

ปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นแบบกึ่งพีริยดในสัญญาณโทรทัศน์

QUASI-PERIODIC PHENOMENA IN TELEVISION
RECEIVING SIGNAL

นิภา ลีลารุจิ
NIPHA LEELARUJI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542

ISBN 974-622-500-6

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นแบบกึ่งพีเรียดในสัญญาณโทรทัศน์

QUASI-PERIODIC PHENOMENA IN TELEVISION
RECEIVING SIGNAL



นิภา ลีลารุจิ

NIPHA LEELARUJI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542

ISBN 974-622-500-6

เลขหม.....

เลขทะเบียน..... 33893

วัน, เดือน, ปี..... 17 ก.ย. 2542

**QUASI-PERIODIC PHENOMENA IN TELEVISION
RECEIVING SIGNAL**

NIPHA LEELARUJI

**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**

1999

ISBN 974-622-500-6

COPYRIGHT 1999

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นแบบกึ่งพีเรียคในสัญญาณโทรทัศน์
นักศึกษา	นาง นิภา ลีลาธุจิ
รหัสประจำตัว	38621202
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2542
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ณรงค์ เหมกรณ์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ศ.ดร.โยชิอากิ โมริยะ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นในการแพร่ภาพโทรทัศน์ ระบบวีเซชเอฟ ภาคพื้นดินซึ่งครอบคลุมความถี่ 47-230 MHz บ่อยครั้งที่ผู้ชมพบว่าภาพมีการพริ้วไหวหรือมีเงาเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วเป็นเวลาดสั้นๆ เพียง 2-3 วินาที บางครั้งรุนแรงจนดูไม่รู้เรื่อง และเกิดนานเป็นนาที โดยเฉพาะช่องความถี่ต่ำจะมีปัญหามากกว่าช่องความถี่สูง และเมื่อวัดสัญญาณจากปลายสายอากาศ สัญญาณมีการแกว่งตัวอย่างรวดเร็วแบบกึ่งพีเรียค ด้วยขนาดที่เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ 1-2 ดีบี จนถึง 20 ดีบี ในบางครั้งเคยมีนักวิจัยจากต่างประเทศรายงานว่าเป็นเพราะการเปลี่ยนแปลงสภาพบรรยากาศ ทำให้เกิดการสะท้อนคลื่นอย่างต่อเนื่อง แต่จากการสังเกต และทดลองเก็บข้อมูลระยะยาว ผู้วิจัยพบว่า สัญญาณโทรทัศน์มีการสะท้อนวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ในอากาศเช่น เครื่องบิน โดยเลือกใช้สายอากาศในการรับสัญญาณเช่น ยากิ ไดโพล และสายอากาศหวนดกึ่ง หรือ โมโนโพล ที่ใช้กันทั่วไป ทดลองในพื้นที่ต่างกันจนได้ข้อสรุปที่เชื่อถือได้ พร้อมทั้งทำโมเดลจำลองการสะท้อนคลื่นซึ่งได้ลักษณะของคลื่นพร้อมขนาดใกล้เคียงกับปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นแบบกึ่งพีเรียค

Thesis Title	Quasi-periodic Phenomenon in Television Receiving Signal
Student	Mrs. Nipha Leelaruji
Student ID	38621202
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	1999
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Narong Hemmakorn
Thesis Co. Advisor	Prof. Dr. Yoshiaki Moriya

ABSTRACT

This thesis present the study of quasi-periodic fluctuation occur in terrestrial VHF TV broadcasting. The transmitting frequency is cover 47-230 MHz. The TV pictures has been frequently reported from the viewers that the signal has fluctuated and ghost in few second to one minute in some time. This interference reduces the picture quality for low frequency more than high frequency. As a result of measuring field strength at the receiving antenna. The flutter phenomena are fluctuated from 1-2 dB until 20 dB in sometime. The foreign researcher had reported these phenomena caused by the irregularity of the atmosphere. But from our experiment in long period of time we found that it caused by the reflected wave from moving bodies such as airplane. We received the TV signal in various area by using Yagi antenna, dipole antenna and monopole antenna then analyze the interference waveform and its effect.

The report includes model calculation, which related to the measuring result.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ และการพลังงาน ในโครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างประเทศ ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะกรรมการและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ขอขอบคุณ รศ. ณรงค์ เหมกรณ์ และ ศาสตราจารย์ โยชิอากิ โมริยะ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือตลอดมา รวมทั้ง ศาสตราจารย์ ฮิโรโตะ ซากุราดะ และ คุณ อิเคดะ ที่ให้ความสนับสนุนในการทำโมเดลทางคณิตศาสตร์ สุดท้ายขอขอบคุณผู้ให้ความช่วยเหลือในการทดลองนอกสถานที่และจัดทำรายงาน ซึ่งประกอบด้วย คุณ ทิฆัมพร บุญซึก, คุณ สุรศักดิ์ กฤษดาวณิชย์, คุณ ยุพิน พงษ์พรหม, คุณ อติสร เดชารัตน์, คุณ ชัยวัฒน์ สมบูรณ์ลาภ

นิภา ลีสารุจิ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 แนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....	1
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดแบบกระทันหันหรือ QP	
2.1 บทนำ.....	3
2.2 ปรากฏการณ์ QP เกิดในสัญญาณความถี่ม.....	4
2.3 ชั้นบรรยากาศ Es และการเปลี่ยนแปลง แอมพลิจูดอย่างกระทันหัน แบบกึ่งพีเรียด.....	5
2.4 การแตกกระเจิงของคลื่นในชั้นบรรยากาศโทร โปสเฟียร์.....	8
2.5 ปรากฏการณ์เบี่ยงเบนคลื่นแบบกึ่งพีเรียด หรือ QP ในสัญญาณ โทรทัศน์.....	10
บทที่ 3 แบบจำลองเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ โทรทัศน์แบบ QP	
3.1 บทนำ.....	14
3.2 สาเหตุของการกระเจิงของสัญญาณ โทรทัศน์ ระบบภาคพื้นดินในบริเวณ ที่มีความแรงสนามไฟฟ้าอ่อน.....	14
3.3 การคาดคะเนการเบี่ยงเบนคลื่น โทรทัศน์จากเครื่องบิน.....	15
3.3.1 สมการการคำนวณพื้นฐาน.....	16
3.3.2 ความแรงสนามไฟฟ้าที่ว่างอิสระ.....	16
3.3.3 การสูญเสียเนื่องจากการกระเจิงจากเครื่องบิน.....	16
3.3.4 การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นปกติ.....	17

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.5 การสูญเสียจากสิ่งแวดลอมระหว่างจุดส่งกับจุดรับ.....	18
3.3.6 ทิศทางของสายอากาศรับ.....	18
3.4 แบบจำลองการแกว่งตัวของสัญญาณโทรทัศน์ เนื่องจากเครื่องบิน.....	19
3.5 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง.....	24
3.5.1 กำหนดให้ D_x และ H เป็นตัวแปร.....	24
3.5.2 ปรากฏการณ์ QP เปลี่ยนแปลง ส.ป.ส การสะท้อน ระยะทาง และความสูงสายอากาศ.....	41
3.5.3 ผลสรุปจากแบบจำลองเมื่อค่า D_x และ H เปลี่ยนแปลง.....	44
3.5.4 การคำนวณค่า QP ของความถี่โทรทัศน์ช่องต่างๆ ตามค่าตัวแปรอื่นๆ...	47
3.6 สรุปผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง.....	49
บทที่ 4 การใช้สายอากาศให้เหมาะสม	
4.1 บทนำ.....	50
4.2 ปัญหาจากการใช้สายอากาศภายในอาคาร หรือ สายอากาศโมโนโพล.....	52
4.3 แนวทางการป้องกันการเกิดปัญหาค้นสะท้อนจากสิ่งกีดขวาง.....	54
4.4 สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง.....	62
4.4.1 สายอากาศไดโพล.....	62
4.4.2 สายอากาศยาคี.....	63
บทที่ 5 ผลการทดลอง	
5.1 การวัดสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดิน.....	64
5.1.1 ผลการวัดความแรงสนามไฟฟ้าสัญญาณโทรทัศน์.....	64
5.1.2 การทดสอบปรากฏการณ์เบี่ยงเบนคลื่นแบบ QP.....	65
5.2 การรับสัญญาณด้วยสายอากาศต่างชนิดกัน.....	67
5.3 การทดลองเปรียบเทียบปรากฏการณ์ QP ในความถี่ต่างกัน.....	69
5.4 การทดลองวัดสัญญาณโดยใช้สายอากาศหลายชนิด.....	70
5.5 สถิติการพบปรากฏการณ์ QP ในโทรทัศน์ช่อง 3.....	72
5.6 ปรากฏการณ์ QP วัดที่ระดับความสูงสายอากาศต่างกัน.....	76

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์	
6.1 ผลการทดลองวัดสัญญาณที่ความสูงต่างกัน.....	78
6.2 ผลการทดสอบด้วยการคำนวณจากแบบจำลอง.....	79
6.3 ข้อสังเกต.....	79
บรรณานุกรม.....	81
ภาคผนวก ก โปรแกรมแบบจำลอง.....	82
ภาคผนวก ข. ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....	86
ประวัติผู้เขียน.....	87

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงช่องและความถี่โทรทัศน์ระบบ CCIR 625 เส้น.....	10
2.2 ความถี่ออกอากาศของสถานีโทรทัศน์ทั่วภูมิภาคของประเทศไทย.....	11-12
3.1 ตัวอย่างพื้นที่ภาคตัดขวางของเครื่องบินที่สะท้อนคลื่นโทรทัศน์.....	21
3.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและผลจากการคำนวณ.....	23
3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ QP.....	41
5.1 ผลการวัดความแรงสัญญาณโทรทัศน์ (dB μ V).....	65
5.2 เกนของสายอากาศ MASPRO ที่ใช้ทดสอบ.....	67

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะแอมพลิจูดเฟดดิ้งในสัญญาณดาวเทียม ATS-6 ในสัญญาณความถี่ 40,140 และ 360 MHz.....	4
2.2 ตัวอย่างปรากฏการณ์ QP พบได้ในสัญญาณดาวเทียมย่าน L แบนด์ วัดได้ ณ. ประเทศญี่ปุ่น ณ.มหาวิทยาลัยโตเกียว.....	5
2.3 ปรากฏการณ์ QP Scintillation ในสัญญาณดาวเทียมโดยนักวิจัยชาวออสเตรเลีย.....	7
2.4 ปรากฏการณ์ QP พบในสัญญาณโทรทัศน์ระบบ VHF พบโดยนักวิจัยชาวอินเดีย.....	7
2.5 ปรากฏการณ์ QP พบในสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 3 ของประเทศไทย.....	8
2.6 การกระเจิงของคลื่นในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์.....	9
2.7 ปรากฏการณ์ QP ที่เกิดกับสัญญาณช่อง 3 ความเร็วกระดาศ 20 ชม/ชม.....	13
3.1 โพลาร์ชาร์ตของขั้นตอนการคำนวณ.....	18
3.2 แบบจำลองในการคำนวณคลื่นสะท้อนจากเครื่องบิน.....	21
3.3 แบบจำลองสัญญาณสะท้อนจากเครื่องบินแสดงค่าตัวแปร D_x และ H	23
3.4 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 1$ กม., $H = 1$ กม.....	25
3.5 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 1$ กม., $H = 2$ กม.....	26
3.6 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 1$ กม., $H = 3$ กม.....	27
3.7 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 1$ กม., $H = 4$ กม.....	28
3.8 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 2$ กม., $H = 1$ กม.....	29
3.9 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 2$ กม., $H = 2$ กม.....	30
3.10 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 2$ กม., $H = 3$ กม.....	31
3.11 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 2$ กม., $H = 3$ กม.....	32
3.12 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 3$ กม., $H = 1$ กม.....	33
3.13 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 3$ กม., $H = 2$ กม.....	34
3.14 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 3$ กม., $H = 3$ กม.....	35
3.15 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 3$ กม., $H = 4$ กม.....	36
3.16 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 4$ กม., $H = 1$ กม.....	37
3.17 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 4$ กม., $H = 2$ กม.....	38
3.18 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 4$ กม., $H = 3$ กม.....	39

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.19 รูปคลื่นที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะ $D_x = 4$ กม., $H = 4$ กม.....	40
3.20 รูปคลื่นและขนาด QP เมื่อ R เปลี่ยนแปลง.....	43
3.21 ขนาด QP เมื่อติดตั้งสายอากาศที่ความสูงต่างกัน.....	44
3.22 รูปร่างและขนาดของปรากฏการณ์ QP เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า d	45
3.23 ขนาดของสัญญาณ QP เมื่อเครื่องบินอยู่ ณ.ความสูงต่างกัน.....	46
3.24 ขนาดสัญญาณ QP เปลี่ยนแปลง ณ.ค่า D_x ต่างกัน.....	47
3.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาด QP ต่อการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การสะท้อน เครื่องบิน (R).....	48
3.26 กราฟขนาด QP ต่อความถี่ออกอากาศที่ต่างกัน เมื่อสัมประสิทธิ์การสะท้อน เครื่องบิน (R) คงที่.....	48
3.27 กราฟขนาดสัญญาณ QP เมื่อระยะห่างของเครื่องบิน (D_x) ต่างๆ กัน.....	48
3.28 กราฟขนาดสัญญาณ QP ของความถี่ต่างๆ เมื่อเครื่องรับอยู่ห่างเครื่องส่งเป็นระยะ D	49
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสายอากาศและความแรงสนามไฟฟ้า.....	52
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแรงสัญญาณโทรทัศน์ ที่รับด้วยสายอากาศ โมโนโพลเทียบกับระยะทางจากสถานีส่งถึงจุดรับ.....	53
4.3 ประสิทธิภาพการรับคลื่นในแนวตั้งของสายอากาศโมโนโพลที่ความถี่ 100 MHz.....	54
4.4 สายอากาศแบบมี Directivity Protection.....	55
4.5 สายอากาศที่มีวงจร Non-Reciprocal.....	56
4.6 สายอากาศแบบมีวงจร ไฮบริด.....	58
4.7 สายอากาศแบบมีวงจร แอคทีฟ.....	59
4.8 สายอากาศแบบ 3 ก้าน มาสแต่กกัน.....	60
4.9 สายอากาศแบบปรับทิศทางการรับคลื่นได้.....	61
4.10 สายอากาศแบบผสม 2 อันประกอบกัน.....	62
4.11 แพทเทอร์นสายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่น.....	63
4.12 แพทเทอร์นสายอากาศยาคินของ Maspro.....	63
5.1 อุปกรณ์การทดลองวัดสัญญาณวิทยุ-โทรทัศน์.....	64
5.2 ลักษณะปรากฏการณ์ QP.....	65
5.3 ปรากฏการณ์ QP ของสัญญาณช่อง 3 บันทึกด้วยอัตราเร็วกระดาษ 20 เซนติเมตร/นาที.....	66

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4 ลักษณะโครงสร้างสายอากาศไดโพลและสายอากาศยาก็.....	67
5.5 ปราบฏการณ์ QP รับด้วยสายอากาศไดโพลกับสายอากาศยาก็ ไดรเรเตอร์ 5 ก้าน.....	68
5.6 ปราบฏการณ์ QP ที่พบในสัญญาณช่อง 3 และช่อง 9 ในวันเดียวกัน.....	69
5.7 ความแรงสนามไฟฟ้าของสัญญาณโทรทัศน์ทุกช่องรับด้วยสายอากาศโมโนโพล.....	70
5.8 การทดลองวัดสัญญาณโทรทัศน์ด้วยสายอากาศไดโพล.....	71
5.9 สัญญาณไฟฟ้าพาหะเสียงของสัญญาณโทรทัศน์ทุกช่องรับด้วยสายอากาศของ บริษัทสามารถชนิดรวมช่อง.....	72
5.10 สัญญาณพาหะภาพและเสียงของโทรทัศน์ช่อง 3 วัดด้วยสายอากาศแยกเฉพาะช่อง ของ Maspro.....	72
5.11 ขนาดสัญญาณ QP และจำนวนครั้งที่พบในเดือนมีนาคม 2539.....	73
5.12 ขนาดของสัญญาณ QP วัดจากจุดสูงสุดถึงต่ำสุดของคลื่นใน 1 วัน.....	73
5.13 จำนวนครั้งที่เทียบกับเวลาที่พบ QP ในเดือน เมษายน 2539.....	74
5.14 ขนาดสัญญาณ QP เทียบกับจำนวนครั้งที่พบในเดือนกุมภาพันธ์ 2539.....	75
5.15 ขนาดสัญญาณ QP เทียบกับจำนวนครั้งที่พบในเดือน มีนาคม 2539.....	75
5.16 กราฟจำนวนครั้งที่พบปราบฏการณ์ QP เทียบกับเวลาในเดือน พฤศจิกายน 2538.....	76
5.17 กราฟจำนวนครั้งที่พบปราบฏการณ์ QP เทียบกับเวลาในเดือน ธันวาคม 2538.....	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

จากการที่ผู้ชมโทรทัศน์ระบบ VHF ในบางพื้นที่ให้ข้อมูลผลการรับชมโทรทัศน์ว่ามีความผิดปกติของภาพ เช่น ภาพไหวอย่างรวดเร็ว และมีเงาสะทอนบ่อยครั้ง โดยเกิดในระยะเวลาสั้นๆ บางครั้งมีความรุนแรงจนดูภาพไม่ชัด โดยเฉพาะช่องความถี่ต่ำเช่น ช่อง 3 มีปัญหามากกว่าช่องอื่น เพราะใช้ความถี่แบนด์ต่ำ และจากการทดลองวัดความแรงสัญญาณโทรทัศน์ และบันทึกสัญญาณอย่างต่อเนื่อง พบว่ามีปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นทั้งมากกว่าและน้อยกว่า มีลักษณะเป็นแพทเทอร์น เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นแบบกึ่งพีเรียด (Quasi-periodic fading) มีขนาดพิททิว พิค ตั้งแต่ 1-2 dB จนถึง 20 dB ในบางครั้งและเกิดนาน 2-3 วินาที จนถึง 1 นาที

เมื่อศึกษาจากบทความนานาชาติ ต่างให้เหตุผลต่างกันไป เช่น นักวิจัยจากอินเดียวิเคราะห์ว่าเป็นผลจากบรรยากาศ เกิดเลเยอร์ที่มีลักษณะคล้ายท่อนำคลื่น และเคลื่อนที่ตามลมเป็นตัวสะท้อนคลื่นโทรทัศน์จึงเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวขึ้น[3] และนักวิจัยจากออสเตรเลียเข้าใจว่าเป็นเพราะคลื่นสะท้อนหลังคาสังกะสี ซึ่งยังใช้กันอยู่ทั่วไป[4]

จากการศึกษาวิจัยเป็นเวลานานผู้วิจัยได้พบว่า สาเหตุที่แท้จริงน่าจะเกิดจากเครื่องบิน จึงนำเสนอวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

ศึกษาสาเหตุของปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นแบบกึ่งพีเรียดที่พบในสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบ VHF มีลักษณะคล้ายปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นในสัญญาณดาวเทียม ย่าน UHF ความถี่ L แบนด์ หรือ Quasi-periodic Scintillation ซึ่งเกิดจากการที่คลื่นสะท้อนบรรยากาศในชั้น

สพอราติก อี แต่สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินเกิดจากสาเหตุที่แตกต่างกัน

1.3 แนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

สัญญาณภาพโทรทัศน์ในระบบภาคพื้นดิน ประกอบด้วย คลื่นตรง (Direct wave) คลื่นสะท้อนจากพื้นดิน (Ground reflected wave) และคลื่นสะท้อนจากบรรยากาศและวัตถุเคลื่อนที่ในอากาศเช่น เครื่องบิน (reflected wave) คลื่นตรงจากเครื่องส่งมายังเครื่องรับจะถูกลดทอนไปกับบรรยากาศตามระยะทางซึ่งไม่น้อยกว่า 10 dB ในขณะที่คลื่นสะท้อนจากพื้นดินมีค่าน้อย เมื่อเทียบ

กับคลื่นสะท้อนจากเครื่องบิน แต่คลื่นสะท้อนจะมีเฟสที่เสริมและหักล้างกับคลื่นตรงเสมอ จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นแบบกึ่งพีริยูด เป็นผลให้ภาพพร่ามัวไปชั่วขณะ และมีความเสียหายมากในช่องความถี่ต่ำ ซึ่งประเทศไทย ใช้การเฉลี่ยการออกอากาศช่องความถี่ต่ำและสูง สลับกันไปในทุกภูมิภาค โอกาสที่ผู้ชมจะได้รับผลกระทบจึงมีจำนวนมาก ถึงแม้ทางสถานีได้เพิ่มกำลังส่งออกอากาศให้แรงขึ้น แต่เป็นการเพิ่มคลื่นตรงไม่ได้ลดคลื่นสะท้อน ปัญหาจึงยังคงมีอยู่แต่ลดน้อยลงไประดับหนึ่ง ดังนั้นการจะลดปัญหานี้ให้น้อยลงไปอีกจึงขึ้นอยู่กับทางด้านรับ ซึ่งหมายถึงคุณภาพของสายอากาศที่เหมาะสม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์ต่อประชาชนและนักวิชาการที่ยังคงรับชมโทรทัศน์อยู่ทั่วไป ก่อนที่เรามีโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินในอนาคต

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ครอบคลุมการทดลองวัดสัญญาณโทรทัศน์ด้วยเครื่องวัดความแรงสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ทั้งความถี่สูงและความถี่ต่ำในหลายๆ พื้นที่ ในอาคาร นอกอาคาร ที่ความสูงสายอากาศต่างกัน ทั้งในกรุงเทพฯ และจังหวัดใกล้เคียง วิเคราะห์ผลการทดลองและทำโมเดลทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยค่าตัวแปรต่างๆ ตลอดจนนำเสนอตัวอย่างสายอากาศที่เหมาะสมเพื่อลดผลกระทบดังกล่าว

บทที่ 2

ปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน หรือ QP

2.1 บทนำ

การเปลี่ยนแปลงคลื่นวิทยุ-โทรทัศนอย่างกระทันหัน พบได้ในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมและระบบสื่อสารภาคพื้นดิน สัญญาณดาวเทียมขณะเดินทางมายังเครื่องรับภาคพื้นดิน ในย่านความถี่ VHF และ UHF มีโอกาสเกิดปรากฏการณ์ ดังกล่าว ทางด้านรับ เนื่องจากการเฟดดิ้งในสัญญาณตรง และสัญญาณสะท้อนบรรยากาศ ซึ่งเกิดจากสภาวะความผิดปกติของบรรยากาศในขณะใดขณะหนึ่ง

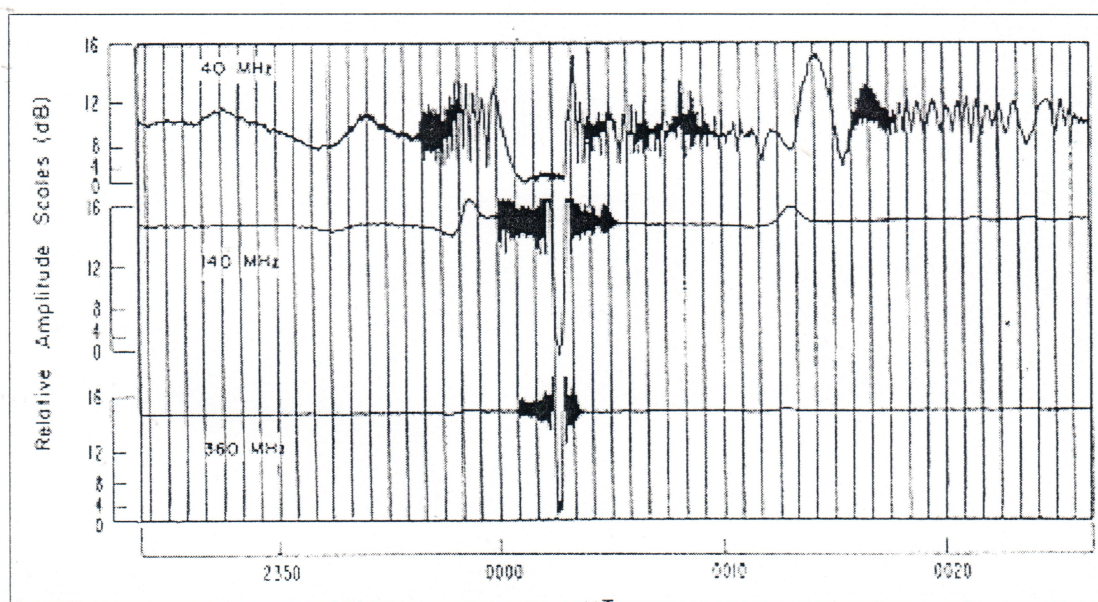
นอกจากนี้ยังพบได้ในสัญญาณกระจายเสียงวิทยุ-โทรทัศน์ที่ส่งในแนวเส้นสายคา หรือภาคพื้นดินทั่วไป โดยเฉพาะในย่านความถี่ VHF แบนด์ต่ำจะพบบ่อยครั้ง ซึ่งเป็นการสะท้อนคลื่นจากสิ่งกีดขวาง เช่น เครื่องบินและอาคารสิ่งก่อสร้าง ตลอดจนพื้นดิน ซึ่งลักษณะปรากฏการณ์ ที่เกิดในการสื่อสารระบบดาวเทียม หรือภาคพื้นดินมีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือมีการแกว่งขึ้นลงของสัญญาณคล้ายคลื่นรูปไซน์จากค่าน้อยๆ จนถึงยอดสูงสุดหรือต่ำสุดแล้วค่อยๆ ลดลงสู่สภาวะปรกติอีกครั้ง บางครั้งเกิดนานหลายวินาทีด้วยขนาด dB แตกต่างกัน นักวิจัยหลายท่าน เรียกชื่อปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงขนาดของคลื่นลักษณะนี้ ต่างกัน เช่นถ้าพบในสัญญาณดาวเทียม จะเรียกว่า Quasi-Periodic Scintillation บางท่านเรียก Quasi-Periodic Fading เมื่อพบในสัญญาณโทรทัศนภาคพื้นดิน ซึ่งในที่นี้จะใช้ตัวย่อ QP แทนปรากฏการณ์ดังกล่าว

2.2 ปรากฏการณ์ QP เกิดในสัญญาณดาวเทียม

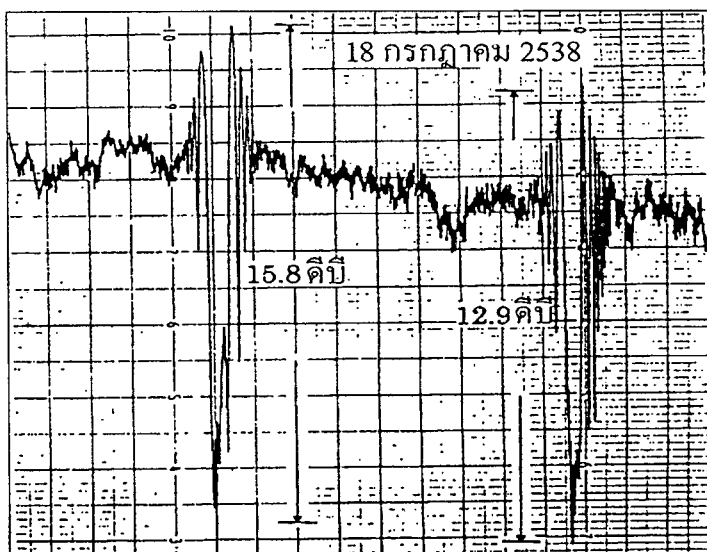
ขณะที่สัญญาณจากดาวเทียมเดินทางมายังเครื่องรับบนพื้นโลกนั้น จะเกิดปรากฏการณ์แกว่งของคลื่นคล้ายสัญญาณรูปไซน์ อันเนื่องมาจากการสะท้อนจากสิ่งกีดขวางหรือเกิดการรบกวนระหว่างช่วงคลื่นที่มีความไม่สม่ำเสมอ บางครั้งเกิดนานเป็นวินาที จนถึงหลายนาที รูป 2.1 เป็นตัวอย่างของปรากฏการณ์เฟดดิ้ง หรือ QP ที่พบในสัญญาณดาวเทียม ATS- 6 วัด ณ เมือง Boulder ในย่านความถี่ 40, 140 และ 360 MHz

นอกจากนี้อาจเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างอิเล็คตรอนในชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์ที่ความสูง 100-1,000 กม. ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์ การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน (Scintillation) ที่มีลักษณะเป็นครึ่งคาบ ซึ่งมีการรายงานมาแล้วหลายครั้ง ในบางเวลาที่ ชั้น E ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีความหนาแน่นอิเล็คตรอนสูงและเกิดชั้นที่มีสภาวะผิดปกติเรียกว่าชั้น

Sporadic-E หรือเรียกว่า Es ในสภาวะเช่นนี้การสื่อสารดาวเทียมที่ความถี่ต่ำๆ จากย่าน VHF ถึงย่าน L หรือ ย่าน S แบนด์ จะสังเกตพบปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบกึ่งพีเรียด ในย่าน VHF สามารถสังเกตพบ QP ได้บ่อยๆ แต่ในย่าน GHz นั้นจะไม่สามารถสังเกตพบปรากฏการณ์ QP ได้มากนัก ซึ่งโดยทั่วไปจะเกิดการแกว่งของระดับสัญญาณหลายครั้ง ก่อนและหลังการลดลงของสัญญาณอย่างรุนแรงปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกะทันหันแบบ Spike-type และรูป 2.2 เป็นตัวอย่างแอมพลิจูดเฟดดิ้งหรือ QP ในสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ L แบนด์ (1.5 GHz) วัด ณ. มหาวิทยาลัยโคไก เขต Kanakawa ประเทศญี่ปุ่น กระทำการทดลองโดยผู้ร่วมวิจัยฝ่ายญี่ปุ่น



รูปที่ 2.1 ลักษณะแอมพลิจูดเฟดดิ้งในสัญญาณดาวเทียม ATS-6 ในสัญญาณความถี่ 40, 140, และ 360 MHz



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างปรากฏการณ์ QP พบได้ในสัญญาณความถี่ย่าน L แบนด์ วัดได้ ณ มหาวิทยาลัยโคโค ประเทศญี่ปุ่น

2.3 ชั้นบรรยากาศ Es และการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบกึ่งพีเรียด (QP)

ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นจะแบ่งย่อยๆ ได้เป็นอีกหลายชั้นคือชั้น D, E และ F จากการศึกษาในชั้น Es ซึ่งเป็นชั้นย่อยของชั้น E ความสูงประมาณ 100 กม. จากพื้นดิน ลักษณะของชั้นบรรยากาศนี้จะไม่สม่ำเสมอของโครงสร้าง และความหนาแน่นของอิเล็กตรอน ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนนั้นจะอธิบายได้จากความถี่วิกฤตของชั้น Es แทนด้วย f_oE_s ถ้าความถี่วิทยุที่เกิดความถี่วิกฤตนี้ ส่งผ่านชั้นบรรยากาศจะทะลุชั้นบรรยากาศ Es ไป ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของอิเล็กตรอนกับค่าความถี่วิกฤตนั้น แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$f_0 = 839778 \times 10^{-6} \sqrt{N} \quad (H_z) \quad (2.1)$$

เมื่อ N คือความหนาแน่นอิเล็กตรอน (อิเล็กตรอน/ลูกบาศก์เมตร)

จากสมการจะเห็นว่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนและความถี่วิกฤตจะแปรผันตรงกันนี้จึงใช้ f_oE_s แทนปริมาณอิเล็กตรอนในชั้น Es ในการอธิบายความสัมพันธ์กับการเกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบกึ่งพีเรียด (QP)

โดยปกติ QP จะเกิดเมื่อชั้น Es มีความหนาแน่นอิเล็กตรอนสูง และมีลักษณะคล้ายเมฆบางๆ เราสามารถอธิบายปรากฏการณ์ QP ที่เกิดตอนกลางวันโดยใช้ตัวแปร f_oE_s ได้ว่า เมื่อความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้น Es สูง ก็จะมีความเป็นไปได้ว่ามีโอกาสจะเกิด QP สูงด้วย Hajkowitz นักวิจัย

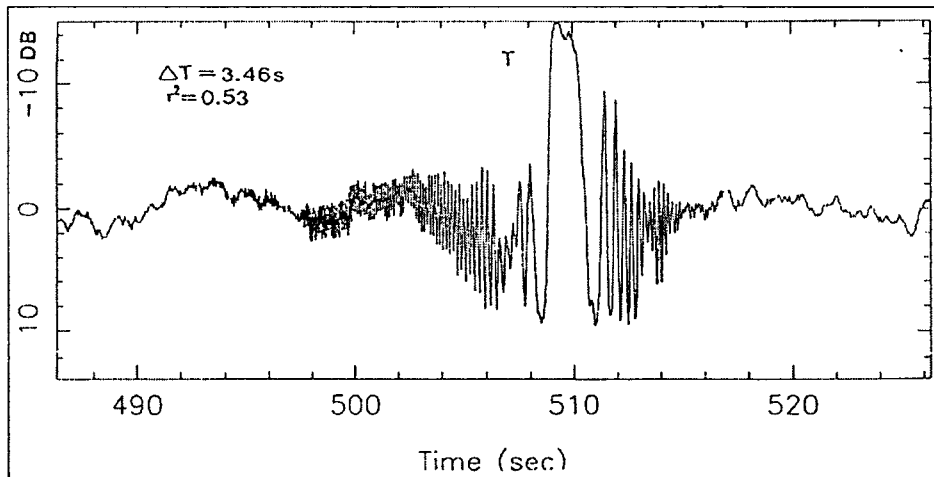
ชาวออสเตรเลีย พบว่าเวลากลางคืนในฤดูร้อนเมื่อปริมาณอิเล็กตรอนในชั้น Es สูง พบ QP เกิดขึ้นบ่อย ซึ่งค่า foEs ก็มีค่าสูงด้วย ในกรณีของประเทศญี่ปุ่นแม้ว่า foEs ในตอนกลางคืนจะต่ำแต่การเกิด QP มากกว่าตอนกลางวัน ดังนั้นจึงยากที่จะใช้ตัวแปร foEs เพียงตัวเดียวในการอธิบายการเกิด QP อาจกล่าวได้ว่าโครงสร้างที่ไม่สม่ำเสมอที่เป็นสาเหตุ QP นั้นไม่ได้มีเฉพาะสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงอิเล็กตรอนในชั้น Es เท่านั้น แต่ยังมีสาเหตุอื่นอีกด้วย ดังนั้นจึงคิดว่าจะใช้ตัวแปร fbEs ซึ่งเป็นตัวแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้น Es ซึ่งตัวแปร fbEs หมายถึงความถี่ปกคลุมของชั้น Es (Blanketing frequency of Es) ซึ่ง fbEs นั้นแสดงลักษณะโปร่งใสของชั้น Es ถ้า fbEs เท่ากับ foEs หมายถึงชั้น Es ถูกครอบคลุมไว้ด้วยอิเล็กตรอนทั้งหมด หรือชั้น Es อยู่ในลักษณะไม่โปร่งใส แต่ถ้า fbEs น้อยกว่า foEs ชั้น Es จะมีลักษณะโปร่งใส สรุปได้ว่าค่าความโปร่งใสของชั้น Es หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\delta fEs = foEs - fbEs \quad (2.2)$$

เมื่อ δfEs คือค่าความโปร่งใสของชั้น Es

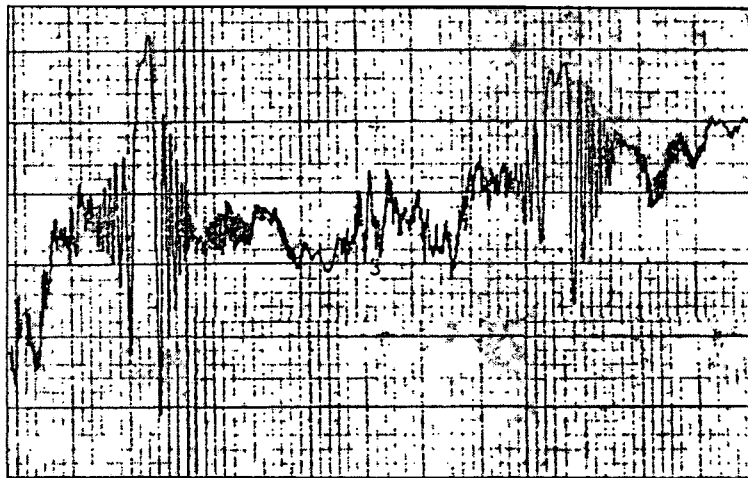
ดังนั้นปรากฏการณ์ QP ในสัญญาณความถี่วิทยุจึงน่าจะเป็นการสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เมื่อมีปริมาณอิเล็กตรอนระดับหนึ่ง โดยอธิบายด้วยความสัมพันธ์ของ δfEs กับการเกิด QP

จากบทความเรื่อง Multi – station Observation of an Ionospheric Quasi – periodic Event รายงานโดย Mr. L. A. Hajkowiez แห่งมหาวิทยาลัย Queensland ประเทศออสเตรเลีย เมื่อปี พ.ศ. 2536 ได้กล่าวถึงการทดลองวัดสัญญาณความถี่วิทยุความถี่ 150 MHz และพบปรากฏการณ์ QP มีลักษณะดัง รูป 2.3 เรียกว่า Quasi – periodic Scintillation มีขนาด ฟิกชูฟิคถึง 24 dB เขากล่าวว่าปรากฏการณ์นี้เกิดจากการสะท้อนคลื่นวิทยุในบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เมื่อคลื่นหักเหไปทำให้ขนาดที่รับได้เมื่อรวมกับคลื่นตรงจึงแกว่งขึ้นลงดังรูป



รูปที่ 2.3 เป็นปรากฏการณ์ QP Scintillation ในสัญญาณความถี่วิทยุโดยนักวิจัยชาวออสเตรเลีย

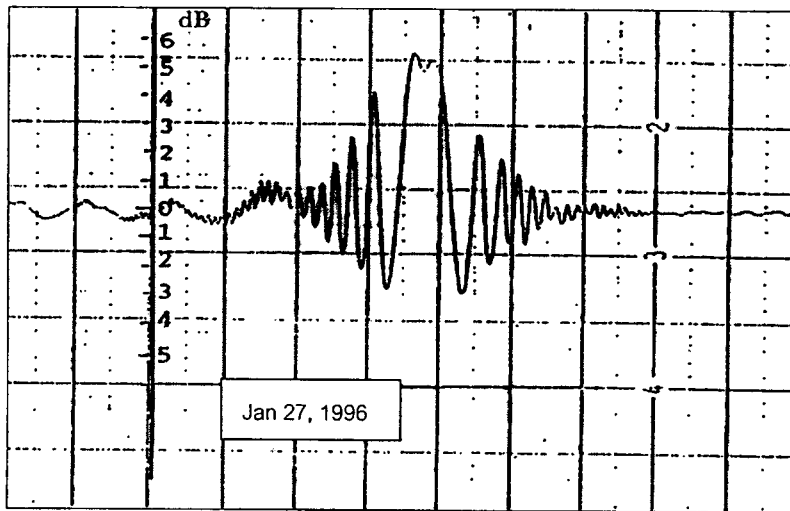
นอกจากนี้นักวิจัยจากอินเดีย Mr. J Das และคณะได้เขียนบทความเรื่อง On the Properties of Elevated Layers over Calcutta and It's Effect on VHF Propagation เมื่อปี พ.ศ. 2532 ปรากฏการณ์นี้พบในสัญญาณโทรทัศน์ VHF ภาคพื้นดินความถี่ 189 MHz เรียกว่า QP fading ซึ่งมีลักษณะเป็นแพทเทิร์น ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 ปรากฏการณ์ QP ในสัญญาณโทรทัศน์ระบบ VHF พบโดยนักวิจัยชาวอินเดีย

เขาให้เหตุผลว่า ปรากฏการณ์นี้เกิดจาก คลื่นวิทยุสะท้อนกับบรรยากาศ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ,ความชื้น, ความดัน อยู่ตลอดเวลา เนื่องจากการรวมตัวของละอองไอน้ำในอากาศเป็นเลเยอร์ เรียกว่า Duct ทำให้คลื่นโทรทัศน์สะท้อนกลับด้วยความเร็วระดับหนึ่ง เกิดการหักเหและแกว่งตัวของคลื่นรับ จึงเป็นสัญญาณรบกวน หรืออินเตอร์เฟียร์เรนซ์ ทำให้ภาพโทรทัศน์คุณภาพลดลง

ส่วนรูป 2.5 เป็นปรากฏการณ์ OP ที่พบในเขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ ได้จากสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 3 ความถี่ 60.75MHz จะเห็นว่าลักษณะสัญญาณนี้เป็นแพทเทิร์นที่เกือบสมมาตรกันขนาดพิคทูพิกสูง 8.5 dB เป็นปรากฏการณ์ที่ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเป็นเวลาดิติดต่อกันหลายปี ทั้งในกรุงเทพฯ และต่างจังหวัด มีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 1 dB จนถึง 20 dB กินเวลาเป็นวินาที จากการสังเกตในการทดลองนอกสถานที่ พบว่าขณะที่เครื่องบินผ่านในความสูงต่าง ๆ กัน และทิศทางต่างๆ กัน สัญญาณโทรทัศน์จะแกว่งเป็นแพทเทิร์นแบบ QP ด้วยขนาดที่แตกต่างกันไป และรูปร่างต่างกันเล็กน้อยตามขนาดและทิศทางการบินของเครื่องบิน



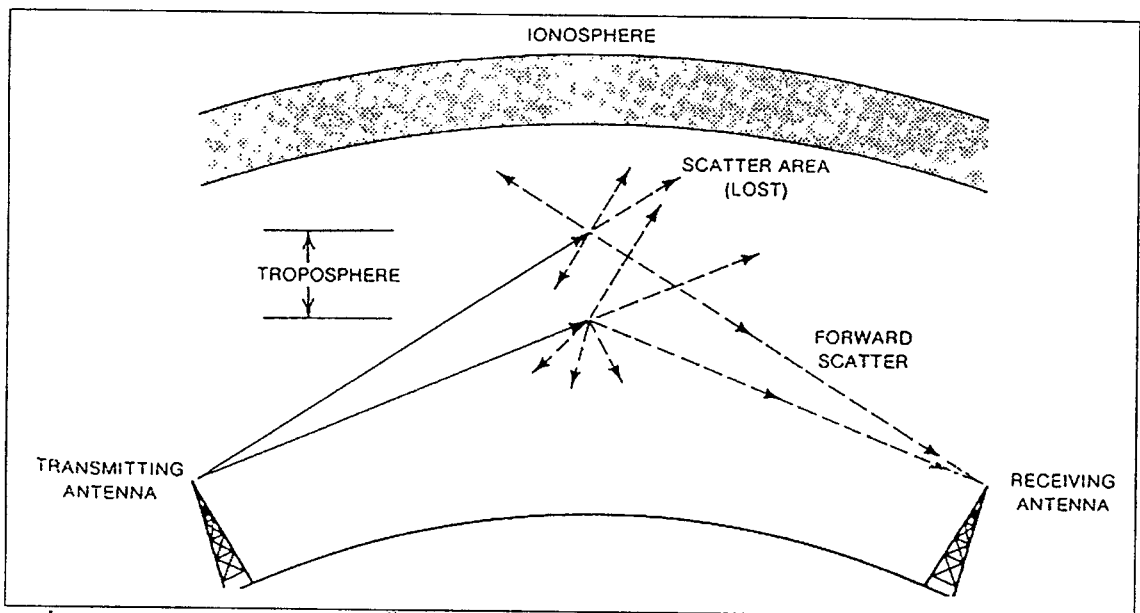
รูปที่ 2.5 ปรากฏการณ์ OP พบในสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 3 ของประเทศไทย

และในขณะนั้นสัญญาณภาพโทรทัศน์มีการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว บางครั้งรุนแรงมากจนดูภาพไม่ชัด บางครั้งขนาดสัญญาณแกว่งเล็กน้อย ภาพเป็นเพียงมีเส้นเกิดขึ้นเล็กน้อยให้รำคาญตาเท่านั้น

2.4 การแตกกระเจิงของคลื่นในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์

การกระเจิงของคลื่นในชั้นโทรโปสเฟียร์ หรือ Troposcatter เกิดกับคลื่นในย่านความถี่ VHF และ UHF เมื่อคลื่นฟ้า (Sky wave) มีการเปลี่ยนแปลงในชั้นบรรยากาศทำให้เกิดการเลี้ยวเบนคลื่น (Refraction) ด้วยกำลังงานมากบ้างน้อยบ้างไปยังจุดรับ ณ.เวลาต่างๆ กัน ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นและลดลงของสัญญาณในลักษณะกึ่งพีเรียค หรือ QP ถ้าการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นน้อยจนจรควมคุมเกนอัตโนมัติ (AGC) ของเครื่องรับจะทำการชดเชยสัญญาณได้ แต่ถ้าเกิดรุนแรงมากเรียกว่าเกิดการเฟดดิ้ง ซึ่งเกิดจากการรับสัญญาณจากหลายๆ แหล่งเข้ามาพร้อมกัน จะทำให้คุณภาพสัญญาณลดลง

เมื่อสายอากาศรับอยู่ในภาวะที่รับทั้งคลื่นดินและคลื่นฟ้าได้ดังรูปที่ 2.6 สัญญาณทั้งสองมาถึงเครื่องรับในลักษณะเฟสเดียวกันและเฟสตรงกันข้าม ถ้าเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นเปลี่ยนแปลงมากกว่า $\frac{\pi}{2}$ สัญญาณจะเกิดการหักล้างและรวมกันขึ้น เพราะว่า คลื่นที่รับได้จะเป็นผลรวมทางเฟสของทุกๆ สัญญาณ ถ้าสัญญาณเข้ามามีเฟสตรงกันทำให้สัญญาณแรงขึ้น แต่ถ้าเฟสตรงกันข้าม 180° เกิดการหักล้างสัญญาณกันได้ การเปลี่ยนแปลงในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคลื่นฟ้าที่อยู่ในระยะทางเดินคลื่นเดียวกับคลื่นดิน ดังนั้นจึงมีผลต่อความสัมพันธ์ทางเฟสของคลื่นดินและคลื่นฟ้า กรณีเช่นนี้มักจะเกิดในย่านความถี่กลาง หรือ MF



รูปที่ 2.6 การกระเจิงของคลื่นในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์

ในย่านความถี่ VHF ความถี่กลางจะอยู่ประมาณ 30 MHz ขึ้นไปยกเว้นช่วงที่มีจุดในดวงอาทิตย์ (Sunspot) อาจจะสูงถึงความถี่ 50-60 MHz จึงใช้คลื่นอากาศหรือคลื่นตรงในการสื่อสารเรียกว่าคลื่นแนวสายตา ปัจจัยจำกัด สำหรับการส่งคลื่นแบบแนวสายตา เช่นสภาพภูมิประเทศ, ความโค้งของโลก, สิ่งก่อสร้างหรือ เครื่องบิน ตัวอย่างเช่นเมื่อ เครื่องบินบินอยู่เหนือศีรษะ จะมีสภาพ เป็นตัวสะท้อนคลื่นที่ส่งตรงจากสถานี สายอากาศที่อยู่ใต้เครื่องบิน จะรับคลื่นตรงจากสถานีส่งร่วมกับคลื่นสะท้อนจากเครื่องบิน ระยะทางจากสถานีส่ง → ตัวสะท้อน → เครื่องรับจะเปลี่ยนไปตลอดเพราะ เครื่องบินเคลื่อนที่ตลอดเวลา สัญญาณที่เครื่องรับจะมีลักษณะเป็นคลื่นที่เปลี่ยนแปลงทั้งเฟสตรงกัน และเฟสตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเฟดดิ้ง หรือ QP ขึ้น ปรากฏการณ์นี้ผู้ชมโทรทัศน์มักจะได้พบบ่อยครั้ง สัญญาณภาพจะแปรปรวนมาก-น้อยตามขนาดและความสูงของเครื่อง

2.5 ปรากฏการณ์ เปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นแบบกึ่งพีเรียด หรือ QP ในสัญญาณโทรทัศน์

สัญญาณโทรทัศน์ในระบบ VHF ในประเทศไทย ใช้ความถี่ทั้ง VHF แบนด์ต่ำ และแบนด์สูง และส่งในระบบ PAL ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงช่องและความถี่โทรทัศน์ระบบ PAL 625 เส้น

ช่องโทรทัศน์	ขอบเขตของความถี่ (MHz)	คลื่นพาห์ของภาพ (MHz)	คลื่นพาห์ของเสียง (MHz)	หมายเหตุ
2	47-54	48.25	53.75	*สถานีหลักที่
3*	54-61	55.25	60.75	ส่งออกอากาศ
4	61-68	62.25	67.75	จากกรุงเทพฯ
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	224.25	229.75	

ช่องความถี่หลักที่ใช้ในการส่งจากสถานีต้นทางในกรุงเทพฯ คือ ช่อง 3, 5, 7, 9, และ 11 กระจายภาพและเสียงไปต่างจังหวัด โดยส่งผ่านระบบดาวเทียมไปยังสถานีทวนสัญญาณภาคพื้นดิน หลังจากนั้นสถานีภาคพื้นดินจึงเปลี่ยนความถี่ส่งออกอากาศเป็นระบบ VHF ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดใกล้เคียง ถ้าเป็นตัวจังหวัดใหญ่ๆ เช่น เชียงใหม่ จะส่งออกอากาศด้วยความถี่ช่องสัญญาณเหมือนกับกรุงเทพฯ คือ 3, 5, 7, 9, และ 11 แต่สถานีภาพพื้นดินส่วนใหญ่จะเปลี่ยนความถี่ช่องสัญญาณเป็นความถี่อื่น เช่น ความถี่ช่อง 3 กรุงเทพฯ จะรับได้ที่ช่อง 2 หาดใหญ่ หรือ ช่อง 7 ขอนแก่น หรือ ช่อง 11 ภูเก็ต และช่อง 12 อุทัยธานี ดังตารางที่ 2.2 แสดงช่องความถี่สถานีทวนสัญญาณโทรทัศน์ทั่วประเทศ

ตารางที่ 2.2 ช่องความถี่ออกอากาศของสถานีโทรทัศน์ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย

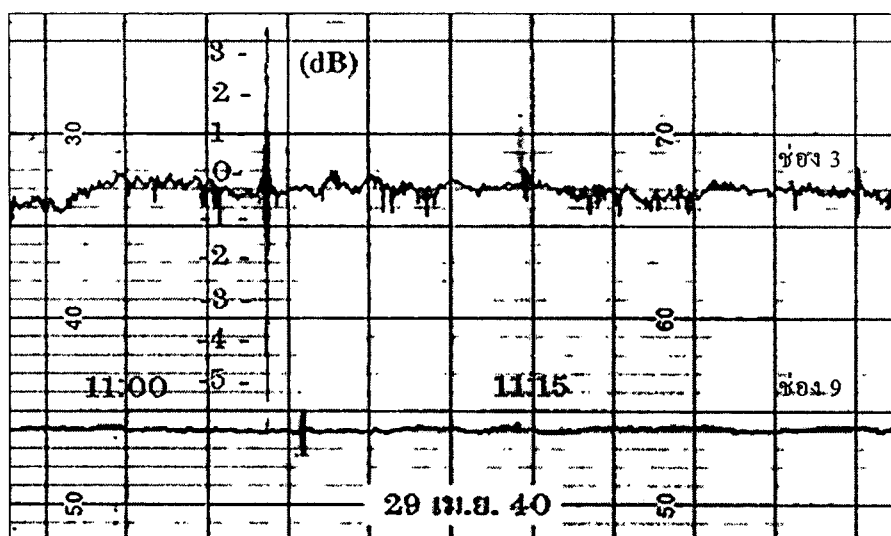
	จังหวัด	ช่อง 3	ช่อง 5	ช่อง 7	ช่อง 9	ช่อง 11	ไอทีวี
1	กรุงเทพมหานคร	3	5	7	9	11	26
2	เชียงราย	8	12	6	4	10	
3	เชียงใหม่	3	5	7	9	11	34
4	แม่ฮ่องสอน	6		8	10	12	
5	ลำปาง	6	4	12	10	8	29
6	แพร่	6	4	2	10	8	
7	น่าน	7	5		9	11	27
8	ตาก	6	4	12	10	8	
9	สุโขทัย	3		5	9		27
10	พิษณุโลก	11			7		
11	นครสวรรค์	6	8	12	4	10	34
12	สิงห์บุรี						28
13	เพชรบูรณ์	11	3	9	5	7	27
14	เลย	12		8	6	10	
15	หนองบัวลำภู	12			2	10	
16	หนองคาย		6	4			
17	สกลนคร	7	5	11	9	3	27
18	ขอนแก่น	7	11	5	9	4	29
19	อุบลราชธานี	6	10	12	8	4	27
20	อุดรธานี						28
21	ร้อยเอ็ด						28
22	มุกดาหาร		10	2			
23	สุรินทร์	7				11	29
24	บุรีรัมย์		5	3			
25	นครราชสีมา	2	8	12	10	6	27
26	สระแก้ว	6	8		10	12	34
27	ตราด	7	3	5	9	11	27

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

28	ระยอง	6	4	8	10	12	28
29	ประจวบคีรีขันธ์	6	4	8	10	12	
30	ชุมพร	11	7	4	9	5	28
31	ระนอง	11	3	7	9	5	
32	สุราษฎร์ธานี	6	4	8	10	12	29
33	พังงา	6		4	10		
34	ภูเก็ต	11	3	7	9	5	27
35	นครศรีธรรมราช	11	3	7	9	5	27
36	สงขลา(หาดใหญ่)	2	8	6	4	10	34
37	ตรัง	6	8		10	12	46
38	สตูล	11	7		9		
39	ยะลา	9	3	7	5	12	
40	นราธิวาส		4				
	รวม	33	30	29	31	29	24

หมายเหตุ ช่องความถี่ของ ไอทีวี เป็นความถี่ UHF

จากตารางจะเห็นว่า มีการใช้ช่องความถี่ต่ำสุด คือ ช่อง 2 และ สูงสุดคือช่อง 12 แต่ละความถี่ได้รับผลกระทบจากการเกิดปรากฏการณ์ QP แยกต่างหาก ดังรูป 2.7 ซึ่งเป็นตัวอย่างการเปรียบเทียบขนาดของสัญญาณขณะเกิดปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงขนาดคลื่น ในรูปเป็นสัญญาณจากช่อง 3 และช่อง 9 วัดได้ ณ. สถานีเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ความสูงสายอากาศประมาณ 15 เมตร แต่แยกรับต้นละความถี่ การเลือกเปรียบเทียบระหว่างช่อง 3 และ ช่อง 9 เพราะความถี่ช่อง 3 เป็น VHF แบนด์ต่ำ ขณะที่ช่อง 9 เป็นความถี่ VHF แบนด์สูง และที่สำคัญทั้งสองช่องส่งออกอากาศจากสถานที่เดียวกันคือ หนองแขม โดยช่อง 9 ส่งสัญญาณจากสถานีที่สี่แยก อ.ส.ม.ท. ไปยังเครื่องส่งที่หนองแขมด้วยระบบไมโครเวฟ แล้วจึงส่งออกอากาศในระบบกระจายเสียงและภาพโทรทัศน์อีกต่อหนึ่ง เช่นเดียวกับช่อง 3 ที่มีห้องส่งอยู่ที่อาคารวณิช ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ แต่เครื่องส่งและระบบสายอากาศอยู่ที่หนองแขมโดยใช้การส่งด้วยไมโครเวฟ แล้วจึงออกอากาศในระบบปกติอีกต่อหนึ่ง ดังนั้นการรับคลื่นจากทั้ง 2 สถานีจึงมีตัวสะท้อนคลื่น เช่นอาคาร หรือ เครื่องบิน อยู่ในเส้นทางเดียวกัน คือสาเหตุแห่งการเกิดปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นจากสภาพแวดล้อมเดียวกัน จะต่างกันเฉพาะความถี่ของทั้ง 2 ช่องสัญญาณเท่านั้น



รูปที่ 2.7 ปรากฏการณ์QP เกิดในความถี่ช่อง 3 และ ช่อง 9 บันทึกด้วย
อัตราเร็ว 20 ชม/ชม

จาก รูป 2.7 เป็นการรับสัญญาณด้วยเครื่องวัด field strength meter และบันทึกระดับสัญญาณบนกระดาษบันทึก ด้วยอัตราเร็ว 20 ชม/ชม. ณ.เวลาเดียวกัน (เช่นบันทึกกว้างเหลื่อมกัน) เกิดปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงขนาดทั้ง 2 ช่องความถี่ แต่ช่อง 3 มีขนาดจากจุดต่ำสุดถึงสูงสุด (Peak-to-Peak) หรือ QP_{p-p} ถึง 8 dB ขณะที่ช่อง 9 มีขนาด QP_{p-p} เพียงประมาณ 1.5 dB ณ.เวลานี้ผู้ชมโทรทัศน์ช่อง 9 จะไม่พบความผิดปกติของสัญญาณภาพและเสียง ในขณะที่สัญญาณภาพโทรทัศน์ช่อง 3 จะจางลงและภาพเด่นดูไม่ชัดเจนไปชั่วขณะที่เกิดปรากฏการณ์นี้ แต่เนื่องจากการใช้อัตราเร็วของกระดาษต่ำ จึงไม่สามารถบอกระยะเวลาในการเกิดได้

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นอย่างกะทันหันหรือ QP ยังพบได้ในช่องความถี่ อื่นจะมีขนาดแตกต่างกันออกไปตามสภาพพื้นที่ และระยะทางระหว่างสถานีส่ง และรับสัญญาณ แต่ขนาดพิกของ QP ที่พบในสัญญาณช่อง 3 จะสูงกว่าช่องอื่น และจะพบได้บ่อยกว่าด้วย

บทที่ 3

แบบจำลองเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสัญญาณโทรทัศน์ แบบ QP

3.1 บทนำ

การติดตามลักษณะการแกว่งของคลื่นวิทยุโทรทัศน์ภาคพื้นดิน เป็นเวลานาน รวมทั้งการศึกษาจากบทความที่มีผู้ศึกษาและรายงานไว้ การแกว่งของสัญญาณมีรูปแบบคล้ายคลื่นรูปไซน์ ที่มีความสม่ำเสมอของการแกว่ง คือ ขนาดค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงพีคสูงสุด แล้วกลับลดลงด้วยขนาดที่ใกล้เคียงกัน น่าจะเกิดจากการที่ตัวสะท้อนเคลื่อนที่เข้าใกล้สายอากาศรับ และเคลื่อนห่างออกไป และจากการทดลองในที่โล่งนอกอาคาร สังเกต พบว่า เมื่อมีเครื่องบินผ่านมาจะเกิดการแกว่งของสัญญาณ แบบ QP ทันที แต่บางครั้งเครื่องบินอยู่ตรงกับสายอากาศในแนวตั้ง กลับไม่มีปรากฏการณ์ QP หรือบางครั้ง เกิดด้วยขนาดต่างๆ รวมทั้งการที่ไม่เห็นตัวเครื่องบิน และไม่ได้ยินเสียง ยังพบปรากฏการณ์ QP ในสัญญาณรับ ซึ่งมีนักวิจัยจากอินเดียพบว่า QP เกิดขึ้นทุกๆ ที่ไม่มีเครื่องบินอยู่ในรัศมีที่มองเห็นได้ จึงสรุปว่าเป็นปรากฏการณ์จากการรวมตัวของละอองไอน้ำในชั้นบรรยากาศ เป็นกลุ่มหรือเป็น layer ในชั้น โทรโปสเฟียร์ เคลื่อนตัวไปตามความเร็วลม ทำให้เกิดการสะท้อนและการเลี้ยวเบนของคลื่นโทรทัศน์ สุดท้ายการวิจัยนี้ลงความเห็นว่า การแกว่งของสัญญาณอย่างกระทันหัน เกิดจากการที่เครื่องบินผ่านเส้นทางแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์ เพียงอย่างเดียว

ดังนั้นคณะผู้วิจัย จึงทำการสร้างโมเดล จำลองการบินผ่านของเครื่องบินในความสูงและระยะทางต่างกันรวมทั้งเปลี่ยนองค์ประกอบหลายๆ ค่า เพื่อเปรียบเทียบลักษณะและขนาดสัญญาณที่คำนวณได้จากคอมพิวเตอร์กับสัญญาณที่วัดจริง

3.2 สาเหตุของการกระเจิง ของสัญญาณโทรทัศน์ ระบบภาคพื้นดินในบริเวณที่มีความแรงสัญญาณไฟฟ้าอ่อน

จากการประเมินคุณภาพสัญญาณรับระบบบอเนาลีอ็อก พบว่าสัญญาณอินพุทระบบ VHF มีขนาดอย่างน้อย 45 dB μ V และอัตราส่วน S/N เท่ากับ 30 dB ซึ่งในบริเวณที่มีเสียงรบกวนต่ำความแรงสัญญาณไฟฟ้าดีพอสมควร แต่ถ้าจะให้ดีกว่านั้นควรจะมีค่าถึง 54 dB μ V (0.5 mV/m)

ขนาดสัญญาณอินพุทที่เครื่องรับ เมื่อ E_i เป็นอินพุท โวลเทจและอัตราส่วน C/N ของเครื่องรับ

$$E_i = \frac{2\sqrt{2}}{m} \sqrt{KTBR_L N_F} \left(\frac{S}{N} \right) \quad (3.1)$$

เมื่อ m : คำนวณการมอดูเลทของภาพ (≈ 0.625)

K : ค่าคงที่บ็อลต์แมน ($= 1.38 \times 10^{-23} \text{ J / K}$)

T : อุณหภูมิสัมพัทธ์ (K)

B : แถบความถี่น้อยส์ (Hz)

R_L : ความต้านทานอินพุท (Ω)

N_f : น้อยส์แฟลคเตอร์

ความไว (sensitivity) ของเครื่องรับดูจากค่าจำกัดความไวของน้อยส์ โดยพิจารณาจากค่าอินพุทต่ำสุดของเครื่องรับ เมื่ออัตราส่วน S/N ของภาพมีค่า 30 dB ค่าจำกัดความไวของน้อยส์ หาได้จากการวัดค่าน้อยส์เทียบขนาดสัญญาณอินพุท ณ จุดนี้น้อยส์ควรมีค่าเฉลี่ยประมาณ 41 dB μ V และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ใกล้เคียงกัน ถ้ามีสิ่งกีดขวางแนวเส้นสายระหว่างสถานีส่งและเครื่องที่รับสัญญาณ ความแรงสัญญาณไฟฟ้าจะลดลงประมาณ 10 dB หรือขึ้นอยู่กับการสูญเสียไปในตัวบ่งสัญญาณ อีกกรณีหนึ่งที่ทำให้ความแรงสัญญาณรับลดลงได้คือ เมื่อรับสัญญาณระยะไกล สัญญาณที่ส่งกระจายไปในพื้นที่กว้างๆ ของตัวเมืองใหญ่ๆ หรือรับจากสถานีที่ออกอากาศในจังหวัดใกล้เคียง สัญญาณรับจะลดลงมาก-น้อยตามความถี่ และถ้าใช้สายอากาศภายในบ้านแบบที่คิดมาพร้อมกับเครื่องรับทีวีที่เรียกว่า สายอากาศโมโนโพล สัญญาณจะอ่อนลงมาก การลดลงของสัญญาณที่วัดกล่าวแล้วนั้น ปรากฏการณ์กระเจิงสัญญาณจะเกิดในพื้นที่ที่มีภูเขา หรือ เมื่อรับสัญญาณได้ต่ำกว่า 50 dB μ V เมื่อใช้สายอากาศคุณภาพต่ำ

3.3 การคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณโทรทัศน์จากเครื่องบิน

การเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการรบกวนระหว่างคลื่นที่กระเจิง อันเนื่องมาจากเครื่องบิน กับคลื่นที่ต้องการรับ หรือเรียกอีกอย่างว่า การแกว่งของสัญญาณเนื่องจากเครื่องบิน นั้นจะอธิบายโปรแกรมการคำนวณการคาดคะเน โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์และจะแสดงตัวอย่างการคำนวณพร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง จากผลการทดลองได้เสนอพารามิเตอร์ที่เป็นสัดส่วนกับพื้นที่ตัดขวางของการแตกกระเจิงจากด้านข้างของเครื่องบินโดยหาได้จาก ความยาวของตัวเครื่องบิน \times ความกว้าง กรณีของเครื่องบินจัมโบ้ เจ็ท นั้นสามารถคาดคะเนได้ว่ามี พื้นที่ตัดขวางประมาณ 500 m²

เมื่อเครื่องบินบินผ่านมาใกล้ๆ จะปรากฏว่าภาพบนจอเครื่องรับโทรทัศน์จะลึบ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการรบกวนกันระหว่างคลื่นปกติกับคลื่นที่แตกกระเจิงจากเครื่องบินซึ่งเดินทางมาถึงจอร์รับ

ปัจจุบันการแก้ไขปัญหาความต้องการการเดินทางอากาศที่เพิ่มมากขึ้น โดยการเพิ่มจำนวนเที่ยวบินและการทำให้เครื่องบินมีขนาดโตมากขึ้น ทำให้เป็นที่คาดคะเนได้ว่า การรบกวนชนิดนี้ที่เกิดขึ้นในบริเวณรอบๆ สนามบินจะมีผล, ขอบเขต, ความถี่เพิ่มมากขึ้นอย่างแน่นอนในอนาคต ในการก่อสร้างสนามบินใหม่ หรือกรณีพัฒนาสถานที่อยู่อาศัย บริเวณรอบๆ สนามบิน อยู่ใกล้เส้นทางบินก็เช่นกัน มี

ความจำเป็นที่จะต้องทำการคาดคะเน การแกว่งของเครื่องบินที่จะมีผลกระทบต่อการบินวิทยุ โทรทัศน์

เพื่อตอบสนองต่อความต้องการดังกล่าวข้างต้น ได้ทำโปรแกรมการคำนวณเพื่อคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงของความแรงสนามไฟฟ้า อันเนื่องมาจากคลื่นสะท้อนเครื่องบิน โดยใช้คอมพิวเตอร์ และได้ทำการพิจารณาเปรียบเทียบกับผลที่วัดได้จริง

3.3.1 สมการการคำนวณพื้นฐาน

ความแรงสนามไฟฟ้า ที่จุดรับแสดงผลรวมของคลื่นปกติกับคลื่นที่แตกกระเจิง อันเนื่องมาจากเครื่องบิน นั่นคือค่าประสิทธิผลของความแรงสนามไฟฟ้ารับแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$E_r = E_o * (F1 * ADLS + RLS * F2 * F3 * k) \quad (3.2)$$

ในที่นี้ E_o : ความแรงสนามไฟฟ้าในที่ว่างอิสระ

RLS: การสูญเสียเนื่องจากการกระเจิงจากเครื่องบิน

F1, F2, F3: การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นระหว่างจุดต่างๆ กล่าวคือ

1 หมายถึงระหว่างจุดส่งกับจุดรับ

2 หมายถึงระหว่างเครื่องบินกับจุดส่ง

3 หมายถึงระหว่าง เครื่องบินกับจุดรับ

ADLS: (Additional Loss) เป็น การสูญเสียเนื่องจากสิ่งแวดล้อมระหว่างจุดส่งกับจุดรับ

k: ค่าชดเชย เกี่ยวกับโคเรคทีฟของสายอากาศรับ

รายละเอียดของแต่ละเทอมในสมการอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.3.2 ความแรงสนามไฟฟ้าในที่ว่างอิสระ

$$E_o = 7\sqrt{W/d} \quad (v/m) \quad (3.3)$$

ในที่นี้ W: กำลังส่งประสิทธิผล (effective radiated power) (W)

d: ระยะทางระหว่างจุดส่งกับจุดรับ (m)

3.3.3 การสูญเสียเนื่องจากการกระเจิงจากเครื่องบิน

สำหรับข้อมูลอินพุทของคอมพิวเตอร์นั้นจะกำหนด σ ซึ่งเป็นพื้นที่ตัดขวางที่ทำให้เกิด การแตกกระเจิงจากด้านข้างของเครื่องบิน ถ้าให้ความแรงสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งของเครื่องบินเป็น

E, ความแรงสนามไฟฟ้าของคลื่นกระเจิงที่จุดรับเป็น E', การสูญเสียเนื่องจากการกระเจิงเป็น RLS จะได้จำกัดความของพื้นที่ตัดขวางที่ทำให้เกิดการแตกกระเจิงดังนี้

$$\sigma = 4\pi r_2^2 \left| \frac{E'}{E} \right|^2 = 4\pi r_2^2 \left| \frac{7\sqrt{W} \times \text{RLS}}{r_1 + r_2} \bigg/ \frac{7\sqrt{W}}{r_1} \right|^2 \quad (3.4)$$

ดังนั้น การสูญเสียเนื่องจากการกระเจิง RLS สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{RLS} = \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \sqrt{\frac{\sigma}{4\pi}} \quad (3.5)$$

ในที่นี้ r_1, r_2 : เป็นระยะทางระหว่างจุดส่งกับเครื่องบินและระยะทางระหว่างเครื่องบินกับจุดรับ

3.3.4 การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นปกติ

จากสมการของการสะท้อนในระยะทาง การแพร่คลื่นทั่วไปหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$F = |1 + R^{(-jk\Delta r)}| \quad (3.6)$$

ในที่นี้ R : สัมประสิทธิ์การสะท้อน

k : ค่าคงที่ในการแพร่คลื่น = $2\pi/\lambda$, λ = ความยาวคลื่น

Δr : ผลต่างของระยะทางระหว่าง คลื่นตรงกับ คลื่นสะท้อนจากพื้นดิน

ในกรณีที่เป็นบริเวณใกล้ระยะทางแนวสายตาหรือส่วนที่นอกกระยะทางแนวสายตา จะใช้สมการ Spherical Diffraction Equation ดังนี้

$$F = 2\sqrt{2\pi x} \left| \sum_{n=1}^{\infty} \exp(-j\tau n x) \times \text{fn}(h_1) \times \text{fn}(h_2) \right| \quad (3.7)$$

ในที่นี้ $f_n(h_1, h_2)$: ฟังก์ชันของความสูง

h_1, h_2 เป็นความสูงของจุดส่งและจุดรับ

x: $\left(\frac{2\pi}{\lambda a^2} \right)^{\frac{1}{3}} \times d$, d เป็นระยะทางระหว่างจุดส่ง-จุดรับ

a เป็นรัศมีของโลกโดยประมาณ

m : จำนวนโหมด

3.3.5 การสูญเสียจากสิ่งแวดล้อมระหว่างจุดส่งกับจุดรับ (Additional loss)

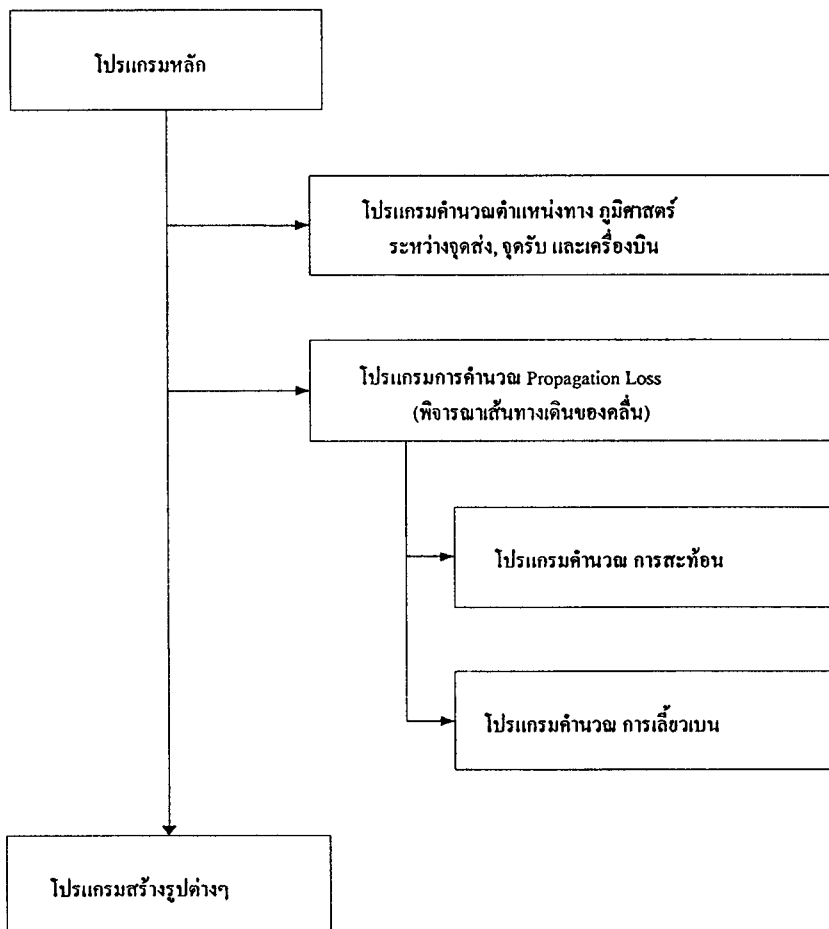
ผลของ Clutter effect ของรูปร่างของ Ground, สิ่งก่อสร้าง และอื่นๆ บนพื้นดินที่อยู่ใกล้จุดรับจะทำให้เกิดการลดทอน (Attenuation) เรียกว่า ADLS

3.3.6 ทิศทางของสายอากาศรับ

ทิศทางของสายอากาศรับ โดยทั่วไปจะไม่อยู่ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางของเครื่องบิน ดังนั้นจึงต้องการการชดเชยค่าไคเร็คติวิตี้ในแนวระดับและแนวตั้งฉากของสายอากาศรับเมื่อมีคลื่นรบกวน

ขั้นตอนการคำนวณและส่วนประกอบของโปรแกรมการคำนวณ

รูปที่ 3.1 แสดงโฟลว์ชาร์ตของขั้นตอนการคำนวณ เมื่อป้อน ข้อมูลอินพุตที่ต้องการให้แก่คอมพิวเตอร์แล้วจะสามารถคำนวณค่าการสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นปกติระหว่างจุดส่ง-จุดรับได้ และเมื่อรวม การสูญเสียที่เกิดจาก Clutter ของบริเวณที่อยู่ใกล้ๆ จุดรับ จะสามารถหาความแรงสนามไฟฟ้าของคลื่นปกติได้



รูปที่ 3.1 โฟลว์ชาร์ตของขั้นตอนการคำนวณ

อนึ่งการสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นปกติระหว่างเครื่องบินกับจุดส่ง,จุดรับ ในเวลาหนึ่งเวลาใดที่กำหนดนั้นจะหาได้ในลักษณะเดียวกัน จากนั้นรวมการสูญเสียเนื่องจากการกระเจิงที่เกิดจากเครื่องบินจะหาความเข้มของคลื่นรบกวนในเส้นทางที่เครื่องบินบิน บินผ่านได้ โดยการพิจารณาโคเร็คติวิตีของสายอากาศรับ เทียบกับคลื่นรบกวนจะสามารถหาค่าประสิทธิภาพ ของความแรงของคลื่นรบกวนได้ หลังจากนั้นทำการรวมกับคลื่นปกติจะสามารถคำนวณหาความเข้มของสัญญาณที่รับได้

โดยการตั้งเวลาให้คอมพิวเตอร์ทำการคำนวณตามจำนวนครั้งที่ต้องการ จะสามารถหาความแรงของสัญญาณรับที่เวลาต่างๆได้ และจากโปรแกรมสร้างรูป Plotter จะแสดงรูปคลื่นของการเปลี่ยนแปลงของความแรงสนามไฟฟ้าออกมา แล้วจึงเขียน โครงร่างของส่วนประกอบของโปรแกรมการคำนวณ

ข้อมูลอินพุตที่ต้องการมีดังต่อไปนี้

- (1) พารามิเตอร์ ของการส่ง,รับ ได้แก่ ความถี่, กำลังส่งประสิทธิภาพ, ความสูงของสายอากาศส่งและรับ, โคเร็คติวิตีในแนวระดับและแนวตั้งฉากของสายอากาศรับและอื่นๆ
- (2) พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องบิน ได้แก่ พื้นที่ตัดขวางที่ทำให้เกิดการกระเจิง ด้านข้างของเครื่องบิน,ความสูงของเครื่องบิน, เส้นทางการบินรวมมุมขึ้น,ลงของเครื่องบิน,ความเกี่ยวข้องทางตำแหน่งของจุดส่ง,จุดรับ ความเร็วในการบินและอื่นๆ
- (3) เกี่ยวกับการสร้างรูปได้แก่ ข้อมูลกำหนดขนาดของรูป,สเกลและอื่นๆ
- (4) ข้อมูลที่ช่วยในการคำนวณ ได้แก่ ข้อมูลกำหนดเวลาการคำนวณ,ระยะห่างของการคำนวณและอื่นๆ การสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่นเนื่องจากสิ่งแวดล้อม, ดัชนีการแสดงว่ามีหรือไม่มีกสะท้อนจากพื้นดิน

3.4 แบบจำลองการแกว่งตัวของสัญญาณโทรทัศน์เนื่องจากเครื่องบิน

โดยทั่วไปสัญญาณโทรทัศน์จะถูกรบกวนจากการที่เครื่องบินบินผ่าน ทำให้สัญญาณแกว่งขึ้นลงอย่างรวดเร็ว เราสามารถบอกคุณภาพของความแรงสัญญาณได้โดยคำนวณ อัตราส่วนสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีโดยตรงต่อสัญญาณสะท้อนหรือที่เรียกว่าอัตราส่วน D/U (Desired signal/Undesired signal)

$$\frac{D}{U} = 20 \log_{10} \frac{E_D}{E_U} = D_{ANT}(\theta) + D_{T,2} + D_{T,1} + K_{k2} + 20 \log_{10} \left\{ \frac{d_1 + d_2}{d \cdot R_{LS}} \frac{e^{j\theta} + R_0 e^{-j\theta r}}{(e^{j\theta r_1} + R_1 e^{-j\theta r_1})(e^{j\theta r_2} + R_2 e^{-j\theta r_2})} \right\} \quad (3.8)$$

เมื่อ E_D และ E_U เป็นโวลเทจรับของสัญญาณจากจากสถานีโดยตรงและสัญญาณสะท้อนตามลำดับ

$$E_D = 10^{-\left\{ \frac{(K_{L1} + D_{T1} + K_{h2})}{20} \right\}} \cdot (e^{R_0} + R_1 e^{-R_1}) E_0 \quad (\text{โวลต์})$$

$$E_U = 10^{-\left\{ \frac{(D_{ANT}(\theta) + K_L + D_{T2})}{20} \right\}} R_{LS} (e^{R_1} + R_1 e^{-R_1}) (e^{R_2} + R_2 e^{-R_2}) E_0 \quad (\text{โวลต์})$$

$$\theta_{r1} = \frac{2\pi h_1 h_0}{\lambda d_1}, \quad \theta_{r2} = \frac{2\pi h_0 h_2}{\lambda d_2}$$

K_L : ความแรงสนามไฟฟ้า (dB)

E_0 : ความแรงสนามไฟฟ้าใน free-space (v/m)

R_{LS} : scattering loss เนื่องมาจากเครื่องบิน

$$R_{LS} = \sqrt{\frac{\sigma}{4\pi}} \cdot \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) \quad (3.7)$$

เมื่อ σ คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของเครื่องบินที่เป็นพื้นที่คลื่นกระเจิง (ดูตารางประกอบ)

$D_{ANT}(\theta)$: เกนขยายของสายอากาศรับแบบมีทิศทาง

D_{T1}, D_{T2} : ทิศทางเกนสายอากาศรับสัญญาณตรงและสัญญาณสะท้อน

K_{h2} : ค่าลดทอนของสัญญาณตรงเมื่อผ่านตัวเมือง

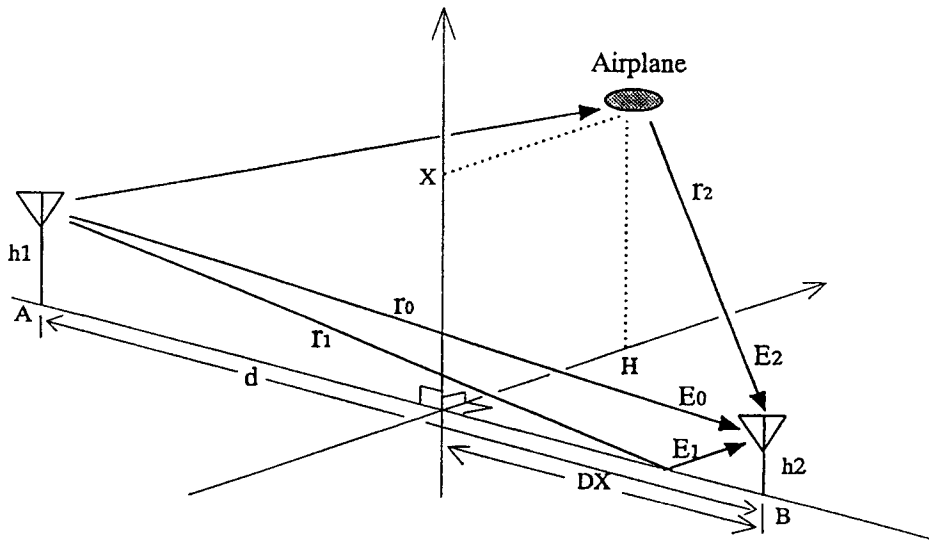
R_0, R_1, R_2 : สัมประสิทธิ์การสะท้อนในแต่ละพื้นที่

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างพื้นที่ภาคตัดขวางของเครื่องบินที่สะท้อนคลื่น โทรทัศน์

ชนิดของเครื่องบิน	ความยาวทั้งลำ (เมตร)	ความกว้าง (เมตร)	พื้นที่ กXย (เมตร) ²	อัตราส่วนเปรียบเทียบ	พ.ท.ตัดขวางด้านข้าง (เมตร) ²	หมายเหตุ
C-460	23.3	32.9	766.6	1	100	วัดจริง
B-727	46.7	32.9	1,536.4	2	200	ค่าประมาณ
B747	70.5	59.6	4,201.8	5.5	550	ค่าประมาณ

โดยทั่วไปค่าอัตราส่วน DU ควรมีอย่างน้อย 20 dB จากการวัดสัญญาณที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พบว่าสัญญาณสะท้อนจากเครื่องบินในช่วงความถี่ 60.75 MHz

เกิดการแกว่งระหว่าง 5-10 dB ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นขณะสัญญาณอินพุตที่รับได้มีค่าประมาณ 50 dB μ V หรือต่ำกว่า



รูปที่ 3.2 แบบจำลองในการคำนวณคลื่นสะท้อนจากเครื่องบิน

การสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการคำนวณปรากฏการณ์แกว่งสัญญาณเนื่องจากเครื่องบิน กำหนดให้คลื่นตรงจากสถานีมีค่าเป็น E_0 และคลื่นสะท้อนจากพื้นดินเป็น E_1 ส่วนคลื่นสะท้อนจากเครื่องบินเท่ากับ E_2 ดังนั้นขนาดสัญญาณที่สายอากาศรับได้คือ E_r เท่ากับ

$$E_r = E_0 + E_1 + E_2 \quad (\text{โวลท์}) \quad (3.8)$$

ถ้ากำหนดให้ RL เป็นสัญญาณรับที่แกว่งไป (receiving level) มีหน่วยเป็น dB

DA เป็นทิศทางของสายอากาศรับ

R เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นของเครื่องบิน %

$$RL = 20 \text{Log}_{10} \left| \frac{E_r}{E_{01}} \right| \quad (\text{dB}) \quad (3.9)$$

$$E_{01} = E_0 + E_1 = E_0 [1 - e^{-j\Delta t}] \quad (3.10)$$

$$E_r = E_{01} + E_2 = E_0 [1 - e^{-j\Delta t} + DA R \cdot e^{-j\Delta t}] \quad (3.11)$$

เมื่อ

$$r_1 = k(r_2 - r_0), \quad r_2 = k(r_2 - r_0)$$

$$k = \frac{2}{f}, \quad = \frac{3 \times 10^8}{f} \quad (m)$$

$$r_0 = \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + d^2} \quad (m) \quad (3.12)$$

$$r_1 = \sqrt{(h_1 + h_2)^2 + d^2} \quad (m) \quad (3.13)$$

$$r_2 = \sqrt{(H - h_2)^2 + (d - DX)^2 + X^2} + \sqrt{(H - h_2)^2 + DX^2 + X^2} \quad (m) \quad (3.14)$$

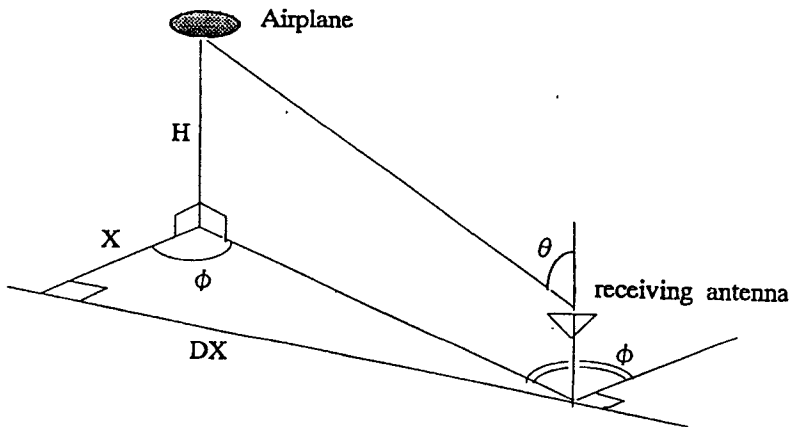
$$DA = \frac{\cos \frac{\theta}{2} \cos \sin(4 \sin \cos)}{8 \sin \sin \frac{\theta}{2} \sin \cos} \quad (3.15)$$

กำหนดให้

r_0 เป็นระยะทางจากสายอากาศส่งมายังสายอากาศรับ (เมตร)

r_1 เป็นระยะทางจากสายอากาศผ่านจุดสะท้อนที่พื้นดินถึงสายอากาศรับ (เมตร)

r_2 เป็นระยะทางจากสายอากาศส่งสะท้อนเครื่องบินมายังสายอากาศรับ (เมตร)



รูปที่ 3.3 แบบจำลองสัญญาณสะท้อนจากเครื่องบินแสดงค่าตัวแปร DX และ H

การคำนวณโดยกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

ความสูงสายอากาศด้านส่ง $h_1 = 250$ m

ความสูงสายอากาศด้านรับ $h_2 = 15$ m

ระยะทางจากสถานีส่ง (A) ถึงจุดรับ (B) $d = 45$ Km

สัมประสิทธิ์การสะท้อนจากเครื่องบิน $R = -0.1$

ระยะห่างจากเส้นทางบินถึงสายอากาศรับ = DX กม.

ความสูงของเครื่องบิน = H กม.

ตารางที่ 3.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและผลจากการคำนวณ

ความถี่ที่ใช้ในการคำนวณ $f_1 = 60.75$ MHz

ลำดับรูป	DX (กม.)	H (กม.)	QP _{p-p} (dB)
1-01	1	1	5.4
1-02	1	2	3.2
1-03	1	3	2.1
1-04	1	4	1.6
1-05	2	1	7.5
1-06	2	2	5.6
1-07	2	3	4.1
1-08	2	4	3
1-09	3	1	8.4
1-10	3	2	7.0
1-11	3	3	5.5
1-12	3	4	4.2
1-13	4	1	8.5
1-14	4	2	7.5
1-15	4	3	6.3
1-16	4	4	5.3

ความถี่ที่ใช้ในการคำนวณ $f_2 = 208.75$ MHz

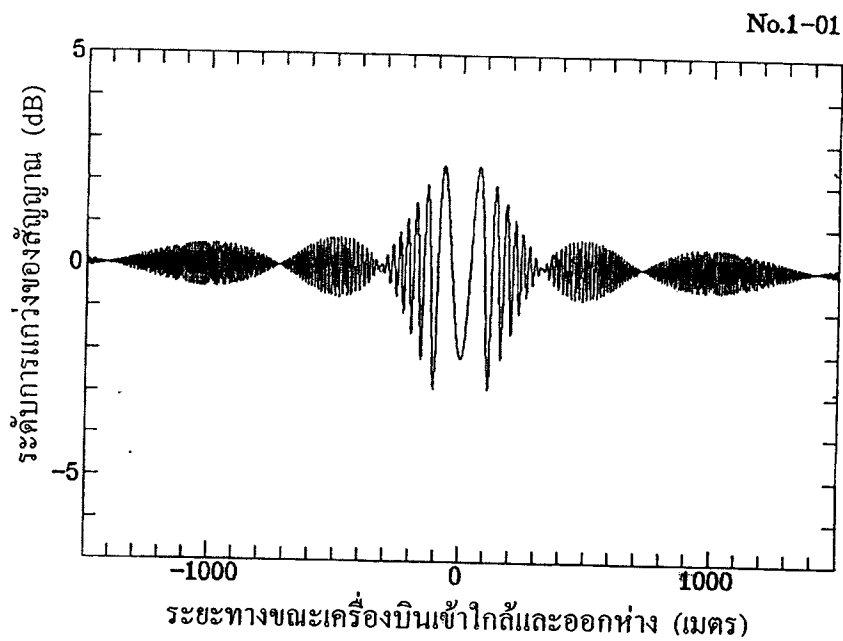
ลำดับรูป	DX (กม.)	H (กม.)	QP _{p-p} (dB)
2-01	1	1	1.75
2-02	1	2	1.0
2-03	1	3	0.75
2-04	1	4	0.4
2-05	2	1	2.25
2-06	2	2	1.75
2-07	2	3	1.2
2-08	2	4	1.0
2-09	3	1	2.3
2-10	3	2	2.0
2-11	3	3	1.7
2-12	3	4	1.3
2-13	4	1	2.4
2-14	4	2	2.2
2-15	4	3	1.9
2-16	4	4	1.5

3.5 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง

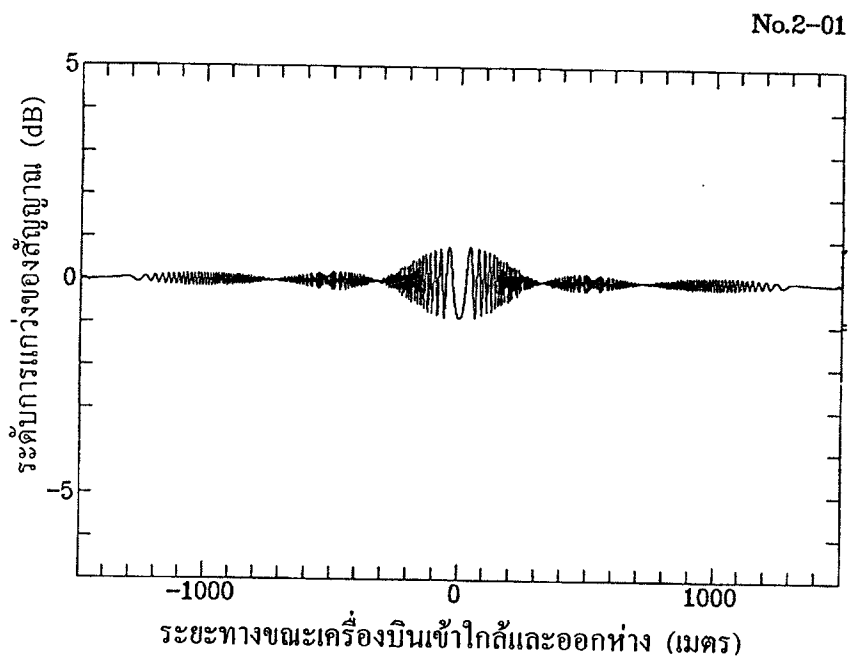
3.5.1 กำหนดให้ D_x และ H เป็นตัวแปร

ผลจากการคำนวณการแกว่งตัวของคลื่นรับเมื่อมีการสะท้อนจากเครื่องบิน และพื้นดิน เปรียบเทียบความถี่ VHF แบนด์ต่ำ 60.75 MHz และ VHF แบนด์สูง 208.75 MHz ได้ผลดังรูปที่ 3.3-3.6 โดยกำหนดให้ D_x คงที่ เปลี่ยนความสูงเครื่องบินไปจาก 1 กิโลเมตร ถึง 4 กิโลเมตร ตามตารางที่ 3.2

จากรูปที่ 3.4-3.7 ผลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณโทรทัศน์ความถี่ต่ำ f_1 60.75MHz ช่อง 3 และความถี่สูง f_2 208.75MHz ช่อง 9 ซึ่งสายอากาศส่งออกอากาศอยู่ที่เดียวกัน คือที่หนองแขม ห่างจากจุดรับ 45 กม.เท่ากัน ความสูงสายอากาศใกล้เคียงกันโดยกำหนดให้ D_x คงที่ 1 กม. ส่วน H เปลี่ยนจาก 1-4 กม. ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นจากเครื่องบิน R เท่ากัน ทั้งนี้เพื่อดูผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นหรือ QP ในความถี่สูงและความถี่ต่ำ ซึ่งปรากฏการณ์ QP ที่เกิดในความถี่ต่ำจะมีขนาดสูงกว่าที่เกิดในความถี่สูง ทุกๆ ค่าความสูงและ D_x ที่เท่ากัน รูปร่างของสัญญาณจะแกว่งมากขึ้นที่ละน้อยเมื่อเครื่องบินเข้าใกล้แนวแพร่กระจายคลื่น และแกว่งด้วยระดับที่สูงขึ้น เมื่อเครื่องบินอยู่ตรงจุดที่สะท้อนสูงสุด และค่อยๆ ลดลงเมื่อเครื่องบินเคลื่อนไกลออกไป ลักษณะคลื่นเช่นนี้จะเหมือนกับผลที่ได้จากการทดลอง เช่นเดียวกับรูปที่ 3.8-3.19 เมื่อ D_x เปลี่ยนจาก 1-4 กม. และ H เปลี่ยนจาก 1-4 กม. ขณะที่เครื่องบินอยู่ในระดับต่ำสัญญาณ QP จะมีค่ามากผลกระทบมาก ทั้งนี้สัญญาณ QP ในช่อง 3 จะมากกว่าช่อง 9 ในทุกกรณี ซึ่งแสดงว่าช่องความถี่ต่ำจะมีผลกระทบจากเครื่องบินมากกว่าช่องความถี่สูงเสมอ



a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 1 กม., H = 1 กม.



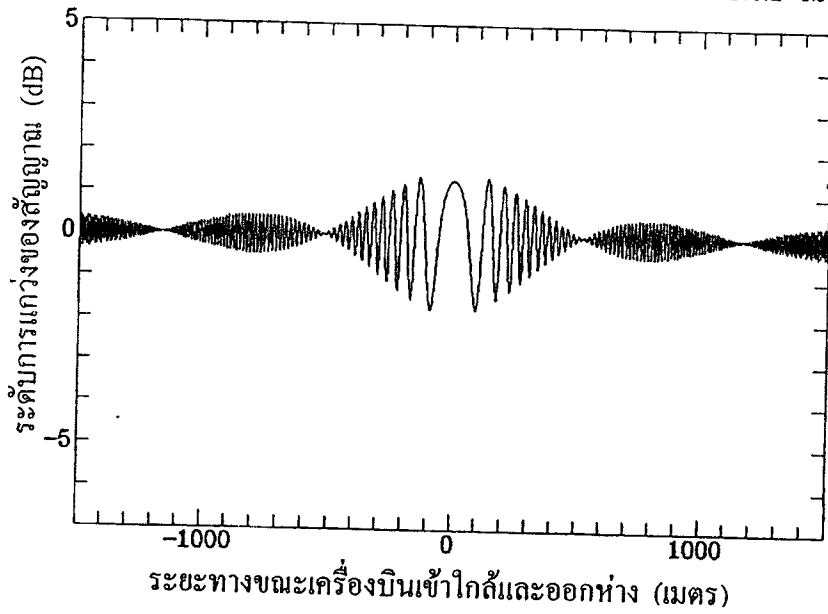
b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 1 กม., H = 1 กม.

รูปที่ 3.4 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 1 กม., H = 1 กม.

a) ความถี่ช่อง 3

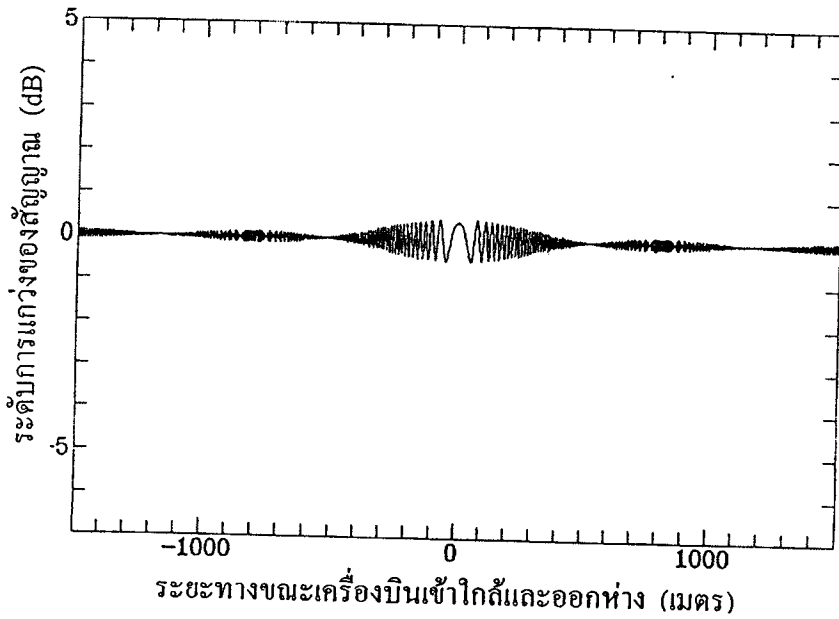
b) ความถี่ช่อง 9

No.1-02



a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 1 กม., H = 2 กม.

No.2-02

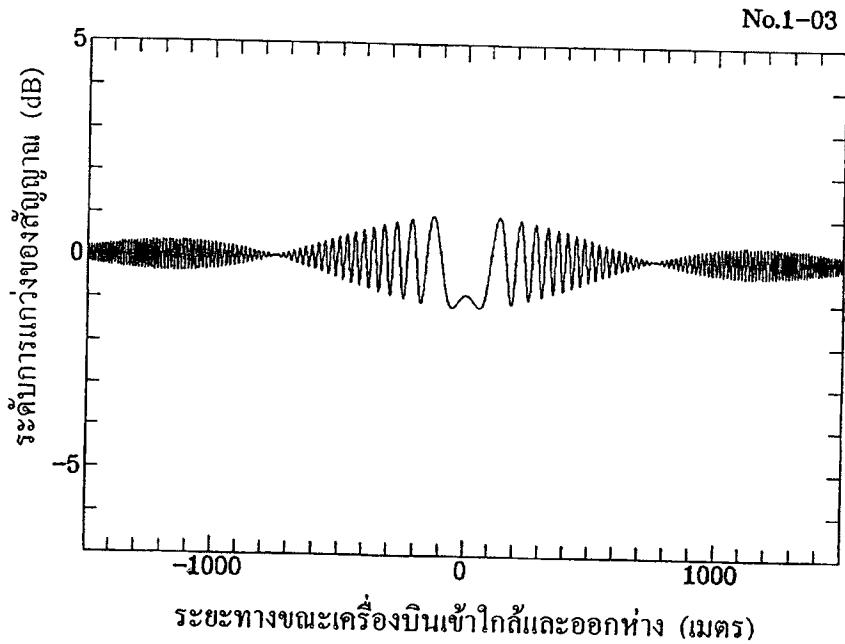


b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 1 กม., H = 2 กม.

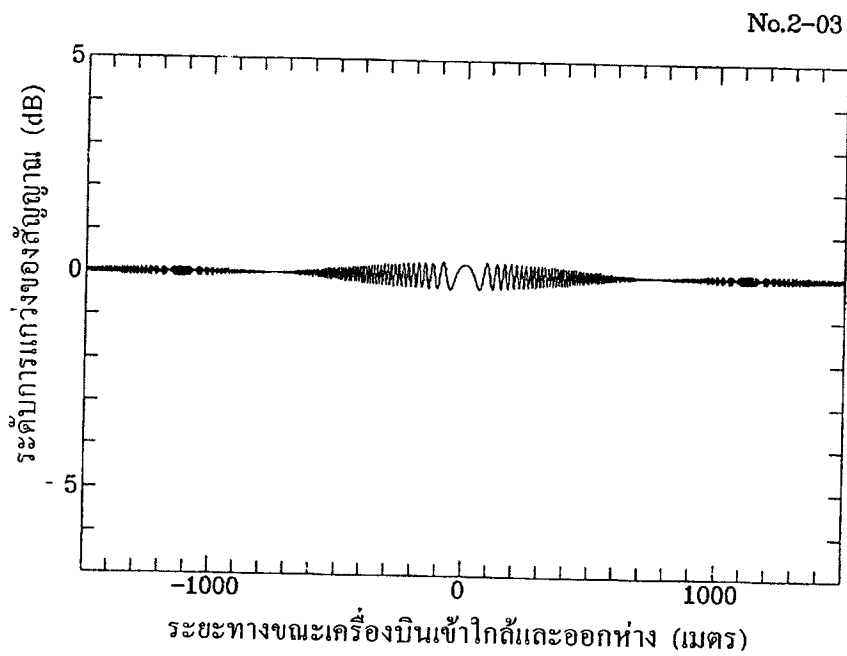
รูปที่ 3.5 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 1 กม., H = 2 กม.

a) ความถี่ช่อง 3

b) ความถี่ช่อง 9



a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 1 กม., H = 3 กม.

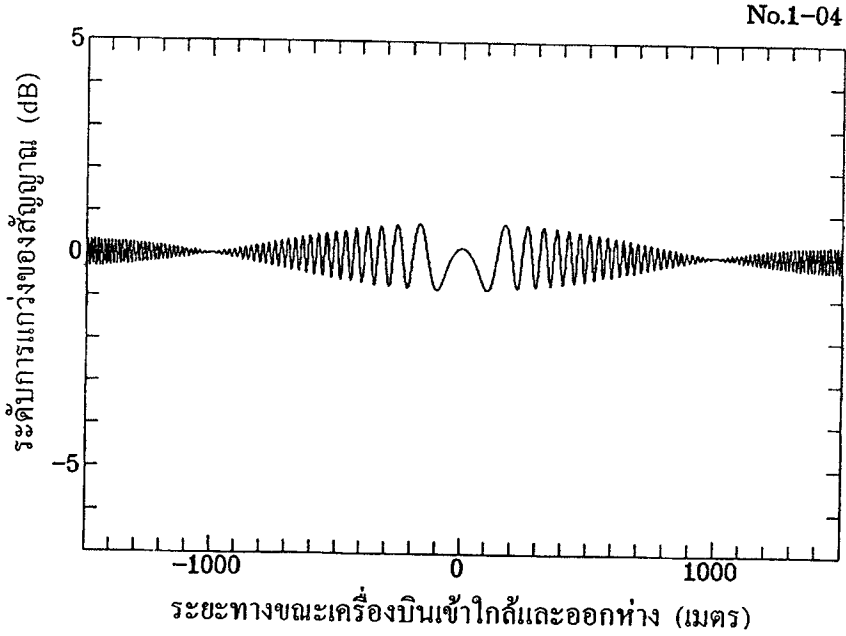


b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 1 กม., H = 3 กม.

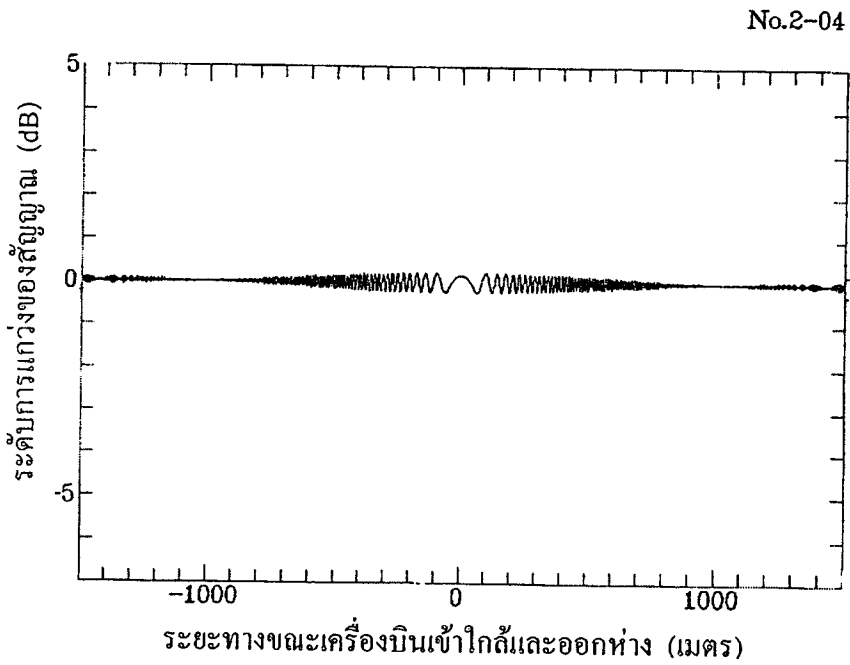
รูปที่ 3.6 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 1 กม., H = 3 กม.

a) ความถี่ช่อง 3

b) ความถี่ช่อง 9



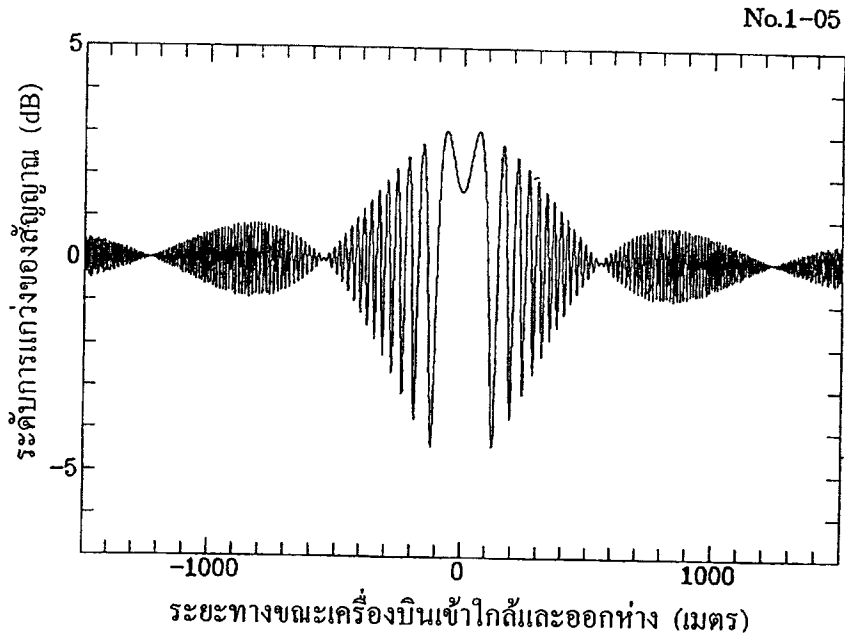
a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 1 กม., H = 4 กม.



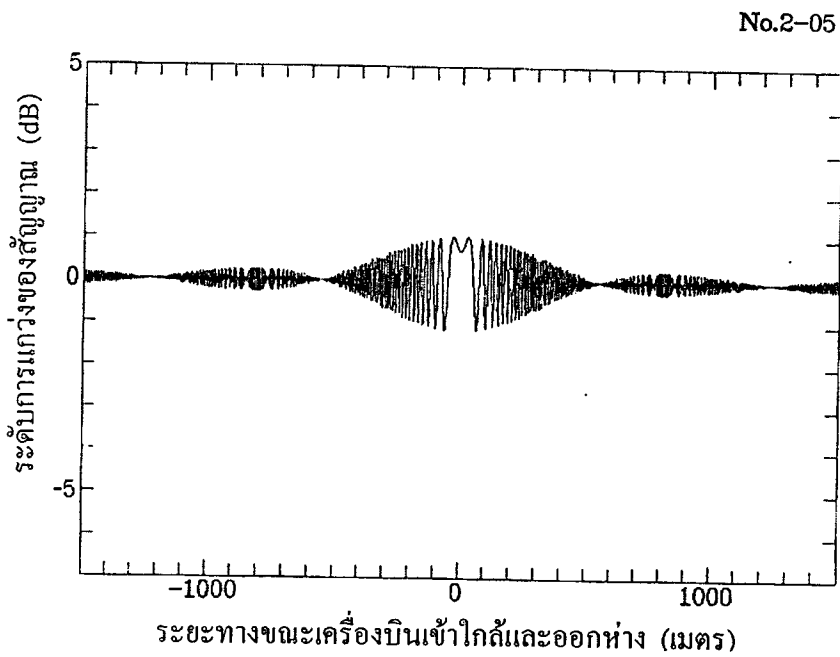
b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 1 กม., H = 4 กม.

รูปที่ 3.7 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 1 กม., H = 4 กม.

- a) ความถี่ช่อง 3 b) ความถี่ช่อง 9



a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 2 กม., H = 1 กม.

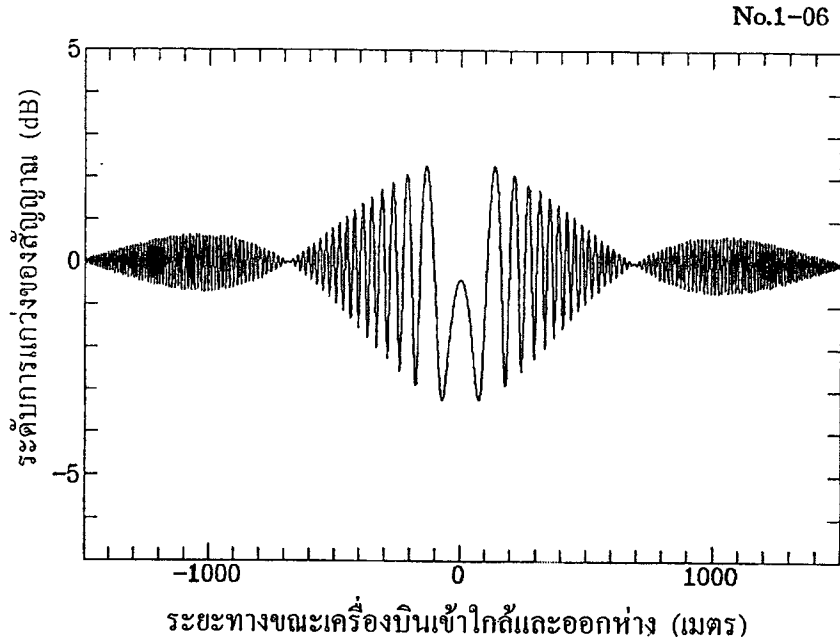


b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 2 กม., H = 1 กม.

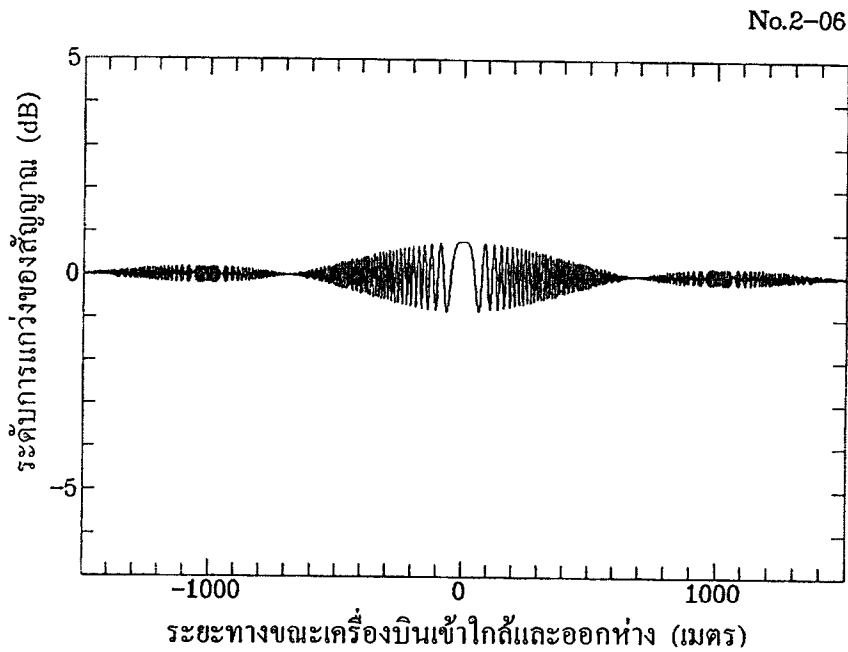
รูปที่ 3.8 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 2 กม., H = 1 กม.

a) ความถี่ช่อง 3

b) ความถี่ช่อง 9



a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 2 กม., H = 2 กม.

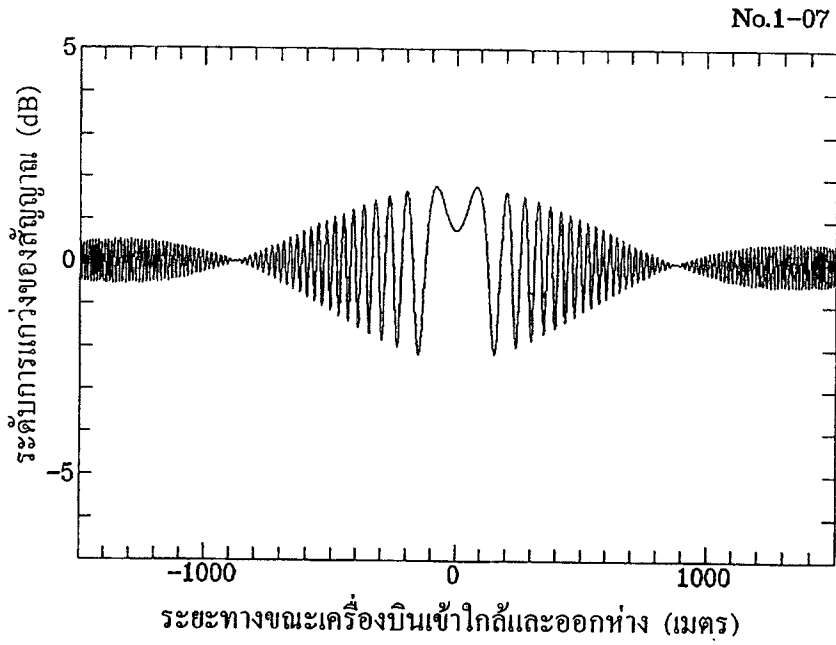


b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 2 กม., H = 2 กม.

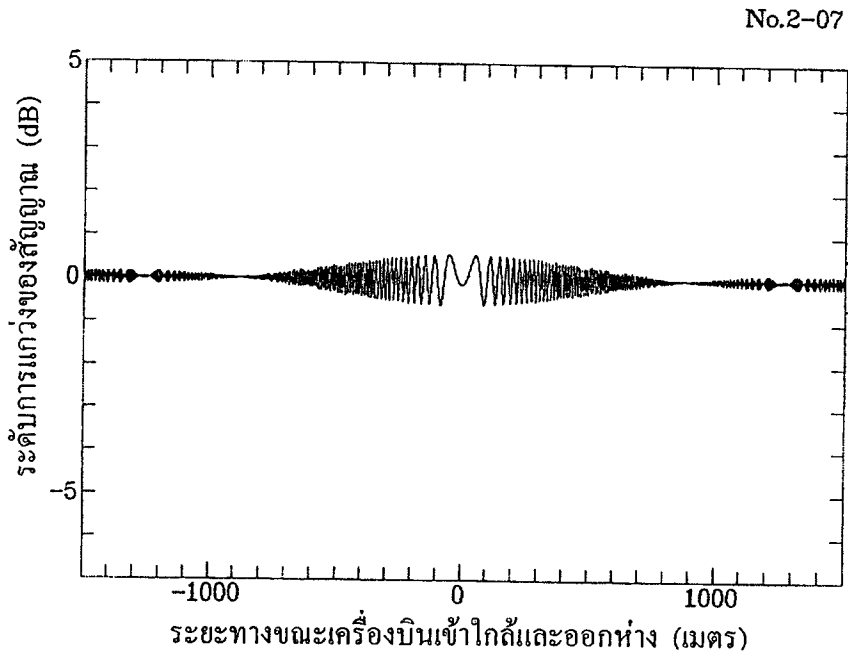
รูปที่ 3.9 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 2 กม., H = 2 กม.

a) ความถี่ช่อง 3

b) ความถี่ช่อง 9



a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 2 กม., H = 3 กม.

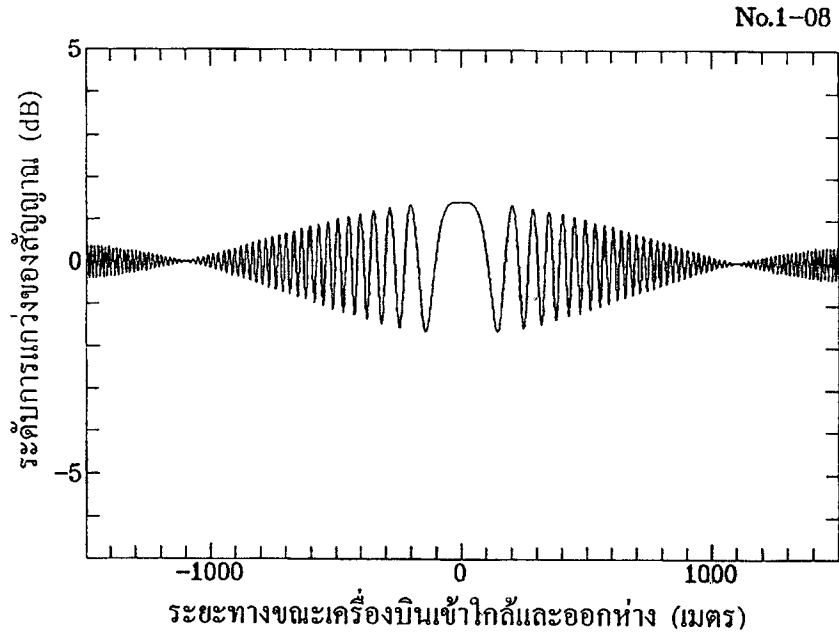


b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 2 กม., H = 3 กม.

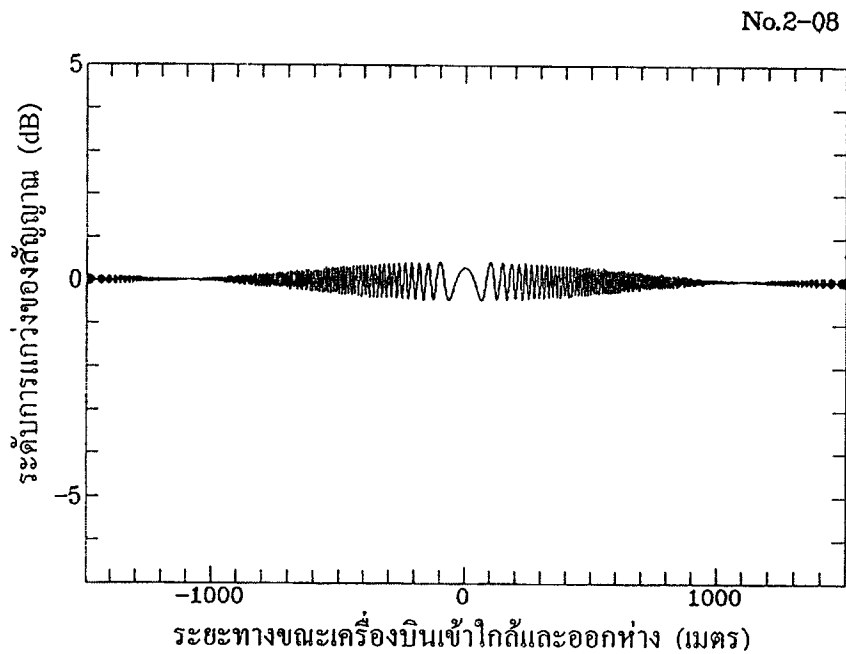
รูปที่ 3.10 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 2 กม., H = 3 กม.

a) ความถี่ช่อง 3

b) ความถี่ช่อง 9



a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 2 กม., H = 4 กม.

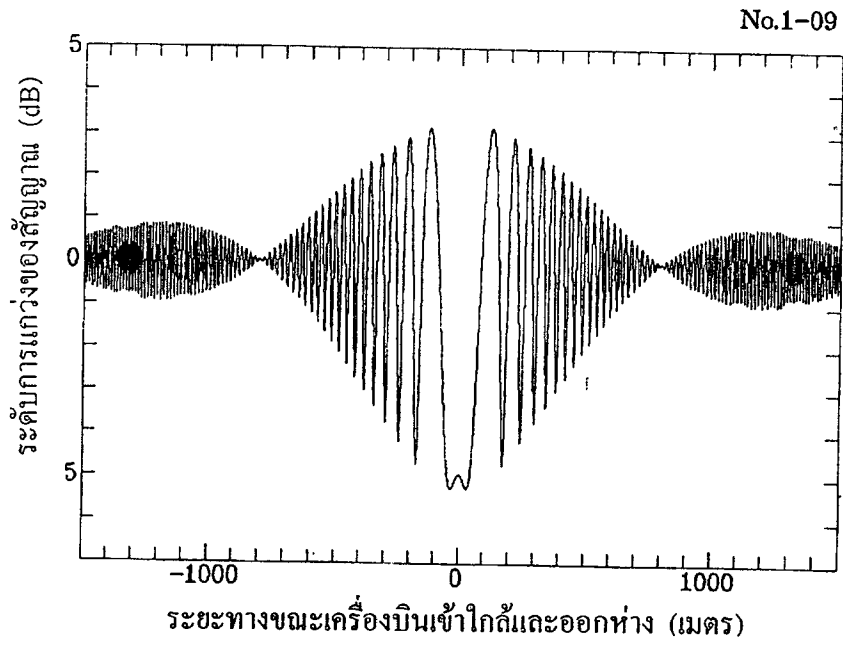


b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 2 กม., H = 4 กม.

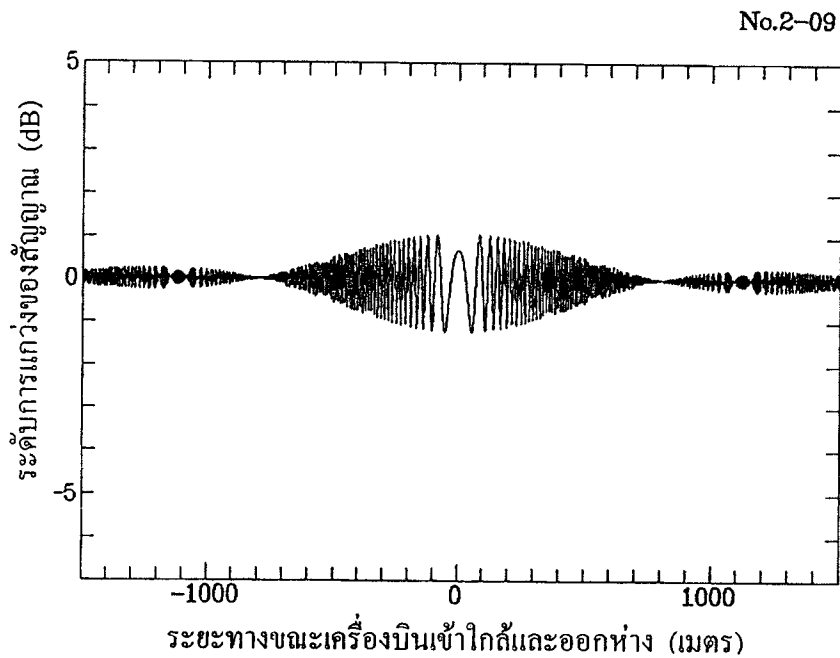
รูปที่ 3.11 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 2 กม., H = 4 กม.

a) ความถี่ช่อง 3

b) ความถี่ช่อง 9



a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 3 กม., H = 1 กม.

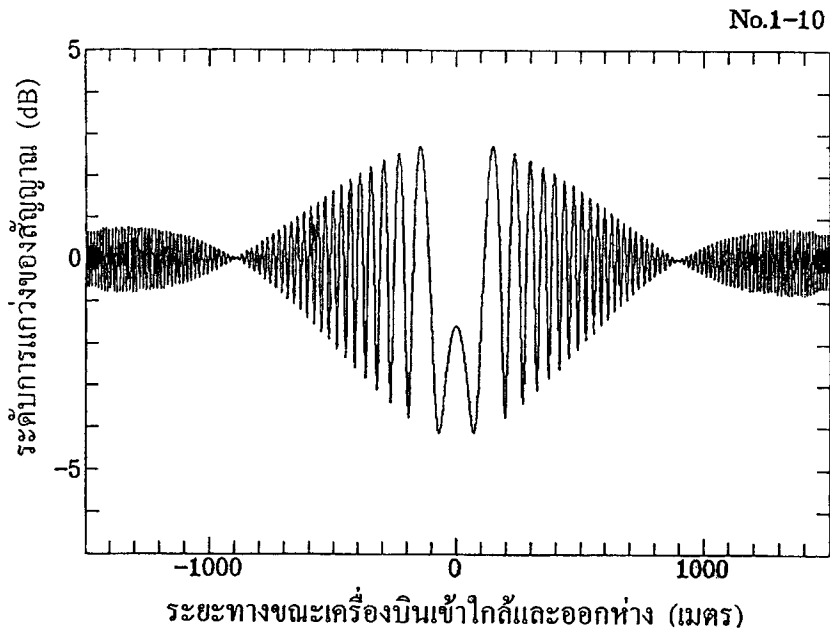


b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 3 กม., H = 1 กม.

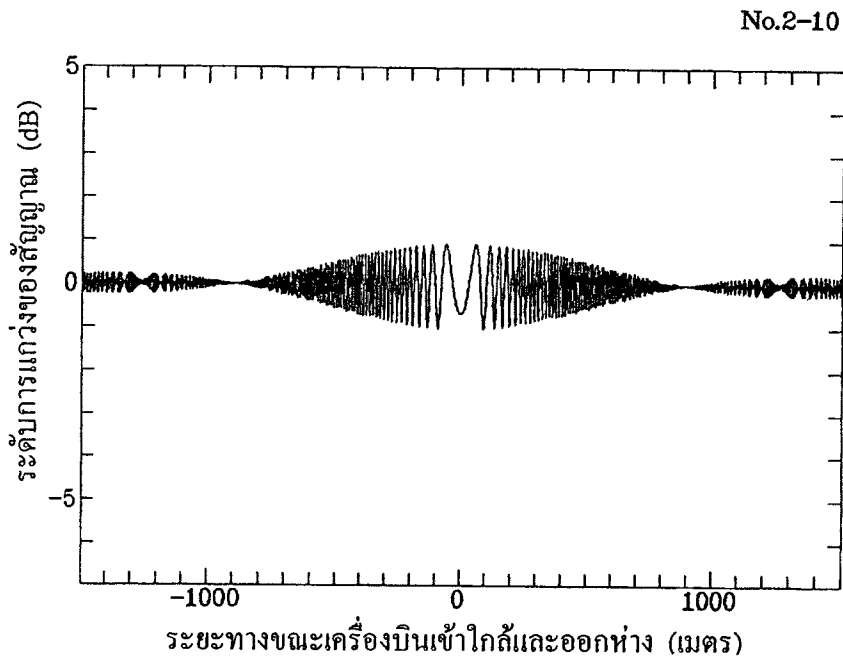
รูปที่ 3.12 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 3 กม., H = 1 กม.

a) ความถี่ช่อง 3

b) ความถี่ช่อง 9



a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 3 กม., H = 2 กม.



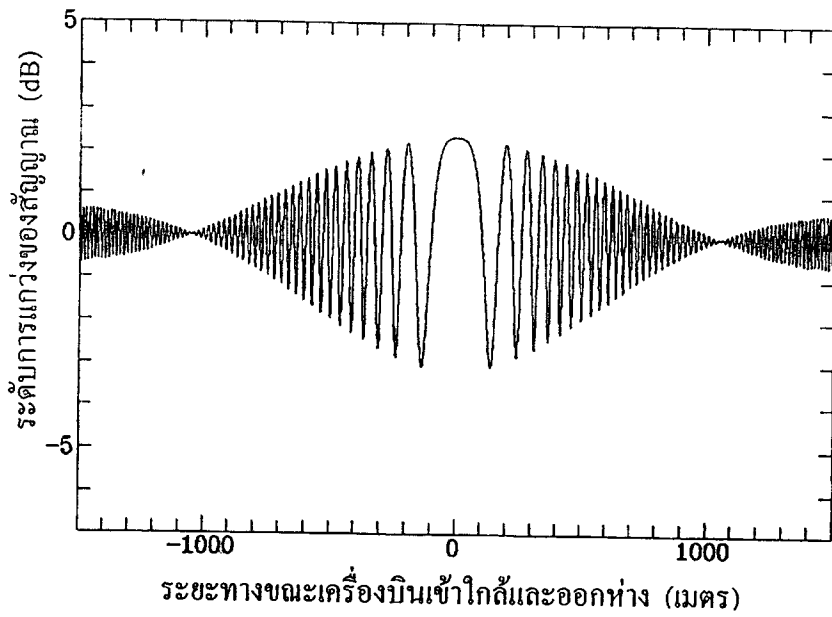
b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 3 กม., H = 2 กม.

รูปที่ 3.13 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 3 กม., H = 2 กม.

a) ความถี่ช่อง 3

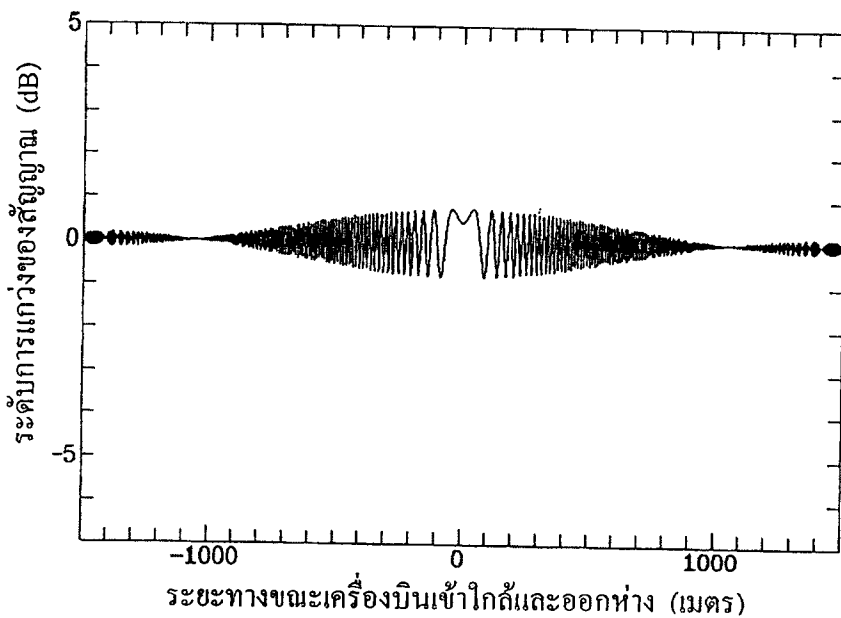
b) ความถี่ช่อง 9

No.1-11



a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 3 กม., H = 3 กม.

No.2-11

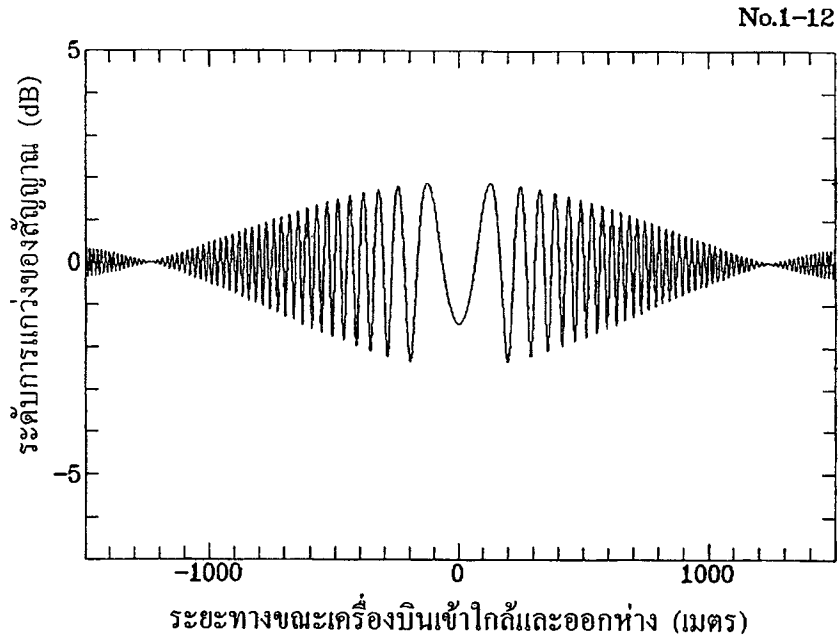


b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 3 กม., H = 3 กม.

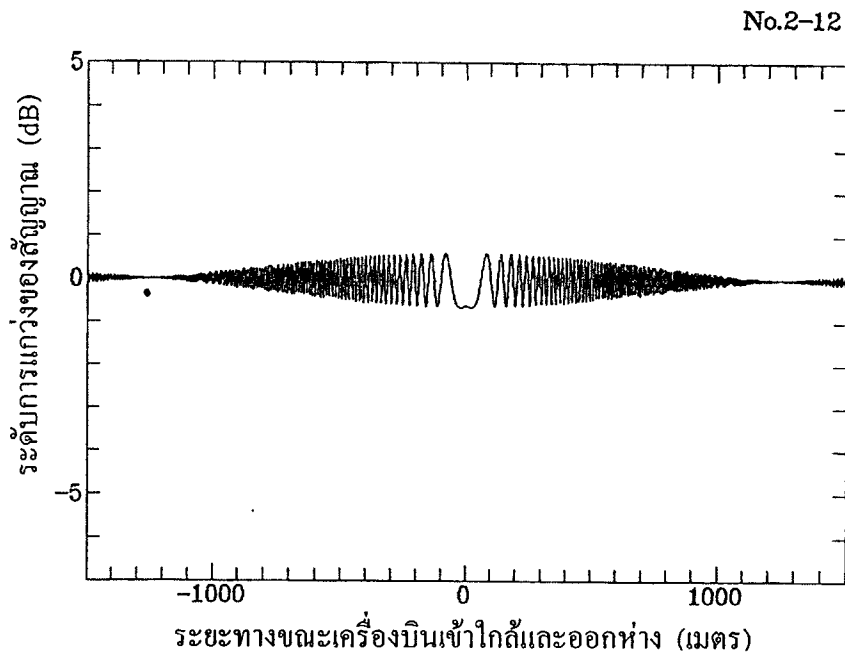
รูปที่ 3.14 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 3 กม., H = 3 กม.

a) ความถี่ช่อง 3

b) ความถี่ช่อง 9



a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 3 กม., H = 4 กม.

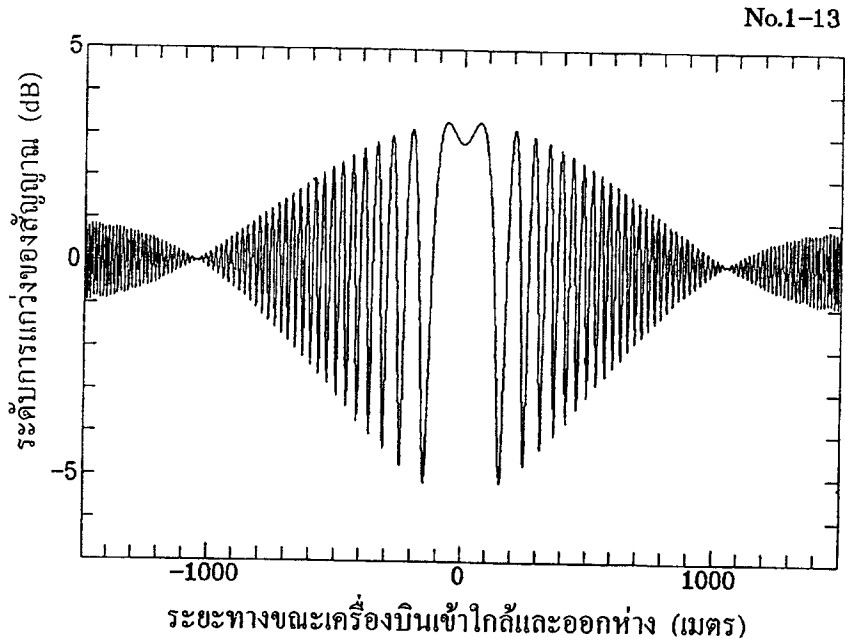


b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 3 กม., H = 4 กม.

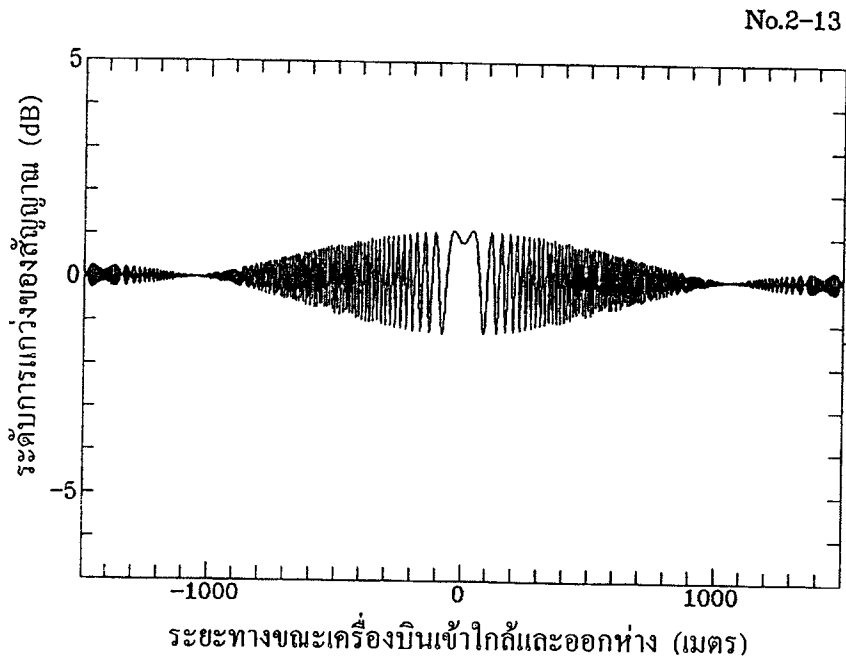
รูปที่ 3.15 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 3 กม., H = 4 กม.

a) ความถี่ช่อง 3

b) ความถี่ช่อง 9



a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 4 กม., H = 1 กม.

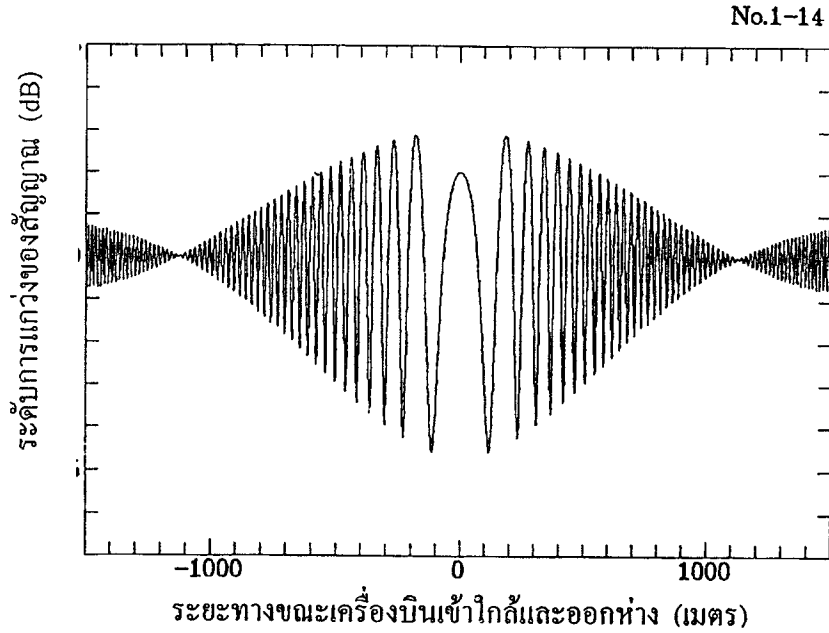


b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 4 กม., H = 1 กม.

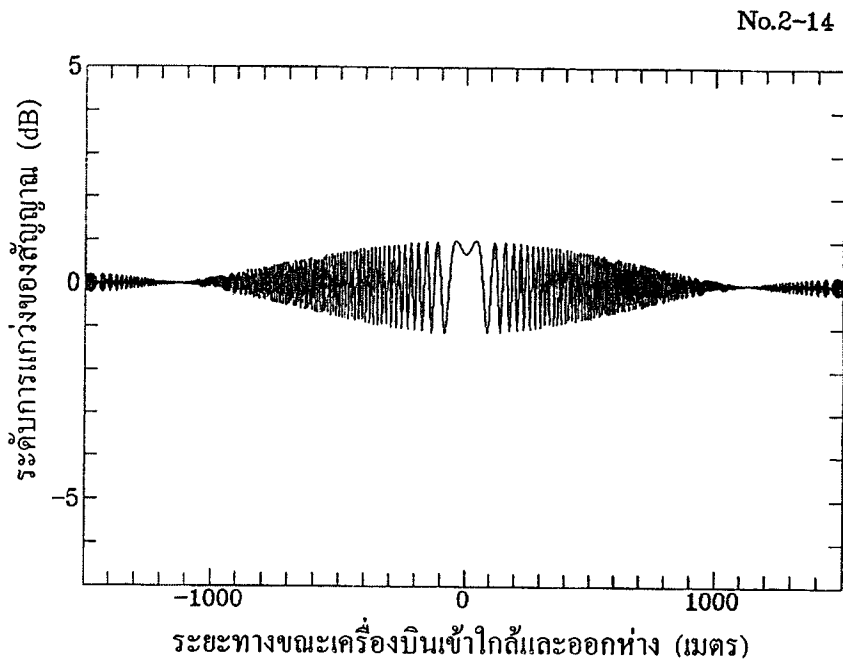
รูปที่ 3.16 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 4 กม., H = 1 กม.

a) ความถี่ช่อง 3

b) ความถี่ช่อง 9



a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 4 กม., H = 2 กม.

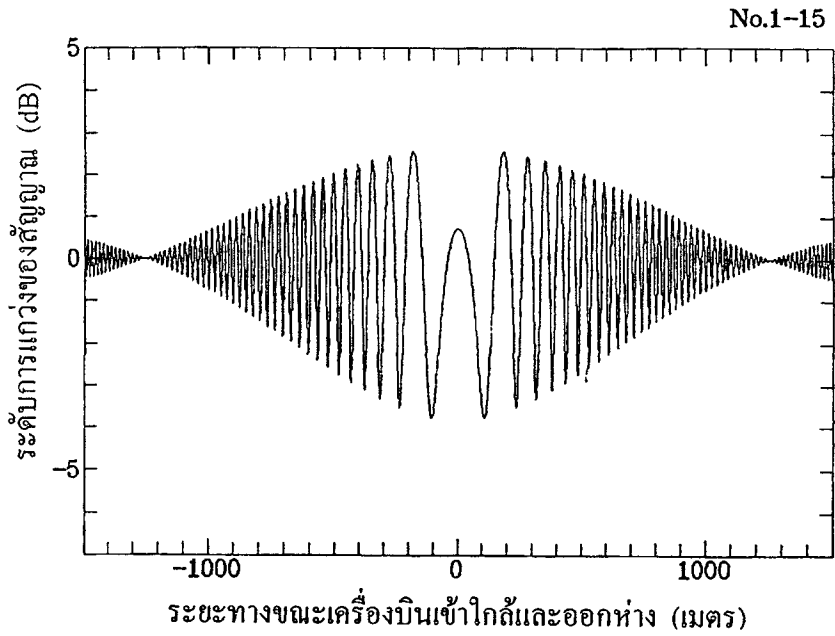


b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 4 กม., H = 2 กม.

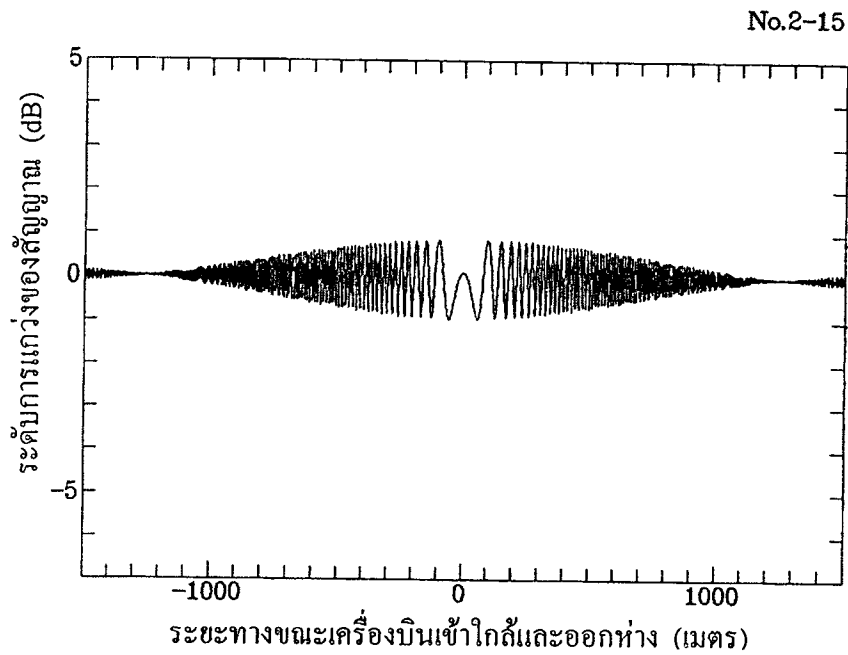
รูปที่ 3.17 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 2 กม., H = 4 กม.

a) ความถี่ช่อง 3

b) ความถี่ช่อง 9



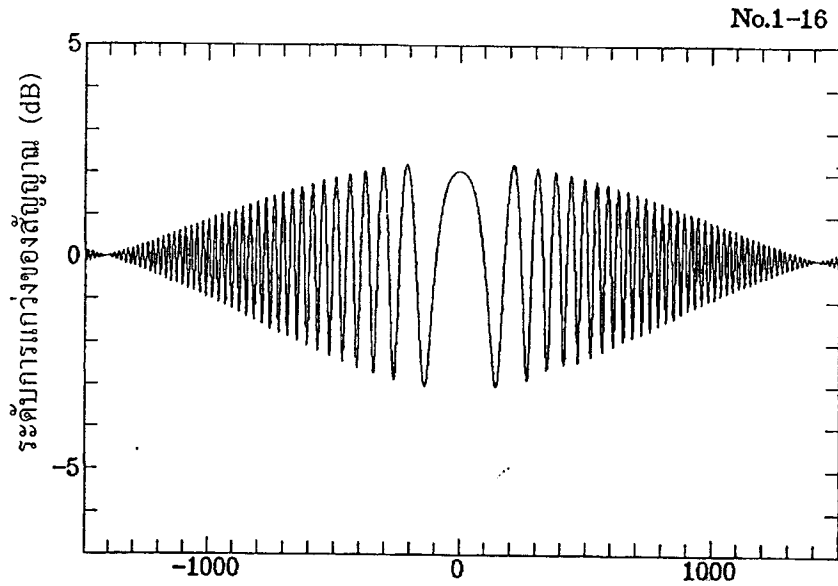
a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 4 กม., H = 3 กม.



b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 4 กม., H = 3 กม.

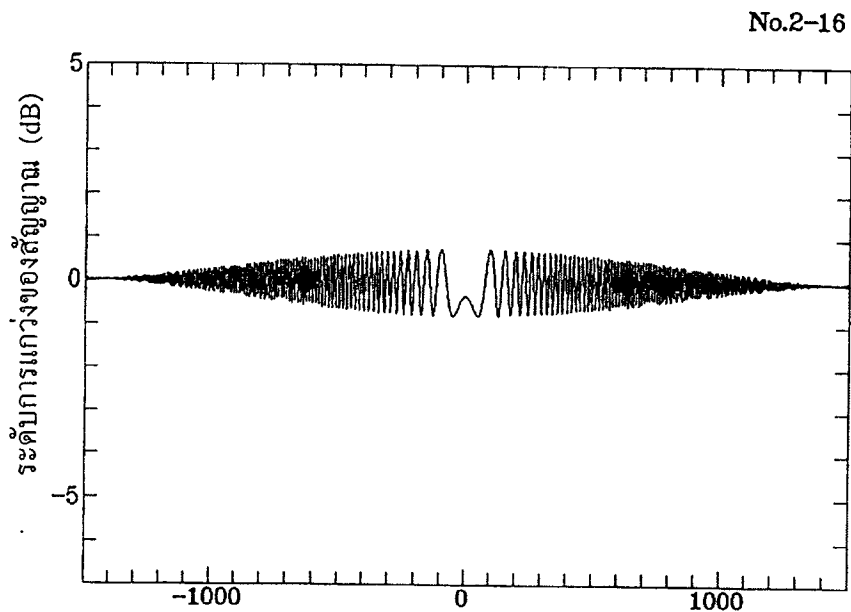
รูปที่ 3.18 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 4 กม., H = 3 กม.

a) ความถี่ช่อง 3 b) ความถี่ช่อง 9



ระยะทางขณะเครื่องบินเข้าใกล้และออกห่าง (เมตร)

a) ความถี่ 60.75 MHz DX = 4 กม., H = 4 กม.



ระยะทางขณะเครื่องบินเข้าใกล้และออกห่าง (เมตร)

b) ความถี่ 208.75 MHz DX = 4 กม., H = 4 กม.

รูปที่ 3.19 รูปจากการคำนวณแบบจำลอง QP โดยให้ระยะทาง DX = 4 กม., H = 4 กม.

a) ความถี่ช่อง 3

b) ความถี่ช่อง 9

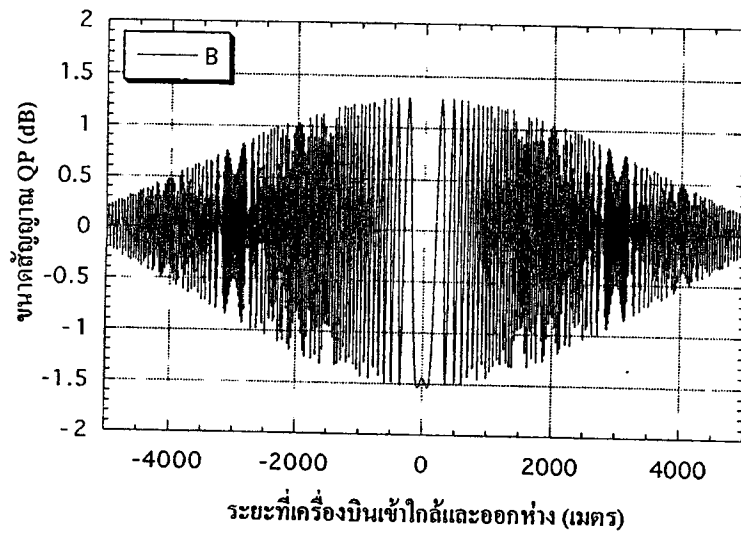
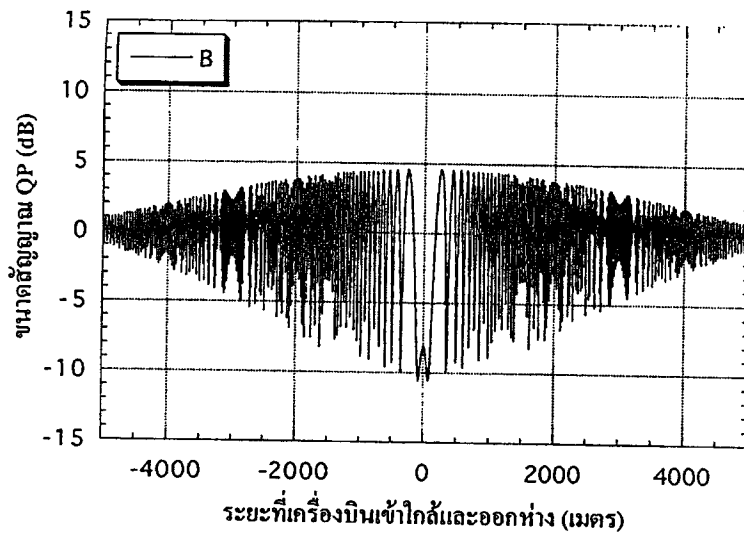
3.5.2 ปรากฏการณ์ QP เปลี่ยนแปลง ส.ป.ส. การสะท้อน, ระยะทาง และความสูงสายอากาศ

จากการทดสอบแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เมื่อระยะทางของเครื่องบิน (Dx) และความสูงของเครื่องบินของสัญญาณช่อง 3 และ ช่อง 9 เปลี่ยนแปลง ค่า QP ไปมาก นอกจากนี้ยังมีตัวแปรทำให้ค่า QP เปลี่ยนแปลงได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเครื่องบิน (R) ในการคำนวณยกตัวอย่างเฉพาะสัญญาณความถี่ต่ำ เพราะมีผลกระทบที่ชัดเจนกว่าโดยใช้ตัวแปรอื่นๆ ดังตารางที่ 3.3

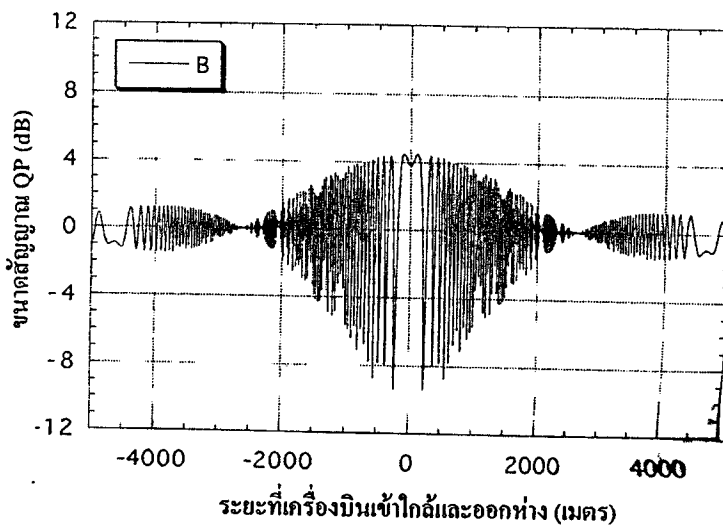
ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ QP

ความถี่	f	60.75 MHz
ระยะห่างเครื่องบิน	Dx	22.5 กม.
ความสูงเครื่องบิน	H	2 กม.
ความสูงเสาอากาศส่ง	h_1	230 กม.
ความสูงเสาอากาศรับ	h_2	15 ม.
ส.ป.ส การสะท้อน	R	3, 13 %

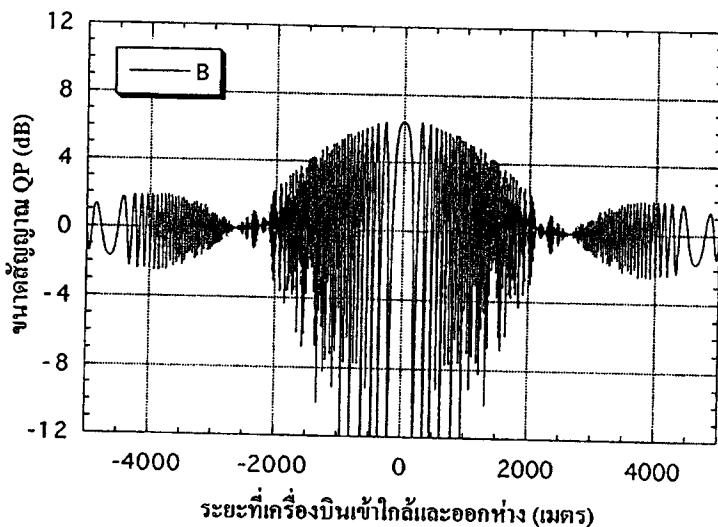
ในรูปที่ 3.20 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเครื่องบิน $R = 3\%$ ทำให้เกิดการสะท้อนคลื่นน้อยมีค่า dB ของ QP เพียง 2.8 dB ในขณะที่ค่า $R = 13\%$ เกิดค่า QP เท่ากับ 15.1 dB นั่นคือค่า R มากการสะท้อนคลื่นมากตามไปด้วย

a) $R = 3\%$ b) $R = 13\%$ รูปที่ 3.20 รูปคลื่นและขนาด QP เมื่อ R เปลี่ยนแปลง

ความสูงสายอากาศเครื่องรับ (h_2) มีผลต่อขนาดของ QP มาก จากรูปที่ 3.21 เมื่อเสาอากาศสูง 8 เมตร ได้ QP ขนาดเท่ากับ 18 dB ในขณะที่ความสูง 13 เมตร ขนาด QP ประมาณ 13 dB สายอากาศติดตั้งไว้สูงๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดสัญญาณโทรทัศน์ต่ำ นั่นคือมีผลกระทบน้อยกว่าสัญญาณภาพและเสียงมีคุณภาพดีกว่า แต่ขนาด QP ที่ได้จากการคำนวณค่อนข้างสูงกว่าค่าที่ได้จากการปฏิบัติ



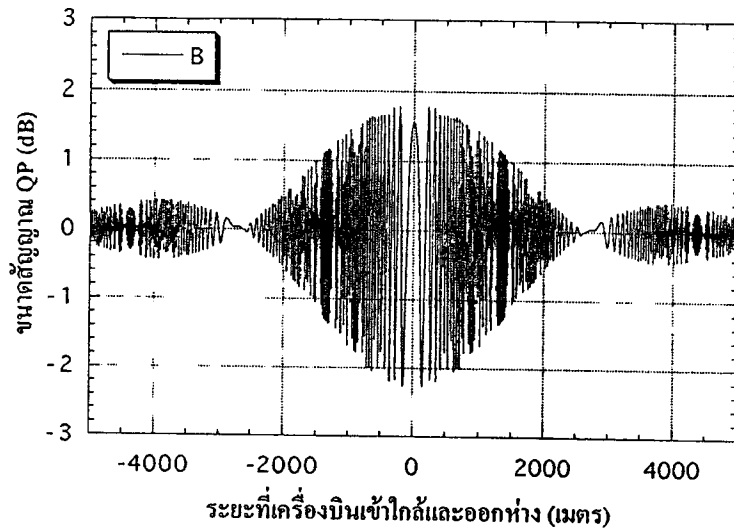
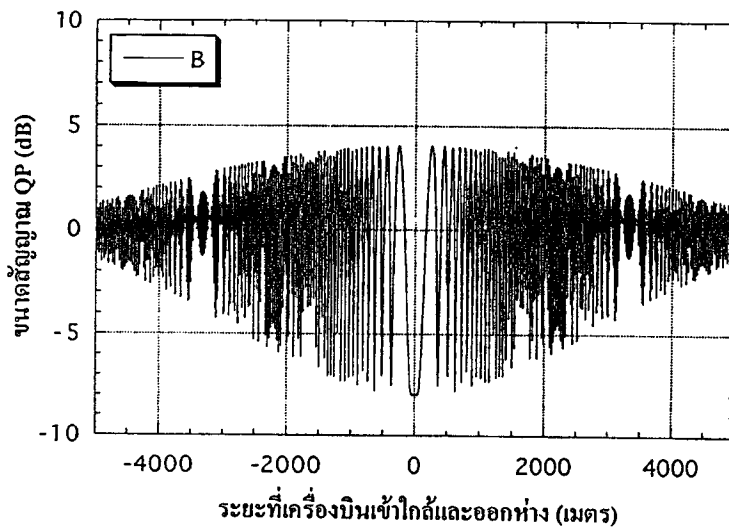
a) $h_2 = 8$ เมตร



b) $h_2 = 13$ เมตร

รูปที่ 3.21 ขนาด QP เมื่อติดตั้งสายอากาศที่ความสูงต่างกัน

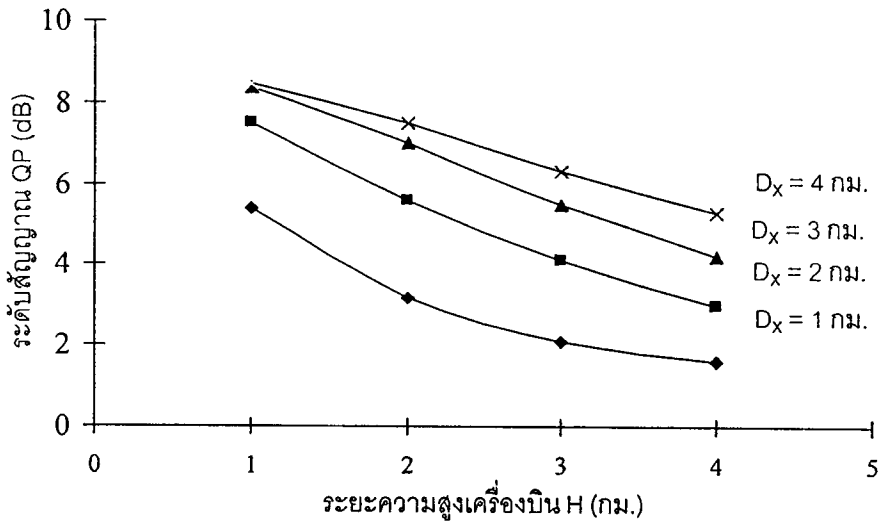
ระยะทางระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ (d) มีผลต่อสัญญาณรับมาก ถ้าเครื่องรับอยู่ใกล้เครื่องส่งคือ ไม่เกิน 20 กม. ความแรงสัญญาณไฟฟ้าจะสูง เมื่อมีเครื่องบินผ่านเข้ามา ปรัชญาการณ QP จะมีค่าน้อยกว่า เมื่อเครื่องรับอยู่ไกล ในการคำนวณ ใช้ตัวแปรจากตารางที่ 3.3 คือความถี่ 60.75 MHz กำหนดให้เครื่องบินอยู่ในระยะกึ่งกลางระหว่างสถานีส่งกับเครื่องรับ คือ $Dx = \frac{d}{2}$ และ $R = 1\%$ ในที่นี้เสนอตัวอย่างของการคำนวณระยะ d ที่ 20 กม. และ 50 กม. ดังรูปที่ 3.22

a) $d = 20$ กม.b) $d = 50$ กม.รูปที่ 3.22 รูปร่างและขนาดของปรากฏการณ์ QP เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า d

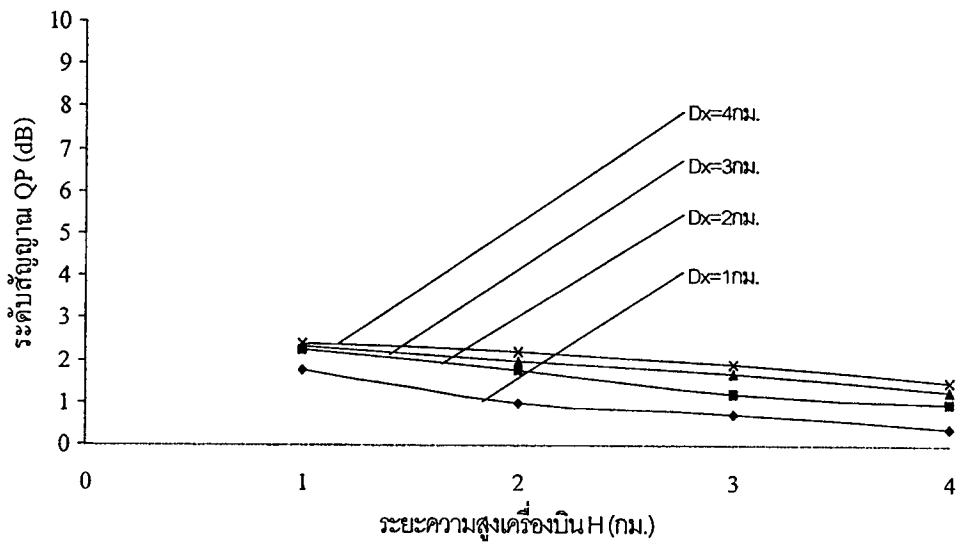
จากรูปที่ 3.22 จะเห็นว่าถ้าเครื่องรับห่างจากเครื่องส่งเพียง 20 กม. ขนาดของ QP มีค่าประมาณ 4 dB แต่ถ้าระยะทาง 50 กม. ขนาด QP เท่ากับ 12 dB ดังนั้นถ้าระยะยิ่งไกลปรากฏการณ์ QP จะยิ่งสูงทำให้คุณภาพโทรทัศน์ไม่ได้ต้องใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณจากสายอากาศ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะของเครื่องบิน (D_x) ด้วย

3.4.3 ผลสรุปจากแบบจำลองเมื่อค่า D_x และ H เปลี่ยนแปลง

สรุปปรากฏการณ์ QP ที่ระยะความสูงของเครื่องบินต่างกัน เมื่อเครื่องบินบินเข้าใกล้หรือห่างออกจากจุดรับ ของสัญญาณความถี่ 60.75 MHz และ 208.75 MHz ด้วยกราฟรูปที่ 3.23 และ 3.24



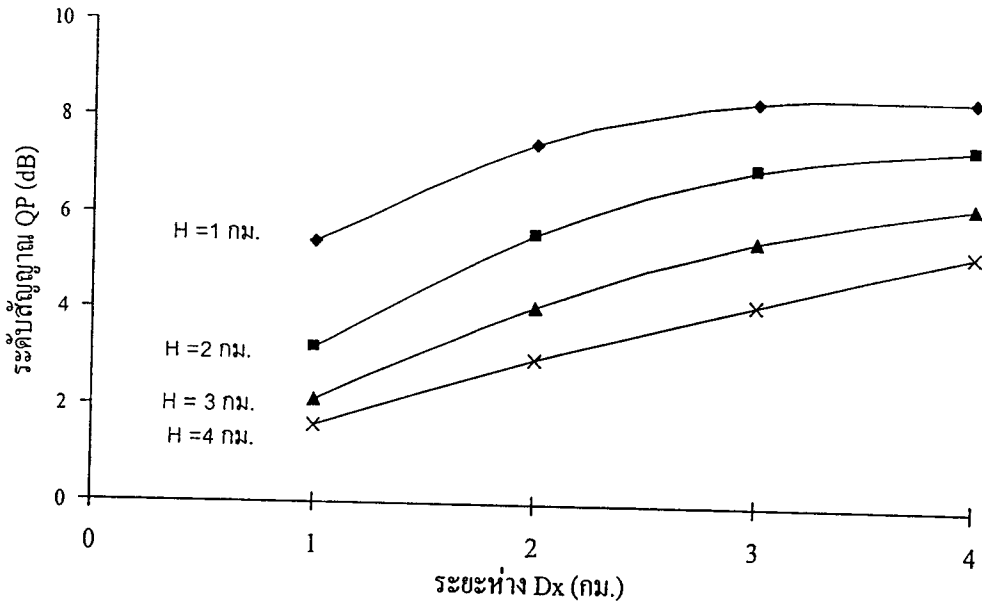
a) ความถี่ 60.75 MHz



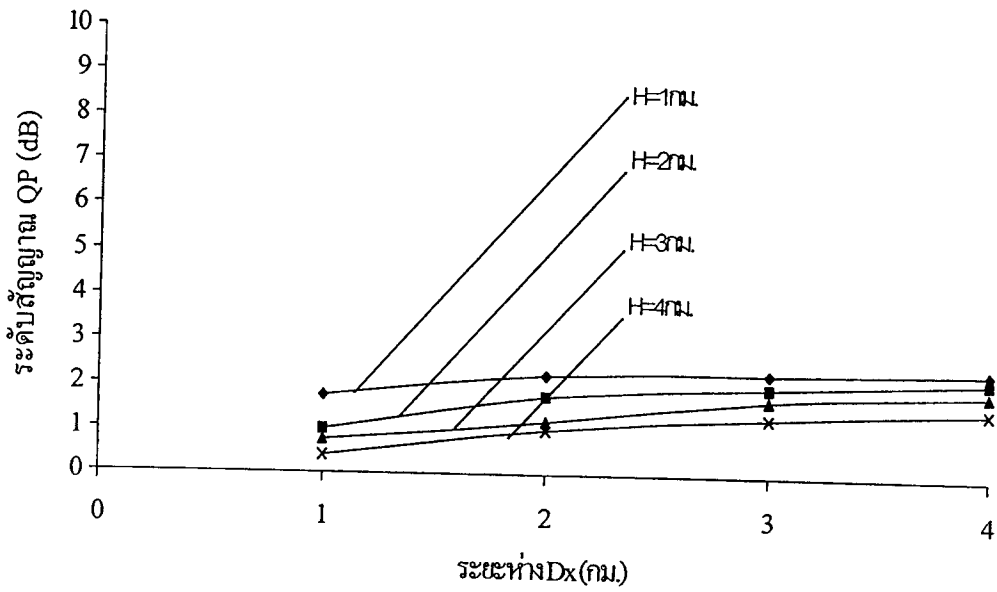
b) ความถี่ 208.75 MHz

รูปที่ 3.23 ขนาดของสัญญาณ QP เมื่อเครื่องบินอยู่ ณ ความสูงต่างกัน

- a) ความถี่ช่อง 3 b) ความถี่ช่อง 9



a) ความถี่ 60.75 MHz



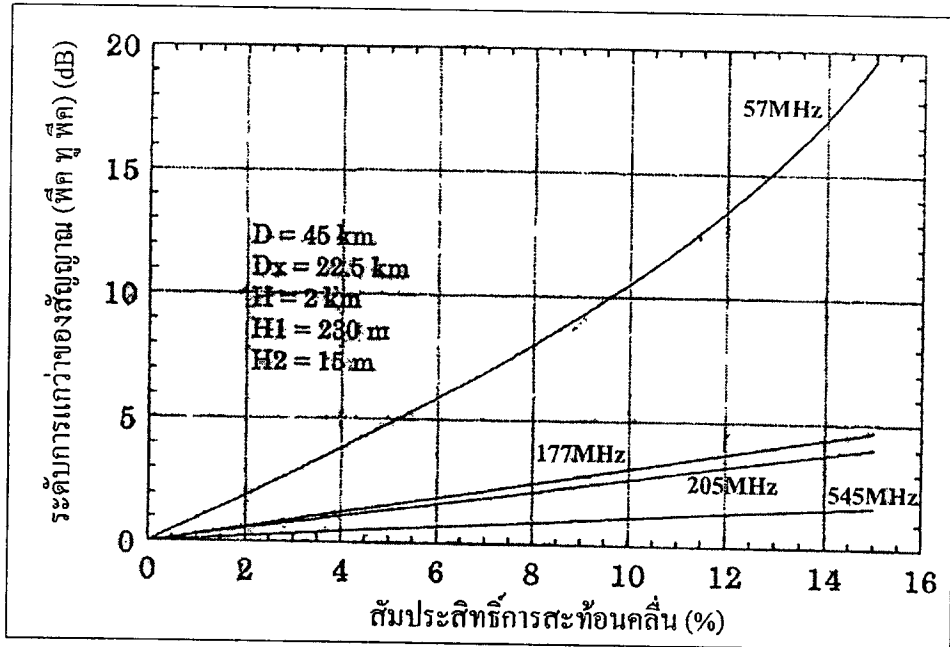
b) ความถี่ 208.75 MHz

รูปที่ 3.24 ขนาดสัญญาณ QP เปลี่ยนแปลง ณ.ค่า DX ต่างกัน

- a) ความถี่ช่อง 3 b) ความถี่ช่อง 9

3.4.4 การคำนวณค่า QP ของความถี่โทรทัศน์ช่องต่างๆ ตามค่าตัวแปรอื่นๆ

นอกจากระยะห่างและความสูงของเครื่องบิน ยังมีตัวแปรอื่น เช่น สัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นจากเครื่องบิน (R) และระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ (D)



รูปที่ 3.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาด QP ต่อการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การสะท้อนเครื่องบิน (R)

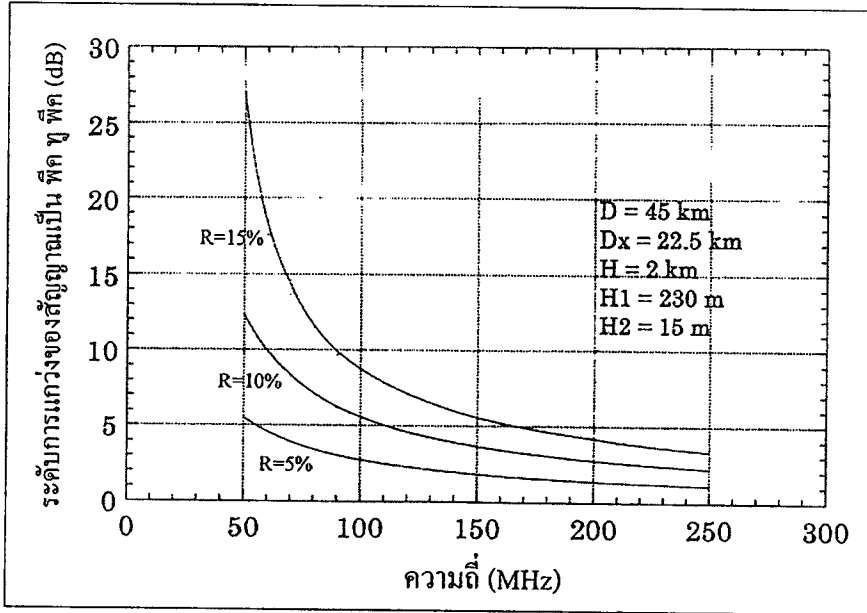
จากรูปที่ 3.25 ขนาดสัญญาณ QP จะเพิ่มขึ้นตามค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากเครื่องบิน (R) แต่คลื่นความถี่ 57 MHz หรือค่าความถี่เฉลี่ยของสัญญาณช่อง 3 จะมีค่า dB สูงกว่าทุกความถี่ในทำนองเดียวกัน ถ้ากำหนดค่า R คงที่ ดังกราฟรูปที่ 3.26 พบว่า ความถี่ยิ่งสูงค่า dB ยิ่งน้อย

ระยะทางที่เครื่องบินบินผ่านถึงเครื่องรับหรือ Dx มีผลต่อขนาด QP ดังกราฟรูปที่ 3.27 เครื่องรับอยู่ห่างจากเครื่องส่งมากๆ จะรับสัญญาณได้อ่อนลง ดังนั้นเมื่อมีเครื่องบินผ่านจะได้รับผลกระทบมาก นั่นคือ ค่า dB ของ QP จะสูงขึ้นตามระยะทาง

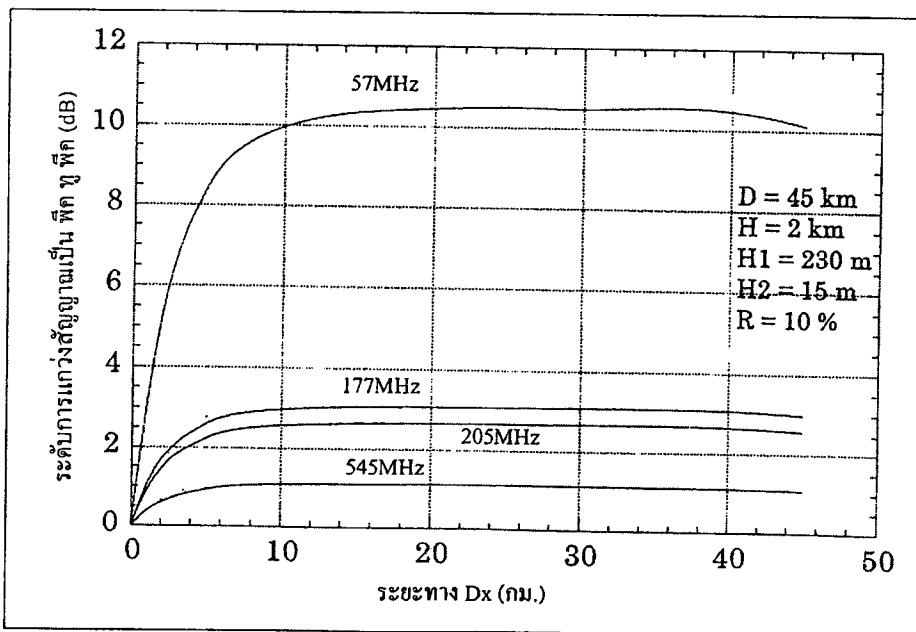
ส่วนกราฟรูปที่ 3.28 แสดงระยะห่างระหว่างสถานีส่งกับเครื่องรับถ้าไม่เกิน 20 กม. ความแรงสัญญาณไฟฟ้าสูง ปรากฏการณ์ QP จะมีขนาดต่ำ คือ มีผลกระทบน้อยมาก ถ้าระยะทางไกลออกไปผลกระทบจาก QP จะมากขึ้น เพราะระดับสัญญาณไฟฟ้าตรงจะลดลงตามระยะทางและสภาพแวดล้อม ในรูปกราฟใช้ความถี่กลางของโทรทัศน์ช่อง 3 (57 MHz), ช่อง 5 (177 MHz), ช่อง 9 (205 MHz) และ iTV ช่อง 26 (545 MHz) เฉพาะความถี่ช่อง 3 ซึ่งเป็นความถี่ต่ำเท่านั้นที่ค่า QP สูงมาก ในขณะที่ความถี่อื่นจะใกล้เคียงกัน และความถี่ iTV ซึ่งเป็น UHF จะน้อยที่สุด และระยะทางที่เหมาะสมในการรับสัญญาณของช่อง 3 ต้องไม่เกิน 40 กม. ในขณะที่ช่องความถี่อื่นระยะ 60 กม. ยังรับได้ดี แต่

ถ้าไกลกว่านี้ควรใช้อุปกรณ์ขยายกำลังไฟฟ้าจากสายอากาศก่อนเข้าเครื่องรับ คุณภาพสัญญาณจึงจะดีขึ้น และมีผลกระทบจาก QP ไม่สูงนัก

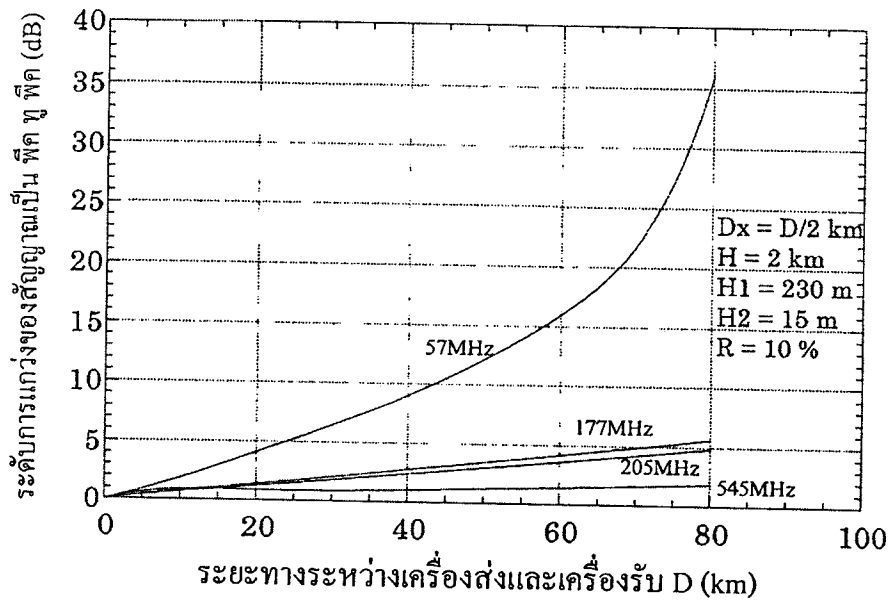
ในการคำนวณแบบจำลองใช้สายอากาศหิมาคำนวณ ดังนั้นถ้าในทางปฏิบัติใช้สายอากาศที่มีคุณภาพต่ำกว่าระดับ QP ย่อมจะสูงกว่าการคำนวณ



รูปที่ 3.26 กราฟขนาด QP ต่อความถี่ออกอากาศที่ต่างกัน เมื่อสัมประสิทธิ์การสะท้อนเครื่องบิน (R) คงที่



รูปที่ 3.27 กราฟขนาดสัญญาณ QP เมื่อระยะห่างของเครื่องบิน (Dx) ต่างๆ กัน



รูปที่ 3.28 กราฟขนาดสัญญาณ QP ของความถี่ต่างๆ เมื่อเครื่องรับอยู่ห่างเครื่องส่งเป็นระยะ D

3.6 สรุปผลจากการจำลองคลื่นสะท้อนจากเครื่องบิน

1. ลักษณะการแกว่งของคลื่นจำลองมีการแกว่งขึ้นลงเป็นคลื่นไซน์ และมีค่าพีคสูงสุดตรงกลาง และคลื่นมีลักษณะสมมาตร ตามสมมุติฐานที่ให้เครื่องบินค่อยๆ เคลื่อนเข้าใกล้เส้นทางการแพร่กระจายคลื่น และค่อยๆ ผ่านออกไป เช่นเดียวกับรูปที่เครื่องวัดทำการบันทึกเอาไว้
2. ขนาดของคลื่นทั้งความถี่ 60.75 MHz และ 208.75 MHz ลดลงเมื่อความสูงของเครื่องบินเพิ่มขึ้น
3. ขนาด QP ความถี่ต่ำจะสูงกว่าความถี่สูง เช่นเดียวกับการวัดจริงแต่การกำหนดความสูงของเครื่องบิน ในทางปฏิบัติ ใช้วิธีสังเกต ขนาดเครื่องบินด้วยสายตา
4. ขนาด QP จะสูงในความถี่ต่ำในทุกๆ ค่าตัวแปร เช่น D_x , D และ R
5. ระยะทางยิ่งไกล QP จะยิ่งสูง แต่ผลกระทบในช่อง 3 จะมากกว่าช่องอื่นๆ

บทที่ 4

การใช้สายอากาศให้เหมาะสม

4.1 บทนำ

เมื่อ 10 ปีมาแล้วกลุ่มผู้วิจัยได้ทดลองวัดสัญญาณ ในบริเวณที่พักอาศัยใกล้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง ระยะทางห่างจากใจกลางกรุงเทพฯ ประมาณ 30 กิโลเมตร ได้พบว่าสัญญาณโทรทัศน์ช่องความถี่ต่ำบางครั้งสัญญาณพร่ามัวไม่คมชัด จึงได้เริ่มทำการศึกษาปัญหานี้ การส่งโทรทัศน์ในเมืองไทยยังใช้ความถี่ต่ำขนาด 50-60 MHz การจะรับสัญญาณภาพให้ได้คุณภาพสัญญาณที่ดี จะต้องใช้สายอากาศที่เหมาะสมกับความถี่นั้น ซึ่งขนาดของสายอากาศ จะใหญ่มากซึ่งไม่สะดวกที่จะติดตั้งตามบ้านพักอาศัย จึงใช้สายอากาศประเภทแถบความถี่กว้าง ซึ่งจะให้เกนขยายต่ำ เป็นเหตุให้รับสัญญาณอินพุทได้อ่อน และโอกาสที่จะรับสัญญาณแปรปรวนมีมาก ข้อสังเกตดังกล่าวเป็นเหตุและผลกระทบของการส่งออกอากาศด้วยความถี่ต่ำมาก

ณ จุดรับซึ่งรับสัญญาณในแนวเส้นสายคาจากสถานีส่ง จะรับสัญญาณซึ่งมีความแรงสนามไฟฟ้า (E) เป็นสัญญาณตรงจากสถานี (direct wave) และสัญญาณสะท้อนพื้นดิน (ground-reflected wave) รวมกัน ปกติระยะทางระหว่างสถานีส่ง และจุดรับสัญญาณจะยาวมาก เมื่อเทียบกับความสูงของสายอากาศรับ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (ground reflection factor) $R=-1$

ค่าความแรงสนามไฟฟ้า (E) คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$E \approx 2E_0 \sin \left| \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \right| \quad (4.1)$$

E_0 : หมายถึง ความแรงสนามไฟฟ้าอิสระ (V/m)

h_1 : เป็นความสูงสายอากาศส่ง (m)

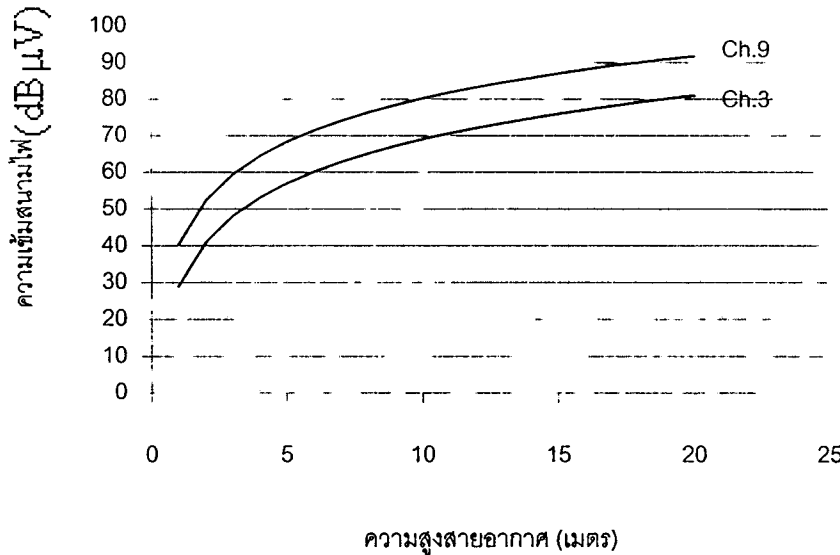
h_2 : ความสูงสายอากาศรับ (m)

λ : เป็นความยาวคลื่นความถี่ส่ง (m)

d : ระยะทางระหว่าง สถานีส่งกับจุดรับสัญญาณ (Km)

จากสมการ (4.1) คำนวณและสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสายอากาศรับ และความแรงสนามไฟฟ้าของความถี่ช่อง 3 และช่อง 9 ที่ระดับความสูงพอเหมาะ ความแรงสนามไฟฟ้าของช่อง 3 จะน้อยกว่าช่อง 9 ประมาณ 10 dB เสมอ นั่นคือช่องความถี่ที่ต่ำกว่า สัญญาณรับจะต่ำกว่าช่องความถี่สูงเสมอ ถ้ากำลังส่งเท่าๆ กัน แต่ในทางปฏิบัติความแตกต่างของระดับสัญญาณ

รับจะต่ำกว่านี้ ทั้งนี้เพราะสภาพแวดล้อมในตัวเมืองที่แวดล้อมไปด้วยอาคารสูงๆ ทำให้สัญญาณลดลงไปได้อีก ถ้าเครื่องรับใช้สายอากาศภายในอาคาร สัญญาณอินพุทของสายอากาศจะมีค่าต่ำกว่า $50\text{dB}\mu\text{V}$ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าสัญญาณเงาหรือ noise ดังนั้น ไม่สามารถวัดค่าอัตราส่วน DU ได้ เมื่อมีการแกว่งตัวอย่างกระทันหันเพียงเล็กน้อย คุณภาพสัญญาณภาพและเสียงจะได้รับผลกระทบมาก



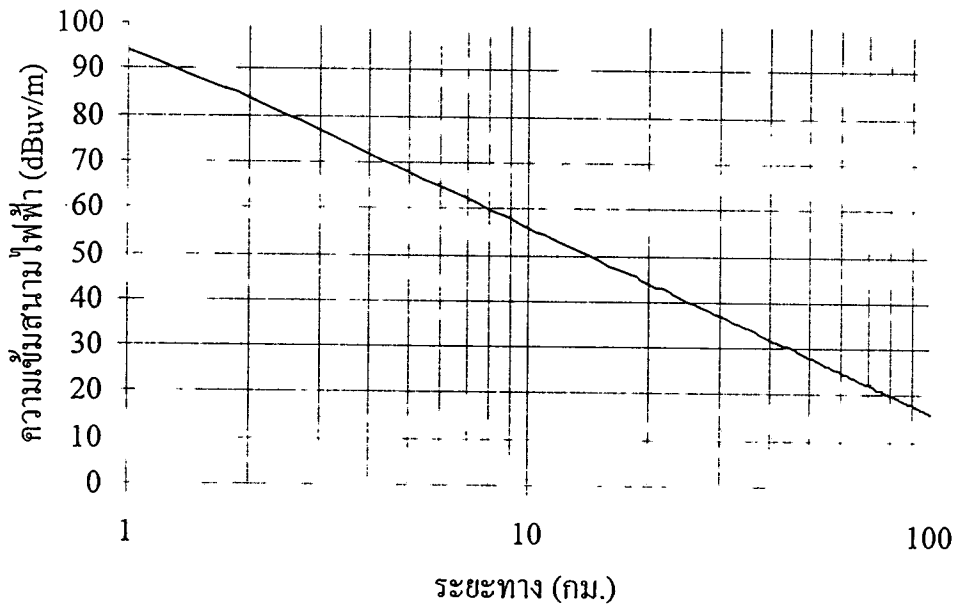
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสายอากาศและความแรงสนามไฟฟ้า

การรับสัญญาณให้ได้ดี สัญญาณโทรทัศน์ที่มีความยาวคลื่นยาวมาก จะต้องใช้สายอากาศที่มีเกนสูง และมีทิศทางแน่นอน สายอากาศควรมีจำนวนก้านมากๆ ซึ่งต้องการพื้นที่ในการติดตั้งมาก และราคาค่อนข้างแพง ตามบ้านทั่วไปใช้สายอากาศราคาถูกอยู่ปัญหาดังกล่าวจึงยังคงมีอยู่

อีกวิธีการหนึ่งคือตั้งสายอากาศให้ สูงมาก เท่าที่จะทำได้ ช่วยให้รับสัญญาณภาพได้คมชัดขึ้น โดยทั่วไปสายอากาศควรอยู่สูงกว่าพื้นดินประมาณ 10 เมตร แพทเทอร์นสายอากาศตามความสูงมีผลต่อการรับสัญญาณมาก เมื่อรับคลื่นความถี่ต่ำและติดตั้งสายอากาศไว้ต่ำๆ ความแรงสัญญาณไฟฟ้าจะอ่อน พิสูจน์ได้จากการใช้สายอากาศภายในอาคารจะรับสัญญาณได้อ่อนมาก ดังนั้นจึงควรติดตั้งสายอากาศไว้นอกอาคาร ในตำแหน่งที่สัญญาณถูกบดบังหรือดูดกลืนน้อยที่สุด รูป 4.1 เป็นกราฟความแรงสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 3 และ ช่อง 9 ได้จากการคำนวณ โดยใช้ขนาดสัญญาณจากสถานีส่งเท่ากัน สายอากาศติดตั้งไว้ยิ่งสูงความแรงสัญญาณไฟฟ้ายิ่งมาก แต่ความแรงไฟฟ้าทางช่อง 9 จะสูงกว่าช่อง 3 ประมาณ 10 dB เสมอ

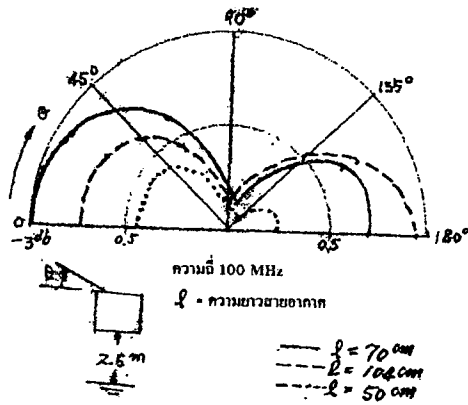
4.2 ปัญหาจากการใช้สายอากาศภายในอาคารหรือสายอากาศโมโนโพล

การรับสัญญาณโทรทัศน์ด้วยสายอากาศแบบเสาหัก หรือ โมโนโพลที่ติดมากับโทรทัศน์ ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป ในกรณีที่ไม่สามารถติดตั้งสายอากาศภายนอกอาคารได้ หรือเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย แต่สายอากาศโมโนโพลติดตั้งในระดับต่ำมากเมื่อเทียบกับพื้นดิน สัญญาณส่งจะถูกบดบังด้วยตัวอาคาร ทำให้สัญญาณถูกลดทอนไปมาก ถ้าขณะรับสัญญาณโทรทัศน์มีเครื่องบินผ่านมาเหนือศีรษะจะเกิดปรากฏการณ์ เปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นแบบ QP ขึ้น

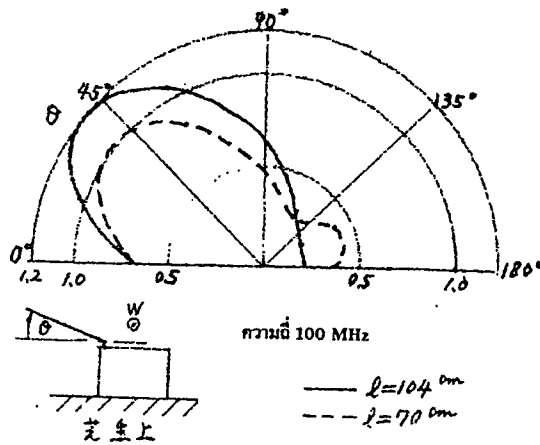


รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแรงสัญญาณโทรทัศน์ที่รับด้วยสายอากาศโมโนโพล เทียบกับระยะทางจากสถานีส่งถึงจุดรับ

การวัดความแรงสัญญาณโทรทัศน์ด้วยสายอากาศแบบ โมโนโพลที่มีความสูงจากพื้นดิน ประมาณ 2-3 เมตร รอบเมืองใหญ่อย่างกรุงเทพฯ ตลอดจนเมืองขนาดกลางหรือเล็ก เมื่อเทียบกับระยะห่างจากสถานีส่งถึงจุดรับสัญญาณแต่ละจุด อธิบายด้วยกราฟรูป 4.2 พบว่าความแรงสัญญาณจะต่ำกว่าระดับการรับด้วยสายอากาศภายนอกถึง 15-40 dB เช่น เมื่อวัดที่ระยะห่างจากจุดส่ง 20 กิโลเมตร สัญญาณรับจะต่ำกว่า 60 dB และต่ำกว่า 50 dB เมื่อระยะทางไกลกว่า 45 กิโลเมตร เช่นเดียวกับผลการวัดจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งมีระยะทางห่างจากสถานีส่งหนองแขมประมาณ 45 กิโลเมตร มีความแรงสัญญาณต่ำ และถ้าระยะทางไกลเกิน 60 กิโลเมตร เป็นไปได้ยากที่จะรับสัญญาณโทรทัศน์ด้วยสายอากาศภายในบ้าน เพราะระดับสัญญาณจะต่ำมากใกล้เคียงระดับของสัญญาณรบกวน (noise) ทั้งนี้ตัวสายอากาศโมโนโพล ไม่มีเกน (gain) โดยทั่วไปเมื่อสายอากาศสั้นจะกลายเป็นตัวลดทอน ในย่านความถี่ต่ำ



(a) ความสูงสายอากาศประมาณ 3 เมตร



(b) ความสูงสายอากาศประมาณ 50 เซ็นติเมตร

รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการรับคลื่นในแนวตั้ง ของสายอากาศโมโนโพลที่ความถี่ 100 MHz

จากแพทเทอร์นของสายอากาศโมโนโพลในรูป 4.3 พิจารณาขนาดความยาวของสายอากาศ ต่อความแรงของลำบีม สายอากาศที่มุม 30° รูป 4.3 (a) และมุม 45° รูป 4.3 (b) จะเห็นได้ชัดว่า ความยาวของสายอากาศที่เปลี่ยนไป (50 ซม. 70 ซม. และ 104 ซม.) และค่าความแรงของลำบีมที่ มุมเอียง 30° และ 45° จะไม่ลดลงมากนัก ดังนั้นถ้ามีเครื่องบินผ่านมาในทิศทางนี้จึงมีโอกาสเกิดการ แกว่งของแอมพลิจูด หรือ QP จึงสรุปได้ว่าการใช้สายอากาศภายในอาคารปรับความยาวและจัดมุม ของสายอากาศไปต่างกันก็ยังสามารถรับผลกระทบเช่นกัน ทั้งนี้เพราะขนาดของสายอากาศไม่เป็นไป ตามความยาวคลื่น สัญญาณที่รับเข้ามา และที่สำคัญสายอากาศโมโนโพลไม่มีแกนขยายมาช่วยเพิ่ม ความแรง เมื่อมีสัญญาณรบกวนเพียงเล็กน้อย คุณภาพสัญญาณจะตกทันที

ดังนั้นการใช้สายอากาศแบบโมโนโพลในที่ห่างไกลจากสถานีส่งจะเกิดปรากฏการณ์ลดทอนสัญญาณหรือ QP ขึ้น โดยเฉพาะในขณะรับสัญญาณความถี่ต่ำ จึงควรติดตั้งสายอากาศภายนอกอาคาร เมื่อจุดรับอยู่ห่างจากสถานีส่งเกิน 20 กิโลเมตร

4.3 แนวทางการป้องกันการเกิดปัญหาคลื่นสะท้อนจากสิ่งกีดขวาง

จากบทที่ 3 ที่ได้กล่าวถึงอัตราส่วนคลื่นตรงและคลื่นสะท้อน $\frac{D}{U}$ ควรมีค่ามากกว่า 20 dB การลดความแรงของคลื่นสะท้อนลงได้จะทำให้คุณภาพสัญญาณรับดีขึ้น การแก้ปัญหาในเมืองต้นคือใช้สายอากาศภายนอกอาคาร เช่น สายอากาศยาก็ที่มีความสูงของตัวสายอากาศมากๆ และถ้าแยกปีกของสายอากาศให้รับคลื่น แต่ละช่องความถี่จะทำให้ได้สายอากาศที่แบนด์แคบลง แต่ปัญหาจะอยู่ที่ช่องความถี่ต่ำ ขนาดของก้านสายอากาศซึ่งมีความยาวมากจะหักเสียหายง่ายเมื่อมีลมแรงๆ

นอกจากนี้วิธีการขจัดปัญหาสิ่งกีดขวาง กรณีคลื่นสะท้อนเข้ามาทางด้านหลัง ให้ใช้สายอากาศรับที่มีอัตราส่วน การรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง (Front-to-Back ratio) มีค่ามาก กรณีคลื่นมาถึงด้านหน้าในแนวเอียง สามารถแก้ได้ด้วยสายอากาศที่มีลำบีม (beamwidth) แคบ และเปลี่ยนทิศทางการรับคลื่นได้โดยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ทิศทางการเข้ามาของคลื่นสะท้อนและทิศทางต่ำสุดของลำบีมของสายอากาศตรงกัน จะสามารถขจัดอิทธิพลของคลื่นสะท้อนได้

สายอากาศสำหรับป้องกันการเกิดปัญหาคลื่นสะท้อนจากสิ่งกีดขวางมี 3 ชนิด คือ

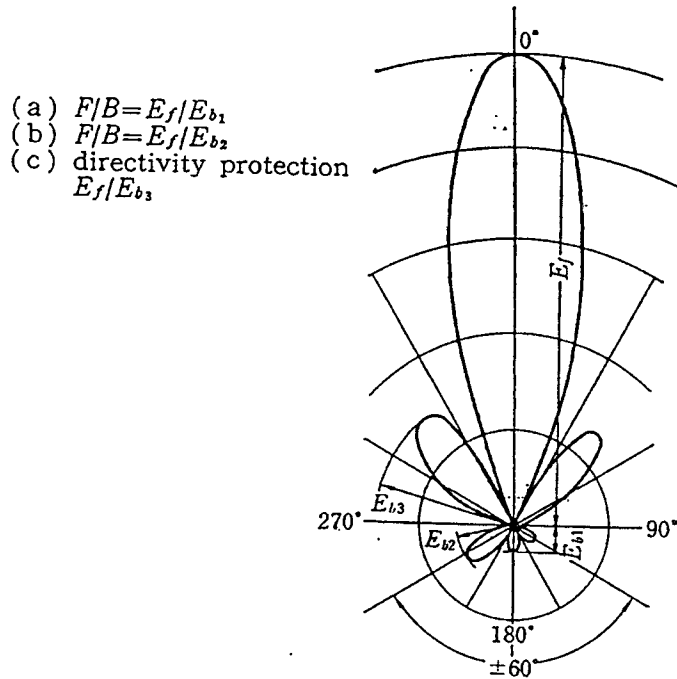
1. สายอากาศที่มีอัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง มีค่ามาก
2. สายอากาศที่มีลำบีมการรับคลื่นแคบ
3. สายอากาศที่สามารถปรับทิศทางการรับคลื่นได้

สายอากาศที่ใช้สำหรับป้องกันการเกิดปัญหาจากสิ่งกีดขวางควรมีอัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง สูงกว่า 30 dB ลำบีมการรับคลื่นแคบกว่า 40 องศา และมีเกน (gain) สูงเท่าที่เป็นไปได้

- 1) สายอากาศที่ได้ปรับปรุง อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง

นิยามของ “อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง” คืออัตราส่วนของเอ้าท์พุทโวลเทจของทิศทางที่กำหนด (มุม θ°) ของสายอากาศต่อเอ้าท์พุทโวลเทจ สูงสุดในทิศทางในช่วง $180^\circ \pm 60^\circ$ โดยบอกค่าเป็น dB บางครั้งใช้คำว่า “Directivity Protection” แทนคำว่า “อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง” ซึ่งหมายถึง “อัตราส่วน gain ของ main lobe ต่อ gain ของ back lobe” ดังรูป 4.4 ซึ่ง (a) หมายถึง “อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง” ตามนิยามทางการศึกษา. (b) คือ

“อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง” ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของญี่ปุ่น และ (c) คือ “Directivity Protection” ตามคำแนะนำของสถาบันโทรทัศน์ของญี่ปุ่น (Institute of Television)



รูปที่ 4.4 แพทเทิร์นของสายอากาศแบบมี Directivity protection

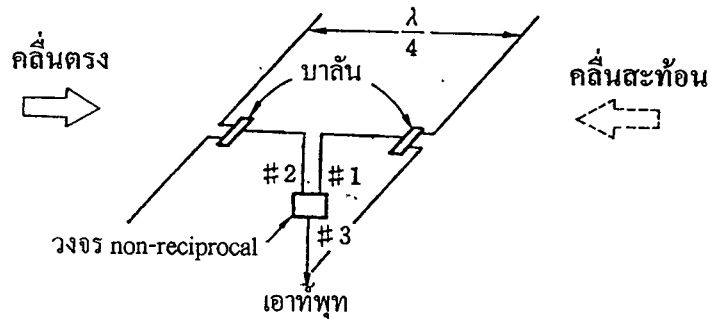
ในการปรับปรุง อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง จะเพิ่มจำนวนก้านของไดเรกเตอร์ และมีการพัฒนาสายอากาศยาคิแบบมี 8-11 ก้าน และมีตัวสะท้อนคลื่นอยู่ด้านหลัง โดยทั่วไปสายอากาศที่ใช้ตามบ้านจะมีข้อจำกัดเรื่องขนาด จึงมีข้อจำกัดเรื่องจำนวนก้านของสายอากาศด้วย ซึ่งทำให้ยากที่จะมี Directivity เพียงพอ

แม้ว่าสายอากาศยาคิ ซึ่งประกอบด้วยก้านไดเรกเตอร์ 8 ชั้น และก้านสะท้อน 3 ชั้น ถูกออกแบบมาเพื่อให้มี อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง สูงสุด แต่ในการใช้งานที่ความถี่เดียว จะมี อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง อยู่ที่ประมาณ 35 dB ถ้าบีมของสายอากาศ 45° และ เกน 10 dB เมื่อออกแบบให้สายอากาศยาคิที่มีจำนวนก้านเท่าเดิม เพื่อให้มี อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง สูงสุดในช่วงความถี่ 90-108 MHz จะได้ค่า อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง ประมาณ 23-25 dB

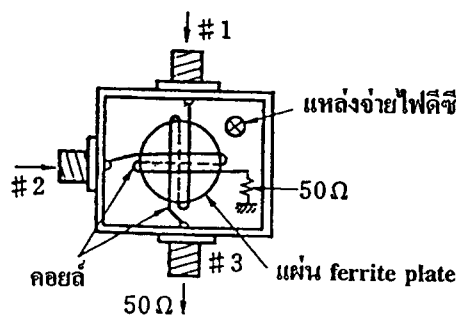
โครงสร้างสายอากาศที่มีอุปกรณ์เฉพาะ passive เพียงอย่างเดียวมีข้อจำกัดเรื่องขนาดที่สามารถใช้ได้ ในการใช้เป็นสายอากาศตามบ้านเรือนโดยทั่วไป จะทำให้ อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง ของทุกช่องสัญญาณสูงกว่า 25 dB เป็นไปได้ยากมาก ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่า อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง สูง จึงมีสายอากาศที่เพิ่มวงจรที่มีฟังก์ชันอื่นเข้าไป อย่างไรก็ตามการปรับปรุงค่า อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง ทุกช่องสัญญาณทำได้ยากมาก ตัวอย่างของสายอากาศที่ปรับปรุงค่า อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง มี 4 ชนิดคือ

(a) สายอากาศ ที่ใช้วงจร Non-Reciprocal

สายอากาศที่จะติดตั้ง ฮาล์ฟเวฟไดโพล 2 ตัววางห่างกัน $\frac{1}{4}$ ของความยาวคลื่น ($\frac{\lambda}{4}$) ดังรูป 4.5 (a) และเชื่อมต่อกับเครื่องรับผ่านวงจร Non-Reciprocal ในรูป 4.5(b) วงจร Non-Reciprocal เมื่อให้ค่ากระแสเข้าระหว่าง เทอร์มินอล 1 และ เทอร์มินอล 2 มีเฟสต่างกัน 90° จะเกิดการหมุนของสนามแม่เหล็กภายในวงจร Non-Reciprocal ซึ่งทิศทางการหมุนจะถูกกำหนดโดยเฟสของกระแสไฟฟ้าทั้งสอง



(a) โครงสร้างสายอากาศ



(b) วงจร non-reciprocal

รูปที่ 4.5 สายอากาศที่มีวงจร Non-Reciprocal

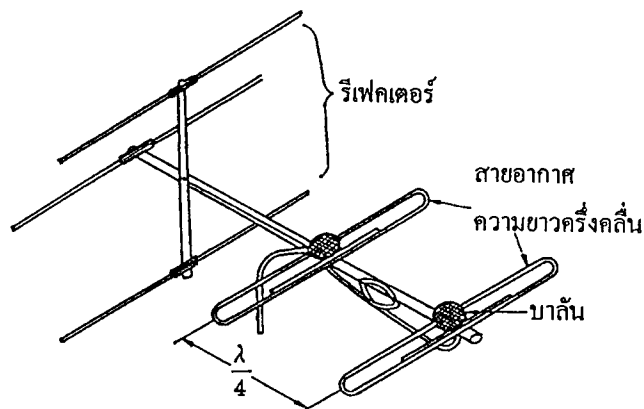
ในรูป 4.5 (b) เมื่อคลื่นตรงและคลื่นสะท้อนมาถึงตามทิศทางการหมุนภายในวงจร Non-Reciprocal จะเกิดสนามแม่เหล็กซึ่งมีทิศทางการหมุนตรงกันข้าม 2 สนามทำให้วงจร Non-Reciprocal มีสภาพผ่านได้เฉพาะคลื่นตรงและสภาพเปิด (open-circuit) เมื่อคลื่นสะท้อนผ่านจึง

สามารถกำจัดคลื่นสะท้อนได้ เป็นการช่วยปรับปรุง อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังของสายอากาศให้สูงขึ้น

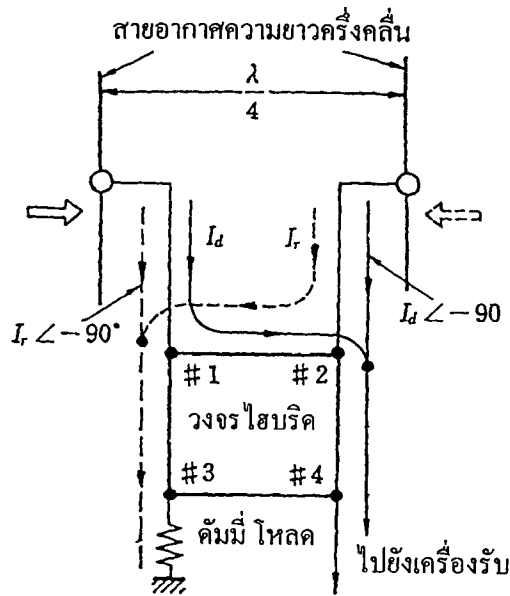
นอกจากนี้สายอากาศยังแบ่งออกเป็นสายอากาศที่ใช้กับความถี่แบนด์ต่ำและแบนด์สูงซึ่งมีค่า อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง ประมาณ 30 dB สายอากาศประเภทนี้จะมี เกน ต่ำ แต่สามารถขจัดคลื่นสะท้อนที่มาจากด้านหลังของสายอากาศ

(b) สายอากาศแบบ ไฮบริด เพาเวอร์ฟีด (Hybrid Power Feed)

โครงสร้างของสายอากาศแบบนี้ประกอบด้วย สายอากาศครึ่งความยาวคลื่น (half-wave length) 2 อัน และวงจร ไฮบริด ตามรูป 4.6(a) และติดตั้งสะท้อนคลื่นแบบทำมุมได้ด้านหลัง หลักการทำงานเป็นไปตาม รูป4.6(b) คือเมื่อระยะห่างระหว่างก้านเท่ากับ $\frac{\lambda}{4}$ คลื่นตรงจะเหนี่ยวนำกระแสในแต่ละก้าน กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้า เทอร์มินอล 1 และเทอร์มินอล 2 ของวงจร ไฮบริด กระแสจากคลื่นตรงที่มีเฟสน้อยกว่า 90° ($\angle d < -90^\circ$) จะไม่ไหลเข้า เทอร์มินอล 3 แต่จะไหลเข้าสู่เครื่องรับภาพจากเทอร์มินอล 4 ตามลักษณะพิเศษของวงจรไฮบริด



(a) โครงสร้างสายอากาศ



(b) วงจรสายอากาศ

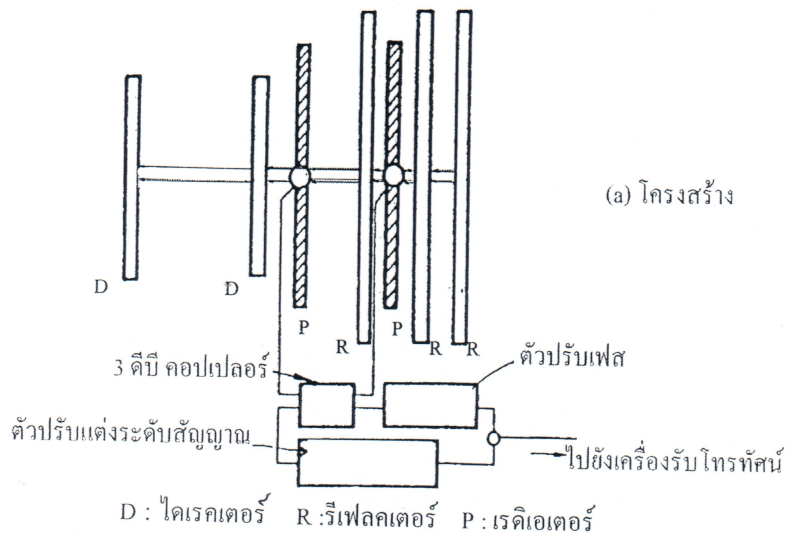
รูปที่ 4.6 สายอากาศแบบมีวงจรไฮบริด

ส่วนกระแสไฟฟ้าจากคลื่นสะท้อนที่มีเฟสน้อยกว่า 90° ($I_r < -90^\circ$) ซึ่งเกิดจากคลื่นสะท้อนซึ่งไหลเข้าเทอร์มินอล 1 และ 2 ของวงจรไฮบริด จะไม่ไหลเข้าเทอร์มินอล 4 แต่จะไหลเข้าเทอร์มินอล 3 ซึ่งมีคิมมีโหลด (dummy load) ต่ออยู่ แม้ว่าจะมีคลื่นสะท้อน แต่ก็ไม่ทำให้เกิดเงา

ค่าอัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง ของสายอากาศชนิดนี้ กำหนดโดยลักษณะพิเศษของวงจรไฮบริด โดยมีค่าประมาณ 25 dB และในโครงสร้างของวงจรไฮบริดจะต้องแยกการใช้สำหรับแบนด์ต่ำ และ แบนด์สูงออกจากกัน

(c) สายอากาศที่ติดตั้งวงจรแอกทิฟ

โครงสร้างของสายอากาศแบบนี้แสดงในรูป 4.9 ใช้ Amplitude Equalizer, ตัวเลื่อนเฟส, และไดเรกชันแนลคอปเปิลเลอร์ ที่มีค่า คัพปลิง แพลคเตอร์ 3 dB (3 dB Coupler) ในวงจรจ่ายไฟ ทำให้ก้านทั้งสองอันเกิดการรีโซแนนซ์ เมื่อปรับค่าการเลื่อนเฟส และอัตราการขยายให้เหมาะสมกับแต่ละช่องความถี่ จะได้ค่า อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง มากกว่า 30 dB



รูปที่ 4.7 สายอากาศแบบมีวงจรแอกทีฟ

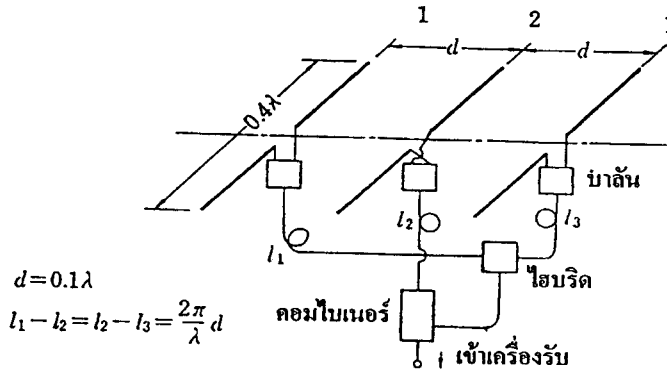
(d) สายอากาศยาก็ที่ติดตั้งพีแคนซ์ไว้ตรงกลางไดเรคเตอร์

สำหรับสายอากาศแบบนี้ เพื่อให้ได้ อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง ที่เหมาะสม จะติดตั้งพีแคนซ์ไว้ตรงกลางระหว่าง ไดเรคเตอร์ กับรีเฟลคเตอร์ ทำให้อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง สูงกว่า 21-22 dB ในย่าน L band สายอากาศนี้จะใช้ได้ดีในบริเวณที่คลื่นสะท้อนเข้ามาจากด้านหลังโดยตรง

2. สายอากาศที่ได้ปรับปรุงลำบีมให้ดีขึ้น

การทำลำบีมของสายอากาศให้แคบ อาจทำให้เป็นสายอากาศยาก็ แบบมีหลายก้าน หรือวิธี stack สายอากาศเป็น 2 กลุ่ม หรือ 4 กลุ่ม

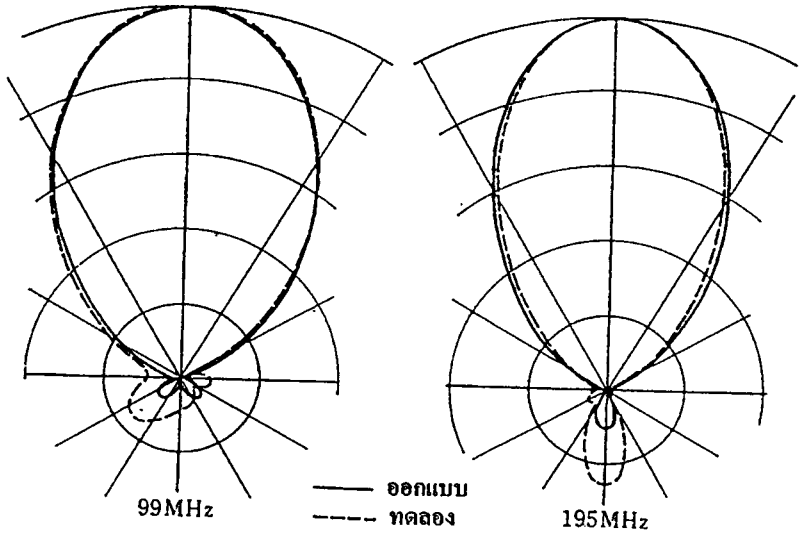
วิธีแรกนอกจากสายอากาศแบบมีหลายก้านแล้ว ยังมีสายอากาศหลายก้านแบบป้อนกำลังงานให้มีเฟสต่างกัน ซึ่งทำให้จำนวนก้านทั้งหมด ริโซแนนซ์กัน โดยวิธีป้อนกำลังงาน ให้เกิดการแบ่งกระจายกระแสไฟฟ้าที่จำเป็นสำหรับแต่ละก้านตามทฤษฎี Composite Directivity ดังรูป 4.8



$$d = 0.1\lambda$$

$$l_1 - l_2 = l_2 - l_3 = \frac{2\pi}{\lambda} d$$

(a) โครงสร้างสายอากาศ



(b) แพทเทิร์นสายอากาศ

รูปที่ 4.8 สายอากาศแบบ 3 ก้านมาสเตอร์ (Stack) กัน

สายอากาศแบบป้อนกำลังงานให้มีเฟสต่างกันนี้ เมื่อเทียบกับสายอากาศยาคีแบบ 8 ก้านแล้ว ลำบีมจะแคบกว่า และ อัตราส่วนการรับคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง จะดีกว่า

ส่วนการทำลำบีมสายอากาศให้แคบด้วยวิธี stack สายอากาศเป็นกลุ่มนั้น เมื่อทำการ stack สายอากาศแบบเดิม จะทำให้ขนาดโครงสร้างใหญ่ขึ้นมาก ซึ่งจำเป็นต้องลดขนาดสายอากาศให้เล็กลง ดังนั้นสายอากาศแบบที่จัดการป้อนพลังงานที่มีเฟสต่างกันให้กับสายอากาศแบบ 4 ก้าน จำนวน

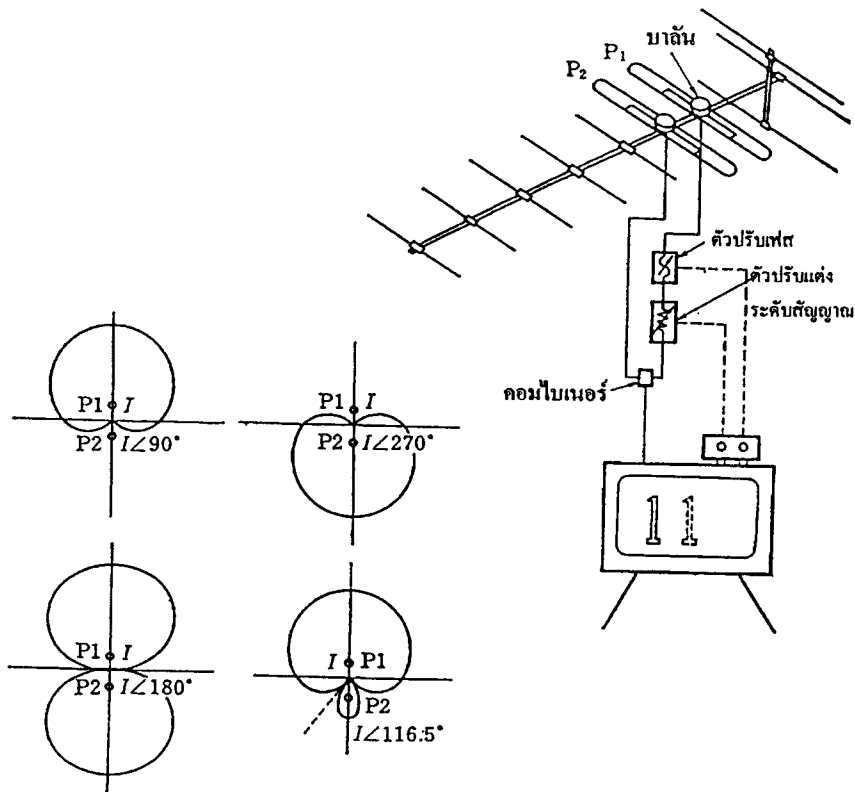
2 ซ่อ จะมีลำบีมในย่านแบนด์ต่ำ 37° และแบนด์สูง ประมาณ 14° ซึ่งแคบมาก และช่วยป้องกันการเกิดเงาซับซ้อนหลายเงาได้

3. สายอากาศแบบปรับทิศทางการรับคลื่นได้

การทำให้ทิศทางการต่ำสุดของลำบีม ตรงกับทิศทางการเข้ามาของคลื่นสะท้อนเพื่อป้องกันไม่ให้รับคลื่นสะท้อน ต้องมีการป้อนสัญญาณเข้าสายอากาศหลายจุดด้วยกัน

ในทางปฏิบัติมีวิธีที่ใช้การป้อนสัญญาณ 2 จุด หลักการทำงานแสดงไว้ในรูป 4.9 (a) กล่าวคือ เมื่อเปลี่ยนเฟสของกระแสไฟฟ้าที่กระตุ้น radiator P_1 และ P_2 2 อัน ทิศทางจะเปลี่ยนไปตามทางเดียวกัน ทำให้สามารถเปลี่ยนทิศทางการต่ำสุดของลำบีมได้

ตัวอย่างของสายอากาศยาก็ที่ตีครีเฟลเตอร์ที่เรดิเอเตอร์ 2 ตัว แสดงดังรูป 4.9(b)



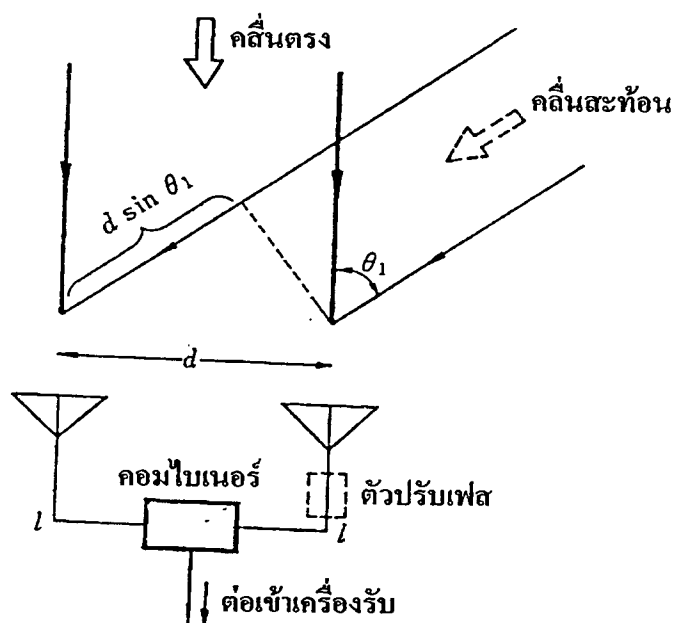
รูปที่ 4.11 สายอากาศแบบปรับทิศทางการรับคลื่นได้

กรณี ที่ใช้สายอากาศผสมหลายอัน จะมีวิธีประกอบหลายรูปแบบ วิธีง่ายๆ คือ คิดตั้งสายอากาศ แบบเดียวกัน 2 อัน ให้อยู่ห่างกัน และหันไปทางทิศที่คลื่นไฟฟ้าเข้ามา ดังรูป 4.10 แทนระยะห่างระหว่างสายอากาศ 2 อันด้วย d , มุมระหว่างคลื่นตรงและคลื่นสะท้อนเป็น θ_1 ,

ความยาวคลื่นเป็น λ , และเฟสระหว่างส่วนประกอบของคลื่นสะท้อนที่รับได้โดยสายอากาศทั้งคู่ จะต่างกันเพียง ϕ โดย

$$\phi = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \cdot d \cdot \sin \theta_1$$

และเพื่อให้ $\phi = \pm(2n + 1)\pi$ ปรับระยะ d ให้เหมาะสมกับค่าความถี่จะสามารถสร้างจุดต่ำสุดของ Composite Directivity ในทิศทาง θ , โดยสายอากาศทั้ง 2 ได้



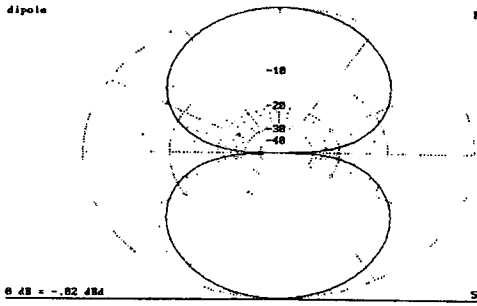
รูปที่ 4.10 สายอากาศแบบผสม 2 อัน ประกอบกัน

4.4 สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง

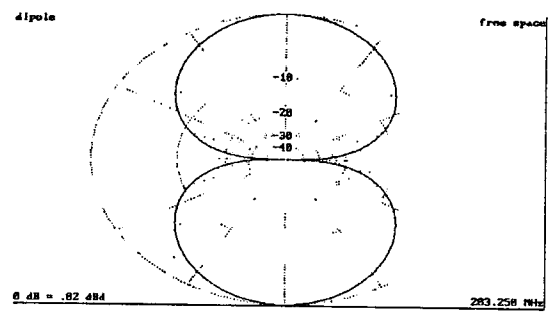
นอกจากสายอากาศแบบเสาหักหรือโมโนโพล ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สายอากาศไดโพล แบบความยาวครึ่งคลื่น และสายอากาศยาคีแยกความถี่ โดยกำหนดให้ใช้กับความถี่ 60.75 MHz และ 208.75 MHz

4.4.1 สายอากาศไดโพล

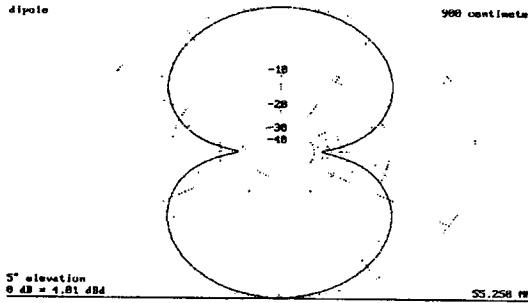
สายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศที่ไม่มีแกนจึงใช้เป็นตัวทดสอบคุณภาพสัญญาณโทรทัศน์ โดยใช้คู่กับเครื่อง Field Strength Meter ในการทดลองครั้งนี้ใช้ความยาวปีกตามค่า $\lambda/4$ ของความถี่ ช่อง 3 และ ช่อง 9



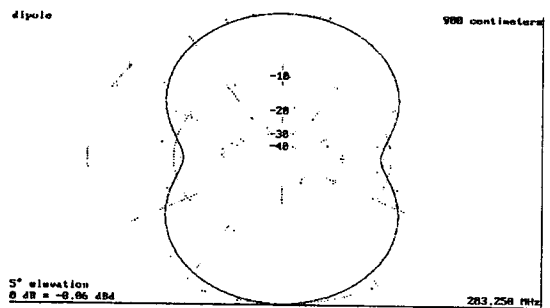
a) Free space ช่อง 3



b) Free space ช่อง 9



c) ช่อง 3 ที่ความสูง 9 เมตร



d) ช่อง 9 ที่ความสูง 9 เมตร

รูปที่ 4.11 เป็นแพทเทิร์นสายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่น

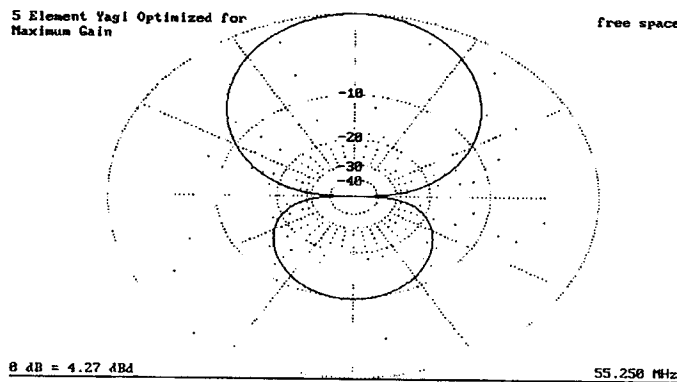
a) Free space ช่อง 3

b) Free space ช่อง 9

c) แพทเทิร์นช่อง 3 ที่ความสูง 9 เมตร

d) แพทเทิร์นช่อง 9 ที่ความสูง 9 เมตร

นอกจากนี้ในการทดลองได้ใช้สายอากาศยาคีของ Maspro ชนิด 5 ก้านของ บริษัท Maspro และได้ใช้สร้างแพทเทิร์นสายอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังรูป 4.12 เป็นแพทเทิร์นสายอากาศช่อง 3



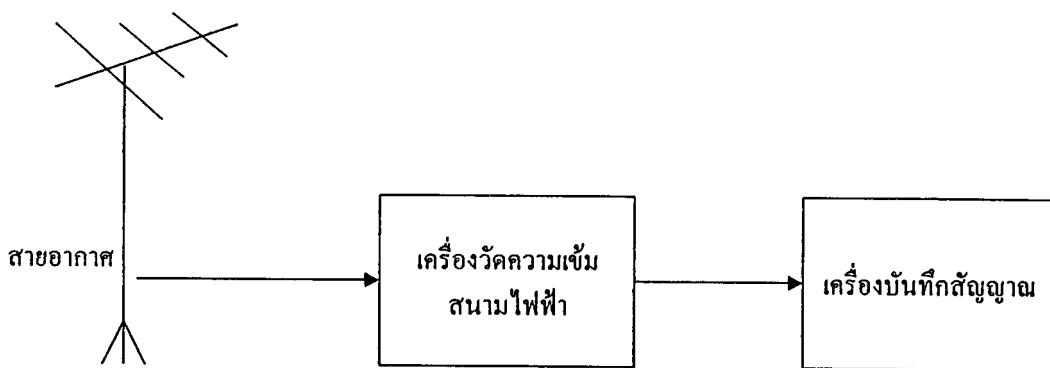
รูปที่ 4.12 แพทเทิร์นสายอากาศยาคีของ Maspro

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 การวัดสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดิน

ในการทดลองวัดสัญญาณโทรทัศน์ ผู้วิจัยใช้เครื่องรับความแรงสัญญาณวิทยุ-โทรทัศน์ (field strength meter) ยี่ห้อ Anritzu และบันทึกด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณของ Yogogawa และใช้สายอากาศยาภิของ Maspro เป็นหลัก แต่มีการใช้สายอากาศไดโพล แบบความยาวครึ่งคลื่น รวมทั้งสายอากาศโมโนโพล (สายอากาศที่ติดมากับเครื่องรับโทรทัศน์) ดังรูป 5.1



รูปที่ 5.1 อุปกรณ์การทดลองวัดสัญญาณวิทยุ-โทรทัศน์

5.1.1 ผลการวัดความแรงสนามไฟฟ้าสัญญาณโทรทัศน์

สถานที่ในการทดลองคือ ดาดฟ้าอาคาร 3 ชั้น และอาคาร 12 ชั้น ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้สายอากาศยาภิชนิดแยกช่องสัญญาณ ได้ระดับสัญญาณของทุกช่องความถี่ดังตาราง 5.1

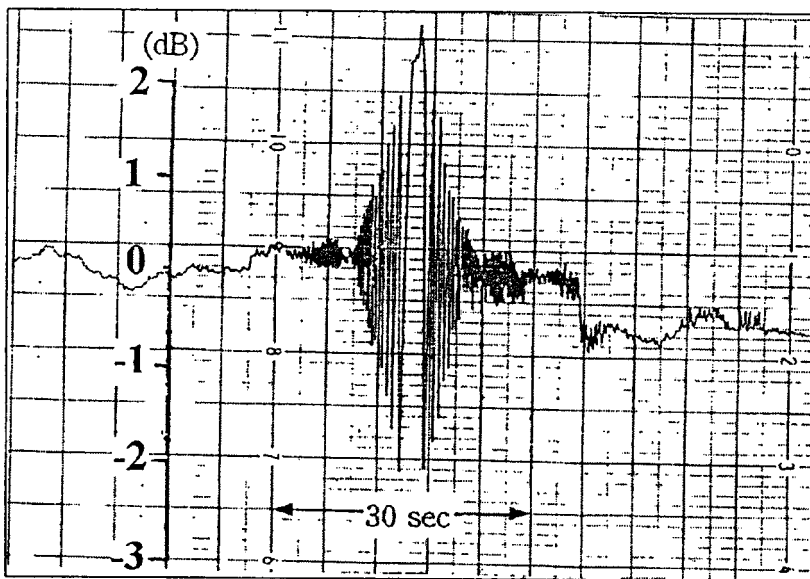
ตารางที่ 5.1 ผลการวัดความแรงสัญญาณโทรทัศน์ (dB μ V)

ช่องสัญญาณ (Ch)	อาคาร 3 ชั้น (dB μ v)	อาคาร 12 ชั้น (dB μ v)
3	63.3	78.5
5	58.2	83.0
7	71.3	91.3
9	51.1	78.3
11	71.5	94.2

อาคารทั้งสองหลังอยู่ห่างกันประมาณ 200 เมตร แต่ความสูงต่างกันมาก สายอากาศของอาคาร 3 ชั้นสูงประมาณ 15 เมตร ส่วนสายอากาศของอาคาร 12 ชั้นสูงประมาณ 45 เมตร ความแรงของสัญญาณรับต่างกันมาก ทุกช่องสัญญาณ (มากกว่า 15 dB) นั่นคือรับคลื่นตรงจากสถานีได้แรงกว่ากันมาก ดังนั้นถ้ามีการสะท้อนคลื่นดิน, คลื่นฟ้า, รวมทั้ง เครื่องบิน ขนาดของสัญญาณตรงเทียบกับสัญญาณสะท้อน หรืออัตราส่วน DU ที่อาคาร 12 ชั้น จะสูงกว่าอาคาร 3 ชั้นมาก คุณภาพสัญญาณจะดีกว่า

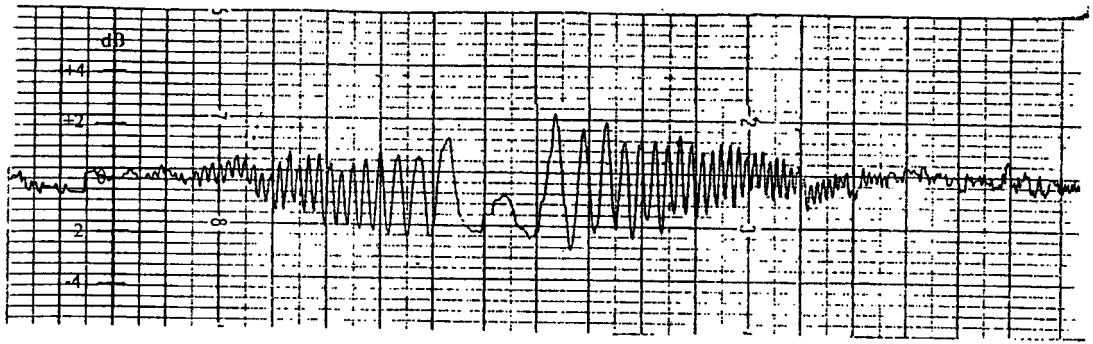
5.1.2 การทดสอบปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นแบบ QP

ลักษณะของปรากฏการณ์ QP ถ้าบันทึกด้วยกระดาษที่มีอัตราเร็ว 6 ซม./นาทิจ จะเห็นรายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงขนาดและเฟส ตั้งแต่เริ่มต้นมีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์อย่างชัดเจน ดังรูป 5.2 และ 5.3 ซึ่งเป็นผลการทดลองของสัญญาณโทรทัศน์ ช่อง 3 ณ. ตึกโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2538

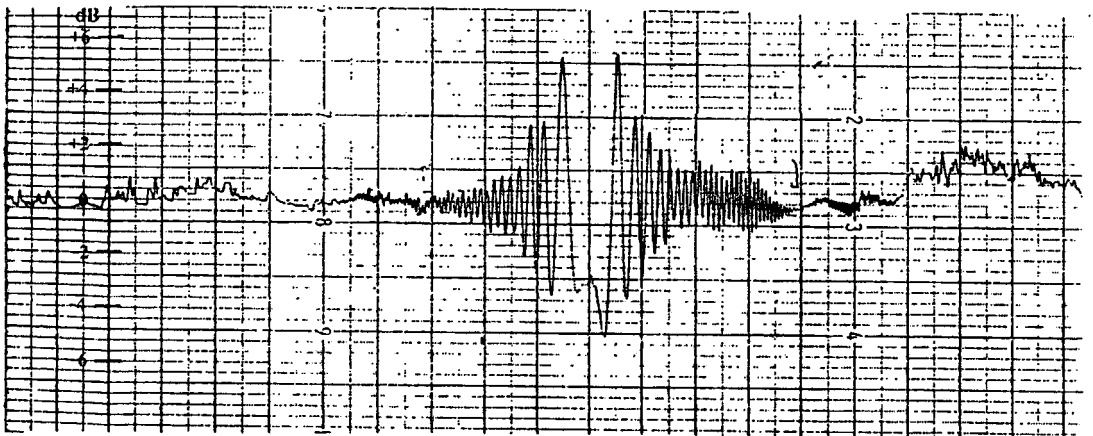


รูปที่ 5.2 ลักษณะปรากฏการณ์ QP

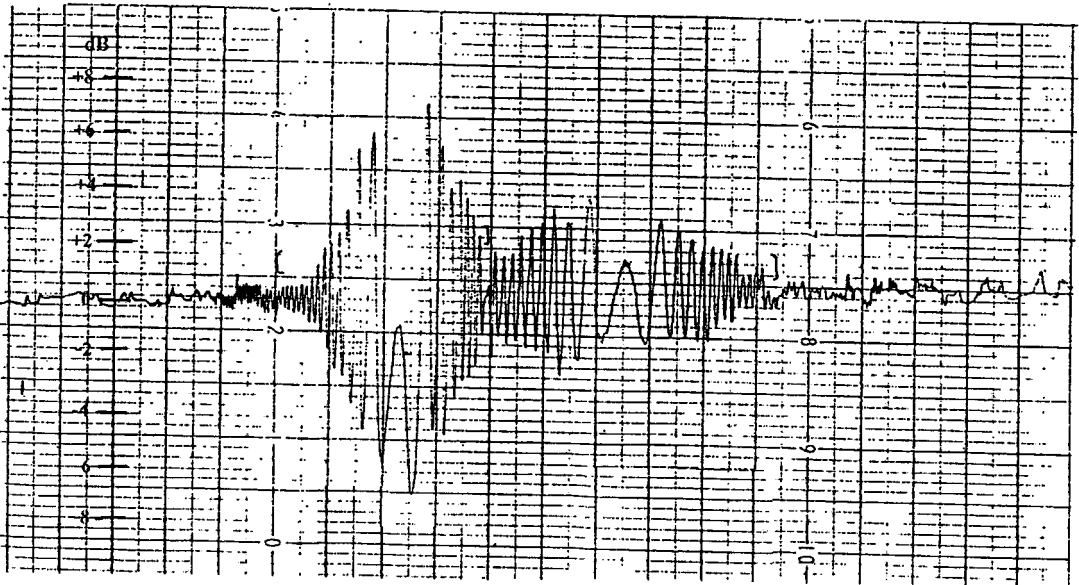
ลักษณะของ QP แตกต่างกันตามทิศทางการบิน เช่น ขนานมากับแนวการแพร่กระจายคลื่น หรือตัดขวางแนวแพร่คลื่น ดังรูป 5.3 เป็นผลการทดลองวัดสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 3 ในปี พ.ศ. 2538 บันทึกด้วยอัตราเร็ว 20 ซม./นาทิจ รูปคลื่นของ QP แตกต่างกันและเกิดนานไม่เท่ากันเพราะเครื่องบินผ่านในหลายทิศทาง เช่น ตัดผ่านคลื่นจากสถานีส่งถึงเครื่องรับจะได้ดังรูปที่ 5.3(a) ถ้าขนานกับคลื่นเป็นดังรูปที่ 5.3(b) และเกิดต่อเนื่องดังรูปที่ 5.3(c)



a) ปรากฏการณ์ QP ของช่อง 3 เกิดนานถึง 31 วินาที ด้วยขนาด 4.5 dB



b) ปรากฏการณ์ QP ของช่อง 3 เกิดนาน 21 วินาที ด้วยขนาด 10.2 dB



c) ปรากฏการณ์ QP ของช่อง 3 เกิดต่อเนื่องนานถึง 27.9 วินาที ด้วยขนาด 14.2 dB
รูปที่ 5.3 ปรากฏการณ์ QP ของสัญญาณช่อง 3 บันทึกด้วยอัตรา 20 ชม./นาที

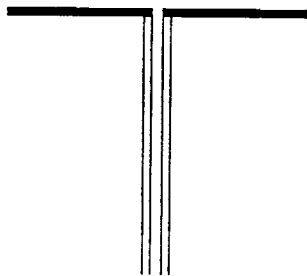
5.2 การรับสัญญาณด้วยสายอากาศต่างชนิดกัน

สายอากาศที่ใช้ทดสอบ เป็นยาก็ ชนิดแยกแ่งรับตามความถี่ ของ Maspro ดังตารางที่ 5.2

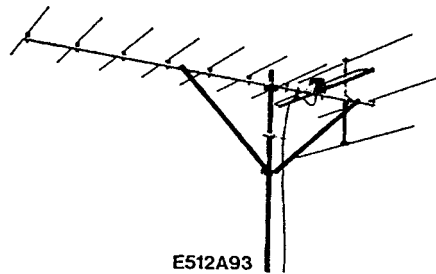
ตารางที่ 5.2 เกณฑ์ของสายอากาศ MASPRO ที่ใช้ทดสอบ

ช่องสัญญาณ	Gain (dB)	ชนิดสายอากาศ	หมายเหตุ
2	3	E 24T3	E: มาตรฐานยุโรป
3	3.5	E 24T5	24: ช่อง 2-4
4	3	E 24T7	T: type 3, 5, 7: จำนวนก้าน สายอากาศ
5	7	E 512A93	512: ช่อง 5-12
6	7.5		A: type
7	8		9: จำนวนก้านสายอากาศ
8~11	9		3: จำนวนก้านของตัวสะท้อน
12	8		(reflector)

สายอากาศที่ผู้ชมทั่วไป ใช้ภายนอกอาคารจะเป็นสายอากาศรวมช่องสัญญาณ หรือสายอากาศที่แพทเทอร์น การรับสัญญาณค่อนข้างมีมุมกว้าง (แบนด์วิดท์กว้าง) ทำให้รับสัญญาณสะท้อนหรือสัญญาณรบกวนเข้ามาได้ตลอดเวลา นอกจากนี้ยังมีสายอากาศประเภทไดโพล ซึ่งไม่มี gain เปลี่ยนความถี่รับสัญญาณ ด้วยการปรับขนาดความยาวของก้านสายอากาศ ให้เท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น (half-wave dipole) รูป 5.4 ตัวอย่างสายอากาศไดโพลและสายอากาศแบบ ยาก็



(a) สายอากาศแบบไดโพล



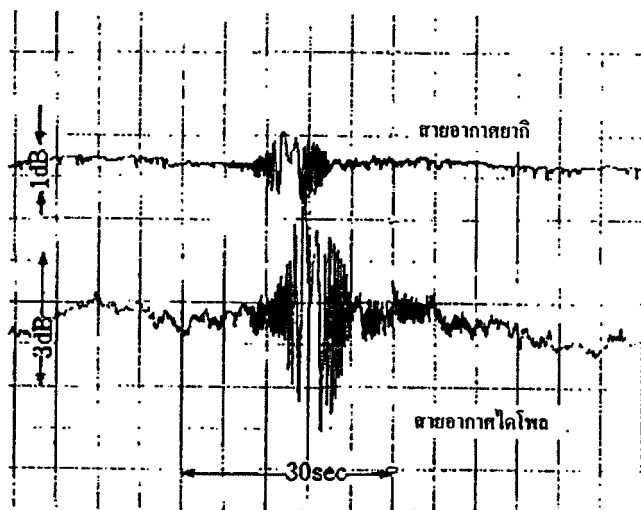
(b) สายอากาศแบบยาก็

รูปที่ 5.4 ลักษณะ โครงสร้างสายอากาศไดโพลและสายอากาศยาก็

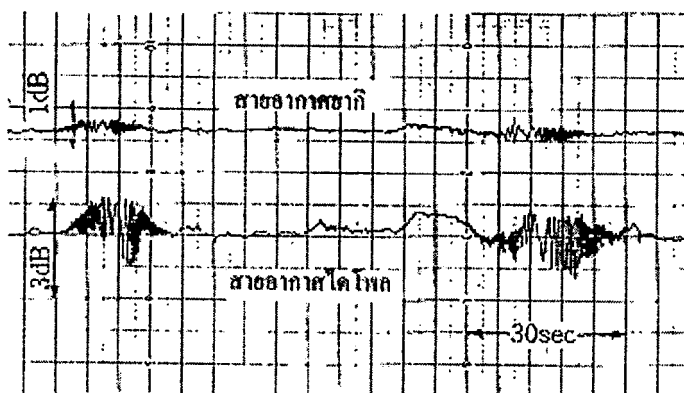
สายอากาศไดโพลจะมีแพทเทอร์นการรับคลื่นแบบหน้าหลัง (Front-to-Back) และแบนด์กว้างไม่มีตัวกั้นคลื่นสะท้อน

จากการใช้สายอากาศ ยากิและไดโพลความยาวครึ่งคลื่น ดังกล่าว ติดตั้งไว้บนอาคาร พบว่าขณะรับสัญญาณช่อง 3 ความแรงของสัญญาณรับจากสายอากาศยากิ สูงกว่ารับด้วยสายอากาศ ไดโพลมาก ในขณะที่มีปรากฏการณ์แกว่งตัวของสัญญาณ แบบ QP ระดับความแรงของยอดคลื่น (Q_{P-p}) ที่ได้รับจากสายอากาศไดโพลมีขนาดประมาณ 5 dB ดังรูป 5.5(a) ด้วยระยะเวลาานเท่ากัน ดังรูป 5.5(b) ถ้าเปรียบเทียบภาพจากจอโทรทัศน์ที่รับด้วยสายอากาศยากิ จะรู้สึกผิดปกติเล็กน้อย ในขณะที่ภาพจากสายอากาศไดโพลจะมีการพรั่มัว

ดังนั้นการใช้สายอากาศ ที่มีคุณภาพแตกต่างกัน ย่อมได้รับผลกระทบจากการสะท้อนคลื่น รุนแรง มาก-น้อย ต่างกัน สายอากาศชนิดที่มีคุณภาพดีเกินสูง และมีแบนด์วิดท์แคบ ราคาค่อนข้าง แพง เมื่อเทียบกับสายอากาศชนิดรวมช่องสัญญาณ



(a)

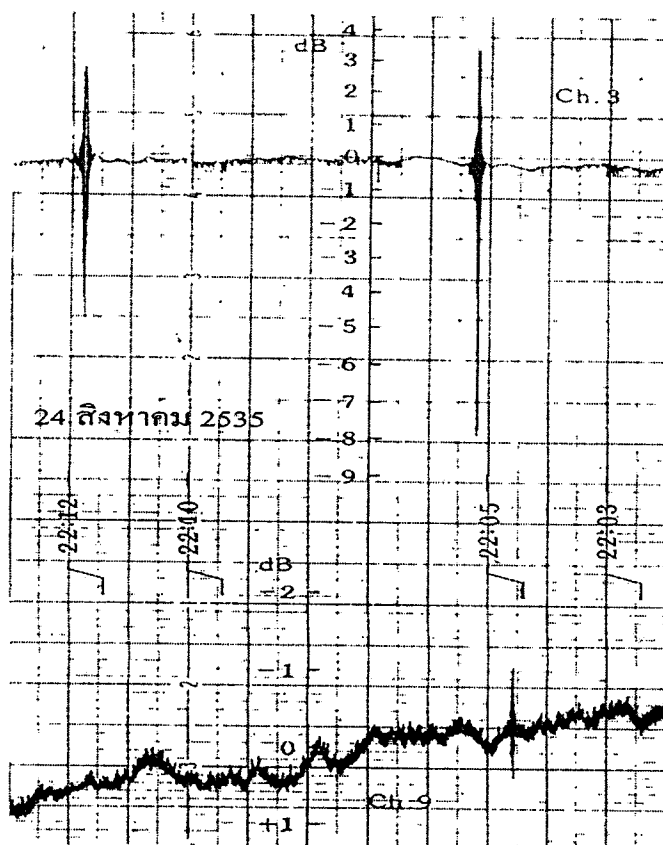


(b)

รูปที่ 5.5 ปรากฏการณ์ QP รับด้วยสายอากาศไดโพล กับสายอากาศยากิไครเรเตอร์ 5 ก้าน

5.3 การทดลองเปรียบเทียบปรากฏการณ์ QP ในความถี่ต่างกัน

ในการทดลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นแบบกึ่งพีริยัค เนื่องจากเครื่องบินปรากฏว่า ทุกช่องความถี่โทรทัศน์ VHF ได้รับสัญญาณสะท้อนจากเครื่องบินเหมือนกัน แต่ความรุนแรงต่างกัน รูป 5.6 เป็นตัวอย่างของการทดลองวัดสัญญาณช่อง 3 ซึ่งเป็นความถี่ VHF แบนด์ต่ำ เทียบกับช่อง 9 ซึ่งเป็น ความถี่ VHF แบนด์สูง ระยะทางและตัวแปรอื่นๆ เหมือนกันหมด



รูปที่ 5.6 ปรากฏการณ์ QP ที่พบในช่อง 3 และช่อง 9 ในเวลาเดียวกัน

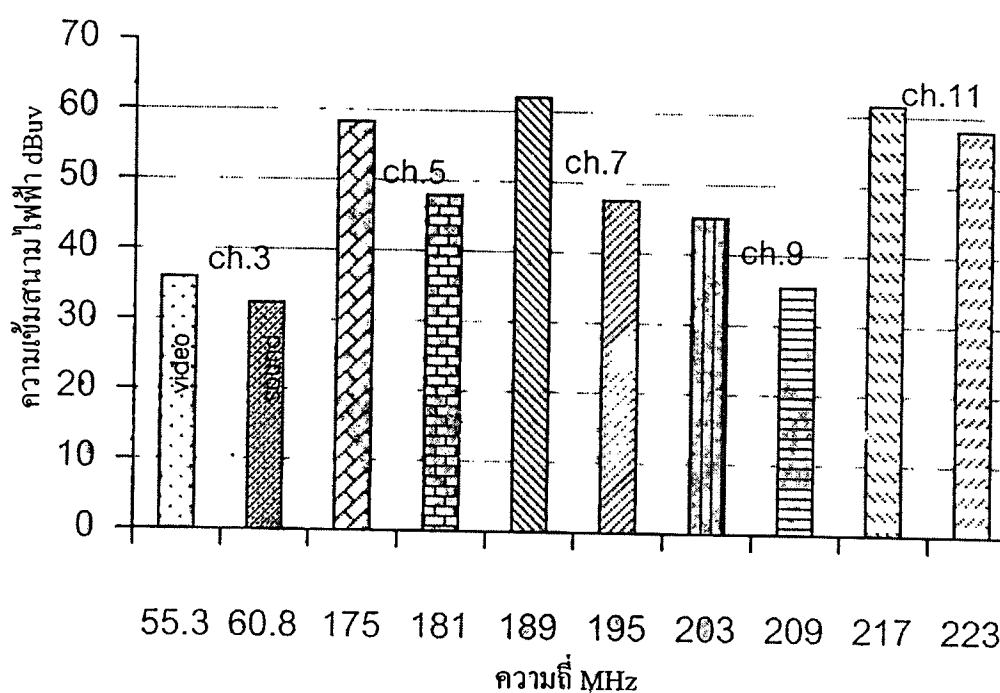
จากรูป 5.6 ขนาดของสัญญาณโทรทัศน์ขณะเกิดปรากฏการณ์ QP ช่อง 3 มีขนาดสูงถึง 11 dB ในขณะที่ช่อง 9 มีผลกระทบจากขนาด QP เพียง 1.3 dB เท่านั้น ทั้งๆ ที่ ปรากฏการณ์นี้เกิดจากเครื่องบินลำเดียวกันเป็น บินผ่านสายอากาศรับที่เดียวกัน คือ ตึก 3 ชั้นของภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คลื่นโทรทัศน์ส่งมาจากหนองแขมที่เดียวกันใช้สายอากาศรับเฉพาะช่อง 3 และช่อง 9 ดังนั้น ความแตกต่างจึงเกิดจาก λ หรือความถี่ที่ต่างกันมาก

จากการทดลองวัดสัญญาณ QP ในสัญญาณโทรทัศน์ช่อง อื่นๆ เช่น 5, 7 และ 11 จะมีปรากฏการณ์ QP น้อยมาก เพราะระยะทางจากสถานีส่งจะใกล้กว่าและ ทุกช่องมีความถี่สูงกว่าช่อง

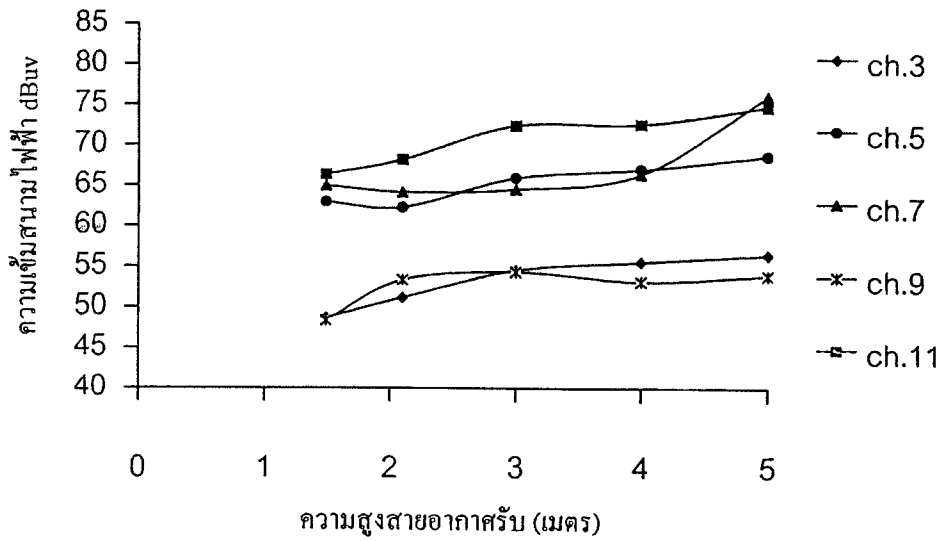
3 ปัญหาจึงอยู่ที่ช่องความถี่ต่ำ ซึ่งในบางจังหวัดออกอากาศด้วยความถี่ช่อง 2 และ ช่อง 4 ก็จะมีปัญหาเช่นกัน แต่จะมากขึ้นอยู่กับระยะทางจากสถานีส่ง และความถี่ของเครื่องส่ง

5.4 การทดลองวัดสัญญาณโดยใช้สายอากาศหลายๆ ชนิด

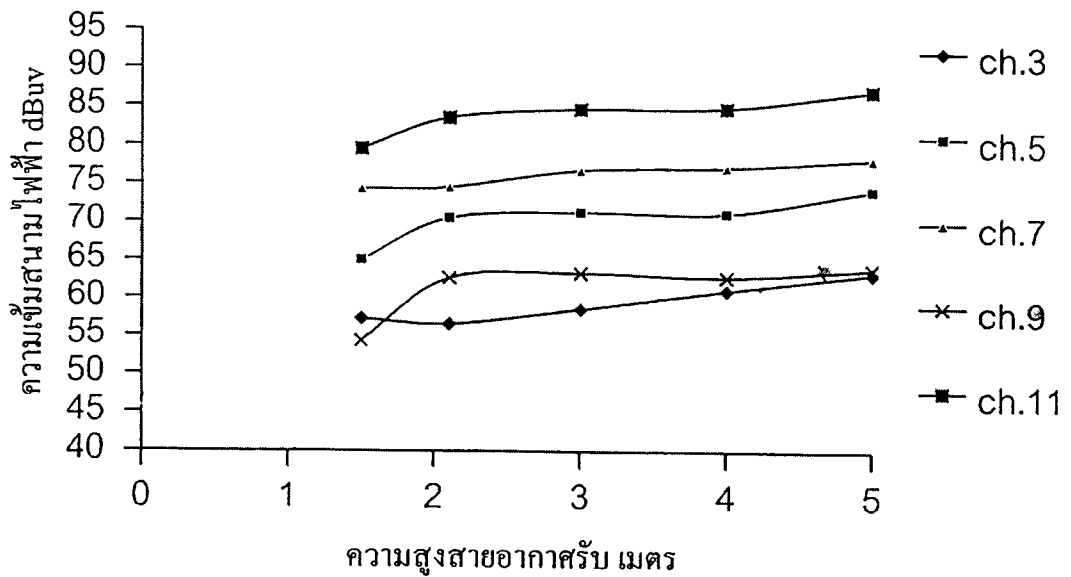
ในการรับสัญญาณโทรทัศน์ผู้ชมจะใช้สายอากาศแตกต่างกันไป ซึ่งสายอากาศแต่ละชนิดมีคุณภาพในการรับความแรงสนามไฟฟ้าได้ไม่เท่ากัน สายอากาศที่มีแกนสูงหรือแยกช่องสัญญาณจะมีขนาดของปีกยาวตามความยาวคลื่นของแต่ละความถี่ซึ่งรับสัญญาณได้ดีกว่าสายอากาศชนิดรวมทุกช่อง รูป 5.7, 5.8, 5.9 และ 5.10 เป็นผลการทดลองวัดความแรงสัญญาณภาพและเสียงของโทรทัศน์ทุกช่อง โดยใช้สายอากาศโมนิโพล, สายอากาศไดโพล และสายอากาศยาก็ จากกราฟสัญญาณภาพจะมีความแรงสัญญาณไฟฟ้าสูงกว่าสัญญาณเสียง



รูปที่ 5.7 ความแรงสนามไฟฟ้าของสัญญาณโทรทัศน์ทุกช่องรับด้วยสายอากาศโมนิโพล



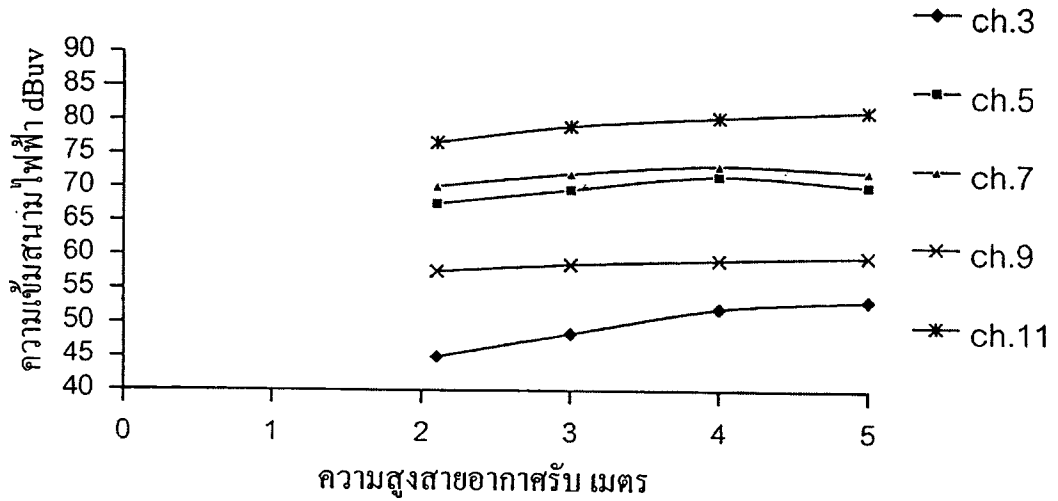
a) ขนาดสัญญาณพาหะเสียงโทรทัศน์ทุกช่อง



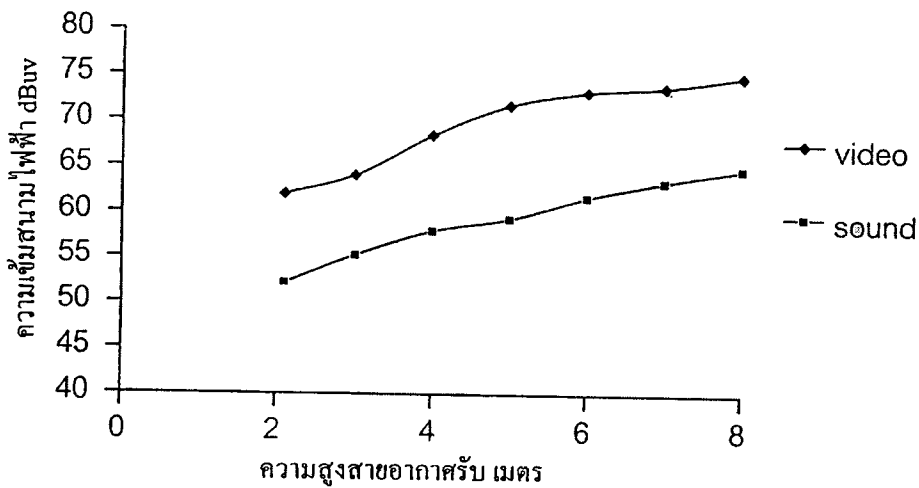
b) ขนาดสัญญาณพาหะภาพโทรทัศน์ทุกช่อง

รูปที่ 5.8 การทดลองวัดสัญญาณโทรทัศน์ด้วยสายอากาศไดโพล

a) สัญญาณพาหะเสียง b) สัญญาณพาหะภาพ



รูปที่ 5.9 สัญญาณไฟฟ้าพาหะเสียง ของสัญญาณโทรทัศน์ทุกช่อง รับด้วยสายอากาศของบริษัท สามารถชนิตรวมช่อง

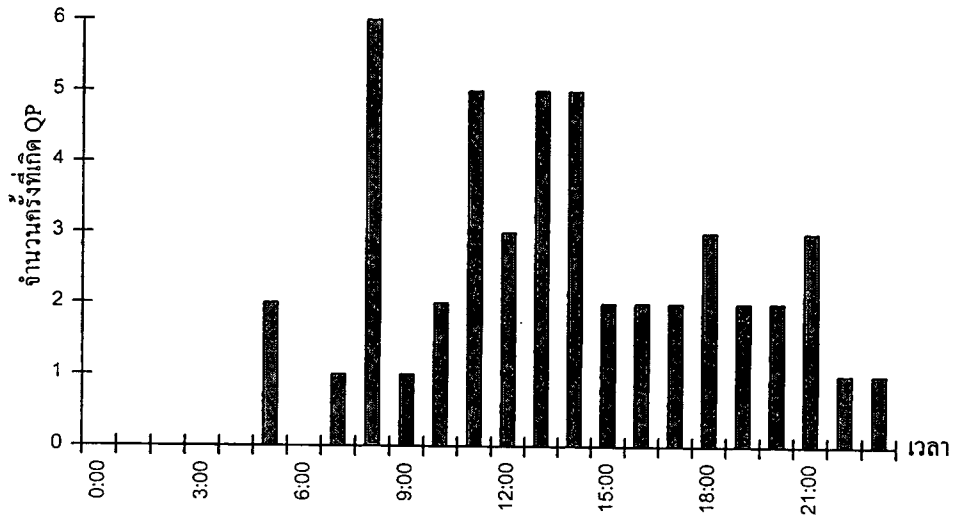


รูปที่ 5.10 สัญญาณพาหะภาพและเสียงของสัญญาณโทรทัศน์ ช่อง 3 วัดด้วยสายอากาศแยก เฉพาะช่องของ maspro

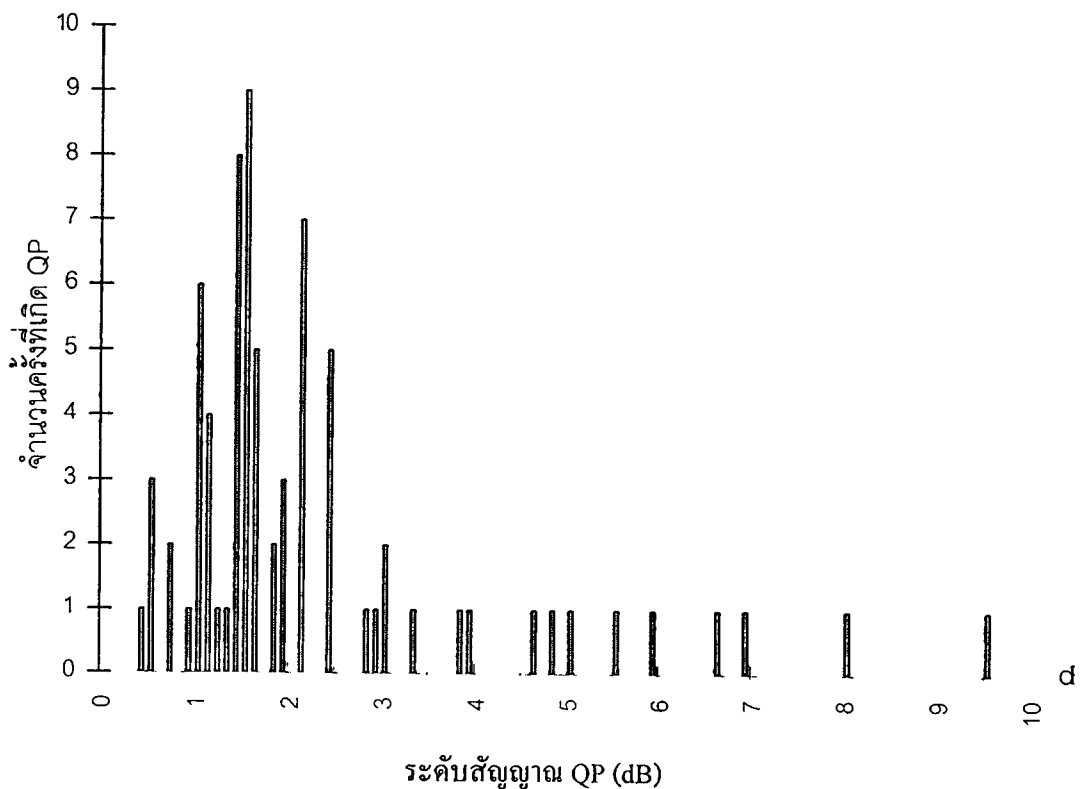
5.5 สถิติการพบปรากฏการณ์ QP ในโทรทัศน์ช่อง 3

จากการทดลองเก็บสถิติการเกิดปรากฏการณ์ QP ในสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 3 พบว่าใน 1 วัน ตลอดเวลาที่มีการออกอากาศ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้ภาพมีความพร่องบ่อยมาก บางชั่วโมงเกิดมากถึง 6 ครั้ง ดังรูป 5.11 ซึ่งแต่ละครั้งจะมีขนาดdBมากบ้างน้อยบ้าง ดังรูป 5.12 โดย

เฉลี่ยแล้วค่าพีค ทู พิค 0.5 ถึง 2.5 dB เกิดบ่อยมาก ภาพโทรทัศน์จะถูกรบกวนเล็กน้อย ถ้าขนาด 5 dB ขึ้นไป ผู้ชมจะรู้สึกรำคาญซึ่งสถิติการเกิดไม่บ่อยมากในแต่ละชั่วโมง

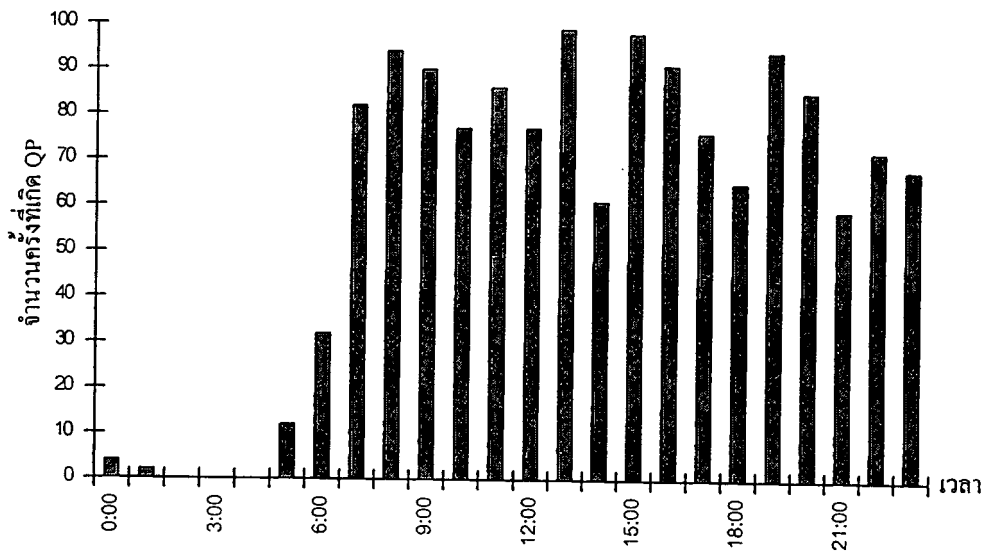


รูปที่ 5.11 ปრაกฏการณ์ QP ที่วัดได้ในวันที่ 15 มีนาคม 2539

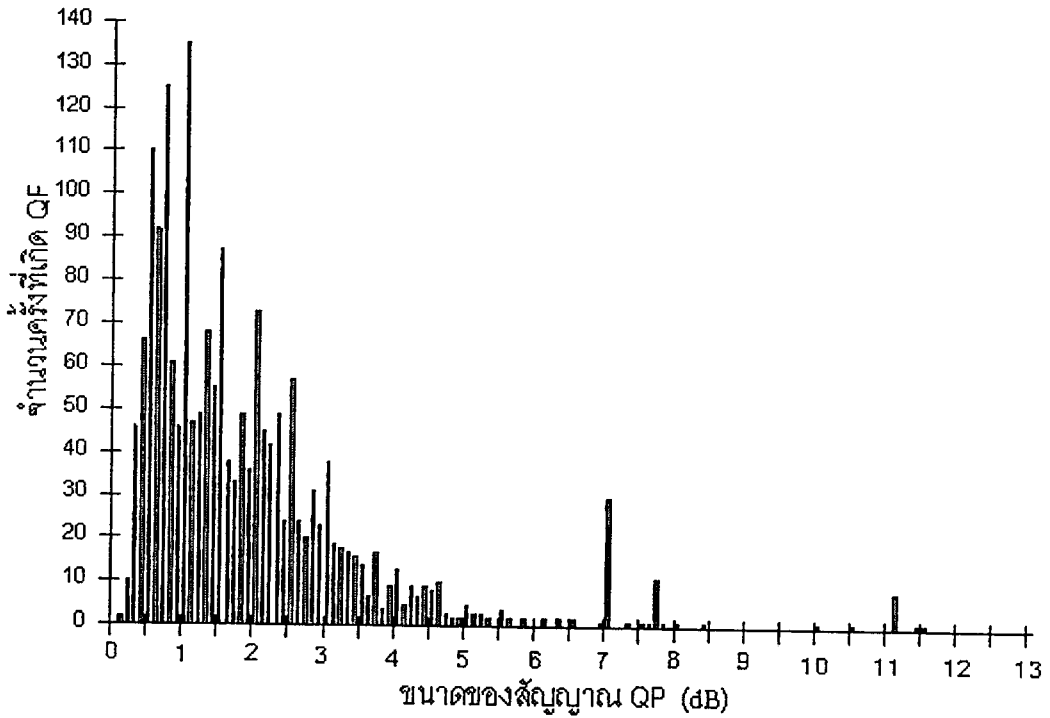


รูปที่ 5.12 ขนาดของสัญญาณ QP วัดจากจุดสูงสุดถึงต่ำสุดของคลื่นใน 1 วัน

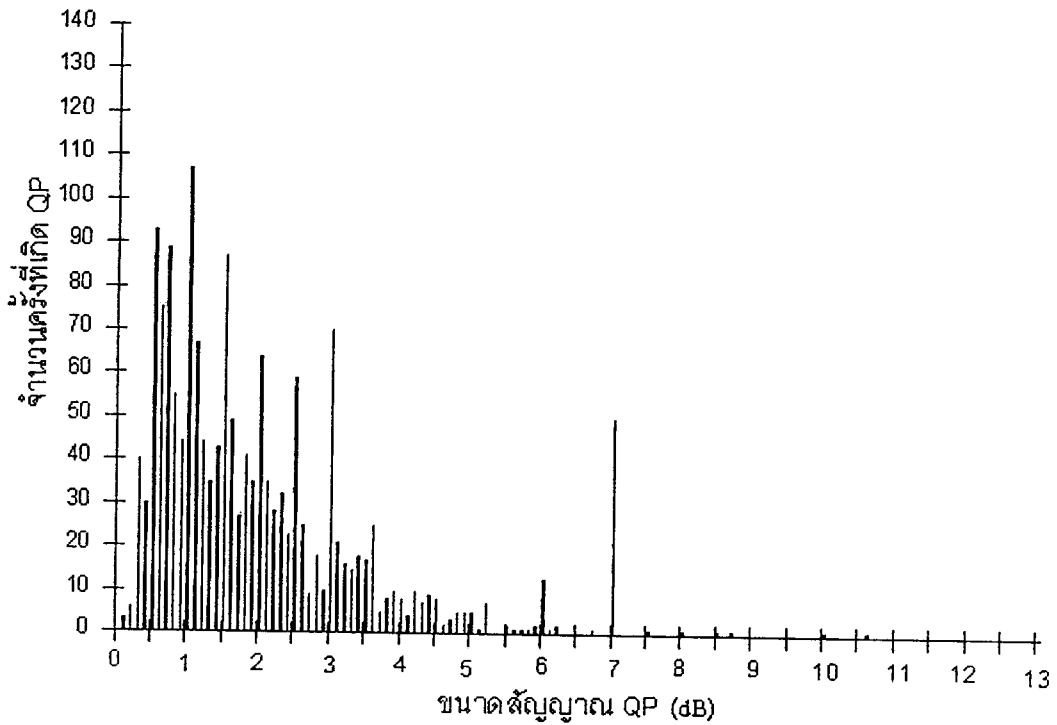
ในการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง เพื่อดูจำนวนครั้งและเวลาที่เกิด QP พบว่าในแต่ละวันใน เวลาตั้งแต่ 5:00 น. ถึง 24:00 น. มีการเปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นแทบทุกชั่วโมง ดังกราฟรูป 5.13 เป็น ผลการทดลองเดือน เมษายน 2539 อธิบายจำนวนครั้งที่เกิดในเวลาเดียวกันของทุกวันตลอด 1 เดือน และขนาด dB ของการเปลี่ยนแปลงขนาดคลื่นต่างๆ กัน เกิดจำนวนมากน้อยเท่าใด ดูได้จากกราฟ เดือนกุมภาพันธ์ 2539 ดังรูป 5.14 พบว่าโดยเฉลี่ยค่า dB ต่ำ ๆ จะพบมากในขณะที่ dB สูงๆ จะพบ น้อยครั้ง เช่นเดียวกับเดือน มีนาคม 2539 พบว่า QP ที่มีค่าถึง 7 dB มากถึง 50 ครั้งใน 1 เดือน ซึ่ง ระดับการเปลี่ยนแปลงขนาดสัญญาณโทรทัศน์ ขนาดนี้ภาพจะมีความบกร่องมาก



รูปที่ 5.13 จำนวนครั้งที่เทียบกับเวลาที่พบ QP ในเดือน เมษายน 2539



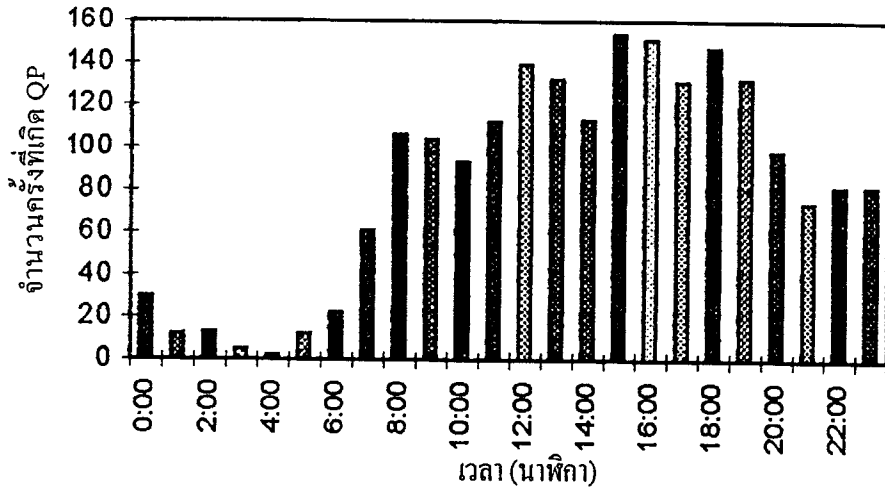
รูปที่ 5.14 ขนาดสัญญาณ QP เทียบกับจำนวนครั้งที่พบในเดือน กุมภาพันธ์ 2539



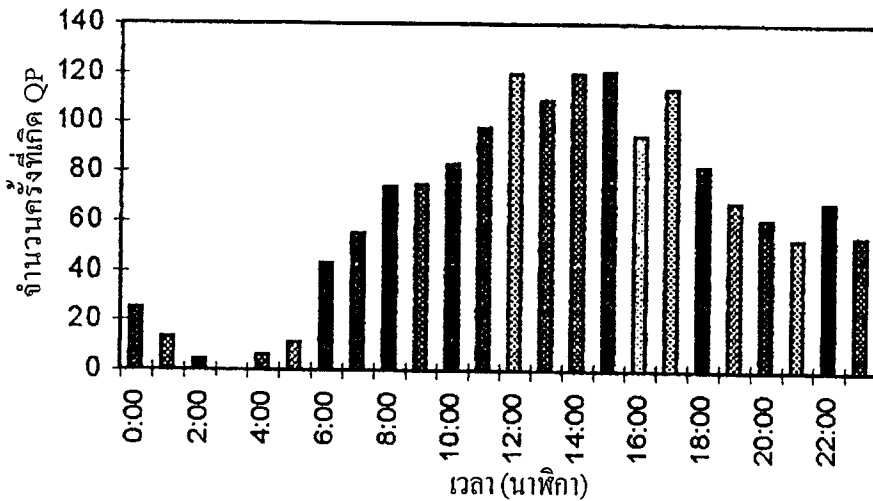
รูปที่ 5.15 ขนาดสัญญาณ QP เทียบกับจำนวนครั้งที่พบในเดือน มีนาคม 2539

5.6 ปรากฏการณ์ QP วัดที่ระดับความสูงสายอากาศต่างกัน

ในการทดลองได้ทำการติดตั้งสายอากาศและชุดรับสัญญาณไว้ที่ อาคาร 12 ชั้น ความสูงสายอากาศ ประมาณ 45 เมตร และอาคาร 3 ชั้น ความสูงสายอากาศประมาณ 15 เมตร ได้บันทึกจำนวนครั้งที่พบปรากฏการณ์ QP ในเดือน พฤศจิกายน 2538 ดังกราฟรูป 5.16 และเดือนธันวาคม 2538 แสดงด้วยกราฟรูป 5.17



(a)

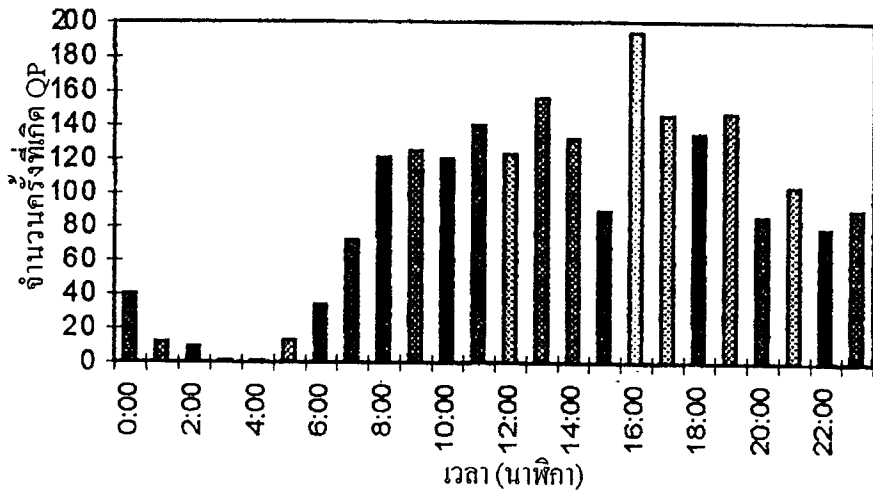


(b)

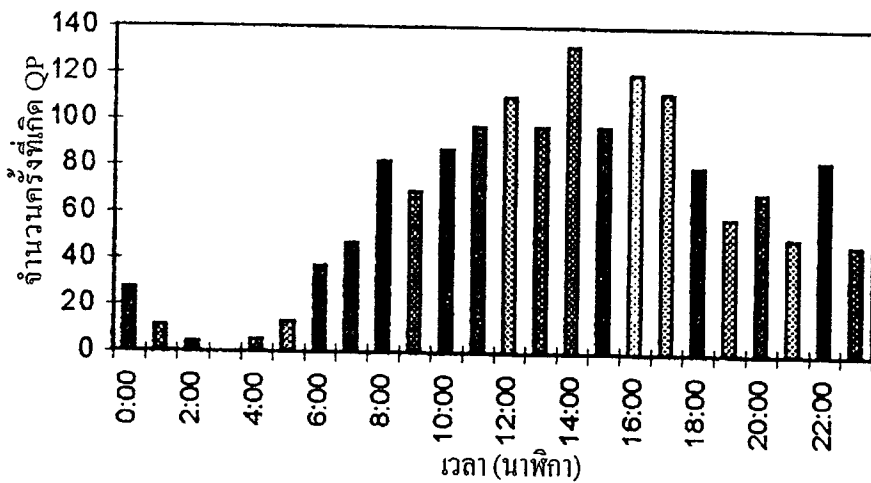
รูปที่ 5.16 กราฟจำนวนครั้งที่พบปรากฏการณ์ QP เทียบกับเวลาในเดือน พฤศจิกายน 2538

(a)อาคาร 3 ชั้น วัดที่ความสูงสายอากาศ 15 เมตร

(b)อาคาร 12 ชั้น วัดที่ความสูงสายอากาศ 45 เมตร



(a)



(b)

รูปที่ 5.17 กราฟจำนวนครั้งที่พบปรากฏการณ์ QP เทียบกับเวลาในเดือน ธันวาคม 2538

(a) ความสูงสายอากาศ 15 เมตร (b) ความสูงสายอากาศ 45 เมตร

จากการทดลองวัดสัญญาณด้วยสายอากาศชนิด 5 ก้าน เฉพาะช่อง 3 โดยความสูงเสาอากาศต่างกันมากๆ พบว่าถ้าติดตั้งสายอากาศไว้ที่สูงๆ จะลดจำนวนการเกิดปรากฏการณ์ QP ได้มาก ดังกราฟรูป 5.17 เป็นผลการทดลองวัดสัญญาณ QP ที่ความสูงต่างกัน เช่นเวลา 15:00น. ที่อาคาร 3 ชั้น เกิดปรากฏการณ์ 155 ครั้ง ในขณะที่อาคาร 12 ชั้น เกิดปรากฏการณ์เพียง 120 ครั้ง โดยที่ QP ที่มีขนาดต่ำๆ เช่น 1-2 dB ที่พบในอาคาร 3 ชั้น จะพบจำนวนน้อยมาก ในอาคาร 12 ชั้น ขนาด QP สูงๆ เช่น 5 dB ขึ้นไปพบน้อยลงมาก แสดงว่าถ้าติดตั้งสายอากาศไว้ในที่สูงๆ จะช่วยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสัญญาณได้ดี ในทางตรงกันข้ามถ้าติดตั้งสายอากาศไว้ต่ำมากๆ เช่น สายภายในอาคารซึ่งมีความสูงไม่เกิน 3 เมตร จะพบ QP ที่มีขนาดสูง 5-10 dB จำนวนมาก

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์

จากผลการทดลองเก็บข้อมูลระยะยาว ปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงขนาดสัญญาณโทรทัศน์อย่างกระทันหัน หรือ Quasi-Periodic fading หรือ QP เกิดจากการที่สายอากาศรับอยู่ในตำแหน่งที่รับทั้งคลื่นดินและคลื่นฟ้ารวมทั้งคลื่นสะท้อนจากอาคารและโดยเฉพาะจากเครื่องบิน เมื่อคลื่นสะท้อนมีเฟสเดียวกับคลื่นตรงจากสถานีส่ง สัญญาณจะเสริมกันมีขนาดสูงขึ้น ในทางตรงข้าม ถ้าคลื่นตรง และคลื่นสะท้อนมีเฟสคลาดเคลื่อนหรือตรงข้ามกันสัญญาณรับจะลดลง ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดจากวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างจะมีความสม่ำเสมอ แต่ถ้าเป็นคอนกรีตก่อสร้าง สัญญาณจะแกว่งชั่วขณะแต่มีลักษณะคลื่นไม่สม่ำเสมอ ซึ่งผิดกับการสะท้อนคลื่นจากเครื่องบิน จะมีปริมาตรหรือเนื้อที่สะท้อนคลื่นและระยะความสูงตลอดจนระยะห่างของการเข้าใกล้หรือเคลื่อนออกของเครื่องบินเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ขนาดของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะคล้ายรูปไซน์มากที่สุดโดยขนาดสัญญาณค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงพิกสูงสุดแล้วค่อยๆ ลดลงสู่ระดับสัญญาณปกติ ทำให้สัญญาณภาพมีลักษณะวูบ-วาบ ชั่วขณะ ถ้าความแรงของการเปลี่ยนแปลงหรือพิกสูงสุดของ QP มีค่ามากกว่า 5 ดิบี ผู้ชมจะรู้สึกถึงความผิดปกติของภาพ ส่วนเสียงมักไม่มีปัญหา เพราะความสนใจไปอยู่ที่ภาพมากกว่า แต่ถ้า QP มีพิกสูงเกิน 10 ดิบี จะมีความชัดเจนน้อยมากจนถึงขั้นดูไม่รู้เรื่อง แต่เหตุการณ์เช่นนี้จะเกิดชั่วขณะสั้นๆ เป็นวินาที นานที่สุดเคยเกิดนานถึง 1 นาที เมื่อเครื่องบินผ่านทางเดินคลื่นในรัศมีที่สายอากาศยังรับคลื่นสะท้อนได้เป็นเวลานาน

6.1 ผลการทดลองวัดสัญญาณที่ความสูงต่างกัน

จากการทดลองวัดสัญญาณช่อง 3 กรุงเทพฯ เมื่อวัดที่อาคาร 3 ชั้น ซึ่งสายอากาศสูง 15 เมตร และวัดที่อาคาร 12 ชั้น ความสูงสายอากาศประมาณ 45 เมตร สรุปได้ว่า ที่ความสูงสายอากาศ 45 เมตร ความแรงสัญญาณรับ (field strength level) เป็น dB μ v มีค่ามากกว่าการรับด้วยสายอากาศสูง 15 เมตรมาก ทุกช่องความถี่ ขนาดของปรากฏการณ์ QP ที่พบเมื่อสายอากาศสูง 45 เมตร มีค่าต่ำกว่า 2.5 ดิบี มีเพียงส่วนน้อยที่มีค่าสูงถึง 5 ดิบี ขนาดของปรากฏการณ์ QP พบเมื่อสายอากาศสูง 15 เมตร มีค่าต่ำกว่า 3.5 ดิบี มีเพียงส่วนน้อยที่เกิน 5 ดิบี

ดังนั้นถ้าใช้สายอากาศที่มีความสูงมากพอ จะรับความแรงสนามไฟฟ้าของสัญญาณโทรทัศน์ได้แรง และมีสัญญาณสะท้อนต่ำ ซึ่งหมายถึงสัญญาณภาพและเสียงมีความคมชัดมาก โดยเฉพาะช่องความถี่ต่ำ จะรับสัญญาณสะท้อนได้ต่ำลง

ผลการทดลองดังกล่าวได้จากการใช้สายอากาศที่มีคุณภาพดี ราคาค่อนข้างสูง โดยแยกแผงรับแต่ละช่องออกจากกัน และการทดลองเน้นที่ปรากฏการณ์ QP ซึ่งได้ทดสอบแล้วว่า เกิดขึ้นกับ

ทุกช่องความถี่ แต่มีผลกระทบมากกับช่องความถี่ต่ำ เช่น ช่อง 2, 3, 4 เช่นพบปรากฏการณ์ QP 5 ครั้งติดต่อกันในช่อง 3 จะพบในช่องความถี่ ช่อง 9 เพียงครั้งเดียวหรือ บางครั้งไม่พบเลย ทั้งนี้เพราะ gain ของสายอากาศช่องความถี่ต่ำ จะมีค่าต่ำกว่า gain ช่องความถี่สูง และลำบีม ของสายอากาศช่องความถี่ต่ำจะกว้างกว่าช่องความถี่สูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น ซึ่งคำนวณจาก $\lambda = \frac{c}{f}$ (เมตร), λ : ความยาวคลื่น (เมตร), c : ความเร็วแสง = 3×10^8 (เมตร/วินาที) และ f : ความถี่คลื่นพาหะ, ช่อง 3 $f = 60.75$ MHz $\lambda = \frac{3 \times 10^8}{60.75 \times 10^6} = 4.9$ เมตร, เทียบกับความยาวคลื่นช่อง 9 $f = 208.75$ MHz จะได้ $\lambda = 1.43$ เมตร สายอากาศจะมีความยาวของก้านรับคลื่นเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$ ซึ่งสายอากาศช่อง 3 ก้านยาวถึง 2.50 เมตร ในขณะที่ช่อง 9 ใช้เพียง 70 เซนติเมตร เท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติ สายอากาศช่อง 3 จะใช้ขนาดสั้นกว่า $\frac{\lambda}{2}$ เพราะไม่สะดวกในการติดตั้ง และมีโอกาสหักเสียหาย เพราะแรงลมได้ง่าย ทำให้ ลำบีมซึ่งกว้างอยู่แล้วจะกว้างขึ้นไปอีก จึงรับเอาคลื่นสะท้อนและคลื่นรบกวนเข้ามาได้มากกว่า และโดยเฉพาะในบางจังหวัดที่ใช้ความถี่ออกอากาศเป็นช่อง 2 หรือ ช่อง 4 จะมีปัญหาเช่นเดียวกัน

6.2 ผลการทดสอบด้วยการคำนวณจากแบบจำลอง

เป็นที่น่าสังเกตว่าบางครั้งการทดลองนอกสถานที่ เช่น บนคาเฟ่อาคารปฏิบัติการ 4 ชั้นของวิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา ได้พบปรากฏการณ์บ่อยครั้ง และมีความแรงของพีคใกล้เคียง 5 ดีบี แต่ไม่ได้ยินทั้งเสียงและไม่เห็นลำเครื่องบินเลย เช่นเดียวกับการทดลองวัดสัญญาณที่มหาวิทยาลัยโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งอยู่ห่างจากเส้นทางบินของเครื่องบินถึง 26 กิโลเมตร ยังพบปรากฏการณ์ QP เช่นกัน

และเมื่อได้ทำแบบจำลองการสะท้อนคลื่นจากเครื่องบิน โดยเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ เช่น ความสูงเครื่องบิน ความสูงสายอากาศรับ ระยะทางการบิน สัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น และความถี่ของสัญญาณโทรทัศน์ ต่างๆ กัน ผลของการคำนวณพบว่า คลื่นมีลักษณะเช่นเดียวกับที่วัดได้ และผลกระทบต่อความถี่ของสัญญาณต่ำ เช่น ช่อง 3 จะมีขนาดพีคของ QP สูงกว่าช่องความถี่ที่สูงกว่า เช่น ช่อง 9 เสมอ

6.3 ข้อสังเกต

เมื่อปี 2535 คณะผู้วิจัยได้ทดลอง วัดสัญญาณช่อง 9 และ ช่อง 3 เปรียบเทียบกัน เพราะสัญญาณส่งมาทิศเดียวกัน ผ่านสภาพแวดล้อมเดียวกัน เช่น ปัจจุบันนี้ แต่ในขณะนั้นอาคารสูง ๆ มีจำนวนชั้นหลายสิบชั้น ที่อยู่ในทิศทางการแพร่กระจายคลื่นยังไม่มี และบริเวณสถานที่รับสัญญาณมีอาคารสูงเพียง 6 ชั้น ที่อยู่ใกล้เคียง ซึ่งปัจจุบันยังมีอยู่ โดยใช้สายอากาศวิทยุชนิดรวมช่องสัญญาณที่มีคุณภาพสูง ราคาแพง พบว่าขนาดของปรากฏการณ์ QP วัดได้สูงถึง 30 ดีบี ในสัญญาณช่อง 3 ซึ่ง

ปัจจุบัน ถึงแม้จะใช้สายอากาศคุณภาพต่ำลงมา ก็ไม่พบปรากฏการณ์ QP ที่มีความรุนแรงเท่านี้ ทั้งนี้ เป็นเพราะทางสถานีช่อง 3 ได้พยายามปรับปรุงคุณภาพสัญญาณด้วยการเพิ่มกำลังส่งขึ้น จาก 20KW เป็น 60KW ในปัจจุบัน เป็นการเพิ่มสัญญาณตรง (Direct wave) ให้มากขึ้น ถึงแม้สัญญาณสะท้อนยังคงมีอยู่อย่างเดิมรวมทั้งอาคารสูงๆ ที่ก่อสร้างเพิ่มขึ้นมากมาย ทำให้สัญญาณสะท้อนอาคารก่อนเข้าสู่สายอากาศเป็นผลให้ภาพร่ามัวหรือมีเงา ในบางพื้นที่รับสัญญาณช่อง 3 ไม่ได้เลย ทั้งนี้ปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงสัญญาณแบบกึ่งที่เรียกเป็นปัญหาหนึ่งที่สามารถทำให้ลดลงได้โดยการเลือกใช้สายอากาศที่มีคุณภาพสูง คือ มีลำบีมแคบ และลดสัญญาณสะท้อนได้ ดังตัวอย่างสายอากาศหลายๆ ชนิดที่นำเสนอในบทที่ 3 นอกจากนี้ด้วยเทคโนโลยีปัจจุบันทำให้ผู้ชมมีทางเลือกอีกทางคือการรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมซึ่งช่วยแก้ปัญหาได้มากแต่ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง และในอนาคตการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินจะเปลี่ยนจากระบบอนาล็อกเป็นดิจิทัล คุณภาพสัญญาณจะดีขึ้น ปัญหา QP จะได้รับการแก้ไข

บรรณานุกรม

- [1] Compiled by Japan broadcasting corporation, 1982 : “Broadcasting receiving technique”, NHK publication.
- [2] Compiled by Japan broadcasting corporation, (1989) :”NHK television technique textbook (II), NHK publication
- [3] J.Das, A.K.De and Dutta Majumder, 1989 “On the propagation of elevated layers over Calcutta and its effect on VHF propagation” ICAP 89, No.30, pp.40~45
- [4] L.A.Hajkowicz,1977 “Possible ambiguity in defining the ionospheric origin of quasi-periodic scintillation” Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Vol.59, No.12, pp.1417~1423.
- [5] M.Piamkulvanich, et. al., 1996, “Observation of Quasi-Periodic Scintillation of Satellite Signal in the L Band” 15th ITS, Vol.3, pp.65~69
- [6] M.Nagahora, et. al., 1998, “Receiving field strength fluctuation by aircraft scattering” ITE Technical Report, vol.22, No.11, pp.43~48
- [7] N.Leelaruji, et. al., 1990, “Telecasting of Thailand Some Problem in Propagation of Satellite Networks”, ITE Technical Report, Vol.14, No.6 pp. 23~28, Jan 1990, Japan
- [8] N.Leelaruji, et. al., 1993, “Quasi-Periodic Fading Observed in VHF Broadcasting Signal” ITE Technical Report, Vol.17, No.9, pp.77~12
- [9] N.Leelaruji, et. al., 1993, “Quasi-Periodic variation observed in television radio waves”, Proc. of ISRP’93, Aug.1993, china
- [10] N.Leelaruji, et. al., 1997, “Relation Between Quasi-Periodic Level Fluctuation and Plane Flight on Television Broadcast Signals in Thailand” Proc. Of Thai 1997 Thailand-Japan Join Symposium on Antennas and Propagation (TJSAP’97), May 21-22, 1997 Bangkok
- [11] N.Leelaruji, et. Al., 1997 “Relation between quasi-periodic level fluctuation and plane flight on television broadcast waves” ITE Technical Report Vol.21, No.5, pp.21~26
- [12] S.Ito and A.Ohta, 1986, “Estimation of fluttering of field intensity caused by aircraft and its disturbance to television reception”, Journal of ITE, Vol.40, No.9, pp.899~905

ภาคผนวก ก

โปรแกรมแบบจำลอง

C:\QP-F.FOR

```

1: C
2: C      = = = = QP-Fluctuation = = = =
3: C
4: C
5:      IMPLICIT REAL*8 (A-H, O-Z)
6:      INTEGER VNM
7:      CHARACTER NAM(3,20)*12
8: C
9:      OPEN (3, FILE='QPFILE.NAM', STATUS='OLD' )
10:         READ(3,100)  (NAM(I, J), J=1,20), I=1,3)
11:      CLOSE (3, STATUS='KEEP' )
12:      II=1
13:      DATA  PI3  /7.853981633974483096156608D-1/
14:         PI2 = PI4*2.D0
15:         PI1 = PI4*4.D0
16:         PAI2= PI4*8.D0
17: C
18:      PRINT*, 'd (Km), f (MHz)'
19:         READ*, IDD, IFF
20:      PRINT*, H1 (m), H2 (m)'
21:         READ*, IH1, IH2
22:      1 PRINT*, DX(m)  DD1,  DD2,  DD3'
23:         READ*, IDX1,  IDX2,  IDX3

```

```

24:      2 PRINT*, ' H (m)      HH1, HH2,  HH3'
25:          READ*, IHH1,  IHH2,  IHH3'
26:      3 PRIINT*, 'Reflection coefficient R(%)'
27:          READ**, IRR
28:      4 PRINT*, 'X (m)      IX2,  IX3'
29:          READ*,  IX2,  IX3
30:C
31:      5 PRINT*, 'Valiable Number[1-3]'0
32:          PRINT*, ' 1: DX,  2: H,  3:  R
33:          READ(*,200)  VNM
34:          IF  (VNM. GT. 3. OR. VNM. LT. 1) GO TO 5
35:C
36:      FF = DBLE(IFF)
37:      DD =DBLE(IDD)
38:      F = FF*1.D6
39:      D = DD*1.D3
40:      RAM= 3. D8/F
41:      H1 =DBLE(IH1)
42:      H2 =DBLE(IH2)
43:C
44:      RITP=DBLE(IRR)
45:      RITU=RITP/100.D0
46:      R0  =DSQRT(D**2+(H1+H2)**2)
47:      R01 =DSQRT(D**2+(H1+H2)**2)
48:      DRO =R01-R0
49:      DRKO=PAI2*DRO/RAM
50:      RA  = R0/R01
51:          EE0 = 1.D0+RA**2-2. D0*RA*DCOS(DRKO)
52:C
53:      D0 30  IDX=  IDX1,  IDX2,  IDX3

```

```

54:      DX = DBLE(IDX)
55:C
56:      D0 20 IHH= IHHH1, IHH2, IHH3
57:      H = DBLE(1HH)
58:C
59:      OPEN(3, FILE=NAM(VNM, II), STATUS='NEW')
60:      WRITE(6,300) FF, DD, H1, H2, H, DX, RITP
61:      WRITE(3,400) FF, DD, H1, H2, H, DX, RITP
62:      WRITE(6,500)
63:C
64:      IXX1= 2*IX2
65:      D0 10 NX= 0, IXX2, IX3
66:      X = -DBLE(IX2)+DBLE(NX)
67:      R2= DSQRT((H-H2)**2+X**2+DX**2)
68:      R1 = DSQRT((H-H2)**2+X**2+(D-DX)**2)
69:      DR = R2+R1-R0
70:      DRK = PAI2*DR/RAM
71:C
72:      FAI = PI2-DATAN(X/DX)
73:      SITA=PI2-DATAN(H-H1)/DSQRT(DX**2+X**2)
74:      ALPH=DSIN(SITA)*DCOS(FAI)
75:      SIK1 = DCOS(PI2*DCOS(SITA))/DIN(ITA)
76:      SIK2 = DSIN(2.D0*PAI2*ALPH)/(8.D0*DSIN(PI2*ALPH))
      RR = DABS(SIKOU) * RITU*R0/(R1+R2)
:C
      EER2 = RR**2-2.D0*RR*DCOS(DRK)+ 2.D0*RA*RR*DCOS
(DRK-DRK0)
:C
      WRITE(6,600) X, DB
      WRITE(3,600) X, DB

```

```

10    CONTINUE
      CLOSE (3, STATUS='KEEP')

      II=I1+1
20    CONTINUE
30    CONTINUE

:C
40    PRINT*, '0: STOPO,  1: DX,  2: H,  3: R(%),  4:x
      READ*, 1
      IF(1.EQ.4) GO TO 4
      IF(1.EQ.3) GO TO 3
      IF(1.EQ.2) GO TO 2
      IF(1.EQ.1) GO TO 1
      IF(1.EQ.0) STOP

:C
100  FORMAT (A12)
200  FORMAT (11)
300  FORMAT (1H1, ' F (MHz) = ', F6.15X, ' D (km) = ', F5.1, 5X, ' h1
(m) = ', F6.1TX,
      1    ' h2 (m) = ', F6.1, /
      2    10X, ' HH (m) = ', F5.0, 5X, ' DX (m) = ', F5.0, 5X, ' RITU
(%) = ', F5.1//)
400  FORMAT (1H, 4 (5x, F6) , /3 (5X, F6.1) /)
500  FORMAT (1H, 14X, X (m) , 9X, DB' /)
600  FORMAT (1H, 10X, F8.0, 5X, F7.2)

:C
      END

```

ภาคผนวก ข.
ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Nipha Leelaruji, et. al., 1997, "Some Characteristics of Quasi-periodic scintillation and Spike-type Scintillation and their relation with Ionospheric data, Proceeding of International Symposium on Radio Propagation ISRP'97, China
- [2] Nipha Leelaruji, et. al., 1997, "Relation between quasi-periodic level fluctuation and plane flight on television broadcast waves" ITE Technical Report Vol.21, No.5, pp.21~26 (1997)
- [3] Nipha Leelaruji, et. al., 1997, "Relation Between Quasi-Periodic Level Fluctuation and Plane Flight on Television Broadcast Signals in Thailand" Proc. Of Thai 1997 Thailand-Japan Joint Symposium on Antennas and Propagation (TJSAP'97), May 21-22, 1997 Bangkok
- [4] Nipha Leelaruji, et. al., 1997, "The Quasi-periodic Phenomenon on wireless Communication", 16th International Telecommunications Symposium, Taipei

ประวัติผู้เขียน

นาง นิภา สีสารุจิ เกิดวันที่ 24 มิถุนายน 2491 สำเร็จปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ปี พ.ศ. 2518 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ปัจจุบันรับราชการประจำ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง