



สายอากาศ เอ็กซ์โปเนนเชียลฮอร์น
EXPONENTIAL HORN ANTENNA

โดย



1. นาย ชاکวิต น้อยสุวรรณ รหัส 36013010
2. นาย วันชัย วิเศษชัยวรรณ รหัส 36013030
3. นาย สมบัติ จิตต์ประสงค์ รหัส 36013034

อาจารย์ที่ปรึกษา .

ผศ. สมผล โกศลวิตร

วัน เดือน ปี... 14 ส.ค. 2540 เลขทะเบียน... 037221 เลขเรียกหนังสือ... 138214 ช 463 ล

ปริญญาบัตรสำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศ เอ็กซ์โปเนนเชียลฮอร์น

EXPONENTIAL HORN ANTENNA

โดย



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2538

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง. สายอากาศ เอ็กซ์โปเนนเชียลฮอร์น

EXPONENTIAL HORN ANTENNA

ผู้จัดทำ

1. นาย ชาคริต น้อยสุวรรณ 36013010
2. นาย วันชัย วิเศษชัยวรรณ 36013030
3. นาย สมบัติ จิตต์ประสงค์ 36013034

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. สมผล โกศลวิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศ เอ็กซ์โปเนนเชียลฮอร์น
Exponential Horn Antenna

โดย นาย ชาคกริต น้อยสุวรรณ 36013010
นาย วันชัย วิเศษชัยวรรณ 36013030
นาย สมบัติ จิตต์ประสงค์ 36013034

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. สมผล โกศลวิตร

บทคัดย่อ

สายอากาศแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลฮอร์น ได้ถูกออกแบบที่ย่านความถี่ 1.71-1.88 GHz. ผลการทดลองได้ค่า VSWR ต่ำกว่า 1.5 : 1 ตลอดย่านความถี่ 1.71-1.88 GHz. รวมทั้งได้แสดงเรดิเอชันแพทเทิร์น, อิมพีแดนซ์ และได้คำนวณค่าเกน, ไดเรกตีวิตีและประสิทธิภาพ

ABSTRACT

- Exponential horn antenna is designed at frequency 1.71-1.88 GHz. The experiment results in VSWR less than 1.5 : 1 over the entire band of 1.71-1.88 GHz. , also expressed radiation pattern , impedances and calculated gain , directivity and efficiency.

สารบัญ

	หน้า
บทนำ	1
บทที่ 1	
1.1	2
1.2	5
บทที่ 2	
2.1	7
2.1.1	7
2.1.2	9
2.1.3	11
2.1.4	12
2.1.5	12
2.2	13
2.3	13
2.4	14
2.5	15
2.6	18
2.7	20
2.8	21
2.9	21
2.10	26
2.11	26
บทที่ 3	
3.1	28
3.2	29
3.3	30
3.4	
3.4.1	33
3.4.2	34
3.4.3	35
3.4.4	35
3.5	36

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	การออกแบบสายอากาศแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลฮอร์นและการทดลอง	
4.1	การออกแบบสายอากาศแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลฮอร์น และ การทดลองที่ ความถี่ 1.71 ถึง 1.88 GHz	38
4.1.1	การออกแบบและโครงสร้างของสายอากาศ	39
4.1.2	ขั้นตอนการทดลอง	41
	สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	75



สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	มุมมองออกของการกระคลื่นกับการลดต่ำลงของกำลังคลื่นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่	3
2.1	ระบบโคออร์ดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ	8
2.2	แพทเทิร์นของสายอากาศชี้ทิศทาง	8
2.3	แพทเทิร์นหลักระบบ E และ H ของสายอากาศปากแตร	9
2.4	a) โลบต่างๆ และมีมิตซ์ของแพทเทิร์นสายอากาศ b) แพทเทิร์นในแบบลิเนียร์	10
2.5	แสดงการแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ	11
2.6	รูปแสดงค่าจำกัดความของเรเดียนและสเตเดียน	13
2.7	มุมตันของบีมซึ่งมีแพทเทิร์นของการแพร่กระจายคลื่นที่ไม่สมมาตรและสมมาตรกัน	18
2.8	ข้ออ้างอิงและการสูญเสียของสายอากาศ	20
2.9	สายอากาศส่งและวงจรมุมูลย์	22
2.10	สายอากาศรับและวงจรมุมูลย์	25
3.1	แสดงสายอากาศแบบฮอร์นชนิดสี่เหลี่ยม	28
3.2	แสดงสายอากาศแบบฮอร์นชนิดกรวย	29
3.3	แสดงมุมและขนาดของพื้นที่รับคลื่น	30
3.4	แสดงรูปร่างทางเรขาคณิตของฮอร์นแบบกรวย	31
3.5	Directivity ของ Conical Horn เป็นฟังก์ชันของ Aperture Diameter และ Different Horn Length	32
3.6	แสดงขนาดพื้นที่รับคลื่นและแพทเทิร์น	33
3.7	Gain Correction สำหรับ Conical Horn	35
3.8	Circular Waveguide และ Radiation Field Patterns	36
4.1	กราฟแสดงสมการ Exponential ของ Exponential Horn Antenna ที่ใช้ในการออกแบบ	38
4.2	ปากสายอากาศแบบวงกลมวางอยู่ในระบบออร์ดิเนต	39
4.3	แสดงขนาดของฮอร์น	40
4.4	แสดงขนาดของ Probe ที่ใช้ในการทดลอง	40
4.5	แสดงการวางตำแหน่งของ Conector และความยาวของ Probe	41
4.6	แสดงค่า VSWR ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1	43
4.7	แสดงค่า VSWR ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 1	43
4.8	แสดงค่า VSWR ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2	44
4.9	แสดงค่า VSWR ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 2	44
4.10	แสดงค่า Impedance ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1	45

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.11	แสดงค่า Impedance ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 1	45
4.12	แสดงค่า Impedance ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2	46
4.13	แสดงค่า Impedance ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 2	46
4.14	แสดงค่า Return loss ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1	47
4.15	แสดงค่า Return loss ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 1	47
4.16	แสดงค่า Return loss ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2	48
4.17	แสดงค่า Return loss ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 2	48
4.18	แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว Horizontal	49
4.19	แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว Horizontal	49
4.20	แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว Vertical	52
4.21	แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว Vertical	52
4.22	แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Conical Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว Horizontal	55
4.23	แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Conical Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว Horizontal	55
4.24	แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Conical Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว Vertical	58
4.25	แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Conical Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว Vertical	58
4.26	แสดง Power Pattern ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1 ในระนาบ Horizontal	61
4.27	แสดง Power Pattern ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1 ในระนาบ Vertical	62
4.28	แสดง Power Pattern ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2 ในระนาบ Horizontal	63
4.29	แสดง Power Pattern ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2 ในระนาบ Vertical	64
4.30	แสดง Power Pattern ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 1 ในระนาบ Horizontal	65
4.31	แสดง Power Pattern ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 1 ในระนาบ Vertical	66
4.32	แสดง Power Pattern ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 2 ในระนาบ Horizontal	67
4.33	แสดง Power Pattern ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 2 ในระนาบ Vertical	68
4.34	เป็นค่าที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ของสายส่ง	70
4.35	เป็นค่าที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ของสายรับ	71

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.36	แสดงรูปการวัดค่า VSWR, Impedance และ Return Loss	73
4.37	แสดงรูปการปรับค่า VSWR ให้ใกล้เคียง 1 : 1 มากที่สุด	74



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	การแบ่งช่วงความถี่	5
1.2	ลักษณะของงานการสื่อสารกับช่วงความถี่ใช้งาน	5
1.3	การแบ่งช่วงความถี่ในย่านไมโครเวฟ	6
4.1	แสดงค่า Power ที่รับได้ที่องศาต่างๆ ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว Horizontal	51
4.2	แสดงค่า Power ที่รับได้ที่องศาต่างๆ ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว Horizontal	52
4.3	แสดงค่า Power ที่รับได้ที่องศาต่างๆ ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว Vertical	54
4.4	แสดงค่า Power ที่รับได้ที่องศาต่างๆ ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว Vertical	55
4.5	แสดงค่า Power ที่รับได้ที่องศาต่างๆ ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว Horizontal	57
4.6	แสดงค่า Power ที่รับได้ที่องศาต่างๆ ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว Horizontal	58
4.7	แสดงค่า Power ที่รับได้ที่องศาต่างๆ ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว Vertical	60
4.8	แสดงค่า Power ที่รับได้ที่องศาต่างๆ ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว Vertical	61

บทนำ

ปัจจุบัน ระบบการสื่อสารไมโครเวฟที่ใช้ อยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 1 - 100 GHz มีการพัฒนาเพื่อรองรับเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณ โดยสิ่งที่สำคัญที่สุดในการรับส่งสัญญาณคือ สายอากาศจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบสายอากาศเพื่อให้เหมาะสมในการรับส่งในย่านไมโครเวฟ ซึ่งสายอากาศในย่านไมโครเวฟนี้จำเป็นต้องมีท่อนำคลื่นเป็นส่วนประกอบหลัก และมีช่องปลายเปิดออกมีลักษณะคล้ายปากแตร เรียกว่า Exponential Horn Antenna สายอากาศตัวนี้นำมาจากตัวลำโพงแบบแตรที่มีขายอยู่ทั่วไป โดยเส้นผ่าศูนย์กลางของปากฮอร์นจะถูกทำให้ทางออกที่ละน้อยทำให้สายอากาศชนิดนี้มีเกนสูง เนื่องจากว่าในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางหรืออยู่ห่างไกลจากสถานีส่งสัญญาณทำให้สัญญาณที่รับได้อ่อนมาก ถ้าใช้สายอากาศที่มีเกนค่อนข้างสูงจะทำให้ประสิทธิภาพในการรับสัญญาณสูงขึ้น ด้วยเหตุดังกล่าวนี้จึงทำให้เกิดโครงงาน Exponential Horn Antenna ขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับการสื่อสารโทรคมนาคม

1.1 รูปแบบและลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสาร

รูปแบบของระบบการสื่อสารเมื่อพิจารณาจากวิธีการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับแล้วจะแบ่งกว้างๆออกเป็น 2 แบบด้วยกันคือแบบที่ใช้สายนำสัญญาณและแบบที่ใช้การกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ออกไป แบบที่ใช้สายนำสัญญาณนั้นมีประวัติการใช้ที่ยาวนานมาก โดยเริ่มต้นที่การใช้ในงานส่งโทรเลขเมื่อปีพ.ศ 2387 และส่งโทรศัพท์ในปี พ.ศ 2421 สายนำสัญญาณที่ใช้ในช่วงต้นๆ เช่น สัญญาณโทรเลขและ สัญญาณเสียง แต่ไม่เหมาะสำหรับการส่งสัญญาณความถี่สูง เพราะจะมีค่าการสูญเสียสูง และการบิดเบี้ยวก็สูงเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามก็ได้มีการพัฒนาสายนำสัญญาณแบบต่างๆ ให้เหมาะสำหรับการส่งสัญญาณความถี่สูง ซึ่งได้แก่ สายโคแอกเซียล ท่อนำคลื่น และเส้นใยแสง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการสื่อสารแบบใช้สายนำสัญญาณจะใช้ได้กับทุกย่านความถี่ยกเว้นบางความถี่ที่หาวัสดุที่เหมาะสม ในปัจจุบันการสื่อสารโดยใช้สายนำสัญญาณนี้ นอกจากจะใช้ในงานโทรเลขและโทรศัพท์ดังกล่าวแล้วยังใช้ในงานโทรทัศน์ตามสาย (Cable Television System) และในการส่งโทรภาพพร้อมกับโทรศัพท์ด้วย (Picture phone)

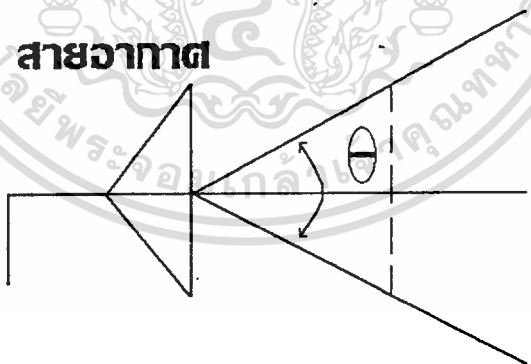
สำหรับลักษณะเฉพาะของการสื่อสารด้วยสายนำสัญญาณคือ พลังงานจะถูกส่งไปตามโครงสร้างของสายนำสัญญาณ ซึ่งจะทำให้สามารถใช้ความถี่ย่านเดียวกันนี้ ในการส่งสัญญาณอื่นโดยส่งผ่านสายนำสัญญาณสายอื่นหรือส่งในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ลักษณะดังกล่าวนี้จัดว่าเป็นข้อดีของการสื่อสารแบบนี้ ลักษณะเฉพาะอีกข้อหนึ่งคือ การสื่อสารแบบนี้ต้องมีสายนำสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการให้บริการที่มีพื้นที่จำกัดและมีผู้ใช้ บริการหนาแน่น เช่น ระบบโทรศัพท์ หรือระบบตามสาย เป็นต้น

ลักษณะเฉพาะสำคัญประการหนึ่งของระบบสื่อสารโดยใช้สายนำสัญญาณคือ การสูญเสียกำลังในสายจะอยู่ในรูปฟังก์ชัน Exponential ซึ่งโดยทั่วไปให้เข้าใจง่าย เรามักจะใช้หน่วยเป็น dB/km การสูญเสียในรูปของฟังก์ชัน Exponential ดังกล่าวนี้จะมีส่งผลในลักษณะดังต่อไปนี้ ถ้าเราใช้สายนำสัญญาณที่มีการสูญเสีย 5 dB/km ส่งสัญญาณไปตามสายยาว 10 km จะมีการสูญเสียกำลังไป 50 dB เมื่อความยาวสายเพิ่มขึ้นเป็น 20 km การสูญเสียจะเพิ่มขึ้นเป็น 100 dB หมายความว่าระยะทางเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัวกำลังของสัญญาณจะลดต่ำลงไปถึง 10^{-5} เท่าตัว และนี่เป็นเหตุผลที่การสื่อสารโดยใช้สายนำสัญญาณไม่สามารถใช้กับระยะทางไกลๆได้ ในทางปฏิบัตินั้นเมื่อมีความจำเป็นก็จะใช้ Repeater ซึ่งทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณที่มีกำลังต่ำให้มีกำลังสูงขึ้นเพื่อให้ส่งต่อไปได้อีก การติดตั้งเครื่องทวนสัญญาณนี้จะมีข้อยุ่งยากทางเทคนิคตามมาและทำให้ราคาของระบบสูงขึ้น ดังนั้นจึงติดตั้งใน Trunk line เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเฉพาะที่สำคัญอีกประการหนึ่ง ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษร่วมกันของการสื่อสารแบบใช้สายนำสัญญาณและแบบที่ใช้การกระจายคลื่นออกไป ก็คือ ความเร็วของการส่งผ่านสัญญาณ ในกรณีของการกระจายคลื่นนั้นความเร็วของการส่งผ่านจะเท่ากับความเร็วแสง ซึ่งเป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ที่มีความเร็วสูงสุดเท่าที่มนุษย์รู้จักในขณะนี้ ในกรณีของการส่งผ่านสายนำสัญญาณนั้นความเร็วของการส่งผ่านจะใกล้เคียงกับความเร็วแสง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสายนำสัญญาณนั้น เช่น สายโคแอกเซียลอาจจะมีความเร็วของการส่งผ่านเป็นประมาณ 5% ของความเร็วแสง การที่การส่งผ่านสัญญาณมีความเร็วสูงมากเช่นนี้ นับว่าเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการใช้งาน เพราะการใช้งานบางลักษณะ เช่น โทรศัพท์ เป็นต้น จะต้องการความเร็วในการส่งผ่านที่สูงมากเพื่อให้การพูดโต้ตอบกันทางโทรศัพท์เป็นไปโดยธรรมชาติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเราสามารถพูดโต้ตอบกันทางโทรศัพท์จากจุดที่ห่างกันเป็นพันหรือเป็นหมื่นหรือเป็นหมื่นกิโลเมตรได้โดยไม่รู้สึกผิดธรรมชาติ

สำหรับการสื่อสารโดยใช้การกระจายคลื่นนั้น เป็นการสื่อสารที่อาศัยการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปจากทางด้านเครื่องส่งโดยอาศัยสายอากาศ แล้วทางด้านเครื่องรับก็จะใช้สายอากาศในการรับกำลังคลื่นส่วนหนึ่งซึ่งเป็นส่วนที่น้อยมากๆ จากกำลังคลื่นที่ส่งออกมานั้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในการส่งคลื่นออกไปนี้ โดยทั่วไปคลื่นที่ถูกส่งออกไปจะทำมุมลู่ออกมุมหนึ่งดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 1 เพื่อความสะดวกในการอธิบายจะขอสมมติว่ามีการกระจายคลื่นออกไปในรูปกรวยกลม ซึ่งมีมุมยอดเป็น θ (rad) ถ้าให้กำลังคลื่นรวมที่ส่งออกไปเป็น W_T [W] เราจะพบว่ากำลังคลื่นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ระยะทาง r (m) จากแหล่งกำเนิดคลื่นเป็นดังนี้คือ



รูปที่ 1.1 มุมลู่ออกของการกระจายคลื่นกับการลดต่ำลงของกำลังคลื่นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

$$P = \frac{W_T}{\pi\theta^2 r^2 / 4} e^{-\alpha r} \quad [W/m^2] \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ α เป็นค่าคงที่ของการบั่นทอนกำลังคลื่นของตัวกลาง ค่า α นี้โดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กมาก ทำให้การสูญเสียกำลังคลื่นเนื่องจากตัวกลางมีค่าน้อยกว่าการสูญเสียเนื่องจากการรั่วออกของลำคลื่น ดังนั้นถ้าให้ $e^{-\alpha r} = 1$ ก็จะได้ผลว่าความเข้มของกำลังคลื่นนั้นจะเป็นไปตามกฎกำลังสองผกผัน เพื่อให้เห็นตัวเลขที่ชัดเจนขึ้นจะขอยกตัวอย่างกรณีที่ $\theta = \pi/3$ [rad], $r = 10$ [km] เราจะได้ค่าของกำลังคลื่นที่ตำแหน่งนี้จะประมาณ $1.2 \times 10^{-8} W_T$ [W/m^2] ดังนั้นถ้าสายอากาศที่ใช้รับกำลังคลื่นคิดเป็นพื้นที่ 1 [m^2] ก็หมายความว่า กำลังคลื่นที่สายอากาศนั้นรับเข้าไปได้เพียง $1.2 \times 10^{-8} W_T$ [W] จึงอาจจะกล่าวได้ว่า สายอากาศรับนั้นจะรับกำลังเพียงส่วนน้อยเท่านั้นจากกำลังคลื่นที่ส่งออกมาทั้งหมด

ถึงแม้ว่าสายอากาศจะรับกำลังคลื่นเข้ามาได้ดังกล่าวข้างต้น แต่ถ้าเปรียบเทียบกำลังคลื่นที่รับได้ที่ตำแหน่งห่างจากสายอากาศส่งมากขึ้น 2 เท่าตัว อย่างเช่น ที่ตำแหน่งห่างจากสายอากาศส่ง 20 [km] เมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่ห่าง 10 [km] แล้วกำลังคลื่นที่สายอากาศรับตัวเดียวกันรับได้นั้นจะลดลงเป็น $1/4$ เท่าตัว หรือ -6 [dB] เท่านั้น ลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะที่แตกต่างจากการใช้สายนำสัญญาณ และจัดว่าเป็นข้อดีของการใช้คลื่น เพราะถ้ากำลังส่งถูกออกแบบไว้ให้เหมาะสมแล้ว ที่ตำแหน่งต่างๆที่ห่างไกลออกไปจะสามารถรับสัญญาณโดยไม่ต้องใช้เครื่องทวนสัญญาณ การสื่อสารระบบนี้จึงเหมาะกับการให้บริการในพื้นที่กว้าง ซึ่งผู้ใช้บริการอาจจะอยู่กันอย่างหนาแน่นหรือไม่หนาแน่นก็ได้ตัวอย่างของการใช้งานในลักษณะนี้ก็คือการให้บริการทางด้านวิทยุกระจายเสียง และวิทยุโทรทัศน์

ลักษณะพิเศษมากของการสื่อสารโดยการกระจายคลื่นออกไปก็คือ สามารถใช้งานที่เครื่องส่งหรือเครื่องรับหรือทั้งที่เครื่องส่งและเครื่องรับเคลื่อนที่อยู่ที่ใด ตัวอย่างของการใช้งานในลักษณะนี้ก็คือ การติดต่อระหว่างเครื่องบิน รถยนต์ หรือเรือเดินสมุทรกับสถานีควบคุม หรือการติดต่อระหว่างเครื่องบินด้วยกันเอง เป็นต้น เหตุผลสำคัญที่ทำการสื่อสารในลักษณะนี้เป็นไปได้ก็คือความเร็วคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเอง กล่าวคือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3×10^8 [m/s] ซึ่งทำให้ผู้ที่อยู่ในยานพาหนะรู้สึกเหมือนกับว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านตัวเองไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้การสื่อสารเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และแน่นอนการสื่อสารในลักษณะนี้จะไม่สามารถทำโดยการใช้สายนำสัญญาณ

ข้อจำกัดประการหนึ่งของการสื่อสารโดยการกระจายคลื่นออกไปนั้น คือ การใช้ความถี่ กล่าวคือ ความถี่ที่ซ้ำกันหรือใกล้เคียงกันจะไม่สามารถนำมาใช้ในบริเวณใกล้เคียงกันได้ เพราะจะเกิดเป็นสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกัน ในปัจจุบันเนื่องจากประโยชน์ของการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสื่อสารนั้นมีสูงมาก ความถี่ของคลื่นจึงอาจจะจัดได้ว่าเป็นทรัพยากรอย่างหนึ่งของมนุษย์ จึงจำเป็นต้องมีการจัดการอย่างเหมาะสมทั้งในระดับนานาชาติและ ในระดับประเทศ องค์กรที่รับผิดชอบในการจัดการเกี่ยวกับการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในงานสื่อสารโทรคมนาคมคือสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union ย่อว่า ITU) สำหรับในแต่ละประเทศนั้นก็จะมีหน่วยงานของรัฐบาลทำหน้าที่ควบคุมดูแลอยู่ ในกรณีของประเทศไทยหน่วยงานดังกล่าวคือ กรมไปรษณีย์โทรเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การแบ่งช่วงความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและตัวอย่างการใช้งาน

เนื่องจากความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถสร้างขึ้นและนำมาใช้งานได้นั้นมีช่วงกว้างมาก ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการใช้งานจึงมีการแบ่งช่วงความถี่และมีชื่อเรียกช่วงความถี่นั้น ตารางที่ 1 แสดงช่วงความถี่และชื่อเรียกของช่วงความถี่นั้น สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ส่วนตารางที่ 2 แสดงลักษณะของการสื่อสารกับช่วงความถี่ที่ใช้

ตารางที่ 1.1 การแบ่งช่วงความถี่

ย่านความถี่	ชื่อเรียก
3-30 KHz	Very low frequency (VLF)
30-300 KHz	Low frequency (LF)
300-3,000 KHz	Medium frequency (MF)
3-30 MHz	High frequency (HF)
30-300 MHz	Very-high frequency (VHF)
300-3,000 MHz	Ultra-high frequency (UHF)
3-30 GHz	Super-high frequency (SHF)
30-300 GHz	Extremely-high frequency (EHF)

ตารางที่ 1.2 ลักษณะของงานการสื่อสารกับช่วงความถี่ใช้งาน

ช่วงความถี่ และ ประเภทของ งานสื่อสาร	VLF 10-30 kHz	LF 30-300 kHz	MF 3-3 MHz	HF 3-30 MHz	VHF 30-300 MHz	UHF 3-3 GHz	SHF 3-30 GHz	EHF 30-40 GHz
1. งานวิทยุกระจายเสียงและโทรทัศน์			0	0	0	0	0	
2. การสื่อสารระหว่างจุดต่อจุด	0	0	0	0	0	0	0	
3. วิทยุการบิน		0	0		0	0	0	
4. วิทยุเดินเรือ		0	0				0	
5. วิทยุเคลื่อนที่แบบติดยานพาหนะบนบก			0	0	0	0		
6. วิทยุสมัครเล่น				0	0	0	0	
7. งานสำรวจอวกาศ				0	0	0	0	0

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.งานด้านดาราศาสตร์					0	0	0	0
9.งานด้านอุตุนิยม						0		
10.งานด้านสื่อสารดาวเทียม							0	
11.งานเรดาร์					0	0	0	0
12.งานควบคุมวงโคจรดาวเทียม					0	0	0	

0 แสดงว่ามีการใช้งาน ความถี่ระหว่าง 1- 30 GHz นิยมเรียกกันว่า Microwave

สำหรับความถี่ในช่วง 1 - 30 GHz นั้น โดยทั่วไปจะเรียกว่า Microwave และความถี่ในช่วง 30 - 300GHz เรียกว่า Millimeter wave ความถี่ในย่านของ Microwave and Millimeter wave จะมีการแบ่งช่วงย่อยลงไปและมีชื่อเรียกเฉพาะลงไป ตารางที่ 3 แสดงการแบ่งชื่อเรียกและช่วงต่างๆ โดยแสดงทั้งชื่อเรียกแบบเก่าและแบบใหม่ ซึ่งช่วงความถี่จะไม่ตรงกันนัก อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีการจัดช่วงความถี่และชื่อเรียกแบบใหม่ขึ้นมา ชื่อเรียกแบบเก่าซึ่งกำหนดขึ้นเมื่อตอนเริ่มใช้ Microwave ใหม่ ๆ คือ ประมาณ 40 ปีเศษที่แล้ว ก็ยังนิยมใช้กันอยู่

ตารางที่ 1.3 การแบ่งช่วงความถี่ในย่าน Microwave

ช่วงความถี่	ชื่อเรียกเก่า	ชื่อเรียกใหม่
1 - 2 GHz	L	D
2 - 3 GHz	S	E
3 - 4 GHz	S	F
4 - 6 GHz	C	G
6 - 8 GHz	C	H
8 -10 GHz	X	I
10 - 12.4 GHz	X	J
12.4 - 18 GHz	Ku	J
18 - 20 GHz	K	J
20 - 26.5 GHz	K	K
26.5 - 40 GHz	Ka	K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ

2.1 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น

แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) คือรูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันสเปซโคออดิเนต (Space Coordinate) ส่วนใหญ่แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นนี้มักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far Field)

การอธิบายคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น จะอาศัยคุณสมบัติต่างๆดังต่อไปนี้ คือ ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) ความเข้มของสนาม (Field Strength) เฟส (Phase) หรือโพลาไรเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่

รูป 2.1 แสดงระบบโคออดิเนตที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นสำหรับการใช้เส้นเพื่อแสดงกำลังที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ มีชื่อเรียกว่าแพทเทิร์นกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศ และกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆที่มีรัศมีคงที่ มีชื่อเรียกว่าแพทเทิร์นสนาม (Field Pattern) ของสายอากาศนั้น

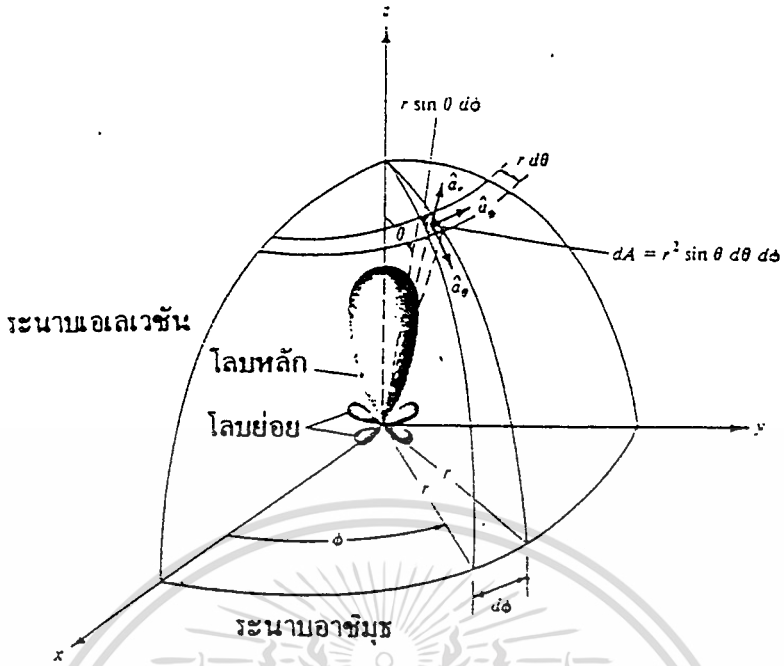
2.1.1 แพทเทิร์นแบบไอโซโทรปิก ไดเรกชันแนล และออมนิไดเรกชันแนล

ตัวแพร่คลื่นไอโซโทรปิก (Isotropic Radiator) คือสายอากาศที่ถูกสมมติขึ้น โดยมีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นเท่ากันในทุกทิศทาง ยกตัวอย่างเช่น พอยท์ซอร์ส (Point Source) เป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่ไม่สามารถสร้างได้จริง แต่มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติ แสดงทิศทางของสายอากาศ

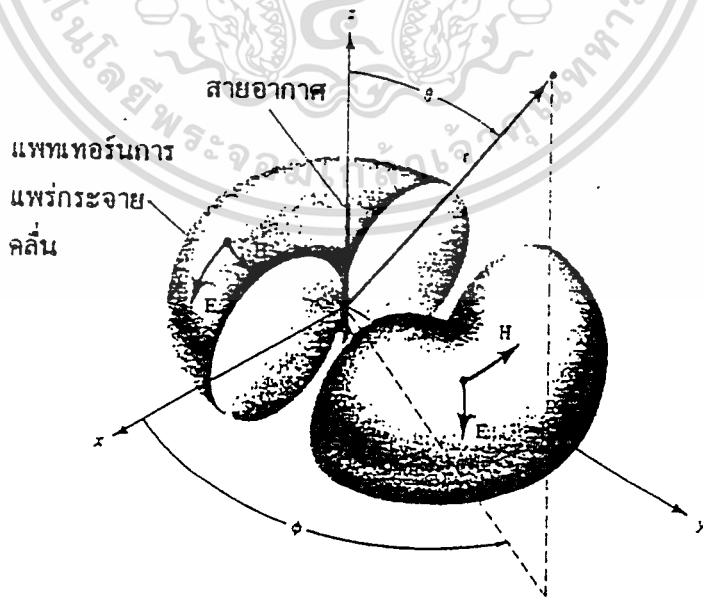
สายอากาศชี้ทิศทาง (Directional Antenna) เป็นสายอากาศซึ่งมีคุณสมบัติของการส่งหรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี ในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น Point Source เป็นสายอากาศสายอากาศแบบหนึ่งที่ไม่สามารถสร้างได้จริง แต่มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบคุณสมบัติ แสดงทิศทางของสายอากาศ

สายอากาศชี้ทิศทาง (Isotropic Radiation) เป็นสายอากาศซึ่งมีคุณสมบัติของการรับส่งหรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ดี ในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น ตัวอย่างของสายอากาศที่มีคุณสมบัติดังกล่าวคือ Omnidirectional Antenna คุณสมบัติของสายอากาศแบบนี้แสดงในรูป 2.2

จากรูปจะเห็นว่าแพทเทิร์นแบบนี้ ไม่มีทิศทางในระนาบอาซิมุท (Azimuth Plane) $f(\phi), \theta =$ ค่าคงที่) แต่เป็นแบบชี้ทิศทางในระนาบเอเลเวชัน (Elevation Plane) $g(\theta), \phi =$ ค่าคงที่) แพทเทิร์นแบบอมนิไดเรกชันแนลเป็นกรณีพิเศษของแพทเทิร์นแบบชี้ทิศทาง



รูปที่ 2.1 ระบบโคออร์ดิเนตสำหรับกาวิเคราะห์สายอากาศ

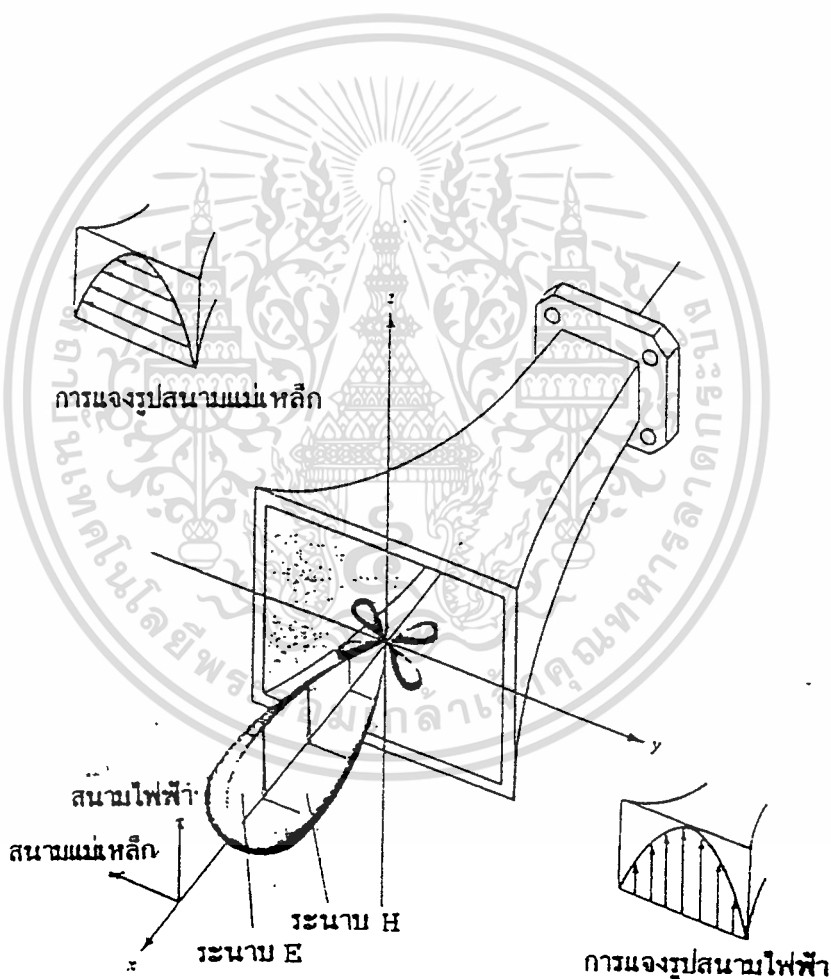


รูปที่ 2.2 แพทเทอร์นของสายอากาศที่ทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษานานาชาติ โดยผู้ดูแลให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

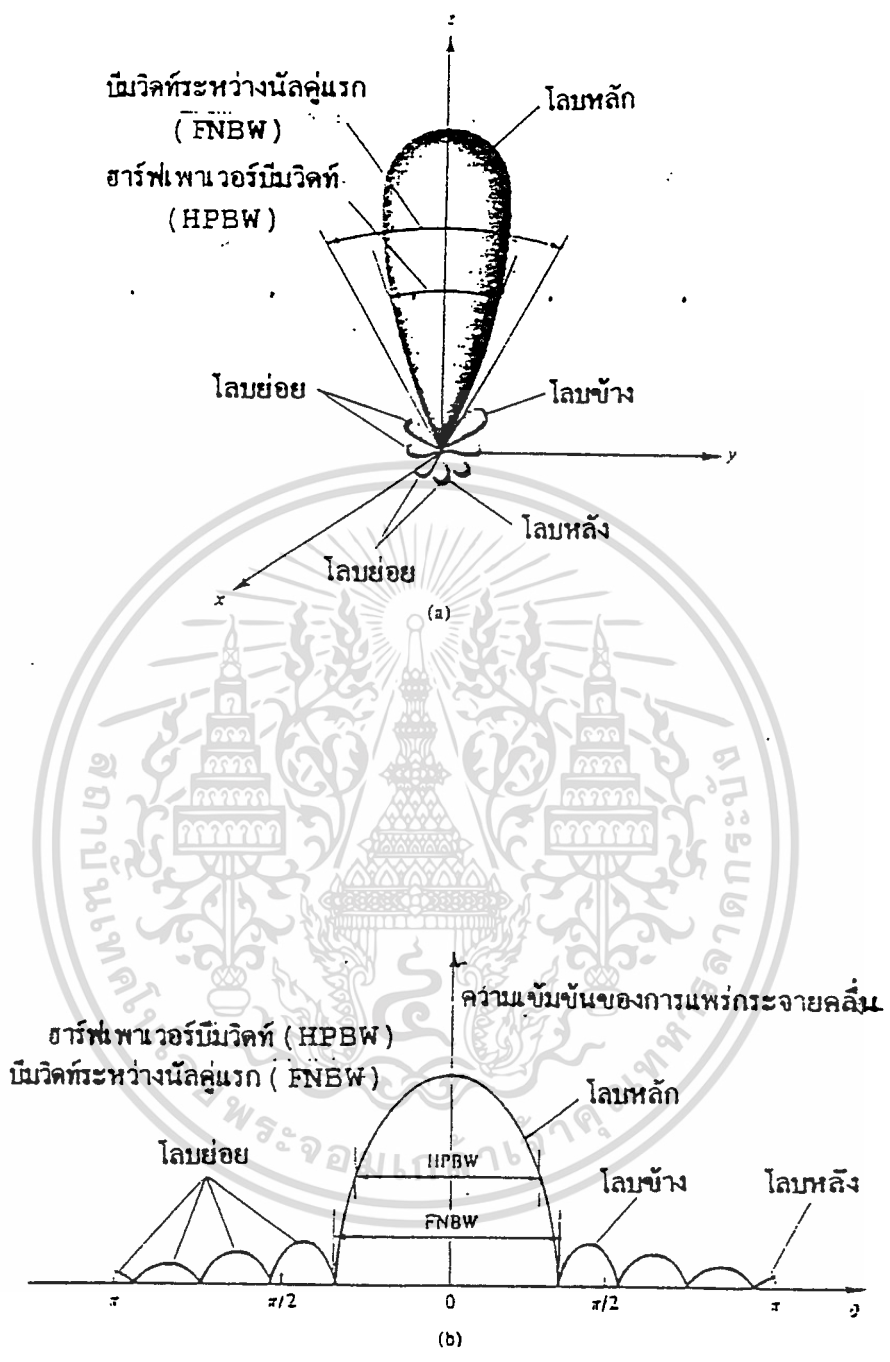
2.1.2 แพทเทิร์นหลัก

เรามักจะอธิบายคุณสมบัติของอากาศในทอมแพทเทิร์นหลัก (Principle Pattern) ของสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H สำหรับสายอากาศลิเนียร์โพลาไรเซชัน (Linearly Polarization) แพทเทิร์นในระนาบ E จะเป็นระนาบที่บรรจุแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้า และทิศทาง ของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ส่วนแพทเทิร์นในระนาบ H จะเป็นระนาบที่บรรจุแอมพลิจูดของสนามแม่เหล็ก และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ตัวอย่างการแสดงผลแพทเทิร์นหลักมีดังแสดงในรูป 2.3 โดยมีระนาบ XZ (ระนาบเอเลเวชัน; $\theta = 0$) เป็นระนาบ E หลัก และมีระนาบ XY (ระนาบอาซิมูท, $\theta = \frac{\pi}{2}$) เป็นระนาบ H หลัก



รูปที่ 2.3 แพทเทิร์นหลัก ระนาบ E และ H ของสายอากาศปากแตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 a) โลบต่างๆและบีมวิคท์ของแพทเทอรินสายอากาศ
 b) แพทเทอรินในแบบลิเนียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 โลบลึกแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น

โอบของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของการแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นที่เป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่ำ รูป 2.4 แสดงโอบการแพทเทิร์น (Polar Pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งเป็นโอบแบบต่างๆดังนี้

โอบหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นโอบของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งอยู่ในทิศทางที่การแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ตามรูป 2.4 มีโอบหลักอยู่ในทิศทาง $\theta=0$ สำหรับสายอากาศบางชนิดอาจมีโอบมากกว่าหนึ่งโอบ เช่น สายอากาศแยกบีม (split Beam Antenna)

โอบย่อย (Minor Lobe) ได้แก่ โอบอื่นๆนอกเหนือไปจากโอบหลัก

โอบข้างหรือไซด์โอบ (Side Lobe) เป็นโอบย่อยที่อยู่ติดกับโอบหลัก และอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโอบหลัก

โอบหลัง (Back Lobe) เป็นโอบย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโอบหลัก ปกติแล้วโอบย่อยจะเกิดการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสำหรับสายอากาศที่จะต้องกำจัดโอบเหล่านี้ให้น้อยที่สุด ระดับของโอบย่อยแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในโอบที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของพลังงานในโอบหลัก ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนของไซด์โอบ (Side Lobe Ratio) หรือระดับของไซด์โอบ (Side Lobe Level : SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักต้องการให้ระดับของไซด์โอบน้อยกว่า -20 dB



$$R_1 = 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad R_2 = 2 \frac{D^2}{\lambda}$$

รูปที่ 2.5 แสดงการแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 บริเวณต่างๆของสนามจากสายอากาศ

โดยทั่วไปมักจะแบ่งบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศออกเป็น 3 ส่วน คือ สนามรีแอกทีฟระยะใกล้ (Reactive-Near Field) สนามกระจายระยะใกล้ (Radiating-Near Field) และสนามระยะไกล (Far Field) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

บริเวณสนามรีแอกทีฟระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามที่ล้อมรอบสายอากาศมากที่สุด และเป็นสนามชนิดรีแอกทีฟเป็นส่วนใหญ่ บริเวณนี้จะมีระยะทาง $R < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$ จากผิวของสายอากาศ เมื่อ λ เป็นความยาวคลื่น และ D เป็นมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ

บริเวณสนามกระจายระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามของสายอากาศซึ่งอยู่ระหว่างสนามรีแอกทีฟระยะใกล้กับสนามระยะไกล โดยมีสนามจะกระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ และการกระจายของสนามตามมุมต่างๆนั้น แปรผันตามระยะทางจากสายอากาศ เมื่อสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น สนามในบริเวณนี้อาจไม่เกิดขึ้น ในบริเวณนี้จะมีระยะทาง $0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R \leq 2 \frac{D^2}{\lambda}$

บริเวณสนามระยะไกล เป็นบริเวณสนามของสายอากาศซึ่งการแพร่ของสนามของสายอากาศตามมุมต่างๆไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีมิติที่ใหญ่เท่ากับ D บริเวณสนามระยะไกลจะเกิดขึ้นที่ระยะทาง R มากกว่า $\frac{2D^2}{\lambda}$ จากสายอากาศ

ในบริเวณนี้สนามมีลักษณะเป็นสนามตัดขวาง (Transverse Field) และการแพร่กระจายตามมุมต่างๆไม่ขึ้นกับระยะทาง ขอบในของบริเวณดังกล่าวมีค่า R เท่ากับ $\frac{2D^2}{\lambda}$ จากสายอากาศ

2.1.5 เรเดียนและสเตอเรเดียน

การวัดมุมบนระนาบจะมีหน่วยเป็นเรเดียน 1 เรเดียนเป็นมุมบนระนาบ ซึ่งยอดของมันอยู่ที่จุดศูนย์กลางของวงกลมที่มีรัศมี r ดังแสดงในรูปที่ 2.6 a เนื่องจากเส้นรอบวงที่มีรัศมี r มีความยาว $c = 2\pi r$ ดังนั้นบนหนึ่งรอบของวงกลม จะมี 2π เรเดียน $(2\pi \frac{r}{r})$

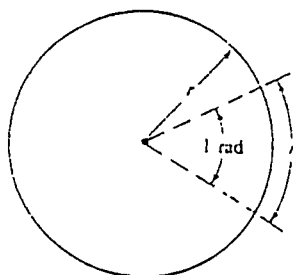
การวัดมุมตันมีหน่วยเป็นสเตอเรเดียน (sr) หนึ่งสเตอเรเดียนเป็นมุมตันที่มียอดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมี r ดังแสดงในรูปที่ 2.6 b เนื่องจากพื้นที่ของทรงกลมรัศมี r มีค่าเท่ากับ $4\pi r^2$ ดังนั้นตลอดทรงกลมจะมี $4\pi \frac{r^2}{r^2}$

ตามรูปที่ 2.1 พื้นที่ขนาดจิ๋ว dA บนผิวของทรงกลมรัศมี r จะคำนวณได้เป็น

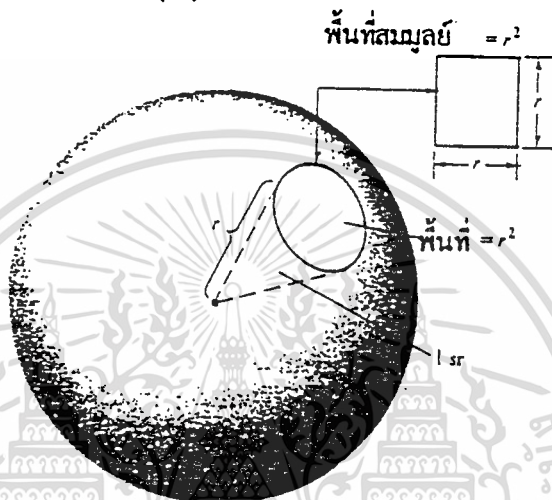
$$dA = r^2 \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (\text{m}) \quad (2.1)$$

ดังนั้น Element ของมุมตัน $d\Omega$ ของทรงกลมเขียนได้เป็น

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (\text{sr}) \quad (2.2)$$



(a) เรเดียน



(b) สเตอเรเดียน

รูปที่ 2.6 รูปแสดงค่าจำกัดความของเรเดียนและสเตอเรเดียน

2.2 ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์ (Half-Power Beamwidth : HPBW) เป็นมุมที่วัดระหว่างจุดที่ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในโลบหลัก มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดสองจุด ดังแสดงในรูป 2.4 เพื่อความสะดวกต่อไปจะใช้คำย่อ HPBW แทน

2.3 ความหนาแน่นของกำลังงานที่แพร่กระจาย

เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งข่าวสารผ่านตัวกลางถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับพลังงานและกำลังงานไฟฟ้า โดยใช้ตัวความสัมพันธ์ดังกล่าวได้แก่ พอยดิงเวคเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น (Instantaneous Poynting Vector) ซึ่งสมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$W = \mathcal{E} \times \mathcal{H} \quad (2.3)$$

$$W = \text{พอยดิงเวคเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น} \quad (\text{W/m}^2)$$

$$\mathcal{E} = \text{ความเข้มสนามไฟฟ้าชั่วขณะเวลานั้น} \quad (\text{V/m})$$

$$\mathcal{H} = \text{ความเข้มสนามแม่เหล็กชั่วขณะเวลานั้น} \quad (\text{A/m})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากพอยดิงเวกเตอร์มีความหมายแสดงถึงความหนาแน่นของกำลังงาน ดังนั้นกำลังงานทั้งหมดที่พุ่งตัดผ่านพื้นผิวปิดจะสามารถหาได้โดย อินทิเกรทส่วนของพอยดิงเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิวทั้งหมด ซึ่งเมื่อเขียนเป็นสมการจะได้

$$\mathcal{P} = \oint_s \mathbf{W} \cdot \overline{d\mathbf{s}} = \oint_s \mathbf{W} \cdot \overline{\mathbf{n}} da \quad (2.4)$$

$$\mathcal{P} = \text{กำลังงานทั้งหมดชั่วขณะเวลานั้น} \quad (\text{W})$$

$$da = \text{พื้นที่จวบพื้นที่ปิด} \quad (\text{m}^2)$$

ในกรณีของสนามที่แปรผันตามเวลา มักจะหาค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของกำลังงานได้โดยการอินทิเกรทค่าพอยดิงเวกเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น ตลอดหนึ่งคาบ แล้วหารด้วยคาบเวลานั้น สำหรับ

สนามที่แปรผันกับเวลา ซึ่งกระจายเป็นฮาร์โมนิค ในรูป $e^{j\omega t}$ เมื่อกำหนดสนาม \vec{E} และ \vec{H} เป็นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเชิงซ้อน แล้วจะหาความสัมพันธ์กับค่า \mathcal{E} และ \mathcal{H} ชั่วขณะเวลาใดๆได้

$$\mathcal{E}(x,y,z;t) = \text{Re}[\vec{E}(x,y,z)e^{j\omega t}] \quad (2.5)$$

$$\mathcal{H}(x,y,z;t) = \text{Re}[\vec{H}(x,y,z)e^{j\omega t}] \quad (2.6)$$

$$\text{จาก (2.5), (2.6) และโดยอาศัย } \text{Re}[\vec{E}e^{j\omega t}] = \frac{1}{2} [\vec{E}e^{j\omega t} + \vec{E}^*e^{-j\omega t}] \quad (2.3) \text{ จะ}$$

$$\text{เขียนได้ใหม่เป็น } \mathcal{W} = \mathcal{E} \times \mathcal{H} = \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*] + \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H} e^{j2\omega t}] \quad (2.7)$$

เทอมแรกของ (2.7) ไม่เป็นฟังก์ชันของเวลา และเทอมที่สองมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นสองเท่าของความถี่ที่กำหนดให้ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของพอยดิงเวกเตอร์ จึงสามารถที่จะหาได้เป็น

$$\vec{W}_{av}(x,y,z) = [\mathcal{W}(x,y,z;t)]_{av} = \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*] \quad (\text{w/m}^2) \quad (2.8)$$

ตัวประกอบ $\frac{1}{2}$ ใน (2.7) และ (2.8) เกิดขึ้น เพราะสนาม \vec{E} และ \vec{H} เป็นค่าสูงสุด ไม่ใช่ค่า rms จาก (2.8) กำลังงานเฉลี่ยที่แพร่กระจายจากสายอากาศ จะเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} P_{rad} = P_{av} &= \oint_s \vec{W}_{rad} \cdot \overline{d\mathbf{s}} \\ &= \oint_s \vec{W}_{av} \cdot \overline{d\mathbf{s}} \\ &= \frac{1}{2} \oint_s \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*] \cdot \overline{d\mathbf{s}} \end{aligned} \quad (2.9)$$

2.4 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

คำจำกัดความของคำว่า ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ในทิศทางที่กำหนดให้คือ กำลังงานที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น สามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่นและผลจากกำลังสองของระยะทางซึ่งเขียนเป็นสมการ

ได้ดังนี้คือ

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.12)$$

เมื่อ U = ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

W_{rad} = ความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่น (W/m²)

ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น ถ้าจะเขียนแสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศ

ในระยะไกลได้คือ

$$\begin{aligned} U(\theta, \phi) &= \frac{r^2}{2\eta} |\vec{E}(r, \theta, \phi)|^2 \\ &\equiv \frac{r^2}{2\eta} \left[|E_\theta(r, \theta, \phi)|^2 + |E_\phi(r, \theta, \phi)|^2 \right] \\ &\equiv \frac{1}{2\eta} \left[|E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2 \right] \end{aligned} \quad (2.12a)$$

เมื่อ \vec{E} = ความเข้มของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

E_θ, E_ϕ = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

η = อินทริเนสิกอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง

ดังนั้นแพทเทิร์นของกำลังงานก็ใช้เพื่อแสดงถึงความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นได้เช่นกัน

กำลังงานทั้งหมดนี้หาได้โดยการอินทิเกรตความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น ตาม(2.12) ตลอด

มุมตัน 4π ทั้งหมด ซึ่งจะได้

$$P_{rad} = \iint_{\Omega} U d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin\theta \, d\theta \, d\phi \quad (2.13)$$

ในกรณีของพอยท์ซอร์ส U จะไม่ขึ้นอยู่กับค่ามุม θ และ ϕ ดังนั้น

$$\begin{aligned} P_{rad} &= \iint_{\Omega} U_0 d\Omega = U_0 \iint_{\Omega} d\Omega \\ &= 4\pi U_0 \end{aligned} \quad (2.14)$$

เมื่อหาความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของพอยท์ซอร์ส

$$U = \frac{P_{rad}}{4\pi} \quad (2.15)$$

2.5 ไดเรกทิวิตี

เพื่อให้เข้าใจถึงไดเรกทิวิตี (Directivity) เราจำเป็นต้องรู้จักไดเรกทิฟเกน (Directive Gain) ไว้ก่อน

ไดเรกทิฟเกนในทิศทางที่กำหนด คืออัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในทิศทาง

นั้นต่อความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ซึ่งใช้สำหรับอ้างอิง ซึ่งปกติสายอากาศที่ใช้

สำหรับอ้างอิงนี้จะใช้อ้างอิงนี้จะใช้ Isotropic Point Source

ไดเรกทิวิตี คือค่าของไดเรกทิฟเกน ในทิศทางที่มากที่สุด หรือกล่าวง่าย ๆ ว่า ไดเรกทิวิตี

ของต้นกำเนิด (สายอากาศ) ที่ไม่เป็นไอโซโทรปิก คืออัตราส่วนความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นที่มากที่สุด

ต่อ ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส เขียนเป็นสมการได้ว่า ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_g = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.16)$$

$$D_0 = \frac{U_{MAX}}{U_0} = \frac{4\pi U_{MAX}}{P_{rad}} \quad (2.17)$$

D_g = ไดเรกทีฟเกน (ไม่มีหน่วย)

D_0 = ไดเรกทีฟิตี (ไม่มีหน่วย)

U = ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (w/หน่วยมุมตัน)

U_{MAX} = ค่าสูงสุดของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (w/หน่วยมุมตัน)

U_0 = ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส (w/หน่วยมุมตัน)

P_{rad} = กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด (w)

จาก (2.16) และ (2.17) เราจะทราบว่า ไดเรกทีฟเกนและไดเรกทีฟิตีของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สมีค่าเป็นหนึ่ง ทั้งนี้เพราะว่า U, U_{MAX} และ U_0 ต่างมีค่าเท่ากัน

ไดเรกทีฟิตีของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สมีค่าเท่ากับหนึ่ง เพราะว่ามันแผ่กระจายกำลังงานออกไปในทุกทิศทางด้วยค่าที่เท่ากัน แต่สำหรับต้นกำเนิด (สายอากาศ) แบบอื่น ๆ นั้นย่อมมีไดเรกทีฟิตีมากกว่าหนึ่งเสมอ

ข้อสรุปอีกอย่างหนึ่งในที่นี้ก็คือ ค่าของไดเรกทีฟเกนจะมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์และน้อยกว่าหรือเท่ากับไดเรกทีฟิตี ($0 \leq D_g \leq D_0$)

โดยทั่วไปสูตรของไดเรกทีฟเกนและไดเรกทีฟิตี อาจเป็นฟังก์ชันของทั้งมุม θ, ϕ ด้วย (ที่แล้วมาแสดงเฉพาะฟังก์ชันของมุม θ เท่านั้น)

ต่อไปลองสมมติให้ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นอยู่ในลักษณะดังต่อไปนี้คือ

$$U = B_0 F(\theta, \phi) \equiv \frac{\left[|E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2 \right]}{2\eta} \quad (2.18)$$

เมื่อ B_0 เป็นค่าคงที่ และ E_θ และ E_ϕ เป็นส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าที่ระยะไกล ค่าสูงสุดของ (2.18) หาได้คือ

$$U_{MAX} = B_0 F(\theta, \phi)|_{MAX} = B_0 F_{MAX}(\theta, \phi) \quad (2.19)$$

กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมดหาได้จาก

$$\begin{aligned} P_{rad} &= \iint_{\Omega} U(\theta, \phi) d\Omega \\ &= B_0 \int_0^{2\pi} \int_0^\pi F(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi \end{aligned} \quad (2.20)$$

ดังนั้นจะได้สูตรทั่วไปของไดเรกทีฟเกนและไดเรกทีฟิตีเป็นดังนี้คือ

$$D_g(\theta, \phi) = 4\pi \frac{F(\theta, \phi)}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi F(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi} \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_0(\theta, \phi) = 4\pi \frac{F(\theta, \phi)|_{MAX}}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} F(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi} \quad (2.22)$$

หรือเขียน (2.22) ใหม่ได้เป็น

$$D_0 = \frac{4\pi}{\left[\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} F(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi \right] / F(\theta, \phi)|_{MAX}} = \frac{4\pi}{\Omega_A} \quad (2.23)$$

เมื่อ Ω_A เป็นมุมตันของบีม (Beam) ซึ่งหาได้จาก

$$\begin{aligned} \Omega_A &= \frac{1}{F(\theta, \phi)|_{MAX}} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} F(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi \\ &= \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} F_n(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi \end{aligned} \quad (2.24)$$

$$F_n(\theta, \phi) = \frac{F(\theta, \phi)}{F(\theta, \phi)|_{MAX}} \quad (2.25)$$

$F(\theta, \phi)|_{MAX}$ นำมาหารใน (2.25) เพื่อ Normalize ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น $F(\theta, \phi)$ ให้มีค่าสูงสุดเป็น 1

มุมตันของบีม Ω_A มีค่าจำกัดความว่าเป็นมุมตันซึ่งกำลังทั้งหมดของสายอากาศจะไหลผ่านเมื่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นคงที่ (และมีค่าสูงสุดเท่ากับค่าของ U) ที่ทุกมุมภายใน Ω_A

สายอากาศซึ่งมีโลบหลักแคบๆ เพียงโลบเดียว และมีโลบย่อยที่มีขนาดเล็กจนสามารถตัดทิ้งได้ มุมตันของบีมจะมีค่าประมาณเท่ากับผลคูณของ HPBW ในสองระนาบ ซึ่งตั้งฉากกัน ดังแสดงในรูป 2.7 a สำหรับแพทเทิร์นของสายอากาศที่หุนแล้วสมมาตรกันโดยรอบ HPBW ในระนาบใดๆจะเท่ากัน ดังแสดงในรูป 2.7 b

โดยอาศัยการประมาณนี้ (2.23) จะเขียนได้ใหม่เป็นดังต่อไปนี้

$$D_0 = \frac{4\pi}{\Omega_A} \cong \frac{4\pi}{\Theta_{1r} \Theta_{2r}} \quad (2.26)$$

มุมตันของบีม Ω_A ประมาณได้จาก

$$\Omega_A = \Theta_{1r} \Theta_{2r}$$

เมื่อ Θ_{1r} = HPBW ในระนาบใดๆ (เรเดียน)

Θ_{2r} = HPBW ในระนาบซึ่งตั้งฉากกับระนาบแรก (เรเดียน)

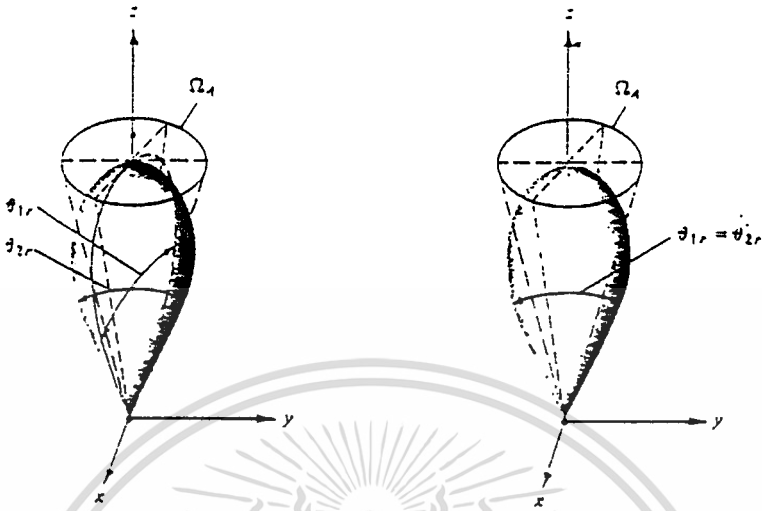
เมื่อรู้บีมวิฑเป็นองศา (2.26) จะตัดแปลงให้เหมาะสมที่จะแทนค่าบีมวิฑนั้น โดยตรงได้เป็น

$$D_0 \cong \frac{4\pi \left(\frac{180}{\pi} \right)^2}{\Theta_{1d} \Theta_{2d}} = \frac{41253}{\Theta_{1d} \Theta_{2d}} \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ปฏิบัติงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Θ_{1d} = HPBW ในระนาบใดๆ (องศา)

Θ_{2d} = HPBW ในระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบแรก (องศา)



รูปที่ 2.7 มุมตันของบีมซึ่งมีแพทเทิร์นของการแพร่กระจายคลื่นที่ไม่สมมาตรและสมมาตรกัน สำหรับ Planar Array จะประมาณ (2.28) ได้เป็นดังนี้คือ

$$D_0 = 32400/\Omega_A^2 \text{ (องศา)} = \frac{32400}{\Theta_{1d} \Theta_{2d}} \quad (2.28 \text{ a})$$

(2.26) และ (2.28) จะใช้ได้ผลดี เมื่อแพทเทิร์นมีโลบหลักเพียงโลบเดียวและโลบย่อยจะต้องมีขนาดเล็กมากๆ เท่านั้น สำหรับแพทเทิร์นที่มี 2 โลบหลักที่เหมือนกัน ค่าไดเรกทิวิตีที่หาได้จาก (2.26) และ (2.28) จะเป็น 2 เท่าของค่าจริง ส่วนแพทเทิร์นที่มีโลบย่อยที่ระดับสูง การหาไดเรกทิวิตีโดยใช้ (2.26) และ (2.28) ซึ่งตัดโลบย่อยทิ้ง จะมีค่าสูงเกินความจริง

โดยปกติเรามักจะแสดงไดเคทิฟแกนและไดเรกทิวิตีเป็นเดซิเบล (dB)

$$D_g(\text{dB}) = 10 \log_{10}[D_g \text{ (ไม่มีหน่วย)}] \quad (2.29)$$

$$D_0(\text{dB}) = 10 \log_{10}[D_0 \text{ (ไม่มีหน่วย)}] \quad (2.30)$$

2.6 เกน

สิ่งที่แสดงคุณสมบัติของสายอากาศอีกอย่างก็คือเกน (Gain)

เกนเป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากไดเรกทิวิตี โดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามามีด้วย ในขณะที่ไดเรกทิวิตี อธิบายคุณสมบัติ ในทิศทางของสายอากาศเท่านั้น

เพาเวอร์เกน (Power Gain) ของอากาศ ในทิศทางที่กำหนดให้นั้นมีเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความของการแพร่กระจายคลื่น ในทิศทางที่ต่อกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากหัวต่อของเครื่องส่ง เมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้ โดยเฉพาะโดยทั่วไปแล้วเราจะคิดเพาเวอร์เกนในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\begin{aligned} \text{เกน} &= 4\pi \text{ (ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น) / (กำลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้สายอากาศ)} \\ &= 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (\text{ไม่มีหน่วย}) \end{aligned} \quad (2.31)$$

โดยทั่วไปแล้วเรามักจะพูดถึงเกนสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของเพาเวอร์เกนในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อเพาเวอร์เกนของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศทั้งสอง นั้นต้องเท่ากัน สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจจะเป็นสายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร หรือสายอากาศอื่นๆ ซึ่งคำนวณเกนได้ง่าย หรือรู้ค่าอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตามโดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็นไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้น

$$G_g = 4\pi U(\theta, \phi) / P_{in} \text{ (ไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย)} \quad (2.32)$$

จากรูป 2.7 a เราสามารถเขียนได้ว่า กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด (P_{rad}) สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ (P_{in}) ด้วย

$$P_{rad} = e_r P_{in} \quad (2.33)$$

เมื่อ e_r เป็นประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) ใช้ (2.33) จะทำให้ (2.32) มีความสัมพันธ์เข้าเป็น

$$G_g(\theta, \phi) = e_r \left[4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \right] \quad (2.34)$$

ซึ่งสัมพันธ์กับไดเรกทิวิตีใน (2.21) คือ

$$G_g(\theta, \phi) = e_r D_g(\theta, \phi) \quad (2.35)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าสูงสุดของเกนจะสัมพันธ์กับไดเรกทิวิตี โดย

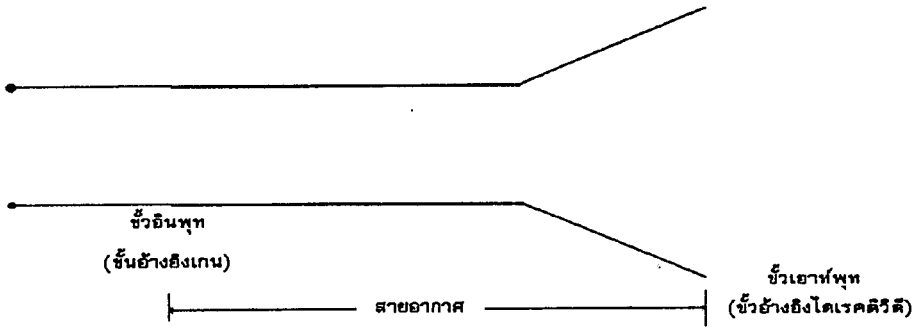
$$\begin{aligned} G_0 &= G_g(\theta, \phi)|_{MAX} = e_r D_g(\theta, \phi)|_{MAX} \\ &= e_r D_0 \end{aligned} \quad (2.36)$$

ดังนั้นค่าประมาณของเกนจะเป็น

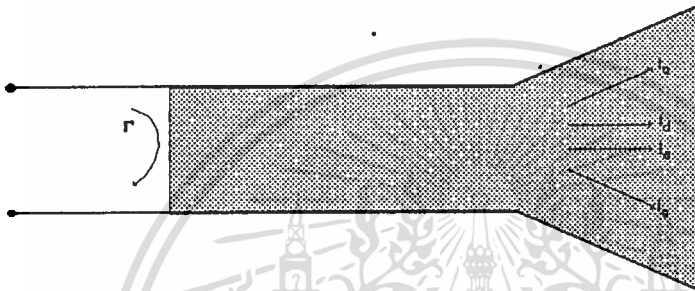
$$G_0 \cong \frac{30,000}{\Theta_{1d} \Theta_{2d}} \quad (2.36a)$$

ในทางปฏิบัติเมื่อกล่าวถึงเกนมักจะหมายถึง เพาเวอร์เกนที่มีค่าสูงสุด ดังแสดงใน (2.36)

$$G_0(dB) = 10 \log_{10} \{e_r D_0 (\text{ไม่มีหน่วย})\} \quad (2.37)$$



๑) ขั้วอ้างอิงของสายอากาศ



๒) การสูญเสียจากการสะท้อนตัวนำและไดอิเล็กตริก

รูปที่ 2.8 ขั้วอ้างอิง และการสูญเสียของสายอากาศ

2.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ e_t จะใช้เมื่อคำนวณการสูญเสียต่างๆที่ขั้วและภายในโครงสร้างของสายอากาศด้วย การสูญเสียต่างๆเมื่ออ้างอิงตามรูป 2.8b อาจเนื่องมาจาก

1. การสะท้อนกลับเนื่องจากความไม่สมพวงษ์ (Mismatch) กันระหว่างสายส่ง (Transmission Line) กับสายอากาศ

2. การสูญเสียทั้งในตัวนำและฉนวน (I^2R)

โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพทั้งหมด คำนวณได้จาก

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (2.38)$$

เมื่อ e_t = ประสิทธิภาพทั้งหมด (ไม่มีหน่วย)

$$e_r = \text{ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับ} = (1 - |\Gamma|^2) \text{ (ไม่มีหน่วย)}$$

$$e_c = \text{ประสิทธิภาพของตัวนำ (ไม่มีหน่วย)}$$

$$e_d = \text{ประสิทธิภาพของฉนวน (ไม่มีหน่วย)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Γ = สัมประสิทธิ์การสะท้อนของศักดาไฟฟ้าที่หัวของสายอากาศ

$$\left[\Gamma = \frac{(Z_{in} - Z_0)}{(Z_{in} + Z_0)} \right] \text{ เมื่อ } Z_{in} = \text{อิมพิแดนซ์ที่แดนซ์ของสายอากาศ}$$

Z_0 = อิมพีแดนซ์คุณสมบัติ (Characteristic Impedance) ของสายส่ง

ปกติ e_c และ e_d คำนวณหาได้ลำบาก ส่วนมากหาได้จากการทดลอง แต่ถึงกระนั้นก็แยก

e_c และ e_d ไม่ออก ดังนั้นเพื่อความสะดวกมักจะเขียน (2.38) ใหม่เป็น

$$e_r = e_r e_{cd} = e_{cd} (1 - |\Gamma|^2) \quad (2.39)$$

$e_{cd} = e_c e_d =$ ประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

2.8 ประสิทธิภาพของบีม

พารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่จะใช้ตัดสินว่า สายอากาศมีคุณภาพของการส่งหรือรับคลื่นได้ดีเพียงใด นั้น ได้แก่ ประสิทธิภาพของบีม (Beam Efficiency : BE) สำหรับสายอากาศซึ่งมีโลบหลักอยู่ในทิศทางแกน Z ($\theta = 0$) ดังแสดงในรูป 2.4a ประสิทธิภาพของบีมจะกำหนดได้ดังนี้คือ

BE = (กำลังที่ส่ง(หรือรับ)ภายในกรวยซึ่งทำมุม θ_1) / (กำลังงานที่ส่ง(หรือรับ)ทั้งหมดด้วยสายอากาศนั้น) (ไม่มีหน่วย) (2.40)

เมื่อ θ_1 เป็นมุมที่มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของมุมกรวย ที่เราต้องการจะหาเปอร์เซ็นต์ของกำลังงานทั้งหมดในนั้น ดังนั้นจะเขียน (2.40) ได้เป็นดังนี้

$$BE = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_1} U(\theta, \phi) \sin \theta \, d\theta \, d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} U(\theta, \phi) \sin \theta \, d\theta \, d\phi} \quad (2.41)$$

เมื่อให้ θ_1 เป็นมุมที่เกิดมีนัล (Null) คือ จุดตำแหน่งที่กำลังมีค่าเป็นศูนย์เป็นคู่แรก ดังนั้น ประสิทธิภาพของบีมจะเป็นปริมาณที่แสดงถึงอัตราส่วนของจำนวนกำลังงานในโลบหลักต่อกำลังงานที่มีทั้งหมด

2.9 อินพุทอิมพีแดนซ์

อินพุทอิมพีแดนซ์ (Input Impedance) ของสายอากาศใดๆ จะเป็นอิมพีแดนซ์ที่หัวของสายอากาศนั้นๆ อาจเป็นอัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้าที่หัวของสายอากาศนั้น หรือเป็นอัตราส่วนของสนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็กที่จุดใดๆ ในรูป 2.9a a-b เป็นหัวของสายอากาศ อัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าที่หัวนี้ เมื่อไม่ได้ต่อโหลด (Load) จะเป็นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ซึ่งมีค่า

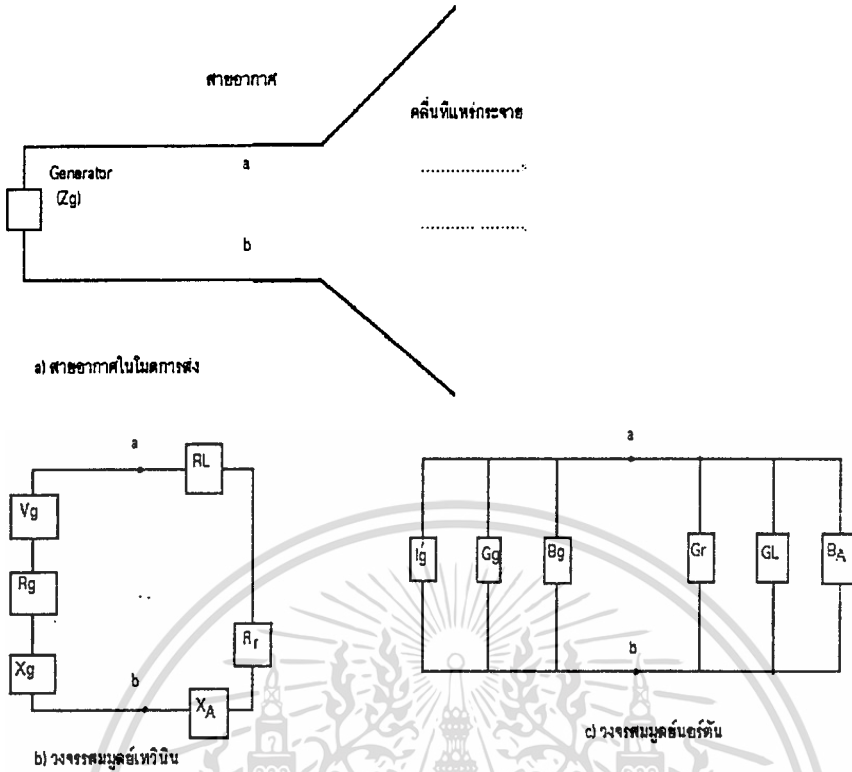
$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.42)$$

เมื่อ Z_A = อิมพีแดนซ์ที่หัว a-b ของสายอากาศ (โอห์ม)

R_A = ความต้านทานที่หัว a-b ของสายอากาศ (โอห์ม)

X_A = รีแอกแตนซ์ที่หัว a-b ของสายอากาศ (โอห์ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 สายอากาศส่งและวงจรสมมูลย์

โดยทั่วไปค่าความต้านทานใน (2.42) จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้คือ

$$R_A = R_r + R_L \tag{2.43}$$

เมื่อ R_r = ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

R_L = ความต้านทานการสูญเสียของสายอากาศ

ถ้าสมมติว่าสายอากาศถูกต่อเชื่อมอยู่กับเครื่องกำเนิดสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์ภายในเป็นดังนี้

$$Z_g = R_g + jX_g \tag{2.44}$$

เมื่อ R_g = ความต้านทานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ (โอห์ม)

X_g = รีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ (โอห์ม)

สายอากาศทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่ง จะแสดงวงจรสมมูลย์ได้ดังรูป 2.9 b ในการหาปริมาณกำลังงานที่ถูกนำมาสู่ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นเพื่อแพร่กระจายออก กับกำลังงานที่สูญเสียในความต้านทานการสูญเสีย R_L ที่กลายเป็นความร้อน ($I^2 R_L / 2$) นั้น เราจะหากระแสที่ไหลภายใน Loop ได้ว่ามีค่าดังนี้

$$I_g = \frac{V_g}{Z_t} = \frac{V_g}{Z_A + Z_g}$$

$$= \frac{V_g}{\left(R_r + R_L + R_g \right) + j \left(X_A + X_g \right)} \quad (A) \quad (2.45)$$

และขนาดของกระแสจะมีค่าดังนี้คือ

$$\left| I_g \right| = \frac{\left| V_g \right|}{\left[\left(R_r + R_L + R_g \right)^2 + \left(X_A + X_g \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (2.45a)$$

เมื่อ V_g เป็นศักดาไฟฟ้าค่าสูงสุดของเครื่องกำเนิดสัญญาณ กำลังงานที่ถูกนำมายังสายอากาศเพื่อแพร่กระจายคลื่น จะมีค่าดังนี้คือ

$$P_r = \frac{1}{2} \left| I_g \right|^2 R_r = \frac{\left| V_g \right|^2}{2} \left[\frac{R_r}{\left(R_r + R_L + R_g \right)^2 + \left(X_A + X_g \right)^2} \right] \quad (W) \quad (2.46)$$

และกำลังงานที่สูญเสียกลายเป็นความร้อน จะมีค่าดังนี้

$$P_L = \frac{1}{2} \left| I_g \right|^2 R_L = \frac{\left| V_g \right|^2}{2} \left[\frac{R_L}{\left(R_r + R_L + R_g \right)^2 + \left(X_A + X_g \right)^2} \right] \quad (W) \quad (2.47)$$

กำลังงานส่วนที่เหลือจะเป็นส่วนที่สูญเสียเป็นความร้อนในตัวต้านทานที่ขั้วกำเนิดสัญญาณ ซึ่งมีค่า R_g ของเครื่อง

$$P_g = \frac{\left| V_g \right|^2}{2} \left[\frac{R_g}{\left(R_r + R_L + R_g \right)^2 + \left(X_A + X_g \right)^2} \right] \quad (W) \quad (2.48)$$

กำลังงานที่ถูกนำมายังสายอากาศ จะมีค่ามากที่สุด เมื่อเกิด Conjugate Match นั่นคือจะเกิดเมื่อ

$$R_r + R_L = R_g \quad (2.49)$$

$$\text{และ } X_A = -X_g \quad (2.50)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีนี้ (2.46) , (2.47) , (2.48) จะกลายเป็นดังต่อไปนี้

$$P_r = \frac{|V_g|^2}{2} \left[\frac{R_r}{4(R_r + R_L)^2} \right] = \frac{|V_g|^2}{8} \left[\frac{R_r}{(R_r + R_L)^2} \right] \quad (2.51)$$

$$P_L = \frac{|V_g|^2}{8} \left[\frac{R_L}{(R_r + R_L)^2} \right] \quad (2.52)$$

$$P_g = \frac{|V_g|^2}{8} \left[\frac{R_g}{(R_r + R_L)^2} \right] \\ = \frac{|V_g|^2}{8} \left[\frac{1}{R_r + R_L} \right] = \frac{|V_g|^2}{8R_g} \quad (2.53)$$

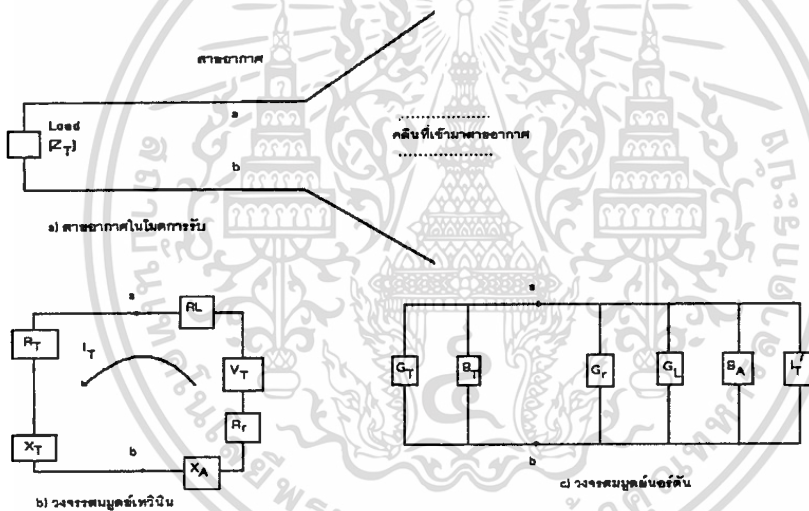
จาก (2.51) ถึง (2.53) พบว่า

$$P_g = P_r + P_L = \frac{|V_g|^2}{8} \left[\frac{R_g}{(R_r + R_L)^2} \right] \\ = \frac{|V_g|^2}{8} \left[\frac{R_r + R_L}{(R_r + R_L)^2} \right] \quad (2.54)$$

ดังนั้นกำลังงานที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจะต้องจ่ายเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทช์จะมีค่าดังนี้

$$P_s = \frac{1}{2} V_g I_g^* = \frac{1}{2} V_g \left[\frac{V_g^*}{2(R_r + R_L)} \right] \\ = \frac{|V_g|^2}{4} \left[\frac{1}{R_r + R_L} \right] \quad (W) \quad (2.55)$$

ในจำนวนกำลังงานที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจ่ายทั้งหมด เครื่องหนึ่งจะสูญเสียเป็นความร้อนภายในความต้านทานภายใน (R_g) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ และอีกเครื่องหนึ่งจะถูกนำมายังสายอากาศ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทช์เท่านั้น ในส่วนของกำลังงานที่ออกมายังสายอากาศ ส่วนหนึ่งจะแพร่กระจายออกไป โดยผ่านกลไกที่เกิดจากความต้านทานการแพร่กระจายคลื่น อีกส่วนหนึ่งจะเสียเป็นความร้อน ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ ถ้าสายอากาศไม่มีการสูญเสีย ($e_{cd} = 1$) เครื่องหนึ่งของกำลังงานที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจ่าย จะแพร่กระจายออกเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทช์ ในตอนนี้สมมุติว่าเป็นการแมทช์ที่สมบูรณ์ระหว่างสายอากาศและสายส่ง ($e_r = 1$) ถ้ามีการสูญเสียเนื่องจากไม่แมทช์แล้ว จะทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลง ในรูป 2.9a แสดงวงจรสมมูลย์นอร์ตันของสายอากาศกับต้นกำเนิดเมื่อสายอากาศเป็นสายอากาศส่ง สำหรับการใส่สายอากาศเป็นสายอากาศรับ ดังแสดงในรูป 2.10a ถ้ามีคลื่นตกกระทบเข้ามายังสายอากาศ จะเหนี่ยวนำให้เกิดศักย์ไฟฟ้า V_r ซึ่งเทียบได้กับ V_g ในโหมดของการส่ง ได้แสดงวงจรสมมูลย์เทวินินไว้ในรูป 2.10b ส่วนวงจรสมมูลย์นอร์ตันมีแสดงในรูป 2.10c



รูป 2.10 สายอากาศรับและวงจรสมมูลย์

ปกติอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะเป็นฟังก์ชันของความถี่ และจะสมพจน์กับสายส่งเฉพาะในช่วงความถี่หนึ่งๆเท่านั้น นอกจากนี้อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศยังขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ต่างๆอีก ได้แก่ รูปทรง วิธีการป้อนสัญญาณ และสิ่งแวดล้อมข้างเคียง เนื่องจากคำนวณได้ยากจึงมักจะพบว่า ส่วนใหญ่จะหาค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ได้จากการทดลอง

2.10 แบนด์วิดท์

แบนด์วิดท์ของสายอากาศถูกกำหนดให้เป็นช่วงของความถี่ ที่สายอากาศถูกกำหนดให้อยู่ ในมาตรฐานที่กำหนดให้ อาจคิดว่าเป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ อินพุทอิมพีแดนซ์ , แพทเทิร์น, บีมวิดท์, โพลาริเซชัน, ระดับของไซด์โลบ, เบน, ประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น ฯลฯ อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ คือไม่ต่างจากที่วัดที่ความถี่ตรงกลางที่ออกแบบ จนทำให้คุณสมบัตินี้เสียไปจากข้อกำหนด หรือมาตรฐาน สำหรับสายอากาศแบนด์กว้างมักจะคิดเป็นอัตราส่วนที่ใช้งานได้ด้านสูงต่อความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำ แบนด์วิดท์จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างของความถี่ (ความถี่สูงลบด้วยความถี่ต่ำ)หารด้วยความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้น

เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ในลักษณะเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นไม่สามารถกำหนดแบนด์วิดท์ตามคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งแต่เพียงอย่างเดียวได้ จึงต้องมี การกำหนดข้อบังคับให้เป็นไปตามการประยุกต์แต่ละอย่างไป ปกติแล้วคุณสมบัติของแพทเทิร์นกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ จึงมักถูกใช้เป็นตัวกำหนดแบนด์วิดท์ของสายอากาศ นอกจากนั้นแบนด์วิดท์ของเบน, ระดับของไซด์โลบ, บีมวิดท์, โพลาริเซชัน จะมีแบนด์วิดท์ค่าเดียวกับแพทเทิร์นแบนด์วิดท์ ในขณะที่แบนด์วิดท์ของอินพุทอิมพีแดนซ์และประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น จะมีค่าเดียวกับอิมพีแดนซ์ของแบนด์วิดท์

2.11 ประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

ประสิทธิภาพของตัวนำและฉนวน e_{cd} เป็นอัตราส่วนของกำลังงานที่ถูกนำมายังความต้านทานการแพร่กระจายคลื่น R_r ต่อกำลังงานที่ถูกนำมาสู่ R_r และความต้านทานการสูญเสีย R_L

จาก (2.46)

$$P_r = \frac{1}{2} |I_g|^2 R_r$$

$$= \frac{|V_g|^2}{2} \left[\frac{R_r}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \right] \quad (W)$$

และจาก (2.47)

$$P_L = \frac{1}{2} |I_g|^2 R_L$$

$$= \frac{|V_g|^2}{2} \left[\frac{R_L}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \right] \quad (W)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะหาได้ว่า

$$e_{cd} = \left[\frac{R_r}{R_r + R_L} \right] \quad (2.56)$$

ในกรณีของท่อโลหะซึ่งยาว ℓ และมีพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอมีค่าเท่ากับ A ความต้านทานกระแสตรงจะมีค่า R_{dc} ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$R_{dc} = \frac{\ell}{\sigma A} \quad (\text{โอห์ม}) \quad (2.56a)$$

ถ้าสกินเดปท์ (Skin Depth) $\delta \left[\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_0 \sigma}} \right]$ มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับเส้นทแยงมุมที่สั้นที่สุดของพื้นที่หน้าตัดนั้น กระแสจะไหลอยู่เฉพาะในบริเวณชั้นบางๆ ที่ผิวของตัวนำเท่านั้น ดังนั้นความต้านทานที่ความถี่สูงจะมีค่าดังนี้คือ

$$R_{hf} = \frac{\ell R_s}{P} = \frac{\ell}{P} \sqrt{\frac{\omega \mu_0}{2\sigma}} \quad (\text{โอห์ม}) \quad (2.56b)$$

เมื่อ P เป็นเส้นรอบวงของพื้นที่หน้าตัดของท่อโลหะ ($P=C=2\pi b$ สำหรับหลอดวงกลมรัศมี b) R_s คือความต้านทานที่ผิวของตัวนำ ω เป็นความถี่เชิงมุม μ_0 เป็นเพอมีอับิลิตี (Permeability) ของฟรีสเปต และ σ เป็นความนำของโลหะ

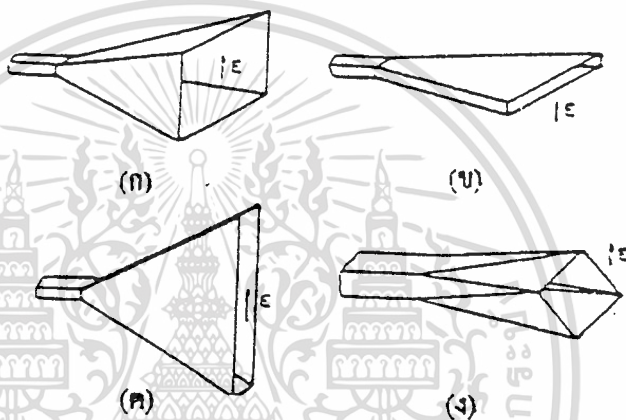
บทที่ 3

Horn Antenna

3.1 ชนิดและการใช้งาน

โดยทั่วไป Horn Antenna เป็นอุปกรณ์ที่มีผลในการส่งผ่านระหว่างการแพร่กระจายคลื่นในสายอากาศกับท่อนำคลื่นและการแพร่กระจายของคลื่นผ่านตัวกลางไปจนถึงสูญญากาศ (Free Space)

โครงสร้างโดยทั่วไปของ Horn Antenna จะขึ้นอยู่กับขนาดของรูปร่าง เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และคุณสมบัติของสายอากาศ เช่น เกน (Gain) , แพทเทอรันการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) และอิมพีแดนซ์ (Impedance) จากรูปที่ 1 แสดงสายอากาศแบบฮอร์นชนิดสี่เหลี่ยม

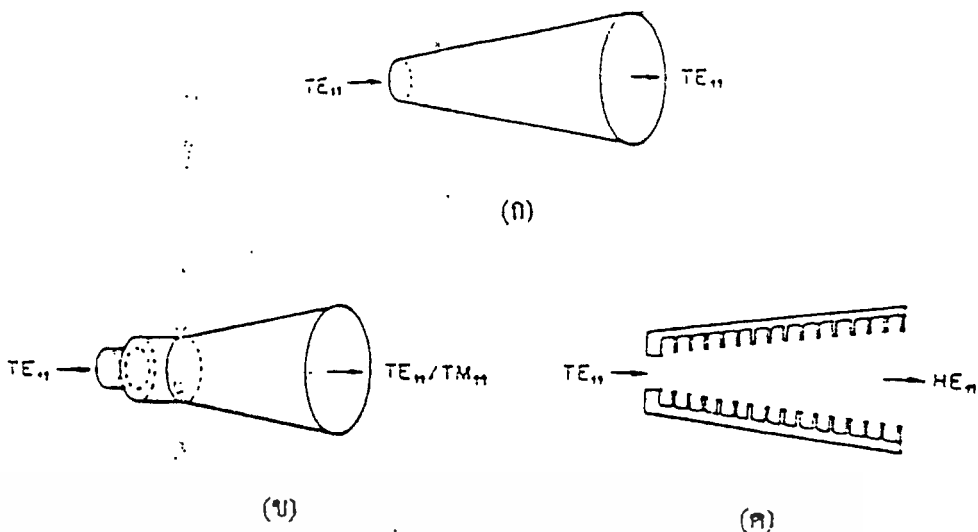


รูปที่ 3.1 แสดงสายอากาศแบบฮอร์นชนิดสี่เหลี่ยม

รูปที่ 3.1 ก. แสดงสายอากาศฮอร์นแบบปิรามิด ซึ่งสามารถกำหนดมาตรฐานเบื้องต้นโดยจะคำนวณเกนเริ่มตั้งแต่ 0.1 dB เมื่อเรารู้ขนาดของฮอร์นและส่วนที่สำคัญในการควบคุม บีมวิดท์ของฮอร์นคือเราสามารถเปลี่ยนแปลงขนาดของพื้นที่ของการรับคลื่นที่ปากของฮอร์น

รูปที่ 3.1 ข. และ ค. แสดงสายอากาศแบบ Sectoral Horn มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นไปในทิศทางเดียว โดยมันจะแพร่กระจายคลื่นออกไปในลักษณะบีมแบบพัด (Fan Shape) ซึ่งบีมจะกว้าง

รูปที่ 3.1 ง. แสดงสายอากาศแบบ Diagonal Horn จะมีลักษณะพิเศษกว่าสายอากาศที่กล่าวมาแล้ว พื้นที่ที่ปากฮอร์นมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สนามไฟฟ้าจะแพร่กระจายออกไปขนานกับปากของฮอร์นแพทเทอรันในการแพร่กระจายคลื่นจะอยู่ในระดับสูงในลักษณะสมมาตรกันทั้งสองด้าน



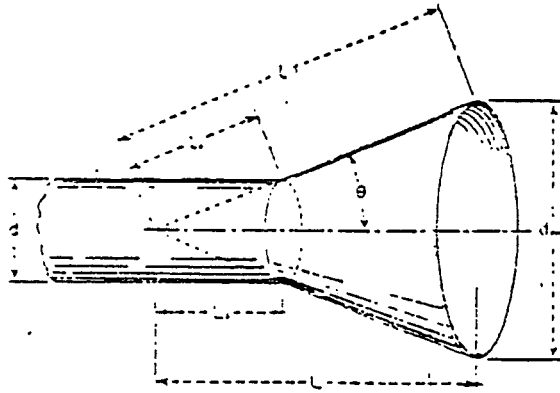
รูปที่ 3.2 แสดงสายอากาศฮอร์นแบบกรวย (Conical Horn)

รูปที่ 3.2 แสดงสายอากาศฮอร์นแบบกรวย (Conical Horn) ซึ่งมีข้อดีดังนี้คือ จะมีรูปทรงที่สมมาตรกันและสามารถที่จะทำให้อยู่ใน Dominant Mode (TE_{11}) ในทางปฏิบัติจะเหมาะสมกับ Circular Polarization แม้ว่ารูปทรงจะสมมาตรกัน บีมวิดท์ที่อยู่ในระนาบโดยทั่วไปจะไม่ใช่เท่ากันเหมือนสายอากาศฮอร์นแบบปิรามิด

Dual Mode และ Corrugate Horn จากรูปที่ 3.2 ข และ ค การแพร่กระจายคลื่นไม่สมมาตรกัน Dual Mode จะแพร่กระจายคลื่นจะมี 2 ลักษณะ คือ ในช่วงแรกจะเป็น TE_{11} แต่ตรงปากฮอร์นจะมีการแพร่กระจายแบบ TM_{11} ในรูปที่ 3.2 ค. การแพร่กระจายคลื่นมีลักษณะผสมกันระหว่าง TE_{11} กับ TM_{11} เรียกว่า HE_{11}

3.2 ผลของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบฮอร์น

คุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบฮอร์น จะมีพื้นที่ในการรับคลื่น (Aperture) ยาวประมาณหนึ่งความยาวคลื่น และความรู้เกี่ยวกับสนามรับคลื่นที่ปากของฮอร์น สำหรับ Single Dominant Mode Horn Aperture Field มีทิศทางตัดผ่านสนามไฟฟ้าของโหมดนั้นเหมือนกับสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในท่อนำคลื่นทรงกระบอก การแพร่กระจายคลื่นภายในท่อนำคลื่นฮอร์น มันจะปรับสภาพของตัวเอง โดยการนำโหมดที่สูงกว่ามารวมกับโหมดพื้นฐาน ในการแพร่กระจายคลื่นจะยอมให้โหมดที่สูงกว่าเป็น Dominant Mode



รูปที่ 3.3 แสดงมุมและขนาดของพื้นที่รับคลื่น

ในรูปที่ 3.3 แสดง Field line ผ่าน Dominant Mode มีการแพร่กระจายคลื่นที่ปากฮอร์นจากทรงกระบอกหรือทรงกรวย (Conic Horn) รัศมีของส่วนโค้งของพื้นที่การรับคลื่นเท่ากับ 1 ข้อแตกต่างระหว่างส่วนโค้งด้านหน้าและระนาบของพื้นที่รับคลื่น จะประกอบด้วย Phase Error ซึ่งจะต้องการ Planar Fields ของ Dominant Mode รวมถึง Phase Factor สามารถคำนวณได้จากสมการ $e^{j\pi \Delta x^2}$ โดย X เป็น normalize Aperture Coordinate จากวิธีการคำนวณสามารถทำได้โดยใช้สมการที่ 3.1

$$\Delta = l - L = \frac{1}{2} d \tan \frac{\theta_f}{2} = 2l \sin^2 \frac{\theta_f}{2} \quad (3.1)$$

L และ l เป็น Axial length และ slant length

θ_f เป็นมุมของการแพร่กระจายคลื่น

จากสมการที่ 3.1 สามารถทำให้ง่ายขึ้นได้คือ

$$\Delta = \frac{d^2}{8L} = \frac{d^2}{8l} \quad (3.2)$$

จากสมการที่ 3.2 เราสามารถหาค่าของ l หรือ L ได้ทั้งสองสมการ ในสมการที่ 3.2 เราไม่นำค่า θ_f มาพิจารณา เพื่อเป็นการลดความยุ่งยากและการผิดพลาด ผลที่เกิดขึ้นมี Phase Error มี Loss ใน Gain ซึ่งผลมาจากการแพร่กระจายของคลื่นที่มี Side Lobe เพิ่มมากขึ้น

3.3 สมการการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบฮอร์น

การแพร่กระจายคลื่นของ Dominant Mode จะมีเงื่อนไขอยู่ 2 ประการ ก็คือ การแพร่กระจายของคลื่นตัดผ่านกันระหว่างสนามไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็ก Transverse Field และทิศทางของสนามทั้งสองที่แตกต่างกัน ค่าของ Obliquity Factor จะทำให้ผลของการแพร่กระจายคลื่นบริเวณปากฮอร์นดังนี้

ในระนาบ E-Plane ค่าของ Obliquity Factor กำหนดเป็น F_e สามารถ กำหนดได้จากสมการที่ 3.3

$$F_e = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\lambda}{g} \cos \theta + \Gamma \left(1 - \frac{\lambda}{g} \cos \theta \right) \right] \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาก่อนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระนาบ H-Plane ค่าของ Obliquity Factor กำหนดเป็น F_h สามารถ กำหนดได้จากสมการ

ที่ 3.4

$$F_h = \frac{1}{2} \left[\cos \theta + \frac{\lambda}{\lambda_g} + \Gamma \left(\cos \theta - \frac{\lambda}{\lambda_g} \right) \right] \quad (3.4)$$

เมื่อ λ_g คือ ความยาวคลื่นในท่อนำคลื่นบริเวณปากฮอร์น

Γ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection Coefficient)

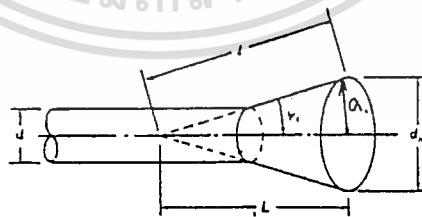
θ คือ มุมของ Far field

ในพื้นที่ทดสอบขนาดเล็กของสายอากาศฮอร์น ทั้ง F_e และ F_h จะมีความสำคัญแตกต่างกัน โดยทั่วไปเราจะไม่ทราบค่า Complex Number เนื่องจากไม่สามารถคำนวณได้สำหรับพื้นที่รับคลื่นที่ขนาดใหญ่กว่า 2 เท่าความยาวคลื่น สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Γ) จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และ λ มีค่าเข้าใกล้ 1 จะทำให้ค่าของ F_e มีค่าใกล้เคียงกับ F_h

$$F_e = F_h = \frac{1}{2} (1 + \cos \theta) = \cos^2 \frac{\theta}{2} \quad (3.5)$$

เมื่อพื้นที่รับคลื่นขนาดใหญ่มากๆ จะทำให้ Main Beam มีขนาดแคบลง ทิศทางการแพร่กระจายคลื่นพุ่งไปข้างหน้าจะทำให้ค่าของ θ น้อยลงผลจะทำให้ $\cos \theta$ และ Obliquity มีค่าเป็นดังสมการที่ 3.5

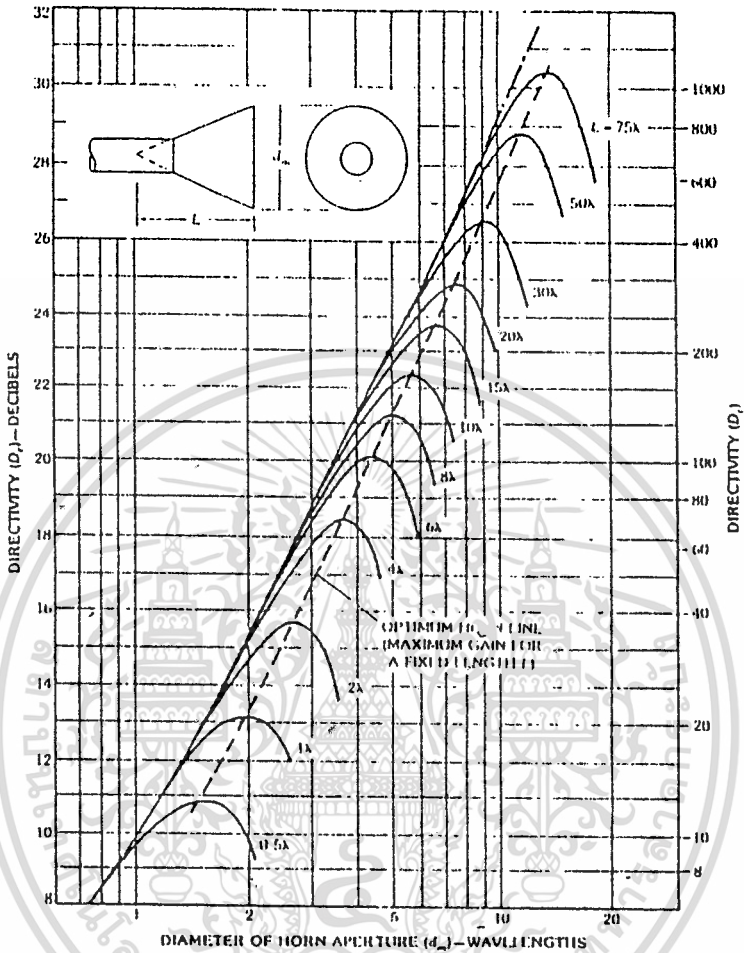
วิธีการแสดงการแพร่สนามของ Conical Horn ให้แน่นอนจะใช้ Schorr และ Beck [16] Mode ภายใน Horn จะพบอยู่ในระบบ Coordinate ทรงกลม และ เป็นเทอมของ Spherical Bessel Function และ Legendre Polynomials การวิเคราะห์จะพาดพิงหรือนำมันมาเกี่ยวข้องด้วยและจะไม่พยายามให้เกี่ยวข้องในที่นี้มาก อย่างไรก็ตามข้อมูลในรูปแบบของ Curves [17] จะแสดงลักษณะจำนวนที่ให้นั้นของ Conical Horn ประกอบ



รูปที่ 3.4 แสดงรูปร่างทางเรขาคณิตของ Conical Horn

อ้างถึงในรูป 3.5 มันจะเป็นการประพาดตัวของ Conical Horn ซึ่งจะคล้ายกับ Pyramidal หรือ Sectoral Horn เมื่อมุม Flare เพิ่มขึ้น Directivity สำหรับความยาวของ Horn ที่ให้จะเพิ่มตามจนกระทั่งถึงค่า Maximum ก็ลดลง การลดลงนี้เป็นผลของ dominance ของ quadratic phase error ที่ aperture ในรูป 3.5 แสดงคุณสมบัติต่างๆ เมื่อ horn aperture มีค่าคงที่และความยาว (L) จะเปลี่ยนแปลง ค่า Maximum directivity ที่ได้รับเมื่อค่า Flare angle เป็น 0 ($\psi_c = 0$ or $L = \infty$) นี้คือ equivalent wave guide ของ

diameter (d_m) สำหรับ Pyramidal และ Sectoral Horn ตำแหน่ง Lens โดยปกติที่ aperture ของ Conical Horn จะชดเชยค่า quadratic phase error ผลนี้ pattern จะแคบเมื่อค่า Flare angle มีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5 Directivity ของ Conical Horn เป็นฟังก์ชันของ Aperture Diameter และ Different Horn Length

Σ_{ap} = aperture efficiency , a = radius of horn at aperture

C = aperture circumference , D_c = directivity in dB

$$D_c = 10 \log_{10} \left[\Sigma_{ap} \frac{4\pi}{\lambda^2} (\pi a^2) \right] = 10 \log \left(\frac{c}{\lambda} \right)^2 - L(S) \quad (3.6)$$

$L(S) = -10 \log_{10} \Sigma_{ap}$ = Loss Figure (Correction figure to account for the loss)

จากสูตร D_c แสดงค่า directivity lesiy| uniform circular aperture

จากสูตร $L(S)$ เป็นค่า correction figure ที่เป็นค่า Loss ใน Directivity

เนื่องจาก aperture efficiency โดยค่านี้อ้างถึง loss figure โดยจะคำนวณในรูป dB ดังนี้

$$L(S) = (0.8 - 1.71S + 26.2S^2 - 17.79S^3) \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช. วนิสาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S = \text{Maximum phase deviation (ในค่าของ wavelength)} = \frac{d_m^2}{8l\lambda} \text{ gain ของ Conical Horn ที่}$$

Optimum เมื่อค่า diameter มีค่าเท่ากับ $d_m = \sqrt{3l\lambda}$ ในขณะที่ค่า Maximum aperture phase deviation ควร
มีค่า $S = \frac{3}{8}$ (wavelength) และค่า loss figure

3.4 Dominant - Mode Conical Horn

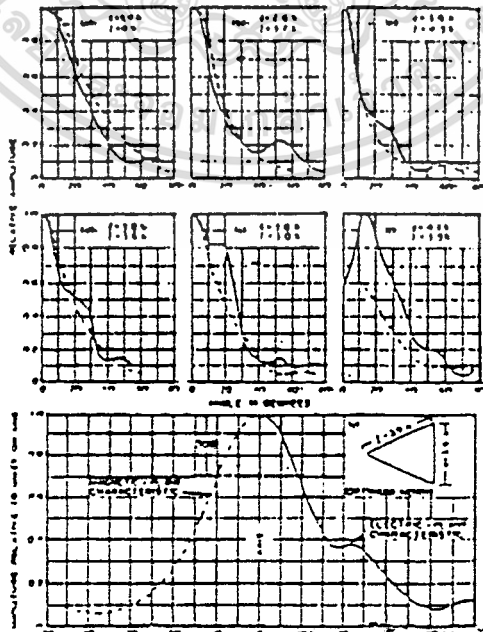
3.4.1 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น

สายอากาศฮอร์นแบบกรวย (Conical Horn) ถูกกระตุ้นโดยใช้ท่อนำคลื่นแบบกลมในโหมด TE_{11} ซึ่งจะคล้ายกับสายอากาศฮอร์นแบบพีระมิด (Pyramidal Horn) จะถูกกระตุ้นโดยท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยมในโหมด TE_{10} และผลของการแพร่กระจายคลื่นจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน

สายอากาศฮอร์นแบบกรวย (Conical Horn) ความเที่ยงตรงสามารถแสดงได้ในเทอมของการรวมฟังก์ชันของรูปทรงกลมแต่มีความยุ่งยากซับซ้อนมาก ดังนั้นจึงนำเอาการประมาณค่ามาคำนวณเพื่อที่จะหาค่าต่างๆได้ง่ายขึ้น ข้อมูลผลการทดลองของแพทเทิร์นของสายอากาศฮอร์นแบบกรวยที่แสดงนั้น ได้มาจากการทดลองในห้องแล็บเมื่อ 40 ปีที่แล้ว และแพทเทิร์นของสายอากาศฮอร์นแบบกรวยได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.6 ซึ่งพื้นที่รับคลื่นมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ $1.4 < \frac{d}{\lambda} < 4.3$

ค่า Spherical - Wave Phase Error Parameter , $S = d^2 / (8l\lambda)$ และ ถ้าพื้นที่รับคลื่นมีขนาด 0.03 - 0.6 ค่า $S = d^2 / (8l\lambda)$ ซึ่งมีค่า l คือค่าความลาดเอียงของ Horn และ L คือค่าความยาวของ Horn ซึ่งมุมของการลาดเอียงสามารถหาได้จากสมการที่ 3.8

$$\tan \theta_f = \frac{d}{2L} \text{ OR } \sin \theta_f = \frac{d}{2l} \quad (3.8)$$



รูปที่ 3.6 แสดงขนาดพื้นที่รับคลื่นและแพทเทิร์น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 อัตราการขยาย (Gain)

รูปที่ 3.5 แสดงอัตราการขยาย (Gain) ของ Conical Horn ที่ขนาดต่างกัน มีค่าพารามิเตอร์ $\frac{L}{\lambda}$

ในรูปเป็น axial length ในส่วนนี้จะไม่มีค่า $\frac{L}{\lambda}$ ในการหาค่า อัตราการขยายเราจะเริ่มใช้ ± 0.1 dB การหาอัตราการขยายของ Conical Horn สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ ดังสมการที่ 3.9 และ 3.10

$$G = \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \cdot R \quad (3.9)$$

$$\text{Gain (dB)} = 20 \log \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right) - L \quad (3.10)$$

เมื่อ R และ L มีค่าใกล้เคียงกัน S คือ Spherical Wave Phase Error ดังแสดงในรูปที่ 3.5 L คือ

Loss ที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็นเดซิเบลและค่า $S = \frac{d^2}{8\lambda l}$ เมื่อ l คือความยาวลาดเอียงกรณี $S=0$ สายอากาศฮอร์นจะไม่แพร่กระจายคลื่น ในสภาวะการแพร่กระจายคลื่นปลายเปิดของท่อนำคลื่นแบบกลมในโหมด TE_{11} สามารถคำนวณหาอัตราการขยายได้โดยสมการที่ 3.11

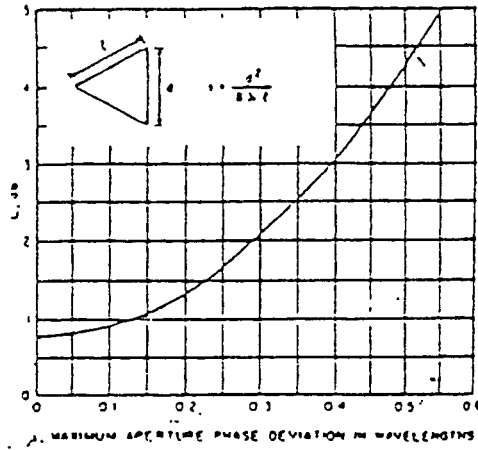
$$G = \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \frac{\left[\sqrt{\frac{\lambda}{\lambda_g} + \sqrt{\frac{\lambda}{\lambda}}} + \Gamma \left(\sqrt{\frac{\lambda}{\lambda_g} - \sqrt{\frac{\lambda}{\lambda}}} \right) \right]^2}{2(p_{11}^2 - 1)(1 - |\Gamma|^2)} \quad (3.11)$$

เมื่อ $P_{11} = 1.841$ คือค่า First root ของ $J_1(P) = 0$ และ Γ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ Aperture สำหรับกรณีนี้ที่ Aperture มีขนาดใหญ่กว่าอัตราการขยายสามารถคำนวณได้โดยสมการที่ 3.12

$$G = 0.837 \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (3.12)$$

จากสมการที่ 3.12 ค่า $R=0.837$ สำหรับฮอร์นที่มีขนาดยาว และค่า $S=0$ สำหรับค่า $L=0.773$ dB

ดูจากรูปที่ 3.7 ค่าของ R ใน Conical Horn มีค่าน้อยกว่าหนึ่ง



รูปที่ 3.7 Gain Correction สำหรับ Conical Horn

3.4.3 Optimum Gain Horn

จากรูปที่ 5 เส้นที่ขีดยาวจะต่ออยู่กับเส้นโค้งของ Gain Curves ซึ่งกำหนดค่า Gain และขนาดของ Horn ได้ $\left(\frac{d}{\lambda}\right), \left(\frac{L}{\lambda}\right)$ อัตราการขยายที่ได้ผลดีที่สุดสามารถ คำนวณได้จากสมการที่ 3.13

$$\text{Gain (dB)} = 7.0 + 20.6 \log \frac{d}{\lambda} \tag{3.13}$$

เมื่อความมากน้อยของขนาด $\frac{d^2}{(8\lambda L)}$, L คือค่า Axial Length การหาค่าอัตราการขยายสูงสุดจากรูปที่ 3.5 การเปลี่ยนแปลงค่าของ $L = 0.5\lambda$ ถึง $L = 75\lambda$ สำหรับค่าความลาดเอียง I สามารถหาได้โดย เมื่อเรารู้ค่าของ L และ d โดยใช้สูตรจากสมการที่ 3.14

$$I = \left(L^2 + \frac{d^2}{4} \right) \tag{3.14}$$

ค่าขนาดของ Optimum Conical Horn สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.15

$$d = \sqrt{n\lambda l} \tag{3.15}$$

เมื่อ n มีค่าอยู่ระหว่าง 2.4 ถึง 3.0 และพื้นที่ที่จะเกิด Optimum Horn อยู่ระหว่าง 52 และ 56 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่รับคลื่น (Aperture Area)

3.4.4 อิมพีแดนซ์ (Impedance)

คุณสมบัติของอิมพีแดนซ์ของฮอร์นจะเกิดขึ้นระหว่างปากฮอร์นกับ Free Space ความยาวของรัศมีของท่อนำคลื่นระหว่าง Horn Aperture และบริเวณช่วงคอและการแมทซ์ที่รอยต่อของท่อนำคลื่น และช่วงคอของฮอร์น VSWR ของระนาบ E-PLANE ของฮอร์นโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 1.05 และ 1.5 ค่าความลาดเอียงของฮอร์นจะไม่คงที่ ความยาวในท่อนำคลื่นของ E-PLANE ในฮอร์นจะเท่ากับความยาวของท่อนำคลื่นแบบวงกลม

อินพุทอิมพีแดนซ์ของ H-PLANE ของฮอร์น จะแตกต่างจาก E-PLANE การแมทซ์ที่รอยต่อของฮอร์นกับท่อนำคลื่นที่มีขนาดเล็กกว่าพื้นที่รับคลื่นที่ปากฮอร์น ผลที่ได้ก็คืออินพุท VSWR ของ H-PLANE ฮอร์นจะมีขนาดคงที่ และจะมีการเปลี่ยนแปลงของเฟสกับความยาวของฮอร์นที่เปลี่ยนไป

3.5 Circular Waveguide

จากรูปที่ 3.8 Dominant mode ทำงานในรูปแบบ TE₁₁ mode ซึ่งสนามไฟฟ้าจะกระจายทั่วพื้นที่หน้าตัดตั้งในสมการ 3.16 และ 3.17

$$E_\rho = \frac{2\text{Sin}\phi}{\rho} J_1\left(1.84 \frac{\rho}{a}\right) \tag{3.16}$$

$$E_\phi = \frac{2a \text{Cos}\phi}{1.84} \frac{dJ_1\left(1.84 \frac{\rho}{a}\right)}{d\rho} \tag{3.17}$$

เมื่อ a คือ รัศมี และ J_1 คือ Bessel Function แบบที่ 1, Order ที่ 1 และ ρ คือ รัศมีของ Cylindrical coordinates ดังรูป 8 ใน Rectangular coordinate แสดงการกระจายของสนามดังนี้

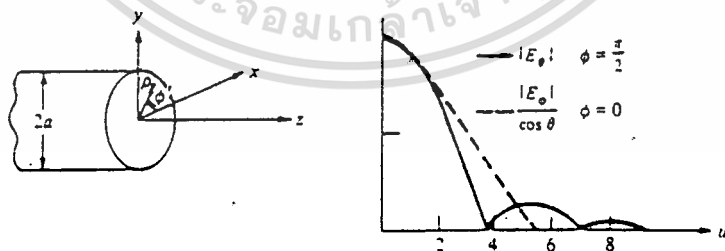
$$E_x = E_\rho \text{Cos}\phi - E_\phi \text{Sin}\phi \tag{3.18}$$

$$E_y = E_\rho \text{Sin}\phi + E_\phi \text{Cos}\phi \tag{3.19}$$

ตาม Bessel Function จะใช้

$$\frac{dJ_m(u)}{du} = \frac{1}{2} [J_{m-1}(u) - J_{m+1}(u)] \tag{3.20}$$

$$\frac{m}{u} J_m(u) = \frac{1}{2} [J_{m-1}(u) + J_{m+1}(u)] \tag{3.21}$$



รูปที่ 8 Circular WaveGuide และ Radiation Field Patterns

เราจะได้อันนี้

$$E_x = J_2\left(1.84 \frac{\rho}{a}\right) \text{Sin } 2\phi \tag{3.22}$$

เอกสารนี้ $E_y = J_0\left(1.84 \frac{\rho}{a}\right) - J_2\left(1.84 \frac{\rho}{a}\right) \text{Cos } 2\phi$ ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (3.23) การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราสมมติว่าสนามที่ Aperture ประมาณค่าได้โดยใช้สมการข้างบน

ในส่วนของ Order จะหา f_x และ f_y โดยจะอินทิเกรตตลอด Circular Aperture Exponential Factor

คือ $e^{jk_x x' + jk_y y'}$ เมื่อ

$$\begin{aligned} k_x x' + k_y y' &= k_0 \rho \sin\phi (\cos\phi \cos\phi' + \sin\phi \sin\phi') \\ &= k_0 \rho \sin\theta \cos(\theta - \phi) \end{aligned} \quad (3.29)$$

$$\int_0^u u J_n(\alpha u) J_n(\beta u) = \frac{u}{\alpha^2 + \beta^2} \left[J_n(\alpha u) \frac{dJ_n(\beta u)}{du} - J_n(\beta u) \frac{dJ_n(\alpha u)}{du} \right] \quad (3.30)$$

เราจะได้

$$E_\theta = \frac{jk_0}{r} e^{-jk_0 r} 2a^2 \sin\phi \frac{J_1(1.84)}{1.84} \frac{J_1(u)}{u} \quad (3.31)$$

$$E_\phi = \frac{jk_0}{r} e^{-jk_0 r} 2a^2 \cos\phi \cos\theta \left[\frac{1.84 J_1(1.84)}{1.84^2 - u^2} \frac{dJ_1(u)}{du} \right] \quad (3.32)$$

เมื่อ $u = k_0 a \sin\theta$

และเราจะหา Directivity ได้โดย

$$D = \frac{66 \pi a^2}{\beta \lambda_0 \lambda_0^2} \quad (3.33)$$

เมื่อ $\beta = \left[k_0^2 - \left(\frac{1.84}{a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ และ ซึ่งเป็นค่าคงที่การแพร่กระจายคลื่น (Propagation Constant)

ใน TE₁₁ Mode

บทที่ 4

การออกแบบ Exponential Horn Antenna และการทดลอง

4.1 การออกแบบ Exponential Horn Antenna (ความถี่ 1.71 - 1.88 GHz)

การออกแบบ Exponential Horn antenna ซึ่งจะเป็นแบบ Exponential Horn antenna และการออกแบบจะใช้คุณสมบัติ Circular Wave Guide และ Conical Horn เป็นหลัก ช่วยในการออกแบบและทดลองวัดคุณสมบัติต่างๆของ Exponential Horn Antenna ซึ่งในขั้นตอนแรกจะทำการหาสมการของ Exponential Horn Antenna ซึ่งจะมาทำการออกแบบเป็นสายอากาศว่าเป็นสมการ Exponential หรือไม่ โดยทำการวัดขนาดและทดลองแทนค่าจากสมการที่หามาได้

สมการ Exponential ที่ได้ คือ

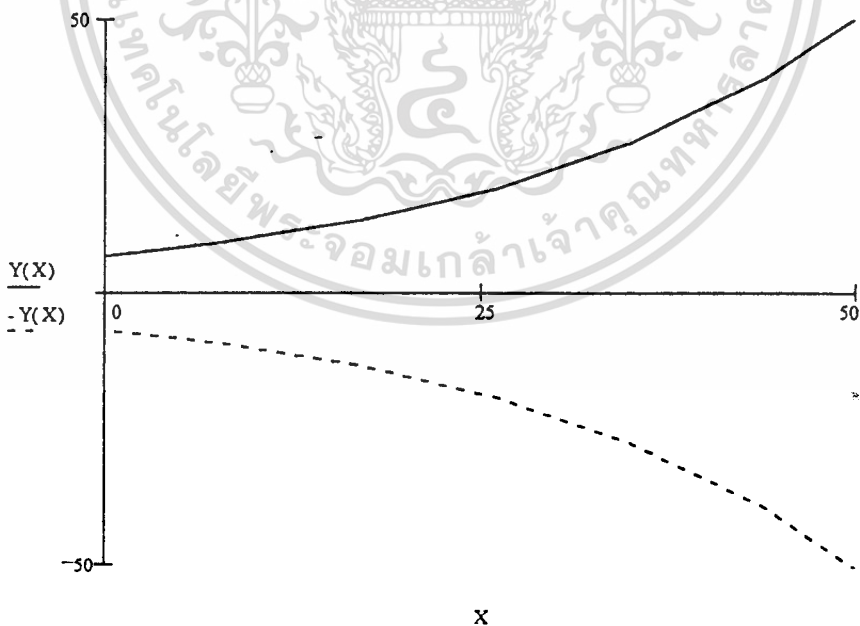
$$Y = Ae^{BX} \quad (4.1)$$

จากสมการที่ 4.1 สามารถหาค่า A และ B ได้ โดยการแทนค่า X และ Y ในสมการที่ 4.1 จะได้ $A = 6.75, B = 0.04$

แทนค่า A, B จะได้สมการ Exponential ดังนี้

$$Y = 6.75e^{(0.04X)} \quad (4.2)$$

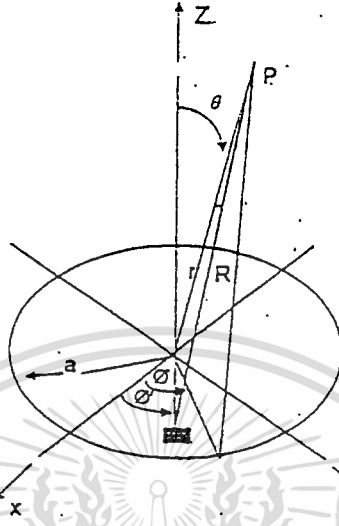
นำสมการที่ 4.2 มาพล็อตกราฟโดย Program Mathcad 6 จะได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงสมการ Exponential ของ EXPONENTIAL HORN ANTENNA ที่ใช้ในการออกแบบ

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเป็นกราฟของสมการ Exponential ซึ่งแสดงว่า Horn Antenna ที่ใช้ในการออกแบบของโครงการนี้เป็นแบบ Exponential Horn Antenna เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 ถ้าปากฮอร์นวงกลมวางอยู่ในระบบโคออดิเนต ณ จุด P เราสามารถหาสนามไฟฟ้าได้ดังนี้โดยสมมติเฟสสัญญาณภายในตัวฮอร์นเป็นเฟสเดียวกันหมด



รูปที่ 4.2 ปากสายอากาศแบบวงกลมวางอยู่ในระบบโคออดิเนต

$$E_{\theta} = \frac{jk_0}{r} e^{-jk_0 r} 2a^2 \sin \phi \frac{J_1(1.84) J_1(u)}{1.84 u} \quad (4.3)$$

$$E_{\phi} = \frac{jk_0}{r} e^{-jk_0 r} 2a^2 \cos \phi \cos \theta \left[\frac{1.84 J_1(1.84) dJ_1(u)}{1.84^2 - u^2} \right] \quad (4.4)$$

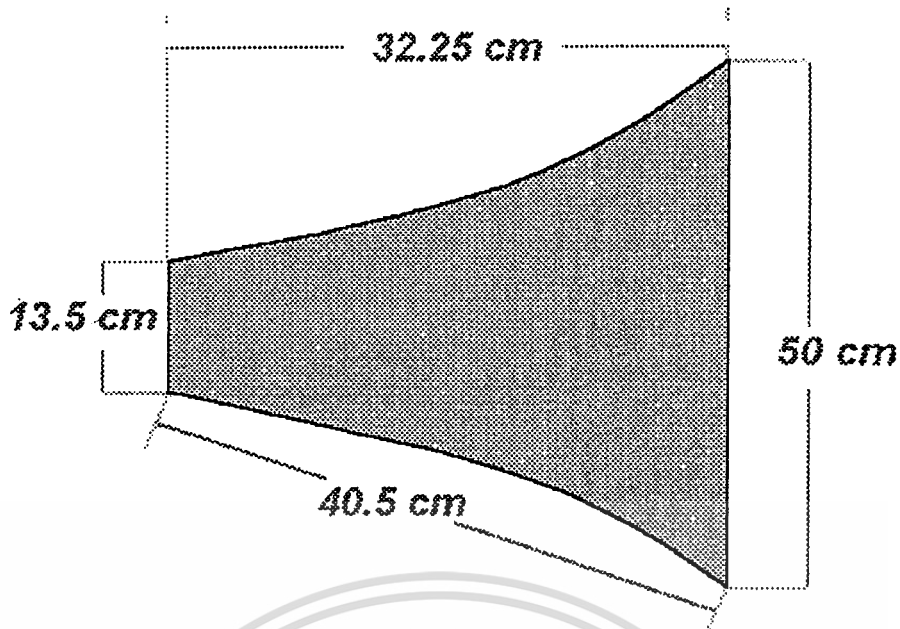
ในที่นี้ $u = k_0 a \sin \theta$; $D = \frac{66\pi a^2}{\beta \lambda_0 \lambda_0^2}$

$$\beta = \left[k_0^2 - \left(\frac{1.84}{a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

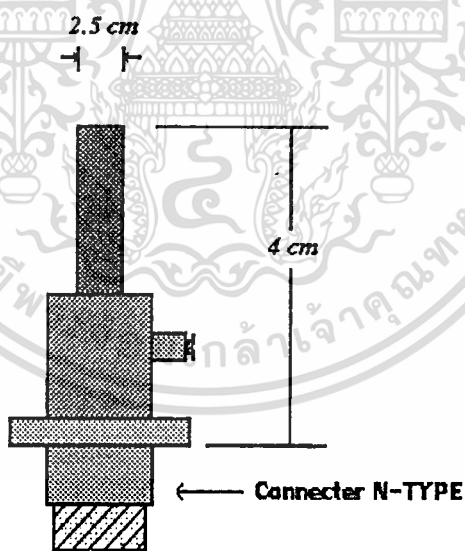
เป็นค่าคงที่การแพร่กระจายคลื่นสำหรับ TE_{1,1} mode

4.1.1 การออกแบบและโครงสร้างของ Horn

1. โครงสร้าง ประกอบด้วย ตัวลำโพงแบบฮอร์นและตัวปล่อยคลื่น



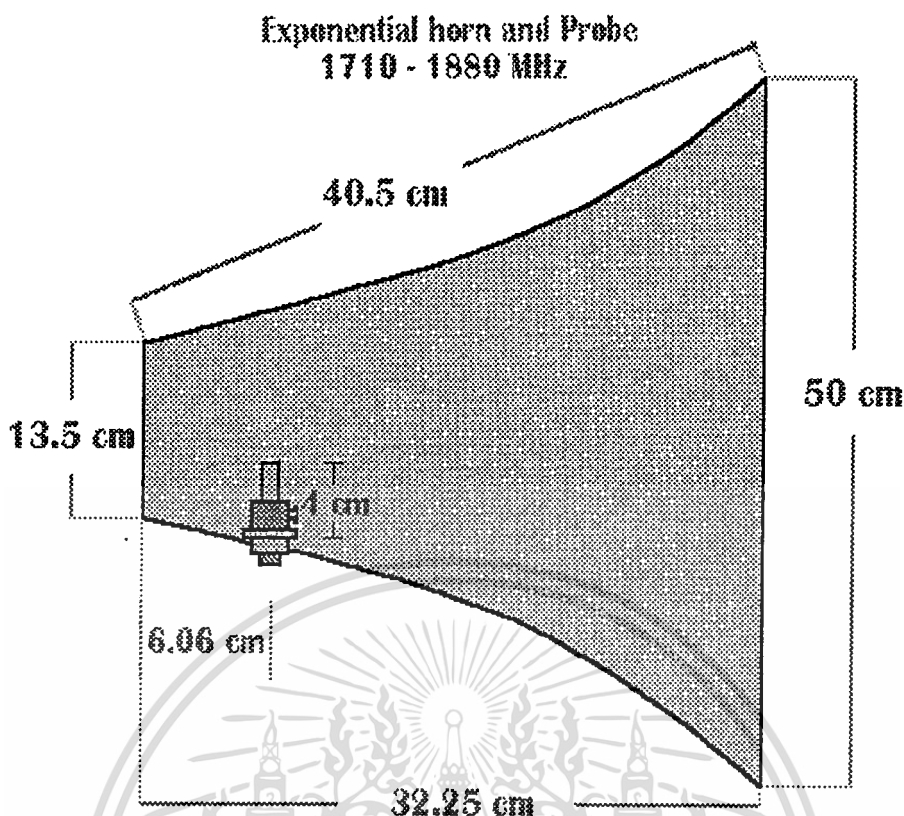
รูปที่ 4.3 แสดงขนาดของฮอร์น



Probe for 1710 - 1880 MHz

รูปที่ 4.4 แสดงขนาดของ Probe ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงการวางตำแหน่งของ Connector และ ความยาวของ Probe

2. การออกแบบ

จากรูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งตัวปล่อยคลื่นที่ระยะ $\frac{\lambda_g}{4}$ จากกันฮอร์นที่ปิดท้าย จึงจะทำให้เกิด

สนามไฟฟ้าสูงสุดที่ตำแหน่งของโพรบ (Prob) อยู่ ซึ่งตำแหน่งที่ต่อ Connector คือ $\frac{\lambda_g}{4}$

จากความถี่กลางของ 1.71 - 1.88 GHz มีค่าเท่ากับ 1.795 GHz เราสามารถหาค่าความยาวคลื่นที่ความถี่กลางได้จากสูตร

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \times 10^8}{1.795 \times 10^9} \left(\frac{m/s}{Hz} \right) = 0.167 \text{ m} \quad (4.5)$$

จากสูตร

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{3.412 a} \right)^2}} \quad (4.6)$$

เมื่อ a = เส้นผ่าศูนย์กลางของกันฮอร์นแล้วหารด้วย 2

$$\text{เพราะฉะนั้น } a = \frac{13.5 \text{ cm}}{2} = 6.75 \text{ cm}$$

นำค่า λ และ a มาแทนในสมการที่ (4.6) เพื่อหา λ_g จะได้ออกมาดังนี้

$$\lambda_g = \frac{0.167}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.167}{3.412 \times 6.75 \times 10^{-2}} \right)^2}} = 24.2509 \text{ cm}$$

เพราะฉะนั้น $\frac{\lambda_g}{4} = 6.06 \text{ cm}$ เมื่อ

λ_g = ความยาวคลื่นในท่อเวฟไกด์

λ = ความยาวคลื่นในอากาศ

a = รัศมีของกันฮอร์น

การคำนวณขนาดความยาวของ Probe

ได้จากสูตร ความยาวของ Probe = $\frac{\lambda}{4} = \frac{0.167 \text{ m}}{4} = 4.175 \text{ cm} \cong 4 \text{ cm}$ (ทำด้วยลวดทองเหลือง

2.5 cm)

4.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการเจาะฮอร์นที่ระยะ $\frac{\lambda_g}{4}$ ตามที่คำนวณออกมาได้ (6.06 cm)
2. ทำการปิดกันฮอร์นด้วยแผ่นอลูมิเนียมเพื่อไม่ให้คลื่นกระจายออกไปทางด้านหลังของฮอร์น
3. ทำการติดตั้ง Probe เข้ากับฮอร์น (โดย Probe มีความยาว 4 cm)
4. ทำการทดลองวัดค่า VSWR และ Impedance ของฮอร์นแต่ละตัวโดยเครื่อง Network Analyzer

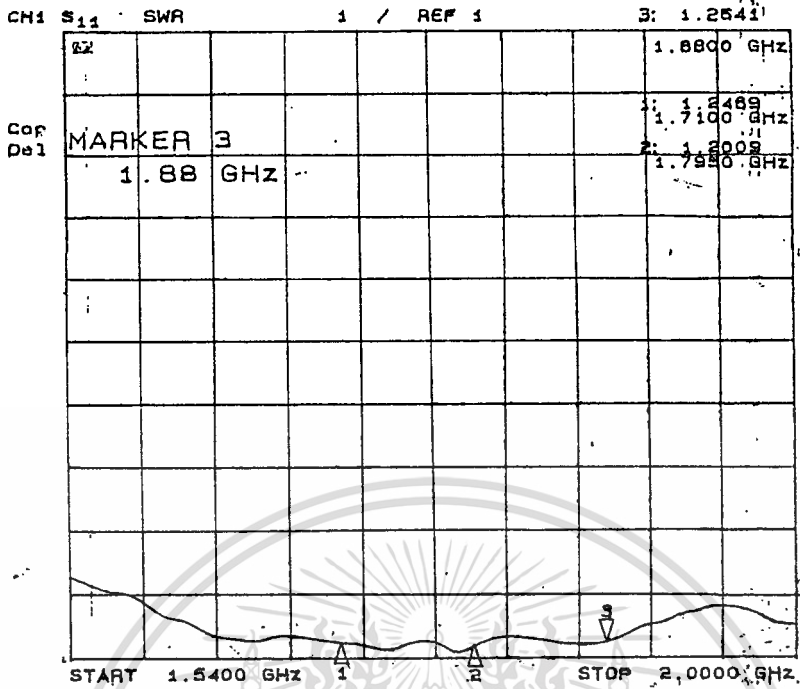
โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ทำการ Calibrate (ปรับค่า) เครื่องให้ได้ค่าที่ถูกต้อง โดยใช้คอนเนคเตอร์ที่มีอยู่ทำการปรับค่าในฟังก์ชัน Short Circuit เพื่อให้ค่าในการวัดให้ถูกต้องและให้มีการแมทซิ่งกับตัวฮอร์นที่จะใช้ทดลองนั้น

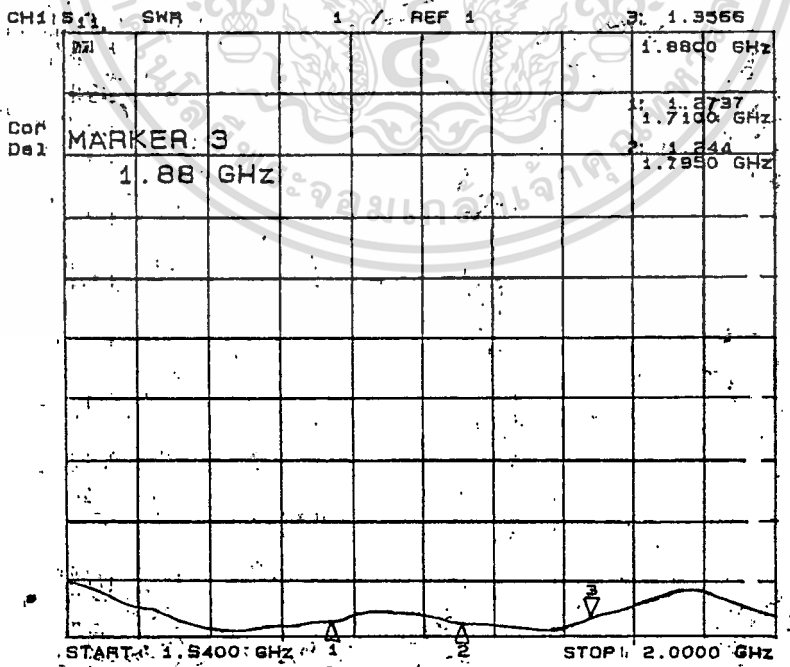
4.2 ทำการต่อ Network Analyzer เข้ากับ Connector ของฮอร์น โดยผ่าน Transmissiön Line ที่ทำการ Calibrate แล้วตามหัวข้อที่ 4.1

4.3 ทำการวัดค่า VSWR ของฮอร์นแต่ละตัวจะได้ค่าดังนี้

4.4 ทำการปรับเปลี่ยนลวดทองเหลืองเพื่อให้ได้ค่า VSWR ใกล้เคียง 1:1 มากที่สุดซึ่งมีผลการทดลองของฮอร์น ดังรูปที่ 4.6 - 4.9

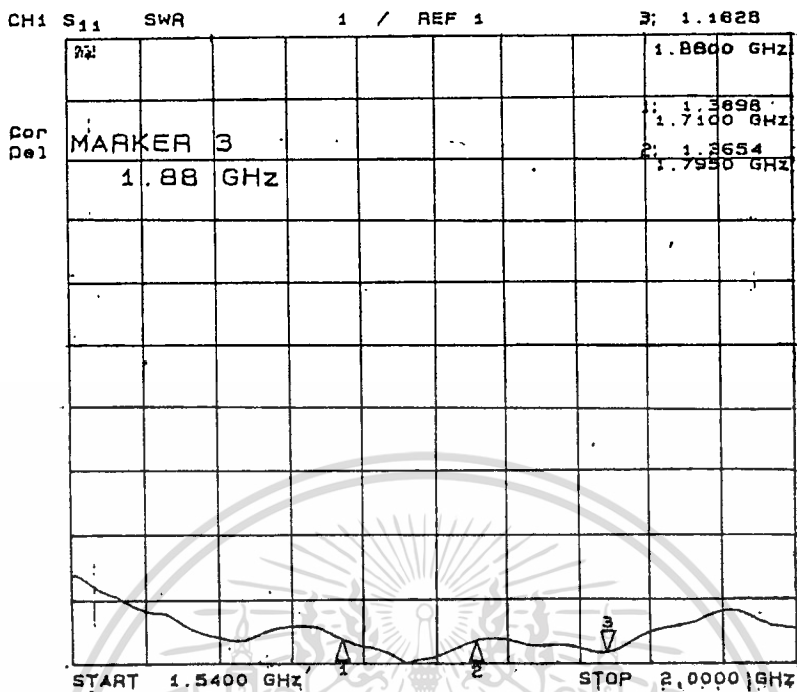


รูปที่ 4.6 แสดงค่า VSWR ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1

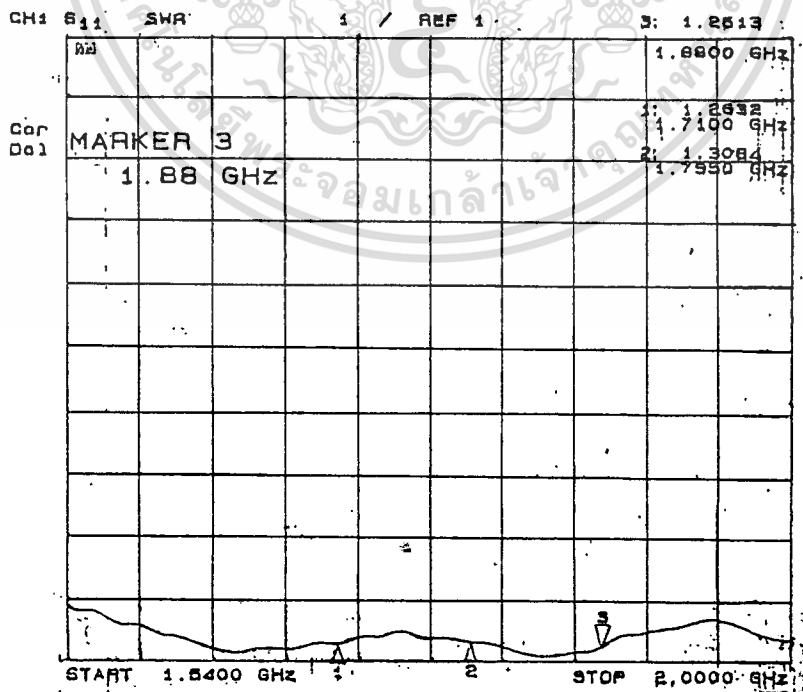


รูปที่ 4.7 แสดงค่า VSWR ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

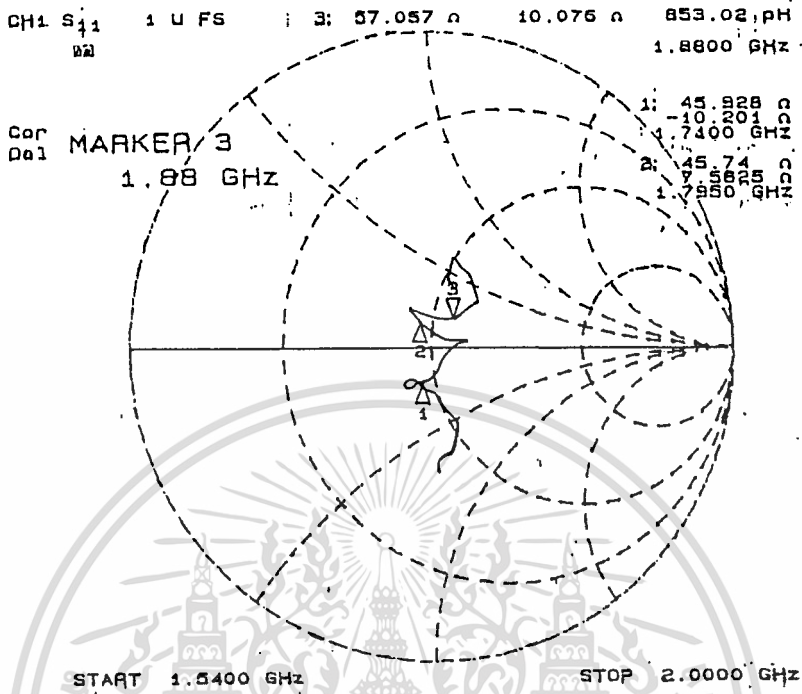


รูปที่ 4.8 แสดงค่า VSWR ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2

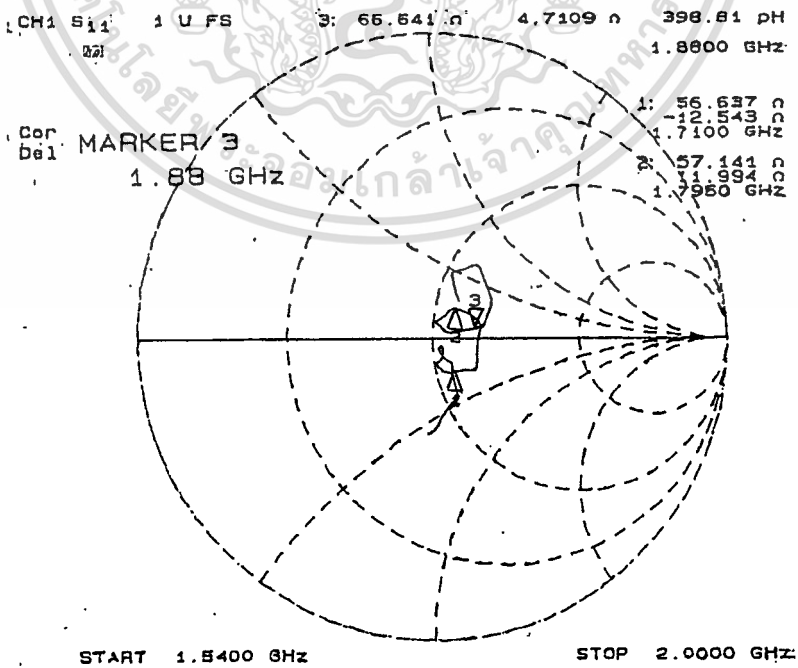


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.9 แสดงค่า VSWR ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 2 นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 เมื่อได้ค่าของ VSWR ที่ดีที่สุดแล้วทำการทดลองวัดค่า Impedance และ Return Loss ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังในรูปที่ 4.10 - 4.17



รูปที่ 4.10 แสดงค่า Impedance ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1

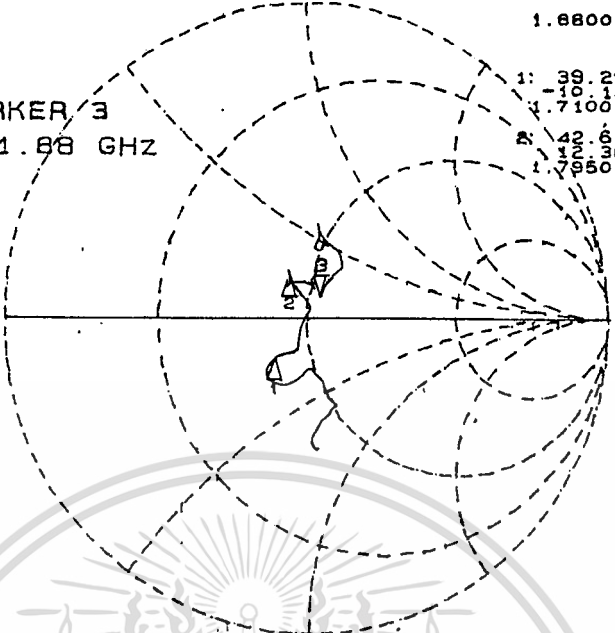


รูปที่ 4.11 แสดงค่า Impedance ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 1

CH1 S11 1 U FS 3: 54.553 n 7.6484 n 647.49 pH
1.8800 GHz

Cor De1 MARKER 3
1.88 GHz

1: 39.297 n
-10.158 n
1.7100 GHz
2: 42.611 n
10.369 n
1.7950 GHz



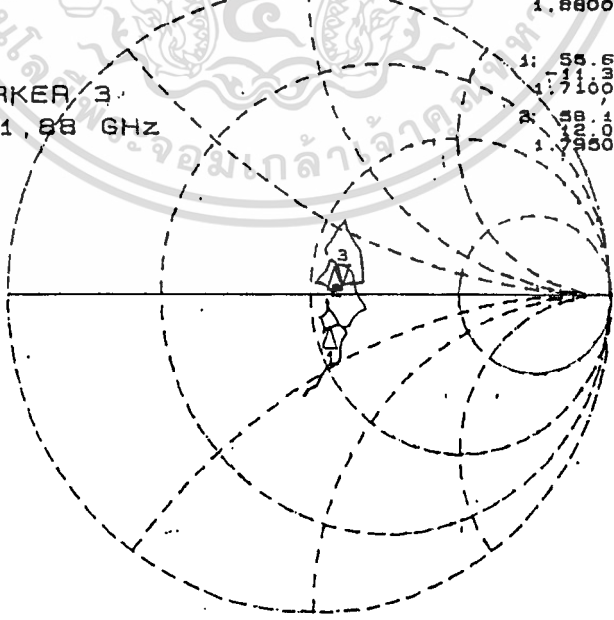
START 1.5400 GHz STOP 2.0000 GHz

รูปที่ 4.12 แสดงค่า Impedance ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2

CH1 S11 1 U FS 3: 62.051 n 3.544 n 299.77 pH
1.8800 GHz

Cor De1 MARKER 3
1.88 GHz

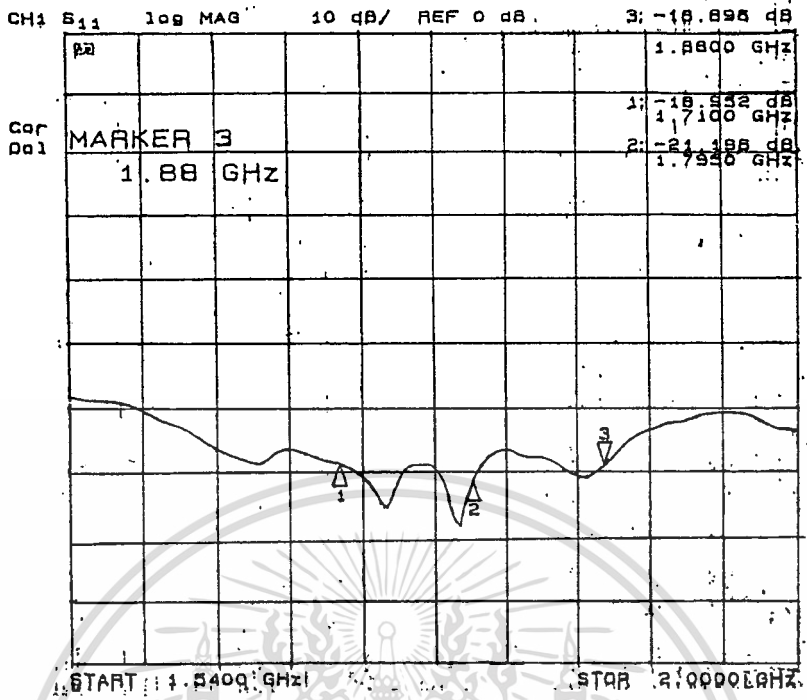
1: 58.621 n
-11.393 n
1.7100 GHz
2: 58.148 n
12.018 n
1.7950 GHz



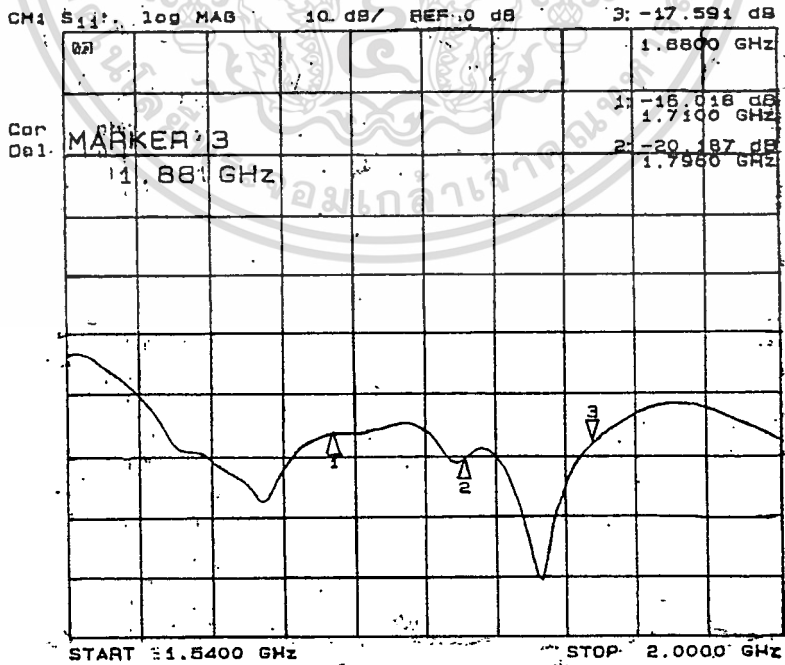
START 1.5400 GHz STOP 2.0000 GHz

รูปที่ 4.13 แสดงค่า Impedance ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

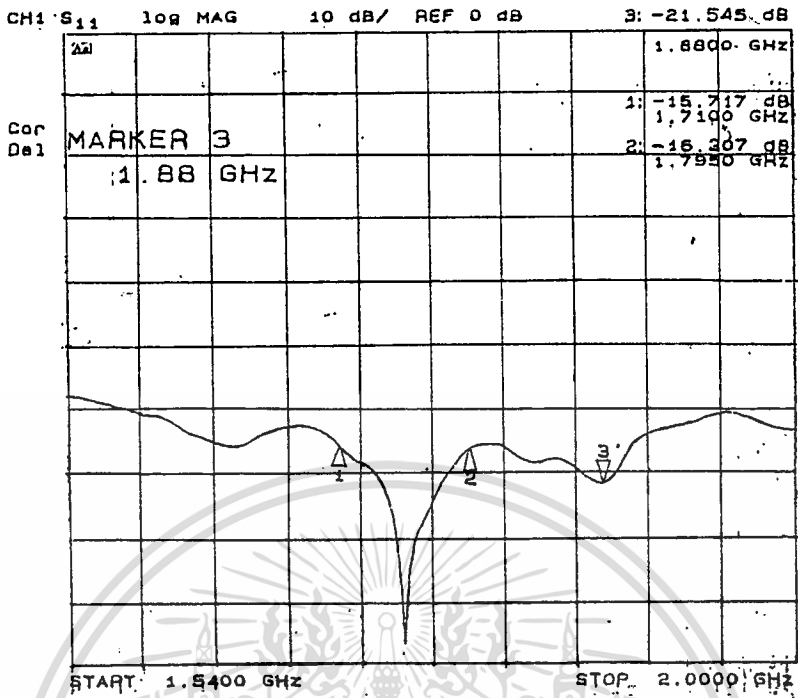


รูปที่ 4.14 แสดงค่า Return Loss ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1

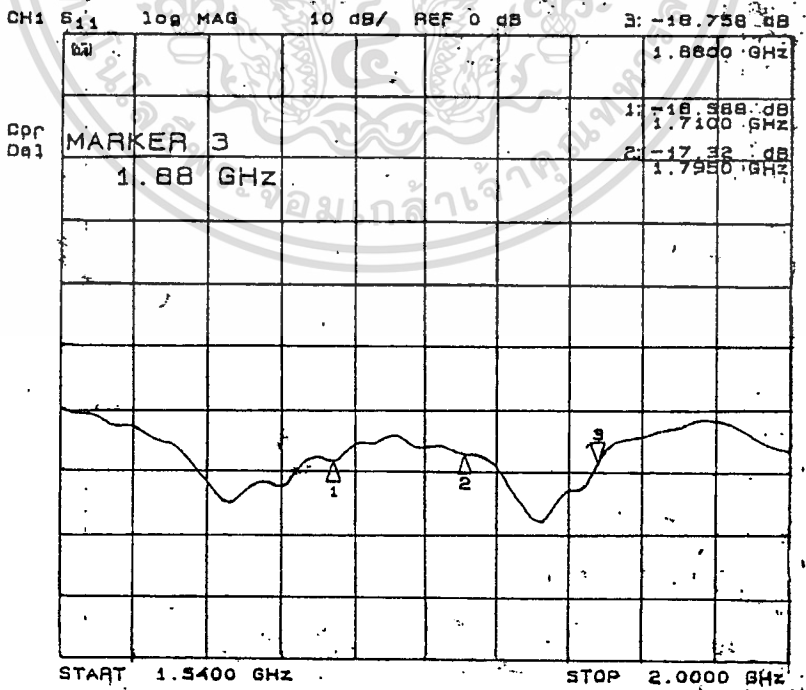


รูปที่ 4.15 แสดงค่า Return Loss ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงค่า Return Loss ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2

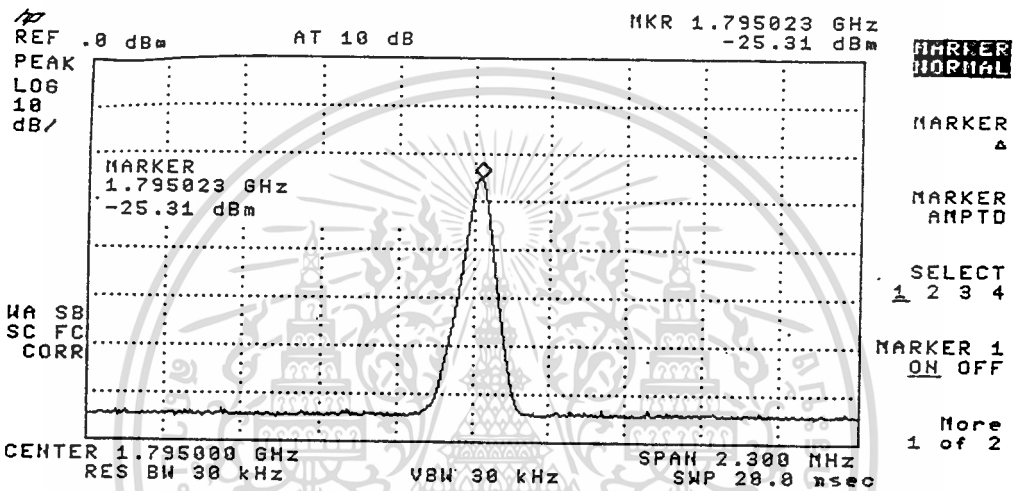


รูปที่ 4.17 แสดงค่า Return Loss ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 2

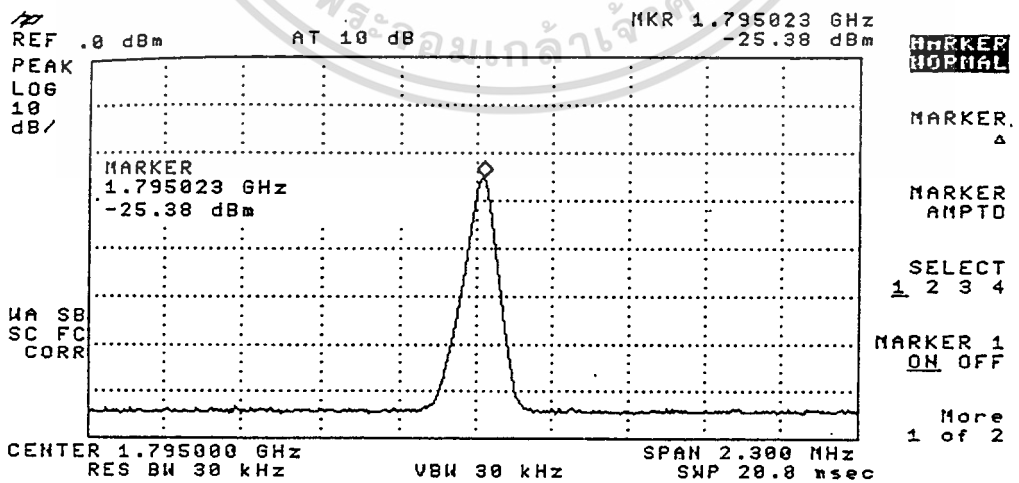
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ทำการวัดค่ากำลังของสนามที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อนำมา Plot Power Pattern โดยการนำเอาสายอากาศตัวส่งต่อเข้ากับ Signal Generator และนำเอาสายอากาศตัวรับต่อเข้ากับ Spectrum Analyzer โดยให้ระยะห่างระหว่าง Horn ทั้ง 2 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับระยะ Far Field โดยมีสูตรการคำนวณระยะทาง Far Field ดังสมการข้างล่าง

$$\begin{aligned} \text{Far Field Distance} &= \frac{2D^2}{\lambda} \\ &= \frac{2(0.5)^2}{0.167} \text{ m} \\ &= 2.994 \approx 3 \text{ m} \end{aligned}$$



รูปที่ 4.18 แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว Horizontal



รูปที่ 4.19 แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Horizontal

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB)
0	-25.31	0	175	-47.92	-22.61
5	-25.61	-0.30	180	-44.20	-18.98
10	-26.80	-1.49	185	-43.50	-18.19
15	-28.15	-2.84	190	-42.95	-17.64
20	-30.47	-5.16	195	-44.80	-19.49
25	-32.42	-7.11	200	-46.57	-21.26
30	-34.16	-8.85	205	-46.13	-20.87
35	-35.90	-10.59	210	-47.38	-22.06
40	-38.91	-13.60	215	-55.92	-30.61
45	-41.68	-16.37	220	-57.22	-31.91
50	-43.56	-18.25	225	-59.42	-34.11
55	-44.95	-19.64	230	-57.45	-32.14
60	-45.20	-19.89	235	-52.90	-27.59
65	-44.65	-19.34	240	-60.15	-34.84
70	-44.20	-18.89	245	-71.81	-46.50
75	-45.09	-19.78	250	-52.87	-27.56
80	-45.26	-19.95	255	-46.81	-21.50
85	-48.16	-22.85	260	-48.53	-23.22
90	-53.56	-28.25	265	-55.28	-29.97
95	-54.87	-29.56	270	-47.60	-22.29
100	-48.25	-22.94	275	-43.26	-17.95
105	-48.19	-22.88	280	-45.15	-18.94
110	-51.87	-26.56	285	-50.18	-24.87
115	-52.40	-27.09	290	-44.53	-19.22
120	-57.69	-32.38	295	-43.57	-18.26
125	-55.87	-30.56	300	-50.87	-25.56
130	-59.46	-34.15	305	-53.19	-27.88
135	-50.90	-25.59	310	-51.65	-26.35
140	-50.18	-24.87	315	-51.18	-25.87
145	-49.54	-24.23	320	-44.65	-19.34
150	-49.66	-24.35	325	-40.49	-15.18
155	-54.55	-29.24	330	-37.95	-12.64
160	-54.19	-28.88	335	-37.03	-11.72
165	-55.40	-30.09	340	-38.26	-12.95
170	-49.17	-23.86	345	-39.05	-13.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัทฯ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามถอดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบใช้

Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB)
350	-35.52	-10.21	360	-25.94	-0.63
355	-29.73	-4.42			

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า Power ที่รับได้ที่องศาต่างๆ ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว Horizontal

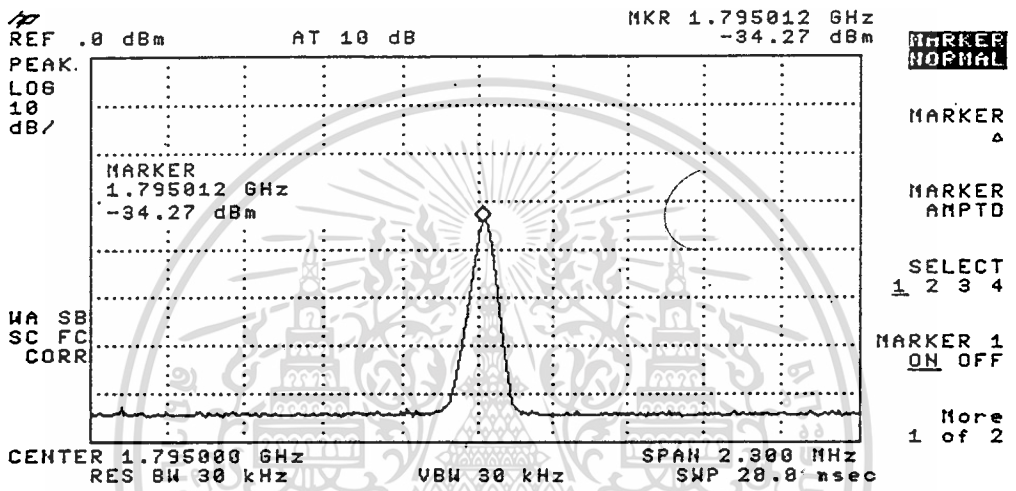
Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB)
0	-25.38	0	150	-47.77	-22.39
5	-25.58	-0.20	155	-47.71	-22.33
10	-27.78	-2.40	160	-50.00	-24.62
15	-28.98	-3.60	165	-59.95	-34.57
20	-31.35	-5.87	170	-54.21	-28.83
25	-33.45	-8.07	175	-50.34	-24.96
30	-34.48	-9.10	180	-48.67	-23.29
35	-36.23	-10.85	185	-46.64	-21.26
40	-38.78	-13.40	190	-44.47	-19.09
45	-40.88	-15.50	195	-48.44	-23.06
50	-42.44	-17.06	200	-50.41	-25.03
55	-43.25	-17.87	205	-49.45	-24.07
60	-44.28	-18.90	210	-52.41	-27.03
65	-45.21	-19.83	215	-60.67	-35.29
70	-46.28	-20.90	220	-63.39	-38.01
75	-49.53	-24.15	225	-51.32	-35.94
80	-50.65	-25.27	230	-54.43	-29.05
85	-55.62	-30.24	235	-51.49	-26.11
90	-58.27	-32.89	240	-54.41	-29.03
95	-52.53	-27.15	245	-56.62	-31.40
100	-50.62	-25.24	250	-49.93	-24.55
105	-56.21	-30.83	255	-44.23	-18.85
110	-54.11	-28.73	260	-47.53	-22.15
115	-54.13	-28.75	265	-52.54	-27.16
120	-52.78	-27.40	270	-47.20	-21.82
125	-51.32	-25.94	275	-43.33	-17.95
130	-57.77	-22.39	280	-44.44	-19.06
135	-52.33	-26.95	285	-56.65	-31.27
140	-49.20	-23.82	290	-47.72	-22.34
145	-48.97	-23.59	295	-46.63	-21.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

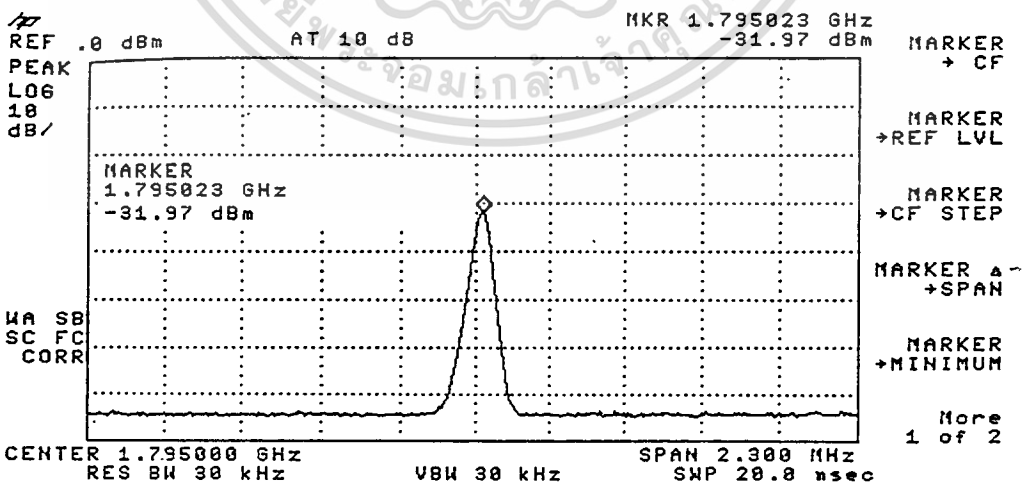
Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB)
300	-52.21	-26.83	335	-37.75	-12.37
305	-53.54	-28.16	340	-38.27	-12.89
310	-48.91	-23.53	345	-40.42	-15.04
315	-50.13	-24.75	350	-37.78	-12.40
320	-43.35	-17.97	355	-31.25	-5.87
325	-40.15	-14.77	360	-26.43	-1.05
330	-38.78	-13.40			

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า Power ที่รับได้ทีองศาต่างๆ ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว Horizontal



รูปที่ 4.20 แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว

Vertical



รูปที่ 4.21 แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว

Vertical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB)
0	-34.27	0	175	-54.41	-20.14
5	-34.58	-0.31	180	-49.95	-15.68
10	-34.89	-0.62	185	-50.35	-16.08
15	-36.78	-2.51	190	-51.78	-17.51
20	-38.56	-4.29	195	-52.25	-17.98
25	-40.78	-6.51	200	-50.67	-16.40
30	-43.52	-9.25	205	-47.88	-13.61
35	-44.78	-10.51	210	-47.25	-12.98
40	-44.38	-10.11	215	-50.35	-16.08
45	-45.05	-10.78	220	-52.28	-18.01
50	-46.25	-11.98	225	-52.18	-17.91
55	-49.28	-14.01	230	-58.17	-23.90
60	-51.78	-17.51	235	-58.15	-23.88
65	-58.76	-24.43	240	-55.49	-21.22
70	-72.43	-38.16	245	-58.28	-24.01
75	-55.03	-20.76	250	-57.17	-22.91
80	-55.50	-21.23	255	-56.45	-22.18
85	-57.68	-23.41	260	-57.40	-23.13
90	-54.48	-20.21	265	-59.88	-25.61
95	-54.41	-20.14	270	-60.51	-26.24
100	-57.78	-23.51	275	-59.88	-25.61
105	-56.63	-22.36	280	-61.74	-27.47
110	-55.37	-21.10	285	-52.78	-18.51
115	-52.43	-18.16	290	-54.38	-20.11
120	-52.34	-18.07	295	-59.28	-25.01
125	-54.41	-20.14	300	-65.48	-31.21
130	-49.97	-15.70	305	-64.42	-30.15
135	-47.73	-13.46	310	-58.57	-24.30
140	-49.93	-15.66	315	-55.42	-21.15
145	-50.53	-16.26	320	-55.40	-21.13
150	-49.35	-15.08	325	-47.20	-12.93
155	-52.45	-18.18	330	-43.25	-8.98
160	-61.46	-27.19	335	-41.15	-6.88
165	-67.45	-33.18	340	-39.58	-5.31
170	-59.90	-25.63	345	-38.21	-3.94

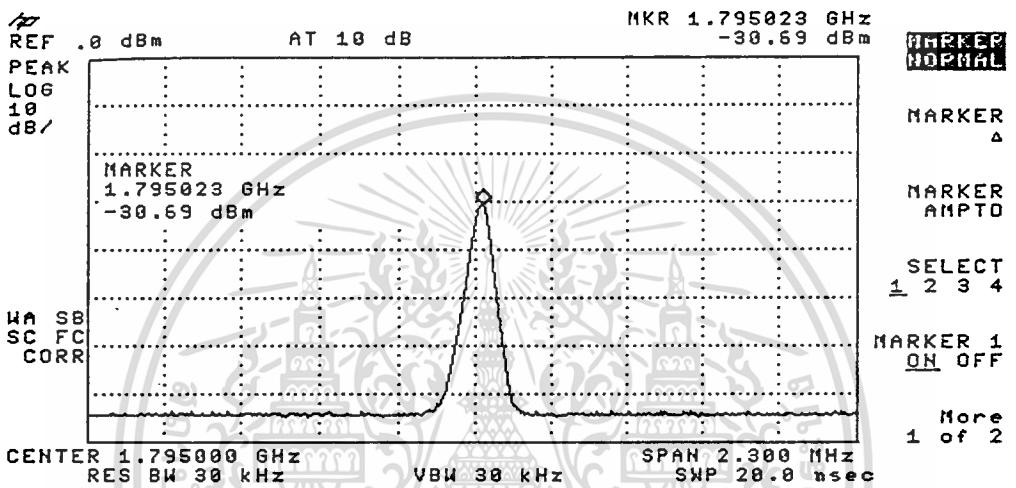
Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB)
350	-36.72	-2.45	360	-35.17	-0.90
355	-35.88	-1.16			

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า Power ที่รับได้ที่องศาต่างๆ ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว Vertical

Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB)
0	-32.85	0	150	-52.74	-19.89
5	-33.97	-1.12	155	-54.45	-21.60
10	-34.53	-1.68	160	-69.38	-36.53
15	-36.91	-4.06	165	-53.53	-20.68
20	-36.79	-3.94	170	-52.64	-19.79
25	-38.26	-5.41	175	-56.02	-23.17
30	-39.37	-6.52	180	-62.73	-29.88
35	-42.18	-9.33	185	-50.46	-17.61
40	-43.38	-10.53	190	-53.45	-20.60
45	-48.72	-15.87	195	-53.72	-20.87
50	-49.36	-16.51	200	-52.21	-19.36
55	-46.56	-13.71	205	-56.62	-23.77
60	-47.32	-14.47	210	-67.38	-34.53
65	-57.43	-20.58	215	-53.45	-20.60
70	-62.34	-29.47	220	-52.39	-19.54
75	-52.68	-19.83	225	-59.31	-26.46
80	-52.11	-19.26	230	-53.42	-20.57
85	-54.63	-21.78	235	-56.98	-24.13
90	-53.89	-21.04	240	-60.45	-27.60
95	-52.25	-19.40	245	-55.47	-22.62
100	-52.78	-19.93	250	-53.57	-20.72
105	-68.14	-35.29	255	-55.39	-22.54
110	-56.41	-23.56	260	-52.19	-19.34
115	-61.88	-29.03	265	-53.07	-20.22
120	-60.14	-27.29	270	-52.89	-20.04
125	-64.38	-31.53	275	-55.42	-22.57
130	-57.28	-24.43	280	-58.71	-28.86
135	-55.53	-22.68	285	-56.61	-23.76
140	-53.95	-21.10	290	-55.37	-22.52
145	-53.84	-20.99	295	-54.18	-21.33

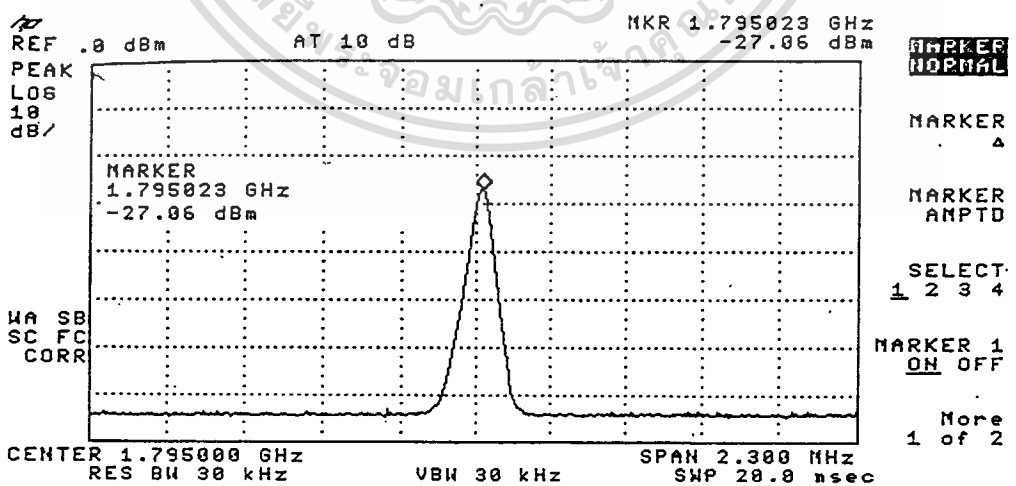
Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB)
300	-52.93	-20.08	335	-43.78	-10.93
305	-53.12	-20.17	340	-41.22	-8.37
310	-52.08	-19.23	345	-38.77	-5.92
315	-53.67	-20.82	350	-35.42	-2.57
320	-50.47	-17.62	355	-34.28	-1.43
325	-47.13	-14.28	360	-33.18	-0.33
330	-45.36	-12.51			

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า Power ที่รับได้ที่องศาต่างๆ ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว Vertical



รูปที่ 4.22 แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Conical Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว

Horizontal



รูปที่ 4.23 แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Conical Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว

Horizontal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB)
0	-30.69	0	175	-53.23	-21.54
5	-32.44	-1.75	180	-55.53	-24.84
10	-34.02	-3.33	185	-48.22	-17.53
15	-36.42	-5.73	190	-44.44	-13.75
20	-38.37	-7.68	195	-44.83	-14.14
25	-40.42	-9.73	200	-49.21	-18.52
30	-42.13	-11.44	205	-48.23	-17.54
35	-47.53	-16.84	210	-44.48	-13.79
40	-51.63	-20.94	215	-49.91	-19.22
45	-55.31	-24.62	220	-57.78	-27.09
50	-56.28	-25.59	225	-56.63	-25.94
55	-52.42	-21.73	230	-51.78	-21.09
60	-51.68	-20.99	235	-53.93	-23.24
65	-53.18	-22.49	240	-51.08	-20.35
70	-53.17	-22.48	245	-49.95	-19.26
75	-51.43	-20.74	250	-57.78	-27.09
80	-50.42	-19.30	255	-51.18	-20.49
85	-47.78	-17.09	260	-42.23	-11.54
90	-47.13	-16.44	265	-43.38	-12.69
95	-51.43	-20.74	270	-46.68	-15.99
100	-55.48	-24.79	275	-46.63	-15.94
105	-57.41	-26.72	280	-43.33	-12.64
110	-55.53	-24.84	285	-44.41	-13.72
115	-56.78	-26.09	290	-49.91	-19.22
120	-53.34	-22.65	295	-49.98	-19.29
125	-54.42	-23.73	300	-45.53	-14.84
130	-50.78	-20.09	305	-43.38	-12.69
135	-45.53	-14.84	310	-37.64	-6.95
140	-45.42	-14.73	315	-35.89	-5.20
145	-45.28	-14.59	320	-36.33	-5.64
150	-44.45	-13.76	325	-37.01	-6.32
155	-45.21	-14.52	330	-37.78	-7.09
160	-48.83	-18.14	335	-38.42	-7.73
165	-54.70	-24.01	340	-44.12	-13.43
170	-53.35	-22.66	345	-37.23	-6.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการศึกษานานาชาติของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB)
350	-31.62	-0.93	360	-30.82	-0.13
355	-31.10	-0.41			

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า Power ที่รับได้ที่องศาต่างๆ ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว Horizontal

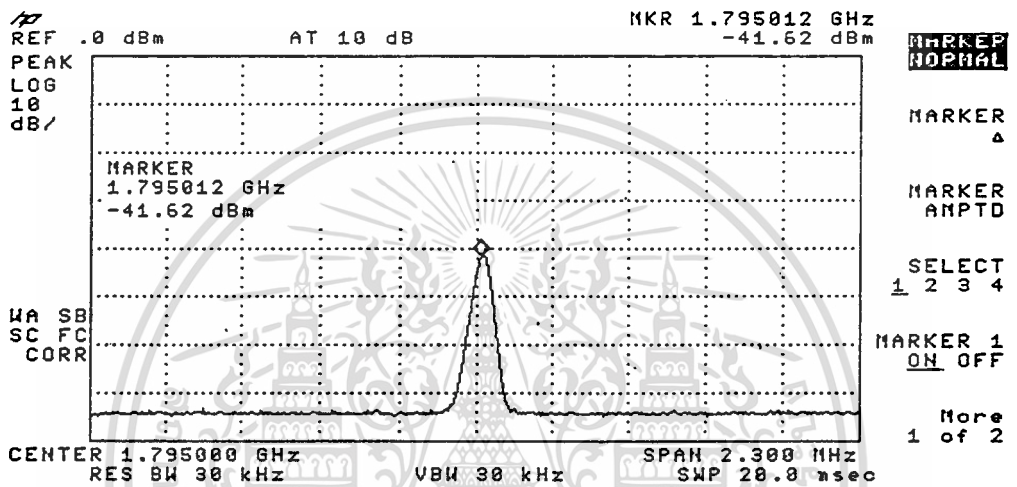
Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB)
0	-27.06	0	150	-46.83	-19.77
5	-27.35	-0.29	155	-46.44	-19.38
10	-28.46	-1.40	160	-52.78	-25.72
15	-30.24	-3.18	165	-54.83	-27.77
20	-32.45	-5.39	170	-46.33	-19.27
25	-34.76	-7.70	175	-46.78	-19.72
30	-36.21	-9.15	180	-50.50	-23.44
35	-37.56	-10.50	185	-53.93	-26.87
40	-39.42	-12.36	190	-50.78	-23.72
45	-43.68	-16.62	195	-47.72	-20.66
50	-50.35	-23.29	200	-50.22	-23.16
55	-54.35	-27.29	205	-54.73	-27.67
60	-56.21	-29.15	210	-49.65	-22.59
65	-54.35	-27.29	215	-47.78	-20.72
70	-58.35	-31.29	220	-52.28	-25.22
75	-57.64	-30.58	225	-54.38	-27.32
80	-54.47	-27.41	230	-51.25	-24.19
85	-54.83	-27.77	235	-50.15	-23.09
90	-55.48	-28.42	240	-55.78	-28.72
95	-52.46	-25.40	245	-49.55	-22.49
100	-56.67	-29.61	250	-50.35	-23.29
105	-52.43	-25.37	255	-55.78	-28.72
110	-51.45	-24.39	260	-49.35	-22.29
115	-50.45	-23.39	265	-45.55	-18.49
120	-50.51	-23.45	270	-44.43	-17.37
125	-48.43	-21.31	275	-46.25	-19.19
130	-51.78	-34.72	280	-56.63	-29.57
135	-53.46	-26.40	285	-46.65	-19.59
140	-56.48	-29.42	290	-47.85	-20.79
145	-47.78	-20.72	295	-44.44	-17.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

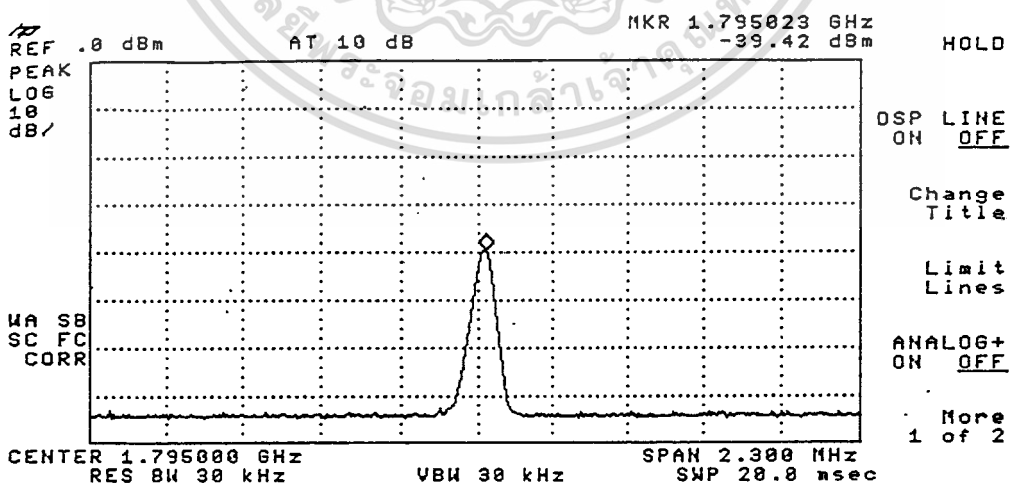
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB)
300	-47.93	-20.87	335	-34.18	-7.12
305	-50.55	-23.49	340	-35.21	-8.15
310	-46.48	-19.42	345	-34.50	-7.44
315	-42.77	-15.71	350	-38.80	-11.74
320	-40.50	-13.44	355	-36.78	-9.72
325	-36.71	-9.65	360	-29.35	-2.29
330	-34.22	-7.16			

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า Power ที่รับได้ที่องศาต่างๆ ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว Horizontal



รูปที่ 4.24 แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Conical Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว Vertical



รูปที่ 4.25 แสดงค่าสูงสุดที่ 0 องศาของการรับส่งโดย Conical Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว Vertical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB)
0	-41.62	0	175	-50.79	-9.17
5	-42.53	-0.91	180	-52.31	-10.69
10	-46.68	-5.06	185	-54.86	-13.24
15	-50.58	-8.96	190	-54.97	-13.35
20	-56.68	-15.06	195	-55.17	-13.55
25	-63.54	-21.72	200	-55.75	-14.13
30	-62.25	-20.63	205	-56.13	-14.51
35	-62.35	-20.73	210	-56.87	-15.25
40	-56.28	-17.66	215	-62.77	-21.15
45	-53.59	-21.97	220	-67.52	-25.90
50	-67.78	-26.16	225	-60.89	-19.27
55	-69.93	-28.31	230	-69.72	-28.10
60	-61.94	-20.32	235	-59.87	-18.25
65	-58.45	-16.83	240	-57.53	-15.91
70	-57.68	-16.06	245	-56.21	-14.59
75	-60.42	-18.80	250	-61.41	-19.79
80	-65.29	-23.67	255	-62.13	-20.51
85	-62.68	-21.06	260	-64.32	-22.70
90	-57.53	-15.91	265	-60.57	-18.95
95	-56.63	-15.01	270	-57.63	-16.01
100	-60.64	-19.02	275	-59.13	-17.51
105	-62.63	-21.01	280	-61.39	-19.77
110	-71.51	-29.89	285	-56.73	-15.11
115	-72.13	-30.51	290	-58.91	-17.29
120	-60.17	-18.55	295	-55.18	-13.56
125	-57.81	-16.19	300	-56.83	-15.21
130	-59.18	-17.56	305	-57.86	-16.24
135	-57.23	-15.61	310	-54.76	-13.14
140	-56.35	-14.73	315	-56.39	-14.77
145	-54.43	-12.81	320	-56.87	-15.25
150	-53.17	-11.55	325	-57.12	-15.50
155	-52.85	-11.23	330	-54.13	-12.51
160	-50.42	-8.08	335	-57.39	-15.77
165	-49.98	-8.36	340	-59.57	-17.95
170	-50.13	-8.51	345	-54.23	-12.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB-)
350	-48.12	-6.50	360	-41.72	-0.10
355	-43.88	-2.26			

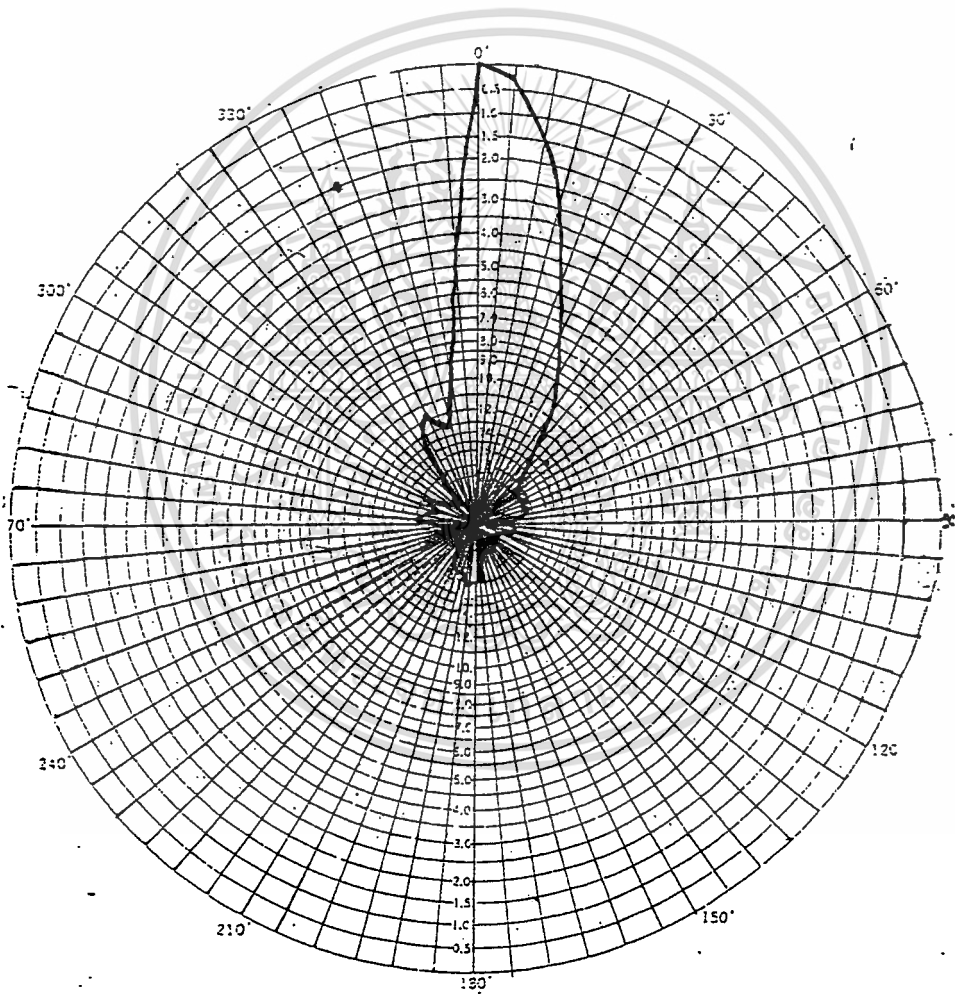
ตารางที่ 4.7 แสดงค่า Power ที่รับได้ที่องศาต่างๆ ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 1 ในแนว Vertical

Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB)
0	-39.42	0	150	-52.39	-12.97
5	-39.85	-0.43	155	-51.23	-11.81
10	-39.85	-0.43	160	-51.13	-11.71
15	-40.38	-0.96	165	-52.71	-13.92
20	-42.53	-3.11	170	-52.89	-13.47
25	-43.47	-4.05	175	-50.29	-10.87
30	-44.93	-5.51	180	-47.44	-8.02
35	-46.72	-7.30	185	-46.11	-6.69
40	-49.13	-9.71	190	-46.43	-7.01
45	-50.92	-11.50	195	-46.23	-6.81
50	-51.39	-11.97	200	-47.77	-8.35
55	-52.31	-12.89	205	-52.34	-12.92
60	-53.87	-14.45	210	-56.11	-16.74
65	-55.73	-16.31	215	-59.83	-20.41
70	-57.62	-18.20	220	-64.71	-25.29
75	-55.44	-16.02	225	-68.34	-28.92
80	-54.21	-14.79	230	-64.08	-24.66
85	-53.94	-14.52	235	-65.89	-26.47
90	-57.27	-17.85	240	-72.22	-32.80
95	-57.68	-18.26	245	-67.77	-28.35
100	-61.41	-21.99	250	-69.55	-30.13
105	-59.55	-20.13	255	-63.98	-24.56
110	-66.12	-26.70	260	-62.65	-23.23
115	-59.34	-19.92	265	-68.79	-29.37
120	-54.53	-15.11	270	-71.14	-31.72
125	-56.91	-17.49	275	-66.83	-27.41
130	-57.87	-18.45	280	-62.56	-23.14
135	-63.17	-23.75	285	-61.05	-21.63
140	-66.25	-26.83	290	-69.33	-29.91
145	-56.41	-16.99	295	-71.42	-32.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

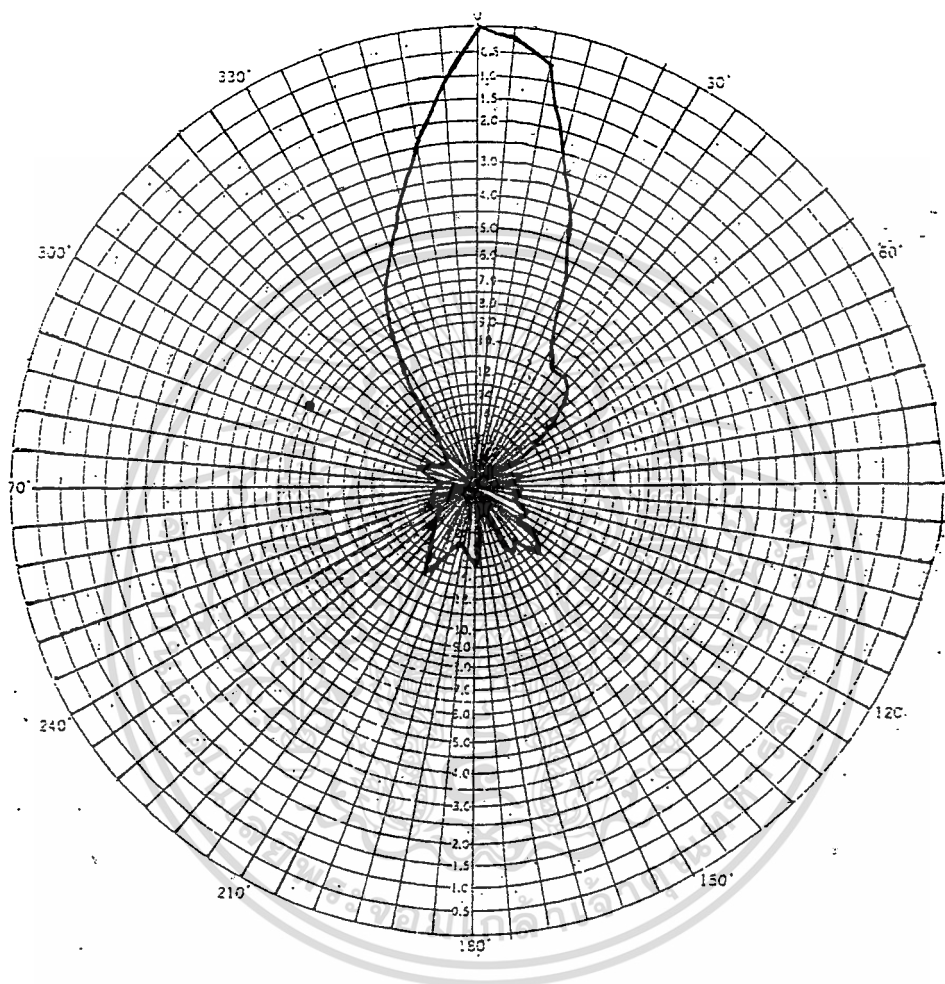
Degree	P(dBm)	Pn(dB)	Degree	P(dBm)	Pn(dB)
300	-62.47	-23.05	335	-55.82	-16.40
305	-63.88	-24.46	340	-52.11	-12.69
310	-66.99	-27.87	345	-50.47	-11.05
315	-63.58	-24.16	350	-47.74	-8.32
320	-61.22	-21.80	355	-44.82	-5.40
325	-59.74	-20.32	360	-40.03	-0.61
330	-57.31	-17.89			

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า Power ที่รับได้ที่องศาต่างๆ ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 2 ในแนว Vertical



BeamWidth = 18.5°

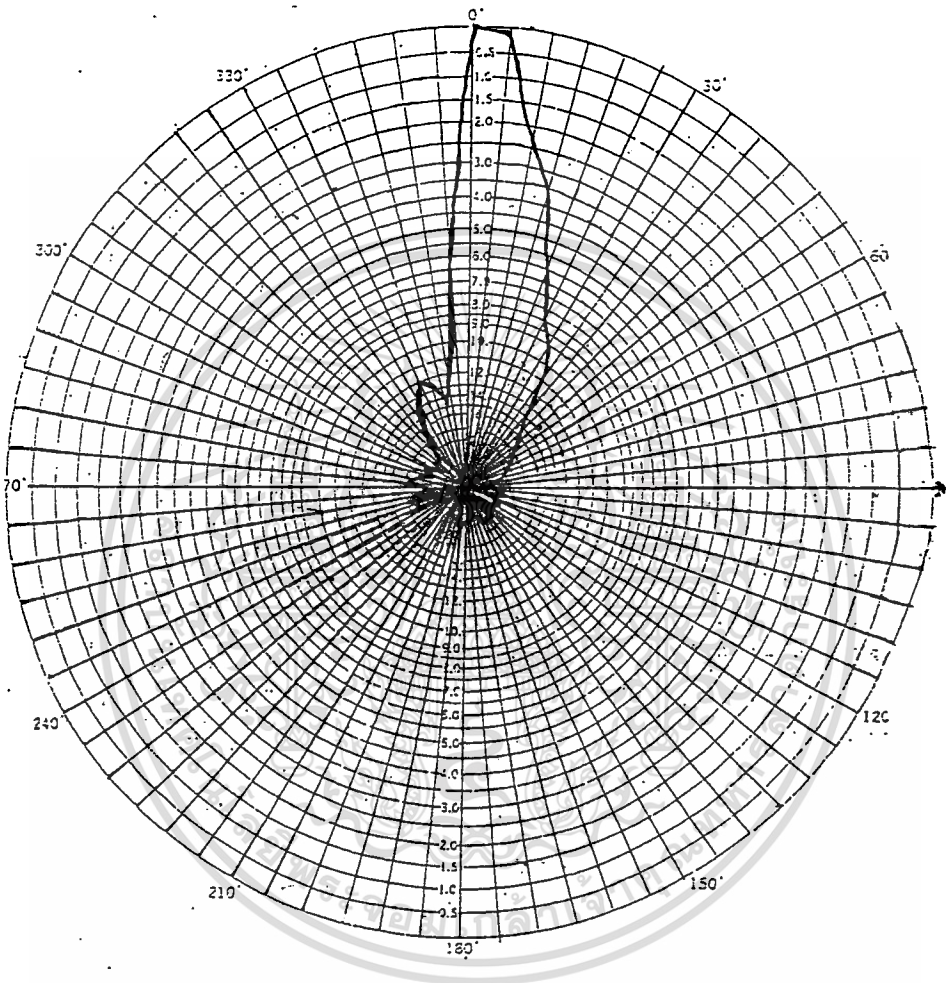
เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.26 ที่แสดง Power Pattern ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1 ในระนาบ Horizontal ในการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\text{BeamWidth} = 29^{\circ}$$

รูปที่ 4.27 แสดง Power Pattern ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1 ในระนาบ Vertical

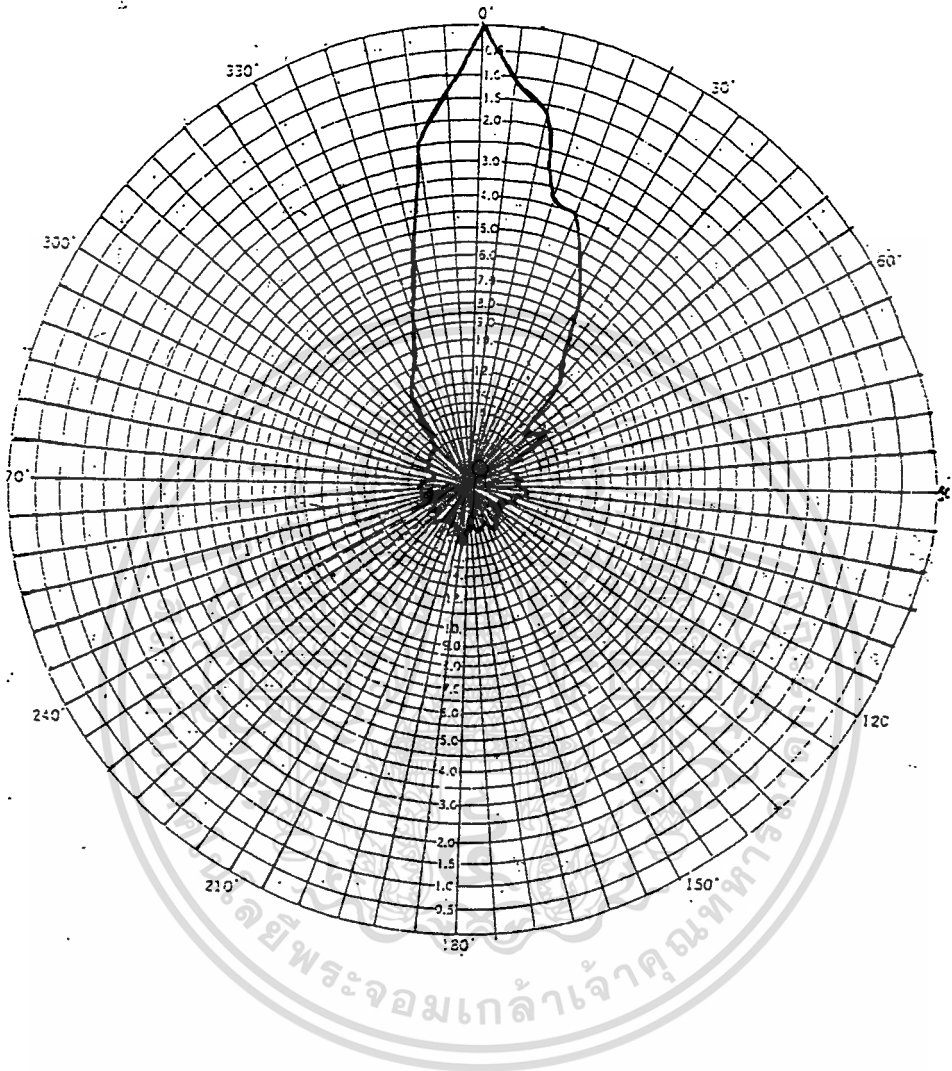
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\text{BeamWidth} = 15^{\circ}$$

รูปที่ 4.28 แสดง Power Pattern ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2 ในระนาบ Horizontal

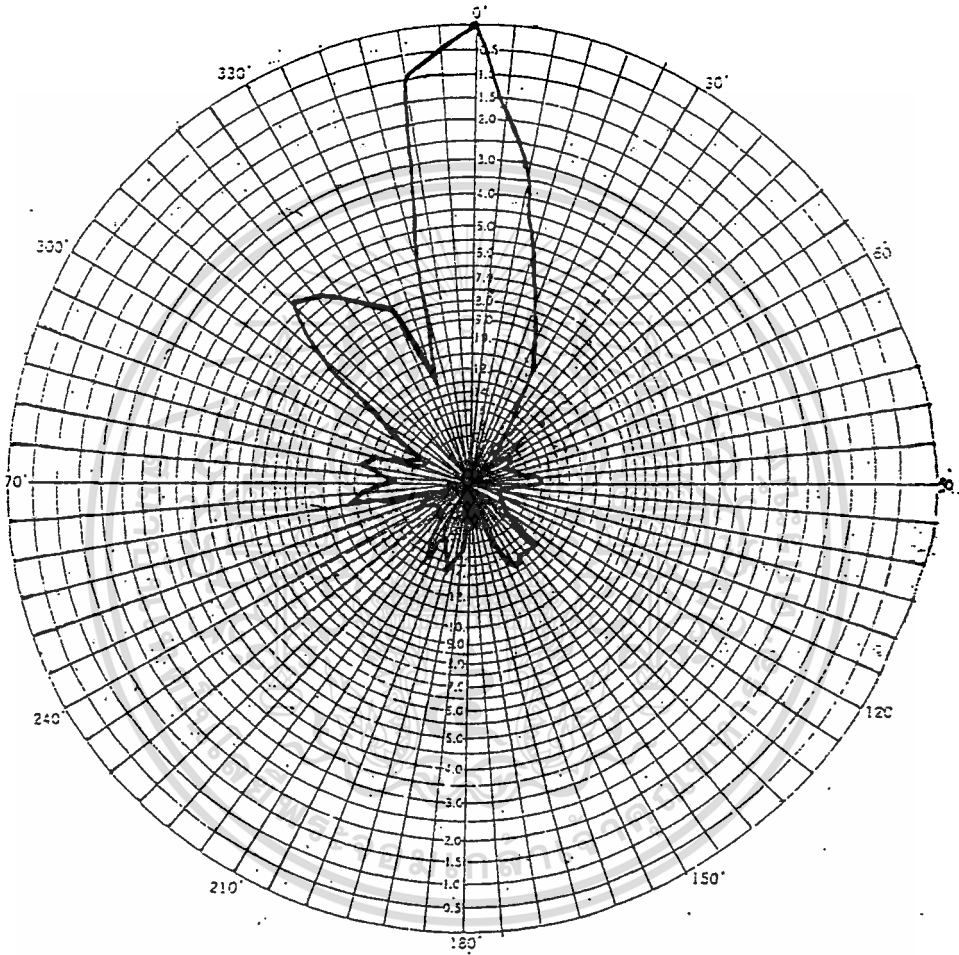
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\text{BeamWidth} = 24^{\circ}$$

รูปที่ 4.29 แสดง Power Pattern ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2 ในระนาบ Vertical

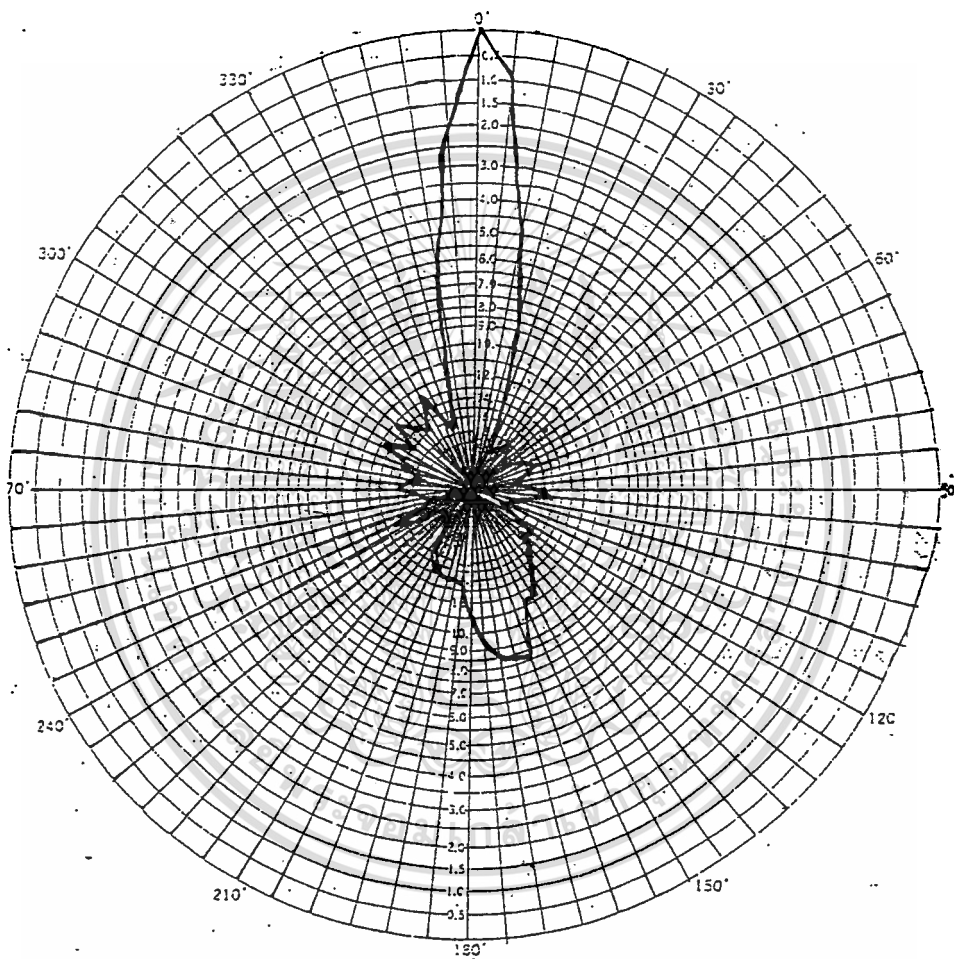
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



BeamWidth = 21°

รูปที่ 4.30 แสดง Power Pattern ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 1 ในระนาบ Horizontal

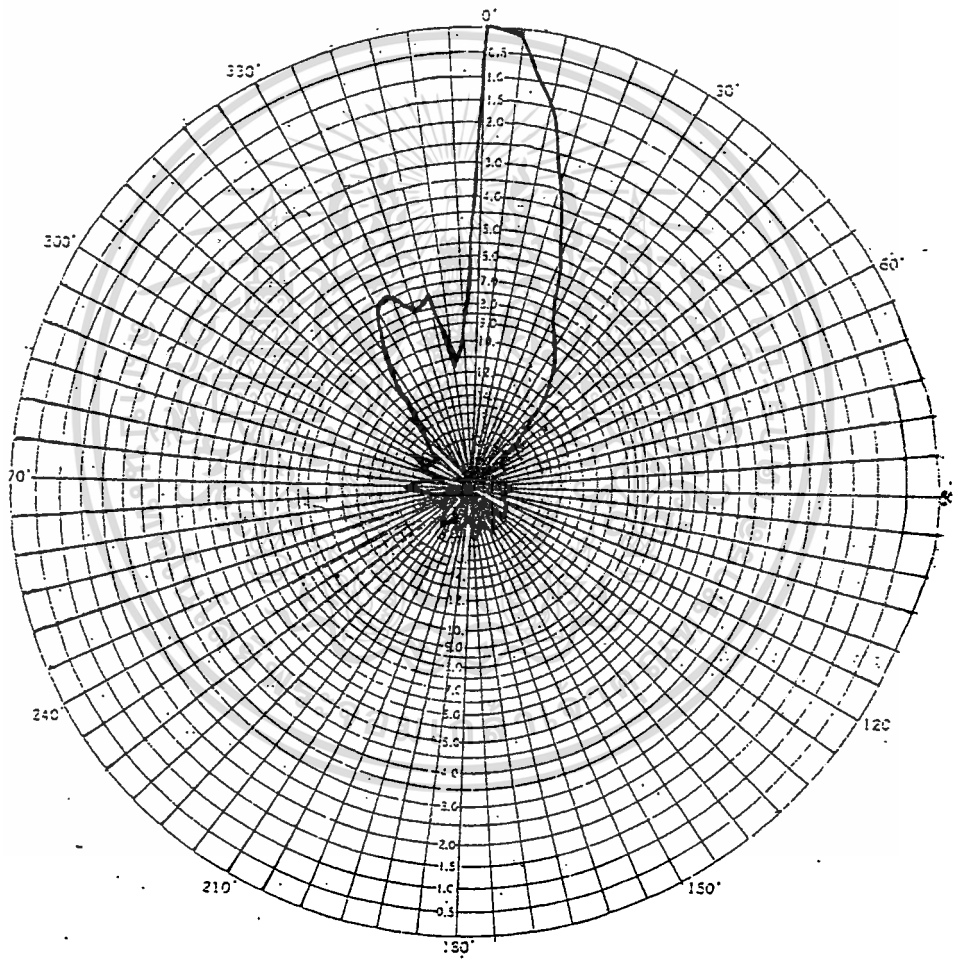
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\text{BeamWidth} = 13.5^{\circ}$$

รูปที่ 4.31 แสดง Power Pattern ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 1 ในระนาบ Vertical

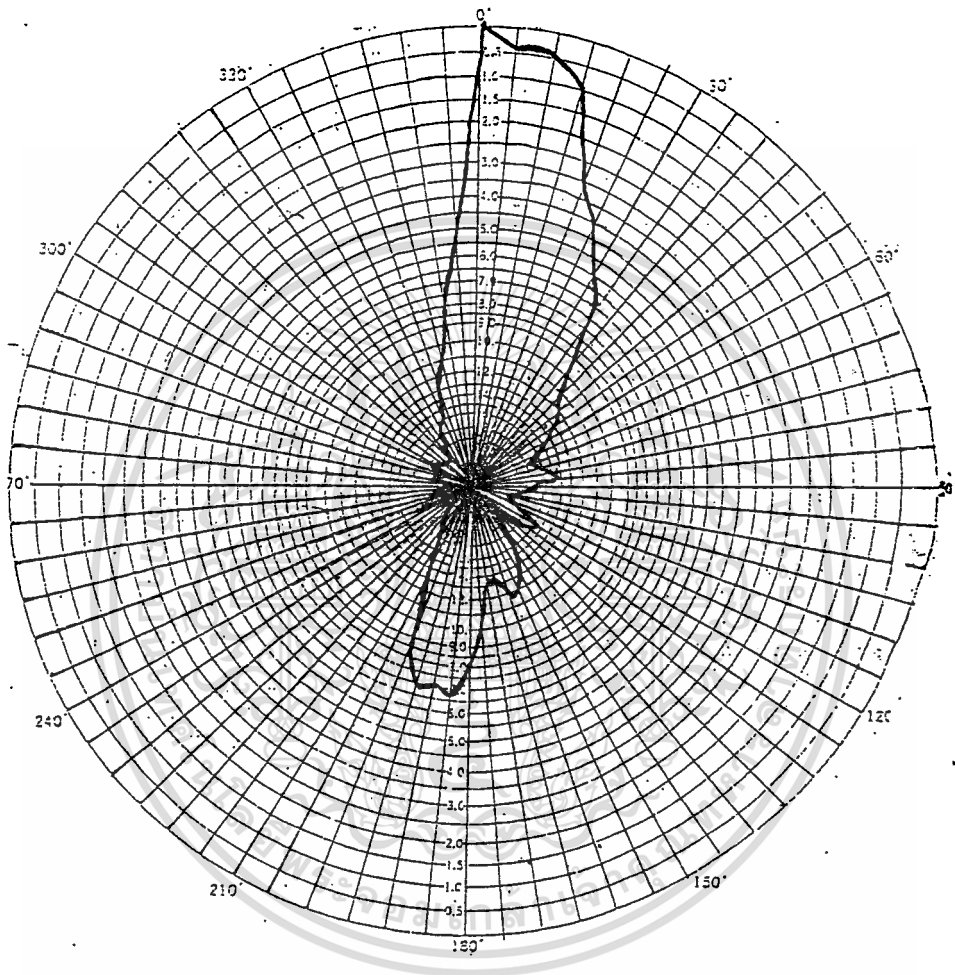
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\text{BeamWidth} = 15.5^\circ$$

รูปที่ 4.32 แสดง Power Pattern ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 2 ในระนาบ Horizontal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\text{BeamWidth} = 22.5^{\circ}$$

รูปที่ 4.33 แสดง Power Pattern ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 2 ในระนาบ Vertical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 เมื่อได้ค่า BeamWidth ของ Horn Antenna แล้ว ต่อไปจะทำการคำนวณค่าของ Directivity โดยใช้สมการข้างล่างดังต่อไปนี้

$$D_o(dB) = 10 \text{ Log} \left(\frac{4\pi \left(\frac{180}{\pi} \right)^2}{\Theta_{1d} \Theta_{2d}} \right)$$

เพราะฉะนั้นเราจะได้ค่า Directivity ของ Horn Antenna ดังต่อไปนี้
Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1

$$\Theta_{1d} = 29^\circ \quad , \quad \Theta_{2d} = 18.5^\circ$$

$$D_o(dB) = 10 \text{ Log} \left(\frac{4\pi \left(\frac{180}{\pi} \right)^2}{29 * 18.5} \right) = 18.86 \text{ dB}_i$$

Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2

$$\Theta_{1d} = 24^\circ \quad , \quad \Theta_{2d} = 15^\circ$$

$$D_o(dB) = 10 \text{ Log} \left(\frac{4\pi \left(\frac{180}{\pi} \right)^2}{24 * 15} \right) = 20.59 \text{ dB}_i$$

Conical Horn Antenna ตัวที่ 1

$$\Theta_{1d} = 13.5^\circ \quad , \quad \Theta_{2d} = 21^\circ$$

$$D_o(dB) = 10 \text{ Log} \left(\frac{4\pi \left(\frac{180}{\pi} \right)^2}{13.5 * 21} \right) = 21.63 \text{ dB}_i$$

Conical Horn Antenna ตัวที่ 2

$$\Theta_{1d} = 22.5^\circ \quad , \quad \Theta_{2d} = 15.5^\circ$$

$$D_o(dB) = 10 \text{ Log} \left(\frac{4\pi \left(\frac{180}{\pi} \right)^2}{22.5 * 15.5} \right) = 20.73 \text{ dB}_i$$

4.8 ทำการคำนวณหาค่า Gain ของ Horn Antenna โดยการต่อสายอากาศตัวส่งเข้ากับ Signal Generator และ สายอากาศตัวรับต่อเข้ากับ Specturm Analyzer โดยการใช้สมการข้างล่างดังต่อไปนี้

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_{fs} - L_{Tt} - L_{Tr} + PLF$$

โดยที่ Parameter มีความหมายดังต่อไปนี้

$$P_t = \text{กำลังงานของเครื่องส่งสัญญาณ (Signal Generator)} \quad \text{dB}_m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_r = กำลังงานที่อ่านได้ที่ Spectrum Analyzer dB_m

PLF = Polarized Loss Factor dB

G_t = Gain ของสายอากาศตัวส่ง dB_i

G_r = Gain ของสายอากาศตัวรับ dB_i

L_{fs} = Loss ที่เกิดจาก Free Space dB

L_{Tt} = Loss ที่เกิดจาก Transmission Line และ Connector Loss ของเครื่องส่ง dB

L_{Tr} = Loss ที่เกิดจาก Transmission Line และ Connector Loss ของเครื่องรับ dB

ค่าที่ใช้ในการคำนวณมีค่าดังนี้

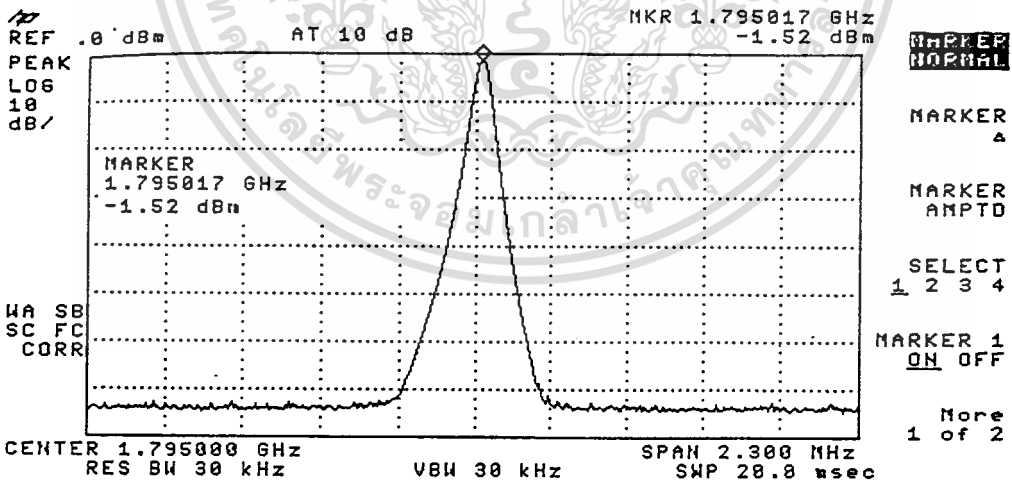
$$G_t \cong G_r$$

$$L_{fs} = 10 \text{ Log} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \quad \text{โดยที่ } R = \text{ระยะห่างระหว่าง Horn Antenna} = 5 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1.795 \cdot 10^9 \text{ Hz}} = 0.16713 \text{ m}$$

เพราะฉะนั้น $L_{fs} = 10 \text{ Log} \left(\frac{4\pi \cdot 5}{0.16713} \right)^2 = 51.5025 \text{ dB}$

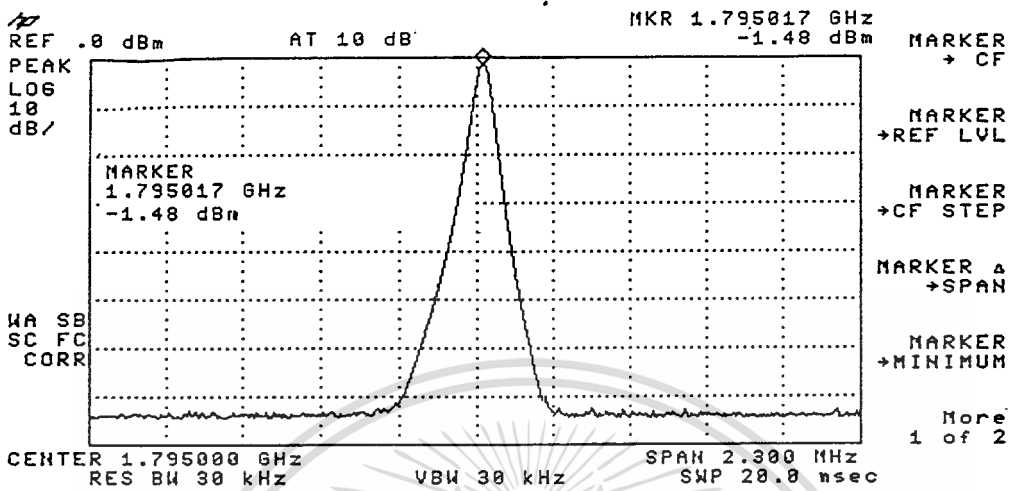
ค่า L_{Tt} , L_{Tr} สามารถหาได้จากการวัด Loss จาก Spectrum Analyzer ได้ค่าดังต่อไปนี้



$$L_{Tt} = 1.52 \text{ dB}$$

รูปที่ 4.34 เป็นค่าที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ของสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$L_{Tr} = 1.48 \text{ dB}$$

รูปที่ 4.35 เป็นค่าที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ของสายรับ

เพราะฉะนั้นจะได้ Gain ของ Horn Antenna ดังสูตรต่อไปนี้

$$G = \frac{P_r (dB_m) - P_t (dB_m) + L_{fs} (dB) + L_{Tf} (dB) + L_{Tr} (dB) - PLF (dB)}{2} \quad (dB_i)$$

$PLF = 0 (dB)$ เพราะว่ามีทั้งการส่งและรับในรูปแบบเดียวกัน

ค่า Gain ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1 จะได้

$$G = \frac{-34.27 (dB_m) - 0 (dB_m) + 51.5025 (dB) + 1.52 (dB) + 1.48 (dB) - 0 (dB)}{2}$$

$$= 10.11 (dB_i)$$

ค่า Gain ของ Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2 จะได้

$$G = \frac{-32.85 (dB_m) - 0 (dB_m) + 51.5025 (dB) + 1.52 (dB) + 1.48 (dB) - 0 (dB)}{2}$$

$$= 10.82 (dB_i)$$

ค่า Gain ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 1 จะได้

$$G = \frac{-41.62 (dB_m) - 0 (dB_m) + 51.5025 (dB) + 1.52 (dB) + 1.48 (dB) - 0 (dB)}{2}$$

$$= 6.44 (dB_i)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Gain ของ Conical Horn Antenna ตัวที่ 2 จะได้

$$G = \frac{-39.42(dB_m) - 0(dB_m) + 51.5025(dB) + 1.52(dB) + 1.48(dB) - 0(dB)}{2}$$

$$= 7.54 (dB_i)$$

4.9 ต่อมาทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) โดยใช้สูตรจากข้างล่างนี้

$$10 \text{ Log}(e_t) = G(dB_i) - D_o(dB_i)$$

Exponential Horn Antenna ตัวที่ 1

$$10 \text{ Log}(e_t) = 10.11(dB_i) - 18.86(dB_i)$$

$$= -8.75$$

เพราะฉะนั้น $e_t = 10^{\frac{-8.75}{10}}$

$$= 0.1333$$

Exponential Horn Antenna ตัวที่ 2

$$10 \text{ Log}(e_t) = 10.82(dB_i) - 20.59(dB_i)$$

$$= -9.77$$

เพราะฉะนั้น $e_t = 10^{\frac{-9.77}{10}}$

$$= 0.1054$$

Conical Horn Antenna ตัวที่ 1

$$10 \text{ Log}(e_t) = 6.44(dB_i) - 21.63(dB_i)$$

$$= -15.19$$

เพราะฉะนั้น $e_t = 10^{\frac{-15.19}{10}}$

$$= 0.0302$$

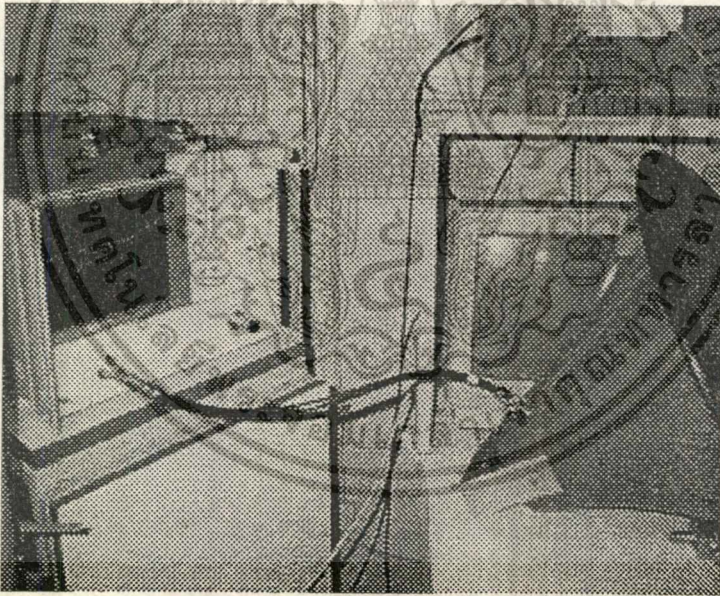
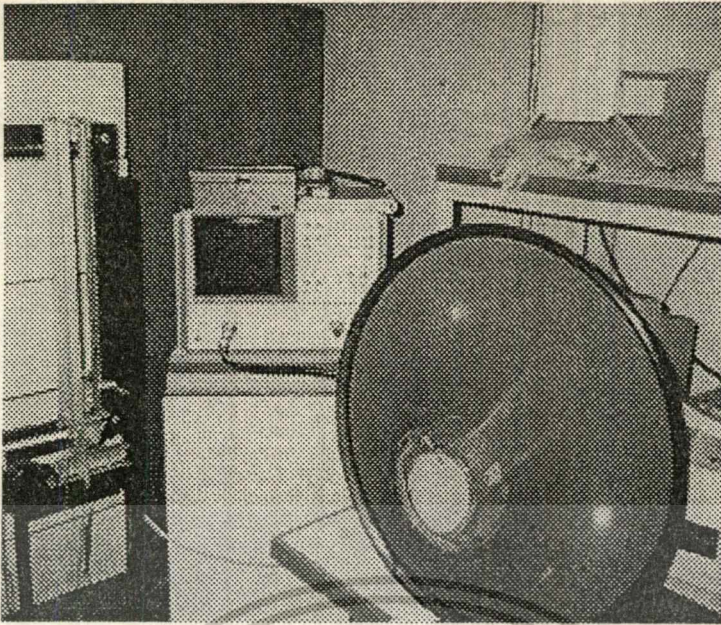
Conical Horn Antenna ตัวที่ 2

$$10 \text{ Log}(e_t) = 7.54(dB_i) - 20.73(dB_i)$$

$$= -13.19$$

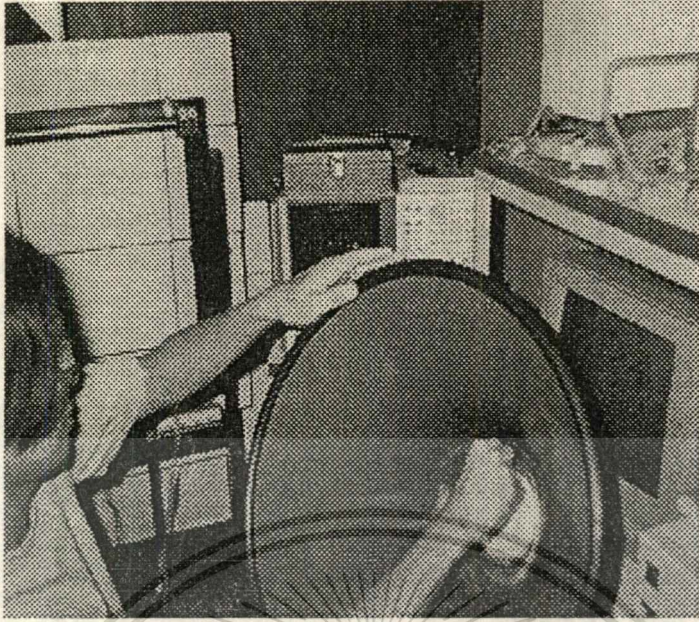
เพราะฉะนั้น $e_t = 10^{\frac{-13.19}{10}}$

$$= 0.0479$$



รูปที่ 4.36 แสดงรูปการวัดค่า VSWR , Impedance และ Return Loss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 แสดงการปรับค่า VSWR ให้ใกล้เคียง 1:1 มากที่สุด



สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่า VSWR ของ Exponential Horn Antenna มีค่าต่ำกว่า 1.5 : 1 และค่า VSWR ของ Conical Horn Antenna ก็มีค่าต่ำกว่า 1.5 : 1 เช่นกัน เราจะทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างสายอากาศทั้งสองแบบนี้ โดยที่สายอากาศทั้ง 2 แบบนี้จะมีขนาดปากฮอร์นที่เท่ากัน และมีความยาวสายอากาศเท่ากัน จากผลที่คำนวณมาจากการทดลอง เราจะเห็นได้ว่า ค่า Directivity ของสายอากาศแบบ Exponential Horn อาจจะมีค่าน้อยกว่าสายอากาศแบบ Conical Horn แต่ที่ค่า Directivity เป็นการคำนวณมาจาก Power Pattern จะเห็นว่า Pattern ของสายอากาศแบบ Exponential Horn จะมีความสมบูรณ์มากกว่า Pattern ของสายอากาศแบบ Conical Horn เพราะว่า Pattern ของ Conical Horn จะมี Side Lobe และ Back Lobe ที่มากกว่าของ Pattern ของ Exponential Horn และในการคำนวณค่า Gain ของสายอากาศทั้ง 2 แบบนั้น ผลที่ออกมาจะเห็นว่าสายอากาศแบบ Exponential Horn จะมี Gain การขยายที่สูงกว่าสายอากาศแบบ Conical Horn เมื่อนำไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ผลที่ได้ก็จะมีค่าเหมือนกับค่า Gain คือ สายอากาศแบบ Exponential Horn จะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าสายอากาศแบบ Conical Horn

เมื่อรวมผลโดยรวมก็จะเห็นได้ว่าสายอากาศแบบ Exponential Horn จะมีค่าที่ดีกว่าสายอากาศแบบ Conical Horn ที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ



หนังสืออ้างอิง

1. บัณฑิต โรจน์อารยานนท์ ; วิศวกรรมไมโครเวฟ ; สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. โมไนย ไกรฤกษ์ ; ทฤษฎีสายอากาศ ; สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
3. Robert E.Conllin, “ Antenna and Radiowave propagation “ , McGraw-Hill Book Company,ch.4,New York ,1985
4. Edward A. Wolff , Antenna Analysis , John Wiley and Sons ,Inc,1966



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้