ปีการศึกษา 2536

การออกแบบจานสายอากาศสะท้อนคลื่นแบบแคสซิเกรน สำหรับสถานีภาคพื้นดิน

Design of Cassegrain Antenna for Earth Station

โดย

นาย สิทธิพงษ์ ลีนะพงศ์พานิช 33100417

นาย เสกสรร วุฒิเลิศ 33100464

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.โมไนย ไกรฤกษ์

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ของภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2536

ภาควิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบจานสายอากาศสะท้อนคลื่นแบบแคสซิเกรน
สำหรับสถานีภาคพื้นดิน

ผู้จัดทำ นาย สิทธิพงษ์ ลีนะพงศ์พานิช 33100417
นาย เสกสรร วุฒิเลิศ 33100464

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.โมไนย ไกรฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
033377

การออกแบบจานสายอากาศสะท้อนคลื่นแบบแคสซิเกรนสำหรับสถานีภาคพื้นดิน

Design of Cassegrain Antenna for Earth Station

โดย : นาย สิทธิพงษ์ ลีนะพงศ์พานิช 33100417

นาย เสกสรร วุฒิเลิศ 33100464

สาขา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา : โทรคมนาคม

คณะ : วิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.โมไนย ไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการออกแบบจานสายอากาศแบบแคสซิเกรน ซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วย ตัวสะท้อนคลื่นหลัก,ตัวสะท้อนคลื่นรองและคอร์รูเกทฮอร์น เพื่อใช้เป็นจานสายอากาศรับและส่งสัญญาณเพื่อการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมของสถานีภาคพื้นดิน นอกจากนี้ได้ทดลองสร้างจานสายอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง1.85 เมตรใช้งานที่ความถี่ย่าน เคยู แบนด์ พร้อมทั้งปรับแต่งรูปร่างของตัวสะท้อนคลื่นหลักและตัวสะท้อนคลื่นรองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดระดับของไซด์โลบ และทดลองวัดคุณสมบัติต่างๆ อาทิเช่น รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น กำลังขยายเป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางทฤษฎีที่ทำนายโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้าช่วย

Abstract

This thesis presents the design of cassegrain antenna ,which is composed of main reflector,subreflector and corrugated horn ,is used as receiving and transmitting satellite communication earth station antenna.For experiment,we construct the 1.85-meter antenna for Ku band and also shape the main reflector and subreflector to increase efficiency and reduce sidelobe level.The charecteristics, such as radiation pattern gain etc., are measured to compare with theory were predicted by computer program.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม 1

1.2 คุณสมบัติที่สำคัญของจานสายอากาศของสถานีภาคพื้นดิน 1

1.3 สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบจานสายอากาศของสถานีภาคพื้นดิน 2

1.4 สาเหตุที่ทำให้ระดับของไซด์โลบมีค่าสูง 2

1.5 ประเภทของจานสายอากาศแบบแคสซิเกรน 3

บทที่ 2 ทฤษฎีการออกแบบ

2.1 การออกแบบโคนิคอลคอร์รูเกทฮอร์น 6

2.2 การหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นหลัก 14

2.3 การหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นรอง 14

2.4 การวิเคราะห์รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศ แบบแคสซิเกรน 16

2.5 การปรับแต่งรูปร่างของตัวสะท้อนคลื่น 18

บทที่ 3 กระบวนการออกแบบจานสายอากาศแบบแคสซิเกรนสำหรับสถานีภาคพื้นดิน และการออกแบบสร้างเพื่อทดลอง

3.1 กระบวนการออกแบบจานสายอากาศแบบแคสซิเกรนสำหรับสถานีภาคพื้นดิน 21

3.2 การออกแบบจานสายอากาศแคสซิเกรนเพื่อการทดลองสร้าง 23

3.3 คำนวณรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศ 36

บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของคอร์รูเกทฮอร์น 34

4.2 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของระบบฟีด 35

4.3 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศ 36

4.4 ผลการทดลอง 37

4.5 วิเคราะห์หผลการทดลอง 55

บทแทรกที่ 1 โปรแกรมออกแบบจานสายอากาศแคสซิเกรน 57

บทแทรกที่ 2 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการออกแบบจานสายอากาศแคสซิเกรน 96

แนวทางการพัฒนาต่อไป 105

เอกสารอ้างอิง 106

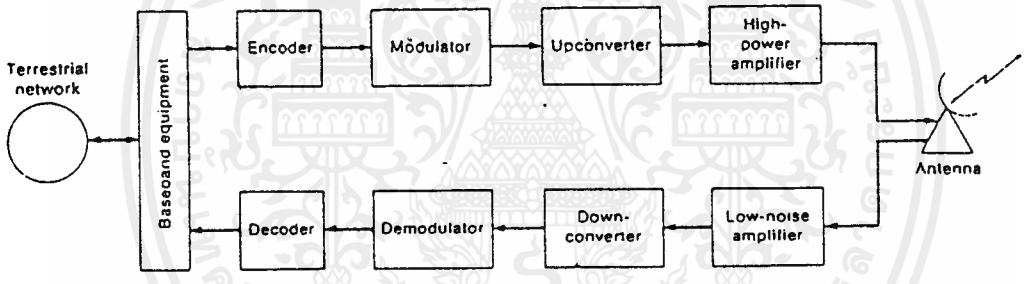
กิตติกรรมประกาศ 109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม

ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม ประกอบด้วยตัวดาวเทียมซึ่งโคจรรอบโลกทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณ(Repeater)และสถานีภาคพื้นดินซึ่งทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณเพื่อการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยนำสัญญาณความถี่เบสแบนด์(Baseband)มอดูเลท(Modulate)กับความถี่วิทยุในย่านความถี่ขาขึ้น(Up Link) พร้อมทั้งขยายสัญญาณให้มีกำลังส่งสูงมากๆแล้วส่งผ่านจานสายอากาศไปยังดาวเทียม เมื่อดาวเทียมได้รับสัญญาณแล้ว ก็จะทำการแปลงสัญญาณให้อยู่ในย่านความถี่ขาลง(Down Link)พร้อมทั้งขยายสัญญาณให้แรงขึ้นก่อนที่จะส่งลงมายังพื้นโลก สถานีภาคพื้นดินจะแปลงความถี่วิทยุที่รับได้จากจานสายอากาศให้เป็นสัญญาณเบสแบนด์ดังเดิม ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของสถานีภาคพื้นดิน

1.2 คุณสมบัติที่สำคัญของจานสายอากาศของสถานีภาคพื้นดิน

1.กำลังขยาย(Gain)ของจานสายอากาศขณะใช้รับหรือส่งสัญญาณควรมีค่าสูง เนื่องจากตัวดาวเทียมอยู่ห่างจากพื้นโลกมากประมาณ35,786กิโลเมตร จึงเกิดการสูญเสียขณะที่คลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ(Free Space Loss)มาก

2.อุณหภูมิที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน(Noise Temperature)ควรมีค่าต่ำ เพื่อให้ค่าS/Nมีค่าสูงเนื่องจากสัญญาณที่รับได้จากดาวเทียมมีระดับต่ำมาก

3.จานสายอากาศควรมีระดับของไซด์โลบ(Side Lobe Level)ต่ำ และเป็นไปตามข้อกำหนดของCCIR เพื่อไม่ให้สัญญาณที่ส่งจากสถานีภาคพื้นดินไปรบกวนดาวเทียมดวงอื่นที่อยู่ข้างเคียงกับดาวเทียมดวงที่ต้องการติดต่อสื่อสารด้วย รวมทั้งลดสัญญาณรบกวนจากดาวเทียมดวงอื่นและจากระบบสื่อสารไมโครเวฟภายในประเทศ(Terrestrial)

4.จานสายอากาศควรมีค่าVSWRต่ำ เพื่อให้พลังงานที่ป้อนเข้าจานสายอากาศถูกส่งออกไปได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบจานสายอากาศของสถานีภาคพื้นดิน

สถานีภาคพื้นดินที่ใช้จานสายอากาศขนาดเล็กจะมีกำลังขยายของจานสายอากาศต่ำ จึงต้องใช้เครื่องส่งที่มีกำลังส่งสูงเพื่อให้ได้ค่าEIRP(Effective Isotropic Radiated Power)ตามต้องการ ซึ่งถ้าไม่มีการควบคุมก็จะเกิดปัญหาการรบกวนกับดาวเทียมดวงอื่นที่อยู่ในแนวมุมกวาด(Azimuth)ที่ใกล้กัน เพราะจานสายอากาศขนาดเล็กจะมีบีมวิดท์(Beam Width)กว้าง ดังนั้นCCIRจึงได้กำหนดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศของสถานีภาคพื้นดินไม่ให้เกินค่าที่กำหนดไว้ ดังนี้

จานสายอากาศที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่าหรือเท่ากับ 100เท่าของความยาวคลื่นที่ใช้งาน

$$G = 32 - 25\log\theta \quad [dBi] \qquad (1^\circ \le \theta \le 48^\circ)$$
$$G = -10 \qquad [dBi] \qquad (48 \le \theta \le 180^\circ)$$

จานสายอากาศที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 100เท่าของความยาวคลื่นที่ใช้งาน

$$G = 52 - 10\log(D/\lambda) - 25\log\theta \quad [dBi] \qquad (\frac{100\lambda}{D} \le \theta \le 48^\circ)$$
$$G = 10 - 10\log(D/\lambda) \quad [dBi] \qquad (48^\circ \le \theta \le 180^\circ)$$

1.4 สาเหตุที่ทำให้ระดับของไซด์โลบมีค่าสูง

1.คลื่นที่แพร่กระจายออกจากปากตัวสะท้อนคลื่นหลัก(Main Reflector)มีขนาดและเฟสของสนามผิดพลาดไปจากค่าที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดทางเฟสของคลื่นที่ออกจากคอร์รูเกทฮอร์น(Corrugated Horn) หรืออาจเกิดจากการที่จุดศูนย์กลางเฟส(Phase Center)ของคอร์รูเกทฮอร์นไม่ได้วางอยู่ที่ตำแหน่งโฟกัสของตัวสะท้อนคลื่นรอง(Subreflector) ทำให้คลื่นเกิดการเสริมกันในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากเกินไป ระดับของไซด์โลบจึงเพิ่มขึ้น

แก้ไขได้โดยการเพิ่มความระมัดระวังในการออกแบบคอร์รูเกทฮอร์นและขณะติดตั้งจานสายอากาศพยายามปรับให้จุดศูนย์กลางเฟสของคอร์รูเกทฮอร์นอยู่ที่จุดโฟกัสของตัวสะท้อนคลื่นรอง

2.คลื่นเกิดการแตกกระจายอย่างสุ่มที่ขอบของตัวสะท้อนคลื่นหลักและตัวสะท้อนคลื่นรอง รวมทั้งคลื่นที่ล้น(Spillover)ออกไปจากตัวสะท้อนคลื่นทั้งสองอาจเสริมกันในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากเกินไป ทำให้ระดับของไซด์โลบในทิศทางนั้นสูงขึ้น

แก้ไขได้โดยการเทเปอร์(Taper)ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ขอบของตัวสะท้อนคลื่นหลัก พร้อมทั้งลดระดับพลังงานของคลื่นที่ตกกระทบที่ขอบของตัวสะท้อนคลื่นรองให้ต่ำกว่าระดับพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคลื่นที่ตกกระทบในแนวแกนของจานสายอากาศประมาณ 20 dB โดยการปรับแต่งรูปร่างของตัวสะท้อนคลื่นทั้งสองอย่างสอดคล้องกัน

3.คลื่นที่ตกกระทบกับที่ค้ำยัน(Strut)ตัวสะท้อนคลื่นรองจะเกิดการแตกกระจายออกไปอย่างสุ่ม ถ้าออกแบบที่ค้ำยันไม่ดีพออาจทำให้คลื่นที่แตกกระจายออกไปนั้นเสริมกันในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากเกินไป เป็นสาเหตุให้ระดับของไซด์โลบในทิศทางนั้นมีค่าเกินกว่าข้อกำหนดของ CCIR

การแก้ไขทำได้โดยการออกแบบรูปร่างและขนาดของที่ค้ำยันอย่างเหมาะสม เพื่อให้คลื่นที่ตกกระทบแตกกระจายอย่างเป็นระเบียบจะได้ไม่ไปเสริมกันในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากจนเกินไป

4.ในขั้นตอนการสร้างหากไม่ระมัดระวัง อาจทำให้ความโค้งของตัวสะท้อนคลื่นมีความผิดพลาดมากและพื้นผิวไม่เรียบพอหรือตัวสะท้อนคลื่นที่ออกแบบให้มีชิ้นส่วนหลายๆชิ้นมาประกอบกัน ถ้าช่องว่าง(Gap)มีค่ามาก ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นสาเหตุให้ระดับของไซด์โลบเพิ่มขึ้นได้

แก้ไขได้โดยพยายามออกแบบให้ตัวสะท้อนคลื่นเป็นชิ้นเดียวกันหรือให้มีจำนวนชิ้นส่วนประกอบน้อยที่สุดและพยายามทำให้เกิดช่องว่างน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

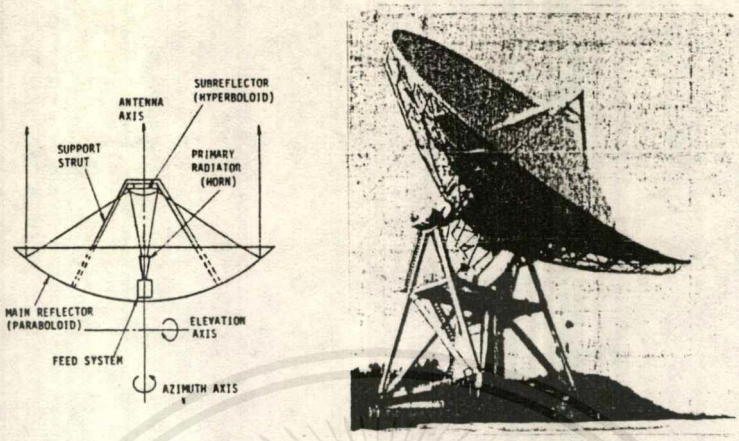
1.5 ประเภทจานสายอากาศแบบแคสซิเกรน

จานสายอากาศแบบแคสซิเกรนแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทซึ่งจานสายอากาศแต่ละประเภทจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน

1.จานสายอากาศแบบแคสซิเกรนมาตรฐาน

จานสายอากาศประเภทนี้ประกอบด้วยตัวสะท้อนคลื่นสองตัวคือตัวสะท้อนคลื่นหลักซึ่งมีรูปร่างแบบพาราโบลอยด์และตัวสะท้อนคลื่นรองซึ่งมีรูปร่างแบบไฮเปอร์โบลอยด์ (Hyperboloid)โดยมีฮอร์นเป็นตัวป้อนสนาม จุดโฟกัสของตัวสะท้อนคลื่นหลักจะเป็นจุดเดียวกับจุดโฟกัสเสมือนของตัวสะท้อนคลื่นรอง โดยจุดศูนย์กลางเฟสของฮอร์นวางอยู่ที่จุดโฟกัสของตัวสะท้อนคลื่นรอง ดังรูปที่1.2 คลื่นที่ออกจากตัวป้อนจะไปสะท้อนที่ตัวสะท้อนคลื่นรองจากนั้นจึงไปสะท้อนที่ตัวสะท้อนคลื่นหลักแล้วเป็นคลื่นระนาบพุ่งออกไปโดยมีเฟสเหมือนกัน ข้อดี คือมีอุณหภูมิที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนต่ำและมีเสถียรภาพทางกลที่ดี แต่มีข้อเสียคือตัวสะท้อนคลื่นรองจะบังคลื่นที่พุ่งออกไปจากตัวสะท้อนคลื่นหลัก ทำให้ประสิทธิภาพของจานสายอากาศลดลงรวมทั้งเกิดการแตกกระจายอย่างสุ่มที่ขอบของตัวสะท้อนคลื่นรองและการล้นขอบ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ระดับของไซด์โลบสูงขึ้น การเพิ่มประสิทธิภาพของจานสายอากาศพร้อมทั้งลดระดับของไซด์โลบไปพร้อมๆกันทำได้โดยการปรับแต่งรูปร่างของจานสายอากาศและการเทเปอร์(Taper)ขนาดของสนามไฟฟ้าที่กระจายอยู่บนปากตัวสะท้อนคลื่นหลัก

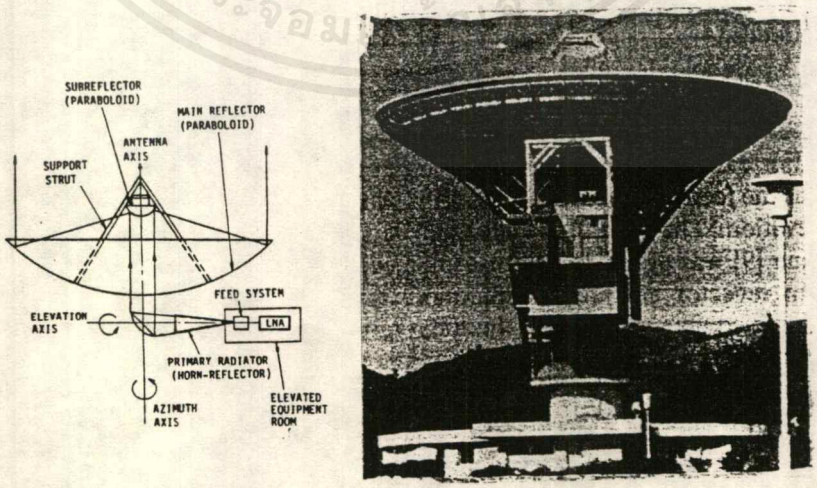
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่1.2 แสดงจานสายอากาศแบบแคสซิเกรน

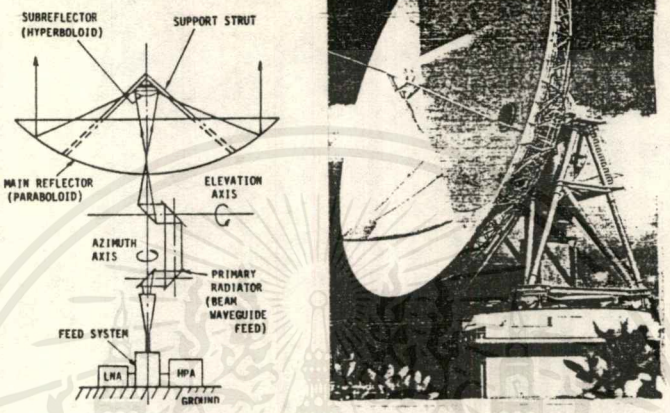
2.จานสายอากาศแบบแคสซิเกรนที่ถูกดัดแปลง

จานสายอากาศแบบนี้ดัดแปลงมาจากจานสายอากาศแบบแคสซิเกรนมาตรฐาน โดยใช้ฮอร์นและตัวสะท้อนคลื่นเป็นตัวป้อน ดังรูปที่1.3 ซึ่งมีข้อดีคือ อุปกรณ์ทางด้านอิเลคทรอนิคส์ต่างๆ เช่น LNA(Low Noise Amplifier), HPA(High Power Amplifier)ไม่ต้องเคลื่อนที่ในแนวมุมเงย(Elevation) หรือจะใช้ท่อนำคลื่น(Beam-Waveguide)เป็นตัวป้อน ดังรูปที่1.4 ซึ่งอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ไม่ต้องเคลื่อนที่ทั้งในแนวมุมกวาดและในแนวมุมเงยซึ่งเหมาะสำหรับจานสายอากาศขนาดใหญ่



รูปที่1.3 แสดงจานสายอากาศแบบแคสซิเกรนที่ใช้ฮอร์นและตัวสะท้อนคลื่นเป็นตัวป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่1.4 แสดงจานสายอากาศแบบแคสซิเกรนที่ใช้ท่อนำคลื่นเป็นตัวป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีการออกแบบ

2.1 การออกแบบโคนิคอลคอร์รูเกทฮอร์น

ในการประยุกต์ใช้งาน พบว่านิยมใช้คอร์รูเกทฮอร์นเป็นตัวป้อนสนาม(Feed)ในสายอากาศสะท้อนคลื่น(Reflector Antenna) เนื่องจากเหตุผล 2 ประการคือ เป็นฮอร์นที่มีการแพร่กระจายคลื่น(radiation)ลักษณะรูปแบบสมมาตร (Pattern Symmetry)คือรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ระนาบสนามไฟฟ้า(E Plane) และระนาบสนามแม่เหล็ก(H Plane)เหมือนกัน มีผลทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศโดยรวมดีขึ้นเช่น มีกำลังขยายสูง การล้นขอบต่ำ อีกประการหนึ่งคือแพร่กระจายคลื่นโดยมีครอสโพลาไรเซชั่น(Cross Polarization)ต่ำ

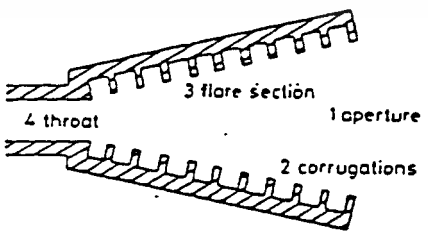
โครงสร้างของโคนิคอลคอร์รูเกทฮอร์นสามารถแบ่งเป็น 4 ส่วนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.1 คือ

1.เส้นผ่าศูนย์กลางของปากฮอร์น(Aperture Diameter)และมุมที่แผ่ออก(Flare Angle) เป็นส่วนหลักในการพิจารณาโคโพลาร์บีมวิดท์(Copolar Beamwidth)

2.ส่วนเซาะร่อง(Corrugation)ใช้พิจารณารูปแบบสมมาตรของการแพร่กระจายคลื่นและลักษณะของการเกิดครอสโพลาไรเซชั่น

3.ส่วนที่แผ่ออก(Flare Section) อยู่ระหว่างคอฮอร์นกับปากฮอร์นซึ่งใช้พิจารณาตำแหน่งจุดศูนย์กลางเฟส(Phase Center) และการกำเนิดคลื่นโหมดอันดับสูงกว่า(Higher Order Mode) ในตัวฮอร์น

4.ส่วนคอฮอร์น(Throat) ใช้พิจารณาอิมพิแดนซ์แมชชิ่ง(Impedance Matching)กับส่วนของท่อนำคลื่นที่นำมาต่อกับฮอร์น และการเปลี่ยนแปลงโหมดที่คอฮอร์น



รูปที่ 2.1 ส่วนต่างๆของคอร์รูเกทฮอร์น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 คุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นของโคนิคอลคอร์รูเกทฮอร์น

เมื่อกล่าวถึงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นโดยทั่วไปหมายถึงการแพร่กระจายคลื่นแบบโคโพลาร์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญอันดับแรก ต้องออกแบบลักษณะฮอร์นที่ให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเป็นไปตามต้องการ โดยพื้นฐานแล้วการแพร่กระจายคลื่นแบบโคโพลาร์ของโคนิคอลคอร์รูเกทฮอร์นถูกกำหนดจากอิทธิพลของเส้นผ่าศูนย์กลางของปากฮอร์นและมุมที่แผ่ออกของฮอร์น ในเทอมของโคโพลาร์หมายถึงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของฮอร์นที่ระนาบใดๆที่สัมพันธ์กับแกนอ้างอิงของสนามที่ขนานกับสนามของแหล่งกำเนิดและมีเทอมครอสโพลาร์(Crosspolar)ซึ่งเป็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสนามที่ตั้งฉากกับสนามของแหล่งกำเนิด

เริ่มต้นด้วยการพิจารณาลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบโคโพลาร์ โดยกำหนดให้มีเพียงคลื่นโหมด HE_{11} อยู่ในฮอร์นเท่านั้นเพราะคลื่นโหมด HE_{11} ให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นโดยมีระดับกำลังงานสูงสุดในทิศบอร์ไซท์(Boresight)เมื่อแพร่กระจายคลื่นให้จานสายอากาศจะเกิดประสิทธิภาพสูง มีครอสโพลาร์ต่ำ ซึ่งสามารถกระตุ้นให้เกิดคลื่นโหมด HE_{11} โดยการปล่อยคลื่นโหมด TE_{11} เข้าคอร์รูเกทฮอร์น ในขณะที่คลื่นโหมดTE_{11}เดินทางผ่านตัวคอร์รูเกทฮอร์นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโหมดโดยได้คลื่นโหมดTM_{11}เด่นขึ้นมาอีกหนึ่งโหมดและเกิดการรวมกันของโหมดทั้งสองกลายเป็นโหมด HE_{11}

คุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นของโคนิคอลคอร์รูเกทฮอร์นสามารถอธิบายได้โดยแสดงอยู่ในรูปของค่าผิดพลาดคลื่นทรงกลม Δ (Spherical Wave Error) [2] ซึ่งเป็นผลต่างของผิวหน้าคลื่นทรงกลม(Spherical Wave Front)กับระนาบที่ตัดปากฮอร์น(Plane Aperture) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยที่

$$\Delta = \frac{a}{\lambda} tan\frac{\theta_o}{2} = \frac{ka}{2\pi} tan\frac{\theta_o}{2} \qquad (2.1)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad (2.2)$$

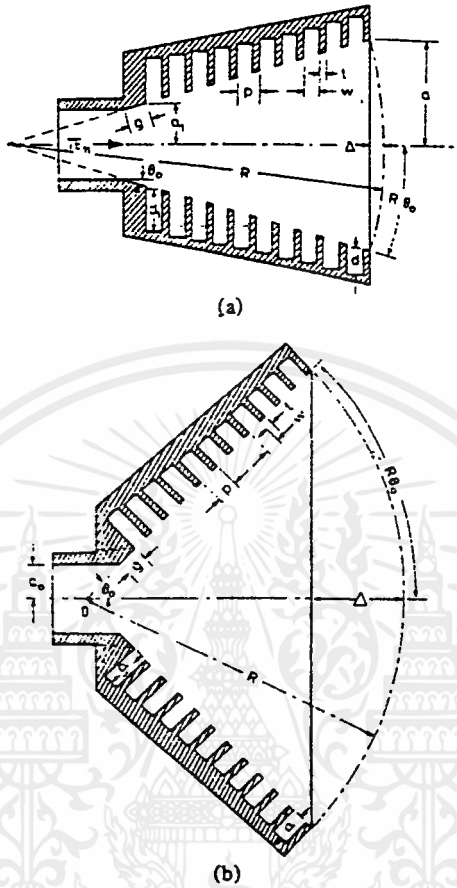
เมื่อ a : รัศมีของอะเพอเจอร์

θ_0: มุมที่แผ่ออก

λ : ความยาวคลื่นในอากาศ

k : เลขคลื่น(Wave Number)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

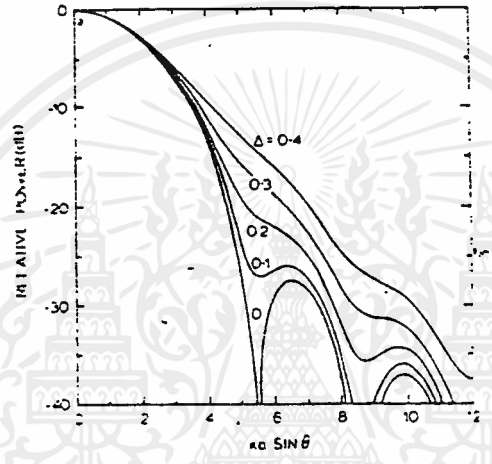


รูปที่ 2.2 พารามิเตอร์ต่างๆทางเรขาคณิตของโคนิคอลคอร์รูเกทฮอร์น
a)มุมแผ่ออก(θ_0)แคบ b)มุมแผ่ออกกว้าง

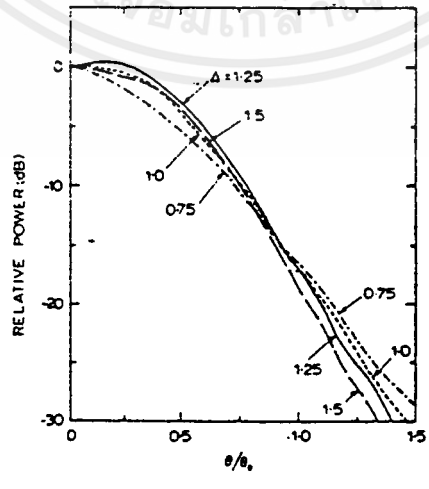
สำหรับฮอร์นที่มีค่า Δ น้อยกว่า 0.4 พบว่าบีมวิดท์ถูกกำหนดโดยขนาดของปากฮอร์น (ค่าka)เป็นหลัก ด้วยเหตุนี้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ เรียกฮอร์นชนิดนี้ว่า ฮอร์นแถบความถี่แคบ (Narrow Band Horn) และรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแสดงดังรูปที่ 2.3 กรณีที่ฮอร์นมีค่า Δ มาก (ประมาณมากกว่า 0.75) บีมวิดท์จะถูกกำหนดโดยมุมที่แผ่ออกของฮอร์นเป็นหลัก รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นไม่เปลี่ยนแปลงไปมากในช่วงความถี่ที่กว้างและจุดศูนย์กลางเฟสอยู่ใกล้บริเวณคอฮอร์น เรียกฮอร์นชนิดนี้ว่า ฮอร์นแถบความถี่กว้าง(Wide Band Horn) โดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของฮอร์นชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 2.4 แต่มุมที่แผ่ออกต้องไม่เกิน 70° เพราะถ้ามากกว่านี้บีมวิดท์จะขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของมุมที่แผ่ออกนี้น้อยลง โดยที่กล่าวมาทั้งหมดมีข้อกำหนดว่า ka มากกว่า 8 เพราะถ้า ka น้อยกว่านี้ รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นไม่สมมาตรและจะเกิดคลื่นโหมดอันดับสูงจนมีผลต่อรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น



รูปที่ 2.3 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของคอร์รูเกทฮอร์นแถบความถี่แคบ

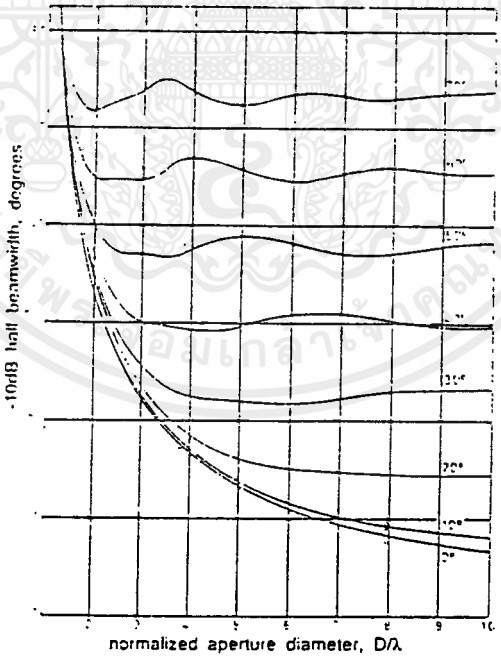


รูปที่ 2.4 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของคอร์รูเกทฮอร์นแถบความถี่กว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033377

เมื่อนำฮอร์นมาเป็นตัวป้อนสนามให้กับตัวสะท้อนคลื่น ในทางปฏิบัติเนื่องจากตัวสะท้อนคลื่นมีขนาดจำกัด ไม่สามารถรับกำลังงานทั้งหมดที่แพร่กระจายออกจากฮอร์น นั่นหมายถึงคลื่นแพร่กระจายไปยังตัวสะท้อนคลื่นจนถึงขอบของตัวสะท้อนคลื่นครอบคลุมช่วงมุมค่าหนึ่ง เมื่อคำนึงถึงประสิทธิภาพสูงสุดและการปฏิบัติได้จริง ช่วงมุมดังกล่าวต้องครอบคลุมค่าระดับกำลังงานของการแพร่กระจายคลื่นอย่างน้อยลดลงจากค่าระดับกำลังงานสูงสุดอยู่ในช่วง 10 dB ส่วนมุมนอกเหนือช่วงนี้ไม่นำมาพิจารณาเพราะว่าถือว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของจานสายอากาศน้อย การออกแบบจะกำหนด บีมวิดท์ของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ต้องการก่อน ดังนั้นกราฟที่แสดงถึงขนาดปากฮอร์นกับ บีมวิดท์เมื่อกำหนดกำลังงานที่ครอบคลุมระดับต่างๆจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบ จากรูปที่ 2.5 แสดงขนาดนอร์มอไลซ์ปากฮอร์น(Normalised Aperture)กับบีมวิดท์สำหรับฮอร์นมุมที่แผ่ออกค่าต่างๆกัน โดยกำหนดระดับกำลังงานการแพร่กระจายคลื่นที่ลดลงเป็น 10 dB ดังนั้นเมื่อกำหนดบีมวิดท์โดยระบุมุมที่ทำให้เกิดระดับกำลังลดลง 10 dB ก็จะทราบขนาดของปากฮอร์นและมุมที่แผ่ออกจากกราฟ



รูปที่ 2.5 แสดงผลกระทบของขนาดปากฮอร์นต่อบีมวิดช์ที่ระดับพลังงานลดลง 10 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบโคโพลาร์ที่กล่าวมาพิจารณาเป็นสนามระยะไกล แต่บางกรณีมีความจำเป็นต้องทราบรูปแบบการกระจายคลื่นที่สนามระยะใกล้ เช่น เมื่อตัวป้อนสัญญาณป้อนให้สายอากาศสะท้อนคลื่นย่อย(Subreflector)ในจานสายอากาศสะท้อนคลื่นแคสซิเกรน โดยการวิเคราะห์ของ Carricoat สามารถหารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบโคโพลาร์ $E(R_1,\theta)$ในสนามระยะใกล้ ดังต่อไปนี้

$$E(R_1,\theta) = \sum_{n=1}^{N} C_n h_n^2(kR_1) f_n^1(\theta) \qquad (2.3)$$

$$C_n = \frac{e^{-jkR_0}}{R_0}\frac{(2n+1)}{2n^2(n+1)^2 h_n^2(kR_0)}\int_0^{\theta_0} f_v^1(\theta) f_n^1(\theta)\sin\theta\, d\theta \qquad (2.4)$$

$$f_v^1(\theta) = \frac{P^1(\cos\theta)}{\sin\theta} + \frac{dP_v^1(\cos\theta)}{d\theta} \qquad (2.5)$$

$P_v^1(\cos\theta)$: *associated Legendre function of first kind of degree and order 1*

$h_n^2(x)$: *spherical Hankel function of the second kind of order n*

θ : มุมที่วัดระหว่างเส้นที่ลากจากจุดที่วัดคลื่นถึงเอเพกซ์กับเส้นแกนหลักของฮอร์น

θ_0 : มุมที่แผ่ออกของฮอร์น

v : ค่าที่ได้จากสมการ $f_v^1(\theta) = 0$

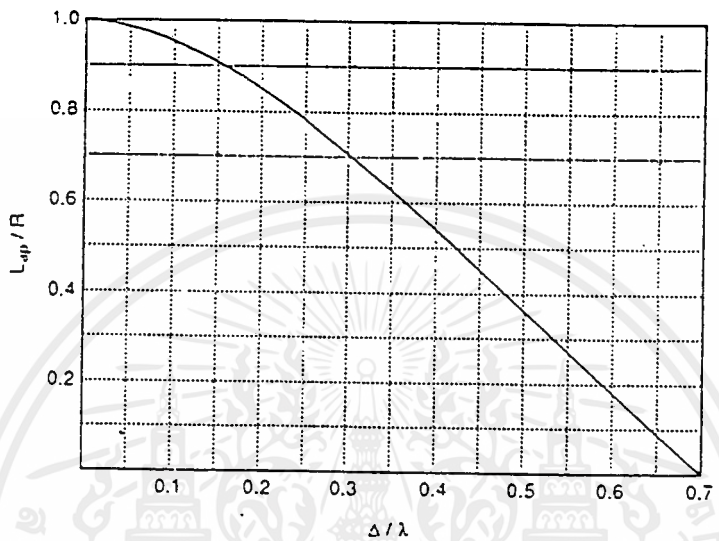
R_0: ความยาวของฮอร์น

R_1: ระยะห่างจากจุดที่วัดคลื่นถึงจุดเอเพกซ์

2.1.2 จุดศูนย์กลางเฟส

จุดศูนย์กลางเฟสของฮอร์นใดๆเป็นจุดบนแกนของฮอร์นที่เป็นศูนย์กลางของเฟสหน้าคลื่น(Phase Front) ซึ่งในจานสายอากาศแคสซิเกรนต้องจัดจุดศูนย์กลางเฟสของฮอร์นให้ตรงกับจุดโฟกัส ความจริงจุดศูนย์กลางเฟสมีอยู่หลายจุดในฮอร์นโดยจะเปลี่ยนตามระนาบของโพลาไรเซชั่น ความถี่และระยะห่างจากฮอร์นถึงจุดที่พิจารณาสนามไฟฟ้าแต่มีข้อยกเว้นคือถ้าฮอร์นเป็นท่อนำคลื่นปากเปิดธรรมดา(Open Ended Waveguide)หรือไม่มีมุมที่แผ่ออกแล้ว จุดศูนย์กลางเฟสกำหนดแน่นอนอยู่ตรงปากของท่อนำคลื่น โดยปกติจุดศูนย์กลางเฟสของระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กจะอยู่ใกล้เคียงกันจนสมมติให้เป็นจุดเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงระยะทางนอร์มอไรซ์จากเอเพกส์กับ Δ

ที่สนามระยะใกล้เมื่อกำหนดมุมที่แผ่ออกของฮอร์น ขนาดของปากฮอร์นและความถี่ที่ใช้งาน สามารถพิจารณาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางเฟสโดยอาศัยรูปที่ 2.6 เมื่อ Δ แสดงดังสมการที่2.1 สังเกตุว่าจุดศูนย์กลางเฟสอยู่ระหว่างจุดเอเพกซ์และปากฮอร์นเสมอ ฮอร์นที่มีมุมแผ่ออกแคบ จุดศูนย์กลางเฟสจะอยู่บริเวณปากฮอร์น เมื่อมุมที่แผ่ออกมากขึ้นจุดศูนย์กลางเฟสจะเลื่อนเข้าหาจุดเอเพกซ์

2.1.3 ครอสโพลาไรเซชั่นและส่วนเซาะร่อง

ครอสโพลาร์เป็นส่วนที่ไม่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องออกแบบให้กำลังงานครอสโพลาร์มีระดับต่ำที่สุด ตลอดช่วงความถี่ใช้งาน สาเหตุการเกิดครอสโพลาไรเซชั่นมี 3 ประการหลักคือ

1.โครงสร้างของตัวคอร์รูเกทฮอร์น

2.คลื่นโหมดอันดับสูงที่เกิดขึ้นเองบริเวณคอฮอร์นเช่นโหมด EH_{12}

3.คลื่นโหมดอันดับสูงที่เกิดขึ้นเองขณะเดินทางผ่านตัวฮอร์น

ขนาดกำลังงานของครอสโพลาร์ขึ้นอยู่กับขนาดของปากฮอร์นและเรขาคณิตของส่วนเซาะร่องโดยเฉพาะสล๊อต แต่ลักษณะรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นขึ้นอยู่กับขนาดของปากฮอร์น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นหากต้องการลดระดับพลังงานครอสโพลาร์ต่ำตลอดช่วงความถี่ใช้งาน ต้องปรับแต่งลักษณะทางเรขาคณิตของส่วนเซาะร่องเป็นหลัก เพื่อไม่ให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเปลี่ยนไป

การออกแบบเรขาคณิตของส่วนเซาะร่องอาศัยพารามิเตอร์ที่แสดงดังรูปที่ 2.2 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.การสร้างสล็อต

ฮอร์นที่มีมุมแผ่ออกแคบ(น้อยกว่า25องศา) สร้างสล็อตตัดตั้งฉากกับแกนฮอร์นดังรูปที่ 2.2a ส่วนฮอร์นที่มีมุมแผ่ออกกว้าง สร้างสล็อตตัดตั้งฉากกับผิวของผนังฮอร์นดังรูปที่ 2.2b

2.ความลึกของสล็อต

เพื่อให้เกิดครอสโพลาไรเซชั่นต่ำ ความลึกของสล็อตควรเป็น$\lambda/4$ที่ความถี่ศูนย์กลางของช่วงความถี่ใช้งาน แต่ถ้าให้ดีควรออกแบบให้ความลึกของสล็อตแรก(d1)มีค่าน้อยกว่า$\lambda/2$ที่ขอบความถี่สูงสุดของช่วงความถี่ใช้งานเล็กน้อย เพื่อให้เกิดการแมชชิ่งระหว่างคลื่นโหมด TE_{11} และ HE_{11} และลดการเกิดคลื่นโหมดอันดับสูงที่บริเวณคอของฮอร์น จากนั้นค่อยๆลดความลึกของสล็อตจนเหลือ$\lambda/4$ที่ความถี่ศูนย์กลางที่ปากฮอร์น

3.ความกว้างของพิท(pitch)

เป็นความกว้างของร่องสล็อตรวมกับความกว้างของซี่สล็อต ถ้าเป็นฮอร์นที่มีมุมแผ่ออกแคบ ควรเลือกให้ความกว้างของพิทน้อยกว่า$\lambda/2$ที่ขอบความถี่สูง ส่วนฮอร์นที่มีมุมแผ่ออกกว้างควรให้ความกว้างของพิทน้อยกว่า$\lambda/4$ที่ขอบความถี่สูง

4.อัตราส่วนของความกว้างสล็อตกับความกว้างพิทควรมีค่ามากพอ(ประมาณ 0.8)

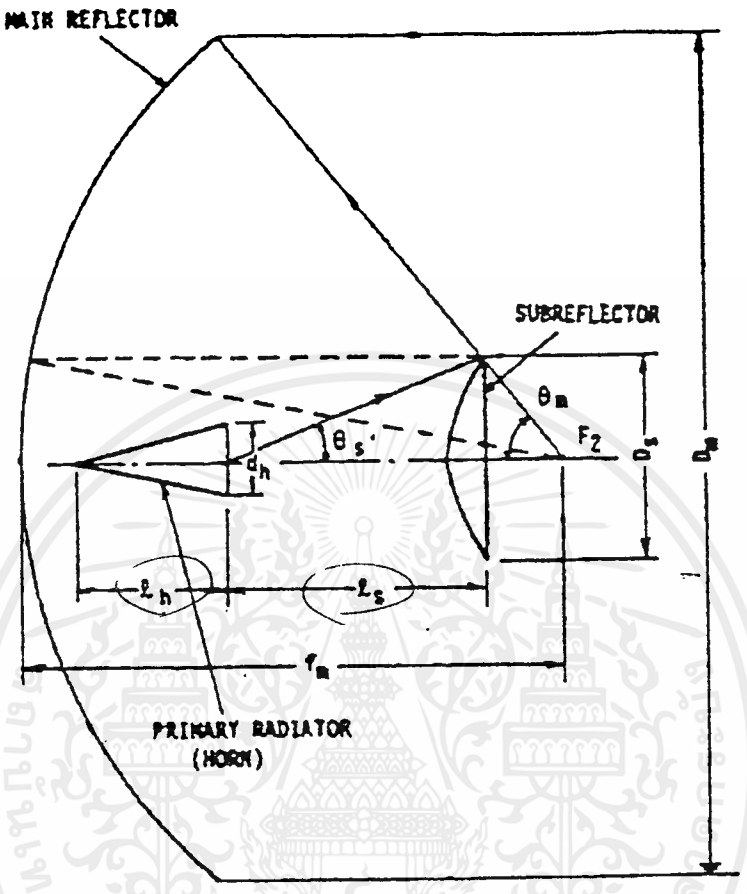
5.เพื่อป้องกันการเกิดคลื่นโหมด EH_{12} ค่าของ ka1 ควรน้อยกว่า4 ที่ขอบความถี่สูง

2.1.4 ส่วนคอฮอร์น

โดยปกติแล้วคอร์รูเกทฮอร์นต่อกับส่วนของท่อนำคลื่นกลมผิวเรียบ(Smooth Wall Circular Waveguide)ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ยากในการออกแบบเพื่อให้ได้คุณสมบัติทั่วไปเหมาะสมโดยเฉพาะต้องการใช้งานในย่านความถี่กว้างๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อนำคลื่นที่นำมาต่อกับฮอร์นขึ้นอยู่กับวิธีการป้อนคลื่นโหมด TE_{11} ถ้าหากการเดินทางของคลื่นที่รอยต่อระหว่างท่อนำคลื่นกับฮอร์นไม่แมชชิ่งกัน ทำให้เกิดคลื่นโหมดลำดับสูงกว่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุที่เพิ่มครอสโพลาร์และประสิทธิภาพลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นหลัก



รูปที่ 2.7 แสดงพารามิเตอร์ในการออกแบบจานสายอากาศแบบแคสซิเกรน

ในการใช้งานจริงเราต้องทราบกำลังขยายของจานสายอากาศที่ความถี่ใช้งาน จากนั้นจึงคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นหลักจากสูตร

$$G(dBi) = 10log\left[\eta \cdot \left(\frac{\pi Dm}{\lambda}\right)^2\right] \qquad (2.6)$$

โดย

G : กำลังขยายของจานสายอากาศ

η : ประสิทธิภาพของจานสายอากาศ

Dm : เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นหลัก

2.3 การหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นรอง

ตัวสะท้อนคลื่นรองเป็นส่วนที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของตัวสะท้อนคลื่นหลัก ทำให้มีบางส่วนของคลื่นที่แพร่กระจายออกจากตัวสะท้อนคลื่นหลักถูกบังไว้ อัตราส่วนของขนาดของตัวสะท้อนคลื่นรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อตัวสะท้อนคลื่นหลัก เรียกว่า อัตราส่วนการบดบัง (Blocking Ratio) ดังนั้นจะหาขนาดของตัวสะท้อนคลื่นรองได้จากค่าอัตราส่วนการบดบังที่ทำให้จานสายอากาศมีประสิทธิภาพรวมสูงสุด(Maximum Efficiency) [3]

ในที่นี้ ค่าประสิทธิภาพการแพร่ออก (Illumination Efficiency) η_{il} มีค่าเป็น

$$\eta_a = \eta_{sd} \cdot \eta_{il1} \tag{2.7}$$

η_{sd} : ประสิทธิภาพที่เป็นผลจากการเบี่ยงเบนของคลื่นที่ตกกระทบขอบของตัวสะท้อนคลื่นรอง

η_{il1} : เป็นค่าประสิทธิภาพที่ไม่คิดผลดังกล่าวข้างต้น

และค่าประสิทธิภาพการแพร่ออกที่มีผลมาจากการบดบังของตัวสะท้อนคลื่นรอง(η_{ilb})มีค่าเป็น

$$\eta_{ilb} = \eta_{bl} \cdot \eta_{il1} \tag{2.8}$$

η_{bl} : เป็นค่าประสิทธิภาพที่มีผลมาจากการบดบังของตัวสะท้อนคลื่นรอง

ดังนั้น ค่าประสิทธิภาพโดยรวม (η_s) มีค่าเป็น

$$\eta_s = \eta_{sm} \cdot \eta_{il} \cdot \eta_{bl} = \eta_{sm} \cdot \eta_{sd} \cdot \eta_{ilb} \tag{2.9}$$

η_{sm} : เป็นค่าประสิทธิภาพที่มีผลมาจากการล้นขอบจากตัวสะท้อนคลื่นหลัก

ซึ่งค่าประสิทธิภาพสองตัวแรกคือ η_{sm} กับ η_{sd} สามารถหาค่าโดยประมาณจากสูตร

$$10\log(\eta_{sm} \cdot \eta_{sd}) \approx -1.38 \cdot \left(\frac{Ds}{\lambda}\right)^{-0.6} \tag{2.10}$$

Ds : เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นรอง

ในโครงการนี้ได้ออกแบบให้การกระจายของสนามไฟฟ้าบนปากตัวสะท้อนคลื่นหลักเป็นฟังก์ชันของพาราโบลิก (Parabolic Function Distribution) จะได้ค่า η_{ilb} เป็น

$$\eta_{ilb} = \frac{3\left\{\left(1-r_b^2\right)\left[1-\frac{1}{2}(1-Le)\left(1+r_b^2\right)\right]\right\}^2}{\left(Le^2+Le+1\right)} \tag{2.11}$$

r_b : อัตราส่วนการบดบัง ซึ่งมีค่าดังสมการที่ 2.12

$$r_b = \frac{Ds}{Dm} \tag{2.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ค่าประสิทธิภาพรวม (η_s) จะเป็น

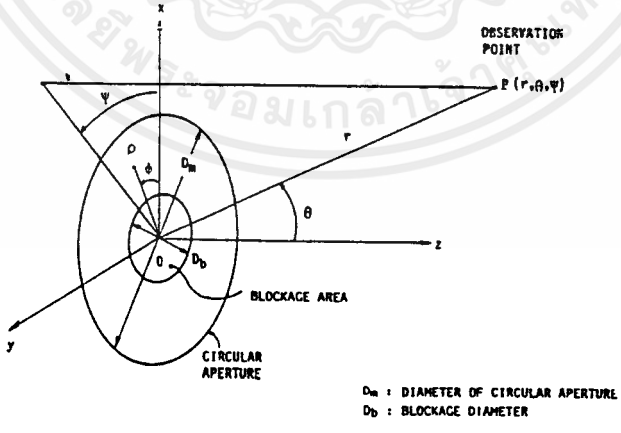
$$\eta_s = \frac{3\left\{\left(1-r_b^2\right)\left[1-\frac{1}{2}(1-Le)\left(1+r_b^2\right)\right]\right\}^2}{\left(Le^2+Le+1\right)} \cdot 10^{\left(-0.138\left(\frac{Ds}{\lambda}\right)^{-0.6}\right)} \qquad (2.13)$$

การหาค่าสูงสุดของค่าประสิทธิภาพรวมจะทำให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นร่องที่เหมาะสมที่สุด โดยการสร้างสมการอนุพันธ์(Diferential Equation)ของสมการที่(2.13) แล้วให้เท่ากับ "0" จากนั้นจึงแก้สมการอนุพันธ์แล้วแทนค่า Dm, λ, Le ลงไป จะได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นรอง

2.4 การวิเคราะห์รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศแบบแคสซิเกรน

สำหรับจานสายอากาศแบบแคสซิเกรนซึ่งมีลักษณะสมมาตรกับแนวแกน โดยมีฮอร์นซึ่งมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสมมาตรกับแนวแกนเช่นกัน จะสามารถบังคับให้ขนาดของสนามไฟฟ้าที่กระจายบนปากตัวสะท้อนคลื่นหลักเป็นแบบใดๆก็ได้ โดยการปรับแต่งรูปร่างของตัวสะท้อนคลื่นหลักและตัวสะท้อนคลื่นรองอย่างสอดคล้องกัน

กำหนดให้ F(t) : เป็นขนาดของสนามไฟฟ้าที่กระจายบนปากตัวสะท้อนคลื่นหลัก โดยที่การกระจายของเฟสเป็นแบบสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.8 แสดงโคออดิเนตของจานสายอากาศแบบแคสซิเกรน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.8 สามารถหาขนาดของสนามไฟฟ้าในสนามระยะไกล (Far Field) P(θ) ได้จากสูตร [3]

$$P(\theta)=\left(\frac{1+\cos(\theta)}{2}\right)^2\cdot\frac{\left|\int_{r_b}^{1}F(t)J_0(\pi\mu t)tdt\right|^2}{\left|\int_{r_b}^{1}F(t)tdt\right|^2} \qquad (2.14)$$

$$\mu=\frac{D_m}{\lambda}\cdot sin(\theta) \qquad (2.15)$$

$$t=\frac{2\rho}{D_m} \qquad (2.16)$$

λ : ความยาวคลื่นในที่ว่าง (Free Space Wavelength)

ρ : โคออดิเนตในแนวรัศมีของตัวสะท้อนคลื่นหลัก

D_m : เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นหลัก

D_s : เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นรอง

$J_i(x)$: Bessel function of the first kind and the ith order (i=0,1,2...n)

กรณีนี้ต้องการออกแบบให้การกระจายของสนามไฟฟ้าบนปากตัวสะท้อนคลื่นหลักเป็นฟังก์ชันของพาราโบลิก(Parabolic Function Distribution) โดยที่

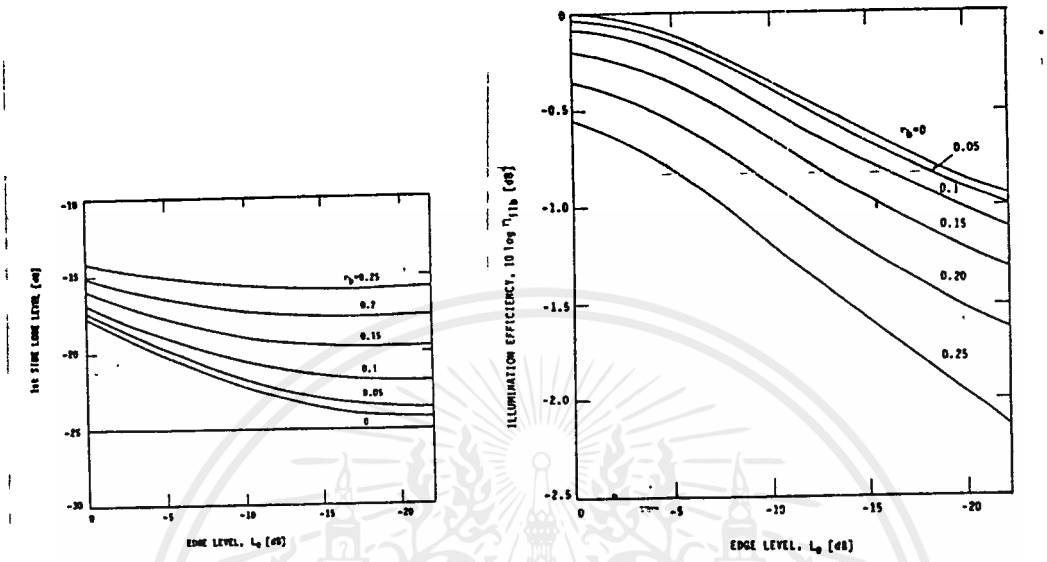
$$F(t)=Le+(1-Le)(1-t^2) \qquad (2.17)$$

Le : เป็นขนาดของสนามไฟฟ้าที่ขอบตัวสะท้อนคลื่นหลัก (Edge Level) ซึ่งมีค่าคงที่ จะได้ขนาดของสนามไฟฟ้าในสนามระยะไกล เป็น

$$P(\theta)=\left(\frac{1+\cos(\theta)}{2}\right)^2\cdot\frac{4}{K}\left(\frac{1}{\pi\mu}\left\{Le J_1(\pi\mu)-r_b\left[1-(1-Le)r_b^2\right]J_1(\pi r_b\mu)\right\}+\frac{2(1-Le)}{(\pi\mu)^2}\left[J_2(\pi\mu)-r_b^2J_2(\pi r_b\mu)\right]\right)^2 \qquad (2.18)$$

$$K=\left\{(1-r_b^2)\left[1-\frac{1}{2}(1-Le)(1+r_b^2)\right]\right\}^2 \qquad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงระดับของไซด์โลบแรกและค่าประสิทธิภาพการแพร่ออก
เมื่อการกระจายของสนามไฟฟ้าบนปากตัวสะท้อนคลื่นหลักเป็นฟังก์ชันของพาราโบลิก

เมื่อทราบขนาดของสนามไฟฟ้าในสนามระยะไกลแล้ว จะสามารถคำนวณหากำลังขยาย โดยแทนค่า $P(\theta)=E_p(r)$ ลงในสูตร

$$G = \eta \cdot \frac{4\pi \left|E_p(r)\right|^2}{\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} \left|E_p(r)\right|^2 \sin(\theta)\,d\theta\,d\phi} \qquad (2.20)$$

$$G(dBi) = 10\log(G) \qquad (2.21)$$

2.5 การปรับแต่งรูปร่างของตัวสะท้อนคลื่น

การปรับแต่งรูปร่างของตัวสะท้อนคลื่นหลักและตัวสะท้อนคลื่นรองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของจานสายอากาศซึ่งมีผลให้กำลังขยายของจานสายอากาศสูงขึ้น และบังคับให้ขนาดของสนามที่กระจายบนปากตัวสะท้อนคลื่นหลักเป็นฟังก์ชันของพาราโบลิก โดยที่การกระจายของเฟสเป็นแบบสม่ำเสมอเพื่อลดระดับของไซด์โลบ ซึ่งสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้[4,5,6,7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.กำหนดค่าเริ่มต้นโดยให้ $x_2' = x_2 = 1$ (ค่านอร์มอไลซ์) และ $y_1=0$

2.คำนวณค่าβโดยแทนค่า x_{im} และ θ_{im} ลงไปในสมการ

$$\beta = \frac{x_{im}}{\tan\theta_{im}} \tag{2.22}$$

3.คำนวณค่า $\theta_1(x_2')$ โดยแทนค่า x_2 ,Le,θ_{im} ลงในสมการ

$$\theta_1 = \cos^{-1}\left\{\sqrt[n+1]{\left(\frac{1-\left[1-\cos^{n+1}\theta_{im}\right]}{Le^2+Le+1}\cdot\left[3(x_2')^2+3(Le-1)(x_2')^4+(Le-1)^2(x_2')^6\right]\right)}\right\} \tag{2.23}$$

โดย θ_{im}: มุมของเส้นตรงที่ลากจากจุดศูนย์กลางเฟสของคอรูเกทฮอร์นไปยังขอบตัวสะท้อนคลื่นรองทำกับแกนกลางของจานสายอากาศ

n : พารามิเตอร์ที่แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของคอรูเกทฮอร์น

Le : ขนาดของสนามบริเวณขอบตัวสะท้อนคลื่นหลัก

4.คำนวณค่า x_1 โดยแทนค่าβ,y_1 ลงในสมการ

$$x_1 = (\beta - y_1)\tan\theta_1 \tag{2.24}$$

5.คำนวณค่า y_2 โดยแทนค่าβ,x_1,y_1,B.x_2 ลงในสมการ

$$y_2 = -\frac{1}{2}\left\{\left[\left(\beta-y_1\right)+\frac{\left((x_1-x_2')^2+(\beta-y_1)^2-B^2\right)}{\left(\frac{dC_p}{dx_2'}(x_1-x_2')+B\right)\sqrt{\left(1-\left(\frac{dC_p}{dx_2'}\right)^2\right)}}\right]\right\} \tag{2.25}$$

$$B = C_p - r_1 - C_{po} \tag{2.26}$$

6.คำนวณค่า $y_1(x_2')$ โดยแทนค่าβ,x_1,y_1,x_2,x_2 ,y_2,Le,θ_{im},θ_1ลงในสมการ

$$\frac{dy_1}{dx_2'} = \frac{f_1\cdot f_{\theta 1}[\beta - y_1]\sec^2(\theta_1)}{1+f_1\cdot\tan(\theta_1)} \tag{2.27}$$

$$f_1 = \tan\left[\frac{\theta_1 - \tan^{-1}\left[\frac{x_2-x_1}{\beta+y_2-y_i}\right]}{2}\right] \tag{2.28}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_{\theta_1} = \frac{\left[6x_2'\left(1-\cos^{n+1}\theta_{1m}\right)\left(1+(Le-1)\left(x_2'\right)^2\right)\right]}{\left[(n+1)\left(Le^2+Le+1\right)\cos^n\theta_1\sin\theta_1\right]} \qquad (2.29)$$

จากนั้นแก้สมการที่(2.27) ซึ่งเป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียล โดยใช้วิธีเชิงตัวเลข(Numerical)ของRunge-Kutta ก็จะได้ค่าy_1

7.ลดค่าx_2 แล้วตรวจดูว่าเท่ากับศูนย์หรือไม่ ถ้าไม่เท่ากับศูนย์ให้กลับไปทำตั้งแต่ข้อ2ถึงข้อ6ใหม่ โดยใช้ค่าx_2 และy_1ที่คำนวณได้แทน

8.นำค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนกลื่นหลักคูณกับค่าx_1, y_1, x_2, y_2ทั้งหมดที่คำนวณได้ ก็จะได้ค่าที่ใช้งานจริง

9.นำค่าโคออร์ดิเนตx_1, y_1ไปพล็อต จะได้รูปร่างของตัวสะท้อนกลื่นรอง

10.นำค่าโคออร์ดิเนตx_2, y_2ไปพล็อต จะได้รูปร่างของตัวสะท้อนกลื่นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

กระบวนการออกแบบจานสายอากาศแบบแคสซิเกรนสำหรับสถานีภาคพื้นดิน และการออกแบบสร้างเพื่อทดลอง

3.1กระบวนการออกแบบจานสายอากาศแบบแคสซิเกรนสำหรับสถานีภาคพื้นดิน

ในบทที่2ได้กล่าวถึงทฤษฎีการออกแบบคอร์รูเกทฮอร์นและตัวสะท้อนคลื่นตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนการออกแบบจานสายอากาศแบบแคสซิเกรนดังแสดงไว้ในโฟว์ชาร์ต (ท้ายบท) ส่วนรายละเอียดสามารถอธิบายได้ดังนี้

1 กำหนดค่าตัวแปรของจานสายอากาศ ได้แก่

ความถี่ที่ใช้งาน ทั้งความถี่ขาส่งขึ้นและขารับ, ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ขอบตัวสะท้อนคลื่นหลัก, ค่ากำลังขยายต่ำสุดของจานสายอากาศที่เพียงพอกับการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม (โดยทั่วไป ควรกำหนดให้มีค่ามากกว่า 40 dBi เพื่อคุณภาพที่ดีของสัญญาณ), เมื่อกำหนดค่ากำลังขยายของจานสายอากาศและความถี่ที่ใช้ออกแบบแล้ว ก็จะคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นหลักจากสมการที่ 2.6 โดยทั่วไปจานสายอากาศแบบแคสซิเกรนจะมีค่าประสิทธิภาพรวม (η) มากกว่า 70% แต่ในกรณีนี้จะกำหนดค่า η เผื่อไว้ให้มีค่าเท่ากับ 50%

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นรอง คำนวณได้จากค่าอัตราส่วนการบดบังที่ทำให้ประสิทธิภาพรวมของจานสายอากาศมีค่าสูงสุด ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.3

2 คำนวณรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศ (Radiation Pattern)

เป็นการคำนวณหารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศใช้ค่าตัวแปรที่ระบุไว้ข้างต้น โดยกำหนดให้ขนาดของสนามไฟฟ้าที่กระจายบนตัวสะท้อนคลื่นหลัก $F(t)$ เป็นไปตามสมการที่(2.14) และคำนวณค่ากำลังขยายของจานสายอากาศจากสมการที่(2.20)โดยแทนค่า $Ep(r)=P(\theta)$ จากนั้น จะได้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศ ทำการตรวจสอบค่ากำลังขยายของจานสายอากาศ, รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศเป็นไปตามข้อกำหนดของ CCIR หรือไม่ ถ้าไม่ได้ตามข้อกำหนด เราสามารถปรับได้โดยลดค่าขนาดของสนามไฟฟ้าที่กระจายบนตัวสะท้อนคลื่นหลัก แต่ในการออกแบบโดยวิธีการนี้ จะให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศเป็นไปตามข้อกำหนดของ CCIR อยู่แล้ว ปัญหานี้จึงไม่ค่อยเกิด

3 ออกแบบคอร์รูเกทฮอร์น

1.เริ่มจากการคำนวณขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์รูเกทฮอร์นและมุมแผ่ออกที่ทำให้ได้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

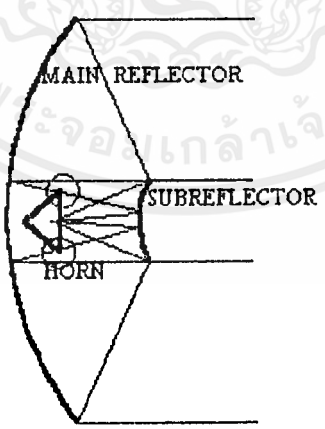
2.ออกแบบส่วนเซาะร่อง คือ ความลึก ,ความกว้าง และจำนวนของร่อง เพื่อให้ครอสโพลาไรเซชั่นตลอดย่านความถี่ที่ใช้งานมีค่าต่ำ

และจะมีการตรวจสอบค่ามุมของการแพร่กระจายคลื่นจากตัวสะท้อนคลื่นรองไปถึงตัวสะท้อนหลักว่าเกิน 30 องศา หรือไม่ ถ้าเกินจะกลับไปรับค่าตัวแปรใหม่ มิฉะนั้นรูปร่างของตัวสะท้อนคลื่นทั้งสอง มีโอกาสที่จะผิดเพี้ยนไปได้มาก

4 ออกแบบรูปร่างของตัวสะท้อนคลื่นหลักและตัวสะท้อนคลื่นรอง

เมื่อทราบขนาดของตัวสะท้อนคลื่นหลักและตัวสะท้อนคลื่นรอง,ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ขอบตัวสะท้อนคลื่นหลักและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของคอร์รูเกทฮอร์นแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบรูปร่างของตัวสะท้อนคลื่นหลัก และตัวสะท้อนคลื่นรองอย่างสอดคล้องกัน โดยใช้วิธีการออกแบบของV.Galindo[4]เพื่อให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ ในขณะเดียวกันก็ทำให้ประสิทธิภาพรวมของจานสายอากาศสูงขึ้นด้วย

หลังจากได้รูปร่างของตัวสะท้อนคลื่นทั้งสองแล้วจะมีการตรวจสอบว่าเกิดการ blocking ที่เกิดจากขอบของ Horn หรือไม่ ถ้าเกิดมีการ blocking ก็จะให้เพิ่มขนาดของตัวสะท้อนคลื่นรองขึ้นอีก แล้วทำการหารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศให้ได้เป็นที่ต้องการ แล้วจึงกลับมาคำนวณหารูปร่างของตัวสะท้อนคลื่นทั้งสองอีกครั้งหนึ่ง จนกว่าจะไม่เกิดการ blocking



รูปที่ 3.1 แสดงการบดบังคลื่นของปากฮอร์น

เมื่อจบขั้นตอนการออกแบบทั้งหมดแล้วผลที่ได้จะเป็นข้อมูลอยู่ 3 file คือ รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศที่มุมกว้าง และมุมแคบ อย่างละ 1 file โดยมีชื่อตามที่เราตั้งไว้ และ ข้อมูลเกี่ยวกับตัว Horn พร้อมทั้งรูปร่างของตัวสะท้อนคลื่นทั้งสองออกมาอยู่ใน file ชื่อ GALINDO.DAT " ก็จบการออกแบบโดยสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

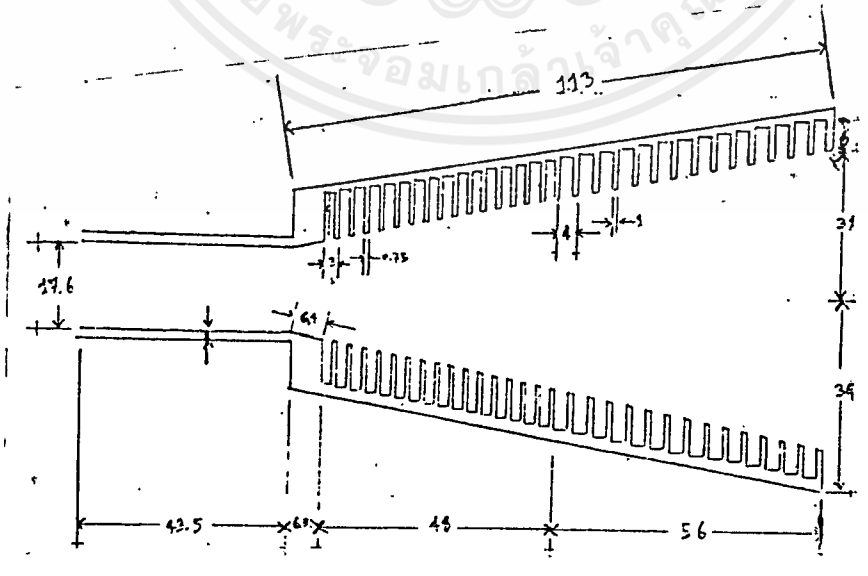
3.2 การออกแบบจานสายอากาศแคสซิแกรนเพื่อการทดลองสร้าง

สำหรับจานสายอากาศแคสซิเกรนที่ออกแบบสร้างเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้า อาทิเช่น รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น กำลังขยาย จากที่คำนวณได้ทางทฤษฎี มีขั้นตอนการออกแบบไม่ตรงตามที่กล่าวมาในหัวข้อขั้นตอนการออกแบบจานสายอากาศแคสซิเกรน (flow chart) เนื่องจากการสร้างจริงมีข้อจำกัดที่สำคัญคือ ตัวสะท้อนคลื่นหลักมีรูปร่างเฉพาะทำได้ยาก เพราะตัวสะท้อนคลื่นหลักและตัวสะท้อนคลื่นรองที่จะออกแบบได้มีการปรับแต่งรูปร่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ซึ่งตัวสะท้อนคลื่นหลักและตัวสะท้อนคลื่นรองจะมีรูปร่างไม่เป็นพาราโบลาและไฮเปอร์โบลาตามลำดับ อีกทั้งจานสายอากาศสำหรับสถานีภาคพื้นดินต้องใช้ตัวสะท้อนคลื่นหลักขนาดใหญ่เพื่อให้เกิดกำลังขยายสูง ประกอบกับมีตัวคอรูเกทฮอร์นและจานสายอากาศพาราโบลาขนาด 185 cm อยู่แล้วดังนั้นเพื่อความเหมาะสมจึงได้ปรับปรุงขั้นตอนการออกแบบใหม่โดยใช้ตัวคอร์รูเกทฮอร์นที่มีอยู่เป็นตัวป้อนสัญญาณ (feed) และจานสายอากาศพาราโบลาเป็นตัวสะท้อนคลื่นหลักแล้วคำนวณเฉพาะรูปร่างของตัวสะท้อนคลื่นรอง โดยอาศัยเงื่อนไขคือต้องหาขนาดรูปร่างของตัวสะท้อนคลื่นรองที่ทำให้ตัวสะท้อนคลื่นหลักที่ได้จากการคำนวณคล้ายหรือเหมือนรูปร่างจานสายอากาศพาราโบลาที่มีอยู่มากที่สุด

จานสายอากาศแคสซิเกรนที่ออกแบบสร้างมีจุดประสงค์ในการใช้งานย่าน Ku band โดยกำหนดให้ออกแบบใช้กับความถี่ขาขึ้น (up link) 14.0 GHz และความถี่ขาลง (down link) 12.5 GHz และมีกำลังขยายไม่ต่ำกว่า 40 dBi

ขั้นตอนการออกแบบจานสายอากาศแบบแคสซิเกรนเพื่อสร้างมีรายละเอียดดังนี้

1.พิจารณาคุณสมบัติต่างๆของตัวคอร์รูเกทฮอร์น สำหรับรูปร่างทางเรขาคณิตแสดงดังรูปที่ 1 จากข้อมูลที่มีอยู่ ฮอร์นนี้ได้ออกแบบใช้งานย่านความถี่ Ku band ในช่วงความถี่ 11.0 GHz ถึง 12.0 GHz และใช้ความถี่ 12.5 GHz มาคำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆของตัวคอร์รูเกทฮอร์น



รูปที่ 3.2 เรขาคณิตของคอร์รูเกทฮอร์นที่นำมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 ขนาดเรขาคณิตที่สำคัญบางส่วนและคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่คำนวณได้จากโปรแกรมการออกแบบฮอร์นมีดังนี้

1) ปากฮอร์นมีเส้นผ่าศูนย์กลาง	6.2	cm
2) มุมที่แผ่ออกของฮอร์น	11.39	cm
3) ระยะจากจุดเอเพ็กซ์ ถึงแกนกลางปากฮอร์น	15.39	cm
4) ระยะจากจุดเอเพ็กซ์ถึงจุดศูนย์กลางเฟส	14.74	cm

5) ระดับกำลังตกลง 10 dB จากค่ากำลังงานสูงสุดของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นตรงกับมุม 18.1 องศา

6) รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจากจุดค่ากำลังงานสูงสุด (0 องศา) ถึงระดับกำลังงานตกลง 10 dB (18.1 องศา) จำลองเป็นสมการได้ . เมื่อ n = 20.9688

2. พิจารณาหาเรขาคณิตของจานพาราโบลาที่จะนำเป็นตัวสะท้อนคลื่นหลักได้ดังนี้

1) ปากจานมีเส้นผ่านศูนย์กลาง	185	cm
2) ก้นจานเป็นรูวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง	15.7	cm
3) ขอบของรูที่ก้นจานถึงปากจาน	29.8	cm

4) จากข้อ 1-3 สามารถหารูปร่างของจานพาราโบลาเป็นสมการ

เมื่อ x คือ ระยะจากจุดกึ่งกลางของจานถึงจุดใดๆบนปากจาน ($0<x<92.5$)

y คือ ความลึกของจานที่ระยะ x ($30.016>y>0$)

3. หารูปร่างของตัวสะท้อนคลื่นรอง ตำแหน่งการวางฮอร์น,ตัวสะท้อนคลื่นรองและตัวสะท้อนคลื่นหลักโดยวิธีการปรับแต่งจานของ Galindo ซึ่งกำหนดเงื่อนไขต่อไปนี้

1) วางฮอร์นให้จุดศูนย์กลางเฟสอยู่เสมอกับปากตัวสะท้อนคลื่นหลัก

2) ขอบของตัวสะท้อนคลื่นรองรับกำลังงานที่ปล่อยออกจากฮอร์นลดลง 10 dB จากกำลังงานสูงสุด (=18.1 องศา)

3) รูปร่างของจานสะท้อนคลื่นหลักเหมือนกับจานพาราโบลาที่มีอยู่มากที่สุด

4)การกระจายสนามไฟฟ้าบนปากตัวสะท้อนคลื่นรองเป็นฟังก์ชันของพาราโบลิก

5) ใช้ความถี่ 12.5 GHz ในการคำนวณออกแบบทำการเปลี่ยนขนาดของตัวสะท้อนคลื่นรอง และขนาดของสนามไฟฟ้าที่ขอบปากตัวสะท้อนคลื่นหลัก (Le) จนเงื่อนไขข้อ 3 เป็นจริงจากการคำนวณพบว่าไม่สามารถทำให้รูปร่างของตัวสะท้อนคลื่นหลักตรงกับรูปร่างจานพาราโบลาที่มีอยู่ ดังนั้นจึงใช้วิธีหาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่น้อยที่สุดและรูปร่างใกล้เคียงที่สุด ซึ่งผลจากการคำนวณหาขนาดและรูปร่างตัวสะท้อนคลื่นรองโดยมีความผิดพลาดของรูปร่างไม่เกิน 5 mm เมื่อเทียบจุดต่อจุด ซึ่งรูปร่างของตัวสะท้อนคลื่นรองการคำนวณออกมาเป็นพิกัดแสดงดังตารางที่ 1(ท้ายบท) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้แสดงพิกัดของตัวสะท้อนคลื่นหลักด้วย

นอกจากนี้จากการจำนวณยังได้สามารถหาตำแหน่งการวางฮอร์น,ตัวสะท้อนคลื่นรองและตัวสะท้อนคลื่นหลัก ตลอดจนคุณสมบัติทางไฟฟ้าดังต่อไปนี้

1)ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นรอง	25.98	cm
2)ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเฟสถึงขอบตัวสะท้อนคลื่นรอง ( )	39.74	cm
3)ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ขอบจานสายอากาศแคสซิเกรน(Le)	-2.00	cm
4)กำลังขยายของจานสายอากาศแคสซิเกรน	50.34	dBi

4. จากข้อ 1)- 3) ทำให้ทราบถึงขนาดรูปร่างและตำแหน่งการวางตัวคอร์รูเกทฮอร์น,ตัวสะท้อนคลื่นรองและตัวสะท้อนคลื่นหลักแสดงดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ค่าพิกัดของตัวสะท้อนคลื่นรองและตัวสะท้อนคลื่นหลักจากการคำนวณ

x1	y1	x2	y2
0.129900	0.000000	0.925000	0.000000
0.128733	0.000591	0.920375	0.002953
0.127581	0.001172	0.915750	0.005891
0.126445	0.001743	0.911124	0.008813
0.125323	0.002304	0.906499	0.011719
0.124215	0.002855	0.901874	0.014610
0.123121	0.003397	0.897249	0.017485
0.122041	0.003929	0.892623	0.020344
0.120973	0.004453	0.887998	0.023188
0.119918	0.004968	0.883373	0.026016
0.118875	0.005474	0.878748	0.028829
0.117844	0.005972	0.874123	0.031627
0.116824	0.006463	0.869497	0.034409
0.115816	0.006945	0.864872	0.037175
0.114819	0.007419	0.860247	0.039926
0.113832	0.007886	0.855622	0.042662
0.110934	0.009244	0.841746	0.050778
0.109987	0.009683	0.837121	0.053453
0.109050	0.010115	0.832496	0.056113
0.108122	0.010541	0.827870	0.058757
0.107203	0.010960	0.823245	0.061386
0.106292	0.011372	0.818620	0.064000
0.105390	0.011779	0.813995	0.066599
0.104497	0.012180	0.809370	0.069182
0.103611	0.012575	0.804744	0.071751
0.102734	0.012964	0.800119	0.074304
0.101864	0.013347	0.795494	0.076842
0.101001	0.013725	0.790869	0.079366
0.100146	0.014097	0.786244	0.081874
0.099299	0.014464	0.781618	0.084367
0.098458	0.014826	0.776993	0.086845
0.097624	0.015183	0.772368	0.089308
0.096797	0.015534	0.767743	0.091756
0.095976	0.015881	0.763117	0.094189
0.095162	0.016223	0.758492	0.096606

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x1	y1	x2	y2
0.094354	0.016560	0.753867	0.099009
0.093553	0.016893	0.749242	0.101397
0.092757	0.017221	0.744617	0.103770
0.091968	0.017544	0.739991	0.106128
0.091184	0.017863	0.735366	0.108471
0.090406	0.018178	0.730741	0.110799
0.089633	0.018488	0.726116	0.113113
0.088866	0.018794	0.721490	0.115411
0.088180	0.019066	0.717328	0.117467
0.087348	0.019394	0.712240	0.119963
0.086597	0.019688	0.707615	0.122216
0.085850	0.019978	0.702990	0.124455
0.085109	0.020265	0.698364	0.126679
0.084372	0.020547	0.693739	0.128887
0.083640	0.020826	0.689114	0.131081
0.082913	0.021101	0.684489	0.133261
0.082190	0.021372	0.679864	0.135425
0.081472	0.021640	0.675238	0.137574
0.080759	0.021904	0.670613	0.139709
0.080049	0.022165	0.665988	0.141829
0.079344	0.022423	0.661363	0.143933
0.078643	0.022677	0.656737	0.146024
0.077946	0.022927	0.652112	0.148099
0.077253	0.023175	0.647487	0.150159
0.076564	0.023419	0.642862	0.152205
0.075878	0.023660	0.638237	0.15423
0.075197	0.023898	0633611	0.156252
0.074519	0.024133	.628986	0.158253
0.073845	0.024365	0.624361	0.160239
0.073174	0.024594	0.619736	0.162211
0.072507	0.024820	0.615111	0.164168
0.071843	0.025043	0.610485	0.166110
0.071183	0.025263	0.605860	0.168037
0.070526	0.025481	0.601235	0.169950
0.069873	0.025695	0.596610	0.171847

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x1	y1	x2	y2
0.068575	0.026116	0.587359	0.175598
0.067931	0.026322	0.582734	0.177452
0.067290	0.026526	0.578109	0.179291
0.066652	0.026727	0.573484	0.181115
0.066017	0.026925	0.568858	0.182924
0.065384	0.027121	0.564233	0.184718
0.064755	0.027315	0.559608	0.186498
0.064128	0.027506	0.554983	0.188263
0.063504	0.027694	0.550357	0.190013
0.062883	0.027880	0.545732	0.191749
0.062265	0.028064	0.541107	0.193469
0.061649	0.028245	0.536482	0.195176
0.061035	0.028424	0.531857	0.196867
0.060425	0.028600	0.527231	0.198544
0.059816	0.028774	0.522606	0.200205
0.059210	0.028946	0.517981	0.201853
0.058607	0.029116	0.513356	0.203485
0.058006	0.029283	0.508731	0.205103
0.057407	0.029448	0.504105	0.206706
0.056810	0.029611	0.499480	0.208294
0.056216	0.029772	0.494855	0.209868
0.055624	0.029931	0.490230	0.211427
0.055034	0.030088	0.485604	0.212971
0.054446	0.030242	0.480979	0.214501
0.053861	0.030395	0.476354	0.216016
0.053277	0.030545	0.471729	0.217516
0.052695	0.030694	0.467104	0.219001
0.052116	0.030840	0.462478	0.220472
0.050962	0.031127	0.453229	0.223369
0.050388	0.031267	0.448604	0.224796
0.049816	0.031406	0.443979	0.226208
0.049246	0.031543	0.439354	0.227605
0.048678	0.031677	0.434729	0.228988
0.048111	0.031810	0.430104	0.230356

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x1	y1	x2	y2
0.047547	0.031941	0.425479	0.231709
0.046983	0.032070	0.420854	0.233048
0.046422	0.032198	0.416229	0.234372
0.045862	0.032323	0.411604	0.235681
0.045304	0.032447	0.406979	0.236976
0.044747	0.032569	0.402354	0.238256
0.044192	0.032689	0.397729	0.239521
0.043639	0.032808	0.393104	0.240772
0.043087	0.032924	0.388479	0.242008
0.042537	0.033039	0.383854	0.243229
0.041988	0.033153	0.379229	0.244436
0.041440	0.033264	0.374605	0.245628
0.040894	0.033374	0.369980	0.246805
0.040349	0.033482	0.365355	0.247968
0.039806	0.033589	0.360730	0.249116
0.039264	0.033694	0.356105	0.250249
0.038723	0.033797	0.351480	0.251368
0.038184	0.033899	0.346855	0.252472
0.037646	0.033999	0.342230	0.253562
0.037109	0.034097	0.337605	0.254636
0.036573	0.034194	0.332980	0.255697
0.036039	0.034289	0.328355	0.256742
0.035505	0.034383	0.323730	0.257773
0.034973	0.034475	0.319105	0.258789
0.034442	0.034566	0.314480	0.259791
0.033912	0.034655	0.309855	0.260778
0.033384	0.034743	0.305230	0.261750
0.032856	0.034829	0.300605	0.262708
0.032329	0.034913	0.295981	0.263651
0.031804	0.034997	0.291356	0.264579
0.031279	0.035078	0.286731	0.265493
0.030755	0.035158	0.282106	0.266392
0.030233	0.035237	0.277481	0.267276
0.029711	0.035314	0.272856	0.268146
0.029190	0.035390	0.268231	0.269002

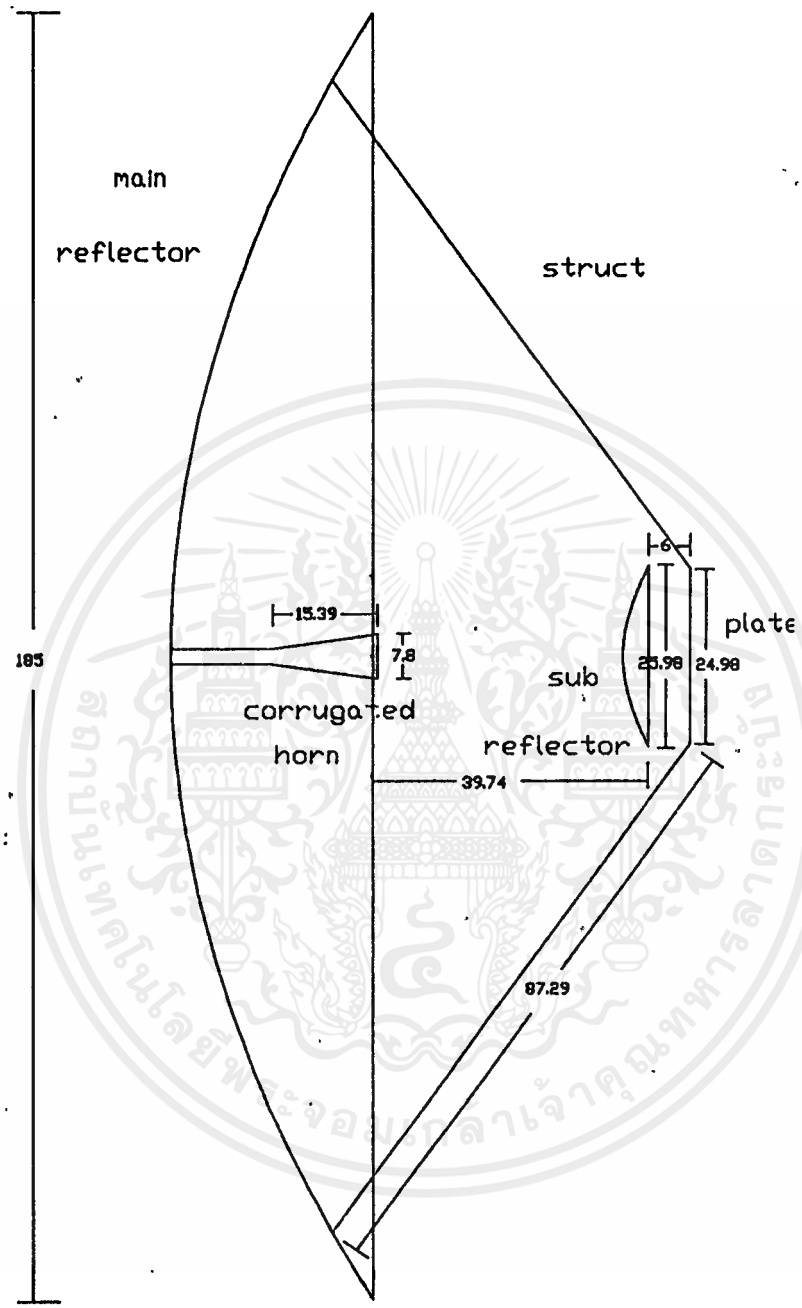
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x1	y1	x2	y2
0.028671	0.035464	0.263606	0.269842
0.028151	0.035537	0.258981	0.270668
0.027634	0.035609	0.254356	0.271479
0.027116	0.035679	0.249731	0.272276
0.026600	0.035747	0.245106	0.273058
0.026084	0.035814	0.240481	0.273826
0.025570	0.035880	0.235856	0.274578
0.025056	0.035945	0.231231	0.275317
0.024543	0.036008	0.226606	0.276040
0.024030	0.036070	0.221982	0.276749
0.023518	0.036130	0.217357	0.277443
0.023007	0.036189	0.212732	0.278123
0.022497	0.036246	0.208107	0.278788
0.021987	0.036303	0.203482	0.279438
0.021479	0.036358	0.198857	0.280074
0.020970	0.036411	0.194232	0.280695
0.020462	0.036463	0.189607	0.281302
0.019955	0.036514	0.184982	0.281894
0.019449	0.036564	0.180357	0.282471
0.018438	0.036659	0.171107	0.283582
0.017933	0.036705	0.166482	0.284115
0.017429	0.036749	0.161857	0.284634
0.016925	0.036792	0.157232	0.285138
0.016422	0.036834	0.152607	0.285628
0.015919	0.036874	0.147982	0.286103
0.015417	0.036914	0.143358	0.286563
0.014915	0.036951	0.138733	0.287009
0.014414	0.036988	0.134108	0.287440
0.013913	0.037023	0.129483	0.287857
0.013413	0.037057	0.124858	0.288258
0.012912	0.037090	0.120233	0.288646
0.012413	0.037122	0.115608	0.289018
0.011913	0.037152	0.110983	0.289376
0.011414	0.037181	0.106358	0.289720
0.010915	0.037209	0.101733	0.290048

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

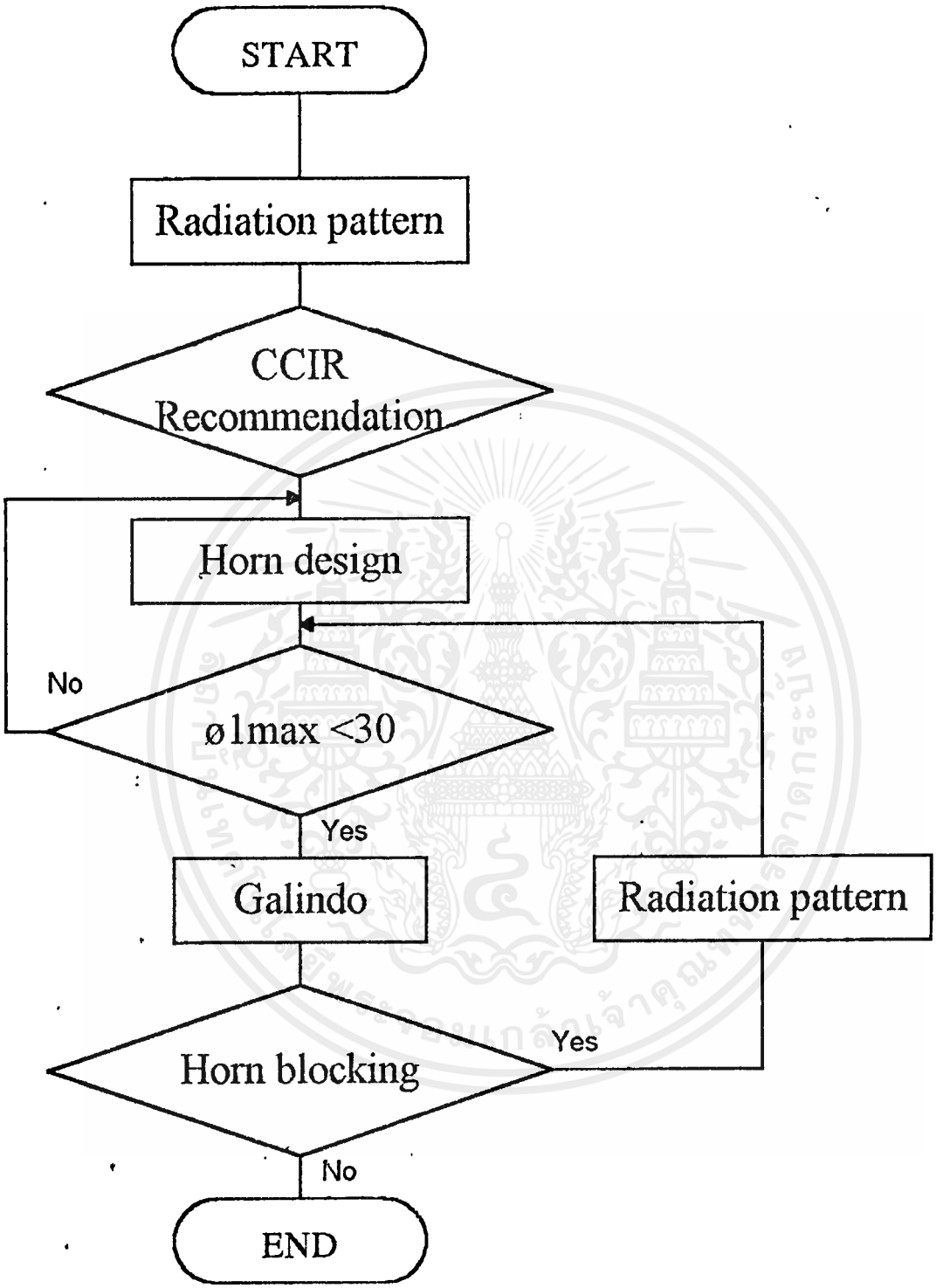
x1	y1	x2	y2
0.009918	0.037261	0.092483	0.290662
0.009421	0.037285	0.087858	0.290947
0.008923	0.037307	0.083233	0.291217
0.007929	0.037349	0.073983	0.291714
0.007432	0.037368	0.069358	0.291941
0.006936	0.037386	0.064733	0.292153
0.006440	0.037403	0.060108	0.292350
0.005447	0.037432	0.050858	0.292700
0.004952	0.037445	0.046233	0.292854
0.004456	0.037457	0.041608	0.292993
0.003960	0.037467	0.036983	0.293117
0.002970	0.037484	0.027733	0.293321
0.002473	0.037491	0.023108	0.293402
0.001977	0.037496	0.018483	0.293467
0.001481	0.037501	0.013858	0.293518
0.000986	0.037504	0.009233	0.293555
0.000497	0.037506	0.004608	0.293577
0.000000	0.037506	0.000017	0.293584

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แบบแปลนของจานสายอากาศแคสซิเกรนที่ออกแบบโดยโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการออกแบบจานสายอากาศแคสซิเกรน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

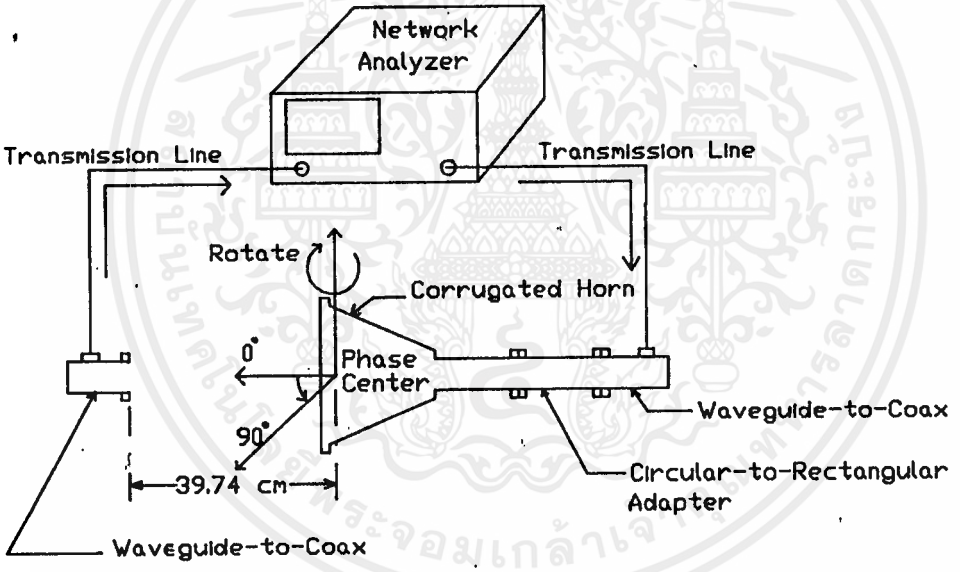
บทที่ 4

การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงการทดลอง ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยเปรียบเทียบกับที่ออกแบบไว้ตามทฤษฎี ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ของบทที่ 3

4.1 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของคอร์รูเกทฮอร์น

4.1.1 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของคอร์รูเกทฮอร์นในระนาบสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 4.1 แสดงการเตรียมอุปกรณ์ในการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของคอร์รูเกทฮอร์น

1.จัดเตรียมอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่4.1 โดยกำหนดให้จุดศูนย์กลางเฟสของคอร์รูเกทฮอร์นเป็นจุดหมุนและห่างจากตัวรับคลื่นประมาณ 39 เซนติเมตร(ซึ่งเป็นตำแหน่งของตัวสะท้อนคลื่นรอง)

2.หมุนคอร์รูเกทฮอร์นทีละ 3 องศา แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้จากเนตเวอร์ค อนาไลเซอร์ที่ความถี่12.5GHzและ14.0GHz จนครบ360องศา

3.นำค่าที่วัดได้มาพล็อตในโพลาร์กราฟจะได้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของคอร์รูเกทฮอร์นในระนาบสนามแม่เหล็ก

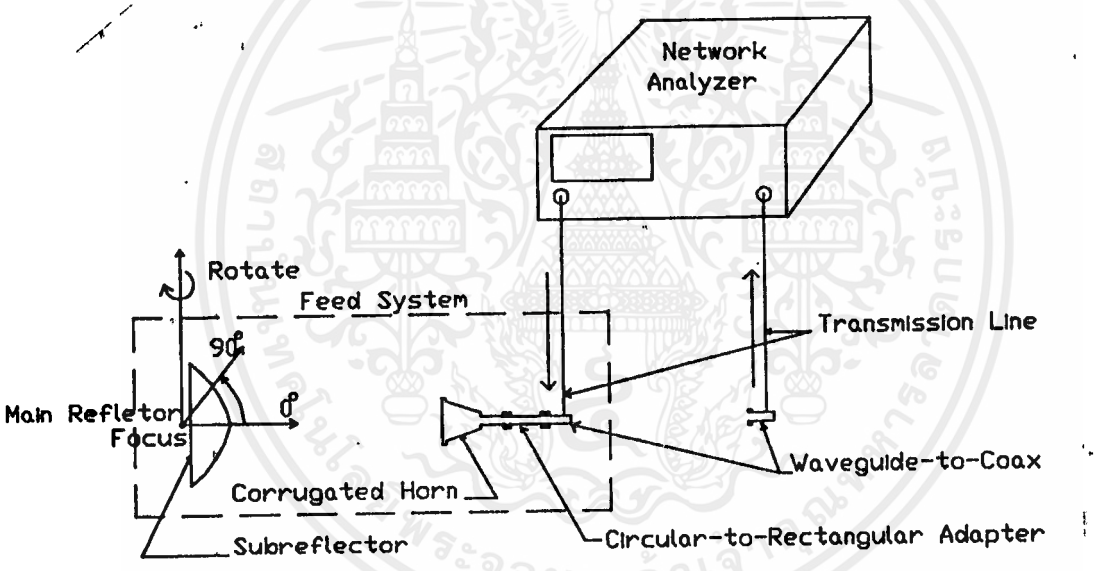
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของคอร์รูเกทฮอร์นในระนาบสนามไฟฟ้า

หลังจากทำการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กเสร็จแล้ว สามารถทำการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าได้โดยเพียงแต่หมุนคอร์รูเกท-ฮอร์นและตัวรับคลื่นไปในทิศทางเดียวกันโดยให้ทำมุม 90 องศากับระนาบเดิม จากนั้นจึงทำการวัดตามขั้นตอนในหัวข้อ 4.1.1

4.2 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของระบบฟีด

4.2.1 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของระบบฟีดในระนาบสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 4.2 แสดงการเตรียมอุปกรณ์ในการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของระบบฟีด

1.จัดเตรียมอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยกำหนดให้จุดโฟกัสของตัวสะท้อนคลื่นหลักซึ่งอยู่หลังตัวสะท้อนคลื่นรองประมาณ 1.5 เซนติเมตรเป็นจุดหมุน และอยู่ห่างจากตัวรับประมาณ 75 เซนติเมตร (ซึ่งเป็นตำแหน่งของตัวสะท้อนคลื่นหลัก)

2.หมุนระบบฟีดทีละ3องศาแล้วบันทึกค่าระดับสัญญาณที่รับได้ที่ความถี่12.5GHzและ 14.0GHz จนครบ 360 องศา

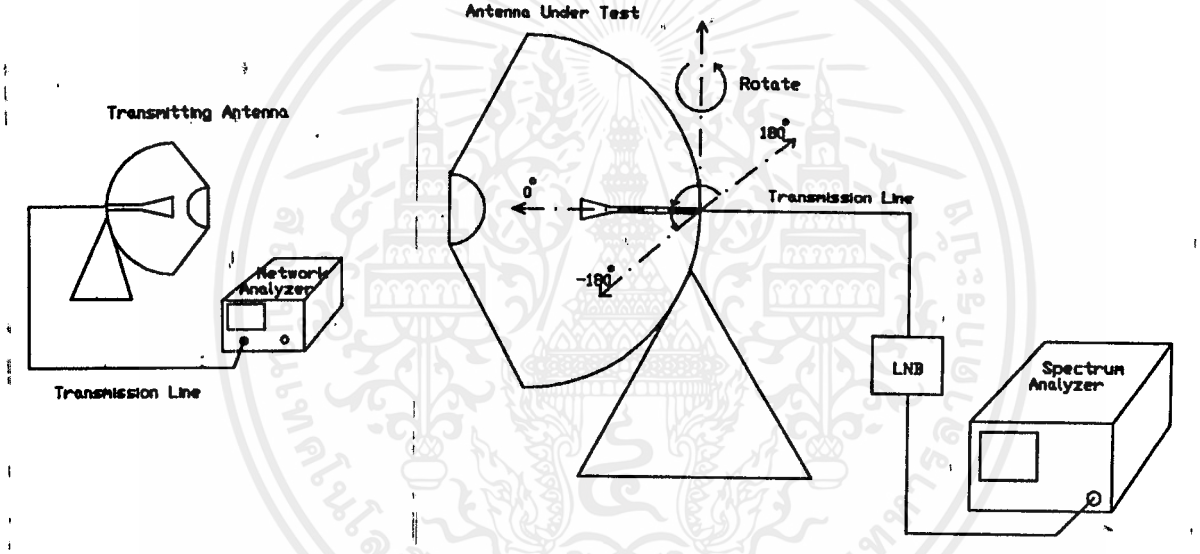
3.นำค่าที่วัดได้ไปพล็อตในโพลาร์กราฟก็จะได้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของระบบฟีดในระนาบสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของระบบฟีดในระนาบสนามไฟฟ้า

หลังจากวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของระบบฟีดในระนาบสนามแม่เหล็กเสร็จ สามารถทำการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของระบบฟีดในระนาบสนามไฟฟ้าได้ โดยเพียงแต่หมุนตัวสะท้อนคลื่นรอง,คอร์รูเกทฮอร์นและตัวรับคลื่นไปในทิศทางเดียวกันโดยให้ทำมุม 90 องศากับระนาบเดิม จากนั้นจึงทำการวัดตามขั้นตอนในหัวข้อ 4.2.1

4.3 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศ



รูปที่ 4.3 แสดงการเตรียมอุปกรณ์ในการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศ

1.จัดเตรียมอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่4.3 โดยให้จานสายอากาศส่งและจานสายอากาศที่ต้องการทดสอบห่างกันประมาณ $\frac{2(D_m)^2}{\lambda} = 285$ เมตร ใช้เครื่องเนตเวอร์ค อนาไลเซอร์ส่งความถี่12.5GHz ออกจากจานสายอากาศส่ง ส่วนสัญญาณที่รับได้จากจานสายอากาศที่ต้องการทดสอบจะถูก LNB(Low Noise Blocking Downconverter)ขยายสัญญาณให้แรงขึ้นและแปลงเป็นความถี่1752MHz

2.หมุนจานสายอากาศที่ต้องการทดสอบโดยกวาดจากมุม +15 ถึง -15 องศา อย่างสม่ำเสมอ เพื่อดูระดับของไซด์โลบ แล้วพิมพ์รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศที่ปรากฏบนเครื่องสเปคตรัม อนาไลเซอร์ออกทางเครื่องพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.หมุนจานสายอากาศที่ต้องการทดสอบโดยกวาดจากมุม +6 ถึง -6 องศา อย่างสม่ำเสมอ เพื่อดูบีมวิดท์ของจานสายอากาศ แล้วพิมพ์รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศที่ปรากฏบนเครื่องสเปคตรัม อนาไลเซอร์ออกทางเครื่องพิมพ์

4.ถอดตัวสะท้อนคลื่นรองของจานสายอากาศที่ต้องการทดสอบออก แล้ววัดระดับสัญญาณที่คอร์รูเกทฮอร์นรับได้แรงที่สุด

4.4 ผลการทดลอง

สำหรับผลการทดลอง มีการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

1. รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของฮอร์น

ฮอร์น	12.5 GHz		14.0 GHz	
	ระนาบสนามไฟฟ้า	ระนาบสนามแม่เหล็ก	ระนาบสนามไฟฟ้า	ระนาบสนามแม่เหล็ก
บันทึกข้อมูล	ตารางที่ 1			
พล็อต	รูปที่4.4	รูปที่ 4.5	รูปที่ 4.6	รูปที่ 4.7

2.รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของระบบฟีด

ระบบฟีด	12.5 GHz		12.5 GHz	
	ระนาบสนามไฟฟ้า	ระนาบสนามแม่เหล็ก	ระนาบสนามไฟฟ้า	ระนาบสนามแม่เหล็ก
บันทึกข้อมูล	ตารางที่ 2			
พล็อต	รูปที่ 4.8	รูปที่ 4.9	รูปที่ 4.10	รูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศแคสซิเกรน แสดงดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 โดยวัดที่ความถี่ 12.5 GHz ในระนาบสนามแม่เหล็ก ข้อมูลหลักที่ได้มีดังนี้

1) ค่ากำลังงานสูงสุดที่รับได้มีค่า -31 dBm

2) กำลังงานของบีมหลักและไซด์โลบแรกต่างกันอยู่ 17 dB

3) บีมวิดท์ของบีมหลักที่ระดับ 3 dBต่ำจากค่าสูงสุด 1.8 องศา

4)เมื่อถอดตัวสะท้อนคลื่นรองออก สามารถรับกำลังงานได้สูงสุด -52 dBm

5)กำลังขยายของจานสายอากาศมากกว่ากำลังขยายของฮอร์นอยู่ 21 dBm

4. หากำลังขยายของฮอร์นจากสมการ $G_0 = \eta D_0$ (4.1)

โดยที่ $D_0 = \frac{41,253}{\theta_H \theta_E}$ (4.2)

θ_H คือ Half power beamwidth ของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ระนาบสนามแม่เหล็ก

θ_E คือ Half power beamwidth ของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ระนาบสนามไฟฟ้า

η คือ ประสิทธิภาพของสายอากาศ โดยคิดเฉพาะประสิทธิภาพการแมชซึ่งอย่างเดียว

ซึ่ง $\eta = \left(1-|\Gamma|^2\right)$ (4.3)

$\Gamma = \frac{1 - VSWR}{1 + VSWR}$ (4.4)

วัดค่า VSWR ที่ความถี่ 12.5 GHzและ 14.0 GHzและหาค่าต่างๆได้ดังนี้

คุณสมบัติทางไฟฟ้า	12.5 GHz	14.0 GHz
VSWR	2.8	1.3
Γ	0.47	0.13
η	0.78	0.98
θ_H	33 องศา	24 องศา
θ_E	30 องศา	24 องศา
Gain	15.12 dBi	18.46 dBi

5.หากำลังขยายของจานสายอากาศที่สร้างขึ้นได้ โดยนำค่าความแตกต่างของระดับกำลังงานของจานสายอากาศแคสซิเกรนขณะใส่ตัวสะท้อนคลื่นรองกับขณะถอดตัวสะท้อนคลื่นรองออก มาบวกกับกำลังขยายของฮอร์นที่ได้จากข้อ4 จะได้กำลังขยายของจานสายอากาศที่ความถี่12.5GHz มีค่าเท่ากับ 36.12 dBi ส่วนกำลังขยายของจานสายอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของ CCIR แสดงดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้สำเนาการที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่1 ข้อมูลของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของคอร์รูเกทฮอร์น

มุม	ระนาบสนามแม่เหล็ก		ระนาบสนามไฟฟ้า	
	12.5 GHz	14.0 GHz	12.5 GHz	14.0 GHz
	นอร์มอไลซ์ -37 dBm	นอร์มอไลซ์ -24 dBm	นอร์มอไลซ์ -38 dBm	นอร์มอไลซ์ -30 dBm
0	0	0	0	0
3	0	0	-1	0
6	0	0	0	-1
9	0	-1	-1	-2
12	-2	-2	-1	-3
15	-3	-3	-3	-5
18	-5	-5	-4	-7
21	-6	-7	-6	-10
24	-8	-9	-7	-13
27	-11	-11	-10	-18
30	-14	-15	-14	-22
33	-19	-18	-14	-26
36	-22	-20	-22	-26
39	-23	-23	-27	-25
42	-21	-25	-28	-27
45	-25	-23	-26	-25
48	-30	-24	-28	-28
51	-24	-30	-27	-26
54	-21	-36	-28	-31
57	-28	-27	-29	-34
60	-25	-31	-31	-31
63	-21	-35	-29	-33
66	-26	-32	-32	-31
69	-24	-38	-31	-36
72	-21	-35	-31	-35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

75	-24	-34	-35	-33
78	-21	-39	-33	-34
81	-23	-32	-35	-34
84	-21	-39	-29	-35
87	-19	-31	-32	-34
90	-20	-37	-36	-33
93	-19	-32	-33	-34
96	-19	-34	-33	-27
99	-21	-34	-34	-29
102	-20	-32	-34	-29
105	-22	-34	-35	-24
108	-20	-30	-31	-27
111	-21	-36	-29	-22
114	-21	-33	-31	-22
117	-23	-35	-29	-26
120	-21	-31	-31	-25
123	-21	-30	-31	-25
126	-19	-33	-32	-27
129	-22	-31	-27	-29
132	-21	-35	-36	-31
135	-20	-31	-37	-26
138	-19	-37	-36	-39
141	-20	-33	-31	-31
144	-23	-31	-32	-30
147	-25	-32	-38	-31
150	-23	-33	-32	-33
153	-30	-36	-30	-34
156	-21	-32	-34	-27
159	-25	-32	-36	-31
162	-18	-36	-35	-26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

165	-26	-32	-30	-31
168	-18	-30	-26	-23
171	-20	-24	-35	-25
174	-28	-25	-30	-31
177	-25	-29	-27	-23
180	-21	-27	-24	-23
183	-25	-37	-34	-26
186	-18	-37	-36	-21
189	-16	-28	-29	-19
192	-18	-30	-26	-20
195	-25	-32	-21	-17
198	-20	-31	-19	-16
201	-26	-35	-29	-22
204	-23	-30	-19	-17
207	-24	-30	-26	-18
210	-28	-31	-30	-25
213	-27	-29	-29	-22
216	-31	-31	-25	-25
219	-23	-38	-24	-24
222	-21	-32	-37	-26
225	-21	-36	-26	-30
228	-20	-32	-36	-32
231	-18	-34	-31	-25
234	-19	-38	-28	-28
237	-23	-34	-27	-27
240	-23	-35	-30	-24
243	-24	-35	-27	-23
246	-22	-34	-31	-26
249	-18	-39	-30	-22
252	-19	-34	-29	-27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

255	-22	-33	-32	-23
258	-22	-37	-27	-25
261	-24	-37	-26	-25
264	-21	-34	-25	-21
267	-21	-36	-23	-25
270	-20	-30	-25	-21
273	-23	-34	-24	-27
276	-22	-31	-25	-20
279	-24	-36	-28	-30
282	-26	-35	-27	-22
285	-22	-40	-29	-31
288	-25	-32	-26	-20
291	-24	-37	-24	-26
294	-21	-37	-29	-26
297	-27	-35	-23	-24
300	-23	-39	-22	-29
303	-21	-34	-29	-23
306	-22	-29	-25	-22
309	-32	-32	-25	-30
312	-26	-31	-31	-30
315	-24	-24	-30	-21
318	-22	-27	-24	-23
321	-24	-25	-22	-30
324	-21	-23	-20	-26
327	-15	-21	-19	-22
330	-9	-19	-17	-19
333	-7	-16	-12	-17
336	-6	-14	-9	-13
339	-5	-10	-7	-11
342	-3	-8	-5	-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

345	-2	-6	-3	-5
348	-1	-4	-2	-3
351	0	-3	-1	-1
354	0	-1	-1	0
357	0	0	0	-1

ตารางที่2 ข้อมูลของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของระบบฟีด

มุม	ระนาบสนามแม่เหล็ก		ระนาบสนามไฟฟ้า	
	12.5 GHz	14.0 GHz	12.5 GHz	14.0 GHz
	นอร์มอไลซ์ -45 dBm	นอร์มอไลซ์ -37 dBm	นอร์มอไลซ์ -47 dBm	นอร์มอไลซ์ dBm
0	-13	-23	-9	-14
3	-13	-28	-11	-14
6	-17	-18	-9	-7
9	-12	-16	-7	-3
12	-9	-11	-4	-4
15	-9	-10	-2	-2
18	-10	-13	-2	-3
21	-9	-11	-6	-1
24	-9	-10	-4	-4
27	-8	-9	-3	-2
30	-9	-8	-4	-1
33	-8	-9	-7	-5
36	-8	-8	-3	-4
39	-9	-8	-3	-2
42	-9	-9	-3	-3
45	-8	-8	-5	-5
48	-7	-9	-4	-4
51	-10	-9	-1	-2
54	-8	-8	-1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

57	-8	-8	0	0
60	-7	-6	-1	0
63	-6	-6	-2	-2
66	-6	-4	-3	-5
69	-6	-5	-5	-6
72	-7	-5	-8	-11
75	-8	-6	-12	-13
78	-8	-10	-14	-17
81	-10	-10	-17	-21
84	-13	-12	-15	-18
87	-22	-13	-16	-16
90	-15	-15	-18	-18
93	-17	-17	-15	-21
96	-22	-16	-18	-30
99	-17	-20	-22	-16
102	-15	-16	-20	-12
105	-18	-14	-23	-15
108	-12	-21	-22	-12
111	-16	-14	-25	-10
114	-17	-16	-19	-10
117	-15	-11	-23	-11
120	-13	-12	-24	-12
123	-12	-13	-23	-10
126	-10	-17	-13	-16
129	-12	-9	-14	-13
132	-19	-14	-10	-13
135	-9	-16	-4	-10
138	-4	-6	-2	-3
141	-1	-2	0	-2
144	0	0	-1	-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

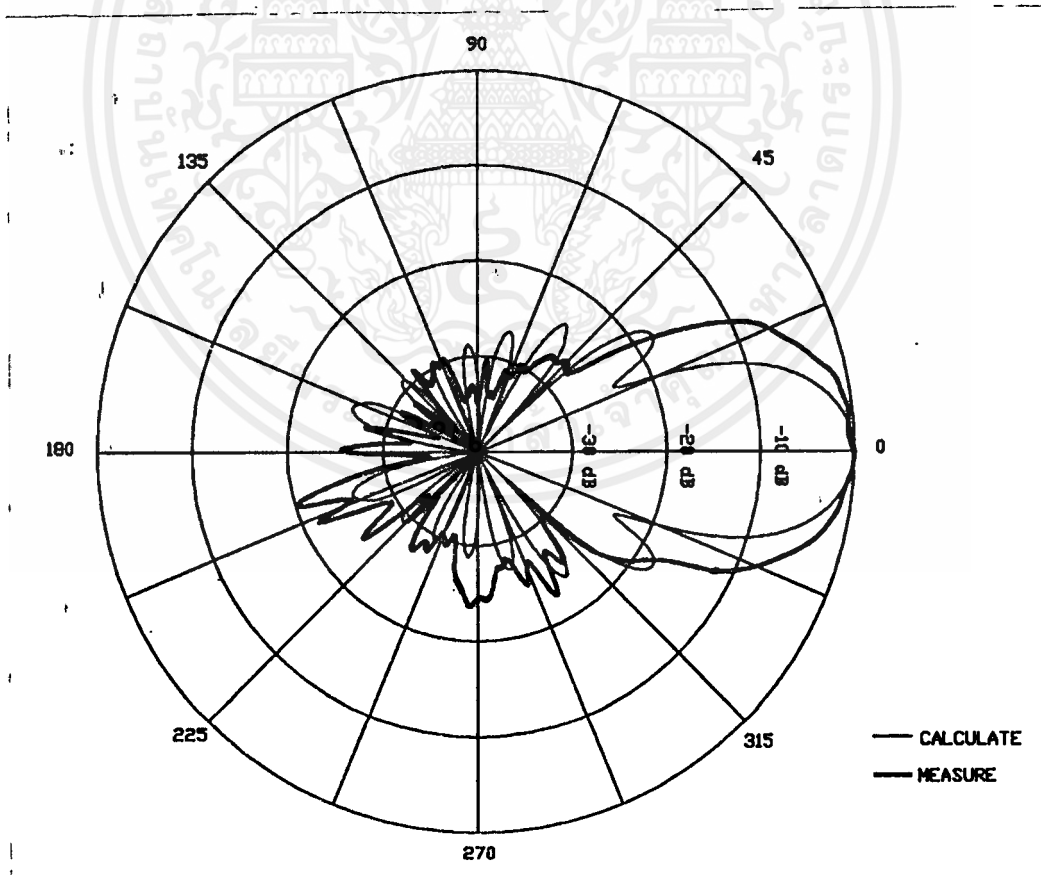
147	-4	-3	-2	-3
150	-6	-3	-2	-3
153	-8	-8	-6	-4
156	-11	-11	-2	-9
159	-12	-14	-9	-5
162	-11	-13	-5	-14
165	-13	-14	-15	-8
168	-12	-11	-5	-6
171	-15	-15	-18	-8
174	-7	-10	-5	-3
177	-18	-23	-12	-8
180	-3	-3	-2	-5
183	-9	-14	-20	-10
186	-9	-6	-3	-4
189	-18	-16	-15	-6
192	-11	-15	-5	-5
195	-12	-10	-10	-8
198	-9	-13	-7	-13
201	-10	-8	-9	-4
204	-8	-9	-6	-6
207	-9	-9	-3	-4
210	-6	-8	-2	-2
213	-5	-5	-1	-3
216	-3	-3	-3	-3
219	-3	-2	-2	-4
222	-2	-2	-5	-6
225	-4	-5	-4	-12
228	-7	-12	-10	-14
231	-13	-16	-11	-11
234	-9	-11	-13	-13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

237	-10	-14	-22	-11
240	-23	-15	-22	-13
243	-13	-14	-19	-11
246	-18	-24	-18	-13
249	-23	-13	-16	-10
252	-16	-20	-19	-12
255	-18	-20	-24	-23
258	-20	-21	-19	-18
261	-17	-22	-14	-18
264	-22	-18	-18	-20
267	-17	-16	-24	-21
270	-14	-17	-15	-15
273	-19	-16	-14	-14
276	-17	-18	-19	-19
279	-15	-15	-17	-16
282	-12	-13	-14	-11
285	-11	-13	-10	-13
288	-9	-12	-6	-6
291	-9	-9	-6	-5
294	-8	-7	-6	-5
297	-7	-6	-4	-4
300	-5	-5	-4	-5
303	-5	-7	-4	-4
306	-6	-6	-5	-4
309	-7	-7	-6	-7
312	-7	-7	-7	-6
315	-7	-8	-5	-8
318	-7	-8	-5	-5
321	-7	-10	-7	-10
324	-6	-9	-8	-11

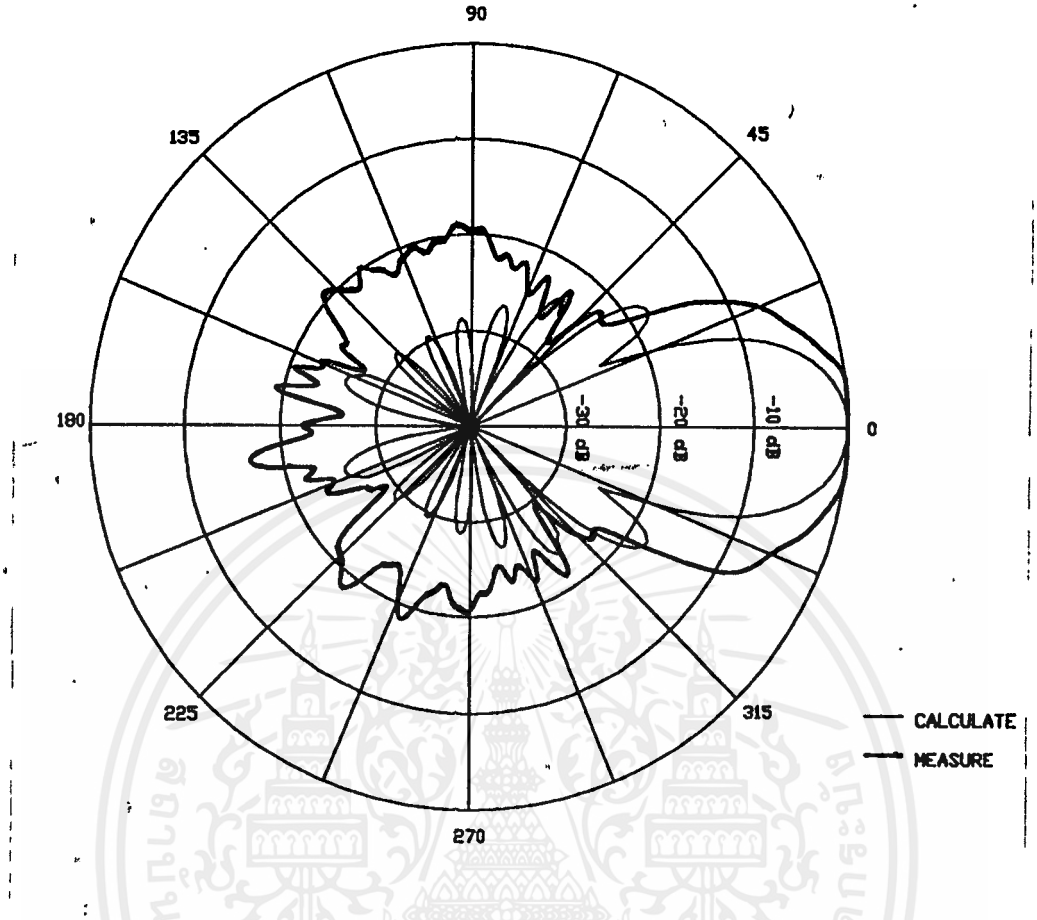
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

327	-8	-10	-9	-7
330	-6	-8	-7	-9
333	-6	-9	-6	-10
336	-7	-10	-10	-7
339	-9	-7	-6	-7
342	-8	-9	-6	-10
345	-6	-10	-6	-11
348	-8	-6	-10	-7
351	-13	-12	-8	-14
354	-14	-11	-13	-11
357	-22	-20	-11	-22

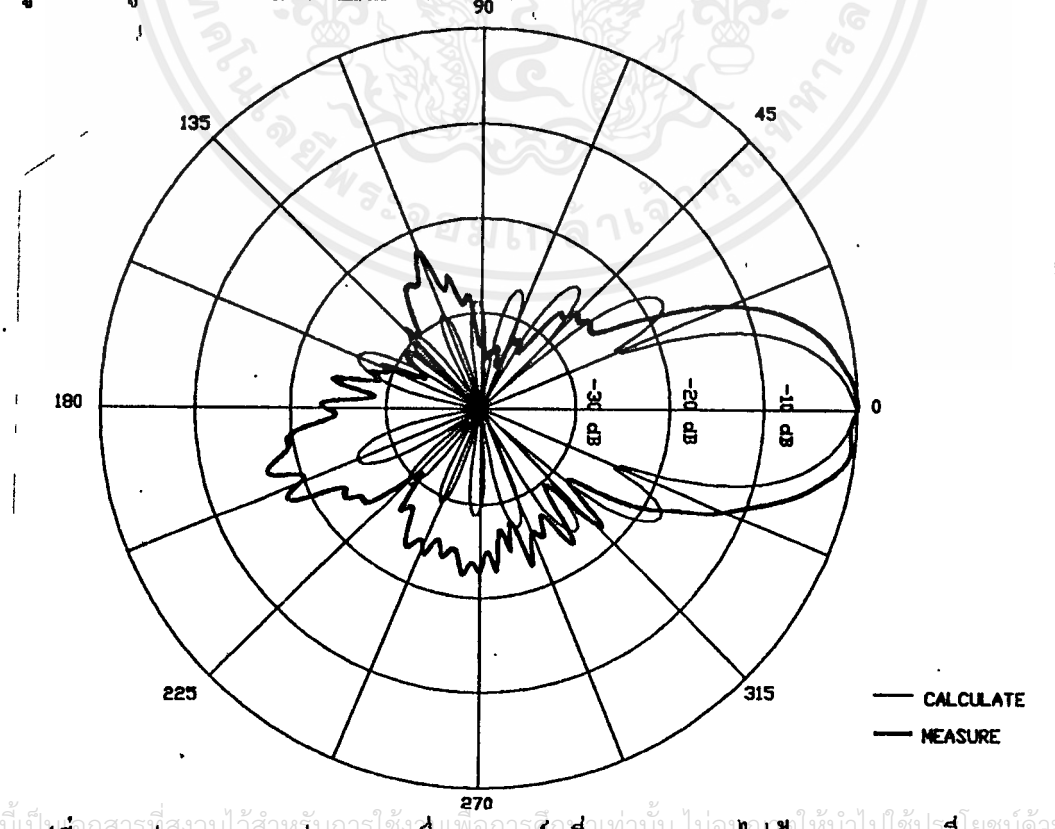


รูปที่4.4 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของฮอร์นที่ระนาบสนามไฟฟ้า ความถี่12.5 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

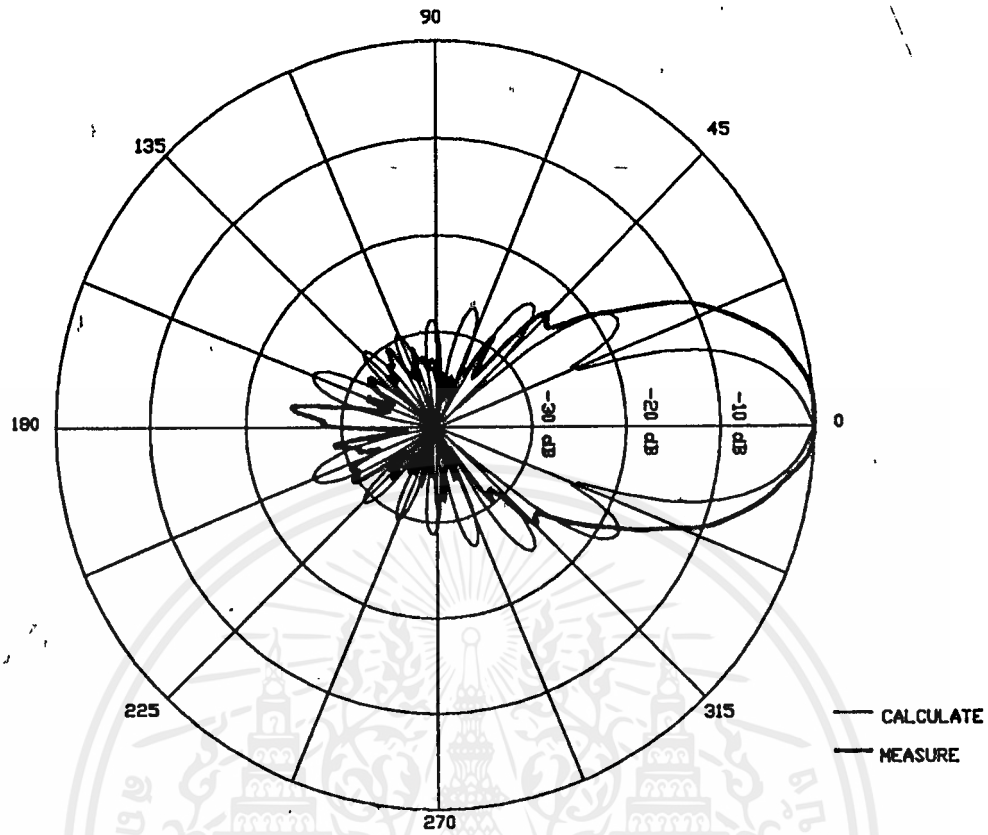


รูปที่4.5 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของฮอร์นที่ระนาบสนามแม่เหล็ก ความถี่12.5 GHz

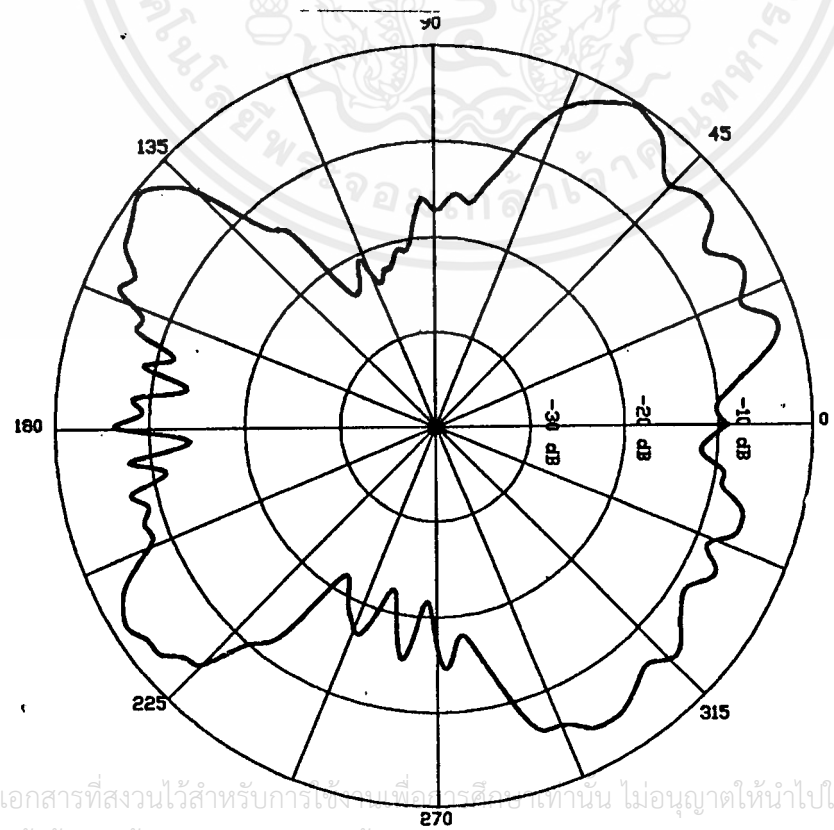


รูปที่4.6 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของฮอร์นที่ระนาบสนามไฟฟ้า ความถี่14.0 GHz

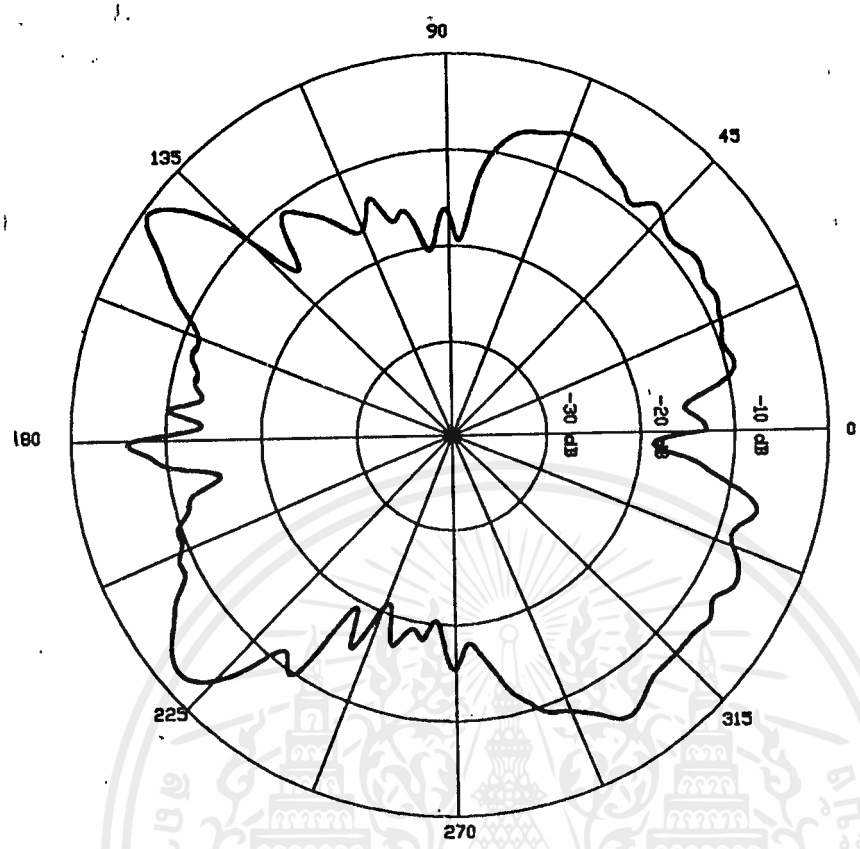
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



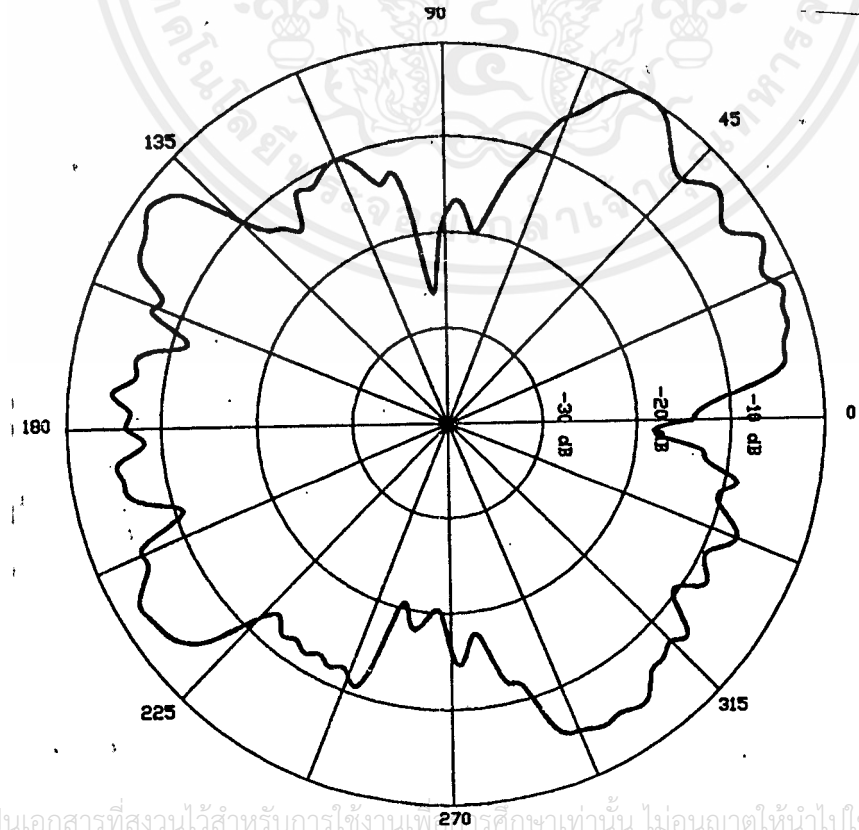
รูปที่4.7 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของฮอร์นที่ระนาบสนามแม่เหล็ก ความถี่14.0 GHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

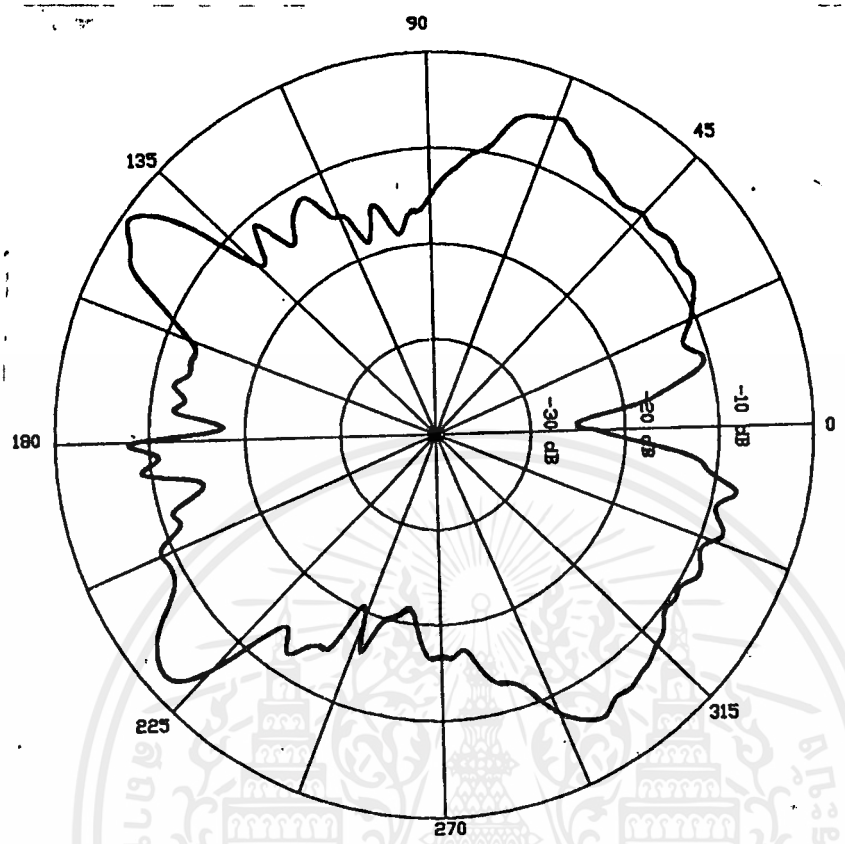


รูปที่4.9 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของระบบฟีดที่ระนาบสนามแม่เหล็ก ความถี่12.5 GHz

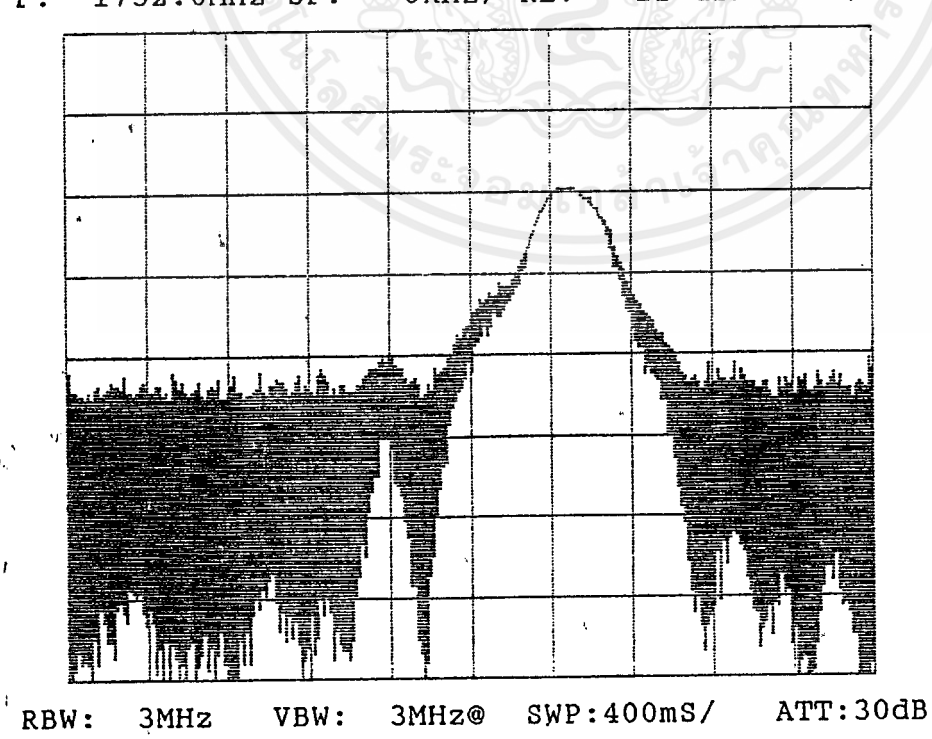


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่4.10 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของระบบฟีดที่ระนาบสนามไฟฟ้า ความถี่14.0 GHz

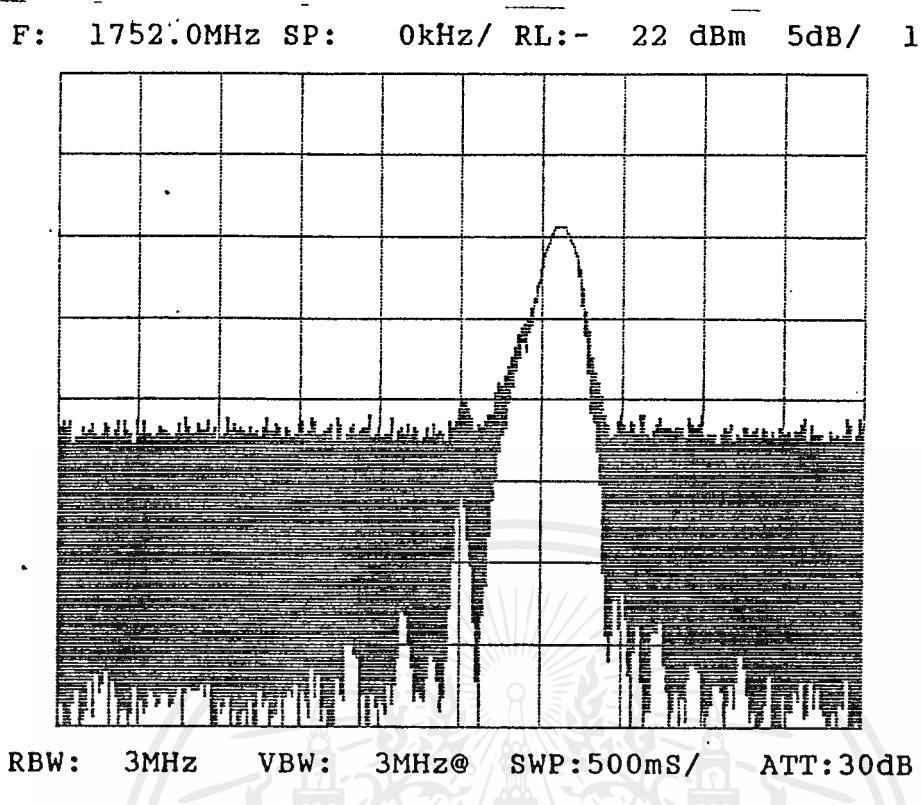


รูปที่4.11 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของระบบฟีดที่ระนาบสนามแม่เหล็ก ความถี่14.0 GHz

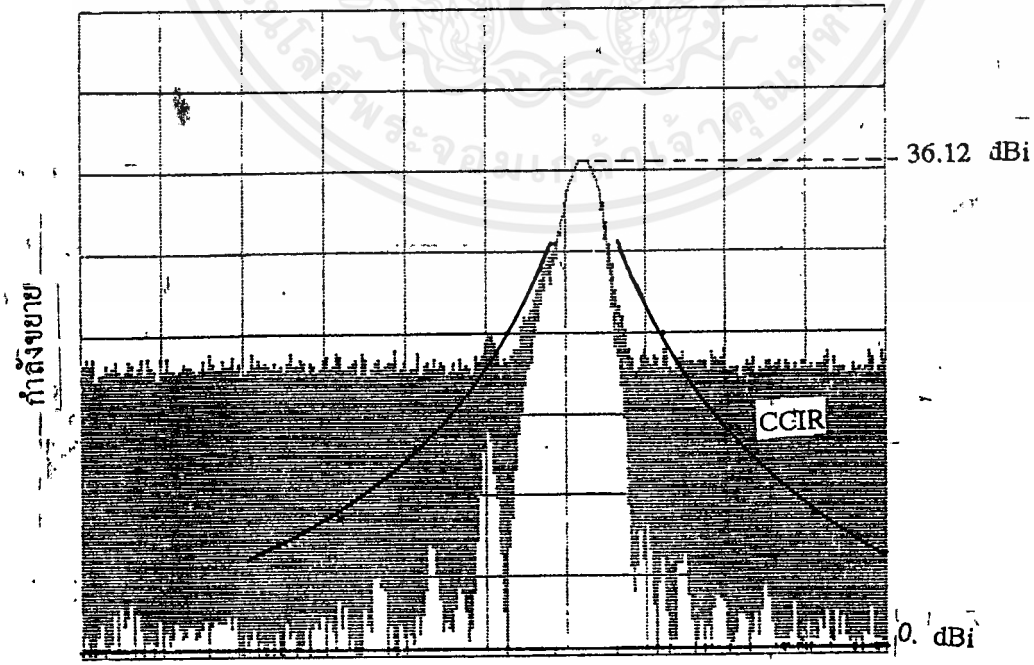


รูปที่4.12 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศที่ระนาบสนามแม่เหล็ก ความถี่12.5 GHz วัดในช่วง+6 องศา ถึง -6 องศา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

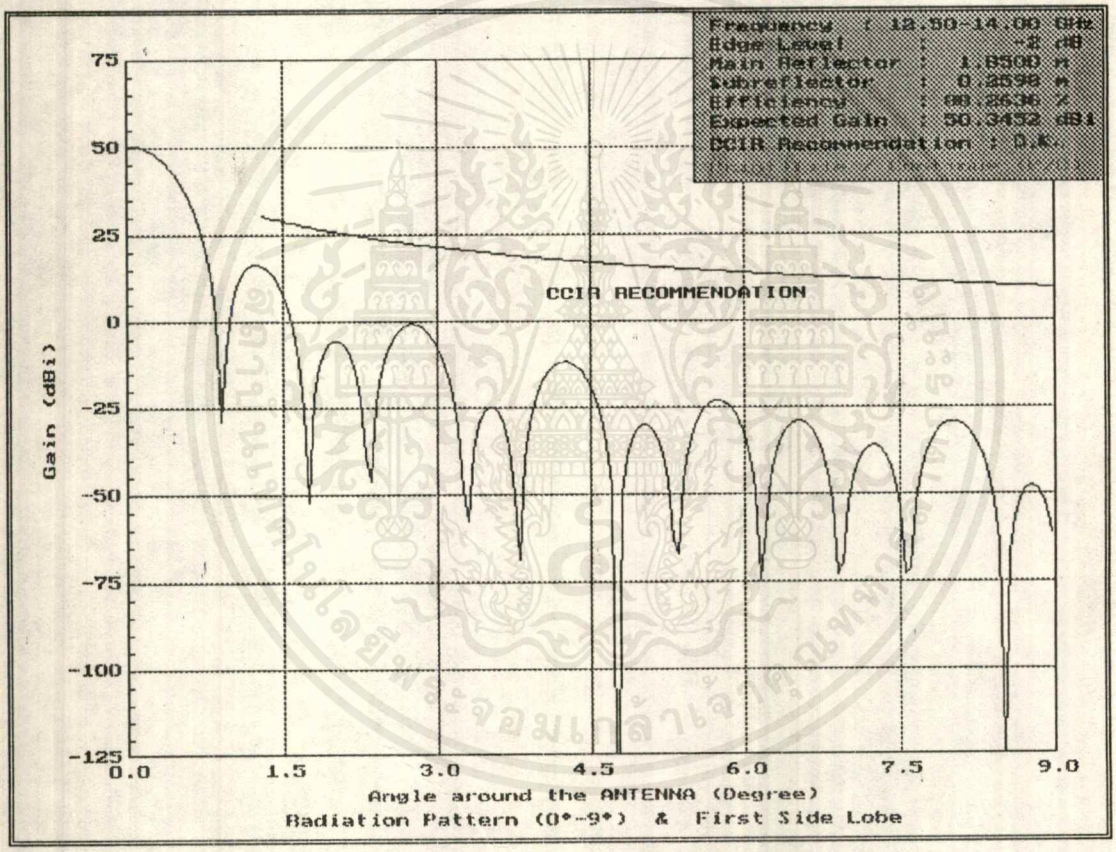


รูปที่4.13 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศที่ระนาบสนามแม่เหล็ก ความถี่12.5 GHz วัดในช่วง+15 องศา ถึง -15 องศา



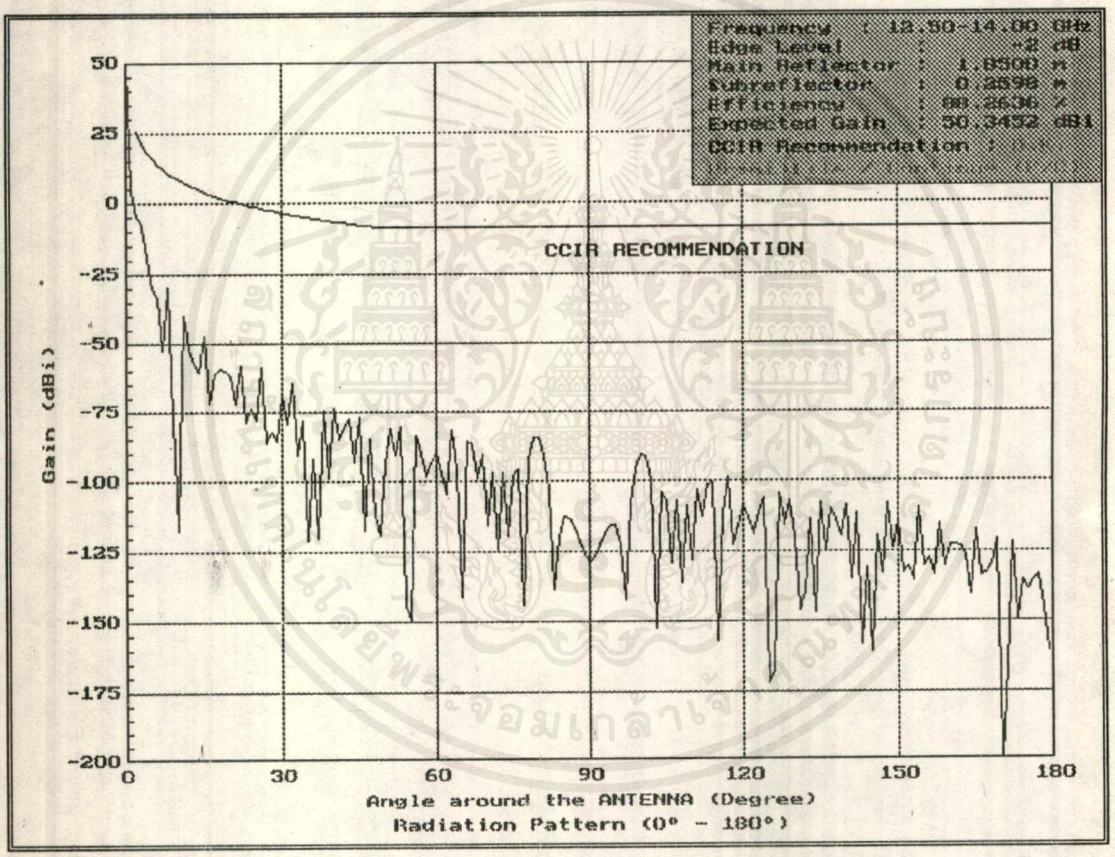
รูปที่4.14 กำลังขยายของจานสายอากาศที่ระนาบสนามแม่เหล็ก ความถี่12.5 GHz เปรียบเทียบกับ CCIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.15 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจากการคำนวณของจานสายอากาศที่ทำทดลองสร้าง ช่วง 0 องศา-9 องศา ที่ความถี่12.5GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.16 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจากการคำนวณของจานสายอากาศที่ทำทดลองสร้าง ช่วง 0 องศา-180 องศา ที่ความถี่12.5GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.5.1 คอร์รูเกทฮอร์น

จากรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ทำการวัดเก็บข้อมูลพบว่า ที่ความถี่ 12.5 GHz และ 14.0 GHz จะมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ค่อนข้องสมมาตรในช่วงมุม +45 องศาถึง -45 องศา ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของคอร์รูเกทฮอร์น นอกจากนี้บีมวิดท์ที่ความถี่ 14.0 GHz ยังแคบกว่าบีมวิดท์ที่ความถี่ 12.5 GHzซึ่งตรงตามทฤษฎีที่ศึกษามาคือ เมื่อความถี่สูงขึ้นบีมวิดท์จะแคบลง

เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่คำนวณจากทฤษฎีพบว่า ระดับกำลังงานต่ำลง 10 dB อยู่ที่มุมประมาณ 18 องศา ที่ความถี่ 12.5 GHz และ 15 องศาที่ความถี่ 14.0 GHz ซึ่งจากการทดลองวัดทั้งระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะอยู่ที่ประมาณมุม 27 องศาและ 24 องศาที่ความถี่ 12.5 GHzและ 14.0 GHzตามลำดับ ซึ่งต่างจากการคำนวณ 9 องศาและบีมวิดท์ของบีมหลักจากการคำนวณจะแคบกว่า ทั้งนี้เพราะการคำนวณหารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นมีข้อสมมติฐานสำคัญคือกำหนดให้มีคลื่นโหมด HE_{11} อยู่ในฮอร์นโหมดเดียว แต่สำหรับฮอร์นในทางปฏิบัติเนื่องจากมีความไม่ต่อเนื่องที่จุดต่อบริเวณคอฮอร์นหรือจากผลของมุมที่แผ่ออก ทำให้เกิดคลื่นโหมดลำดับสูงขึ้นมาในตัวฮอร์นมีผลทำให้บีมวิดท์เปลี่ยนไป

4.5.2 ระบบฟีด

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของระบบฟีด มีลักษณะคล้ายกันไม่ว่าจะเป็นที่ระนาบสนามไฟฟ้าหรือระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 12.5 GHz และ 14.0 GHz ซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ช่วง 0-9 องศา กำลังงานที่รับได้มีค่าต่ำ เนื่องจากตัวคอร์รูเกทฮอร์นบังคลื่นที่สะท้อนออกจากตัวสะท้อนคลื่นรอง

ช่วง 9-75 องศา เป็นช่วงที่คลื่นตกกระทบและสะท้อนเข้าสู่ตัวสะท้อนคลื่นหลักเป็นส่วนใหญ่

ช่วง 75-110 องศา เป็นช่วงที่พ้นขอบของตัวสะท้อนคลื่นรอง ดังนั้นกำลังงานที่รับได้น่าจะลดลงทันทีทันใด แต่เนื่องจากคลื่นเกิดการเบี่ยงเบนที่ขอบ(Edge Diffraction)ของตัวสะท้อนคลื่นรองทำให้คลื่นบางส่วนที่ตกกระทบบริเวณขอบตัวสะท้อนคลื่นรองเกิดการแตกกระจายและเบี่ยงเบนไปมีผลทำให้กำลังงานที่รับได้ในช่วงนี้ค่อยๆตกลง

ช่วง 110-180 องศา ซึ่งกำลังงานที่รับได้ควรจะมีค่าต่ำ แต่ปรากฏว่าสามารถรับกำลังงานได้สูงในช่วง 140-155 องศา ซึ่งเป็นผลจากกำลังงานของฮอร์นที่ล้น(Spillover)ออกไปจากตัวสะท้อนคลื่นรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 จานสายอากาศแคสซิเกรน

ได้ทำการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศเฉพาะระนาบสนามแม่เหล็ก จากการวัดเนื่องจากกำลังงานที่รับได้มีค่าต่ำ ทำให้กำลังงานที่รับได้ที่แสดงออกมาจากเครื่องสเปค-ตรัม อนาไลเซอร์ มีลักษณะที่มีสัญญาณรบกวนซ่อนอยู่ ดังนั้นการวิเคราะห์จะพิจารณาอยู่ในช่วงมุมจากบีมหลักไปทางซ้ายและขวา 12 องศาเท่านั้นเพราะนอกเหนือช่วงนี้ไปสัญญาณที่รับได้มีค่าต่ำมาก และมีสัญญาณรบกวนมากจนทำให้ข้อมูลที่แสดงอาจไม่ใช่รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ถูกต้อง ค่ากำลังขยายสูงสุดของจานสายอากาศที่วัดได้มีค่า 36.12 dBi ซึ่งปรับระยะห่างจากของตัวสะท้อนคลื่นรองถึงปากฮอร์นประมาณ 39 cm และระยะจากขอบตัวสะท้อนคลื่นรองถึงก้นตัวสะท้อนคลื่นหลัก 71 cm ซึ่งใกล้เคียงกับที่คำนวณไว้มากคือ 39.1 cmและ 69.1 cmตามลำดับ เมื่อเทียบกับกำลังขยายที่คำนวณได้พบว่ามีค่าต่ำกว่ามาก(กำลังขยายจากการคำนวณมีค่า 50.34 dBi) ซึ่งสามารถวิเคราะห์สาเหตุได้ ดังนี้

1) ผิวตัวสะท้อนคลื่นหลักบางส่วนไม่เรียบเป็นรูและรอยขีดข่วน

2) คลื่นตกกระทบที่ตัวค่ำยันเกิดการแตกกระจายหรือเบี่ยงเบน

3)ตัวสะท้อนคลื่นรองซึ่งเป็นปัญหาสำคัญ เพราะทำจากแผ่นพลาสติกอัดให้เป็นรูปที่ต้องการแล้วปิดผิวด้วยแผ่นอะลูมิเนียม ดังนั้นผิวจะไม่เรียบสม่ำเสมอโดยตลอด บางส่วนเกิดการขีดข่วน ทำให้รูปร่างเสียไป

4)โครงสร้างของตัวจานที่ออกแบบค่อนข้างตายตัว ทำให้การปรับระยะของฮอร์นหรือตัวสะท้อนคลื่นรองไม่ละเอียดกว่าที่ควร

5)การคิดประสิทธิภาพจานสายอากาศ (η) ในทฤษฎีพิจารณาเพียง 3 ตัวคือการสปิลโอเวอร์จากตัวสะท้อนคลื่นหลัก,การเบี่ยงเบนของคลื่นที่ขอบของตัวสะท้อนคลื่นรองและการบดบังจากตัวสะท้อนคลื่นรอง ทำให้ค่ากำลังขยายของจานสายอากาสที่คำนวณได้คาดเคลื่อนมาก

จากที่กล่าวมาเป็นผลทำให้ค่ากำลังขยายที่วัดได้ต่ำกว่าที่คำนวณและเป็นผลทำให้ระดับของไซด์โลบสูงตามไปด้วย เมื่อเทียบกับข้อกำหนดของCCIRพบว่าค่าไซด์โลบที่วัดได้ยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทแทรกที่ 1

โปรแกรมออกแบบจานสายอากาศแคสซิเกรน

โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบจานสายอากาศแคสซิเกรนจะอาศัยสมการและทฤษฎีที่ได้ในบทที่ 2 เป็นหลักซึ่งจะแบ่งการทำงานของโปรแกรมการออกแบบจานสายอากาสแบบแคสซิเกรนออกเป็น 4 ส่วนย่อยคือ

1) โปรแกรมการออกแบบคอร์รูเกทฮอร์น (Horn Design)

2) โปรแกรมการออกแบบขนาดตัวสะท้อนคลื่นรอง (Subreflector Design)

4) โปรแกรมการคำนวณหารูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

3) โปรแกรมการออกแบบลักษณะส่วนโค้งตัวสะท้อนคลื่นรองและตัวสะท้อนคลื่นหลักโดยวิธีของกาลินโด (Galindo Design)

ความต้องการในการออกแบบจานสายอากาศแกสซิเกรนเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูง และมีความถูกต้องน่าเชื่อถือนั้น ผู้ใช้ต้องพิจารณาการทำงานที่กำหนดเป็นขั้นตอนตาม flow chart ในบทที่ 3 ซึ่งตัวแปรอินพุทของแต่ละส่วนจะมีข้อกำหนดเพื่อป้องกันความผิดพลาดของที่อาจจะเกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการออกแบบ โปรแกรมการคำนวณในแต่ละส่วนต้องอาศัยการคำนวณมาก เพราะฉะนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่นำมาประมวลผลควรมีแมคโคเพื่อช่วยในการคำนวณ

โปรแกรมการออกแบบคอร์รูเกทฮอร์น (Horn Design)

การทำงานของโปรแกรมในส่วนนี้จะอาศัยสมการ2.3-2.5ในบทที่ 2 เป็นหลัก (รายละเอียดของสมการแสดงในบทแทรกที่ 2) ซึ่งผู้ใช้จะต้องป้อนพารามิเตอร์ต่างๆของฟังก์ชัน Eco ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ดังนี้คือ

1) v หาได้จากฟังก์ชัน Check_v ซึ่งค่าดังกล่าวจะแตกต่างกันออกไปขึ้นกับการออกแบบมุมเงยของคอร์รูเกทฮอร์น

2) ceta1 คือ มุมเงยของคอร์รูเกทฮอร์น (flare angle)

3) ceta คือ มุมที่วัดระหว่างเส้นที่ลากจากจุดที่วัดคลื่นถึงเอเพกซ์กับเส้นแกนหลักของฮอร์น

4) R0 คือ ความยาวของคอร์รูเกทฮอร์น

5) R1 คือ ระยะทางจากจุดที่วัดคลื่นถึง phase center ของคอร์รูเกทฮอร์น

6) N คือ จำนวนครั้งในการวนลูปที่หาได้จากสมการในบทแทรกที่ 2

7) k คือ propagation constant ซึ่งขึ้นกับความถี่ที่ใช้งานมีค่า $\frac{2\pi}{\lambda}$

เอาท์พุทที่ได้จากฟังก์ชันดังกล่าวจะเป็นค่าสนามไฟฟ้าซึ่งเป็นตามข้อกำหนดของพารามิเตอร์การออกแบบคอร์รูเกทฮอร์น , ตัวสะท้อนคลื่นรอง และตัวสะท้อนคลื่นหลักจะอาศัยค่าที่ได้จากการคำนวณดังกล่าวเพื่อใช้ในการพิจารณาและการคำนวณในขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันที่สำคัญในการออกแบบคอร์รูเกทฮอร์นประกอบด้วยฟังก์ชันที่สำคัญ 4 ฟังก์ชันซึ่งฟังก์ชันอื่นๆจะใช้ในประกอบการคำนวณใน 4 ฟังก์ชันหลักดังกล่าว ซึ่งประกอบด้วย

1) ฟังก์ชัน Eco ใช้หาค่าสนามไฟฟ้า

2) ฟังก์ชัน Bessel ใช้หาค่า Besel function

3) ฟังก์ชัน Legendre ใช้หาค่า Legendre function

4) ฟังก์ชัน Check_v ใช้หาค่า v เพื่อใช้ป้อนเป็นพารามิเตอร์ของฟังก์ชัน Eco

```
/****************************** INCLUDE ************************************/

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>
#include <graphics.h>

/****************************** DEFINE ************************************/

#define euler     0.5772156649015329
#define fine      0.0000000001
#define num_root  30
#define mtx_size  40
#define num_eq    40
#define num_ord   10
#define num_deg   20

/****************************** PROTOTYPE ********************************/

double Eco(double v,double ceta1,double ceta,double R0,double R1,double N,double  k);
double Fn(double n,double ceta);
double Fv(double v,double  ceta);
double RealCnHn(double n,double v,double ceta,double ceta1,double R0,
                double R1,double k);
double CompCnHn(double n,double v,double ceta,double ceta1,double R0,
                double R1,double k);
double Check_v(double ceta1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
double Bessel(int c,double x,int v);
double bessel_9(int c,double x);
double bessel_10(int c,double x);
double bessel_11(int c,double x);
double bessel_12(int c,double x);
double bessel_13(int c,double x);
double bessel_14(int c,double x);
double bessel_15(int c,double x);
double bessel_16(int c,double x);
double bessel_17(int c,double x);
double bessel_18(int c,double x);
double bessel_19(int c,double x);
double bessel_20(int c,double x);
double bessel_21(int c,double x);
double bessel_22(int c,double x);
double bessel_23(int c,double x);
double bessel_24(int c,double x);
double Legendre(int c,double x,double u,double v);
int chkint(double x,double tolerance);
double poch(double x,int n);
double fac(double x);
double gamma(double x);
long double F(long double a,long double b,long double c,long double x,int *error);
double P(double x,double u,double v,int *error);
double Q(double x,double u,double v,int *error);

/*************************** Eco function ***********************************/

double Eco(double v,double ceta1,double ceta,double R0,double R1,double N,double  k)
{
        double a,b;
        int n,m;
        a=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        b=0;
        for(n=1;n<=N ;n+=1)
        {
                a+=RealCnHn(n,v,ceta,ceta1,R0,R1,k);
                b+=CompCnHn(n,v,ceta,ceta1,R0,R1,k);
        }
        return(pow( pow(a,2)+pow(b,2),0.5 ));
}

double Fn(double n,double ceta)
{
        double fn;
        fn=(1+n*cos(ceta*M_PI/180))*Legendre(0,cos(ceta*M_PI/180),1,n)/
                sin(ceta*M_PI/180)-(n+1)*Legendre(0,cos(ceta*M_PI/180),1,n-1)/
                sin(ceta*M_PI/180);
        return(fn);
}

double Fv(double v,double  ceta)
{
        double fv;
        fv=(1+v*cos(ceta*M_PI/180))*Legendre(0,cos(ceta*M_PI/180),1,v)/
                sin(ceta*M_PI/180)-(v+1)*Legendre(0,cos(ceta*M_PI/180),1,v-1)/
                sin(ceta*M_PI/180);
        return(fv);
}

double RealCnHn(double n,double v,double ceta,double ceta1,double R0,
                double R1,double k)
{
        double a1,b1,a,b;
        a1=pow(M_PI/(2*k*R1),0.5)*Bessel(0.k*R1,0.5+n)*cos(k*R0*M_PI/180)-
                pow(M_PI/(2*k*R1),0.5)*Bessel(1,k*R1,0.5+n)*sin(k*R0*M_PI/180);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        b1=pow(M_PI/(2*k*R1),0.5)*Bessel(0,k*R1,0.5+n)*sin(k*R0*M_PI/180)+
                pow(M_PI/(2*k*R1),0.5)*Bessel(1,k*R1,0.5+n)*cos(k*R0*M_PI/180);
        a=( pow(M_PI/(2*k*R0),0.5)*Bessel(0,k*R0,0.5+n)*a1+
                pow(M_PI/(2*k*R0),0.5)*Bessel(1,k*R0,0.5+n)*b1 )*
          ( (2*n+1)*Fn(n,ceta)*sin(ceta1*M_PI/180) ) *
          ( v*(v+1)*Legendre(0,cos(ceta1*M_PI/180),1,v)*Fn(n,ceta1)-
                n*(n+1)*Legendre(0,cos(ceta1*M_PI/180),1,n)*Fv(v,ceta1) );
        b=( pow(pow(M_PI/(2*k*R0),0.5)*Bessel(0,k*R0,0.5+n),2)+
                pow(pow(M_PI/(2*k*R0),0.5)*Bessel(1,k*R0,0.5+n),2) )*
          ( R0*2*pow(n,2)*pow((n+1),2) )*
          ( v*(v+1)-n*(n+1) );
        return(a/b);
}

double CompCnHn(double n,double v,double ceta,double ceta1,double R0,
                double R1,double k)
{
        double a1,b1,a,b;
        a1=pow(M_PI/(2*k*R1),0.5)*Bessel(0,k*R1,0.5+n)*cos(k*R0*M_PI/180)-
                pow(M_PI/(2*k*R1),0.5)*Bessel(1,k*R1,0.5+n)*sin(k*R0*M_PI/180);
        b1=pow(M_PI/(2*k*R1),0.5)*Bessel(0,k*R1,0.5+n)*sin(k*R0*M_PI/180)+
                pow(M_PI/(2*k*R1),0.5)*Bessel(1,k*R1,0.5+n)*cos(k*R0*M_PI/180);
        a=( pow(M_PI/(2*k*R0),0.5)*Bessel(1,k*R0,0.5+n)*a1-
                pow(M_PI/(2*k*R0),0.5)*Bessel(0,k*R0,0.5+n)*b1 )*
          ( (2*n+1)*Fn(n,ceta)*sin(ceta1*M_PI/180) ) *
          ( v*(v+1)*Legendre(0,cos(ceta1*M_PI/180),1,v)*Fn(n,ceta1)-
                n*(n+1)*Legendre(0,cos(ceta1*M_PI/180),1,n)*Fv(v,ceta1) );
        b=( pow(pow(M_PI/(2*k*R0),0.5)*Bessel(0,k*R0,0.5+n),2)+
                pow(pow(M_PI/(2*k*R0),0.5)*Bessel(1,k*R0,0.5+n),2) )*
          ( R0*2*pow(n,2)*pow((n+1),2) )*
          ( v*(v+1)-n*(n+1) );
        return(a/b);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/************************** Check_v function ********************************/

double Check_v(double ceta1)
{
  double chk[90]={137.2896813 , 68.3998304 , 45.4387646 , 33.9598954 , 27.0739050 ,
                  22.4843544 , 19.2070554 , 16.7499139 , 14.8395445 , 13.3119157 ,
                  12.0626443 , 11.0221411 , 10.1422293 ,  9.3884967 ,  8.7357079 ,
                  8.1649364 ,  7.6617086 ,  7.2147679 ,  6.8152271 ,  6.4559767 ,
                  6.1312612 ,  5.8363718 ,  5.5674184 ,  5.3211595 ,  5.0948721 ,
                  4.8862523 ,  4.6933374 ,  4.5144450 ,  4.3481252 ,  4.1931209 ,
                  4.0483377 ,  3.9128177 ,  3.7857192 ,  3.6662996 ,  3.5539012 ,
                  3.4479394 ,  3.3478927 ,  3.2535945 ,  3.1637263 ,  3.0788114 ,
                  2.9982097 ,  2.9216134 ,  2.8487440 ,  2.7793485 ,  2.7131932 ,
                  2.6500699 ,  2.5897848 ,  2.5321610 ,  2.4880362 ,  2.4242609 ,
                  2.3736975 ,  2.3252190 ,  2.2787078 ,  2.2340554 ,  2.1911608 ,
                  2.1499305 ,  2.1102776 ,  2.0721210 ,  2.0353853 ,  2.0000001 ,
                  1.9658994 ,  1.9330219 ,  1.9013101 ,  1.8707099 ,  1.8411706 ,
                  1.8126447 ,  1.7850857 ,  1.7584571 ,  1.7327137 ,  1.7078201 ,
                  1.6837411 ,  1.6604436 ,  1.6378960 ,  1.6160689 ,  1.5949341 ,
                  1.5744650 ,  1.5546365 ,  1.5354248 ,  1.5168073 ,  1.4987624 ,
                  1.4812697 ,  1.4643099 ,  1.4478646 ,  1.4319163 ,  1.4164483 ,
                  1.4014443 ,  1.3868897 ,  1.3727696 ,  1.3590710 ,  1.3457800 };
        return(chk[ceta1-1]);
}

/************************** Bessel function ********************************/

double Bessel(int c,double x.int v)
{
        double a.b:
        if(v<11)
        {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(v==10)
{
        a=654729075-310134825*pow(x,2)+18918900*pow(x,4)-
   5315*pow(x,6)+1485*pow(x,8)-pow(x,10);
        b=-55*pow(x,9)+25740*pow(x,7)-
    2837835*pow(x,5)+91891800*pow(x,3)-654729075*x:
        if(c==0)
                return(( pow(2,0.5)*(a*sin(x)+b*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,10.5) ) );
        else
                return(( pow(2.0.5)*(b*sin(x)-a*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,10.5) ) );
}
else
if(v==9)
{
        a=34459425-16216200*pow(x,2)+945945*pow(x,4)-13860*pow(x,6)+
          45*pow(x,8);
        b=-1*pow(x,9)+990*pow(x,7)-135135*pow(x,5)+4729725*pow(x,3)-
           34459425*x:
        if(c==0)
                return(( pow(2.0.5)*(a*sin(x)+b*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,9.5) ) );
        else
                return(( pow(2,0.5)*(b*sin(x)-a*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,9.5) ) );
}
else
if(v==8)
{
        a=2027025-945945*pow(x,2)+51975*pow(x,4)-
   630*pow(x,6)+pow(x,8);
        b=36*pow(x,7)-6930*pow(x,5)+270270*pow(x,3)-2027025*x:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
        a=945-420*pow(x,2)+15*pow(x,4);
        b=-pow(x,5)+105*pow(x,3)-945*x;
        if(c==0)
                return(( pow(2,0.5)*(a*sin(x)+b*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,5.5) ) );
        else
                return(( pow(2,0.5)*(b*sin(x)-a*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,5.5) ) );
}
else
if(v==4)
{
        a=105-45*pow(x,2)+pow(x,4);
        b=10*pow(x,3)-105*x;
        if(c==0)
                return(( pow(2,0.5)*(a*sin(x)+b*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,4.5) ) );
        else
                return(( pow(2,0.5)*(b*sin(x)-a*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,4.5) ) );
}
else
if(v==3)
{
        a=15-6*pow(x,2);
        b=pow(x,3)-15*x;
        if(c==0)
                return(( pow(2,0.5)*(a*sin(x)+b*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,3.5) ) );
        else
                return(( pow(2,0.5)*(b*sin(x)-a*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,3.5) ) );
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if(c==0)
                return(( pow(2.0.5)*(a*sin(x)+b*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,8.5) ) );
        else
                return(( pow(2,0.5)*(b*sin(x)-a*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,8.5) ) );
}
else
if(v==7)
{
        a=135135-62370*pow(x,2)+3150*pow(x,4)-28*pow(x,6);
        b=pow(x,7)-378*pow(x,5)+17325*pow(x,3)-135135*x;
        if(c==0)
                return(( pow(2.0.5)*(a*sin(x)+b*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,7.5) ) );
        else
                return(( pow(2,0.5)*(b*sin(x)-a*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,7.5) ) );
}
else
if(v==6)
{
        a=10395-4725*pow(x,2)+210*pow(x,4)-pow(x,6);
        b=-21*pow(x,5)+1260*pow(x,3)-10395*x;
        if(c==0)
                return(( pow(2,0.5)*(a*sin(x)+b*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,6.5) ) );
        else
                return(( pow(2,0.5)*(b*sin(x)-a*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,6.5) ) );
}
else
if(v==5)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }
        else
        if(v==2)
        {
                a=3-pow(x,2);
                b=-3*x;
                if(c==0)
                        return(( pow(2,0.5)*(a*sin(x)+b*cos(x)) )/(
                        pow(M_PI,0.5)*pow(x,2.5) ) );
                else
                        return(( pow(2,0.5)*(b*sin(x)-a*cos(x)) )/(
                        pow(M_PI,0.5)*pow(x,2.5) ) );
        }
        else
        if(v==1)
        {
                a=1;
                b=-x;
                if(c==0)
                {
                    a=( pow(2,0.5)*(a*sin(x)+b*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,1.5) ) ;
                    return(a);
                }
                else
                {
                        a=( pow(2,0.5)*(b*sin(x)-a*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,1.5) );
                        return(a);
                }
        }
}
else
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        switch (v)
        {
                case 11: return(bessel_11(c,x));
                case 12: return(bessel_12(c,x));
                case 13: return(bessel_13(c,x));
                case 14: return(bessel_14(c,x));
                case 15: return(bessel_15(c,x));
                case 16: return(bessel_16(c,x));
                case 17: return(bessel_17(c,x));
                case 18: return(bessel_18(c,x));
                case 19: return(bessel_19(c,x));
                case 20: return(bessel_20(c,x));
                case 21: return(bessel_21(c,x));
                case 22: return(bessel_22(c,x));
                case 23: return(bessel_23(c,x));
                case 24: return(bessel_24(c,x));
        }
        return(0);
}

double bessel_9(int c,double x)
{
                double a,b,y;
                a=34459425-16216200*pow(x,2)+945945*pow(x,4)-13860*pow(x,6)+
                  45*pow(x,8);
                b=-1*pow(x,9)+990*pow(x,7)-135135*pow(x,5)+4729725*pow(x,3)-
                   34459425*x;
                if(c==0)
                        return( ( pow(2,0.5)*(a*sin(x)+b*cos(x)) )/(
                         pow(M_PI,0.5)*pow(x,9.5) ) );
                else
                        return( ( pow(2,0.5)*(b*sin(x)-a*cos(x)) )/(
                         pow(M_PI,0.5)*pow(x,9.5) ) );
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}

double bessel_10(int c,double x)
{
        double a,b,y;
        a=654729075-310134825*pow(x,2)+18918900*pow(x,4)-315315*pow(x,6)+
          1485*pow(x,8)-pow(x,10);
        b=-55*pow(x,9)+25740*pow(x,7)-2837835*pow(x,5)+91891800*pow(x,3)-
          654729075*x;
        if(c==0)
                return( ( pow(2,0.5)*(a*sin(x)+b*cos(x)) )/(
                 pow(M_PI,0.5)*pow(x,10.5) ) );
        else
                return( ( pow(2,0.5)*(b*sin(x)-a*cos(x)) )/(
                pow(M_PI,0.5)*pow(x,10.5) ) );
}

double bessel_11(int c,double x)
{
        return((21*bessel_10(c,x))/x - bessel_9(c,x) );
}

double bessel_12(int c,double x)
{
        return((23*bessel_11(c,x))/x - bessel_10(c,x) );
}

double bessel_13(int c,double x)
{
        return((25*bessel_12(c,x))/x - bessel_11(c,x) );
}

double bessel_14(int c,double x)
```

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
        return((27*bessel_13(c,x))/x - bessel_12(c,x));
}

double bessel_15(int c,double x)
{
        return((29*bessel_14(c,x))/x - bessel_13(c,x));
}

double bessel_16(int c,double x)
{
        return((31*bessel_15(c,x))/x - bessel_14(c,x));
}

double bessel_17(int c,double x)
{
        return((33*bessel_16(c,x))/x - bessel_15(c,x));
}

double bessel_18(int c,double x)
{
        return((35*bessel_17(c,x))/x - bessel_16(c,x));
}

double bessel_19(int c,double x)
{
        return((37*bessel_18(c,x))/x - bessel_17(c,x));
}

double bessel_20(int c,double x)
{
        return((39*bessel_19(c,x))/x - bessel_18(c,x));
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
double bessel_21(int c,double x)
{
        return((41*bessel_20(c,x))/x - bessel_19(c,x));
}

double bessel_22(int c,double x) -
{
        return((43*bessel_21(c,x))/x - bessel_20(c,x));
}

double bessel_23(int-c,double x)
{
        return((45*bessel_22(c,x))/x - bessel_21(c,x));
}

double bessel_24(int c,double x)
{
        return((47*bessel_23(c,x))/x - bessel_22(c,x));
}

/***************************** Legendre function ******************************/

double Legendre(int c,double x,double u,double v)
{
        int e=0;

        double y;
        if(c == 0)
                y = P((double)x,(double)u,(double)v,&e);
        else
                y = Q((double)x,(double)u,(double)v,&e);
        return(y);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}

/* chkint : check integer function              */
/* return(1) when x is a integer or closure     */
/* return(0) when x is a noninteger             */

int chkint(double x,double tolerance)
{
        double fine1;

        if(x>=0)
                fine1 =  2*tolerance;
        else
                fine1 = -2*tolerance;
        if(fabs(x-(int)(x+fine1))<=tolerance)
                return(1);
        else
                return(0);
}

double poch(double x,int n)
{
        double z;
        int    i;

        z = 1;
        for(i=0;i<n;i++)
                z = z*(x+i);
        return(z);
}

double fac(double x)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
double a,y,z,k,n,zeta1,zeta2,zeta,fact;
int   i;

if(chkint(x,fine) == 1)
{
        if(x<0)
                return(0);
        else
        {
                y=1;
                for(i=2;i<=x+0.5;i++)
                        y = y*i;
                return(y);
        }
}
y=1+x;
n=1;
do
{
        n=n+1;
        y=y*(n+x);
}while(fabs(y) < 1.0/fine || (n+x)<7);
z =(n+x);
k = (int)(z);
fact = 1;
for(i=1;i<=k+0.05;i++)
        fact = fact*i;
a = sqrt(2*M_PI);
fact = log(fact/a);
zeta1 = k*(fact-(k+0.5)*log(k)+k);
zeta2 = (k+1)*(fact-(k+0.5)*log(k+1)+k+1);
zeta  = (z-k)*zeta2 + (k+1-z)*zeta1;
fact  = a*pow(z,z+0.5)*exp(-z+zeta/z);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        y     = fact/y;
        return(y);
}

double gamma(double x)
{
        return(fac(x-1));
}

long double F(long double a,long double b,long double c,long double x
                ,int *error)
{
        long   k;
        long double part,result,result1;

        *error = 0;
        if(c<=0.00001 && chkint(c,fine)==1)
        {
                *error = 1;
                return(0);
        }
        if(x >= -1 && x <1)
        {
                k = part = result = 1;
                do
                {
                        part    = part*a/k*b/c*x;
                        result1 = result + part;
                        k++; a++; b++; c++;
                        part    = part*a/k*b/c*x;
                        result  = result1 +part;
                        k++; a++; b++; c++;
                }while(fabs(result-result1)>fine);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            return(result);
        }
        if(fabs(x-1) <= fine && (c-a-b)>0)
        {
            if(  ((c-a) <= 0.00001 && chkint(c-a,fine) == 1 )
                ||((c-b) <= 0.00001 && chkint(c-b,fine) == 1 ) )
                return(0);
            else
            {
                result = gamma(c-a);
                result = gamma(c-b)*result;
                result = gamma(c)/result;
                result = gamma(c-a-b)*result;
                return(result);
            }
        }
        *error = 1;
        return(0);
}

double P(double x,double u,double v,int *error)
{
        long double z;
        int    m;

        *error = 0;
        if((fabs(x+1) <= fine)||(fabs(x-1) <= fine))
        {
            if(fabs(u) <= fine)
                return(1);
            if(u>0 && chkint(u,fine) == 0)
                *error = 1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        return(0);
}
if(x<=-1 || x>1)
{
        *error = 2;
        return(0);
}
if(u>0.00001 && chkint(u,fine) == 1)
{
        m = (int)(u+0.1);
        z = (long double)(pow(2.0,u));
        z = fac(u)*z;
        z = poch(-v,m)/z;
        z = poch(v+1,m)*z;
        z = pow(1-x*x,u/2)*z;
        z = F((long double)(-v+u),(long double)(v+u+1),(long double)(u+1)
                ,(long double)((1-x)/2),error)*z;
}
else
{
        z = (long double)((1+x)/(1-x));
        z = (long double)(pow((double)z,u/2));
        z = F((long double)(-v),(long double)(v+1),(long double)(1-u)
                ,(long double)((1-x)/2),error)*z;
        if(u>0)
        {
                z = z*sin(u*M_PI)/M_PI;
                z = z*gamma(u);
        }
        else
                z = z/gamma(1-u);
}
return(z);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}

double Q(double x,double u,double v,int *error)
{
        long double a,b;

        a = (long double)(v/2-u/2+1);
        if(a <= 0.00001 && chkint((double)a,fine) == 1)
                a = 0;
        else
        {
                a = (long double)(gamma((double)a));
                a = -pow(2,u-1)*sqrt(M_PI)*sin((u+v)*M_PI/2)*gamma((u+v+1)/2)/a;
                a = a*F(-(u+v)/2,(v-u+1)/2,0.5,x*x,error);
        }
        b = (long double)((v-u+1)/2);
        if(b <= 0.00001 && chkint((double)b,fine) == 1)
                b = 0;
        else
        {
                b = (long double)(gamma(b));
                b = pow(2,u)*sqrt(M_PI)*cos((u+v)*M_PI/2)*gamma(u/2+v/2+1)/b;
                b = b*x*F((-v-u+1.0)/2,v/2-u/2+1,1.5,x*x,error);
        }
        a = (a+b)/pow((1-x*x),u/2);
        return(a);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมออกแบบลักษณะส่วนโค้งตัวสะท้อนคลื่นรองและตัวสะท้อนคลื่นหลักโดยวิธีกาลินโด

(Galindo Design)

จาก flow char ที่แสดงในบทที่ 3 จะเห็นว่าอินพุทของการออกแบบโดยวิธีของกาลินโดได้มาจากเอาท์พุทของการออกแบบคอร์รูเกทฮอร์นและการออกแบบขนาดตัวสะท้อนคลื่นรอง การออกแบบดังกล่าวอาศัยสมการ 2.25 - 2.27 ในบทที่2เป็นหลัก โดยวิธีของกาลินโดจะอาศัยฟังก์ชัน Runge_Kutta ในการคำนวณ ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ

Dm คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตัวสะท้อนคลื่นหลัก

Ds คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตัวสะท้อนคลื่นรอง

Dh คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปากฮอร์น

Flare_angle คือ มุมเงยของฮอร์น

Lhorn คือ ความยาวของฮอร์น

Phase_center คือ ระยะห่างของ phase center ที่วัดจากปากฮอร์น

Ceta1max คือ บีมวิดท์ของฮอร์น

Power คือ ค่ายกกำลังของ $\cos(\theta)$ ที่ได้จากการจำลองลักษณะบีมคลื่นของฮอร์น

n คือ ค่ามากที่สุดของ Power

Le คือ edge level

เอาท์พุทที่ได้จากวิธีการออกแบบของกาลินโดจะเป็นลักษณะส่วนโค้งของตัวสะท้อนคลื่นหลักและตัวสะท้อนคลื่นรองซึ่งเก็บเป็นคู่ลำดับโดย (x1,y1)และ (x2,y2) หมายถึงคู่ลำดับตามแกน x และตามแกน y ของตัวสะท้อนคลื่นรองและตัวสะท้อนคลื่นหลักตามลำดับ ค่าดังกล่าวเก็บไว้ในไฟล์ Galindo.dat ซึ่งไฟล์ดังกล่าวยังเก็บข้อมูลที่จำเป็นต่อการสร้างตัวสะท้อนคลื่นหลักและตัวสะท้อนคลื่นรองจริงอีกด้วย

```
/****************************** INCLUDE ********************************/

#include<dos.h>
#include<math.h>
#include<ctype.h>
#include<stdio.h>
#include<conio.h>
#include<stdlib.h>
#include<graphics.h>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/******************************** DEFINE *********************************/

#define ClipOn    1
#define ClipOff   0
#define pi        3.1415926536

/****************************** GLOBAL VARIABLE ******************************/

double   Power,LedB,Ceta1max;
double   Dm,Ds,Dh,Phase_center;
double   Flare_angle,freqLo;
int      Loop,MaxX,MaxY;
double   X1m,Lhorn,BETA,Le;
double   ALPHA=0;

/******************************** PROTOTYPE *********************************/

void    Initialize( void );
void    Enter_Input( void );
void    Input_to_File( void );
void    Write_File( FILE *fp );
void    Runge_Kutta( float X1[2001],float X2[2001],float Y1[2001].float Y2[2001] );
void    Output_to_File( float X1[2001],float X2[2001],float Y1[2001],float Y2[2001] );
float   Function( float x2[1][1], float y1[1][1] );
float   Calculate_X1( float x2[1][1], float y1[1][1] );
float   Calculate_Y2( float x2[1][1], float y1[1][ 1] );
void    Galindo( void );

/******************************** GALINDO *********************************/

void    Galindo( void )
{
    char    key;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        float     *X1,*Y1,*X2,*Y2;
        double    Dhmax,check;

        X1=malloc( 2001*sizeof( float ) );
        X2=malloc( 2001*sizeof( float ) );
        Y1=malloc( 2001*sizeof( float ) );
        Y2=malloc( 2001*sizeof( float ) );
        clrscr( );
        Enter_Input( index );
        Input_to_File( );
        Runge_Kutta( X1,X2,Y1,Y2 );
        free( X1);
        free(X2);
        free(Y1);
        free(Y2);
}

        MaxX=getmaxx();
        MaxY=getmaxy();
}

void    Enter_Input ( void )
{
        char    ch;
        float   n,b;

        Dm=getvalue(57,9,0.00000001,30);
        Ds=getvalue(57,10,0.00000001,Dm);
        Dh=getvalue(57,11,0.00000001,Ds);
        Flare_angle=getvalue(57,12,5,70);
        Lhorn=Dh/(2*tan(Flare_angle*pi/180));
        Phase_center=getvalue(57,13,0,Lhorn);
        Ceta1max=getvalue(57,14,10,30);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        n=1039.15-90.977*Ceta1max+2.85808*pow(Ceta1max,2) -
            0.0309556*pow(Ceta1max,3);
        Power=getvalue(57,15,0,n);
        Le=pow(10,getvalue( 57,16,-40,0 ) /20);
}

void    Input_to_File(void)
{
        FILE *fp;

        if((fp=fopen("galindo.dat","w"))==NULL)
        {
                puts("Error in writing file");
                exit(1);
        }
        Write_File(fp);
}

void    Write_File(FILE *fp)
{
fprintf(fp,"Main reflector  diameter                    (meter):%10.6lf\n",
                Dm);
fprintf(fp,"Subreflector    diameter                    (meter):%10.6lf\n",
                Ds);
fprintf(fp,"Corrugated horn diameter                    (meter):%10.6lf\n",
                Dh);
fprintf(fp,"Corrugated horn flare angle                 (meter):%10.6lf\n",
                Flare_angle);
fprintf(fp,"Corugated  horn pattern                        :%10.6lf\n",
                Power);
fprintf(fp,"Edge level on main reflector aperture       (dB) :%10.6lf\n",
                20*log10(Le));
fprintf(fp,"Maximum angle from focus to subreflector edge (Degree):%10.6lf\n",
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                Ceta1max);
fclose(fp);
printf("\007");
}

void    Runge_Kutta(float X1[2001],float X2[2001],float Y1[2001],float Y2[2001])
{
        int    n;
        float  K1,K2,K3,K4,STEP=-0.0005,x2[1][1],y1[1][1];

        MaxX=getmaxx();
        MaxY=getmaxy();
        X2[0]=1.000000000000000;
        Y1[0]=0.000000000000000;
        X1m=Ds/Dm;
        Dh=Dh/Dm;
        Phase_center=Phase_center/Dm;
        Ceta1max=Ceta1max*M_PI/180;
        X1[0]=X1m;
        Y2[0]=0.0;
        for (n=0;n<2000;n++)
        {
                x2[0][0]=X2[n];
                y1[0][0]=Y1[n];
                 K1= STEP*Function(x2,y1);
                x2[0][0]=X2[n]+STEP/2;
                y1[0][0]=Y1[n]+K1/2;
                K2= STEP*Function(x2,y1);
                x2[0][0]=X2[n]+STEP/2;
                y1[0][0]=Y1[n]+K2/2;
                K3= STEP*Function(x2,y1);
                y1[0][0]=Y1[n]+K3;
                x2[0][0]=X2[n]+STEP;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                K4= STEP*Function(x2,y1);
                X2[n+1]= X2[n]+STEP;
                Y1[n+1]= Y1[n]+(K1+(2*K2)+(2*K3)+K4)/6;
                x2[0][0]=X2[n+1];y1[0][0]=Y1[n+1];
                X1[n+1]= Calculate_X1(x2,y1);
                x2[0][0]=X2[n+1];y1[0][0]=Y1[n+1];
                Y2[n+1]= Calculate_Y2(x2,y1);
        }
        Output_to_File(X1,X2,Y1,Y2);
}

float  Function(float x2[1][1],float y1[1][1])
{
        float    Angle,Theta1,Theta2m,Cp;
        float    y2,f1,ft1,dyx,x1,R1;

        Angle=exp(log(1-(1-pow(cos(Ceta1max),Power+1))*
                (3*pow(x2[0][0],2)+3*(Le-1)*pow(x2[0][0],4)+
                pow((Le-1),2)*pow(x2[0][0],6))/
                (pow(Le,2)+Le+1))/(Power+1));
        Theta1=acos(Angle);
        BETA=X1m/tan(Ceta1max);
        x1=(BETA-y1[0][0])*tan(Theta1);
        Theta2m=atan((1-X1m)/(BETA+ALPHA));
        Cp=BETA/cos(Ceta1max)+(BETA+ALPHA)/cos(Theta2m);
        R1=(BETA-y1[0][0])/cos(Theta1);
        y2=(pow(Cp-R1,2)-pow(x2[0][0]-x1,2)-pow(BETA-y1[0][0],2))/(2*(BETA-y1[0][0]+Cp-
R1));
        f1=tan((Theta1-atan((x2[0][0]-x1)/(BETA+y2-y1[0][0])))/2);
        if(Theta1==0)
                ft1=0;
        elseft1=6*x2[0][0]*(1-pow(cos(Ceta1max),Power+1))*(1+(Le-1)
                *pow(x2[0][0],2))/((Power+1)*(pow(Le,2)+Le+1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                *pow(cos(Theta1),Power)*sin(Theta1));
        dyx=(f1*ft1*(BETA-y1[0][0])/(cos(Theta1)*cos(Theta1)))/
                (1+f1*tan(Theta1));
        return(dyx);
}

float  Calculate_X1(float x2[1][1],float y1[1][1])
{
        float  Angle,Ansx,Theta1;

        Angle=exp(log(1-(1-pow(cos(Cetalmax),Power+1))*
                (3*pow(x2[0][0],2)+3*(Le-1)*pow(x2[0][0],4)+pow(Le-1,2)
                pow(x2[0][0],6))/(pow(Le,2)+Le+1))/(Power+1));
        Theta1=acos(Angle);
        BETA=X1m/tan(Cetalmax);
        Ansx=(BETA-y1[0][0])*tan(Theta1);
        return(Ansx);
}

float  Calculate_Y2(float x2[1][1],float y1[1][1])
{
        float   Angle,Ansy,Theta1;
        float   Theta2m,Cp,R1,x1;

        Angle=exp(log(1-(1-pow(cos(Cetalmax),Power+1))*
                (3*pow(x2[0][0],2)+3*(Le-1)*pow(x2[0][0],4)+pow(Le-1,2)
                *pow(x2[0][0],6))/(pow(Le,2)+Le+1))/(Power+1));
        Theta1=acos(Angle);
        BETA=X1m/tan(Cetalmax);
        x1=(BETA-y1[0][0])*tan(Theta1);
        Theta2m=atan((1-X1m)/(BETA+ALPHA));
        Cp=BETA/cos(Cetalmax)+
                (BETA+ALPHA)/cos(Theta2m);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        R1=(BETA-y1[0][0])/cos(Theta1);
        Ansy=((pow((Cp-R1),2)-pow((x2[0][0]-x1),2))-pow((BETA-y1[0][0]),2))/
                (2*(BETA-y1[0][0]+Cp-R1));
        return(Ansy);
}

void    Output_to_File(float X1[2001],float X2[2001],float Y1[2001],float Y2[2001])
{
        FILE *fp;
        int    n;

        if((fp=fopen("galindo.dat","a"))==NULL)
        {
          puts("Error in writing file!\n");
          printf("\007");    /* alarm */
          exit(1);
        }
        fprintf(fp,"        n          X1          Y1          X2          Y2\n");
        for(n=0;n<=2000;n++)
                fprintf(fp,"    %5d     %10.6lf     %10.6lf     %10.6lf     %10.6lf\n",
                        n,X1[n]*Dm/2,Y1[n]*Dm/2,X2[n]*Dm/2,Y2[n]*Dm/2);
        fprintf(fp,"        n          X1          Y1          X2          Y2\n");
        fclose(fp);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการออกแบบหาขนาดของตัวสะท้อนคลื่นรอง

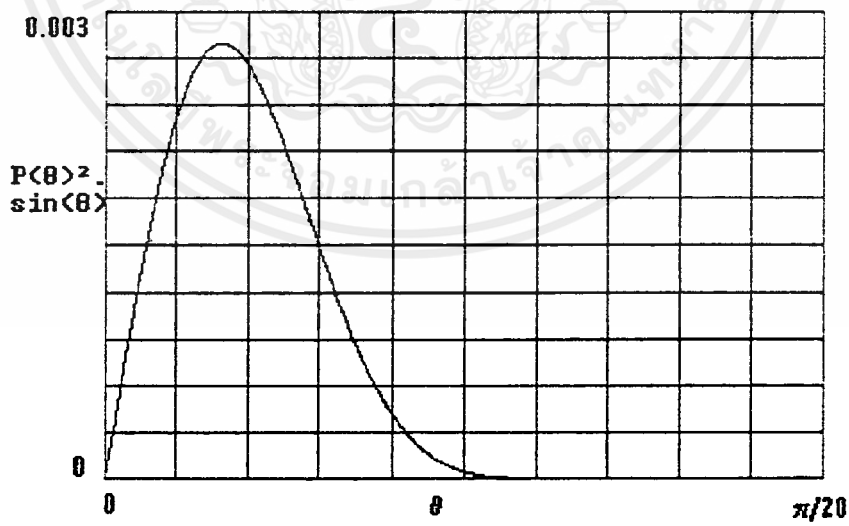
ในการออกแบบโดยโปรแกรมที่สร้างขึ้นนี้ จะกำหนดให้ขนาดของตัวสะท้อนรองเป็นขนาดที่จะให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด โดยจะคำนวณได้จากสมการในฟังก์ชัน "func()" ซึ่งถูกเรียกใช้โดยฟังก์ชัน"find_ds( )" โดยฟังก์ชัน "func( )" และฟังก์ชัน "find_ds( )" เป็นการหาค่ารากของสมการด้วยวิธีแบ่งครึ่งช่วง

การหารูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น

เริ่มต้นจากการรับค่าตัวแปรต่างๆ จาก ฟังก์ชัน "input1( )" และ ฟังก์ชัน"input2()" ซึ่งจะแตกต่างกันคือ

function "input1( )" จะรับค่าตัวแปรทุกตัวใหม่หมด ได้แก่ ช่วงความถี่ที่ใช้งาน , ระดับของการแพร่กระจายคลื่นที่ขอบของตัวสะท้อนคลื่นหลัก ,กำลังขยายที่ต้องการ, และขนาดของตัวสะท้อนคลื่นหลัก (ที่จะให้กำลังขยายดังที่ต้องการ) เพื่อใช้ในการเริ่มต้นโปรแกรมส่วนฟังก์ชัน "input2( )" จะใช้ในกรณีที่ เมื่อออกแบบสำเร็จแล้วพบว่าขนาดของตัว Horn ใหญ่เกินไปจนไปบังทางเดินของคลื่นเราจึงต้องแก้ไขโดยเพิ่มขนาดของตัวสะท้อนคลื่นรอง

ดังนั้นก็จะคงค่าตัวแปรเก่าไว้และรับค่าขนาดของตัวสะท้อนคลื่นรองใหม่อีกครั้งโดยจะต้องไม่เล็กไปกว่าขนาดของตัวสะท้อนคลื่นรองที่ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด มิฉะนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง



ค่าของส่วนจะเป็นค่าคงที่ที่เราจะหาค่าออกมาก่อนโดยใช้ฟังก์ชัน"J()","pmax( )","upbound( ) , total ( )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่าของส่วนได้จากการอินติเกรตขนาดของสนามไฟฟ้า จึงให้ความสนใจต่อกราฟของขนาดของสนามไฟ้าซึ่งพบว่าพื้นที่ใต้กราฟมีค่ารวมอยู่ในช่วงต้นๆช่วงหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นเราจะหาช่วงที่จะให้ค่าพื้นที่ใต้กราฟใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด โดยต้องไม่กว้างเกินไปเพื่อให้การหาพื้นที่ใต้กราฟด้วยวิธีการทาง numerical ได้ค่าที่ถูกต้องและไม่เสียเวลามากเกินไปฟังก์ชัน"pmax( )", และ"upbound( )" จะตรวจหาค่าของช่วงนั้นออกมาและฟังก์ชัน"total( )" ก็จะหาค่าของพื้นที่ใต้กราฟในช่วงดังกล่าวโดยใช้วิธีการของ Simpson ส่วน function "J( )" จะใช้ในการหารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นซึ่งติดอยู่ในรูปของเบซเซลฟังก์ชัน

จากนั้นเรานำค่าของขนาดของสนามไฟฟ้าที่มุมองศาต่างๆมาหารด้วยค่าพื้นที่ใต้กราฟที่ผ่านมาก็จะได้ รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นออกมา ซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่มุมกว้าง (0-180 degree) จะคำนวณและแสดงออกมาโดยฟังก์ชัน "ppatt( )" ส่วนที่มุมแคบ (0-9 degree) จะใช้ฟังก์ชัน "sideppatt( )"

ฟังก์ชันเหล่านี้ได้พิมพ์ไว้ในส่วนถัดมาเพื่อจะได้ใช้ประโยชน์ในการศึกษา

นอกจากฟังก์ชันการคำนวณต่างๆที่กล่าวมาแล้ว ที่เหลือจะเป็นฟังก์ชันช่วยในด้านอื่น ๆ เช่น การรับค่าของตัวแปร, การตรวจความถูกต้องของค่าที่ป้อนเข้ามา, การจัดหน้าจอ, และการเก็บรูปลงไฟล ซึ่งไม่ใช่หัวใจหลักของตัวโปรแกรมจึงไม่ขอกล่าวในที่นี้

```
int     Realpatt(int condition)
{       int             count;
        double  cutlevel,cutpoint,arear;

        _setcursortype(_NORMALCURSOR);
        if (condition==1)
                input1();
        else
        {       if (condition==2)
                        input2();
        }

        gotoxy(55,23);
        cutlevel=pmax()/1e10;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        gotoxy(55,23);
        cutpoint=upbound(cutlevel);
        gotoxy(55,23);
        arear=total(cutpoint);

        gotoxy(55,23);
        ppatt(arear);
        smallbox();
        sideppatt(arear);
        sidesmallbox();
        closegraph();
        return(valid);
}

double  find_ds(void)
{       double  left,mid,right,midvalue;

        Le    =pow(10,LedB/20);
        lamda =3e8/(freqLo*1e9);
        M     =Dm/lamda;
        left  =M/1000;
        right =M/2;
        while ((right-left)>error)
        {       mid=(right+left)/2;
                midvalue=func(mid);
                if (midvalue>0) left=mid;
                        else
                        {       if (midvalue<0) right=mid;
                                        else            return(mid*lamda);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    }
        }
        return( (right+left)/2*lamda);
}

double  func(double S)
{       double value,rb2,A;
        rb2   =(S/M)*(S/M);
        A     =S*S-M*M;
        value =2*S*A*(Le*S*S-A)*(Le*(M*M+S*S)-A)/pow(M,8)+
                pow((1-rb2)*(1-(1-Le)/2*(1+rb2)),2)* 0.190654*pow(S,-1.6);
        return(value);
}

double J(double v,double x)
{       double i,y,step,h.z;
        step=PI/(2*N);
        y=0;
        for(i=2*step;i<=(PI)-(2*step);i+=2*step)
        {       y+=2*cos(x*sin(i)-v*i);
                y+=4*cos(x*sin(i+step)-v*(i+step));
        }
        y+=cos(x*sin(0)-v*0)+cos(x*sin(PI)-v*PI)+4*cos(x*sin(step)-v*step);
        h=PI/(2*N);
        y=(h*y)/(3*PI);
        return(y);
}

double  pmax(void)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{       double  zeta,u,value,max=0;
        double  J1pu,J1pru,J2pu,J2pru;
        int         count;

        for ( zeta=PI/1e10 ; zeta<=PI/10 ; zeta+=0.0001)
        {       u       =(Dm*sin(zeta)/lamda);
                J1pu  =J(1,PI*u);
                J1pru =J(1,PI*rb*u);
                J2pu  =J(2,PI*u);
                J2pru =J(2,PI*rb*u);
                value=pow( (1+cos(zeta)) * ( (Le*J1pu - rb*( 1-(1-Le)*rb*
                        rb )*J1pru)/(PI*u)+2*(1-Le)*(J2pu - rb*rb*J2pru)/
                        (PI*u*PI*u) ) , 4) * sin(zeta) ;
                if (value>max)  {       max=value;      count=0;        }
                        else            count++;
                if (count>=11)  return(max);
        }
        return 0;
}

double  upbound(double cut)
{       double  zeta,u,level;
        double  J1pu,J1pru,J2pu,J2pru;
        int             count=0;

        for ( zeta=PI/1e10 ; zeta<=PI ; zeta+=0.01)
        {       u       =(Dm*sin(zeta)/lamda);
                J1pu  =J(1,PI*u);
                J1pru =J(1,PI*rb*u);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                J2pu  =J(2,PI*u);
                J2pru =J(2,PI*rb*u);
                level  =pow( (1+cos(zeta)) * ( (Le*J1pu - rb*( 1-(1-Le)*rb*
                        rb )*J1pru)/(PI*u)+2*(1-Le)*(J2pu - rb*rb*J2pru)/
                        (PI*u*PI*u) ) , 4) * sin(zeta);
                if (level>cut)          count=0;
                        else            count++;
                if (count>=11)  return(zeta-0.1);
        }
        return(0);
}

double  total(double upper)
{       double  i,y,step;
        double  zeta,u,value,P[2*200];
        double  J1pu,J1pru,J2pu,J2pru;
        int             count=0,count1;

        step=upper/(2*200);
        for ( zeta=step ; zeta<=upper ; zeta+=step)
        {       count++;
                u       =(Dm*sin(zeta)/lamda);
                J1pu  =J(1,PI*u);
                J1pru =J(1,PI*rb*u);
                J2pu  =J(2,PI*u);
                J2pru =J(2,PI*rb*u);
                P[count]=pow( (1+cos(zeta)) * ( (Le*J1pu - rb*( 1-(1-Le)*rb*
                        rb )*J1pru)/(PI*u)+2*(1-Le)*(J2pu - rb*rb*J2pru)/
                        (PI*u*PI*u) ) , 4) *sin(zeta);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }
        y=0;
        for(count1=2;  count1<=count-2;   count1+=2)
        {       y+=2*P[count1];
                y+=4*P[count1+1];
        }
        y+= 0 +P[count] +4*P[1];
        y=(step*y)/3;
        return(y);
}

int     ppatt(double frac)
{       double  zeta,u,G[182],CCIR[182];
        double  J1pu,J1pru,J2pu,J2pru;
        int     count;

        for ( zeta=0,count=0 ; zeta<=PI ; zeta+=DEG,count++)
        {       if (zeta==0) zeta=DEG1;
                u       =(Dm*sin(zeta)/lamda);
                J1pu  =J(1,PI*u);
                J1pru =J(1,PI*rb*u);
                J2pu  =J(2,PI*u);
                J2pru =J(2,PI*rb*u);
                G[count]=pow( (1+cos(zeta)) * ( (Le*J1pu - rb*( 1-(1-Le)*rb*
                                rb )*J1pru)/(PI*u)+2*(1-Le)*(J2pu - rb*rb*J2pru)/
                                (PI*u*PI*u) ) , 4)*2;
                G[count]=G[count]*Eff/frac;

                if (G[count]==0.0)  G[count]=1e-300;    /*  floating point error */
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        G[count]=10*log10(G[count]);
        if (zeta==DEG1) zeta=0;
}

if (M>=100)
        G[181]=-1000;
else
{       zeta  =1.745329252/M;
        u       =(Dm*sin(zeta)/lamda);
        J1pu  =J(1,PI*u);
        J1pru =J(1,PI*rb*u);
        J2pu  =J(2,PI*u);
        J2pru =J(2,PI*rb*u);
        G[181]=pow( (1+cos(zeta)) * ( (Le*J1pu - rb*( 1-(1-Le)*rb*
                rb )*J1pru)/(PI*u)+2*(1-Le)*(J2pu - rb*rb*J2pru)/
                (PI*u*PI*u) ) , 4)*2;
        G[181]=G[181]*Eff/frac;

        if (G[181]==0.0)  G[181]=1e-300;    /*  floating point error */
        G[181]=10*log10(G[181]);
}
gain0   =G[0];
G[180]  =-1000;

initg();
qframe();
setviewport(69,29,608,428,1);
setcolor(14);
draw(G);
setcolor(15);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if (M>=100)     case1(CCIR);
                else    case2(CCIR);

        valid=1;
        for (count=1; count<=181; count++)
                if ( G[count] > CCIR[count] )
                        valid=0;
        return (0);
}

int     sideppatt(double frac)
{       double  zeta,u,G[182],CCIR[182];
        double  J1pu,J1pru,J2pu,J2pru;
        int     count;

        for ( zeta=DEG1,count=1 ; zeta<=PI/20 ; zeta+=DEG1,count++)
        {       u       =(Dm*sin(zeta)/lamda);
                J1pu  =J(1,PI*u);
                J1pru =J(1,PI*rb*u);
                J2pu  =J(2,PI*u);
                J2pru =J(2,PI*rb*u);
                G[count]=pow( (1+cos(zeta)) * ( (Le*J1pu - rb*( 1-(1-Le)*rb*
                                rb )*J1pru)/(PI*u)+2*(1-Le)*(J2pu - rb*rb*J2pru)/
                                (PI*u*PI*u) ) , 4)*2;
                G[count]=G[count]*Eff/frac;

                if (G[count]==0.0)  G[count]=1e-300;    /*  floating point error */
                G[count]=10*log10(G[count]);
        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if (M>=100)
        G[181]=-1000;
else
{       zeta   =1.745329252/M;
        u       =(Dm*sin(zeta)/lamda);
        J1pu   =J(1,PI*u);
        J1pru  =J(1,PI*rb*u);
        J2pu   =J(2,PI*u);
        J2pru  =J(2,PI*rb*u);
        G[181]=pow( (1+cos(zeta)) * ( (Le*J1pu - rb*( 1-(1-Le)*rb*
                rb )*J1pru)/(PI*u)+2*(1-Le)*(J2pu - rb*rb*J2pru)/
                (PI*u*PI*u) ) , 4)*2;
        G[181]=G[181]*Eff/frac;
        if (G[181]==0.0)  G[181]=1e-300;    /*  floating point error */
        G[181]=10*log10(G[181]);
}
G[0]    =gain0  =G[1];
G[180]  =-1000;

sideqframe();
setviewport(69,29,608,428,1);
setcolor(14);
sidedraw(G);
setcolor(15);

if (M>=100)     sidecase1(CCIR);
        else    sidecase2(CCIR);
valid=1;
for (count=1; count<=181; count++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                if ( G[count] > CCIR[count] )
                        valid=0;
        return (0);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทแทรกที่ 2

การวิเคราะพารามิเตอร์ในการออกแบบจานสายอากาศแคสซิเกรน

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบคอร์รูเกทฮอร์น

ในการคำนวณหา $E(R_1,\theta)$ สามารถจัดในอยู่ในรูปแบบที่ง่ายเพื่อสะดวกในการคำนวณและ วิเคราะห์รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

$$f_v'(\theta)=\frac{P_v'(\cos\theta)}{\sin\theta}+\frac{dP_v'(\cos\theta)}{d\theta}$$

$$=(1+v\cos\theta)\frac{P_v'(\cos\theta)}{\sin\theta}-(v+1)\frac{P_{v-1}'(\cos\theta)}{\sin\theta}$$

$P_v'(\cos\theta)$: associated Legendre function of first kind of degree and order 1

$$\int_0^{\theta_1} f_v'(\theta)f_n'(\theta)\sin\theta d\theta=\frac{\sin(\theta)}{v(v+1)-n(n+1)}\left[v(v+1)P_v'(\cos\theta)f_n'(\theta)-n(n+1)P_n'(\cos\theta)f_v'(\theta)\right]$$

$$h_n^2(x)=j_n(x)-iy_n(x)$$

$$j_n(x)=\left(\frac{\pi}{2X}\right)^{1/2} J_{n+\frac{1}{2}}(x)$$

$$y_n(x)=\left(\frac{\pi}{2X}\right)^{1/2} Y_{n+\frac{1}{2}}(x)$$

$h_n^2(x)$: spherical Hankel function of the second kind of order n

$J_{n+\frac{1}{2}}(x)$: Bessel function of the first kind

$Y_{n+\frac{1}{2}}(x)$: Bessel function of the second kind

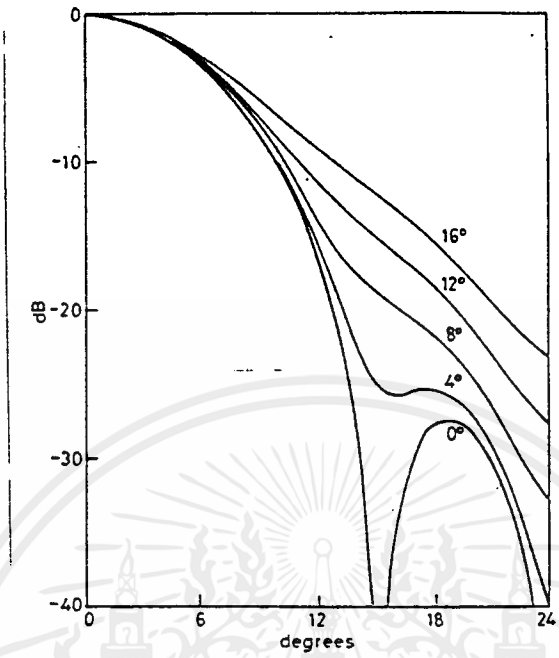
$$N=\text{int}\left[\frac{\ln(\frac{\varepsilon}{2})+\ln(1-r)}{\ln r}\right]+1$$

r : $\sin^2\frac{\theta}{2}$

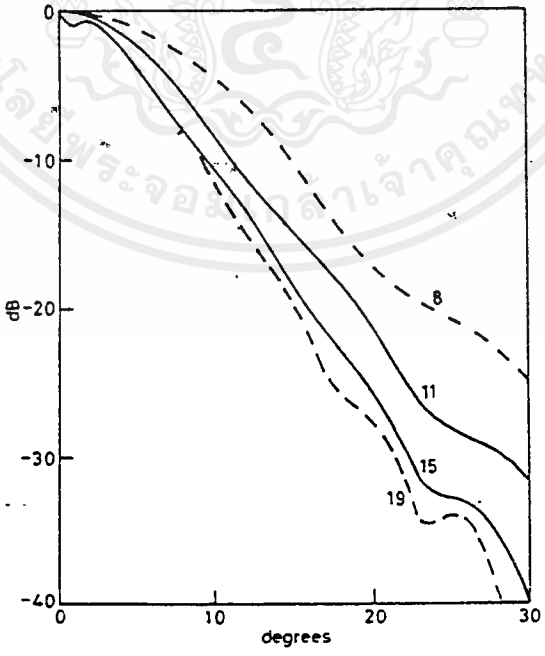
ε : ค่าผิดพลาดกำหนดให้ประมาณ 10^{-9}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ได้จะเห็นได้ว่า การหารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญ คือ ความกว้างของปากฮอร์น (d) และมุมเงย (θ) การวิเคราะห์รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในที่นี้จะอ้างอิงโปรแกรมในบทแทรกที่ 1 เป็นหลัก



รูปที่ 1 ผลกระทบของมุมเงยต่อรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบโคโพลาร์

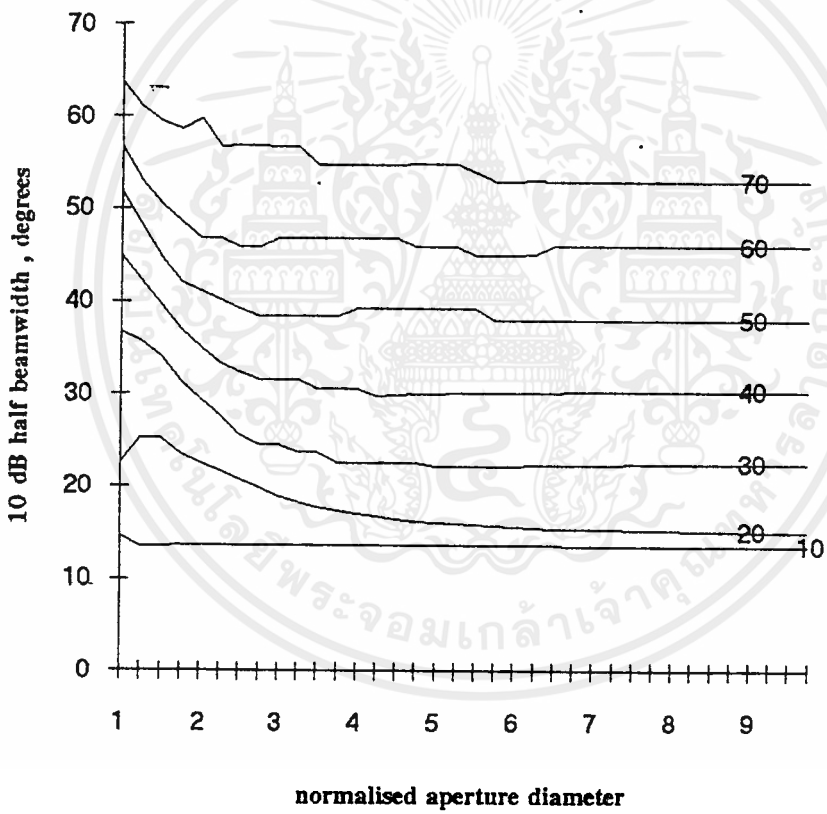


รูปที่ 2 ผลกระทบของความถี่ต่อรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบโคโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

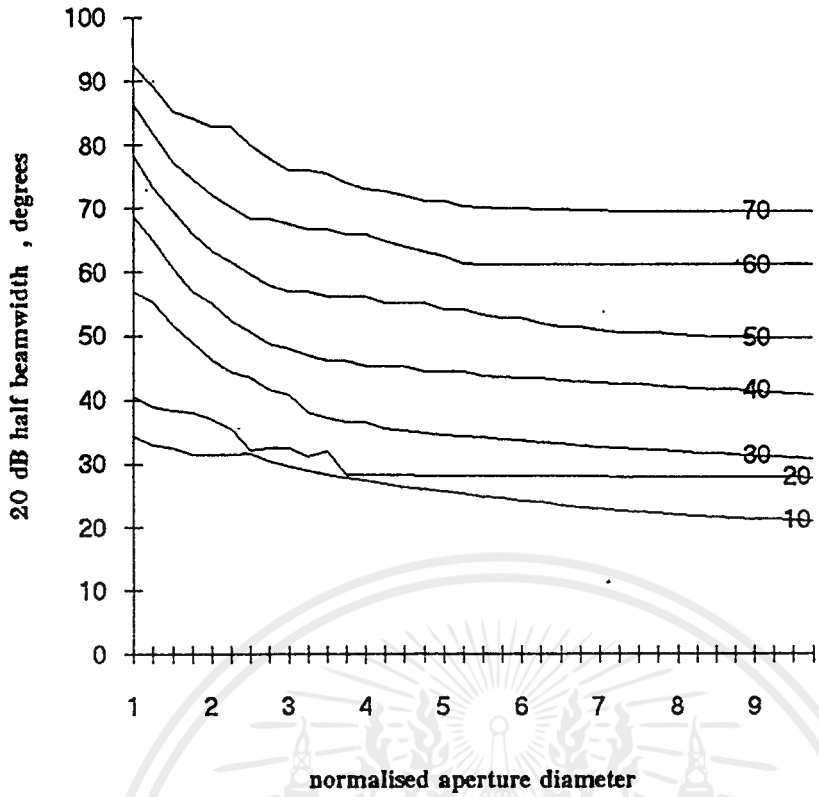
จากรูปที่1 เมื่อมุมเงยเพิ่มขึ้นโดยที่ความกว้างของปากฮอร์นคงที่ (ความยาวของฮอร์นลดลง) ลักษณะของบีมวิดท์ที่ได้จะกว้างขึ้น ถ้ากำหนดมุมเงยและความกว้างคงที่ เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ลักษณะบีมคลื่นที่ได้จะแคบลงแสดงดังรูปที่ 2

ถ้าพิจารณาผลกระทบของความกว้างปากฮอร์นและมุมเงยต่อบีมวิดท์ที่ระดับพลังงาน -10 dB และ - 20 dB แสดงดังรูปที่ 3 และ 5 จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อปากฮอร์นแคบๆลักษณะกราฟจะออสซิลเลตมากและเริ่มคงที่เมื่อปากฮอร์นกว้างขึ้น เพราะฉะนั้นในการออกแบบถ้าต้องการให้ปากฮอร์นแคบที่สุดและมีบีมวิดท์ที่ระดับพลังงานต่างๆตรงตามที่ออกแบบไว้ก็ควรที่จะพิจารณาจากความกว้างของปากฮอร์นค่าแรกที่กราฟเริ่มคงที่

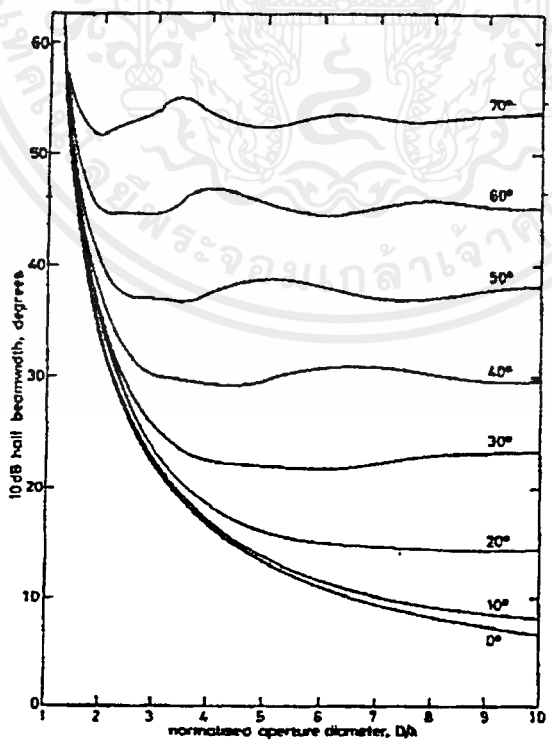


รูปที่ 3 แสดงผลกระทบของขนาดนอร์มอไลซ์อะเพอเจอร์ต่อบีมวิดท์ที่ระดับพลังงานลดลง 10 dB ที่ได้จากโปรแกรมในบทแทรกที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

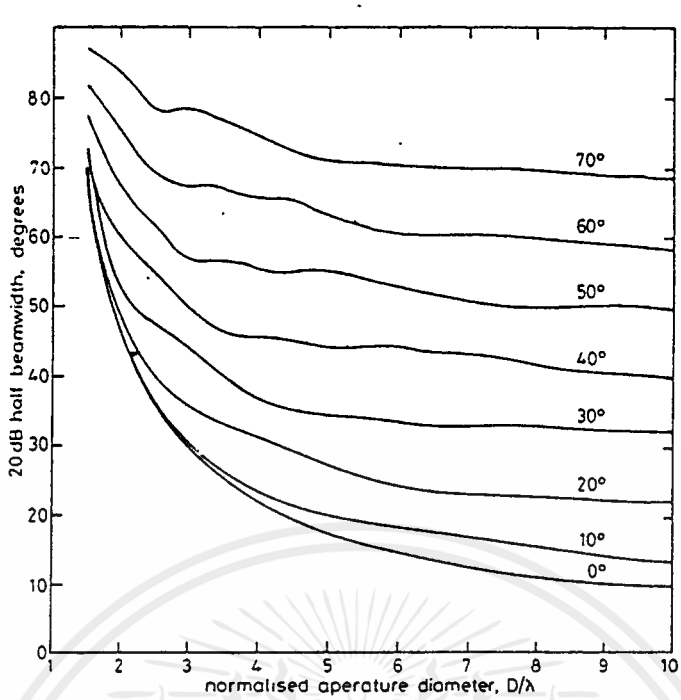


รูปที่ 4 แสดงผลกระทบของขนาดนอร์มอไลซ์อะเพอเจอร์ต่อบีมวิดท์ที่ระดับพลังงาน 20 dB ที่ได้จากโปรแกรมในบทแทรกที่ 1



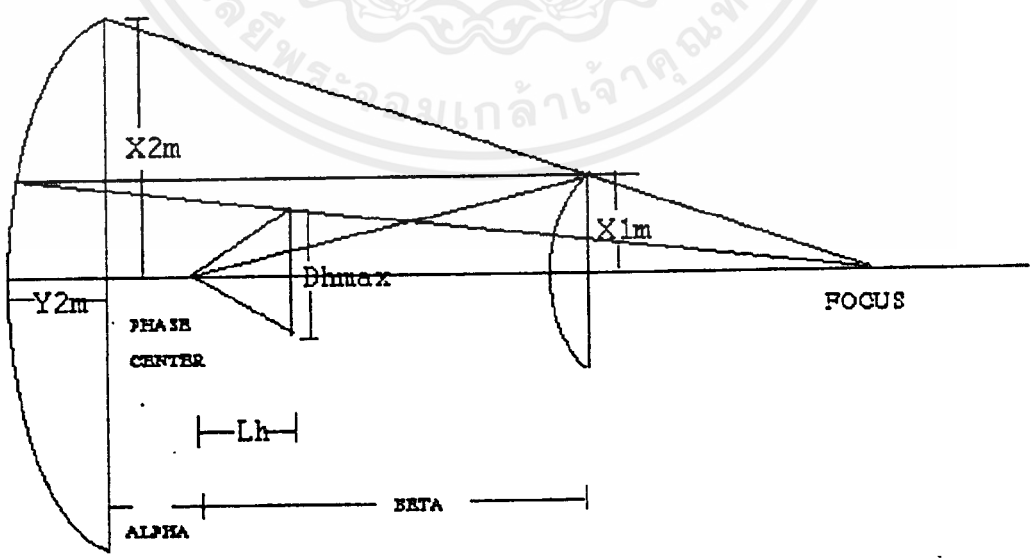
รูปที่ 5 แสดงผลกระทบของขนาดนอร์มอไลซ์อะเพอเจอร์ต่อบีมวิดท์ที่ระดับพลังงาน 10 dB ที่ได้จาก [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 แสดงผลกระทบของขนาดนอร์มอไลซ์อะเพอเจอร์ต่อบีมวิดท์ที่ระดับพลังงาน 20 dB ที่ได้จาก [1]

รูปที่ 3 และรูปที่ 4 เป็นกราฟที่ได้จากโปรแกรมในบทแทรกที่ 1 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟรูปที่ 5 และรูปที่ 6 แล้วพบว่ามีความใกล้เคียงกันมากเป็นการแสดงความน่าเชื่อถือของโปรแกรมดังกล่าว



รูปที่ 7 แสดงลักษณะทางเรขาคณิตของการพิจารณาค่า $D_{h\,max}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_{h\,max} = \frac{D_s}{y_{2\,max} + (\alpha+\beta)\left[1 + \frac{D_s}{D_m - D_s}\right]} \left[\beta - Lh + \frac{(\alpha+\beta)D_s}{D_m - D_s}\right]$$

$D_{h\,max}$ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวฮอร์นมากที่สุดที่ไม่เกิดการบังคลื่นที่ตำแหน่งแสดงในรูปที่ 7

Ds คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นรอง

Dm คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวสะท้อนคลื่นหลัก

Lh คือ ระยะทางจาก phase center ถึงปากฮอร์น

β คือ ระยะทางจาก phase center ถึงปากตัวสะท้อนคลื่นรอง

α คือ ระยะทางจาก phase center ถึงปากตัวสะท้อนคลื่นหลัก

จากสมการดังกล่าว ถ้าหากต้องการเพิ่มค่า $D_{h\,max}$ สามารถทำได้แน่นอนคือเพิ่ม Ds ส่วนค่า $\beta, \alpha, y_{2\,max}$ และ Lh ขึ้นกับผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณในส่วนของฮอร์นคือค่า n และ บีมวิดท์ ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าส่วนใหญ่แล้วจะเพิ่ม D_h และมุมเงยหรืออย่างใดอย่างหนึ่งแต่มีบางกรณีที่ทำให้เกิดการบังคลื่นได้เช่นกันซึ่งต้องพิจารณาจากข้อมูลในแต่ละชุดเช่น จากรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 จะเห็นว่าเมื่อลักษณะกราฟคงที่แล้วการเพิ่มค่า D_h ที่มุมเงยค่าหนึ่งจะมีผลต่อบีมวิดท์น้อยมากทำให้ค่า $D_{h\,max}$ ค่อนข้างคงที่ถ้ายังเพิ่มค่า D_h ทำให้ผลแตกต่างของ $|D_h - D_{h\,max}|$ น้อยลงหรือโอกาสที่จะเกิดการบังคลื่นมากขึ้นนั้นเอง

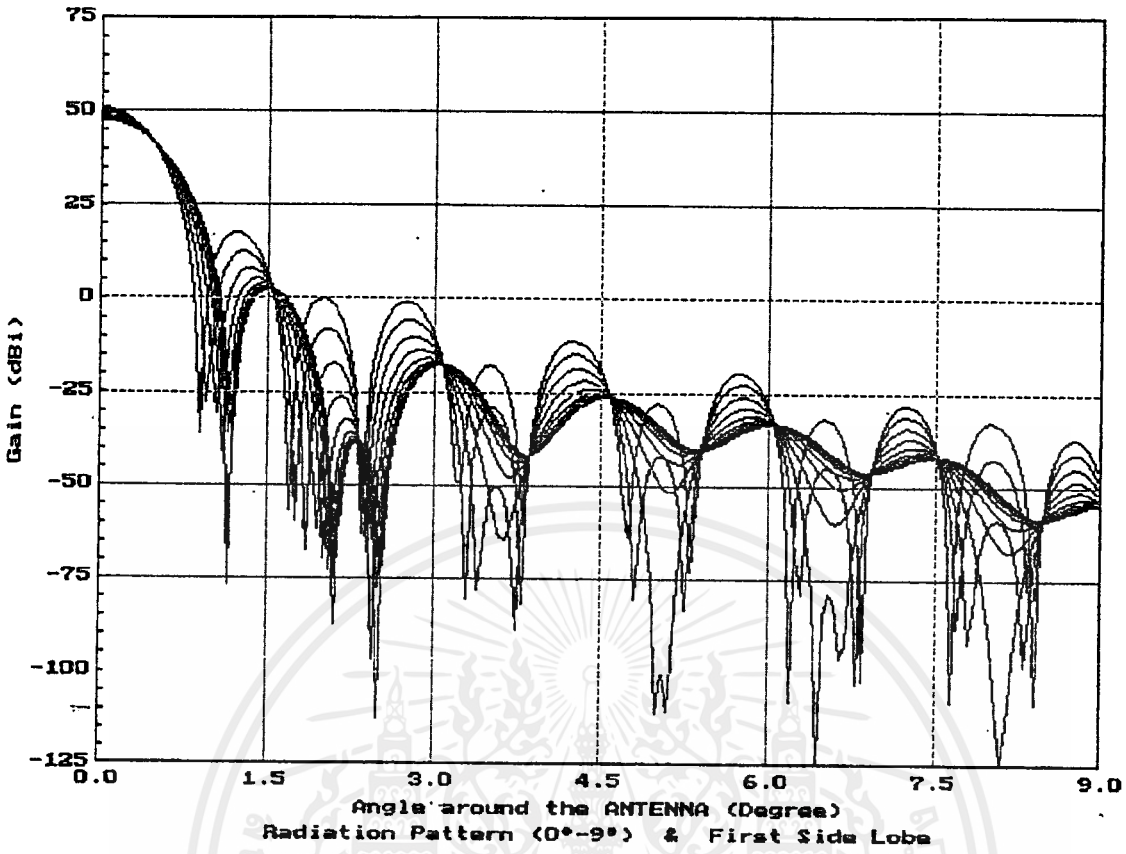
การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาขนาดตัวสะท้อนคลื่นรองและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

การออกแบบตามวิธีการของกาลินโดจะปรับสภาพของตัวสะท้อนคลื่นทั้ง 2 เพื่อให้ขนาดของสนามไฟฟ้าที่กระจายอยู่ที่ขอบของตัวสะท้อนคลื่นรอง มีขนาดลดลงมาตามค่าที่เราต้องการ พบว่าผลจากการลดขนาดของสนามไฟฟ้าที่ขอบจะทำให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเปลี่ยนปแลงไปดังนี้

1) บีมวิดท์ของตัวสะท้อนคลื่นรองจะกว้างขึ้นเมื่อ (LedB) ลดต่ำลง

2) ระดับไซด์โลปแรกจะลดลงเมื่อมีการเทเปอร์และจะลดลงมาคุงค่าๆหนึ่ง และถ้าเรายังลดขนาดของ (LedB) อีกระดับของไซด์โลปแรกก็จะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



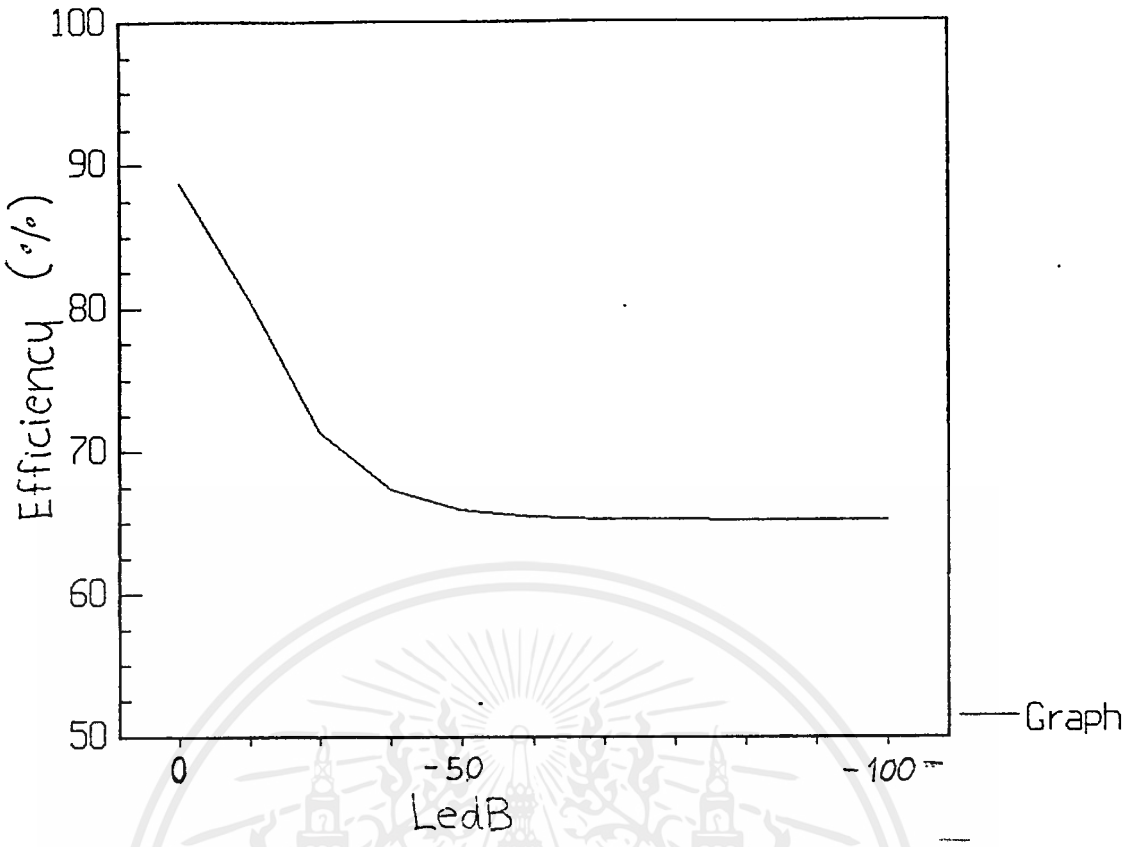
รูปที่ 8 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ค่า LedB แตกต่างกัน

จากกราฟเป็นตัวอย่างการออกแบบที่ Ku Band ที่ความถี่ 12.5-14.0 GHz ขนาดตัวสะท้อนคลื่นหลัก 1.85 เมตร , ขนาดตัวสะท้อนคลื่นรองใช้ขนาดที่ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด , และเปลี่ยนค่าขนาดของ (- LedB) ลงเรื่อยๆตั้งแต่ 0 , -5 , -10 ไปจนถึง -60 dB จากกราฟรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่สูงที่สุดอยู่ที่ LedB = 0 dBและเมื่อ (LedB) ลดลงเส้นกราฟของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นก็ลดลงมาและที่ระดับ LedB ค่าหนึ่งรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จะเปลี่ยนแปลงน้อยลงเรื่อยๆ

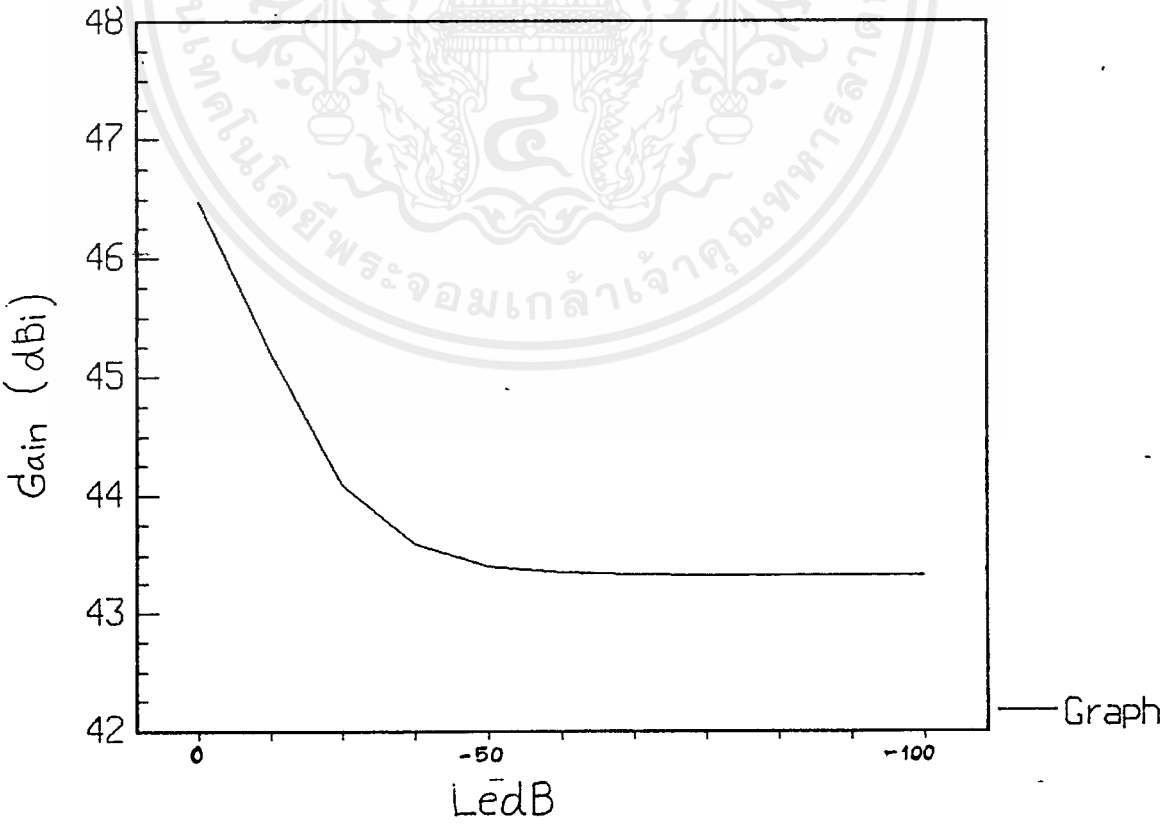
2) ผลของ LedB ต่อเกรนและประสิทธิภาพ

ในการออกแบบถ้าต้องการค่าต่างๆจากการเทเปอร์ที่ดีที่สุดเราจะพบว่าการเทเปอร์ลงไปเรื่อยๆจะมีค่าหนึ่งที่เป็นจุดที่ว่าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 ผลกระทบ LedB ต่อประสิทธิภาพของระบบ



รูปที่ 10 ผลกระทบของ LedB ต่อเกรนของจานสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณตามวิธีของ Galindo

จากขั้นตอนการทำงานที่แสดงในบทที่ 3 การคำนวณที่ได้ในส่วนของฮอร์นและตัวสะท้อนคลื่นรองจะถูกป้อนเป็นอินพุทของ Galindo ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นลักษณะส่วนโค้งของตัวสะท้อนคลื่นรอง (x1, y1) และลักษณะส่วนโค้งของตัวสะท้อนคลื่นหลัก (x2,y2) ในที่นี้จะพิจารณาลักษณะส่วนโค้งที่ได้จากตัวสะท้อนคลื่นหลักเป็นหลักและจะเน้นพิจารณาค่าของ $y_{2\ max}$

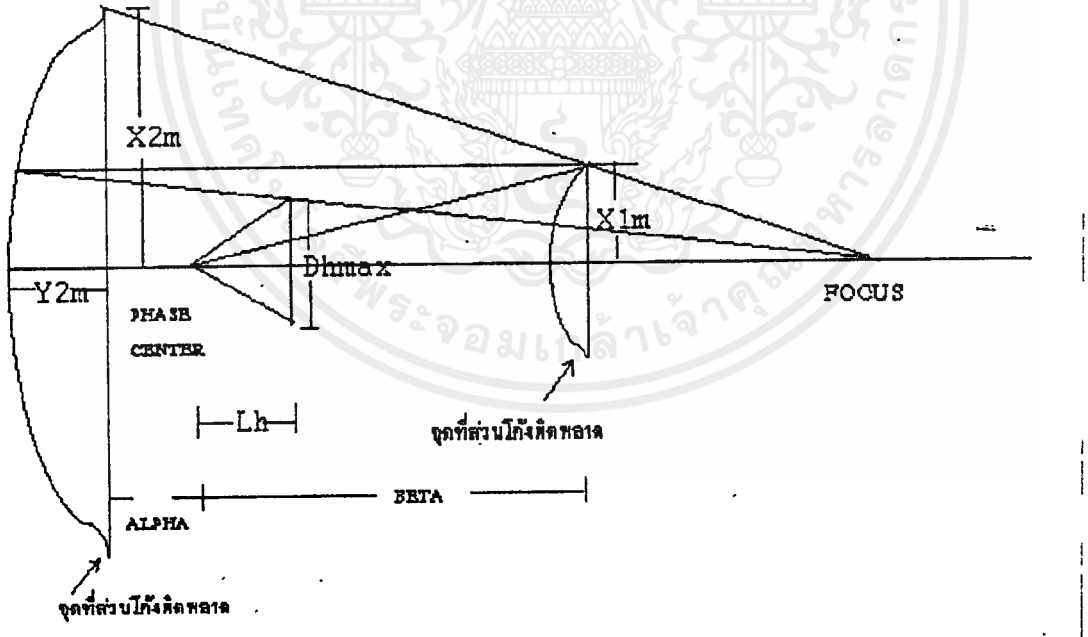
จากการวิเคราะห์พบว่า Le มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง $y_{2\ max}$ น้อยมากๆและถ้าเพิ่ม $x_{1\ max}$ ทำให้ค่า $y_{2\ max}$ ลดลงในขณะที่ถ้าเพิ่ม α,n และบีมวิดท์จะทำให้ $y_{2\ max}$ มีค่าเพิ่มขึ้นแต่การเพิ่มค่าดังกล่าวจะมีของเขตที่กำหนดเพื่อป้องกันลักษณะส่วนโค้งที่อาจผิดพลาดโดยมีข้อกำหนดดังนี้

1) $|\alpha|<\beta$ ซึ่งนิยมกำหนดให้ $\alpha = 0$ หรือ phase center อยู่ที่ปากตัวสะท้อนคลื่นหลัก

2) บีมวิดท์ ≤ 30

3) $n \leq 1039.15 - 90.977\ \theta_{1\ max} + 2.85808\theta^2_{1\ max} - 0.0309556\theta^3_{1\ max}$

ถ้าหากไม่เป็นไปตามข้อกำหนดดังกล่าวจะทำให้ลักษณะส่วนโค้งที่ผิดพลาดซึ่งแสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงลักษณะส่วนโค้งที่ผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการพัฒนาต่อไป

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีพบว่ามีความแตกต่างกันพอสมควร ซึ่งสามารถสรุปสาเหตุเพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาต่อไป ได้ดังนี้

1.ในทฤษฎีการคำนวณรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศแบบแคสซิเกรนที่ศึกษามา ไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบของปัจจัยอีกหลายอย่าง อาทิเช่น การเบี่ยงเบนของคลื่นที่บริเวณขอบของตัวสะท้อนคลื่นหลัก ตัวสะท้อนคลื่นรองและที่ค้ำยัน,กำลังงานที่สิ้นออกไปจากขอบของตัวสะท้อนคลื่นทั้งสอง, ความผิดพลาดทางเฟสของคลื่นเนื่องจากพื้นผิวตัวสะท้อนคลื่นไม่เรียบ เป็นต้น

2.ไม่ได้ศึกษาทฤษฎีการคำนวณค่ากำลังขยายของจานสายอากาศ

3.การคำนวณค่าประสิทธิภาพของจานสายอากาศได้ละเลยปัจจัยอื่นๆหลายอย่าง ทำให้ค่าที่คำนวณได้คาดเคลื่อนไปจากทางปฏิบัติมากพอสมควร

4.จานสายอากาศที่สร้างขึ้นไม่ได้ออกแบบตามขั้นตอนที่ศึกษามาอย่างสมบูรณ์แต่ได้พยายามออกแบบจานสายอากาศให้สอดคล้องกับตัวสะท้อนคลื่นหลักและคอร์รูเกทฮอร์นที่มีอยู่แต่เดิม ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คุณสมบัติในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติมีความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] P. J. B. Clarricoats and A.D. Olver, *Corrugated Horns for Microwave Antennas*, Peter Peregrinus Ltd., 1984.

[2] B. MacA. Thomas, "Design of corrugated conical horns," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-26, pp.367-372, March 1978.

[3] T. Kitsuregawa, *Advanced Technology in Satellite Communication Antennas : Electrical and Machanical Design*, Artech House inc., 1990.

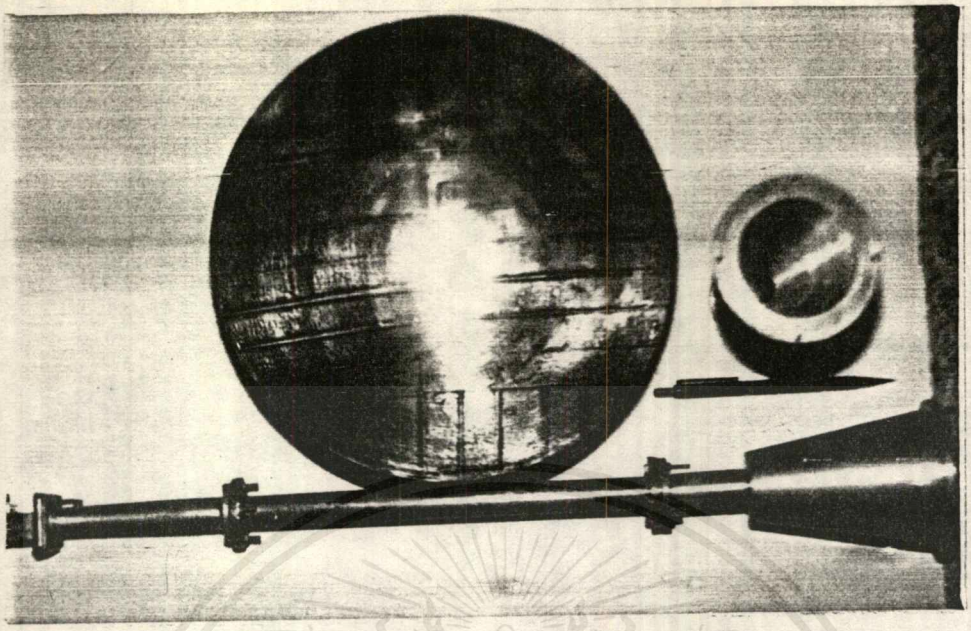
[4] V. Galindo, "Design of dual-reflector antennas with arbitrary phase and amplitude distributions," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-12, pp.403-408, July 1964.

[5] T. Kitsuregawa and M. Mizusawa, "Design of the shaped-reflector cassegrainian antenna in consideration of the scattering pattern of the subreflector," *Int. IEEE AP-S Symp.Dig.*, pp.891-896, September 1968.

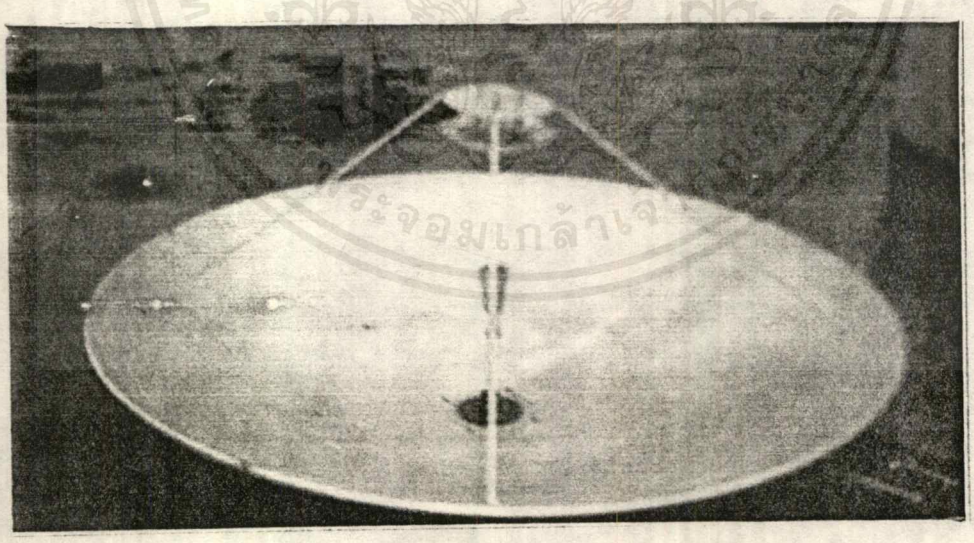
[6] R. C. Johnson and H. Jasik, *Antenna Engineering Handbook*, Sec 36-2. McGraw-Hill Book Co., 1984.

[7] C. Scott, *Modern Methods of Reflector Antenna Analysis and Design*, Sec.9.2, Artech House inc, 1990.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

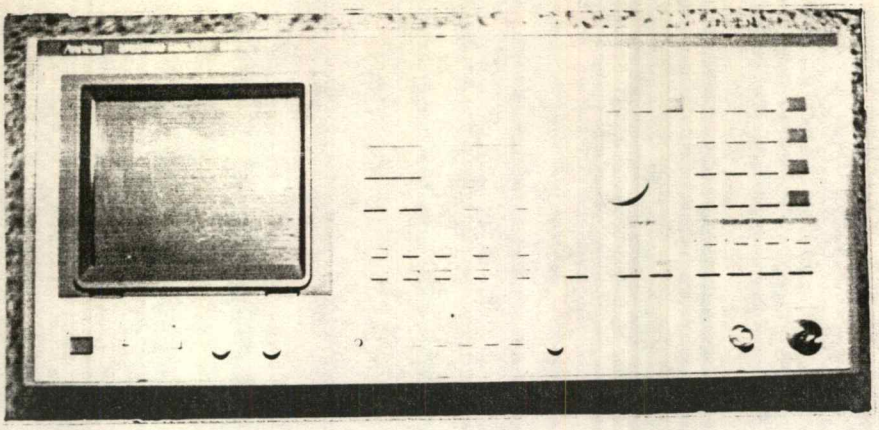


รูปแสดง ระบบฟีด

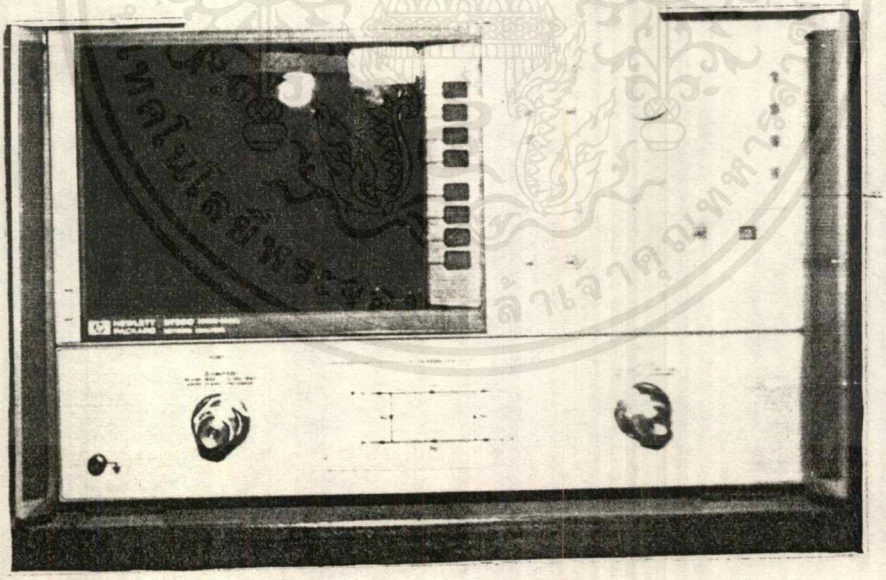


รูปแสดง จานสายอากาศแคสซิเกรนที่ประกอบเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง เครื่องสเปคตรัม อนาไลเซอร์



รูปแสดง เครื่องเนตเวอร์ค อนาไลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ฉรงค์ เหมกรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องสเปคตรัมอนาไลเซอร์ และขอขอบพระคุณ ผศ.โมไนย ไกรฤกษ์ ที่ให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งจนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณพี่ พงศ์พัชร น้อยแรม และพี่ กิตติศักดิ์ วายุภักตร์ ที่คอยให้การสนับสนุน ขอขอบใจ พรชัย ลีลาพรชัย พีรเดช วงศ์สกุลวิวัฒน์ ธีรพงศ์ ฝาเงิน บรรพต พลอินทวงษ์ ที่ช่วยขนเครื่องมือและจานสายอากาศ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ ประการ ผุศรี และ วิโรจน์ ศรแก้ว น้องปี3ที่ได้ฝ่าฟันอุปสรรคร่วมกันมาตลอดเกือบ1ปีจนโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้