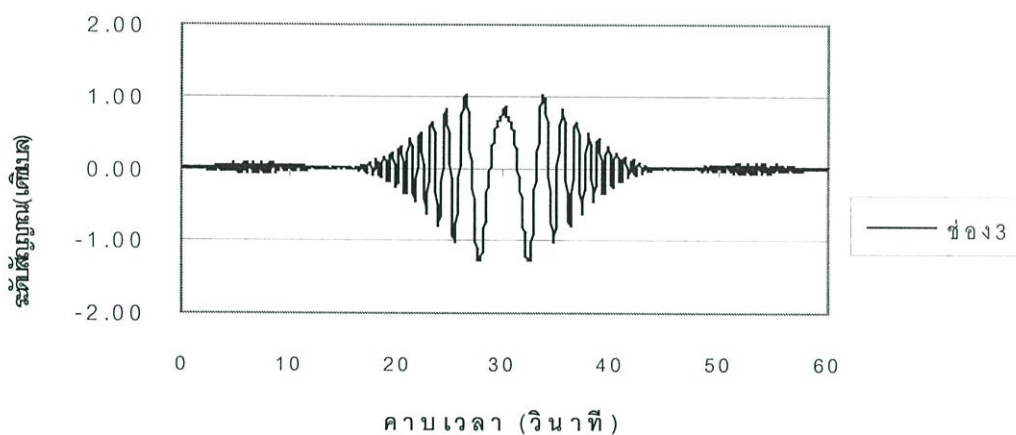
ตารางที่ 5.5 กำหนดพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการคำนวณ

ความถี่คลื่นพาห้ของช่อง 3	f	60.75 MHz
ระยะทางระหว่างเครื่องบินถึงสายอากาศรับ	D_x	22.5 กม.
ความสูงของเครื่องบิน	h	2 กม.
มุมของเส้นทางบิน	ϕ	0 องศา
ส.ป.ส.การสะท้อน	R	10%
ความสูงของสายอากาศส่ง	h_1	230 เมตร
ความสูงของสายอากาศรับ	h_2	15 เมตร

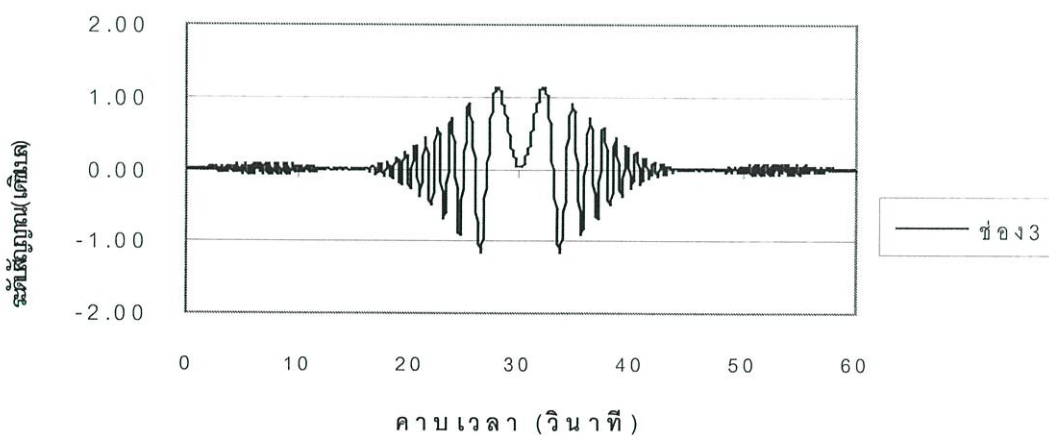
รูปคลื่นที่ได้จากการจำลองในรูปที่ 5.15 (ก) (ข)และ (ค) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับ จากระยะทาง 45 , 80 และ 100 กม. พบว่ารูปคลื่นที่ได้มีลักษณะคล้ายกันและมีระดับสัญญาณและคาบเวลาใกล้เคียงกัน โดยในรูปที่ 5.15 (ก) ที่ระยะทางระหว่างสถานีส่งกับสายอากาศรับ 45 กม.มีระดับสัญญาณเท่ากับ 2.36 เดซิเบล มีคาบเวลาเท่ากับ 27 วินาที รูปที่ 5.15 (ข) ที่ระยะทางระหว่างสถานีส่งกับสายอากาศรับ 80 กม. มีระดับสัญญาณเท่ากับ 2.30 เดซิเบล มีคาบเวลาเท่ากับ 27 วินาที และในรูปที่ 5.15 (ค) ที่ระยะทางระหว่างสถานีส่งกับสายอากาศรับ 100 กม. มีระดับสัญญาณเท่ากับ 2.30 เดซิเบล มีคาบเวลาเท่ากับ 27 วินาที ตามลำดับ



รูปที่ 5.15 (ก) ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับเท่ากับ 45 กม.



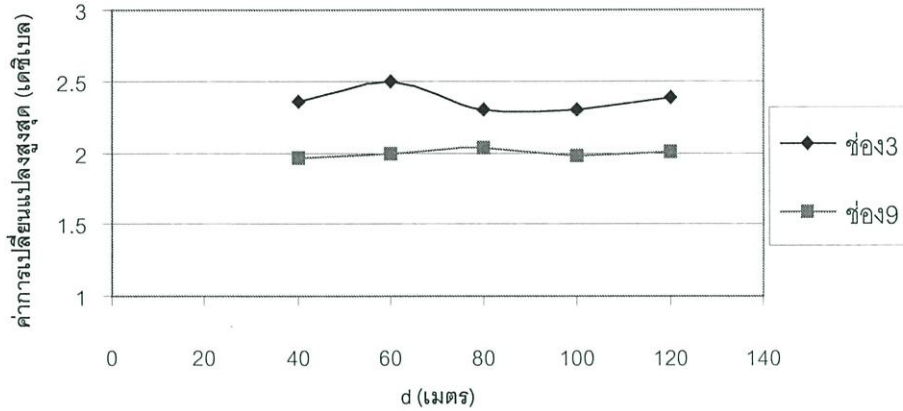
รูปที่ 5.15 (ข) ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับเท่ากับ 80 กม.



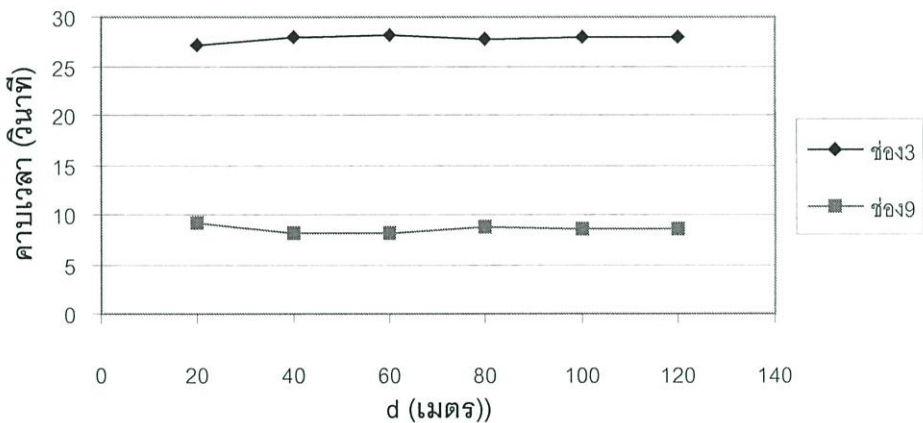
รูปที่ 5.15 (ค) ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับเท่ากับ 100 กม.

รูปที่ 5.15 รูปคลื่นจำลองเมื่อเปลี่ยนระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับ

สามารถเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดและคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นเมื่อเปลี่ยนระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับค่าต่างๆได้จากกราฟในรูปที่ 5.16 และ รูปที่ 5.17 โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณช่อง 3 และช่อง 9



รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดที่ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับ ต่างๆ



รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบคาบเวลาที่ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับ ต่างๆ

จากรูปที่ 5.16 และ 5.17 ผลที่ได้พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดและคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นเมื่อเปลี่ยนระยะทางระหว่างสถานีส่งกับสายอากาศรับค่าต่างๆจากน้อยไปมากมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ช่อง 3 มีคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นนานกว่าช่อง 9 แต่มีค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดใกล้เคียงกัน

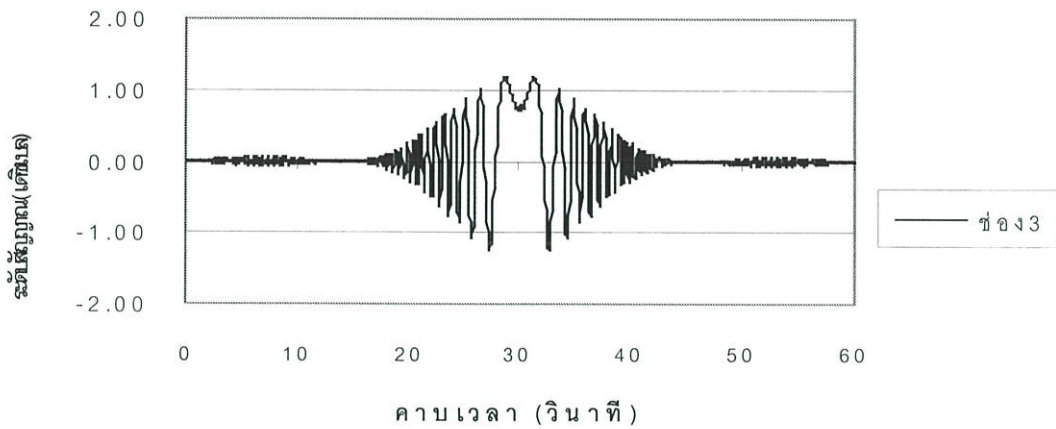
5.2.6 กำหนดให้ค่าความสูงของสายอากาศรับหรือ h_2 เป็นตัวแปร

การเปรียบเทียบรูปคลื่นที่ได้จากการจำลอง ในที่นี้ได้กำหนดให้เปลี่ยนความสูงของสายอากาศรับมี 3 ค่า คือ ที่ความสูง 15 , 30 และ 5 เมตร ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆคงที่ดังตารางที่ 5.6 ในการเลือกใช้ที่ความสูงไม่เกิน 50 เมตร เพราะในความเป็นจริงแล้วหากใช้สายอากาศรับที่มีความสูงมากจะเกิดปัญหาของการสูญเสียจากสายส่งสัญญาณได้

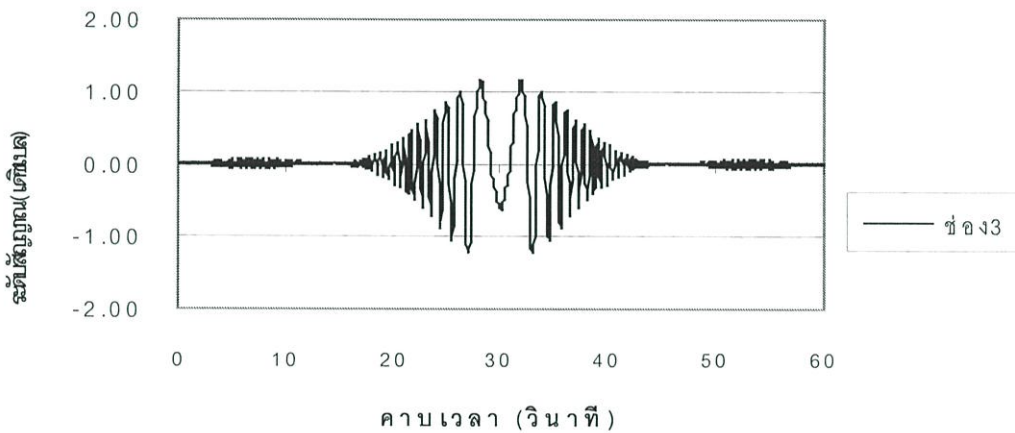
ตารางที่ 5.6 กำหนดพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการคำนวณ

ความถี่คลื่นพาห้ของช่อง 3	f	60.75 MHz
ระยะทางระหว่างเครื่องบินถึงสายอากาศรับ	Dx	22.5 กม.
ความสูงของเครื่องบิน	h	2 กม.
มุมของเส้นทางบิน	ϕ	0 องศา
ส.ป.ส.การสะท้อน	R	10%
ระยะทางระหว่างสถานีส่งถึงสายอากาศรับ	d	45 กม.
ความสูงของสายอากาศส่ง	h_1	230 เมตร

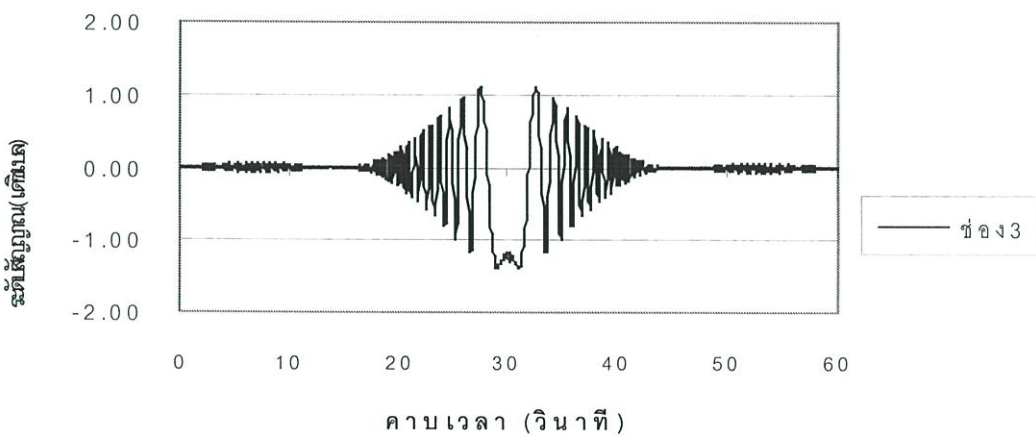
ผลการจำลองรูปคลื่นดังรูปที่ 5.18 (ก) (ข) และ (ค) พบว่ารูปคลื่นที่ได้มีลักษณะคล้ายกันโดยมีระดับสัญญาณที่รับได้และคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นใกล้เคียงกัน โดยในรูปที่ 5.18 (ก) ที่ความสูงของสายอากาศรับ 15 เมตร จะมีระดับสัญญาณเท่ากับ 2.36 เดซิเบล มีคาบเวลาเท่ากับ 27 วินาที รูปที่ 5.18 (ข) ที่ความสูงของสายอากาศรับ 30 เมตร มีระดับสัญญาณเท่ากับ 2.48 เดซิเบล มีคาบเวลาเท่ากับ 27 วินาทีเช่นกัน ส่วนในรูปที่ 5.18 (ค) ที่ความสูงของสายอากาศรับ 50 เมตร มีระดับสัญญาณเท่ากับ 2.49 เดซิเบล มีคาบเวลาเท่ากับ 27 วินาที ตามลำดับ



รูปที่ 5.18 (ก) รูปคลื่นจำลองเมื่อกำหนดให้ความสูงของสายอากาศรับเท่ากับ 5 เมตร

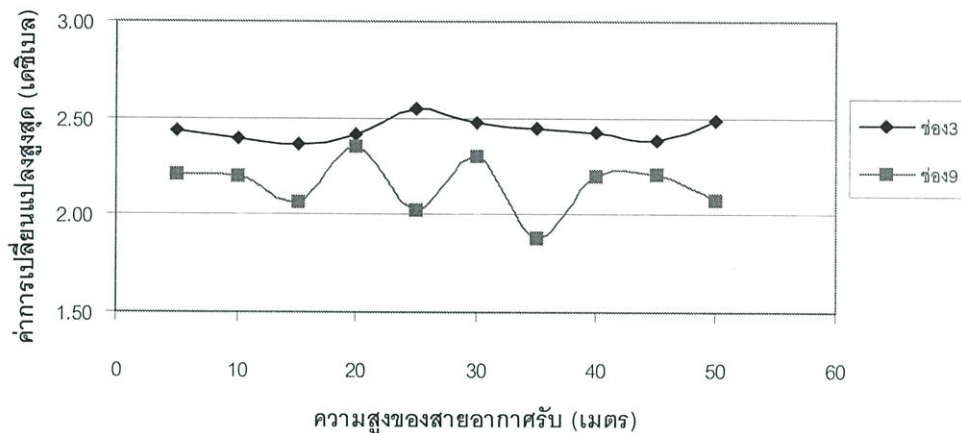


รูปที่ 5.18 (ข) รูปคลื่นจำลองเมื่อกำหนดให้ความสูงของสายอากาศรับเท่ากับ 15 เมตร

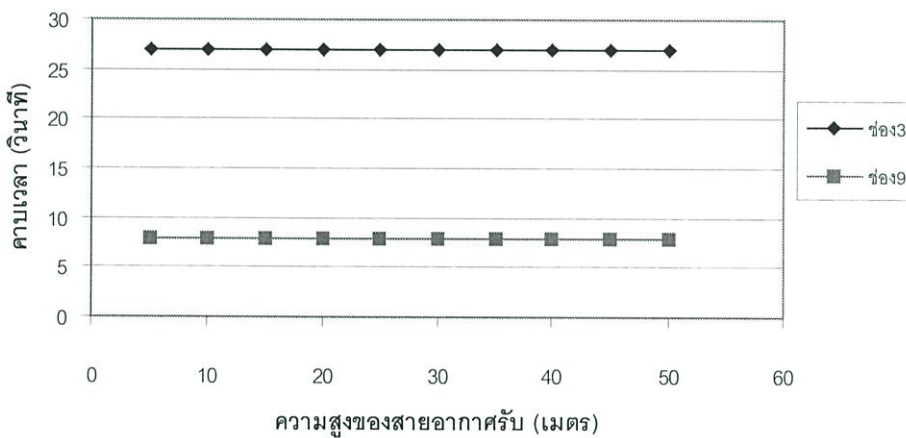


รูปที่ 5.18 (ค) รูปคลื่นจำลองเมื่อกำหนดให้ความสูงของสายอากาศรับเท่ากับ 30 เมตร

ในรูปที่ 5.19 และ 5.20 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของระดับสัญญาณที่รับได้และคาบเวลาเมื่อเปลี่ยนค่าความสูงของสายอากาศด้านรับค่าต่างๆ



รูปที่ 5.19 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของระดับสัญญาณเมื่อเปลี่ยน h_2



รูปที่ 5.20 เปรียบเทียบคาบเวลาเมื่อเปลี่ยนความสูงของเสาอากาศรับ

จากรูปที่ 5.19 และ 5.20 พบว่ามีค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดและคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นเมื่อทำการเปลี่ยนความสูงของสายอากาศรับค่าต่างๆ ใกล้เคียง

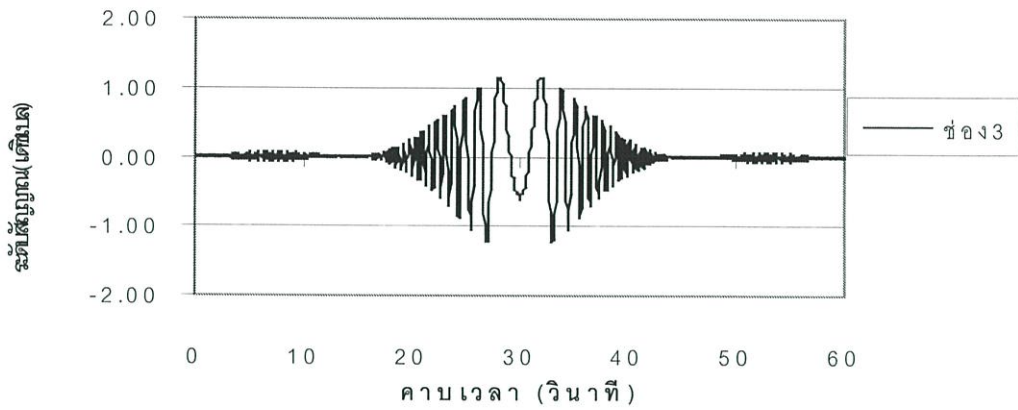
5.2.7 กำหนดให้ความถี่ของสัญญาณหรือ f เป็นตัวแปร

ในที่นี้ได้เปรียบเทียบกับรูปคลื่นที่ได้จากการจำลองโดยการเปลี่ยนตัวแปรคือความถี่ ซึ่งได้ใช้ความถี่ 60.75 MHz หรือช่อง 3 180.75 MHz หรือช่อง 5 194.75 MHz หรือช่อง 7 208.75 MHz หรือช่อง 9 222.75 MHz หรือช่อง 11 และ 540.75 MHz หรือช่อง 29 (ไอทีวี) ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ กำหนดให้คงที่ดังตารางที่ 5.7 ในความเป็นจริงแล้วระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับ (d) ของช่องต่างๆไม่เท่ากันเพราะมีสถานีส่งอยู่ต่างที่กัน ยกเว้นช่อง 3 และช่อง 9 ที่มีสถานีส่งที่เดียวกันคือหนองแขม เพื่อดูความแตกต่างของผลที่ได้เมื่อใช้ความถี่ต่างกันจึงสมมติให้แต่ละช่องมีระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับเท่ากัน โดยใช้ระยะทางเดียวกับช่อง 3 และช่อง 9

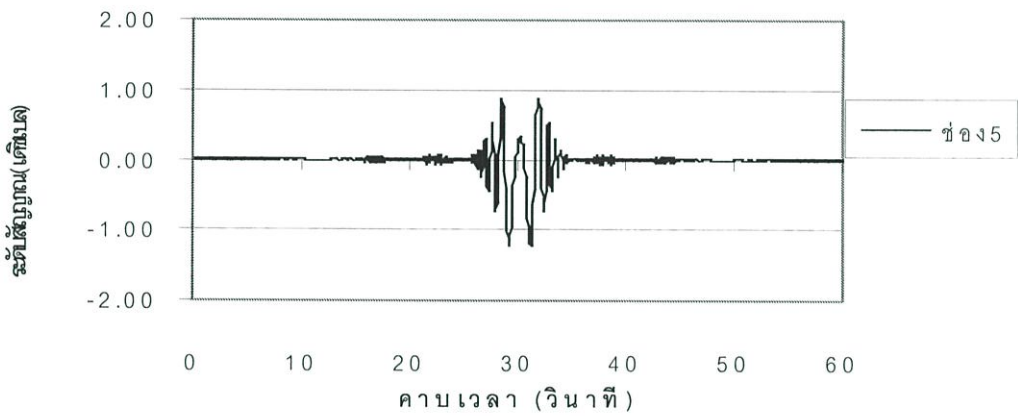
ตารางที่ 5.7 กำหนดพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการคำนวณ

ระยะทางระหว่างเครื่องบินถึงสายอากาศรับ	D_x	22.5 กม.
ความสูงของเครื่องบิน	h	2 กม.
มุมของเส้นทางบิน	ϕ	0 องศา
ส.ป.ส.การสะท้อน	R	10%
ระยะทางระหว่างสถานีส่งถึงสายอากาศรับ	d	45 กม.
ความสูงของสายอากาศรับ	h_2	15 เมตร
ความสูงของสายอากาศส่ง	h_1	230 เมตร

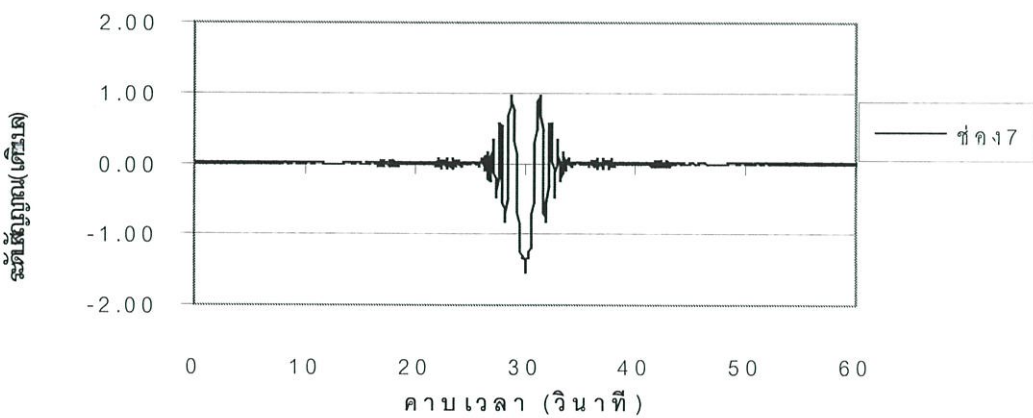
ผลการจำลองรูปคลื่นตามรูปที่ 5.21 (ก) ซึ่งเป็นสัญญาณแบนด์ต่ำหรือสัญญาณช่อง 3 รูปที่ 5.21 (ข) คือสัญญาณช่อง 5 รูปที่ 5.21 (ค) คือสัญญาณช่อง 7 รูปที่ 5.21 (ง) คือสัญญาณช่อง 9 รูปที่ 5.21 (จ) และรูปที่ 5.21 (ฉ) คือสัญญาณช่องที่ 29 หรือช่องไอทีวี ซึ่งเป็นสัญญาณแบนด์สูง พบว่ามีระดับสัญญาณที่รับได้ใกล้เคียงกันแต่มีคาบเวลาต่างกัน โดยสัญญาณช่อง 3 มีคาบเวลามากกว่าสัญญาณช่องอื่นๆ และลดลงตามความถี่ที่มากขึ้น โดยช่อง 29 มีคาบเวลาน้อยที่สุด



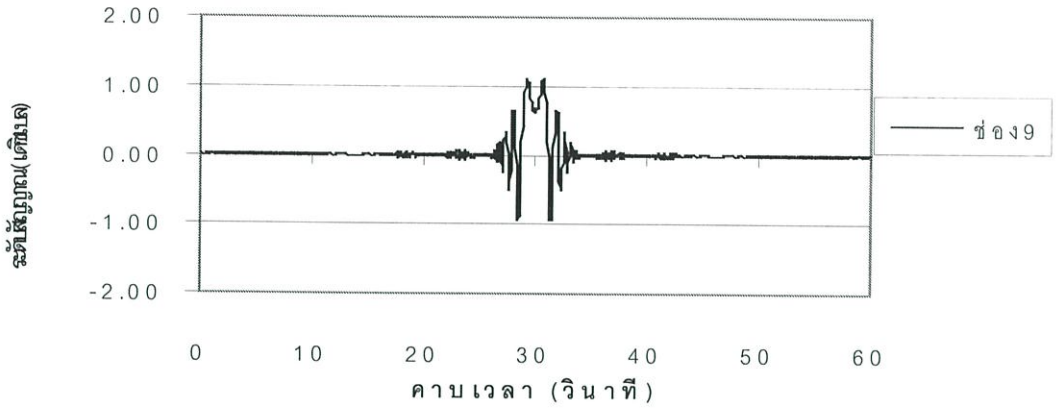
รูปที่ 5.21 (ก) รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้ความถี่ช่อง 3 (60.75 MHz)



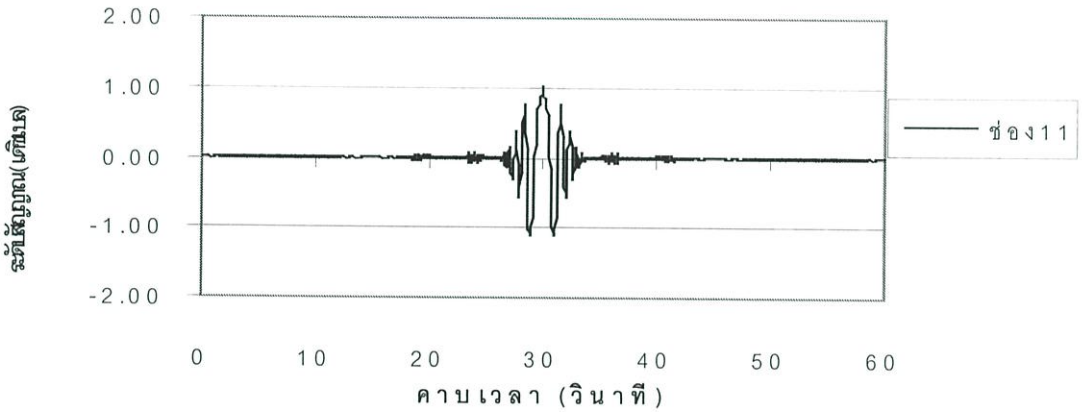
รูปที่ 5.21 (ข) รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้ความถี่ช่อง 5 (180.75 MHz)



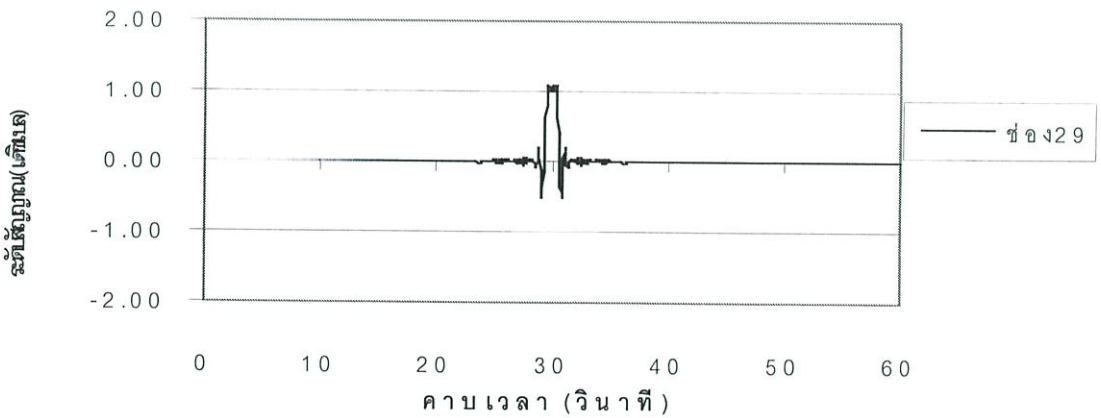
รูปที่ 5.21 (ค) รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้ความถี่ช่อง 7 (194.75 MHz)



รูปที่ 5.21 (ง) รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้ความถี่ช่อง 9 (208.75 MHz)



รูปที่ 5.21 (จ) รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้ความถี่ช่อง 11 (222.75 MHz)



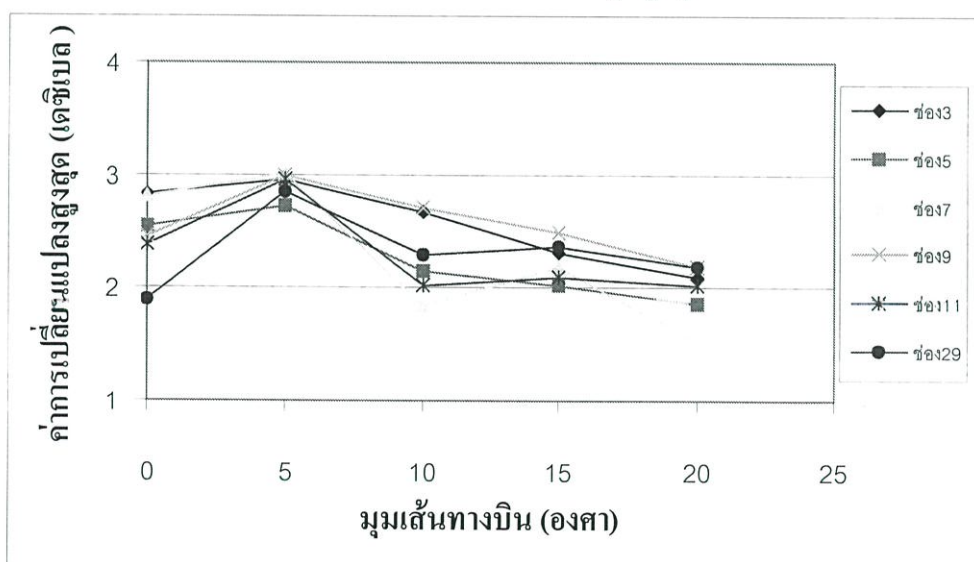
รูปที่ 5.21 (ฉ) รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้ความถี่ช่อง 29 หรือช่องไอทีวี (540.75 MHz)

เมื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของระดับสัญญาณที่รับได้และคาบเวลาของแต่ละช่องเปรียบเทียบกันจะได้ค่าต่างๆดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของระดับสัญญาณที่รับได้และคาบเวลาของแต่ละช่อง

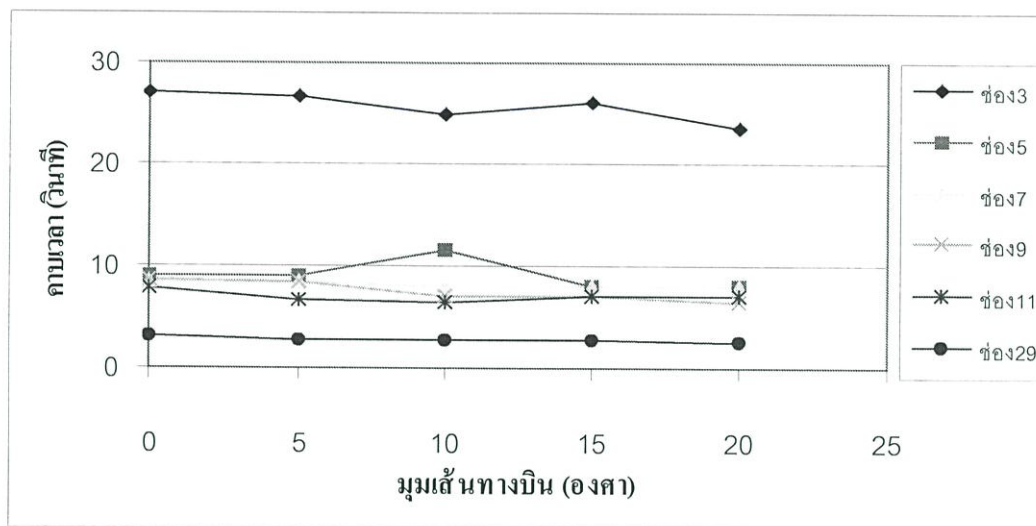
ความถี่	ค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด สูงสุด (เดซิเบล)	คาบเวลา (วินาที)
ช่อง 3 (60.75 MHz)	2.36	27
ช่อง 5 (180.75 MHz)	2.10	10
ช่อง 7 (194.75 MHz)	2.06	9
ช่อง 9 (208.75 MHz)	2.04	8
ช่อง 11 (222.75 MHz)	1.97	7.5
ช่องไอทีวี (540.75 MHz)	1.57	3

จากตารางที่ 5.8 พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกันแต่มีคาบเวลาแตกต่างกัน ซึ่งช่อง 3 มีคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นนานที่สุดและลดลงตามความถี่ที่มากขึ้น โดยที่ช่อง 29 มีคาบเวลาน้อยที่สุด ในรูปที่ 5.22 เป็นการเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของความถี่แต่ละช่อง เมื่อมุมเส้นทางบินเปลี่ยนไป โดยกำหนดให้มีสถานีส่งอยู่จุดเดียวกัน ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆคงที่ พบว่าเมื่อมุมเส้นทางบินมากขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดมีค่าลดลง โดยที่แต่ละช่องความถี่มีค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดใกล้เคียงกัน



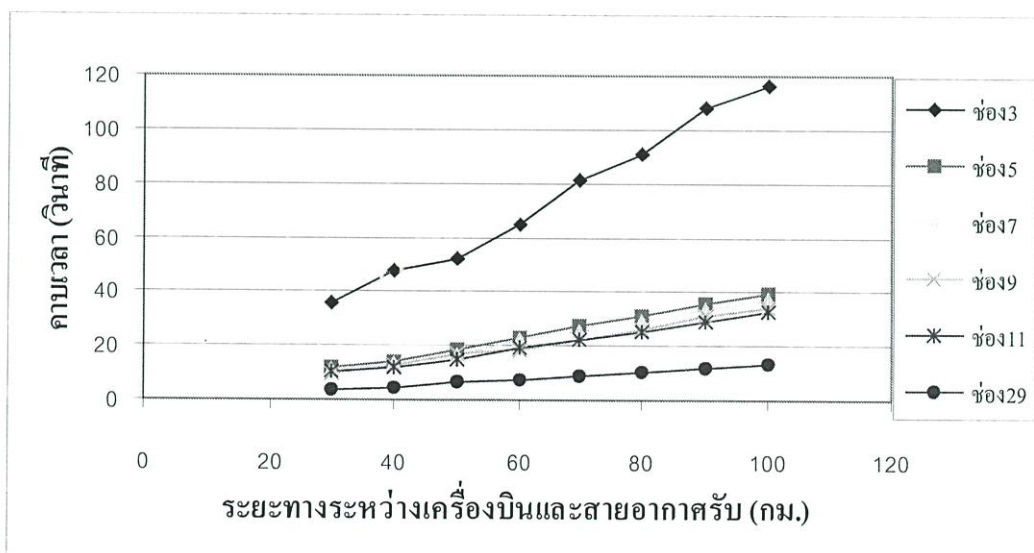
รูปที่ 5.22 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของแต่ละช่องความถี่เมื่อมุมเส้นทางบินเปลี่ยนแปลง

ในรูปที่ 5.23 เป็นการเปรียบเทียบคาบเวลาที่ความถี่ต่างๆเมื่อมุมเส้นทางบินมากขึ้น พบว่าที่ความถี่ต่ำจะมีคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นนานที่สุดและลดลงเมื่อความถี่มากขึ้น ซึ่งจากรูปจะพบว่าความถี่ช่อง 3 มีคาบเวลานานที่สุด ส่วนความถี่ช่อง 29 จะพบว่ามีคาบเวลาน้อยที่สุด



รูปที่ 5.23 เปรียบเทียบคาบเวลาที่ความถี่ต่างๆเมื่อมุมเส้นทางบินเปลี่ยนแปลง

และในรูปที่ 5.24 เป็นการเปรียบเทียบคาบเวลาที่ความถี่ต่างๆเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ จะพบว่าเมื่อระยะทางที่มากขึ้น คาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นก็จะมากขึ้นด้วย โดยที่ช่อง 3 มีคาบเวลานานที่สุดและช่อง 29 มีคาบเวลาน้อยที่สุดดังรูป



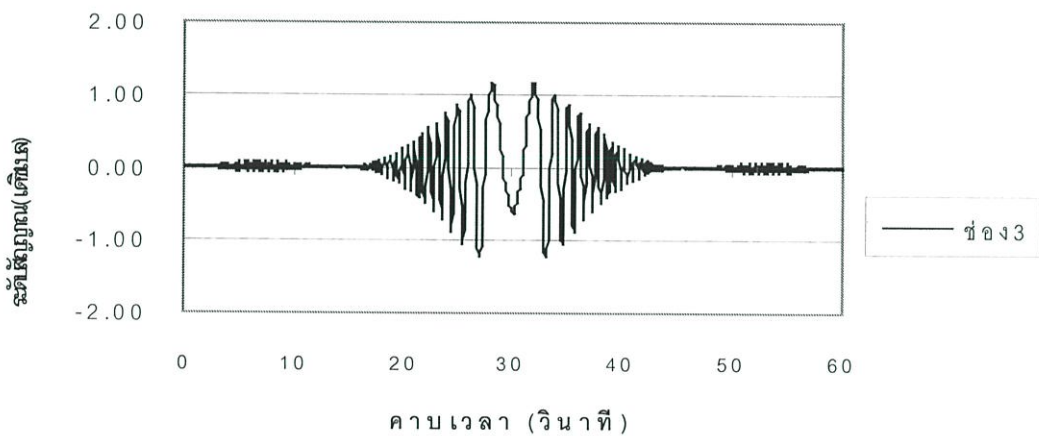
รูปที่ 5.24 เปรียบเทียบคาบเวลาที่ความถี่ต่างๆเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ

5.2.8 เปรียบเทียบระหว่างสายอากาศแบบไดโพลและแบบยาก็

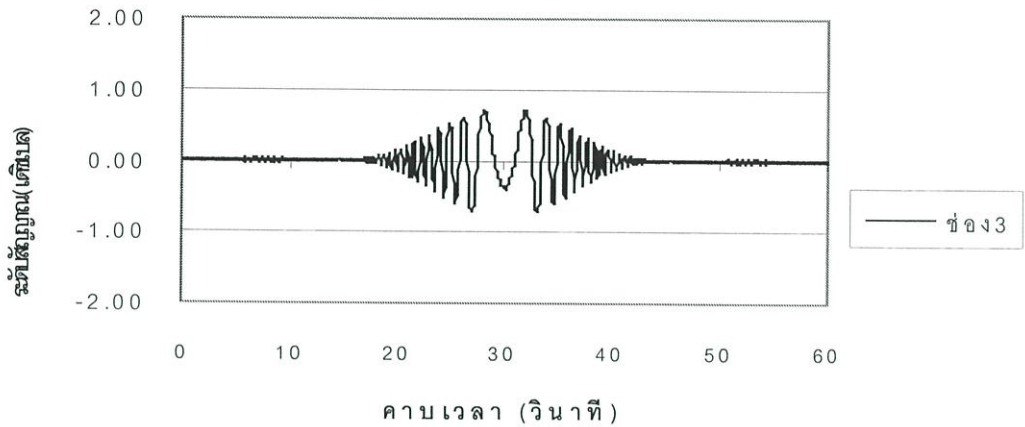
รูปคลื่นที่ได้จากการจำลองเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์ต่างๆดังตารางที่ 5.9 โดยได้เปลี่ยนชนิดของสายอากาศเป็นแบบไดโพลและแบบยาก็ ผลการจำลองได้ดังรูปที่ 5.25 และ 5.26

ตารางที่ 5.9 กำหนดพารามิเตอร์ คงที่ที่ใช้ในการจำลอง

ระยะทางระหว่างเครื่องบินถึงสายอากาศรับ	D_x	22.5 กม.
ความสูงของเครื่องบิน	h	2 กม.
มุมของเส้นทางบิน	ϕ	0 องศา
สัมประสิทธิ์การสะท้อน	R	10%
ระยะทางระหว่างสถานีส่งถึงสายอากาศรับ	d	45 กม.
ความสูงของสายอากาศรับ	h_2	15 เมตร
ความสูงของสายอากาศส่ง	h_1	230 เมตร
ความถี่คลื่นพาห้ของช่อง 3	f	60.75 MHz



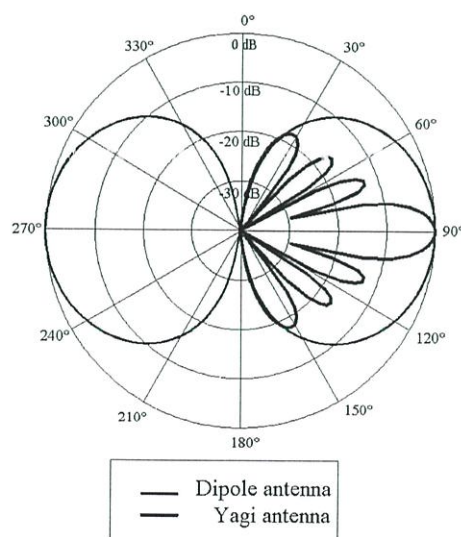
รูปที่ 5.25 รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้สายอากาศแบบไดโพล



รูปที่ 5.26 รูปคลื่นจำลองเมื่อใช้สายอากาศแบบยาคิ

จากผลการจำลองรูปคลื่นที่ได้ดังรูปที่ 5.25 และ 5.26 พบว่าระดับสัญญาณที่รับได้ของสัญญาณช่อง 3 เมื่อใช้สายอากาศแบบไดโพล มีค่าเท่ากับ 2.36 เดซิเบล มีคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นเท่ากับ 27 วินาที และแบบยาคิ มีค่าเท่ากับ 1.42 เดซิเบล มีคาบเวลาเท่ากับ 25 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่าระดับสัญญาณที่รับได้เมื่อใช้สายอากาศแบบไดโพลจะมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้สายอากาศแบบยาคิเท่ากับ 0.94 เดซิเบลและมีคาบเวลานานกว่า 2 วินาที

เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบของการรับสัญญาณของสายอากาศแบบไดโพลและสายอากาศแบบยาคิ ในรูปที่ 5.27 พบว่าสายอากาศแบบยาคิจะมีค่าสภาพเจาะจงทิศทางดีกว่าสายอากาศแบบไดโพล ดังนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศแบบยาคิเทียบกับแบบไดโพล พบว่าจะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดน้อยกว่าและมีคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นน้อยกว่าด้วย โดยจะสามารถดูความแตกต่างได้จากรูปที่ 5.25 และรูปที่ 5.26



รูปที่ 5.27 เปรียบเทียบทิศทางการรับสัญญาณระหว่างสายอากาศแบบไดโพลและแบบยาคิ

จากการจำลองผลกระทบที่มีต่อสัญญาณ โทรทัศน์ขณะมีเครื่องบินบินผ่านเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น โดยได้ทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆและผลที่ได้จากรูปคลื่นจำลองพบว่า

1. ตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดหรือค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดคือ

1.1 ค่าอัตราส่วนระหว่างคลื่นสะท้อนต่อคลื่นตรง หรือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนหรือ ค่า R% ซึ่งจะพบว่าเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมากจะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดมากและถ้าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนน้อยก็จะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสูคน้อยดังรูปที่ 5.3

1.2 มุมเส้นทางบินของเครื่องบินหรือ มุม ϕ พบว่าเมื่อมุมเส้นทางบิน (ϕ) น้อยจะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมาก และจะได้ค่ามากที่สุดที่มุม 0 องศา นั่นคือเส้นทางการบินของเครื่องบินตั้งฉากกับเส้นทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับ แต่ถ้ามุมเส้นทางการบิน (ϕ) มากจะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสูคน้อยดังรูปที่ 5.7 จนกระทั่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงเลยเมื่อมุมเส้นทางการบิน(ϕ) เท่ากับ 90 องศา นั่นคือ เส้นทางการบินของเครื่องบินขนานกับเส้นทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับ

1.3 ชนิดของสายอากาศ ซึ่งก็คือค่าสภาพเงาเชิงทิศทางของสายอากาศ พบว่าสายอากาศแบบไดโพลจะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมากกว่าสายอากาศแบบยาจิก นั่นก็เพราะว่าสายอากาศแบบยาจิกมีค่าสภาพเงาเชิงทิศทางดีกว่าสายอากาศแบบไดโพลนั่นเอง

1.4 เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณช่อง 3 และช่อง 9 พบว่าช่อง 3 มีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมากกว่าช่อง 9

2. ตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นจำลองคือ

2.1 มุมเส้นทางบินของเครื่องบิน ซึ่งพบว่าเมื่อมุมเส้นทางบินหรือ ϕ มีค่าน้อยจะได้คาบเวลามากและเมื่อมุมเส้นทางบิน(ϕ) มากจะได้คาบเวลาน้อยดังรูปที่ 5.8

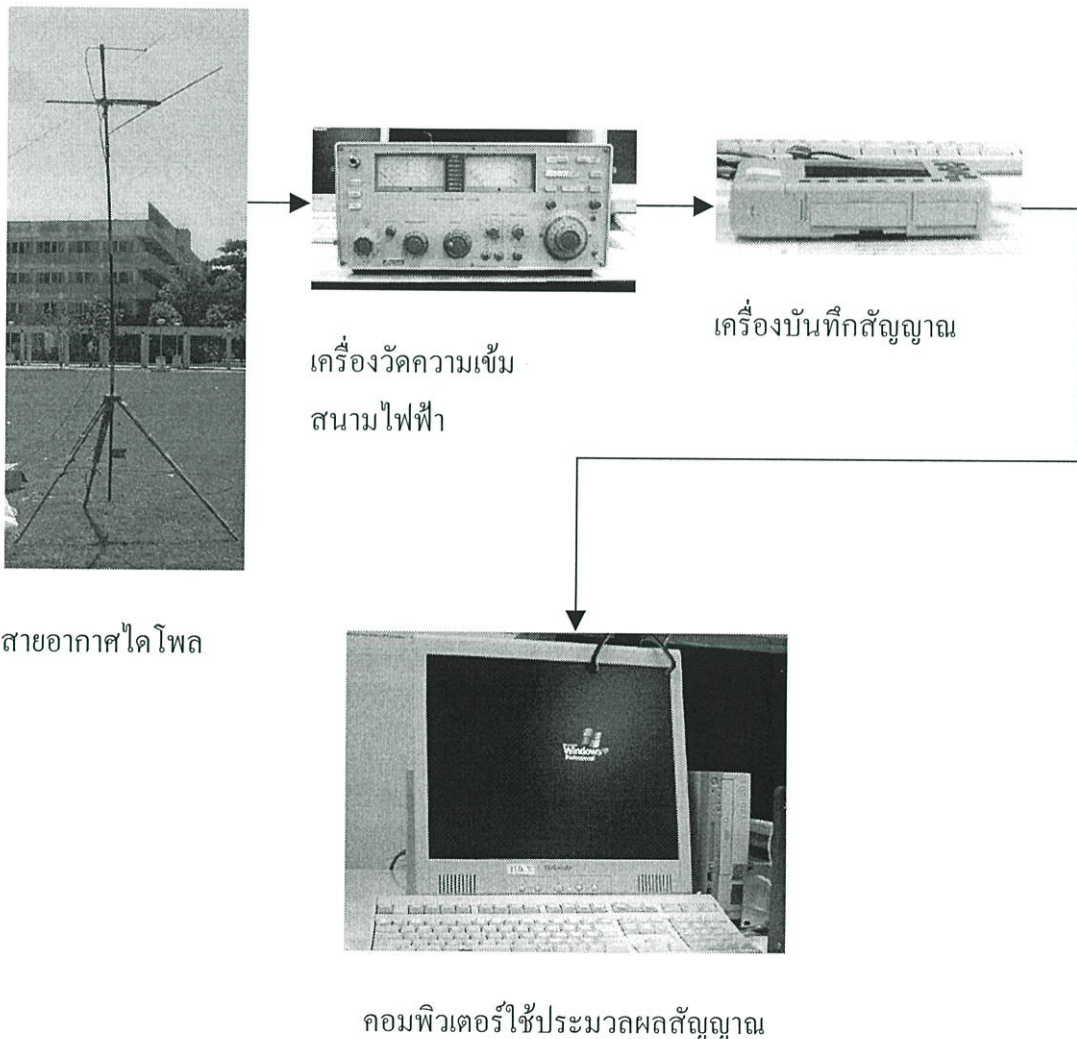
2.2 ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับหรือ Dx พบว่าเมื่อระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับมากจะได้คาบเวลามาก แต่ถ้าระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับน้อย ก็จะได้คาบเวลาน้อยด้วยดังรูปที่ 5.14

2.3 ความถี่ที่ใช้ส่งคลื่นตรงจากสถานีส่ง พบว่าเมื่อใช้ความถี่ต่ำจะได้คาบเวลามากและถ้าใช้ความถี่สูงจะได้คาบเวลาน้อยดังตารางที่ 5.8

2.4 เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณช่อง 3 และช่อง 9 พบว่าช่อง 3 มีคาบเวลาการเกิดรูปคลื่นนานกว่าช่อง 9

5.3 ผลการทดลอง

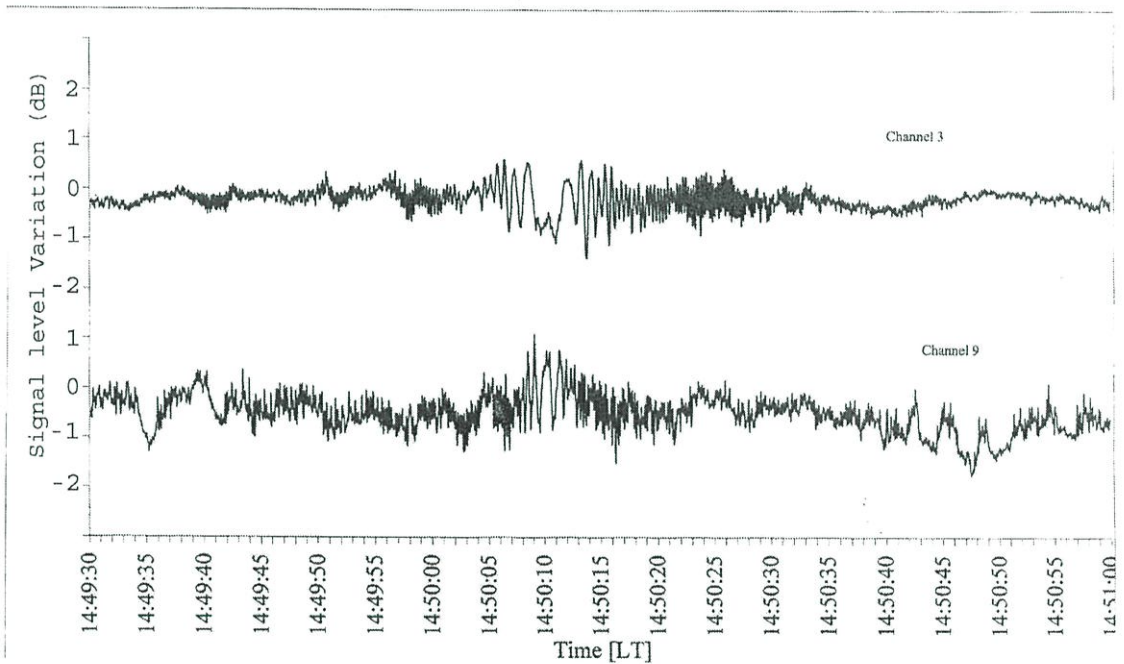
ทำการทดลองโดยใช้ความสูงของสายอากาศรับ 2 เมตร ใช้สายอากาศแบบไดโพล 2 ตัวเป็นสายอากาศรับสัญญาณของช่อง 3 และช่อง 9 นำมาต่อกับเครื่องรับสัญญาณ 2 ชุด ซึ่งสามารถรับได้ทั้งสัญญาณภาพและเสียง แต่เนื่องจากอุปกรณ์ทดลองไม่มีจอภาพจึงไม่สามารถรับสัญญาณภาพได้ ดังนั้นผู้วิจัยได้ทดลองวัดสัญญาณเสียงแทน โดยใช้เครื่องทดสอบความเข้มสนามไฟฟ้า (field strength meter) ยี่ห้อ Anritsu รุ่น ML521B และ รุ่น ML512A ต่อที่ภาคควบคุมการขยายโดยอัตโนมัติ (automatic gain control :AGC) แล้วจึงต่อเข้ากับเครื่องบันทึกสัญญาณ (data recorder) ยี่ห้อ Keyence รุ่น NR-2000 และประมวลผลสัญญาณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล



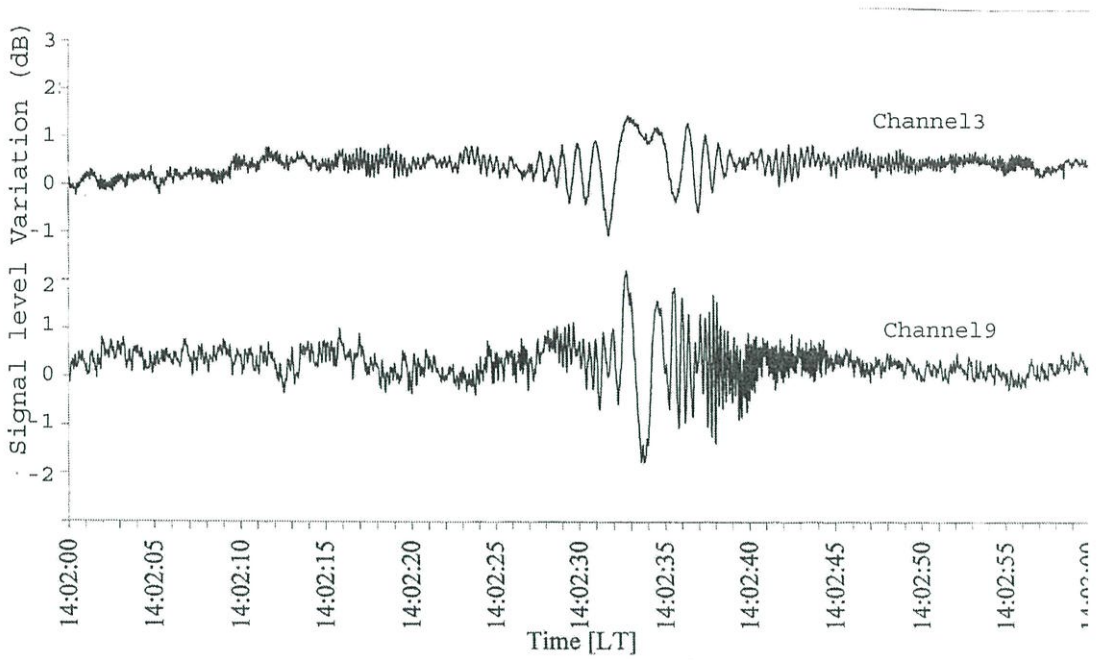
รูปที่ 5.28 อุปกรณ์การทดลองทดสอบสัญญาณโทรทัศน์

5.3.1 ผลการทดสอบความแรงสนามไฟฟ้าสัญญาณโทรทัศน์

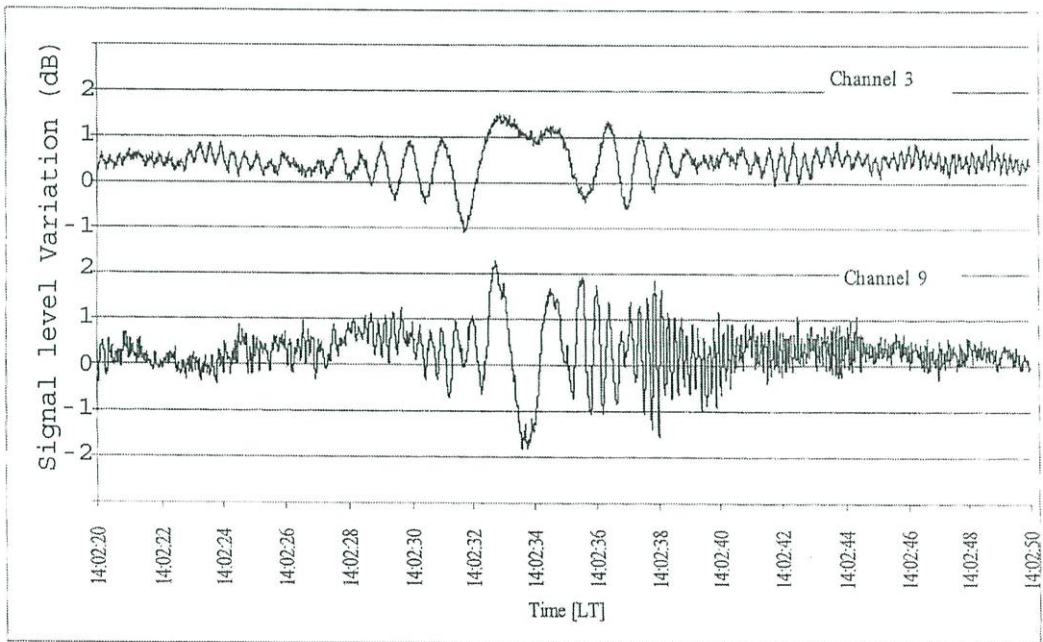
ได้ทำการทดลองสัญญาณที่ระยะ 1 กิโลเมตรจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดังนั้นระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับซึ่งมีระยะทางเท่ากับ 45 กิโลเมตร ความสูงของสายอากาศรับเท่ากับ 2 เมตร ความถี่ส่งคือสัญญาณช่อง 3 และช่อง 9 โดยเลือกใช้สัญญาณเสียงที่ความถี่ 60.75 MHz และ 208.75 MHz ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ ได้แก่ ความสูงของเครื่องบิน (h) ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ (Dx) มุมเส้นทางบินของเครื่องบิน (ϕ) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (R%) เป็นการประมาณค่าจากการสังเกต



รูปที่ 5.29 ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระหว่างช่อง 3 และ ช่อง 9



รูปที่ 5.30 ผลการทดสอบสัญญาณโทรศัพท์ระหว่างช่อง 3 และ ช่อง 9



รูปที่ 5.31 ผลการวัดสัญญาณโทรศัพท์ระหว่างช่อง 3 และ ช่อง 9

จากผลการทดลองที่ได้ในรูปที่ 5.29 ถึงรูปที่ 5.31 สามารถประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดและคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นได้ดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดและคาบเวลาของสัญญาณ

ช่อง 3 และช่อง 9

รูปที่	ช่องสัญญาณ โทรทัศน์	ค่าการเปลี่ยนแปลง แอมพลิจูดสูงสุด(เดซิเบล)	คาบเวลา (วินาที)
5.29	ช่อง 3	2	18
	ช่อง 9	2	8
5.30	ช่อง 3	2.5	14
	ช่อง 9	4	11
5.31	ช่อง 3	2.3	13
	ช่อง 9	2.8	7

ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า รูปคลื่นมีลักษณะคล้ายคลื่นรูปซายน์มีการแกว่งตัวขึ้นลงจากค่าน้อยๆ ไปจนถึงค่าสูงสุดหรือต่ำสุดแล้วค่อยๆ ลดลงสู่สภาวะปกติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณช่อง 3 และช่อง 9 พบว่ามีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดใกล้เคียงกัน แต่คาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นนั้นสัญญาณช่อง 3 มีคาบเวลานานกว่าช่อง 9

5.4 ผลการเปรียบเทียบระหว่างรูปคลื่นที่ได้จากการจำลองและรูปคลื่นที่ได้จากการ

ทดลอง

ในการจำลอง เราสามารถกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แน่นอนแต่สำหรับผลการทดลองมีปัจจัยจากสิ่งแวดล้อม ทำให้อาจเกิดความผิดพลาดในการทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ พารามิเตอร์เหล่านี้คือ มุมเส้นทางบินของเครื่องบิน ระดับความสูงของเครื่องบิน ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน และจากผลการทดลองยังมีสัญญาณรบกวนต่างๆ ที่เราไม่สามารถกำจัดได้เช่น สัญญาณรบกวนจากสายนำสัญญาณ สัญญาณรบกวนจากสภาพภูมิประเทศหรือสิ่งก่อสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น เป็นต้น ทำให้ผลการทดสอบมีสัญญาณรบกวนเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งผลจากการทดลองในการหาคาบเวลาในการเกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดแบบครึ่งคาบนี้ สามารถดูได้จากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดซึ่งจะแตกต่างจากสภาวะปกติและมีระดับการแกว่งสัญญาณค่อนข้างสม่ำเสมอ รูปคลื่นจะมีลักษณะเป็นรูปแบบ และเป็นที่น่าสังเกตว่าค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณช่อง 3 และช่อง 9 จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการจำลองและจากการทดลองพบว่า มีลักษณะคล้ายกัน และสัญญาณช่อง 3 มีคาบเวลานานกว่าช่อง 9

5.5 สรุปผล

ผลจากการจำลองและผลจากการทดลองพบว่ารูปคลื่นที่ได้มีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบที่คล้ายกันคือ มีลักษณะของสัญญาณรูปซายน์ที่มีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดจากค่าน้อยๆไปจนถึงค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดแล้วค่อยๆกลับลดลงจนเข้าสู่สภาวะปกติอีกครั้ง ในการจำลองผลกระทบที่มีต่อสัญญาณโทรทัศน์ขณะมีเครื่องบินบินผ่านเส้นทางแพร่กระจายคลื่นพบว่ามีความแปรปรวนต่างๆเข้ามาเกี่ยวข้องและมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบคือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน มุมเส้นทางบินของเครื่องบิน ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ ความถี่ที่ใช้ส่งสัญญาณ และชนิดของสายอากาศ แต่จากการทดลองเราไม่สามารถกำหนดค่าตัวแปรเหล่านี้ได้ยกเว้นความถี่ที่ใช้ส่งสัญญาณ และชนิดของสายอากาศ ดังนั้นจึงเป็นเพียงการประมาณค่าคร่าวๆเท่านั้น ซึ่งผลจากการจำลองและผลจากการทดลองพบว่าสัญญาณช่อง 3 มีความยาวการเกิดรูปคลื่นนานกว่าช่อง 9 แต่มีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเป็นผลให้สัญญาณโทรทัศน์ของช่อง 3 มีคุณภาพลดลงเนื่องจากถูกรบกวนจากเครื่องบินที่บินผ่านได้มากกว่าสัญญาณช่อง 9

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง

ในการคำนวณด้วยแบบจำลองเราสามารถกำหนดตัวแปรต่างๆได้ อีกทั้งในแบบจำลองกำหนดเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นในอวกาศว่าง (Free space) บนพื้นเรียบ ดังนั้นจึงไม่เกิดการสูญเสียเนื่องจากสถานะอากาศที่เป็นผลทำให้เกิดการรบกวนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ อีกทั้งสภาพภูมิประเทศ ติกอากาศ สิ่งปลูกสร้างก็ไม่มีผล กล่าวคือในการจำลองไม่คิดการสูญเสียใดๆ ดังนั้นผลการจำลองรูปคลื่นจึงขึ้นกับตัวแปรต่างๆเพียงอย่างเดียวซึ่งได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ มุมเส้นทางบินของเครื่องบิน ความถี่ส่ง และชนิดของสายอากาศหรือขึ้นอยู่กับค่าสภาพเงาบังทิศทางของสายอากาศนั่นเอง ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดคือ สัมประสิทธิ์การสะท้อน มุมเส้นทางบิน และชนิดของสายอากาศ โดยที่ค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดจะแปรผันตามค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแต่ผกผันกับมุมเส้นทางบินของเครื่องบิน อีกทั้งยังขึ้นกับประสิทธิภาพของสายอากาศด้วย ส่วนตัวแปรที่มีผลต่อคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นคือ ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ มุมเส้นทางบิน และความถี่ส่ง โดยที่คาบเวลาในการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบนี้จะแปรผันตามระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับแต่ผกผันกับมุมเส้นทางบินของเครื่องบินและความถี่คลื่นพาห์จากสถานีส่ง เมื่อทำการเปรียบเทียบรูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับรูปคลื่นที่ได้จากการทดลองของสัญญาณช่อง 3 และช่อง 9 โดยกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆเท่ากันคือ มีความสูงของสายอากาศรับเท่ากับ 2 เมตร ความสูงของเครื่องบินเท่ากับ 1 กิโลเมตร ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสายอากาศรับเท่ากับ 45 กิโลเมตร ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับเท่ากับ 22.5 กิโลเมตร มุมเส้นทางบินเท่ากับ 0 องศา มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ และใช้สายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศรับ พบว่าได้ลักษณะรูปคลื่นคล้ายกัน ซึ่งรูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองของสัญญาณช่อง 3 จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2.6 เดซิเบล และมีคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นนานเท่ากับ 27 วินาที ส่วนผลที่ได้จากการทดลองจะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2 เดซิเบล และมีคาบเวลาเท่ากับ 18 วินาที และผลการคำนวณด้วยแบบจำลองของสัญญาณช่อง 9 พบว่าได้ค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2 เดซิเบล และได้คาบเวลาเท่ากับ 8 วินาที ส่วนผลที่ได้จากการทดลองจะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2 เดซิเบล และคาบเวลาเท่ากับ 8 วินาที ซึ่งจะพบว่าผลที่ได้จากการจำลองและจากการทดลองของสัญญาณช่อง 3 และช่อง 9 มีค่าใกล้เคียงกัน

โดยที่สัญญาณช่อง 3 มีค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดใกล้เคียงกับสัญญาณช่อง 9 แต่มีคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นนานกว่า

6.2 สรุปผลจากการทดลอง

ผลจากการทดลอง พบว่าขณะมีเครื่องบินบินผ่าน เครื่องบันทึกได้ทำการบันทึกผลโดยแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์จะพบการแกว่งขึ้นลงของสัญญาณช่อง 3 และ ช่อง 9 ได้อย่างชัดเจน คือมีการแกว่งด้วยค่าแอมพลิจูดที่สูงขึ้นหรือต่ำลงกว่าสภาวะปกติดังจะเห็นได้จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 5.3 ลักษณะเป็นไปตามความหมายของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบ หรือ quasi-periodic fading แต่สภาวะปกติจะไม่เป็นเส้นตรงเหมือนผลที่ได้จากการจำลอง เนื่องจากในสภาวะจริงมีสัญญาณรบกวนเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น สภาพอากาศ สภาพภูมิประเทศ ตึกอาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดสัญญาณรบกวนแทรกเข้ามามีผลต่อสัญญาณที่รับได้จากเครื่องรับรวมทั้งการสูญเสียเนื่องจากสายนำสัญญาณที่ต่อจากสายอากาศรับมายังเครื่องรับ ซึ่งในการทดลองได้ใช้สายนำสัญญาณให้สั้นที่สุดและเลือกใช้สายโคแอกเซียลที่มีชิลด์เพื่อลดการสูญเสีย ในการใช้สายอากาศ สำหรับการคำนวณแล้ว ช่อง 3 ซึ่งใช้ความถี่เท่ากับ 60.75 MHz มีความยาวคลื่นเท่ากับ 4.9 เมตร และช่อง 9 ที่ใช้ความถี่เท่ากับ 208.75 MHz มีความยาวคลื่นเท่ากับ 1.43 เมตร สายอากาศจะมีความยาวของก้านรับคลื่นเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$ ดังนั้นจะต้องใช้สายอากาศช่อง 3 ที่มีก้านยาวถึง 2.50 เมตร ในขณะที่ช่อง 9 ใช้ 70 เซนติเมตร เราจะพบว่าในสภาวะปกติยังคงมีสัญญาณรบกวนเข้ามาเกี่ยวข้องดังจะเห็นได้จากการแกว่งตัวขึ้นลงแบบทันทีทันใดซึ่งบางช่วงแอมพลิจูดมีค่าสูงมาก แต่บางช่วงกลับมีค่าต่ำมากแต่จะไม่ใช่ในรูปแบบเหมือนการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบ ซึ่งจะพบว่าสัญญาณช่อง 3 และช่อง 9 มีค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสูงสุดใกล้เคียงกันแต่ช่อง 3 มีคาบเวลาในการเกิดรูปคลื่นนานกว่า ดังนั้นขณะที่มีเครื่องบินบินผ่านเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณโทรทัศน์ของช่อง 3 ซึ่งเป็นช่องความถี่ต่ำจะถูกรบกวนได้ง่ายกว่าช่อง 9 ซึ่งเป็นช่องความถี่สูง ซึ่งสัญญาณช่อง 9 ก็ถูกรบกวนจากเครื่องบินเช่นกันแต่เนื่องจากระยะเวลาในการถูกรบกวนเป็นเพียงช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นสัญญาณภาพโทรทัศน์ที่รับได้จึงอาจเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ไม่ชัดเจนเท่าสัญญาณช่อง 3 ซึ่งในหลายจังหวัดที่รับสัญญาณโทรทัศน์ด้วยช่องความถี่ต่ำคือช่อง 2 หรือ ช่อง 4 ก็จะพบปรากฏการณ์นี้เช่นเดียวกัน

6.3 ข้อเสนอแนะ

ผลจากการคำนวณด้วยแบบจำลองเมื่อเปลี่ยนความถี่ทุกช่อง พบว่าที่ช่องความถี่สูงจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบน้อยกว่าช่องความถี่ต่ำ ดังนั้นที่ช่องความถี่สูงจึงได้รับผลกระทบน้อยกว่าเมื่อมีการส่งกระจายเสียงและภาพโทรทัศน์ การแก้ปัญหาอย่างถาวรคือ

ใช้ความถี่สูงในการส่งจะทำให้ได้คุณภาพสัญญาณที่ดีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบอาจไม่เกิดขึ้น แต่ในกรณีของผู้รับชมภาพและเสียงโทรทัศน์ เมื่อพิจารณารูปคลื่นที่ได้จากผลการจำลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆคือ สัมประสิทธิ์การสะท้อน มุมเส้นทางบิน ระยะทางระหว่างเครื่องบินและสายอากาศรับ มุมเส้นทางบิน ความถี่ส่ง และชนิดของสายอากาศ ซึ่งจะพบว่าเราไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดตัวแปรเหล่านี้ได้ยกเว้นชนิดของสายอากาศเพียงอย่างเดียว ดังนั้นสายอากาศจึงเป็นสิ่งที่เราสามารถปรับปรุงแก้ไขได้เพื่อให้การรับสัญญาณโทรทัศน์มีคุณภาพดีขึ้นเพื่อลดปัญหาที่เกิดจากปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบบครึ่งคาบที่มีสาเหตุจากเครื่องบิน มีวิธีการดังต่อไปนี้คือ

วิธีที่ 1 ใช้สายอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง สายอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง คือ การรับสัญญาณจากด้านหลังและด้านข้างของสายอากาศเป็นศูนย์ หรือก็คือมีอัตราส่วนค่าคลื่นด้านหน้าต่อค่าคลื่นด้านหลังสูง ซึ่งจะบอกความสามารถที่สายอากาศรับสัญญาณส่วนด้านหน้ากับไม่รับส่วนด้านหลังของสายอากาศ ทำให้มีอัตราขยายสูงและมีลักษณะการรับสัญญาณเพียงทิศทางใดทิศทางหนึ่งซึ่งจะช่วยทำให้ประสิทธิภาพของการรับสูงขึ้นและสามารถขจัดสัญญาณรบกวนที่มาจากที่อื่นหรือมาจากการสะท้อนของสัญญาณได้ ซึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสายอากาศนั้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนก้าน (Element) ให้กับสายอากาศเพื่อให้มีค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูงขึ้น

วิธีที่ 2 การใช้สายนำสัญญาณที่มีคุณภาพ เช่น สายโคแอกเชียล สายชนิดนี้จะมีแท่งตัวนำลวดทองแดงอยู่บริเวณตรงกลางสายแล้วหุ้มฉนวนจำพวกโพลีเอทิลีน มีแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์เพื่อใช้ในการชิลด์ก่อนที่จะหุ้มด้วยฉนวนครั้งสุดท้ายโดยใช้เส้นลวดสานหุ้มรอบแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์เป็นการชิลด์อีกครั้งซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวชิลด์ไม่ให้สัญญาณรบกวนเข้าไปได้ ก่อนที่จะหุ้มด้วยฉนวนรอบนอกอีกครั้ง ข้อเสียคือสายโคแอกเชียลจะมีราคาค่อนข้างแพง อย่างไรก็ตามในการเลือกใช้สายนำสัญญาณต้องพิจารณาอิมพีแดนซ์ของสายว่าแมทช์กับอินพุทของเครื่องรับโทรทัศน์และยังต้องแมทช์พอดีกับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วย

วิธีที่ 3 คือ ใช้เครื่องขยายสัญญาณหรือบูสเตอร์ เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณจากสายอากาศให้มีขนาดใหญ่ขึ้นก่อนแล้วจึงป้อนเข้าไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ ควรติดตั้งให้ใกล้กับสายอากาศให้มากที่สุดเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นที่สาย บูสเตอร์มีหลายชนิด บางชนิดเป็นบูสเตอร์เลือกความถี่คือใช้ขยายสัญญาณความถี่ใดความถี่หนึ่ง บางชนิดสามารถนำไปใช้ในการขยายสัญญาณได้กว้างเป็นบูสเตอร์ความถี่ช่วงกว้าง จึงต้องเลือกชนิดของบูสเตอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ของบูสเตอร์ต้องแมทช์กับอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณและสายอากาศรับด้วย

วิธีที่ 4 คือ วิธีสแตค (stack) สายอากาศ เป็นการเพิ่มอัตราขยายโดยการรวมเอาที่พู่ของสายอากาศสองชุดหรือมากกว่านั้น ถ้าจำนวนสายอากาศเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ค่าอัตราขยายในทางทฤษฎีจะเพิ่ม

มากกว่าเดิม 3 เดซิเบล ตัวอย่างเช่น เมื่อใช้สายอากาศ 2 ชุด จะเพิ่มค่าอัตราขยายอีก 3 เดซิเบล หากเมื่อใช้สายอากาศแบบเดียวกัน 4 ชุด จะเพิ่มค่าอัตราขยายเป็น 6 เดซิเบล สิ่งที่จะต้องพิจารณาร่วมด้วยคือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสอง เพราะถ้าเราติดตั้งด้วยระยะห่างที่ถูกต้อง จะให้ค่าอัตราขยายได้สูงสุดและได้รูปแบบโพลาไรซ์แพทเทิร์นที่เราต้องการด้วยนั่นก็คือ หากระยะห่างไกลเกินไปไปจะทำให้เกิดการรบกวนการทำงานระหว่างสายอากาศทั้งสอง หรือถ้าหากระยะห่างใกล้เกินไปไปรูปโพลาไรซ์แพทเทิร์นจะมีลำคลื่นด้านข้างมากเกินไปทำให้รับสัญญาณที่ไม่ต้องการเข้ามาด้วย

วิธีที่ 5 คือใช้ฟิลเตอร์ หรืออุปกรณ์กรองสัญญาณ ทำหน้าที่กรองความถี่ของสัญญาณการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบ ซึ่งเป็นความถี่ที่ไม่อยู่ในช่วงที่ต้องการออกไป

วิธีที่ 6 คือ การใช้ตัวสะท้อน (Reflector) ติดตั้งบนสายอากาศเพื่อสะท้อนสัญญาณที่ไม่ต้องการหรือสัญญาณที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบออกไป

6.4 แนวทางในการพัฒนา

ในการออกแบบการจำลองผลกระทบที่มีต่อสัญญาณโทรทัศน์ขณะมีเครื่องบินบินผ่าน ผู้วิจัยได้ออกแบบโดยสมมติให้เส้นทางการแพร่กระจายคลื่นเกิดในอากาศว่างบนพื้นเรียบซึ่งจะไม่มีผลกระทบจากสิ่งกีดขวางใดๆนอกจากเครื่องบินอีกทั้งไม่คิดความโค้งของโลก ทั้งยังไม่คิดค่าสภาวะเงาเงทิสทางของสายอากาศส่ง รวมทั้งการสูญเสียเนื่องจากสายนำสัญญาณซึ่งมีผลต่อสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากการผลรวมของคลื่นตรงกับคลื่นสะท้อนเพื่อให้ได้รูปคลื่นจำลองที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด และยังสามารถจำลองฟิลเตอร์เพื่อกรองความถี่ของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนออกไป โดยที่เราจะต้องรู้ความถี่สัญญาณประเภทนี้เพื่อจะได้สร้างวงจรเพื่อกรองความถี่ทั้งหมดออกไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] นิภา ลีลารุจิ “ปรากฏการณ์ เบี่ยงเบนคลื่นแบบกึ่งพีเรียคในสัญญาณโทรทัศน” วิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2540
- [2] J. I. Glaser. “Bistatic RCS of Complex Objects Near Forward Scatter ” IEEE Transaction On Aerospace and Electronic System ,vol.AES-21 , No. 1 January 1985 pp.70-78
- [3] R. E Collin. **Antenna and Radiowave Propagation**. MC- Graw – Hill , 1985.
- [4] D.J. Rasch and E. Essex. “Quasi – periodic scintillation events at southern auroral latitudes” Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics. Vol.56, No.8, pp949-960, 1994
- [5] L.A. Hajkowicz. “Multi- station of an ionospheric quasiperiodic scintillation event.”, 1993
- [6] L.A. Hajkowicz. “ Possible ambiguity in defining the ionospheric origin of quasiperiodic scintillation”. Journal of Atmospheric and Solar – Terrestrial Physics, Vol. 59 No.12, pp 1417-1423, 1997
- [7] อภินันท์ มัชฌานนท์. **การเดินทางของคลื่นวิทยุ**. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2527.
- [8] P. F. Panter. **Communication Systems Design : Line-of - sight and Tropo- scatter Systems**. United State of America. McGraw- Hill, 1972
- [9] J. Griffiths. **Radio wave propagation and antennas**. United kingdom. Prentice- Hall International. 1987
- [10] J. Das . “On the properties of elevated layers over calcutta and its effect on VHF propagation” 1989
- [11] นิภา ลีลารุจิ “ Relation Between Quasi – Periodic Level Fluctuation and Plane Flight on Television Broadcast signals in Thailand” Proc. Of Thai 1997 Thailand – Japan Symposium on Antennas and Propagation (TJSAP’97) , May 21-22, 1997 Bangkok.
- [12] S. Shibuya. **A Basic Atlas of Radio – Wave Propagation**. Canada. John Wiley & Sons , 1987
- [13] C. A. Balanis **Antenna Theory Analysis and Design**. Canada . John wiley & Sons , 1997
- [14] ยืน ภู่วรวรรณ **เทคนิคการออกแบบและติดตั้งสายอากาศโทรทัศน- เอฟเอ็ม** กรุงเทพฯ ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด 2541

- [15] Eugene F. Knott **Radar Cross Section Measurements**. United States of America. Van Nostrand Reinhold , 1993
- [16] Bassem R. Mahafza **Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB**. United States of America. Chapman & Hall/CRC , 2000
- [17] S.A. Hovanessian **Radar System design and analysis**. Artech House , INC , 1984

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรม Mathcad ที่ใช้ในการคำนวณด้วยแบบจำลอง

$$n := 0..9 \quad j := \sqrt{-1} \quad f := 60.75 \cdot 10^6 \quad \lambda := 3 \cdot \frac{10^8}{f}$$

$$x := -3000, -2990..3000 \quad \theta := 0 \text{deg} \quad R := \frac{10}{100} \quad j := \sqrt{-1}$$

$$dx := 22.5 \cdot 10^3 \quad h := 2000 \quad h1 := 230 \quad h2 := 15 \quad d := 45 \cdot 10^3$$

$$\zeta(x) := \frac{\pi}{2} - \text{atan}\left(\frac{x \cdot \cos(\theta)}{dx + x \cdot \sin(\theta)}\right)$$

$$DAd(x) := 1.64 \left(\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \cos(\zeta(x))\right)}{\sin(\zeta(x))} \right)^2$$

$$s_n :=$$

0
5.15
7.15
22.31
30.32
45.76
55.20
62.35
66.92
70.64

$$a_n :=$$

5.15
7.15 - 5.15
22.31 - 7.15
30.32 - 22.31
45.76 - 30.32
55.20 - 45.76
62.35 - 55.20
66.92 - 62.35
70.64 - 66.92

$$b_n :=$$

0.86
5.72
7.44
7.44
7.15
6.86
5.15
10.01
12.58
10.30

$$c_n :=$$

5.72
7.44
7.44
7.15
6.86
5.15
10.01
12.58
10.30

$$u := 2 \frac{\pi}{\lambda} \cos(\theta)$$

$$A_i := e^{(j u s_i)} \cdot \left[\frac{[a_i \cdot b_i \cdot [e^{(j u a_i)} - 1]]}{j u a_i} + \frac{[a_i \cdot (c_i - b_i) \cdot [e^{(j u a_i)} \cdot (j u a_i - 1) + 1]]}{(j u a_i)^2} \right]$$

$$\delta(x) := \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot \left(\sum_{i=1}^9 A_i \right)^2$$

$$\delta l(x) := \left(\frac{\delta(x)}{\delta(0)} \right) \cdot \left| \cos \left[\operatorname{atan} \left[\frac{(d - dx) \cdot \sin(\theta) + x}{\sqrt{h^2 + [(d - dx) \cdot \cos(\theta)]^2}} \right] \right] \right|$$

$$\alpha(x) := |\operatorname{DAd}(x)| \cdot \delta l(x) \cdot R$$

$$\operatorname{temp}l(x) := x \cos(\theta)$$

$$\operatorname{temp}dx(x) := dx + x \sin(\theta)$$

$$r0 := [d^2 + (h1 - h2)^2]^{0.5}$$

$$r1(x) := [(h - h1)^2 + \operatorname{temp}l(x)^2 + (d - \operatorname{temp}dx(x))^2]^{0.5}$$

$$r2(x) := [(h - h2)^2 + \operatorname{temp}l(x)^2 + \operatorname{temp}dx(x)^2]^{0.5}$$

$$\operatorname{delt}(x) := r2(x) + r1(x) - r0$$

$$\operatorname{delta}(x) := \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot (r2(x) + r1(x) - r0)$$

$$E(x) := \left(1 + \alpha(x)^2 + 2 \cdot \alpha(x) \cdot \cos(\operatorname{delta}(x)) \right)^{0.5}$$

$$\operatorname{RL}(x) := 20 \cdot \log(|E(x)|)$$

$$\operatorname{cn} := 10$$

$$\operatorname{RL}(x) := \begin{cases} (-\operatorname{cn}) & \text{if } E(x) < 10 \left(\frac{-\operatorname{cn}}{10} \right) \\ (20 \cdot \log(E(x))) & \text{otherwise} \end{cases}$$

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. P. Sangonchart , N. Leelaruji , N. Hemmakorn and M. Yoshiaki " Television Interference Caused by Aircraft" International Conference on Electromagnetic Compatibility , July 24-27 , 2002 Bangkok
2. A. Wonggeeratigun , P. Sangonchart , S. Noppanakeepong , N. Leelaruji and M. Yoshiaki " The Observation and Simulation of the Airplane Flutter on Low Band Television Broadcasting Signal." SCORED 2003 , Malaysia

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นามสกุล

นางสาวปาริชาติ สงวนชาติ

วัน เดือน ปีเกิด

เกิดเมื่อวันที่ 29 กรกฎาคม 2516 ที่จังหวัดกาฬสินธุ์

ที่อยู่ติดต่อได้

บ้านเลขที่ 13/11 หมู่ 2 ถ.อ่อนนุช-ลาดกระบัง

แขวง/เขต ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี

สำเร็จการศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2539

ประวัติการทำงาน

ปีพ.ศ. 2541 ทำงานในตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า

แผนก คั่นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์ (R&D)

ทำหน้าที่ ออกแบบระบบวงจรไฟฟ้าในระบบเครื่อง
ปรับอากาศ บ.เฟิร์มกรุ๊ป จำกัด

ปีพ.ศ. 2543 ทำงานในตำแหน่งวิศวกรฝ่ายขาย เกี่ยวกับ
อุปกรณ์ทางไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม บ.โทเทิล
อินดัสเตรียล โซลูชั่น จำกัด