

สายอากาศแบบแฉวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสำหรับการสื่อสารไร้สาย

Array of a Probe Excited Rectangular Ring for Wireless Communications



โดย

นายพงษ์เพชร วีระสู 43015077

นายศาสตรา ขุนพลพิทักษ์ 43015088

นายอมรเทพ สุขปาน 43015101

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

รฟง.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

๒๕๔๖

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 50127

วัน,เดือน,ปี 2 1 เม.ย. 2547

Box containing .b..... and .i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแบบแวลล่าดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสำหรับการสื่อสารไร้สาย

Array of a Probe Excited Rectangular Ring for Wireless Communications

โดย

นายพงษ์เพชร วีระสู 43015077

นายศาสตรา ขุนพลพิทักษ์ 43015088

นายอมรเทพ สุขปาน 43015101

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

ผศ.ดร.สมผล โกศลวิตร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแบบแหวนลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสำหรับการสื่อสารไร้สาย
Array of a Probe Excited Rectangular Ring for Wireless Communications

โดย นายพงษ์เพชร วีระสู 43015077
นายศาสตรา ขุนพิทักษ์ 43015088
นายอมรเทพ สุขปาน 43015101

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพานิชย์
ผศ.ดร.สมผล โกศลวิศิษฐ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นงานนำการศึกษา คำนวณ วิเคราะห์ ออกแบบ สร้างและทดสอบสายอากาศแบบแหวนลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสำหรับการสื่อสารไร้สาย ซึ่งสายอากาศชนิดนี้มีข้อดีคือโครงสร้างไม่ซับซ้อนและราคาถูก อีกทั้งสามารถสร้างให้มีลำคลื่นได้แบบทิศทางเดียวและสองทิศทาง คุณสมบัติของสายอากาศขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ของวงแหวน เช่น ความกว้าง ความสูงและความยาวของวงแหวน โครงสร้างของสายอากาศจะใช้โพรบเป็นตัวป้อนสัญญาณ ซึ่งสามารถปรับการแผ่รังสีได้จากการปรับความยาวโพรบ และในโครงการนี้ได้ศึกษาคุณลักษณะการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศอันได้แก่ แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น ความกว้างลำคลื่นและค่าสภาพแฉะงทิศทาง ของสายอากาศวงแหวนเดี่ยวและแหวนลำดับแบบต่างๆ และจะทำการสร้างตัวสายอากาศและทดสอบเพื่อหาคุณลักษณะการแผ่กระจายคลื่นเพื่อเปรียบเทียบกับทางทฤษฎีและทดสอบคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ ซึ่งได้แก่ค่าอิมพีแดนซ์ ค่าการสูญเสียย้อนกลับและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศ สำหรับสายอากาศที่วิเคราะห์มีประโยชน์ในการประยุกต์ใช้เป็นสายอากาศสำหรับการสื่อสารเคลื่อนที่และการสื่อสารไร้สาย

ABSTRACT

This project reports the study, calculation, analysis, design, fabrication and measurement of array of a probe excited rectangular ring for wireless communications. The benefit of this antenna is that the structure is simple and the cost is inexpensive. The unidirectional beam and bi-directional beam can be realized from this antenna. The antenna characteristics depend on the antenna parameters such as the ring width, ring height and ring length. The matching condition can be accomplished by adjusting the probe length. This project also presents the calculation of radiation characteristics such as radiation pattern, beamwidth and directivity of a single ring and several types of the array. The fabrication of antenna is achieved and then measure the radiation characteristics to compare with the theoretical predictions. The impedance characteristics such as input impedance, return loss and standing wave ratio are also experimented. The results from investigations of this antenna are necessary for designing antenna for mobile and wireless communications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสำหรับการสื่อสารไร้สาย

Array of a Probe Excited Rectangular Ring for Wireless Communications

ผู้จัดทำ

1. นายพงษ์เพชร วีระสู 43015077
2. นายศาสตรา ขุนพลพิทักษ์ 43015088
3. นายอมรเทพ สุขปาน 43015101


(ดร.ชวatk์ พงศ์เจริญพาณิชย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา


(ผศ.ดร.สมผล โกศลวิตร)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการ	3
	2.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ	3
	2.2 ลักษณะทั่วไปของสายอากาศสองทิศทาง	5
	2.3 สมการของสนามที่แพร่กระจายจากองค์ประกอบสายอากาศ	6
	2.4 ตัวประกอบแอมพลิจูด	9
	2.5 ลักษณะการจัดเรียงสายอากาศแบบแอมพลิจูดเชิงเส้น	20
	2.6 ทฤษฎีเงา	22
	2.7 สายอากาศทิศทางเดียว	22
	2.8 ลักษณะทั่วไปของสายอากาศทิศทางเดียว	23
	2.9 ลักษณะการจัดเรียงสายอากาศทิศทางเดียวแบบแอมพลิจูดเชิงเส้น	23
บทที่ 3	การวิเคราะห์ จำนวน และออกแบบ	25
บทที่ 4	การสร้าง ทดสอบ และผลการทดสอบ	85
บทที่ 5	บทสรุปและวิจารณ์	134
ภาคผนวก		
กิตติกรรมประกาศ		
เอกสารอ้างอิง		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 สายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	5
รูปที่ 2.2 สายอากาศไดโพล 2 องค์ประกอบที่วางตามแนวแกน Z	9
รูปที่ 2.3 สายอากาศไดโพล N ที่วางตามแนวแกน Z	11
รูปที่ 2.4 การกำหนดจุดอ้างอิงให้อยู่กึ่งกลางของสายอากาศทั้งหมดที่เป็นจำนวนคี่	13
รูปที่ 2.5 การกำหนดจุดอ้างอิงให้อยู่กึ่งกลางของสายอากาศทั้งหมดที่เป็นจำนวนคู่	14
รูปที่ 2.6 การจัดวางสายอากาศแถวลำดับจำนวน M องค์ประกอบ ตามแนวแกน X	16
รูปที่ 2.7 การจัดเรียงสายอากาศแบบระนาบ	19
รูปที่ 2.8 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงเส้นแบบ Side by Side ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	20
รูปที่ 2.9 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงเส้นแบบ Collinear ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	21
รูปที่ 2.10 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงเส้นแบบ Face to Face ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	21
รูปที่ 2.11 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงระนาบของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	22
รูปที่ 2.12 สายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	23
รูปที่ 2.13 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงเส้นแบบ Side by Side ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	23
รูปที่ 2.14 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงเส้นแบบ Collinear ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	24
รูปที่ 2.16 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงระนาบของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	24
รูปที่ 3.1 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	25
รูปที่ 3.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	26
รูปที่ 3.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	26
รูปที่ 3.4 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	27
รูปที่ 3.5 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กของสาย	

เอกสารนี้เป็นเอกสารโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.40 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับ เชิงเส้นตามแนวแกน z ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	46
รูปที่ 3.41 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนว แกน z ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	47
รูปที่ 3.42 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตาม แนวแกน z ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	47
รูปที่ 3.43 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับ เชิงเส้นตามแนวแกน z ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	48
รูปที่ 3.44 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับ เชิงเส้นตามแนวแกน z ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	48
รูปที่ 3.45 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	50
รูปที่ 3.46 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบ กระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	51
รูปที่ 3.47 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบ กระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	51
รูปที่ 3.48 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	52
รูปที่ 3.49 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	52
รูปที่ 3.50 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	53
รูปที่ 3.51 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	53
รูปที่ 3.52 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบ กระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	54
รูปที่ 3.53 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	54
รูปที่ 3.54 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	55
รูปที่ 3.55 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	55
รูปที่ 3.56 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศ	

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ให้นำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาวิจัยทางดาราศาสตร์ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย แต่ขอสงวนสิทธิ์ในการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) 56

รูปที่ 3.57	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	57
รูปที่ 3.58	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	57
รูปที่ 3.59	ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	58
รูปที่ 3.60	ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	58
รูปที่ 3.61	ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	59
รูปที่ 3.62	ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	59
รูปที่ 3.63	ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	60
รูปที่ 3.64	ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	60
รูปที่ 3.65	ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	61
รูปที่ 3.66	ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	61
รูปที่ 3.67	ค่าสภาพเจาะจงทิศทางในกรณีแวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปที่ 3.68 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ 63
- รูปที่ 3.69 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ 63
- รูปที่ 3.70 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ 64
- รูปที่ 3.71 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ 64
- รูปที่ 3.72 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ 65
- รูปที่ 3.73 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ 65
- รูปที่ 3.74 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ 66
- รูปที่ 3.75 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ 66
- รูปที่ 3.76 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ 67
- รูปที่ 3.77 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ 67
- รูปที่ 3.78 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่าง

ระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.79 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวดลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	69
รูปที่ 3.80 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวดลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	69
รูปที่ 3.81 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวดลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	70
รูปที่ 3.82 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวดลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	70
รูปที่ 3.83 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวดลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	71
รูปที่ 3.84 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวดลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	71
รูปที่ 3.85 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวดลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	72
รูปที่ 3.86 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวดลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	72
รูปที่ 3.87 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวดลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	73
รูปที่ 3.88 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวดลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	73
รูปที่ 3.89 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางในกรณีแฉลวดลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่าง	

เอกสารนี้เป็นสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน 74 รค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.90 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ	75
รูปที่ 3.91 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ	75
รูปที่ 3.92 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครั้งหนึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ	76
รูปที่ 3.93 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครั้งหนึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ	76
รูปที่ 3.94 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ	77
รูปที่ 3.95 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ	77
รูปที่ 3.96 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ	78
รูปที่ 3.97 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ	78
รูปที่ 3.98 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ	79
รูปที่ 3.99 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ	79
รูปที่ 4.1 สายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	85
รูปที่ 4.2 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้น	

เอกสารนี้แจ้งแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ค้าราคา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	86
รูปที่ 4.4 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแฉวลำดับโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน x	86
รูปที่ 4.5 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแฉวลำดับโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน x	87
รูปที่ 4.6 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแฉวลำดับโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางในแนวแกน y	87
รูปที่ 4.7 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแฉวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน y	88
รูปที่ 4.8 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแฉวลำดับโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน z	88
รูปที่ 4.9 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแฉวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสองทิศทางในแนวแกน z	89
รูปที่ 4.10 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแฉวลำดับเชิงระนาบของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	89
รูป 4.11 โครงสร้างสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวโดยใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นปริน	90
รูป 4.12 โครงสร้างสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวโดยใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากอลูมิเนียม	90
รูป 4.13 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวโดยใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม	91
รูป 4.14 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวโดยใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม	91
รูป 4.15 สายอากาศแบบแฉวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน x โดยใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม	92
รูป 4.16 สายอากาศแบบแฉวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน y โดยใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม	92
รูป 4.17 สายอากาศแบบแฉวลำดับเชิงระนาบ(xy)ของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวโดยใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม	93
รูปที่ 4.18 การต่ออุปกรณ์ที่ทดสอบอัตราขยายของสายอากาศ	93
รูปที่ 4.19 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเมื่อความสูงของ	

เอกสารนี้เป็นสายอากาศที่มีค่าเท่ากับ 0.15λ ารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน 94 ค่า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.51	อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง ในแนวแกน z เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.75λ	110
รูปที่ 4.52	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแถวลำดับของ วงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง ในแนวแกน z เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของ สายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.75λ	111
รูปที่ 4.53	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแถวลำดับของ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน z เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.75λ	111
รูปที่ 4.54	อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบของ โพรบกระตุ้นวงแหวน สี่เหลี่ยมสองทิศทางที่มีเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนว x มีค่าเท่ากับ 1.2λ และระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนว y มีค่าเท่ากับ 0.9λ	112
รูปที่ 4.55	การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบของโพรบกระตุ้น วงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนว x มีค่า เท่ากับ 1.2λ และระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนว y มีค่าเท่ากับ 0.9λ	112
รูปที่ 4.56	อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยม สองทิศทางเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนว x มีค่าเท่ากับ 1.2λ และระยะห่าง ระหว่างองค์ประกอบในแนว y มีค่าเท่ากับ 0.9λ	113
รูปที่ 4.57	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบ ของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนว แกน x มีค่าเท่ากับ 1.2λ และระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกน y มีค่าเท่ากับ 0.9λ	113
รูปที่ 4.58	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบ ของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนว แกน x มีค่าเท่ากับ 1.2λ และระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกน y มีค่าเท่ากับ 0.9λ	114
รูปที่ 4.59	อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้ แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นปริน ($h=0.3\lambda$)	114
รูปที่ 4.60	การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อ ใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นปริน ($h=0.3\lambda$)	115
รูปที่ 4.61	อิมพีแดนซ์ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อน คลื่นที่ทำจากแผ่นปริน ($h=0.3\lambda$)	115
รูปที่ 4.62	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวน สี่เหลี่ยมทิศทางเดียวใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นปริน ($h=0.3\lambda$)	116
รูปที่ 4.63	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวน	

เอกสารนี้เป็น สี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นปริน ($h=0.3\lambda$) นำไปใช้ประโยชน์ด้าน 116

รูปที่ 4.64 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่น

รูปที่ 4.81	อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว ในแนวแกน x และมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)	125
รูปที่ 4.82	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบ กระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน x โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่า กับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)	126
รูปที่ 4.83	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแถวลำดับของ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน x โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ ประกอบเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)	126
รูปที่ 4.84	อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยม ทิศทางเดียวในแนวแกน y และมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)	127
รูปที่ 4.85	การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยม ทิศทางเดียวในแนวแกน y และมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)	127
รูปที่ 4.86	อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว ในแนวแกน y และมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)	128
รูปที่ 4.87	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแถวลำดับของ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน y โดยมีระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)	128
รูปที่ 4.88	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแถวลำดับของ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน y โดยมีระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)	129
รูปที่ 4.89	อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบ(xy)ของ โพรบกระตุ้นวงแหวน สี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกน x และแกน y มีค่าเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)	129
รูปที่ 4.90	การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบ(xy)ของโพรบกระตุ้น วงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกน x และ แกน y มีค่าเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)	130
รูปที่ 4.91	อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบ(xy)ของโพรบกระตุ้นวงแหวน สี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกน x และแกน y มีค่าเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)	130
รูปที่ 4.92	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิง ระนาบของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ ในแนวแกน x และแนวแกน y มีค่าเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)	131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.93 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิง
ระนาบของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ
ในแนวแกน x และแนวแกน y มีค่าเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)

131



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางและค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉว ลำดับเชิงระนาบ xy ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	49
ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉวลำดับเชิงระนาบ xy ของ สายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	49
ตารางที่ 3.3 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางและค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณี แฉวลำดับเชิงระนาบ xy ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทาง เดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	80
ตารางที่ 3.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉวลำดับเชิงระนาบ xy ของ สายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศ กับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ	81
ตารางที่ 3.5 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางและค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉว ลำดับเชิงระนาบ xy ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มี ระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ	82
ตารางที่ 3.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉวลำดับเชิงระนาบ xy ของ สายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศ กับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ	83
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองในการหาค่าอัตราขยายของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยม สองทิศทางเมื่อวัดที่ระยะทาง 4.5 เมตร	132
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองในการหาค่าอัตราขยายของสายอากาศแบบแฉวลำดับของโพรบกระตุ้น วงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเมื่อวัดที่ระยะทาง 13.5 เมตร	132
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองในการหาค่าอัตราขยายของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยม ทิศทางเดียวเมื่อแผ่นสะท้อนคลื่นทำจากตาข่ายอลูมิเนียม	132
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองในการหาค่าอัตราขยายของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยม ทิศทางเดียวเมื่อแผ่นสะท้อนคลื่นทำจากแผ่นปริน	132
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองในการหาค่าอัตราขยายของสายอากาศแบบแฉวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวน สี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นมีค่าเท่ากับ 0.7λ โดย ที่ตัวสะท้อนคลื่นทำจากตาข่ายอลูมิเนียมและวัดที่ระยะทาง 13.5 เมตร	133
ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง	135
ตารางที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว	135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ได้ถูกพัฒนามาจากแนวความคิดของมาร์โคนี (Marconi) ในปี ค.ศ. 1897 ที่สามารถส่งสัญญาณติดต่อไปยังเรือที่อยู่ในทะเลห่างออกไป 18 ไมล์ได้ จึงทำให้เกิดการพัฒนากระบวนการสื่อสารเคลื่อนที่เป็นไปอย่างต่อเนื่อง ระบบโทรศัพท์ไร้สายเสียบ (Cordless Telephone) ก็เป็นระบบหนึ่งที่ได้ถูกพัฒนาและนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะเมื่อระบบโทรศัพท์ไร้สายเสียบ PHS (Personal Handy Phone System) ในประเทศญี่ปุ่นเริ่มใช้งานในปี ค.ศ. 1993 ทำให้เกิดความนิยมเป็นอย่างมาก เพราะค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบเซลลูลาร์

ระบบ PHS นี้ นับว่าเป็นก้าวแรกที่สำคัญของบริการการสื่อสารส่วนบุคคล (Personal Communication Service:PCS) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้หลักการของเซลล์ขนาดเล็กหรือไมโครเซลล์ PHS เป็นโทรศัพท์ที่มีความสามารถอยู่ระหว่างโทรศัพท์พื้นฐาน (Public Switched Telephone Network:PSTN) กับโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ โดยพัฒนามาจากโทรศัพท์ไร้สายยุคที่ 2 หรือ CT2 ในประเทศญี่ปุ่น [1]

ในประเทศไทย บริษัทเทเลคอมเอเชีย (Telecom Asia Co.,Ltd) และองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (Telephone Organization of Thailand:TOT) ได้นำระบบ PHS มาใช้งานกับโทรศัพท์ตามบ้านในกรุงเทพมหานครตั้งแต่ปลายปี ค.ศ. 1997 โดยใช้เทคโนโลยีที่สำคัญ 3 ประการ คือ PHS PSTN และ Intelligent Network (IN) และเรียกระบบที่เกิดขึ้นใหม่นี้ว่า PCT (Personal Communication Telephone) ซึ่งใช้งานในย่านความถี่ช่วง 1895.15-1917.95 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยมีความถี่กลางอยู่ที่ 1900 เมกะเฮิร์ตซ์ [2]

อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่สำคัญที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้งานโทรศัพท์ PCT ในบริเวณที่มีลักษณะเป็นทางแคบ ๆ เช่น บนทางด่วน ในอุโมงค์ หรือทางเดินภายในอาคาร ซึ่งมีลักษณะเป็นทางที่มีขอบเขตจำกัด ในการใช้สายอากาศที่สถานีฐานเป็นสายอากาศแบบรอบทิศทางจะมีบางส่วนของพื้นที่ถูกใช้งาน และบางส่วนของพื้นที่การใช้งานไป

วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของสถานีฐาน คือ การใช้สายอากาศแบบสองทิศทางที่สถานีฐาน ในบริเวณดังกล่าวมาข้างต้น และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศสามารถทำได้โดยการจัดเรียงสายอากาศแบบแถวลำดับต่าง ๆ และจัดให้ระยะห่างระหว่างสายอากาศมีขนาดที่เหมาะสม ซึ่งได้ทำการคำนวณและวิเคราะห์และรวบรวมไว้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา

ปริญญาบัตรฉบับนี้ เป็นการนำเสนอสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง ทั้งนี้โดยจะนำมาประยุกต์ใช้กับสถานีฐานของระบบ PCT ที่ใช้ในบริเวณพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นแนวแคบและยาว ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าอัตราขยายของสายอากาศ ดังนั้นสายอากาศสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ระยะไกลขึ้น และนอกจากนี้ได้วิเคราะห์สายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว โดยใช้สายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมวงไว้ใกล้ตัวสะท้อน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบสายอากาศที่ต้องการค่าอัตราขยายสูง ๆ ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศชนิดนี้เหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับ

ระบบการสื่อสารแบบจุดต่อจุด สำหรับข้อดีของสายอากาศที่นำเสนอ คือ โครงสร้างไม่ซับซ้อนและราคาถูก อีกทั้งสามารถสร้างให้มีลำคลื่นได้แบบสองทิศทางและแบบทิศทางเดียว โดยการนำแผ่นสะท้อนคลื่นที่เป็นตัวนำทางไฟฟ้ามาติดไว้ที่ด้านหลัง

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้วิเคราะห์ ออกแบบ และทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศทั้งในกรณีแบบสองทิศทางและกรณีแบบทิศทางเดียว โดยคุณลักษณะที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งและอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้าง นอกจากนี้ได้ทำการสร้างและทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบ อีกทั้งได้ทำการทดสอบคุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศได้แก่ อินพุตอิมพีแดนซ์ อัตราส่วนคลื่นนิ่ง และค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการใช้งานสายอากาศ (Essential Antenna Parameters)

2.1.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น คือ รูปภาพที่ใช้เพื่อเป็นตัวบอกว่า ทิศทางต่าง ๆ รอบสายอากาศ สายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นเป็นอย่างไร มีอยู่ 2 รูปแบบ คือ กราฟเชิงมุมฉาก (rectangular plot) กับกราฟเชิงขั้ว (polar plot) ซึ่งแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (amplitude) ของสนาม (field) หรือกำลังงาน (power) กับทิศทาง (direction) ของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศซึ่งแสดงในรูปของมุม ในหน่วยองศา หรือเรเดียน

2.1.2 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)

คือ กำลังงานที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน (ตลอดพื้นผิวทรงกลม) แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มการแพร่กระจายคลื่นกับสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระนาบไคล ได้ดังนี้

$$U(\theta, \phi) = \frac{r^2}{2 \cdot \eta} \cdot \left[|E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2 \right] \quad (2.1)$$

เมื่อ E_θ, E_ϕ คือ ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าในสนามระนาบไคล
 η คือ อินทริเนลิกอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง

2.1.3 ค่าสภาพการชี้ทิศทาง (Directivity)

ค่าสภาพการชี้ทิศทาง คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงว่า สายอากาศมีความแรงที่ทิศทางต่าง ๆ น้อยมากแค่ไหน ซึ่งวัดในหน่วยของ dBi เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$D_o = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{\text{rad}}} \quad (2.2)$$

เมื่อ U_{\max} คือ ค่าสูงสุดของความเข้มการแพร่กระจายคลื่น

P_{rad} คือ กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด

$$P_{\text{rad}} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin(\theta) d\theta d\phi \quad (2.3)$$

2.1.4 การแมตช์ระหว่างสายอากาศกับสายนำสัญญาณ (Matching Impedance)

การเข้ากันได้ระหว่างสายอากาศกับสายนำสัญญาณ จะเป็นตัวบอกว่า คลื่นที่ออกจากแหล่งกำเนิด (source) นั้น สามารถจะถูกส่งผ่านสายอากาศออกไปได้หมดหรือไม่ โดยพิจารณาถึงไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบที่สำคัญ 2 อย่าง คือ ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Input impedance) ของสายอากาศและค่าอิมพีแดนซ์
คุณลักษณะ (characteristic impedance) ของสายนำสัญญาณ (transmission line)

2.1.5 การโพลาไรซ์ (Polarization)

คือ ค่าพารามิเตอร์ที่เป็นตัวบอกว่า เมื่อคลื่นเดินทางออกจากสายอากาศสนามไฟฟ้า
(electric field) จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ประกอบไปด้วย

2.1.5.1 การโพลาไรซ์เชิงเส้น (linear polarization)

คือ เมื่อคลื่นเดินทาง สนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นเป็นเส้นตรงตลอด แบ่งเป็นการ
โพลาไรซ์แนวตั้ง (vertical polarization) และการโพลาไรซ์แนวนอน (horizontal polarization)

2.1.5.2 การโพลาไรซ์วงกลม (circular polarization)

คือ เมื่อความเดินทาง สนามไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะวงกลมตลอด
การเคลื่อนที่ของคลื่น แบ่งเป็น วงกลมหมุนขวา (right hand circular) และวงกลมหมุนซ้าย (left hand circular)

2.1.5.3 การโพลาไรซ์แบบวงรี (elliptical polarization)

คือ เมื่อคลื่นเดินทาง สนามไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะวงรี

2.1.6 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่ง (Half Power Beam width HPBW)

คือ มุมที่วัดระหว่างจุดที่ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในลำคลื่นหลักมีค่า เป็นครึ่ง
หนึ่งของค่าสูงสุด โดยจะวัดในหน่วยองศา

2.1.7 อัตราขยาย (gain)

คือ ความสัมพันธ์ที่ได้มาจากค่าสภาพการชี้ทิศทาง โดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศ
เข้ามาด้วย ประสิทธิภาพของสายอากาศจะประกอบไปด้วย ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับ ประสิทธิภาพ
ของตัวนำ และประสิทธิภาพของฉนวน

$$\text{Gain} = \text{Directivity} \times \text{Efficiency of antenna} \quad (2.4)$$

2.1.8 อัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้าง (Side lobe ratio : SLR)

คือ ค่าอัตราส่วนของลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้าง

$$\text{SLR} = \text{Main lobe level (dB)} - \text{Side lobe level (dB)} \quad (2.5)$$

2.1.9 ความกว้างลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรก (First Null Beam width)

คือ มุมที่วัดระหว่างจุดที่ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในลำคลื่นหลักมีค่าลดลง
เป็นศูนย์ โดยจะวัดในหน่วยองศา

2.1.10 ช่วงกว้างความถี่ (Bandwidth : Δf)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด หรือช่วงความถี่ที่สายอากาศ
อากาศยังก็มีคุณสมบัติต่าง ๆ อยู่ในช่วงที่ใช้งานได้ เหมือนกับที่ออกแบบไว้ที่ความถี่กลางแบ่งเป็นการนำไปใช้

2.1.10.1 ช่วงกว้างความถี่แคบ (Narrow – band)

คือ ความถี่ที่มีช่วงความกว้างของความถี่ใช้งานน้อย

$$BW = \frac{f_H - f_L}{f_o} \times 100\% \quad (2.6)$$

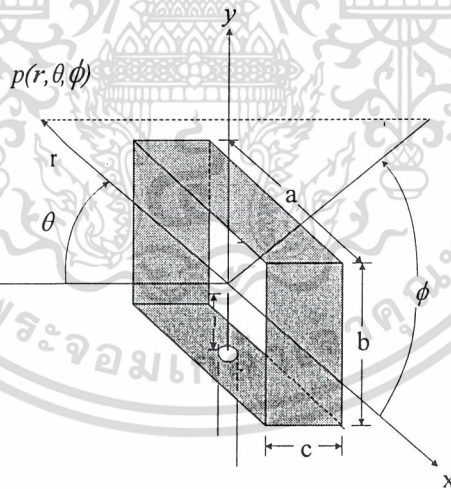
2.1.10.2 ช่วงกว้างความถี่กว้าง (Broadband)

คือ ความถี่ที่มีช่วงความกว้างของความถี่ใช้งานมาก

$$BW = \frac{f_H}{f_L} : 1 \quad (2.7)$$

2.2 โครงสร้างของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

สายอากาศที่นำมาใช้จะประกอบด้วยโพรบไฟฟ้าเชิงเส้นด้วยความยาว l ที่ต่อกับสายนำสัญญาณ แบบแกนร่วม (coaxial) โดยผ่านตัวต่อ (connector) แบบ N – type และถูกล้อมรอบด้วยวงแหวนกรอบสี่เหลี่ยมที่มีโครงสร้างเป็นกรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยมีความกว้าง ความสูงและความยาวเป็น a b และ c ตามลำดับ ซึ่งโพรบจะวางตัวตามแนวแกน y ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 สายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

ในการพิจารณาจะเห็นว่า วงแหวนเป็นส่วนหนึ่งของท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยมซึ่งมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายในทิศทาง z และ $-z$ และจะแพร่กระจายออกจากขอบของวงแหวนกรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ช่องเปิดทั้งสองด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกมาจากช่องเปิดทั้งสองด้านนี้จะสอดคล้องกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ประกอบไปด้วยโหมดคลื่น (mode) ต่าง ๆ มากมายที่อยู่ภายในท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยม ดังนั้นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบต้องการให้เกิดคลื่นส่งผ่านได้เพียงโหมดเดียว ซึ่งในที่นี้คือโหมด TE_{10} เป็นโหมดพื้นฐาน (dominant mode)

โดยทั่วไปแล้ว โหมดคลื่นอื่นๆ ที่ไม่ใช่โหมดหลักจะเป็นรูปแบบของคลื่นที่เรียกว่า คลื่นจางหาย (evanescent wave) และโหมดคลื่นเหล่านี้จะมีขนาดลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะทางที่คลื่นเดินทางออกจากโพรมีค่ามากขึ้น ด้วยเหตุนี้จะต้องเลือกระยะทางที่ห่างจากโพรมที่ทำให้ขนาดของโหมดคลื่นอื่น ๆ มีค่าน้อยมากจนสามารถเพิกเฉยได้ เพื่อที่ว่าบริเวณขอบของวงแหวนที่ช่องเปิดทั้งสองด้านซึ่งเป็นจุดที่คลื่นจะเดินทางออกไปนั้น มีเฉพาะโหมดคลื่นที่ต้องการเพียงโหมดเดียว ดังนั้นจะต้องกำหนดค่าความยาวของวงแหวนกรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าตนเอง ในการกำหนดค่าความกว้างของวงแหวนจะต้องทำให้มีค่าความถี่คัตออฟ (cut off frequency) ที่ต่ำสุด เพื่อให้มีเพียงโหมดคลื่นหลักแพร่กระจายออกจากช่องเปิดทั้ง 2 ด้านของวงแหวนกรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และโหมดคลื่นอื่น ๆ ที่อยู่ติดกับโหมดคลื่นหลักจะต้องถูกตัดออกไป ดังนั้น ค่าความกว้างของวงแหวนที่เหมาะสมสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\frac{\lambda}{2} < a < \lambda \quad (2.8)$$

เมื่อ λ คือความยาวคลื่นที่ความถี่ที่ใช้งาน (operating frequency) โดยค่าความถี่ที่ใช้งานคือ 1.9 GHz

2.3 สมการของสนามที่แพร่กระจายจากตัวสายอากาศ

2.3.1 สมการเวกเตอร์ของคลื่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แปรผันกับเวลา

(Vector Wave Equations of Time-Varying Electromagnetic field)

จากสมการของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's Equation) ในรูปของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\nabla \times \bar{E} = -\bar{M}i - \mu \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} \quad (2.9)$$

$$\nabla \times \bar{H} = \bar{J}i + \sigma \bar{E} + \epsilon \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} \quad (2.10)$$

ทำการเคิร์ล (curl) ทั้งสองข้างของสมการที่ 2.9 และ 2.10 โดยสมมติให้อยู่ในตัวกลางเดียวกัน สามารถเขียนได้ใหม่ว่า

$$\begin{aligned} \nabla \times \nabla \times \bar{E} &= -\nabla \times \bar{M}i - \mu \nabla \times \left(\frac{\partial \bar{H}}{\partial t} \right) \\ &= -\nabla \times \bar{M}i - \mu \frac{\partial (\nabla \times \bar{H})}{\partial t} \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} \nabla \times \nabla \times \bar{H} &= -\nabla \times \bar{J}i - \sigma \nabla \times \bar{E} + \epsilon \nabla \times \left(\frac{\partial \bar{E}}{\partial t} \right) \\ &= -\nabla \times \bar{J}i + \sigma \nabla \times \bar{E} + \epsilon \frac{\partial (\nabla \times \bar{E})}{\partial t} \end{aligned} \quad (2.12)$$

แทนสมการที่ 2.10 ลงในด้านขวาของสมการที่ 2.11 และใช้คุณสมบัติลาปลาซของเวกเตอร์ (Laplacian of vector) ที่แสดงได้ดังนี้

$$\nabla^2 \bar{F} = \nabla(\nabla \cdot \bar{F}) - \nabla \times \nabla \times \bar{F} \quad (2.13)$$

$$\therefore \nabla \times \nabla \times \bar{F} = \nabla(\nabla \cdot \bar{F}) - \nabla^2 \bar{F} \quad (2.14)$$

แล้วสมการที่ 2.14 ลงในด้านซ้ายของสมการที่ 2.11 ได้ว่า

$$\nabla(\nabla \cdot \bar{E}) - \nabla^2 \bar{E} = -\nabla \times \bar{M}i - \mu \frac{\partial}{\partial t} \left[\bar{J}i + \sigma \bar{E} + \varepsilon \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} \right]$$

$$\nabla(\nabla \cdot \bar{E}) - \nabla^2 \bar{E} = -\nabla \times \bar{M}i - \mu \frac{\partial \bar{J}i}{\partial t} - \mu \sigma \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} - \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \bar{E}}{\partial t^2} \quad (2.15)$$

จากสมการแมกซ์เวลล์ที่แสดงในรูปของความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า (electric flux density) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\nabla \cdot \bar{D} = \varepsilon \nabla \cdot \bar{E} = q_{ev} \Rightarrow \nabla \cdot \bar{E} = \frac{q_{ev}}{\varepsilon} \quad (2.16)$$

นำสมการที่ 2.16 แทนลงในสมการที่ 2.15 ได้ว่า

$$\nabla^2 \bar{E} = \nabla \times \bar{M}i + \mu \frac{\partial \bar{J}i}{\partial t} + \frac{1}{\varepsilon} \nabla q_{ev} + \mu \sigma \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} + \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \bar{E}}{\partial t^2} \quad (2.17)$$

ในทำนองเดียวกัน แทนสมการ 2.9 ลงในด้านขวาของสมการที่ 2.12 และใช้คุณสมบัติลาปลาเซียนของเวกเตอร์ที่แสดงในสมการที่ 2.14 แทนลงในด้านซ้ายของสมการที่ 2.12 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \nabla(\nabla \cdot \bar{H}) - \nabla^2 \bar{H} &= \nabla \times \bar{J}i + \sigma \left(-\bar{M}i - \mu \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} \right) + \varepsilon \frac{\partial}{\partial t} \left(-\bar{M}i - \mu \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} \right) \\ \nabla(\nabla \cdot \bar{H}) - \nabla^2 \bar{H} &= \nabla \times \bar{J}i - \sigma \bar{M}i - \mu \sigma \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} - \varepsilon \frac{\partial \bar{M}i}{\partial t} - \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \bar{H}}{\partial t^2} \end{aligned} \quad (2.18)$$

จากสมการแมกซ์เวลล์ที่แสดงในรูปของความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux density) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\nabla \cdot \bar{B} = \mu \nabla \cdot \bar{H} = q_{mv} \Rightarrow \nabla \cdot \bar{H} = \left(\frac{q_{mv}}{\mu} \right) \quad (2.19)$$

นำสมการที่ 2.19 แทนลงในสมการที่ 2.18 จะได้ว่า

$$\nabla^2 \bar{H} = -\nabla \times \bar{J}i + \sigma \bar{M}i + \frac{1}{\mu} \nabla(q_{mv}) + \varepsilon \frac{\partial \bar{M}i}{\partial t} + \mu \sigma \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} + \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \bar{H}}{\partial t^2} \quad (2.20)$$

จากสมการที่ 2.17 และ 2.20 จะถูกเรียกว่า สมการเวกเตอร์ของคลื่นของคลื่นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ตามลำดับ

สำหรับสถานะที่เป็นอิสระจากแหล่งจ่าย (source-free) และตัวกลางที่ไม่เกิดการสูญเสีย (lossless media) จะได้ว่า

$$\bar{J}i = q_{ev} = \bar{M}i = q_{mv} = 0, \sigma = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ดังนั้น รูปแบบของสมการเวกเตอร์ของคลื่นสำหรับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กใน
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 สมการที่ 2.17 และ 2.20 สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\nabla^2 \bar{E} = \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \bar{E}}{\partial t^2} \quad (2.21)$$

$$\nabla^2 \bar{H} = \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \bar{H}}{\partial t^2} \quad (2.22)$$

โดยทั่วไปแล้วสมการที่ 2.21 และ 2.22 จะเป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุดสำหรับการหาเวกเตอร์ของคลื่นของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

2.3.2 สมการสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก [3] มีดังนี้

$$E_r = 0 \quad (2.23)$$

$$E_\theta = -\frac{jke^{-jkr}}{4\pi r} (L_\theta + \eta N_\theta) \quad (2.24)$$

$$E_\phi = +\frac{jke^{-jkr}}{4\pi r} (L_\phi - \eta N_\phi) \quad (2.25)$$

$$H_r = 0 \quad (2.26)$$

$$H_\theta = \frac{jke^{-jkr}}{4\pi r} \left(N_\phi - \frac{L_\theta}{\eta} \right) \quad (2.27)$$

$$H_\phi = -\frac{jke^{-jkr}}{4\pi r} \left(N_\theta + \frac{L_\phi}{\eta} \right) \quad (2.28)$$

นำค่า N_θ , N_ϕ , L_θ , L_ϕ ไปแทน

$$N = \iint_s J_s e^{+jkr' \cos \psi} ds' = \iint_s (\hat{a}_x J_x + \hat{a}_y J_y + \hat{a}_z J_z) e^{+jkr' \cos \psi} ds' \quad (2.29)$$

$$L = \iint_s M_s e^{+jkr' \cos \psi} ds' = \iint_s (\hat{a}_x M_x + \hat{a}_y M_y + \hat{a}_z M_z) e^{+jkr' \cos \psi} ds' \quad (2.30)$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$N_\theta = \iint_s [J_x \cos \theta \cos \phi + J_y \cos \theta \sin \phi - J_z \sin \theta] e^{+jkr' \cos \psi} ds' \quad (2.31)$$

$$N_\phi = \iint_s [-J_x \sin \theta + J_y \cos \phi] e^{+jkr' \cos \psi} ds' \quad (2.32)$$

$$L_\theta = \iint_s [M_x \cos \theta \cos \phi + M_y \cos \theta \sin \phi - M_z \sin \theta] e^{+jkr' \cos \psi} ds' \quad (2.33)$$

$$L_\phi = \iint_s [-M_x \sin \theta + M_y \cos \phi] e^{+jkr' \cos \psi} ds' \quad (2.34)$$

การกระจายในโหมด TE₁₀

$$\bar{E}_a = \hat{a}_y E_o \cos\left(\frac{\pi}{a} x'\right) \begin{cases} -a/2 \leq x' \leq a/2 \\ -b/2 \leq y' \leq b/2 \end{cases}$$

พิจารณาแหล่งกำเนิด

$$\text{เมื่อ } \bar{M}_s = \begin{cases} -2\hat{n} \times \bar{E}_a = -2\hat{a}_z \times \hat{a}_y E_o = +\hat{a}_x 2E_o & \begin{cases} -a/2 \leq x' \leq a/2 \\ -b/2 \leq y' \leq b/2 \end{cases} \\ 0 & \end{cases}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นก็ทำการพิจารณาเหมือนกับแบบแรกก็จะได้สมการแพร่กระจายคลื่นดังนี้

$$E_r = 0$$

$$E_\theta = -\frac{\pi}{2} c \left[\sin \phi \frac{\cos x}{x^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \left(\frac{\sin y}{y}\right) \right]$$

$$E_\phi = -\frac{\pi}{2} c \left[\cos \theta \cos \phi \frac{\cos x}{x^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \left(\frac{\sin y}{y}\right) \right]$$

$$x = \frac{ka}{2} \sin \theta \cos \phi$$

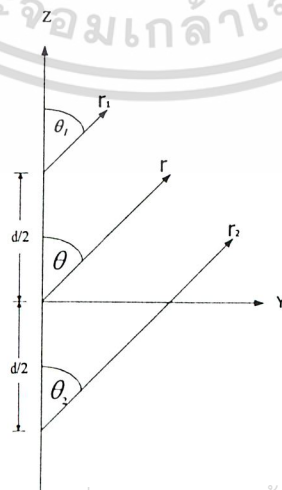
$$y = \frac{kb}{2} \sin \theta \sin \phi$$

$$c = j \frac{ab E_o e^{-jkr}}{2\pi r}$$

2.13 ตัวประกอบแถวลำดับ (Array factor)

เนื่องจากรูปแบบของสายอากาศเพียงองค์ประกอบเดียวไม่สามารถจะให้ค่าสภาพการชี้ทิศทางและค่าอัตราการขยาย ซึ่งมีความสำคัญต่อการออกแบบสายอากาศให้มีค่ามาก ๆ ได้ ดังนั้น วิธีการหนึ่งที่จะทำให้อัตราสภาพการชี้ทิศทางและค่าอัตราการขยายให้มีค่ามากขึ้นได้ คือ การจัดรูปแบบของสายอากาศให้เป็นแถวลำดับ (Array) ซึ่งเป็นการนำสายอากาศตั้งแต่สององค์ประกอบขึ้นไปมาจัดเรียงในรูปแบบต่าง ๆ แต่รูปแบบที่ได้นั้นจะต้องมีความเหมาะสมที่จะทำให้สนามที่แพร่กระจายออกจากตัวสายอากาศแต่ละองค์ประกอบเกิดการเสริมกันในทิศทางที่ต้องการและหักล้างกันในทิศทางที่ไม่ต้องการ ในการจัดเรียงเป็นแถวลำดับนั้นมีหลายแบบด้วยกัน แต่ที่จะนำมาใช้ในโครงการนี้จะเป็นการจัดเรียงในลักษณะแถวลำดับแบบเชิงเส้น (Linear Array) และแถวลำดับเชิงระนาบ (Planar Array)

เพื่อให้ง่ายในการพิจารณา เริ่มแรกจะพิจารณาจากสายอากาศไดโพลสององค์ประกอบ ที่วางอยู่ในแนวแกน z ดังรูปที่ 2.2 เมื่อทำการสังเกตที่สนามระยะไกล ($r \rightarrow \infty$) และให้จุดอ้างอิงอยู่ที่กึ่งกลางระหว่างสายอากาศทั้งสององค์ประกอบจะได้ว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.2 สายอากาศไดโพลสององค์ประกอบที่วางบนแกน Z

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\theta_1 &\approx \theta_2 \approx \theta \\ r_1 &= r - \frac{d}{2} \cos(\theta) \\ r_2 &= r + \frac{d}{2} \cos(\theta) \\ r_1 &\approx r_2 \approx r\end{aligned} \Rightarrow \begin{array}{l} \text{สำหรับการแปรผันของเฟส} \\ \text{สำหรับการแปรผันของขนาด} \end{array}$$

ซึ่งจะได้สนามรวมในการแพร่กระจายคลื่นของไดโพลสององค์ประกอบเป็นดังนี้

$$\begin{aligned}\bar{E}_i &= \hat{a}_o j\eta \frac{kI_o l}{4\pi} \left\{ \frac{e^{i[kr_1 - \frac{\beta}{2}]}}{r_1} |\cos(\theta_1)| + \frac{e^{-i[kr_2 + \frac{\beta}{2}]}}{r_2} |\cos(\theta_2)| \right\} \\ &= \hat{a}_o j\eta \frac{kI_o l}{4\pi} |\cos(\theta)| \frac{1}{r} \left[e^{-ikr + jk\frac{d}{2}\cos(\theta) + \frac{j\beta}{2}} + e^{-ikr - jk\frac{d}{2}\cos(\theta) + \frac{j\beta}{2}} \right]\end{aligned} \quad (2.35)$$

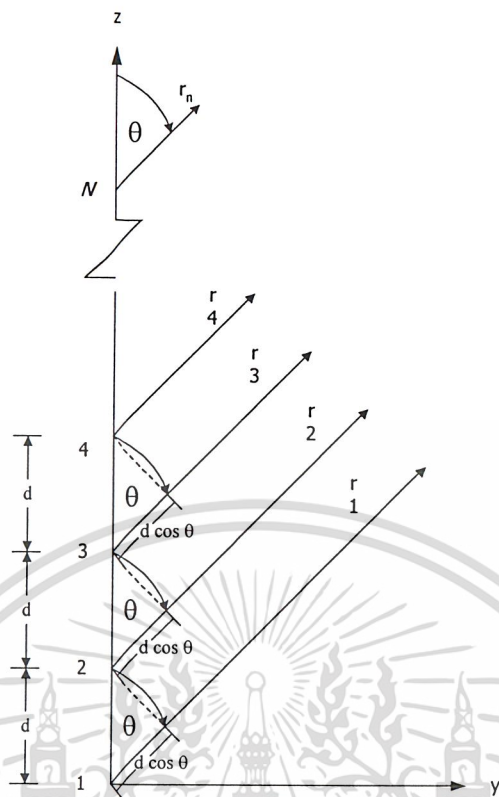
$$\therefore \bar{E}_i = \hat{a}_o j\eta \frac{kI_o l}{4\pi} |\cos(\theta)| \frac{1}{r} e^{-ikr} \left[e^{i\frac{(kd\cos(\theta) + \beta)}{2}} + e^{-i\frac{(kd\cos(\theta) - \beta)}{2}} \right] \quad (2.36)$$

เมื่อ β คือ ความต่างเฟสของกระแสที่ป้อนให้กับสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ จากสมการจะพบว่า สนามรวมในการแพร่กระจายคลื่นของไดโพลสององค์ประกอบ จะมีค่าเท่ากับสนามของไดโพลหนึ่งองค์ประกอบ คูณอยู่กับพจน์ ๆ หนึ่ง ซึ่งพจน์พจน์นี้จะถูกเรียกว่าเป็น ตัวประกอบแถวลำดับ ซึ่งเราจะได้พจน์ของตัวประกอบแถวลำดับ คือ

$$AF = e^{-i\frac{(kd\cos(\theta) - \beta)}{2}} + e^{i\frac{(kd\cos(\theta) + \beta)}{2}} \quad (2.37)$$

ต่อไปจะพิจารณาจากสายอากาศไดโพล N องค์ประกอบ ที่วางอยู่ในแนวแกน z โดยเริ่มที่ตำแหน่ง $z = 0$ และจากการสังเกตที่สนามระยะไกล โดยให้ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละองค์ประกอบเป็น d ดังรูปที่ 2.2 จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 สายอากาศไดโพล N องค์ประกอบ ที่วางอยู่บนแกน Z

$$\theta_N \approx \theta_{N-1} \approx \dots \approx \theta_3 \approx \theta_2 \approx \theta_1 \approx \theta$$

$$r_2 = r_1 - d \cos(\theta)$$

$$r_3 = r_1 - 2d \cos(\theta)$$

$$\vdots$$

$$r_N = r_1 - (N-1)d \cos(\theta)$$

$$r_1 \approx r_2 \approx r_3 \approx \dots \approx r_N$$

\Rightarrow สำหรับการแปรผันของเฟส
 \Rightarrow สำหรับแปรผันของขนาด

จากสมการรวมของสายอากาศไดโพลสององค์ประกอบ จะได้สมการรวมของสายอากาศไดโพล N องค์ประกอบ ได้ดังนี้

$$\bar{E}_r = \hat{a}_\theta j\eta \frac{kI_o}{4\pi} \left[\frac{e^{-j(kr_1 - \beta)}}{r_1} |\cos(\theta_1)| + \frac{e^{-j(kr_2 - \beta)}}{r_2} |\cos(\theta_2)| + \dots + \frac{e^{-j(kr_N - \beta)}}{r_N} |\cos(\theta_N)| \right] \quad (2.38)$$

โดยกำหนดให้ ความต่างเฟสของกระแส (β) ที่ป้อนให้กับสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ เป็นแบบ (Progressive phase) คือ เฟสของกระแสในสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ จะนำหน้าเฟสของกระแสในสายอากาศที่อยู่ก่อนหน้าในแถวลำดับเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้รู้เห็นหนังสือนี้จะเขียนที่หนังสือค่า ไม่มีการแก้ไข ฟังต้น ยกทั้งห้ามมิให้ตีแบบซ้ำเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาที่สนามระยะไกล จะได้ว่า

$$\bar{E}_t = \hat{a}_\theta j\eta \frac{kI_0 l}{4\pi r} |\cos(\theta)| \left[e^{j(kr_1 - \beta)} + e^{j(kr_2 - \beta)} + \dots + e^{j(kr_N - \beta)} \right] \quad (2.39)$$

เนื่องจากที่ r , เรากำหนดให้เป็นจุดอ้างอิงที่ $z = 0$ ดังนั้น จะได้ว่า ความต่างเฟสของกระแสในส่วนของ r , มีค่าเท่ากับศูนย์ เพราะฉะนั้น จากสนามรวม E_t จะได้ว่า

$$\bar{E}_t = \hat{a}_\theta j\eta \frac{kI_0 l}{4\pi r} |\cos(\theta)| e^{jk\eta} \left[1 + e^{j(kd \cos(\theta) + \beta)} + \dots + e^{j(N-1)(kd \cos(\theta) + \beta)} \right] \quad (2.40)$$

ถ้าพิจารณาในพจน์ของตัวประกอบแถวลำดับ จะได้ว่า

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kd \cos(\theta) + \beta)} \quad (2.41)$$

$$= \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\psi} \quad ; \psi = kd \cos(\theta) + \beta \quad (2.41ก)$$

เพื่อให้รูปแบบของตัวประกอบแถวลำดับ เรียบง่ายขึ้น สามารถทำได้โดยทำการคูณทั้งสองข้างของสมการที่ 2.41ก ด้วย $e^{j\psi}$ ทำให้ได้ว่า

$$AF \cdot e^{j\psi} = e^{j\psi} + e^{j2\psi} + \dots + e^{jN\psi} \quad (2.42)$$

นำสมการที่ 2.42 ลบกับสมการที่ 2.41ก จะได้ว่า

$$AF(e^{j\psi} - 1) = -1 + e^{jN\psi}$$

$$AF = \frac{-1 + e^{jN\psi}}{e^{j\psi} - 1}$$

$$AF = e^{j\frac{(N-1)\psi}{2}} \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)} \right] \quad (2.43)$$

เมื่อ N คือ จำนวนสายอากาศทั้งหมดที่นำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

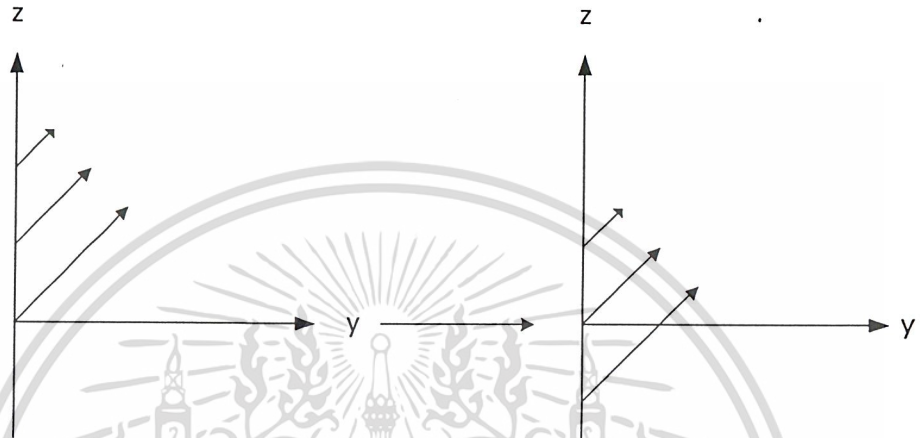
ดังนั้น จากสมการที่ 2.43 ก็คือ รูปแบบอย่างง่ายที่สามารถแทนค่าจำนวนสายอากาศทั้งหมด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารที่พิมพ์นี้ทุกครั้งไปใช้
N องค์ประกอบ แทนการหาผลรวมทั้งหมด N องค์ประกอบที่แสดงในสมการที่ 2.41ก ซึ่งจะให้ค่าที่เท่ากัน

ต่อไปเราจะกำหนดให้จุดอ้างอิงอยู่ที่กึ่งกลางของสายอากาศที่มีอยู่ทั้งหมด N องค์ประกอบ ซึ่งแบ่งการพิจารณาได้ 2 กรณี คือ

1. เมื่อ N เป็นจำนวนคี่

เราจะได้จุดอ้างอิงตรงกับตำแหน่งของสายอากาศที่จะแบ่งสายอากาศทั้งหมด N องค์ประกอบในแนวแกน $+z$ และ $-z$ อย่างละ $N-1/2$ องค์ประกอบ เช่น $N = 3$ ก็จะแบ่งสายอากาศออกในแนวแกน $+z$ และ $-z$ อย่างละ 1 องค์ประกอบ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การกำหนดจุดอ้างอิงให้อยู่กึ่งกลางของสายอากาศทั้งหมดที่เป็นจำนวนคี่ จากสมการที่ 2.41ก เมื่อทำการคิดที่สนามระยะไกล จะได้ว่า

$$AF = 1 + e^{j\psi} + e^{j2\psi} + \dots + e^{j\left(\frac{N-1}{2}\right)\psi} + e^{-j\psi} + e^{-j2\psi} + \dots + e^{-j\left(\frac{N-1}{2}\right)\psi} \quad (2.44)$$

จากนั้น ทำการคูณทั้งสองข้างของสมการที่ 2.44 ด้วย $e^{j\frac{\psi}{2}}$ และ $e^{-j\frac{\psi}{2}}$ จะได้ว่า

$$AF \left(e^{j\frac{\psi}{2}} - e^{-j\frac{\psi}{2}} \right) = e^{j\frac{N}{2}\psi} - e^{-j\frac{N}{2}\psi}$$

$$AF = \frac{e^{j\frac{N}{2}\psi} - e^{-j\frac{N}{2}\psi}}{e^{j\frac{\psi}{2}} - e^{-j\frac{\psi}{2}}}$$

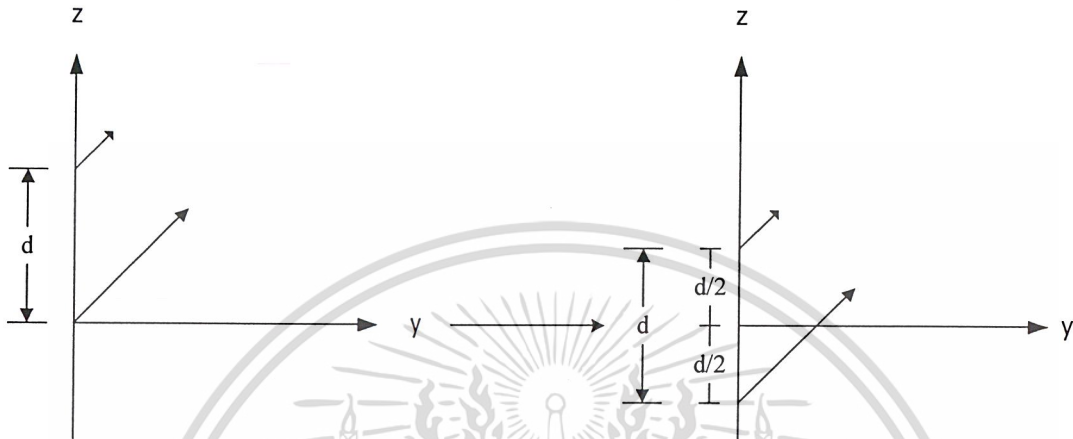
$$\therefore AF = \frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)} \quad (2.45)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ N องค์ประกอบ คือ จำนวนสายอากาศทั้งหมดที่นำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับ

2. N เป็นจำนวนคู่

เราจะได้จุดอ้างอิงตรงกับตำแหน่งของสายอากาศที่จะแบ่งสายอากาศทั้งหมด N องค์กรประกอบในแนวแกน $+z$ และ $-z$ อย่างละ $(N-1)/2$ องค์กรประกอบเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 แต่ต่างกันตรงที่ ระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิงกับสายอากาศองค์กรประกอบแรก ทั้งในแนวแกน $+z$ และ $-z$ จะมีค่าเป็น $d/2$ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การกำหนดจุดอ้างอิงให้อยู่กึ่งกลางของสายอากาศทั้งหมดที่เป็นจำนวนคู่

จากสมการที่ 2.41ก เมื่อทำการคิดที่สนามระยะไกล จะได้ว่า

$$AF = e^{j\frac{\psi}{2}} + e^{j\frac{3\psi}{2}} + \dots + e^{j\left(\frac{N-1}{2}\right)\psi} + e^{-\frac{\psi}{2}} + e^{-j\frac{3\psi}{2}} + \dots + e^{-j\left(\frac{N-1}{2}\right)\psi} \quad (2.46)$$

จากนั้น ทำการคูณทั้งสองข้างของสมการที่ 2.46 ด้วย $e^{j\frac{\psi}{2}}$ และ $e^{-j\frac{\psi}{2}}$ จะได้ว่า

$$AF \left(e^{j\frac{\psi}{2}} - e^{-j\frac{\psi}{2}} \right) = e^{j\frac{N}{2}\psi} - e^{-j\frac{N}{2}\psi}$$

$$AF = \frac{e^{j\frac{N}{2}\psi} - e^{-j\frac{N}{2}\psi}}{e^{j\frac{\psi}{2}} - e^{-j\frac{\psi}{2}}}$$

$$\therefore AF = \frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)} \quad (2.47)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ N คือ จำนวนสายอากาศทั้งหมดที่นำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับ

ซึ่งจะพบว่า ไม่ว่า N จะเป็นจำนวนคี่หรือจำนวนคู่ ค่าตัวประกอบแถวลำดับที่ได้จะเหมือนกัน ดังนั้น การทำแถวลำดับของสายอากาศ N องค์ประกอบตามแกน z และให้จุดอ้างอิงอยู่ที่กึ่งกลางของสายอากาศ N ตามแนวแกน z และให้จุดอ้างอิงอยู่ที่กึ่งกลางของสายอากาศทั้งหมด N องค์ประกอบ จะได้ค่าตัวประกอบแถวลำดับคือ

$$AF = \frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)} \quad (2.48)$$

เมื่อ N คือ จำนวนสายอากาศทั้งหมดที่นำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับ จากการสังเกตที่สนามระยะไกลซึ่งที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จะพบว่า สามารถแสดงรูปแบบของตัวประกอบแถวลำดับได้ใหม่ ดังนี้

$$AF = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)(kd \cos(\gamma) + \beta)} \quad (2.49)$$

$$= \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)\psi} \quad \therefore \psi = kd \cos(\gamma) + \beta \quad (2.49ก)$$

โดย a_n คือ แอมพลิจูดของกระแสที่ป้อนให้กับสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ γ คือ มุมระหว่างแกนที่องค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบถูกนำมาจัดเรียงกันเป็นแถวลำดับ จากรูปแบบของตัวประกอบแถวลำดับนี้ สามารถแสดงตัวประกอบแถวลำดับเมื่อองค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบจัดเรียงกันในแนวแกน xyz ได้ดังนี้

1. เมื่อมีการจัดเรียงองค์ประกอบกันบนแกน z ทั้งหมด N องค์ประกอบ จากสมการที่ 2.49

$$AF = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)(kd \cos(\gamma) + \beta)} \quad (2.50)$$

สามารถหา γ ได้จาก การคูณแบบจุด (dot product) ของเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (unit vector) ในทิศทางของจุดสังเกต สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \hat{a}_z \cdot \hat{a}_r &= |a_z| |a_r| \cos(\gamma) = \cos(\gamma) \\ \therefore \cos(\gamma) &= \hat{a}_z \cdot \hat{a}_r \\ &= \hat{a}_z \cdot \{ \hat{a}_x \sin(\theta) \cos(\phi) + \hat{a}_y \sin(\theta) \sin(\phi) + \hat{a}_z \cos(\theta) \} \\ &= \cos(\theta) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ว่า

$$AF = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)(kd \cos(\theta) + \beta)} \quad (2.51)$$

ถ้าให้ a_n มีค่าเท่ากับ 1 ในสายอากาศทุก ๆ องค์ประกอบ จะพบว่าตัวประกอบแอมพลิจูดที่ได้เหมือนกับสมการที่ 2.41 ซึ่งเป็นตัวประกอบแอมพลิจูดของสายอากาศทั้งหมด N องค์ประกอบ ที่วางตามแกน z

ดังนั้น เราจะใช้ตัวประกอบแอมพลิจูดรูปแบบนี้ในการหาตัวประกอบแอมพลิจูดของสายอากาศที่วางตามแกน x และ y ต่อไป

2. กรณีวางตามแกน x

สามารถแสดงการจัดวางได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การจัดวางสายอากาศแอมพลิจูดจำนวน M องค์ประกอบบนแกน x

จาก

$$AF = \sum_{n=1}^M a_n e^{j(n-1)(kd \cos(\gamma) + \beta)}$$

$$\cos(\gamma) = \hat{a}_x \cdot \hat{a}_r$$

$$= \hat{a}_x \cdot \{ \hat{a}_x \sin(\theta) \cos(\phi) + \hat{a}_y \sin(\theta) \sin(\phi) + \hat{a}_z \cos(\theta) \}$$

$$\therefore \gamma = \cos^{-1}(\sin(\theta) \cos(\phi))$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ถ้าให้ a_n มีค่าเท่ากับ 1 ในสายอากาศทุก ๆ องค์ประกอบ ได้ว่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุขัดแย้งและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$AF_x = \sum_{n=1}^M e^{j(n-1)(kd \sin(\theta) \cos(\phi) + \beta)} \quad (2.52)$$

จัดรูปใหม่ โดยให้ $\psi_x = (kd \sin(\theta) \cos(\phi) + \beta)$ ได้ว่า

$$\begin{aligned} AF_x &= \frac{e^{jM\psi_x} - 1}{e^{j\psi_x} - 1} \\ &= \frac{e^{j\frac{M}{2}\psi_x} \left(e^{j\frac{M}{2}\psi_x} - e^{-j\frac{M}{2}\psi_x} \right)}{e^{j\frac{M}{2}\psi_x} \left(e^{j\frac{\psi_x}{2}\psi_x} - e^{-j\frac{M}{2}\psi_x} \right)} \\ \therefore AF &= e^{j\frac{(M-1)}{2}\psi_x} \left[\frac{\sin\left(\frac{M}{2}\psi_x\right)}{\sin\left(\frac{\psi_x}{2}\right)} \right] \end{aligned} \quad (2.53)$$

เมื่อ M คือ จำนวนสายอากาศทั้งหมดที่นำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับในแนวแกน x แต่โดยทั่วไปแล้ว เราจะกำหนดจุดอ้างอิงไว้ที่จุดกึ่งกลางของสายอากาศทั้งหมดในแถวลำดับ จากกรณีของแถวลำดับในแกน z จะพบว่า ไม่ว่าจะจะมีจำนวนสายอากาศเป็นจำนวนคี่หรือจำนวนคู่ในแถวลำดับ ก็จะได้ค่าตัวประกอบแถวลำดับเหมือนกัน ได้ว่า

$$\begin{aligned} AF_x \left(e^{j\frac{\psi_x}{2}} - e^{-j\frac{\psi_x}{2}} \right) &= e^{j\frac{\psi_x}{2}} - e^{-j\frac{\psi_x}{2}} \\ AF_x &= \frac{e^{j\frac{M}{2}\psi_x} - e^{-j\frac{M}{2}\psi_x}}{e^{j\frac{\psi_x}{2}} - e^{-j\frac{\psi_x}{2}}} \\ \therefore AF &= \frac{\sin\left(\frac{M}{2}\psi_x\right)}{\sin\left(\frac{\psi_x}{2}\right)} \end{aligned} \quad (2.54)$$

เมื่อ M คือ จำนวนสายอากาศทั้งหมดที่นำมาจัดเรียงลำดับในแนวแกน x

3. กรณีวางตามแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2.49 สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกครั้งให้ $AF = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)(kd \cos(\gamma) + \beta)}$ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\cos(\gamma) &= \hat{a}_y \cdot \hat{a}_r \\ &= \hat{a}_y \cdot \{ \hat{a}_x \sin(\theta) \cos(\phi) + \hat{a}_y \sin(\theta) \sin(\phi) + \hat{a}_z \cos(\theta) \} \\ \therefore \gamma &= \cos^{-1}(\sin(\theta) \sin(\phi))\end{aligned}$$

ถ้าให้ α_n มีค่าเท่ากับ 1 ในสายอากาศทุก ๆ องค์ประกอบ ได้ว่า

$$AF_y = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kd \sin(\theta) \sin(\phi) + \beta)} \quad (2.52)$$

จัดรูปใหม่ โดยให้ $\psi_y = (kd \sin(\theta) \sin(\phi) + \beta)$ ได้ว่า

$$\begin{aligned}AF_y &= \frac{e^{jN\psi_y} - 1}{e^{j\psi_y} - 1} \\ &= \frac{e^{j\frac{M}{2}\psi_y} \left(e^{j\frac{M}{2}\psi_y} - e^{-j\frac{M}{2}\psi_y} \right)}{e^{j\frac{\psi_y}{2}} \left(e^{j\frac{\psi_y}{2}} - e^{-j\frac{\psi_y}{2}} \right)} \\ \therefore AF_y &= e^{j\frac{(n-1)}{2}\psi_y} \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi_y\right)}{\sin\left(\frac{\psi_y}{2}\right)} \right]\end{aligned} \quad (2.53)$$

เมื่อ N คือ จำนวนสายอากาศทั้งหมดที่นำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับในแนวแกน y เมื่อกำหนดจุดอ้างอิงไว้ที่จุดกึ่งกลางของสายอากาศทุกองค์ประกอบในแถวลำดับ จะได้

$$\begin{aligned}AF_y \left(e^{j\frac{\psi_y}{2}} - e^{-j\frac{\psi_y}{2}} \right) &= e^{j\frac{M}{2}\psi_y} - e^{-j\frac{M}{2}\psi_y} \\ AF_y &= \frac{e^{j\frac{M}{2}\psi_y} - e^{-j\frac{M}{2}\psi_y}}{e^{j\frac{\psi_y}{2}} - e^{-j\frac{\psi_y}{2}}} \\ \therefore AF_y &= \frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi_y\right)}{\sin\left(\frac{\psi_y}{2}\right)}\end{aligned} \quad (2.54)$$

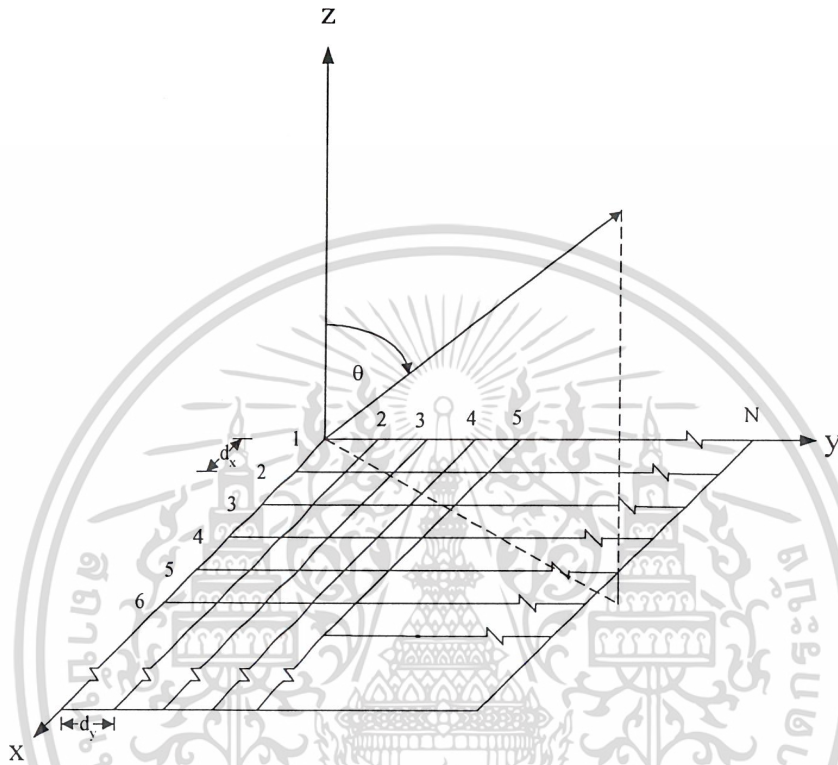
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ N คือ จำนวนสายอากาศทั้งหมดที่นำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับในแนวแกน y

4. กรณีสายอากาศแบบระนาบ (planar)

คือ การวางรวมกันระหว่างแถวลำดับในแนวแกน x และแถวลำดับในแนวแกน y โดยให้สายอากาศแต่ละองค์ประกอบในแนวแกน x มีจำนวนทั้งหมด M องค์ประกอบ แต่ละองค์ประกอบห่างกัน d_x และเฟสเป็น β_x สามารถแสดงการจัดเรียงสายอากาศแบบระนาบ ได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.7 การจัดเรียงสายอากาศแบบระนาบ

ดังนั้น ตัวประกอบแถวลำดับที่ได้สำหรับแถวลำดับแบบระนาบ คือ การคูณกันระหว่าง ตัวประกอบแถวลำดับในแนวแกน x กับตัวประกอบแถวลำดับในแนวแกน y ได้ว่า

$$AF = AF_x \times AF_y \quad (2.58)$$

$$AF = e^{j\left(\frac{M-1}{2}\right)\psi_x} \left[\frac{\sin\left(\frac{M}{2}\psi_x\right)}{\sin\left(\frac{\psi_x}{2}\right)} \right] e^{j\left(\frac{N-1}{2}\right)\psi_y} \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi_y\right)}{\sin\left(\frac{\psi_y}{2}\right)} \right] \quad (2.59)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณากรณีที่อยู่กึ่งกลางของสายอากาศแต่ละองค์ประกอบจะได้ว่า

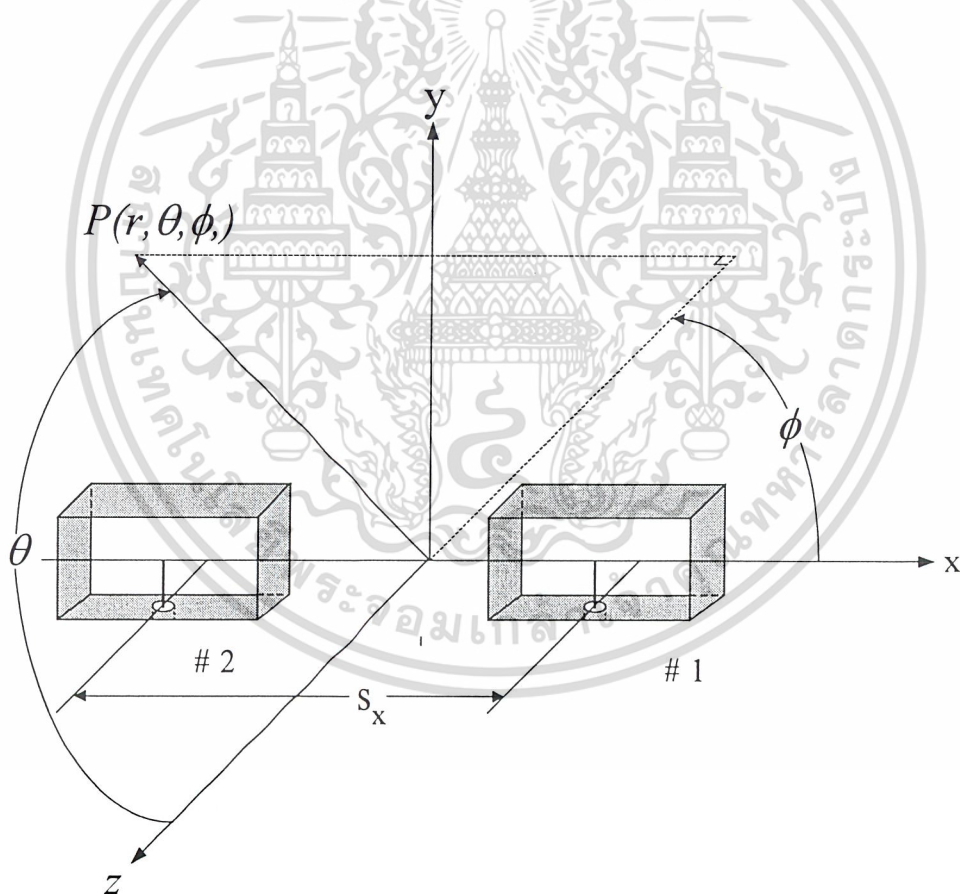
$$AF = \frac{\sin\left(\frac{M}{2}\psi_x\right) \sin\left(\frac{N}{2}\psi_y\right)}{\sin\left(\frac{\psi_x}{2}\right) \sin\left(\frac{\psi_y}{2}\right)} \quad (2.60)$$

เมื่อ M คือ จำนวนสายอากาศทั้งหมดที่นำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับในแนวแกน x

N คือ จำนวนสายอากาศทั้งหมดที่นำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับในแนวแกน y

2.5 แสดงตัวอย่างการจัดเรียงสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงเส้น

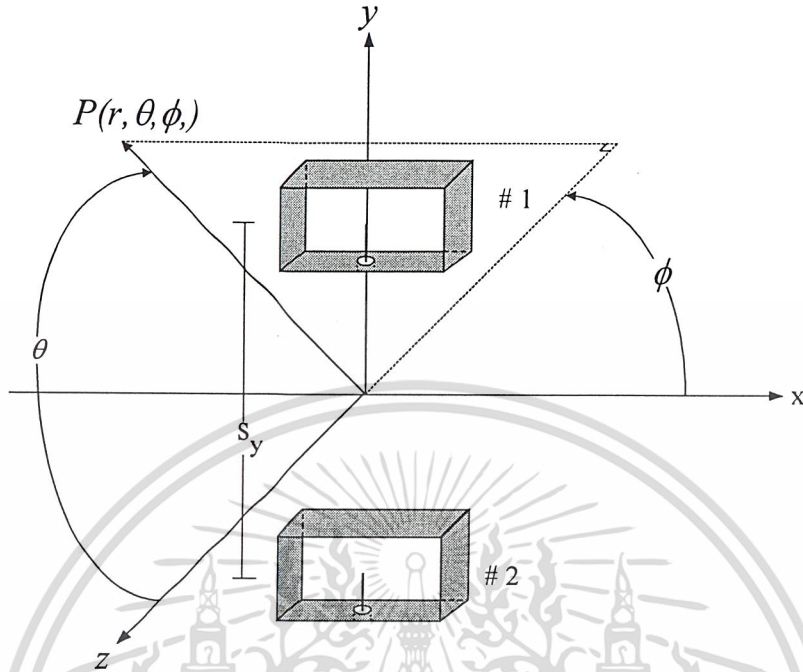
2.5.1 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงเส้นในแนวแกน x (แบบ Side by Side)



รูปที่ 2.8 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงเส้นแบบ Side by Side

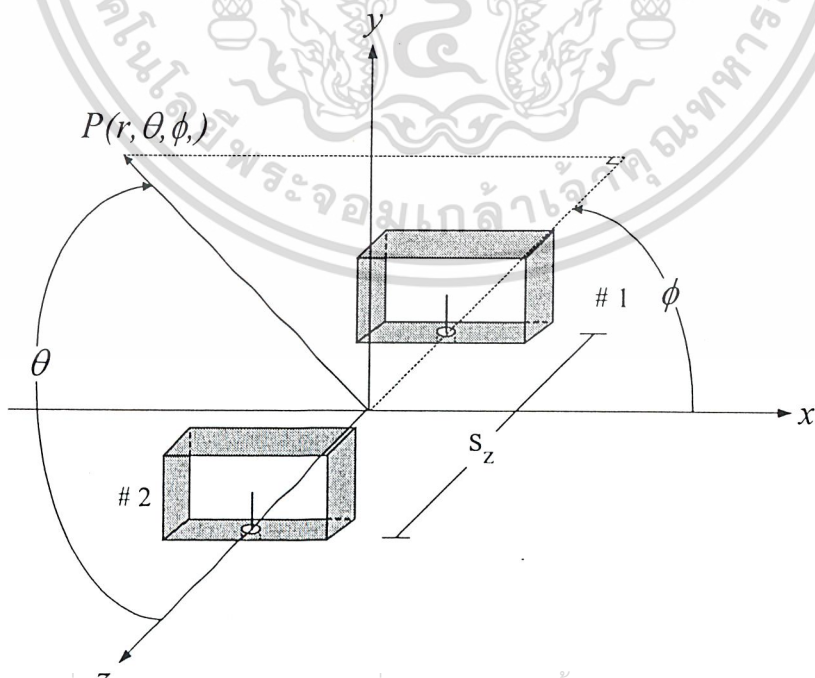
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงเส้นในแนวแกน y (แบบ Collinear)



รูปที่ 2.9 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงเส้นแบบ Collinear

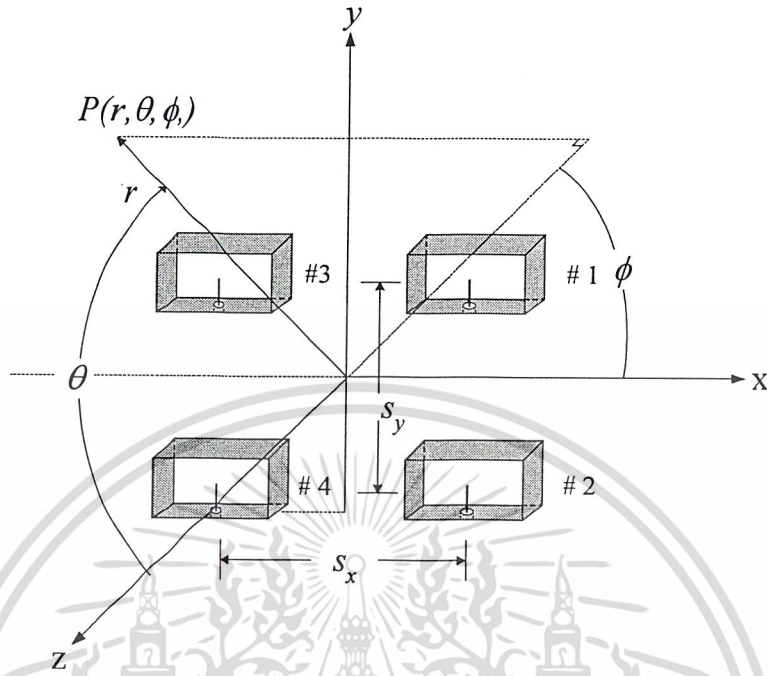
2.5.3 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงเส้นในแนวแกน z (แบบ Face to Face)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงเส้นแบบ Face to Face

2.5.4 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงระนาบ (Planar Array)



รูปที่ 2.11 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงระนาบ (Planar Array)

2.6 ทฤษฎีเงา [3]

ในสายอากาศที่ใช้งานจริงนั้น บ่อยครั้งที่เรามักจะนำแผ่นสะท้อนคลื่นที่เป็นแผ่นโลหะเรียบและมีสภาพการนำไฟฟ้าดีมากมาวางไว้ด้านหลังของตัวสายอากาศเพื่อให้คลื่นกระจายออกไปทางด้านหน้าเท่านั้น ในกรณีดังกล่าวนี้ ถ้าแผ่นสะท้อนมีขนาดใหญ่มาก การหาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้านหน้านั้นจะทำได้โดยการวางสายอากาศสภาพเสมือนที่เหมาะสมไว้ตรงตำแหน่งที่เหมาะสม

2.7 สายอากาศทิศทางเดียว (Unidirectional Beam)

จากทฤษฎีภาพเสมือน สามารถทำให้สายอากาศทิศทางเดียวได้โดยการนำแผ่นสะท้อนคลื่นวางไว้ด้านหลังของสายอากาศ เพื่อที่จะได้ค่าการชี้ทิศทางและอัตราการขยายมากขึ้น

จากสมการของสายอากาศที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อเป็นสายอากาศทิศทางเดียวจะได้สมการดังนี้

$$E_{\theta} = -\frac{\pi}{2} c \left[\sin \phi \frac{\cos x}{x^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \left(\frac{\sin y}{y}\right) \right] [2j \sin(kh \cos(\theta))] \tag{2.61}$$

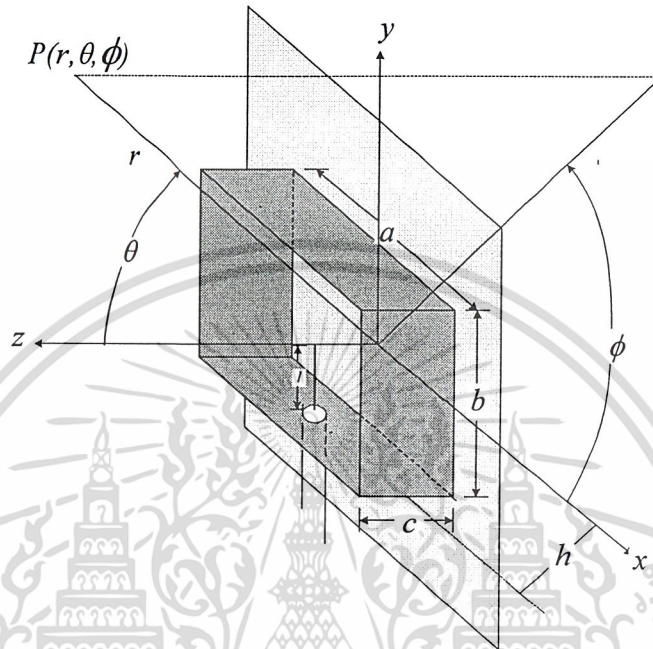
$$E_{\phi} = -\frac{\pi}{2} c \left[\cos \theta \cos \phi \frac{\cos x}{x^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \left(\frac{\sin y}{y}\right) \right] [2j \sin(kh \cos(\theta))] \tag{2.62}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น เมื่อ h คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อนคลื่น

2.8 โครงสร้างของสายอากาศทิศทางเดียว

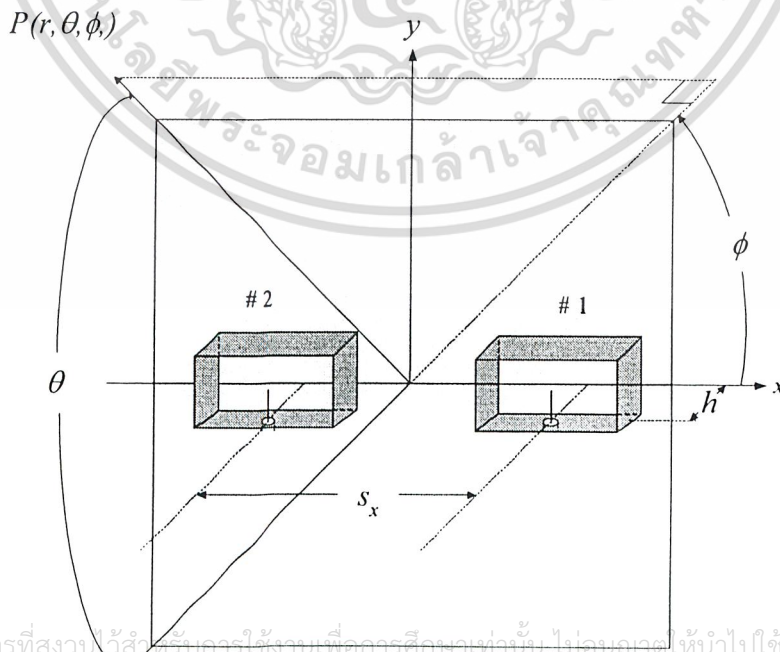
สายอากาศที่นำมาใช้จะประกอบด้วยโพรบไฟฟ้าเชิงเส้นด้วยความยาว l ที่ต่อกับสายนำสัญญาณแบบแกนร่วม (coaxial) โดยผ่านตัวต่อ (connector) แบบ N-type และถูกล้อมรอบด้วยวงแหวนกรอบสี่เหลี่ยมที่มีโครงสร้างเป็นกรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และมีแผ่นสะท้อนคลื่นติดตั้งที่ด้านหลัง โดยมีความกว้าง ความสูง และความยาวเป็น a b และ c ตามลำดับ ซึ่งโพรบจะวางตัวตามแนวแกน y ดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 สายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว

2.9 แสดงตัวอย่างการจัดเรียงสายอากาศทิศทางเดียวแบบแถวลำดับเชิงเส้น

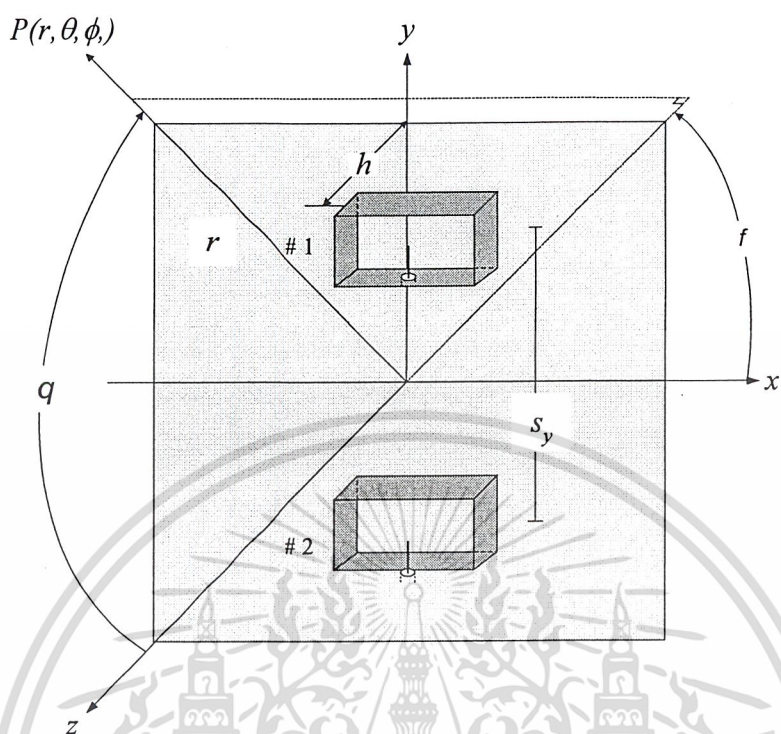
2.9.1 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงเส้นในแนวแกน x (แบบ Side by Side)



รูปที่ 2.13 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงเส้นแบบ Side by Side

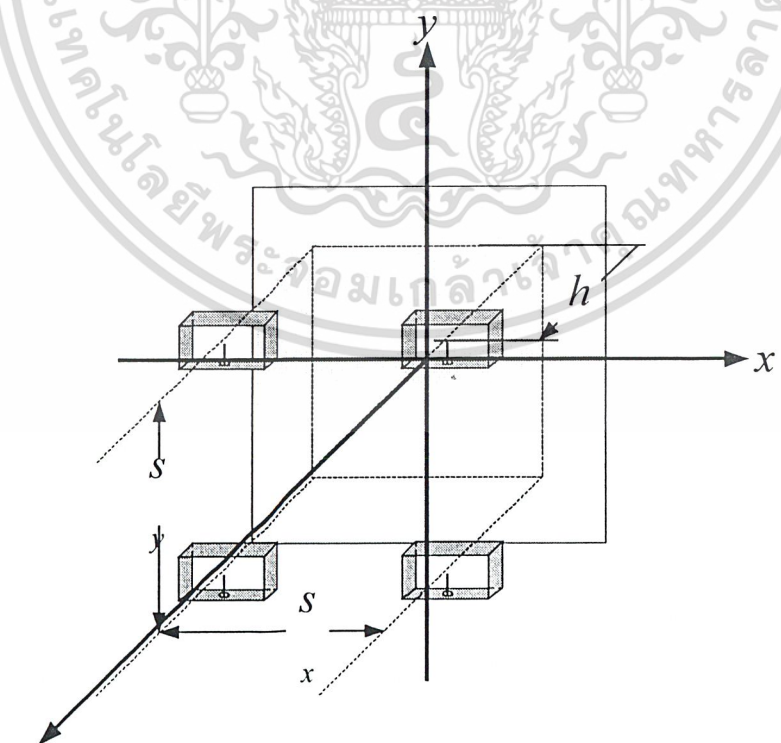
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงเส้นในแนวแกน y (แบบ Collinear)



รูปที่ 2.14 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงเส้นแบบ Collinear

2.9.3 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงระนาบ (แบบ planar)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.16 การจัดเรียงแถวลำดับเชิงระนาบ (Planar Array)

บทที่ 3

การวิเคราะห์ คำนวณ และการออกแบบ

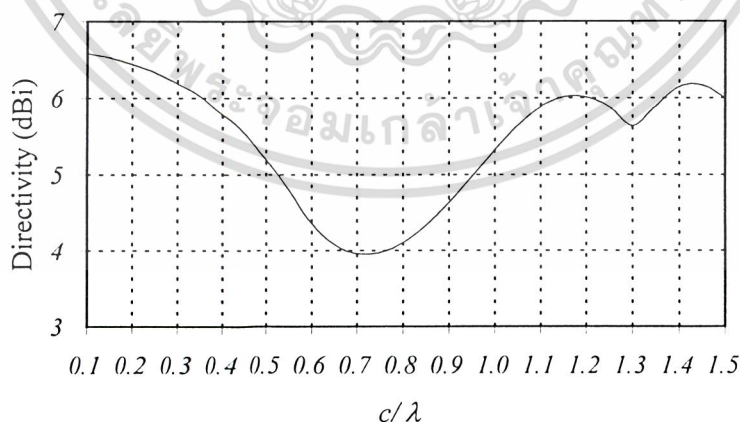
ในการวิเคราะห์ของสายอากาศแบบโพรบกระดุนวงแหวนสี่เหลี่ยม จะสนใจในส่วนของคุณค่า ความกว้าง ความยาวและความสูง ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าว จะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของคลื่นที่ออกมาจาก ตัวสายอากาศและค่าสภาพเจาะจงทิศทางของตัวสายอากาศ ซึ่งถือเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากที่จะ พิจารณาก่อนเป็นอันดับแรก สิ่งต่อไปที่จะต้องพิจารณาคือ ความยาวของโพรบที่จะใช้กับตัวสายอากาศ โดยค่าดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) และค่าความกว้างของคลื่นที่ใช้งาน (Bandwidth) ของสายอากาศ เมื่อได้รูปแบบที่แน่นอนแล้วก็จะนำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับแบบเชิงเส้นเพื่อเพิ่มค่าสภาพ เจาะจงทิศทางของสายอากาศให้สูงขึ้น

3.1.1 การพิจารณาค่าความกว้าง ความยาวและความสูงของตัวสายอากาศ

ในการพิจารณาถึงค่าความกว้างนั้น จะพิจารณาถึงค่าความกว้างของสายอากาศที่ทำให้คลื่นที่ ออกจากตัวสายอากาศมีเพียงแบบรูปของคลื่นหลักเท่านั้น ซึ่งกรณีของตัวสายอากาศแบบโพรบกระดุนวง แหวนสี่เหลี่ยมแบบรูปของคลื่นหลักคือ TE_{10} จากบทที่ 2 จะได้ค่าความกว้างที่เหมาะสมมีค่าอยู่ระหว่าง

$$0.5\lambda < a < \lambda \quad \text{เมื่อ } a = 2b \text{ เท่านั้น}$$

ซึ่งค่าความกว้างและความสูงของตัวสายอากาศที่ออกแบบนี้มี ค่าความกว้างเท่ากับ 0.35λ และค่าความสูงเท่ากับ 0.69λ ในการหาค่าความยาวของสายอากาศ เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม จะพิจารณา ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1

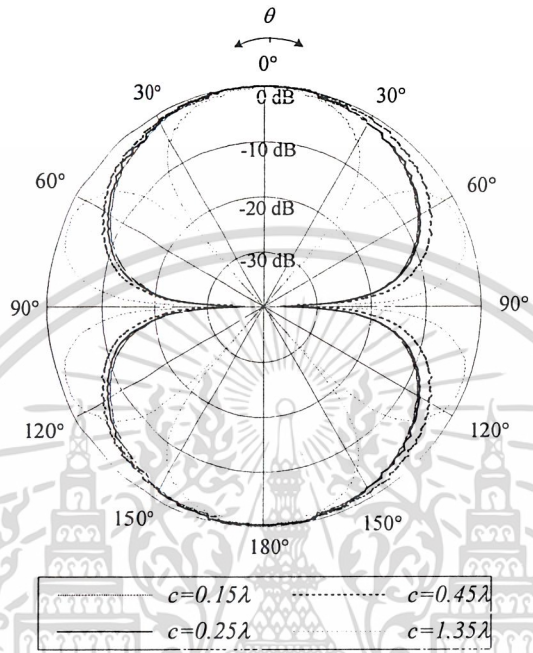


รูปที่ 3.1 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศโพรบกระดุนวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

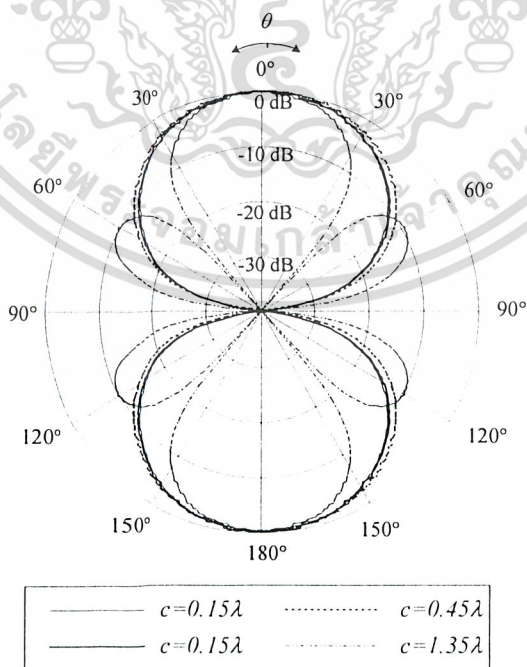
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 จะพบว่าค่าที่เหมาะสมจะให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมีค่าสูงที่สุดและทำให้ลำคลื่นออกจากสายอากาศหลักเป็นแบบรูปคลื่นหลัก TE_{10} นั้นมีค่าเท่ากับ 0.15λ แต่ต้องมาพิจารณาที่ค่าพารามิเตอร์อื่นร่วมด้วย ซึ่งจะกล่าวต่อไป

3.1.2 การพิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ
สามารถแสดงในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3



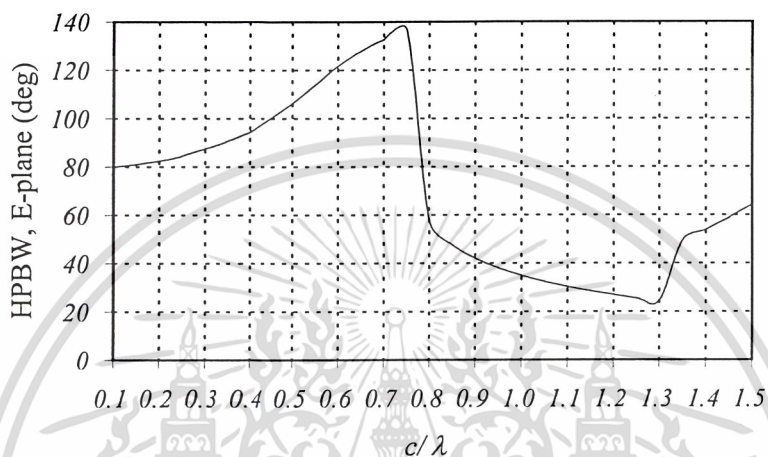
รูปที่ 3.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง



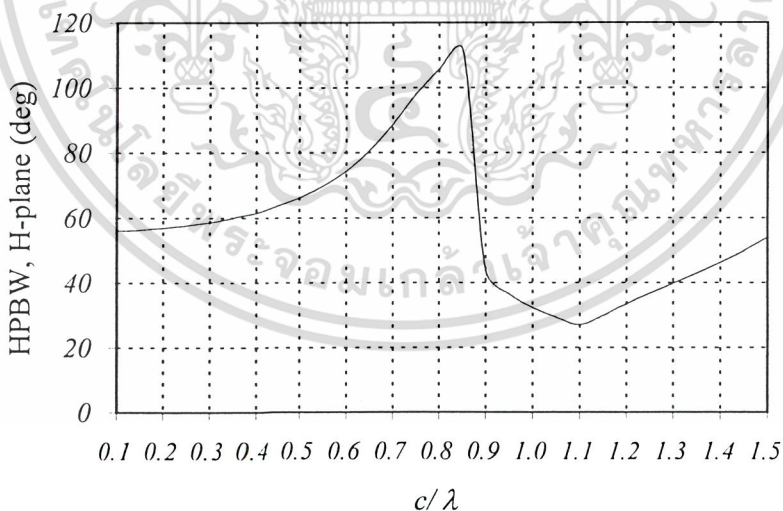
รูปที่ 3.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง
เอกสารนี้เป็นเอกสารทสจวทสวไรสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้าจะมีความกว้างของลำคลื่นมากกว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามแม่เหล็ก เมื่อความยาวของตัวสายอากาศมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างขึ้นด้วย

3.1.3 การพิจารณาค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่ง
สามารถแสดงในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

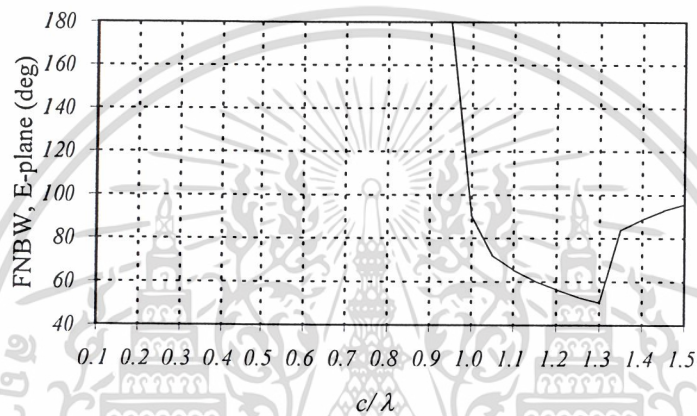


รูปที่ 3.5 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

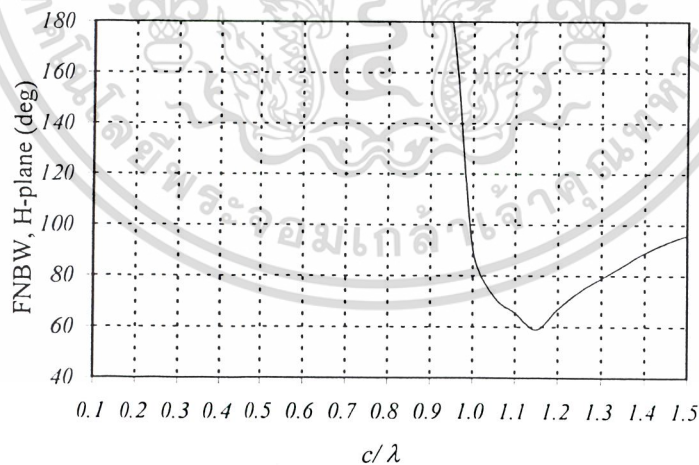
จากรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าในระนาบสนามไฟฟ้าจะมีลำคลื่นที่กว้างกว่าระนาบสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะพบว่าค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งมีผลต่อค่าสภาพเจาะจงทิศทางไม่เท่ากันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และขนาดของลำคลื่นที่แพร่กระจายออกจากตัวสายอากาศ เมื่อค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งมีค่าน้อย ทำให้ขนาดของลำคลื่นที่แพร่กระจายออกจากตัวสายอากาศแคบลงและค่าสภาพเงาจึงทิศทางมากขึ้น เมื่อค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งมีค่ามากขึ้น ทำให้ขนาดของลำคลื่นที่แพร่กระจายออกจากตัวสายอากาศกว้างมากขึ้นและค่าสภาพการชี้ทิศทางก็ลดลงตามไปด้วย ตามที่ได้แสดงไว้ข้างต้น

3.1.4 การพิจารณาค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรก
สามารถแสดงในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง



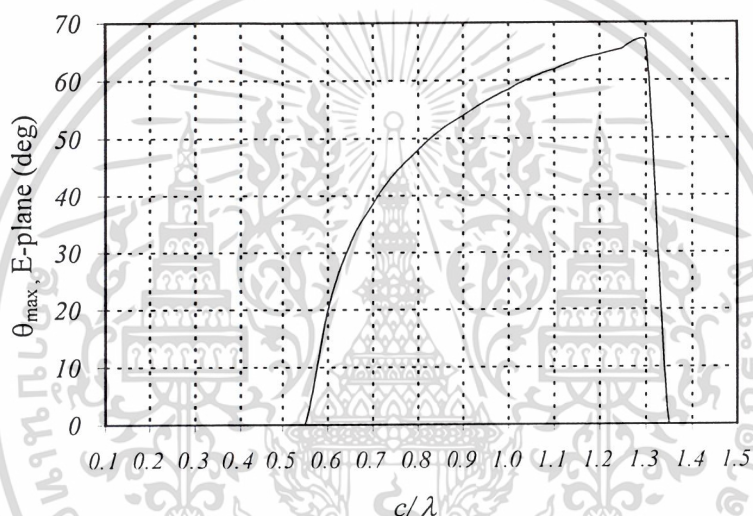
รูปที่ 3.7 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

จากรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 เมื่อความยาวของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ 0.95λ เป็นต้นไป ในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกเริ่มลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่าที่ต่ำที่สุดหลังจากนั้นค่าแถบความกว้างของลำ

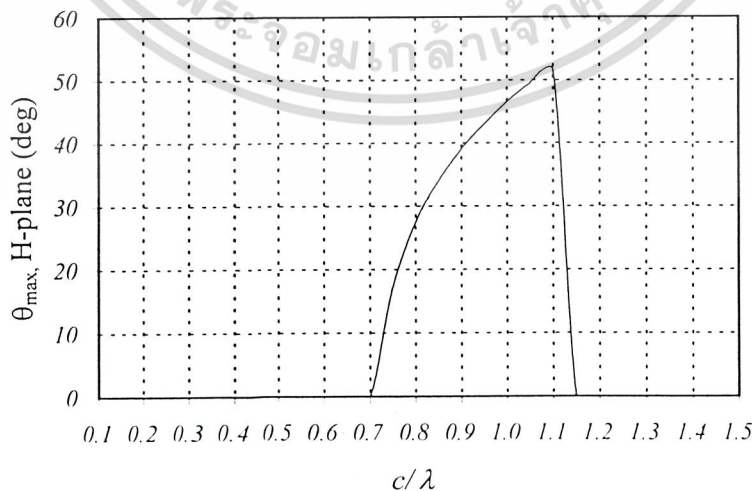
คลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกเริ่มเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ซึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าค่าต่ำที่สุดคือ 50 องศา เมื่อความยาวของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเท่ากับ 1.3λ ในระนาบสนามแม่เหล็กค่าต่ำที่สุดคือ 60 องศา เมื่อความยาวของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเท่ากับ 1.15λ การพิจารณาค่าแอมพลิจูดของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกนั้น ต้องพิจารณาในช่วงความยาวของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางที่มีค่าแอมพลิจูดของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกเท่ากับ 180 องศาหรือมีค่าใกล้เคียง 180 องศามากที่สุด จากรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าช่วงที่สามารถนำมาพิจารณาคือช่วงที่เป็นมุม 180 องศา ซึ่งคือช่วง $0.1 \lambda - 0.95 \lambda$

3.1.5 การพิจารณาค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยก

สามารถแสดงในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

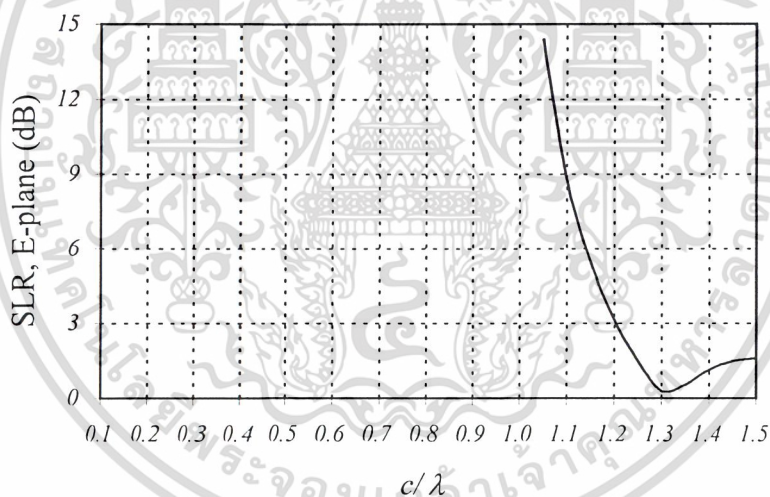


รูปที่ 3.9 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาร่วมกัน ไปมอบความตั้งใจไว้ที่ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ขอสงวนสิทธิ์ให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

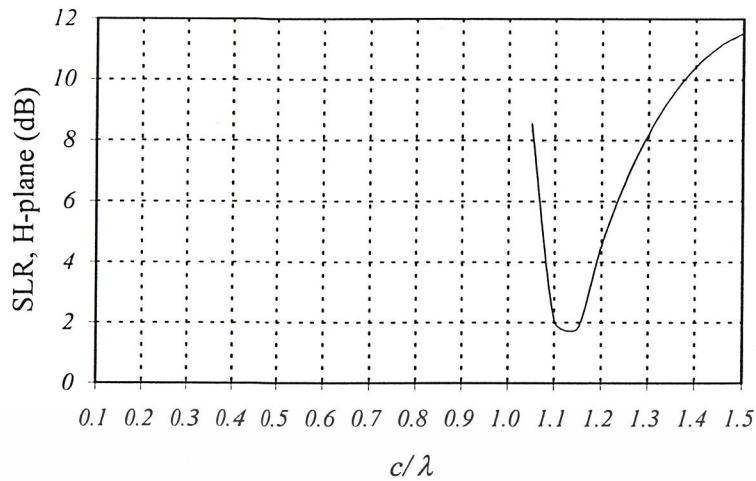
จากรูปที่ 3.8 เมื่อความยาวของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ 0.55λ เป็นต้นไป ในระนาบสนามไฟฟ้าค่ามุมที่สนามสูงสุด ในระนาบมุมยกเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าสูงสุด หลังจากนั้นค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกเริ่มลดลงอีกครั้ง ซึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าค่าสูงสุดคือ 68 องศา เมื่อความยาวของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเท่ากับ 1.3λ และจากรูปที่ 3.9 เมื่อความยาวของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ 0.7λ เป็นต้นไป ในระนาบสนามแม่เหล็กค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าสูงสุด หลังจากนั้นค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกเริ่มลดลงอีกครั้ง ซึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กค่าสูงสุดคือ 52 องศา เมื่อความยาวของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเท่ากับ 1.1λ การพิจารณาค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกนั้น ต้องพิจารณาในช่วงความยาวของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางที่ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกเท่ากับศูนย์องศา หรือมีค่าใกล้เคียงศูนย์องศามากที่สุด ซึ่งจะเห็นว่าช่วงที่สามารถนำมาพิจารณา คือ ช่วงที่เป็นมุมศูนย์องศา ซึ่งคือ ช่วง $0.1 \lambda - 0.55 \lambda$

3.1.6 การพิจารณาค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้าง



รูปที่ 3.10 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบ กระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

จากรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11 เมื่อความยาวของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ 1.05λ เป็นต้นไป ในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กจะมีการเกิดของค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างขึ้น ซึ่งในการออกแบบสายอากาศต่างๆ ไปนั้นจะพิจารณาช่วงที่ไม่มีการเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างเลยหรือมีการเกิดขึ้นน้อยที่สุด จะเห็นว่าช่วงที่สามารถนำมาพิจารณาคือช่วงที่ไม่มีการเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างเลย ซึ่งคือช่วง $0.1\lambda - 1.05\lambda$

3.1.7 การพิจารณาค่าความยาวโพรบ

ค่าความยาวโพรบที่ได้จากการทดลองกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) พบว่าค่าความยาวที่เหมาะสมสำหรับค่าความกว้าง ความยาวและความสูงที่ได้จากการออกแบบไว้มีค่าประมาณ 3.98 cm ซึ่งการพิจารณาค่าความยาวโพรบนั้น จะต้องทำให้เข้าใกล้การเกิดรีโซแนนซ์ (Resonance) มากที่สุดเพื่อให้คลื่นที่ส่งออกไปมีพลังงานมากที่สุด ทำให้สามารถส่งไปได้ไกล โดยค่าอิมพีแดนซ์ที่ต้องการในการออกแบบสายอากาศนั้นมีค่าเท่ากับ 50Ω เพื่อทำให้คลื่นที่ออกจากสายนำสัญญาณที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50Ω สามารถส่งผ่านออกอากาศได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งมีผลทำให้สายอากาศเกิดอัตราส่วนคลื่นนิ่งดีที่สุดด้วย โดยมาตรฐานทั่วไปกำหนดไว้สำหรับสายอากาศ คือ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ไม่ควรเกิน 2 และค่าการสูญเสียของการสะท้อนกลับต้องมีค่าน้อยกว่า -15 dB ขึ้นไป ดังนั้นการหาค่าความยาวโพรบก็จะพิจารณาจากข้อกำหนดที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

ส่วนการหาค่าความถี่ที่ใช้งานนั้น ทำได้โดยการหาค่าความถี่สูงกว่าและกว่าความถี่กลางที่ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งเท่ากับ 2 จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าช่วงกว้างความถี่ที่ใช้งานได้จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

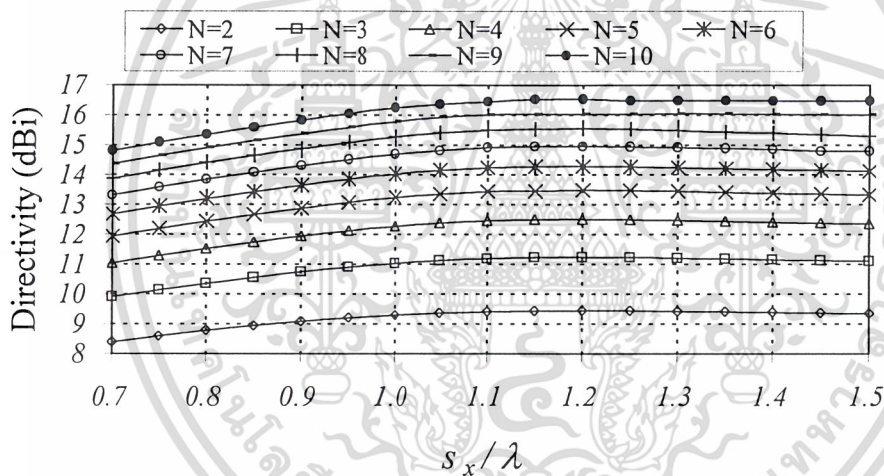
$$BW = \frac{f_H - f_L}{f_o} \times 100\%$$

ซึ่งค่าความกว้างของช่วงความถี่ที่ใช้งานควรจะมีค่ามากกว่า 10% ขึ้นไป

จากการพิจารณาข้างต้นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาออกแบบคือ ค่าความกว้างเท่ากับ 0.69λ ค่าความยาวเท่ากับ 0.35λ ค่าความสูงเท่ากับ 0.15λ โดยให้ค่าสภาพเงาเชิงทิศทางเท่ากับ 6.536 dBi ซึ่งในปริภูมิพิกัดนี้ได้นำตัวสายอากาศที่มีค่าคือ ค่าความกว้างเท่ากับ 0.69λ ค่าความยาวเท่ากับ 0.35λ ค่าความสูงเท่ากับ 0.25λ ค่าสภาพเงาเชิงทิศทางเท่ากับ 6.329 dBi มาทำการเปรียบเทียบกัน ซึ่งผลการทดลองดูจากบทที่ 4 ต่อไป

3.2 การพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อนำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับ

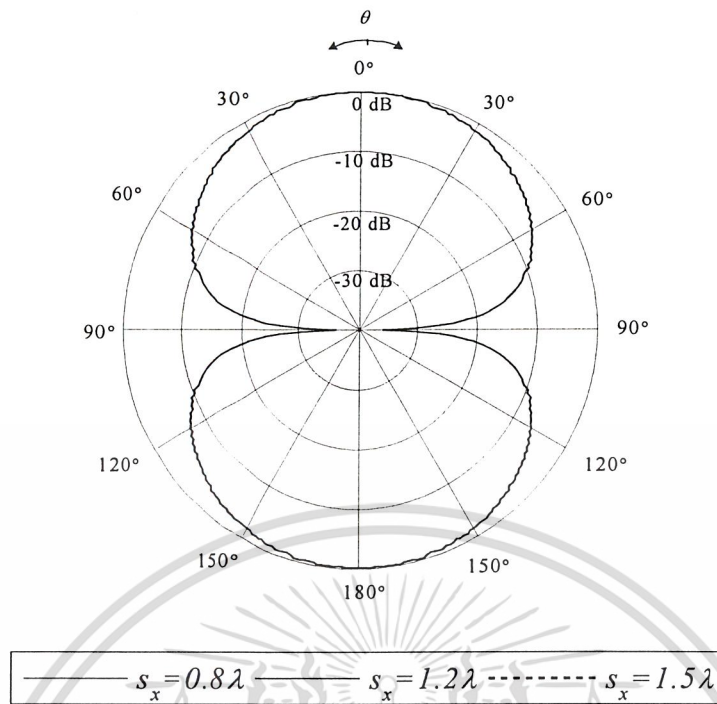
3.2.1 เมื่อนำมาจัดเรียงในแนวแกน x สามารถแสดงค่าต่างๆได้ดังต่อไปนี้



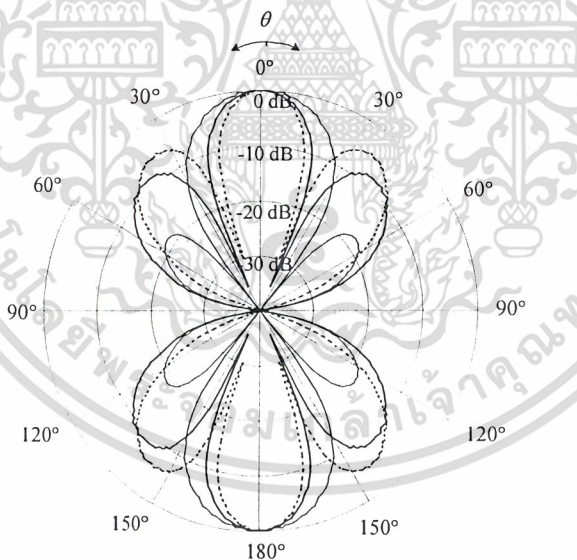
รูปที่ 3.12 ค่าสภาพเงาเชิงทิศทางในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

จะพบว่า เมื่อระยะห่างของแต่ละตัวมีค่าเพิ่มมากขึ้นค่าสภาพเงาเชิงทิศทางก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และพบว่าที่ค่าที่เหมาะสมที่จะให้ค่าสภาพเงาเชิงทิศทางมีค่าสูงที่สุดของแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ 1.2λ แต่ยังคงพิจารณาค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



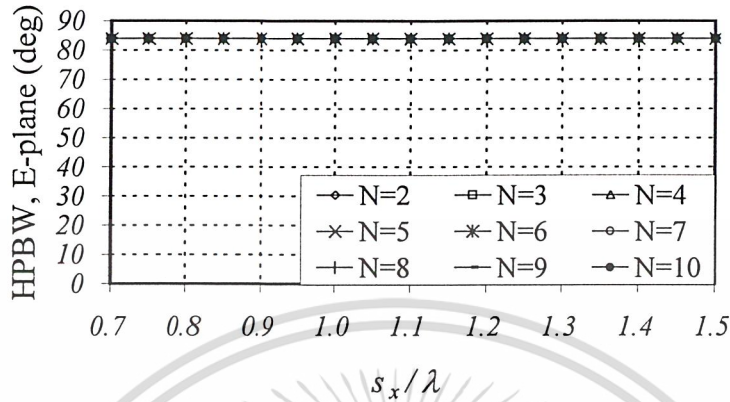
รูปที่ 3.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแวลค่าค้ำเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง



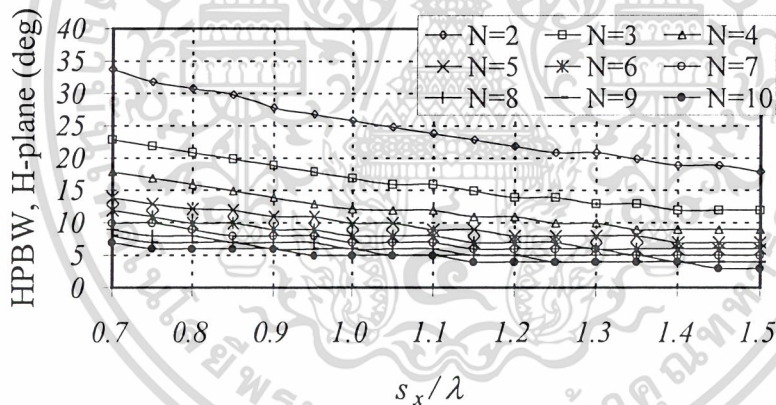
รูปที่ 3.14 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแวลค่าค้ำเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้าจะมีความกว้างของลำคลื่น มากกว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามแม่เหล็ก เมื่อความยาวของตัวสายอากาศมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างขึ้นด้วย



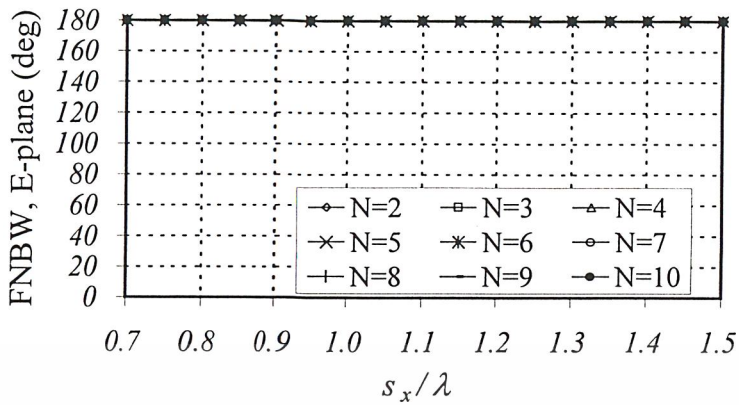
รูปที่ 3.15 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง



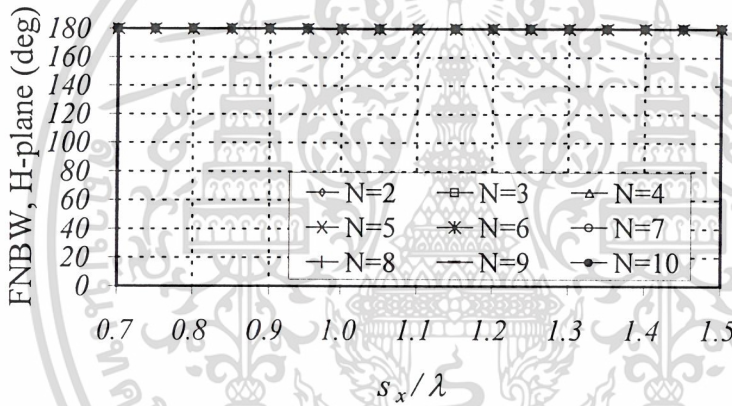
รูปที่ 3.16 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

จะพบว่า ในระนาบของสนามไฟฟ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงและมีค่าเท่ากันตลอด แต่ในระนาบของสนามแม่เหล็กจะมีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่อระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศมีค่ามากขึ้น ซึ่งพบว่าเมื่อค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งลดลง ทำให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเพิ่มมากขึ้นและยังเป็นตัวกำหนดความกว้างของลำคลื่นด้วย เมื่อค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งมีค่ามากกว่าลำคลื่นจะกว้างแต่ถ้ามีค่าน้อยความกว้างของลำคลื่นจะแคบทำให้ได้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



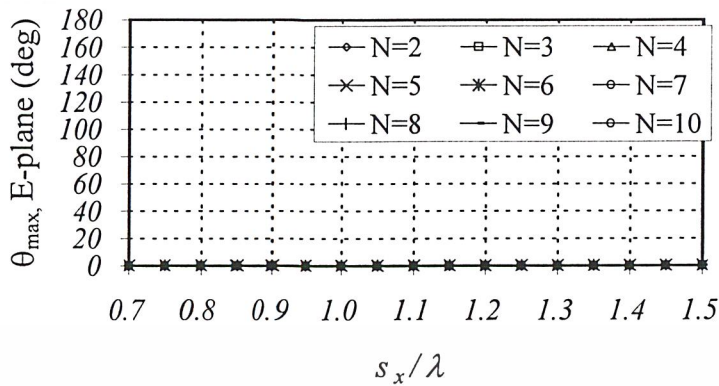
รูปที่ 3.17 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง



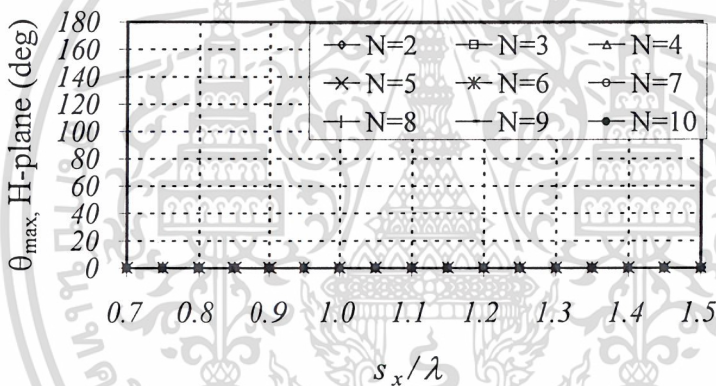
รูปที่ 3.18 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

จะเห็นว่าช่วงที่สามารถนำมาพิจารณาคือช่วงที่เป็นมุม 180 องศา ซึ่งคือช่วง $0.7\lambda - 1.5\lambda$ ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



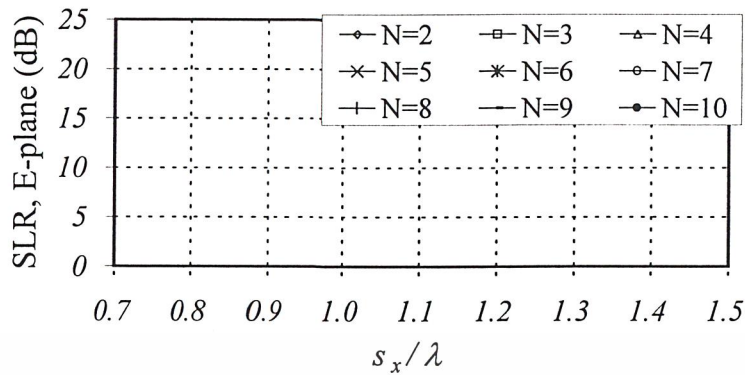
รูปที่ 3.19 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศไพโรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง



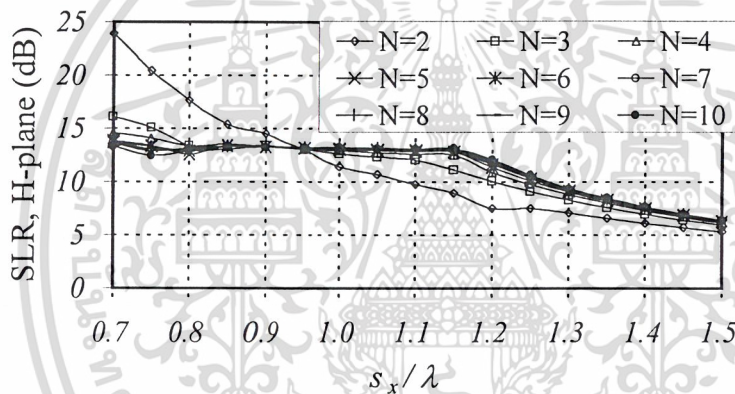
รูปที่ 3.20 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศไพโรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

ซึ่งจะเห็นว่าช่วงที่สามารถนำมาพิจารณาคือช่วงที่เป็นมุมศูนย์องศา ซึ่งคือช่วง $0.7\lambda - 1.5\lambda$ ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 ค่าอัตราส่วนลาคิ้นหลักต่อลาคิ้นย่อยด้านข้างในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

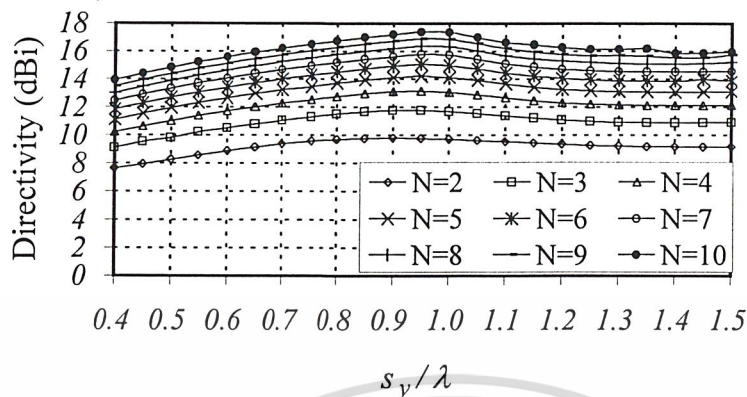


รูปที่ 3.22 ค่าอัตราส่วนลาคิ้นหลักต่อลาคิ้นย่อยด้านข้างในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

จะพบว่า เมื่อมีสายอากาศสององค์ประกอบจัดเรียงกันบนแกน x จะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงที่กว้างกว่าแบบอื่นๆคือ เมื่อระยะระหว่างตัวสายอากาศเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าของอัตราส่วนลาคิ้นหลักต่อลาคิ้นย่อยมีค่าลดลงไม่ใกล้เคียงกัน ส่วนรูปแบบอื่นๆมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบๆใกล้เคียงกัน สำหรับระนาบสนามไฟฟ้าไม่มีการเกิดของค่าอัตราส่วนลาคิ้นหลักต่อลาคิ้นย่อยด้านข้างเลย

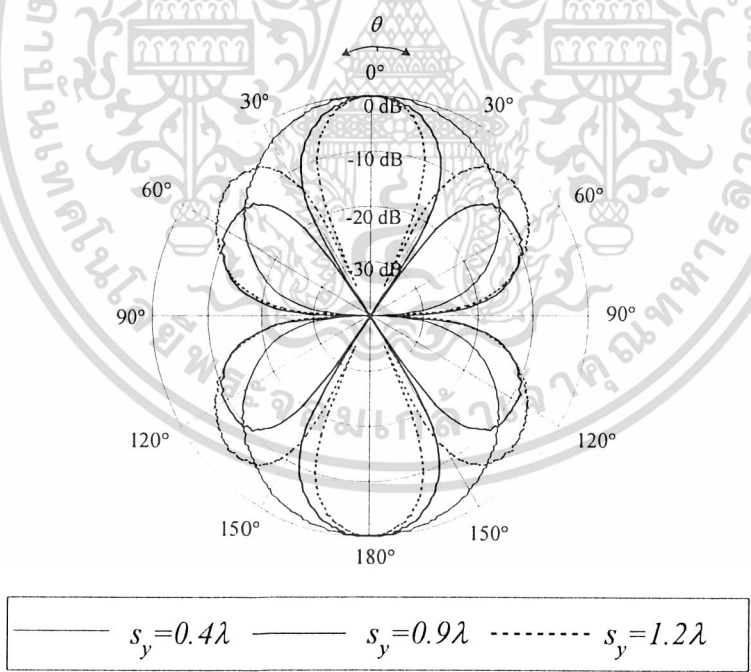
จากการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อนำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ข้างต้นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาออกแบบคือ ค่าความกว้างเท่ากับ 0.69λ ค่าความยาวเท่ากับ 0.35λ ค่าความสูงเท่ากับ 0.25λ ค่าระยะระหว่างตัวสายอากาศเท่ากับ 1.2λ ซึ่งปริศยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำสายอากาศสององค์ประกอบจัดเรียงกันเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x โดยให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 9.436 dB ซึ่งผลการทดลองดูจากที่ที่ 4 ต่อไปศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 เมื่อนำมาจัดเรียงในแนวแกน y สามารถแสดงค่าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้



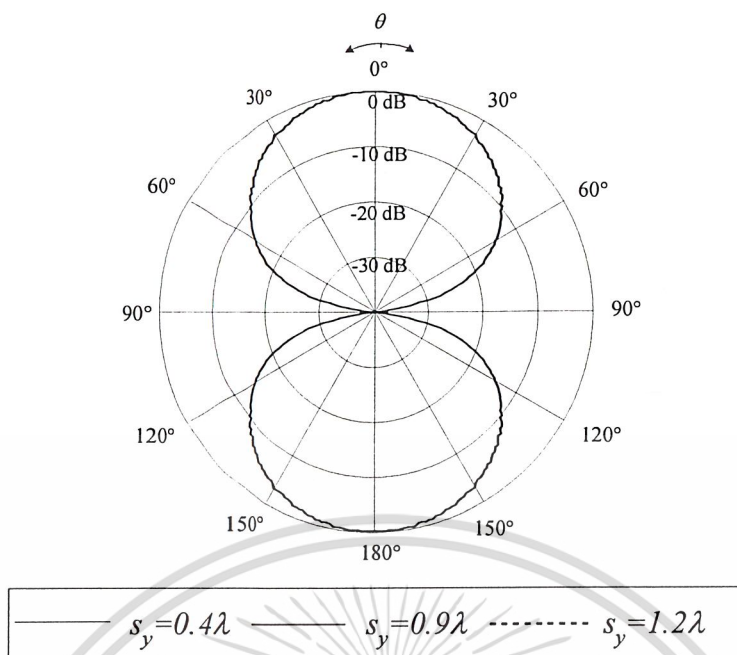
รูปที่ 3.23 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางในกรณีแวลค่าดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

จะพบว่า ที่สายอากาศค่าหนึ่ง เมื่อระยะของแต่ละตัวมีค่าเพิ่มขึ้นค่าสภาพเจาะจงทิศทางจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีค่าสูงสุดที่ระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศเท่ากับ 0.95λ หลังจากนั้นเริ่มมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างเพิ่มมากขึ้น



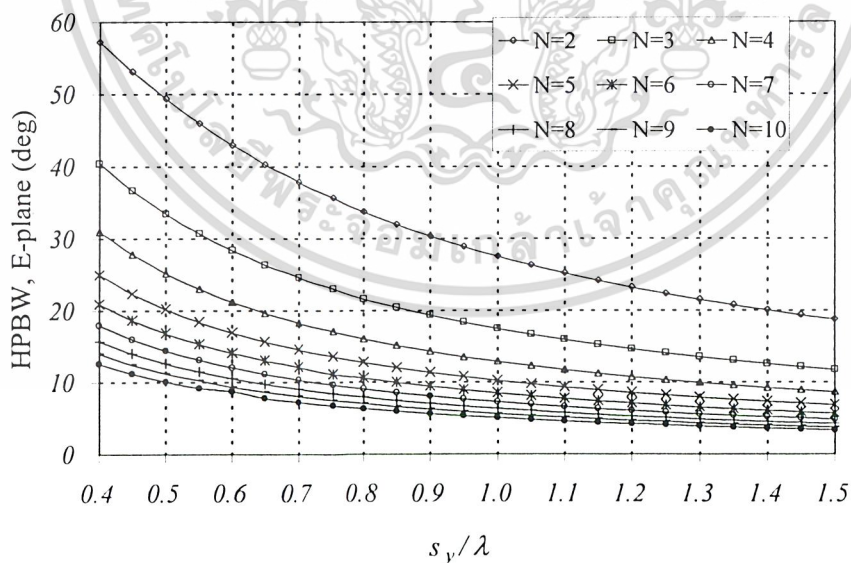
รูปที่ 3.24 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแวลค่าดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



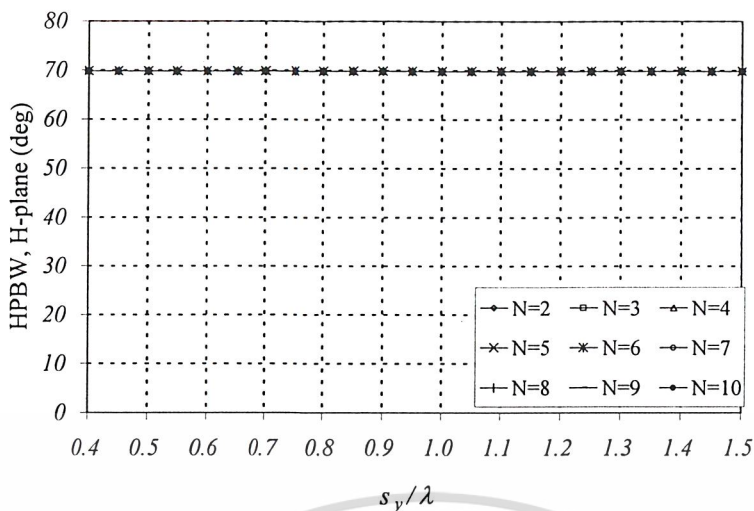
รูปที่ 3.25 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

เมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามแม่เหล็กจะมีความกว้างของลำคลื่นมากกว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้า เมื่อความยาวของตัวสายอากาศมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างขึ้นด้วย



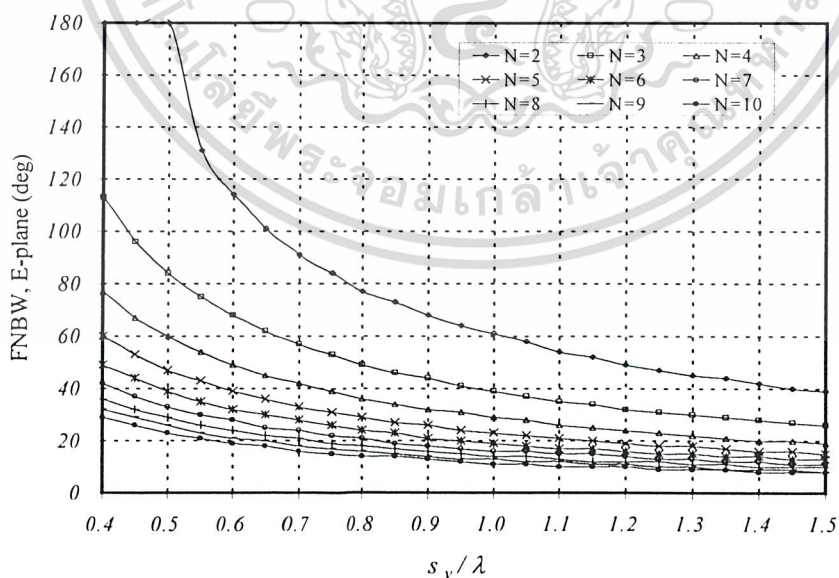
รูปที่ 3.26 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่ค่าลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแวลล่าดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

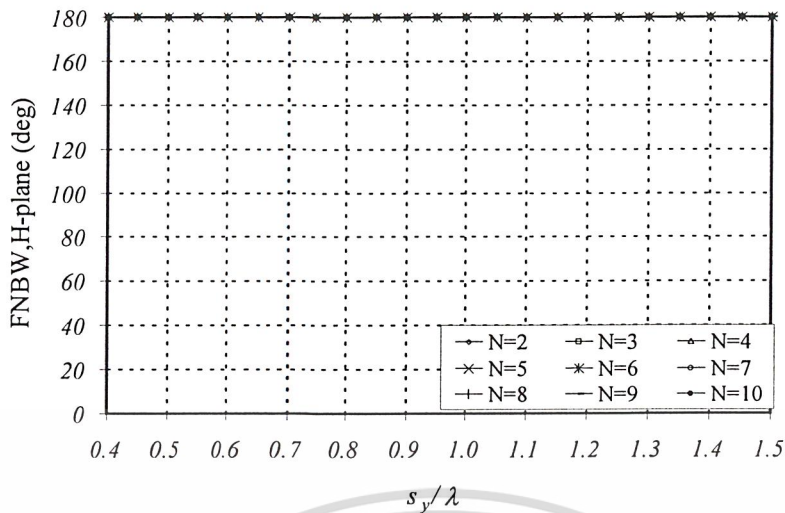
จะพบว่าในกรณีของระนาบสนามไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศมีค่ามากขึ้น ส่วนในระนาบสนามแม่เหล็กไม่มีการเปลี่ยนแปลงเท่ากันตลอด ซึ่งพบว่าค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งเป็นตัวกำหนดของลำคลื่นที่ออกจากตัวสายอากาศด้วย เมื่อค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งลดลงก็ทำให้ลำคลื่นแคบลงด้วย และค่าสภาพเจาะจงทิศทางเพิ่มมากขึ้นด้วย เมื่อค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งเพิ่มมากขึ้นก็ทำให้ลำคลื่นกว้างขึ้นด้วย แต่ถ้าค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงเท่ากันตลอดก็ทำให้ลำคลื่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงเท่ากันตลอดด้วยเช่นกัน ดังที่แสดงไว้ข้างต้น



รูปที่ 3.28 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแวลล่าดับเชิงเส้น

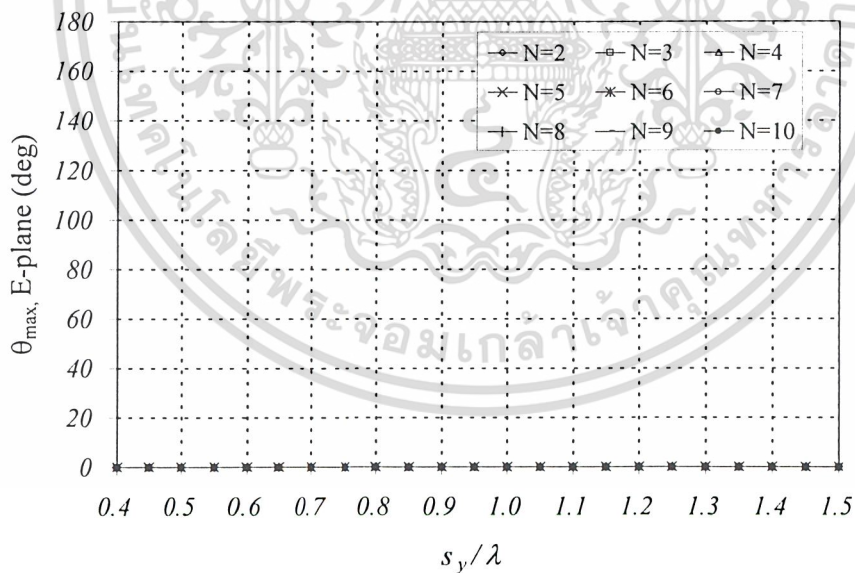
ตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



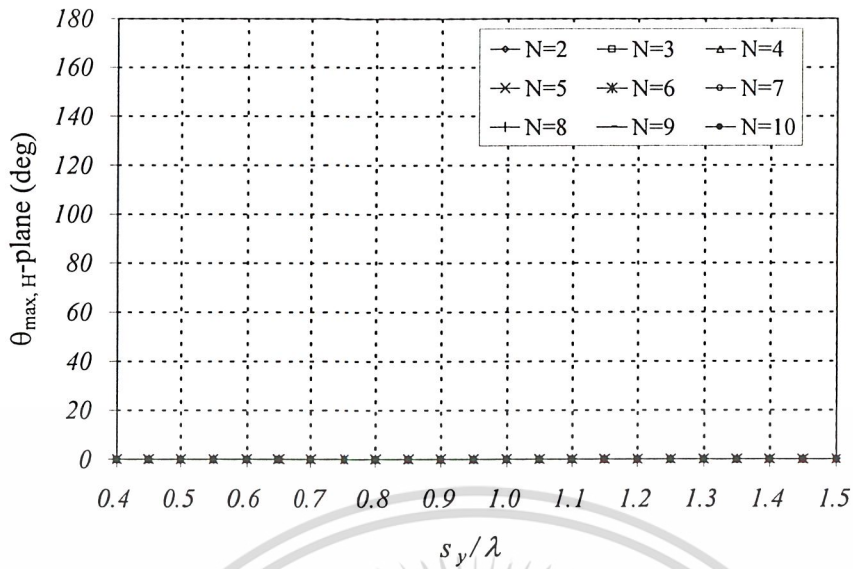
รูปที่ 3.29 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

จะพบว่าในกรณีของระนาบสนามไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศมีค่ามากขึ้น ส่วนในระนาบสนามแม่เหล็กไม่มีการเปลี่ยนแปลงเท่ากันตลอด ซึ่งจะเห็นว่าช่วงที่สามารถนำมาพิจารณาคือช่วงที่เป็นมุม 180 องศาในระนาบสนามแม่เหล็ก



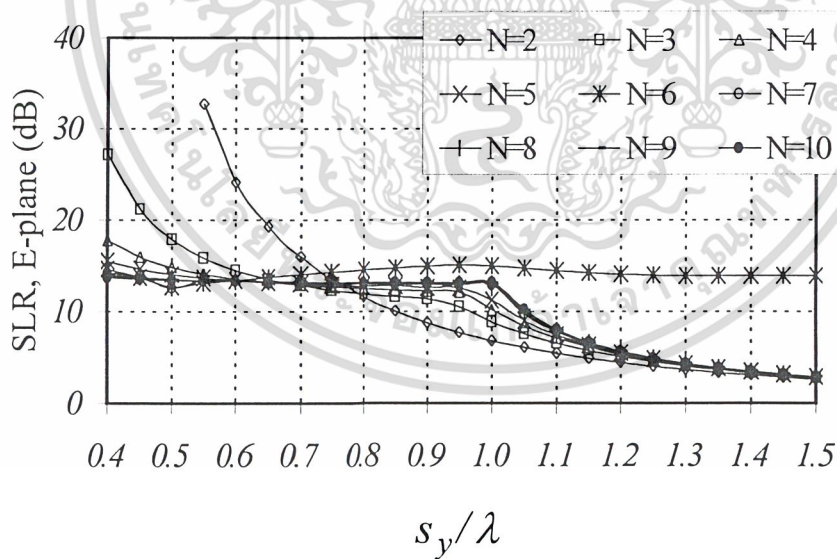
รูปที่ 3.30 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



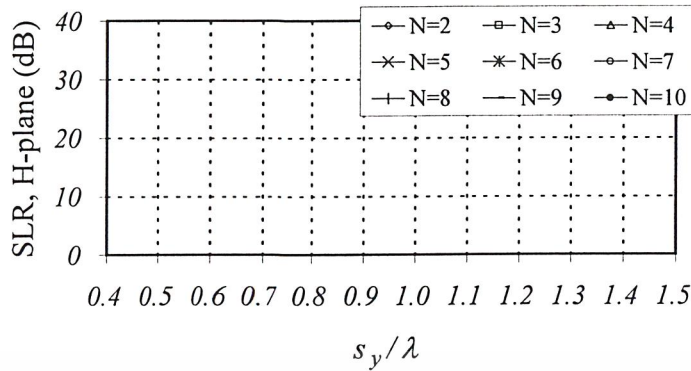
รูปที่ 3.31 ค่ามุมที่สนามสูงที่สุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

จะพบว่า ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กไม่มีการเปลี่ยนแปลงเท่ากันตลอด ซึ่งจะเห็นว่าช่วงที่สามารถนำมาพิจารณาคือช่วงที่เป็นมุมศูนย์องศา



รูปที่ 3.32 ค่าอัตราส่วนค่าคลื่นหลักต่อค่าคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

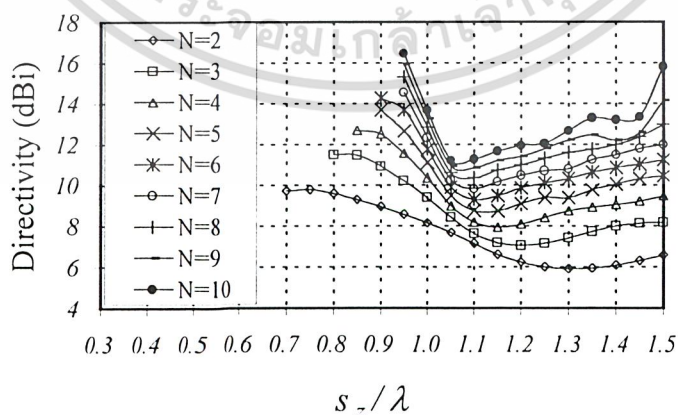


รูปที่ 3.33 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

จะพบว่าในกรณีของระนาบสนามไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน แต่ในช่วง $0.4\lambda - 0.75\lambda$ ถ้านำสายอากาศ 2 – 3 องค์ประกอบมาจัดเรียงในแนวแกน y จะเกิดลำคลื่นย่อยน้อยกว่าแบบอื่นๆ เมื่อเพิ่มระยะห่างมากขึ้นตั้งแต่ 0.8λ ไปนั้น จะเห็นว่าถ้านำสายอากาศ 6 องค์ประกอบมาจัดเรียงในแนวแกน y จะเกิดลำคลื่นย่อยน้อยกว่าแบบอื่นๆ ส่วนระนาบสนามแม่เหล็กไม่มีการเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างเลย

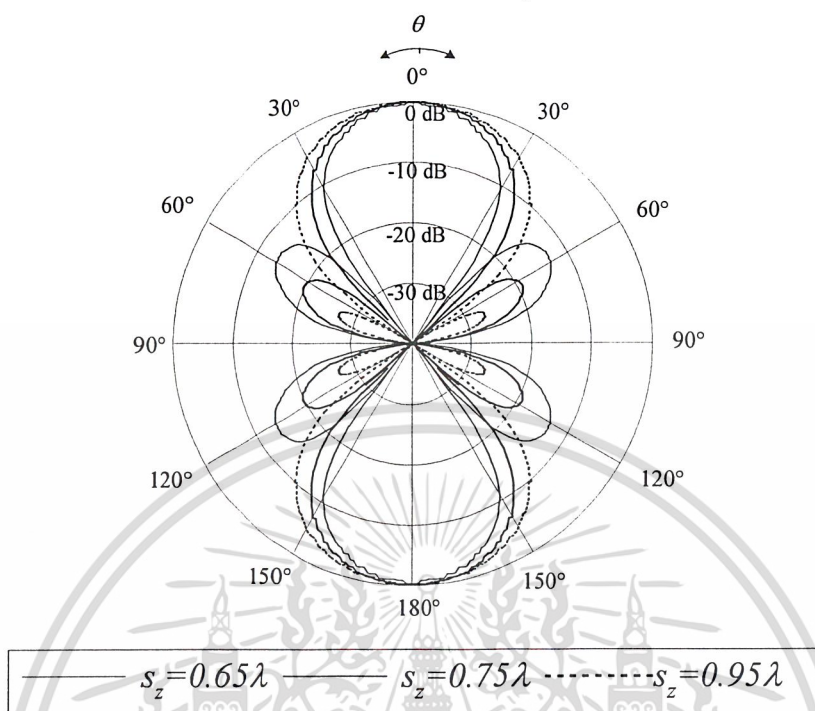
จากการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อนำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ข้างต้นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาออกแบบคือ ค่าความกว้างเท่ากับ 0.69λ ค่าความยาวเท่ากับ 0.35λ ค่าความสูงเท่ากับ 0.25λ ค่าระยะระหว่างตัวสายอากาศเท่ากับ 0.9λ ซึ่งปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้จะนำสายอากาศสององค์ประกอบจัดเรียงกันเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y โดยให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 9.793 dBi ซึ่งผลการทดลองดูจากบทที่ 4 ต่อไป

3.2.3 เมื่อนำมาจัดเรียงในแนวแกน z สามารถแสดงค่าต่างๆได้ดังต่อไปนี้

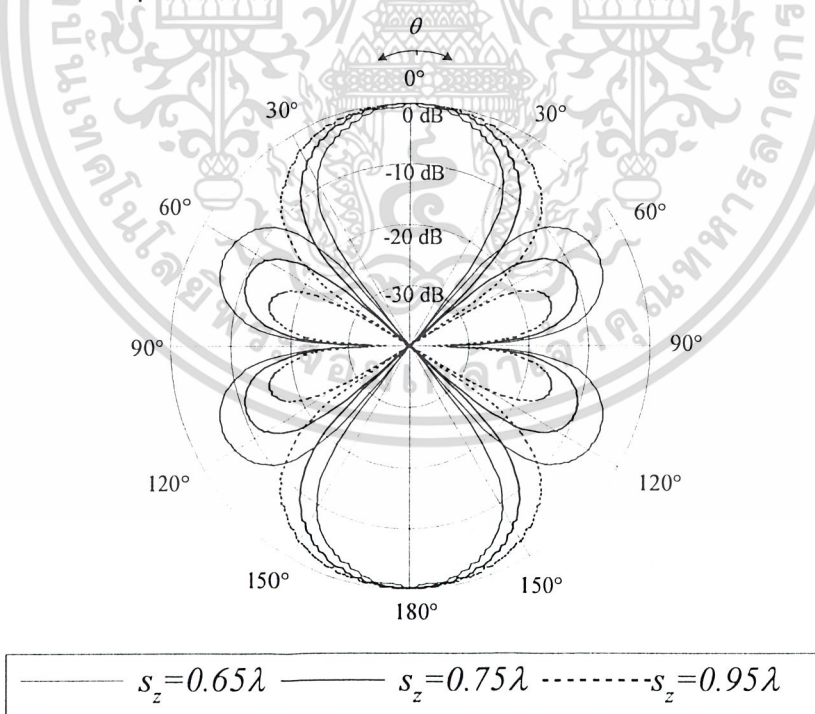


รูปที่ 3.34 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน z ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศเพิ่มมากขึ้นค่าสภาพเจาะจงทิศทางจะมากจนถึงค่าหนึ่งแล้วก็ลดลงเมื่อมาถึงค่า 1.1λ ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเริ่มสูงขึ้นอีกครั้ง



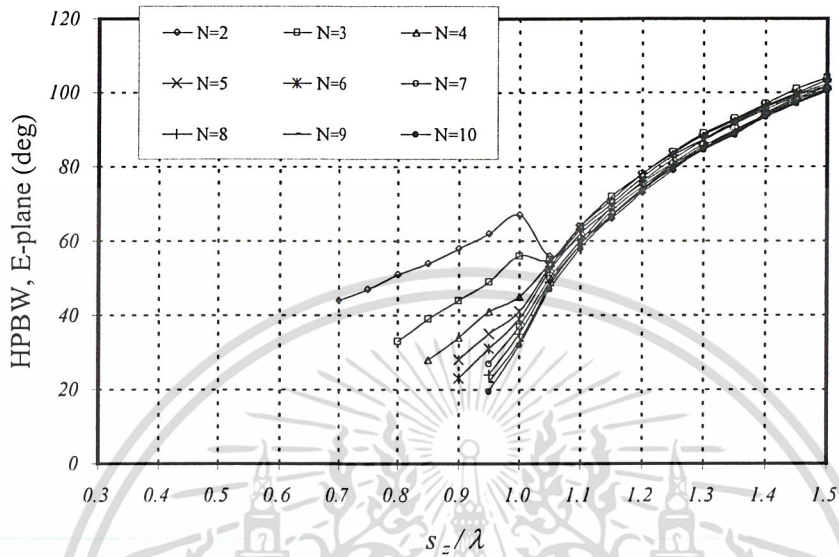
รูปที่ 3.35 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแวลต์ดับเชิงเส้นตามแนวแกน z ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง



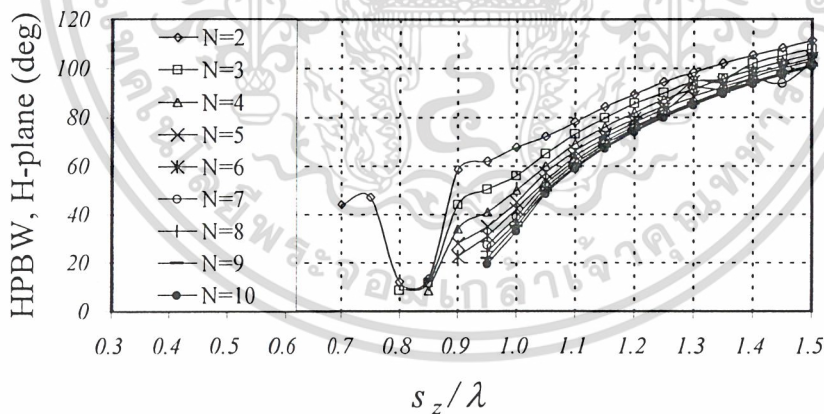
รูปที่ 3.36 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแวลต์ดับเชิงเส้นตามแนวแกน z ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปรียบเทียบว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามแม่เหล็กจะมีความกว้างของลำคลื่น มากกว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้า เมื่อความยาวของตัวสายอากาศมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างขึ้นด้วย

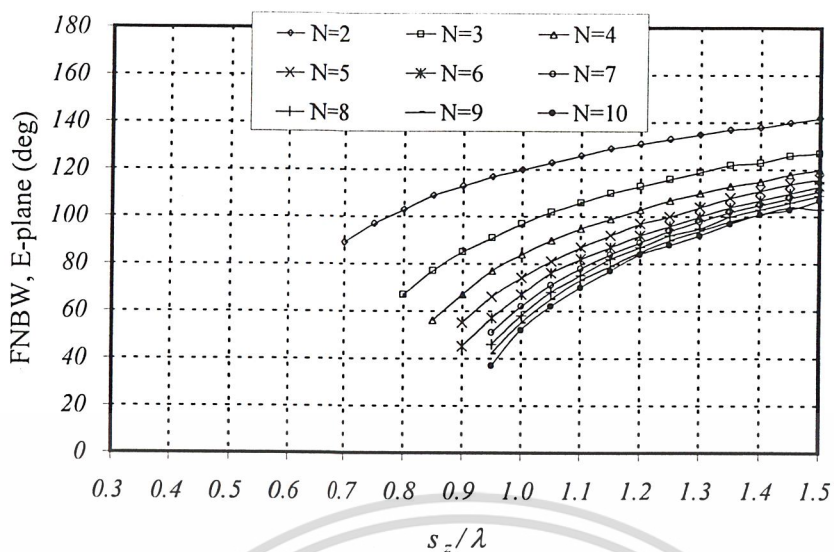


รูปที่ 3.37 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน z ของสายอากาศ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

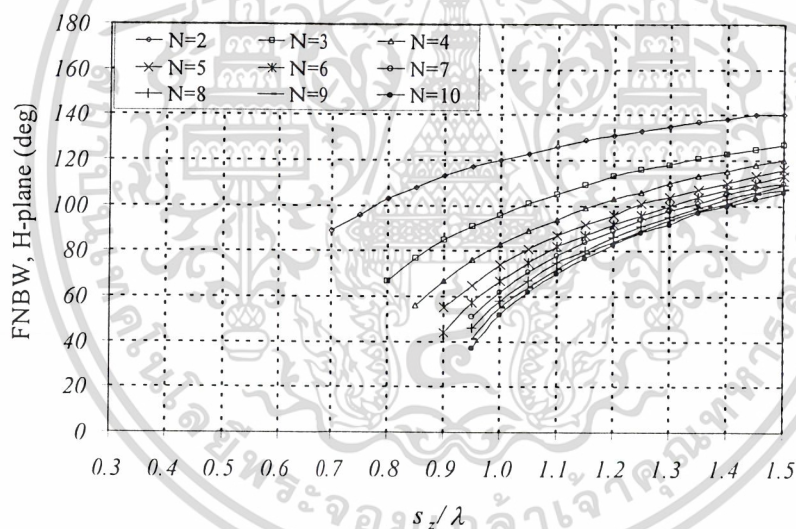


รูปที่ 3.38 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน z ของสายอากาศ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

จะเห็นว่าค่าแถบความกว้างลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะระหว่างตัวสายอากาศมีค่าเพิ่มมากขึ้นทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ทำให้ลำคลื่นที่ออกจากตัวสายอากาศกว้างมากขึ้น ซึ่งทำให้ได้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่ลดลงด้วย



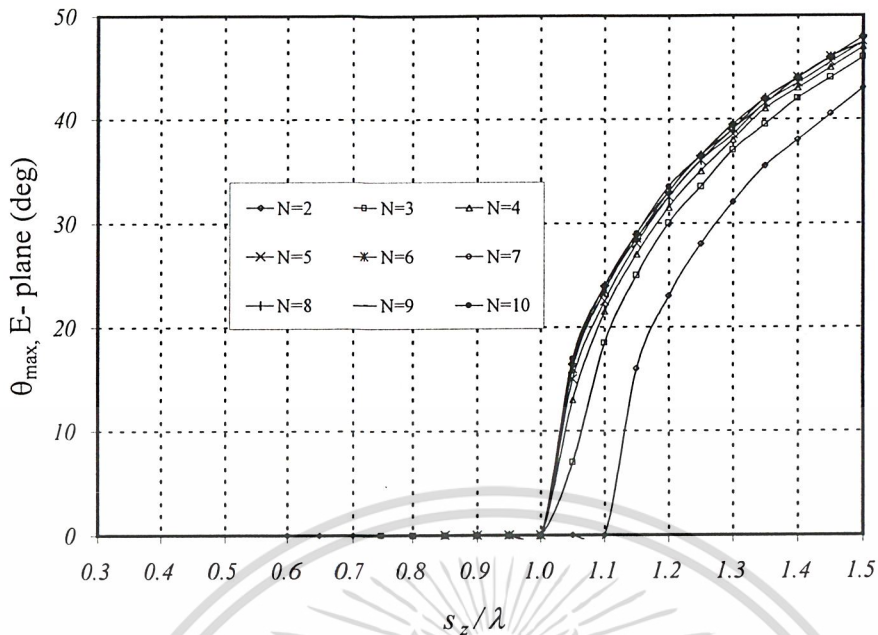
รูปที่ 3.39 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน z ของสายอากาศโพรบกระตุ่นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง



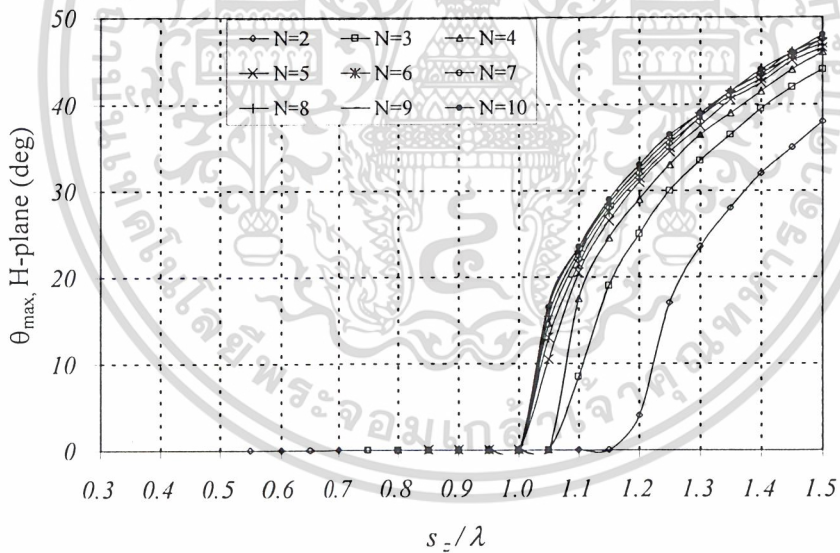
รูปที่ 3.40 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน z ของสายอากาศโพรบกระตุ่นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

จะเห็นว่าค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะระหว่างตัวสายอากาศมีค่าเพิ่มมากขึ้นทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



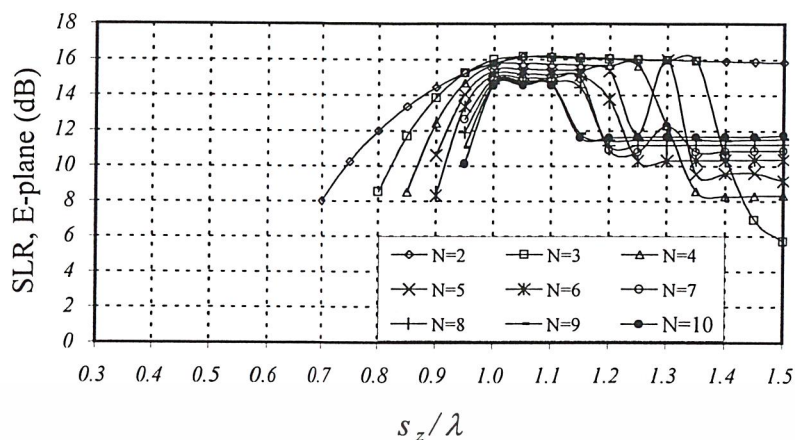
รูปที่ 3.41 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระยะบานมุมยกในระยะบานสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลัดับเชิงเส้นตามแนวแกน z ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง



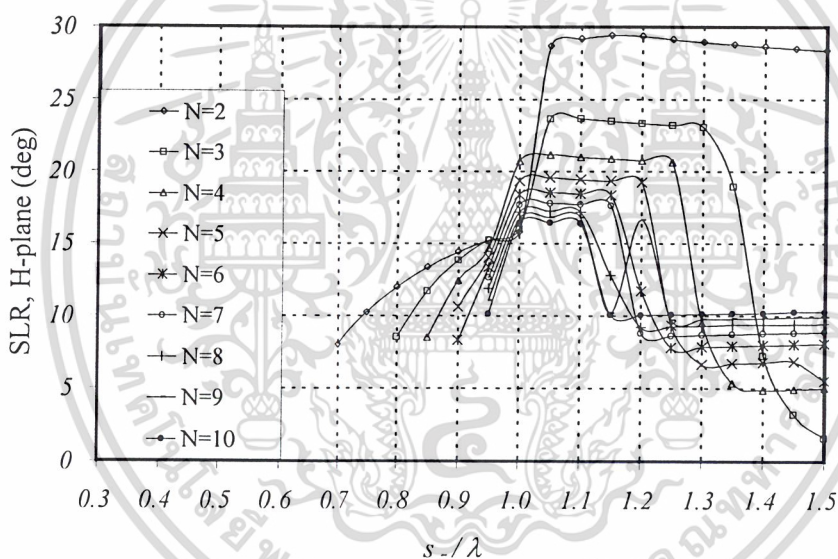
รูปที่ 3.42 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระยะบานมุมยกในระยะบานสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลัดับเชิงเส้นตามแนวแกน z ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

จะพบว่าค่ามุมที่สนามสูงสุดในระยะบานมุมยกจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะระหว่างตัวสายอากาศมีค่าเพิ่มมากขึ้นทั้งในระยะบานสนามไฟฟ้าและระยะบานสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะเห็นว่าช่วงที่สามารถนำมาพิจารณาคือช่วงที่มุมศูนย์องศา ซึ่งก็คือช่วง $0.7\lambda - 1\lambda$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.43 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลัดับเชิงเส้นตามแนวแกน z ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง



รูปที่ 3.44 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลัดับเชิงเส้นตามแนวแกน z ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

จะเห็นว่าเมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศเพิ่มมากขึ้นค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างจะมากจนถึงค่าหนึ่งแล้วก็จะลดลง จะเกิดค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกมากขึ้น

จากการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อนำมาจัดเรียงเป็นแฉลัดับเชิงเส้นตามแนวแกน z ข้างต้นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาออกแบบคือ ค่าความกว้างเท่ากับ 0.69λ ค่าความยาวเท่ากับ 0.35λ ค่าความสูงเท่ากับ 0.25λ ค่าระยะระหว่างตัวสายอากาศเท่ากับ 0.75λ ซึ่งปริญาณานิพนธ์ฉบับนี้จะนำสายอากาศสององค์ประกอบจัดเรียงกันเป็นแฉลัดับเชิงเส้นตามแนวแกน z โดยให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 9.778 dBi ซึ่งผลการทดลองดูจากบทที่ 4 ต่อไป

3.3 การพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อนำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงระนาบ

N	dx/λ	dy/λ	θ_{max} (deg)	FNBW (deg)	HPBW (deg)	SLR (dB)	DIRECTIVITY (dBi)
2	1.2	0.9	0	67.39	30.402	8.7725	12.855
3	1.2	0.9	0	43.47	19.412	11.353	16.609
4	1.2	0.9	0	32.2	14.352	12.216	19.246
5	1.2	0.95	0	24.38	10.814	12.541	21.257
6	1.2	0.95	0	20.24	8.979	12.765	22.917
7	1.2	0.95	0	17.25	7.679	12.9	24.324
8	1.2	0.95	0	15.18	6.71	12.986	25.552
9	1.2	0.95	0	13.34	5.958	13.043	26.524
10	1.2	0.95	0	12.19	5.359	13.088	27.643

ตารางที่ 3.1 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางและค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงระนาบ xy ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

N	dx/λ	dy/λ	θ_{max} (deg)	FNBW (deg)	HPBW (deg)	SLR (dB)
2	1.2	0.9	0	49.22	22.376	8.2997
3	1.2	0.9	0	32.2	14.443	10.074
4	1.2	0.9	0	24.15	10.78	10.912
5	1.2	0.95	0	19.09	8.532	11.381
6	1.2	0.95	0	15.87	7.091	11.669
7	1.2	0.95	0	13.57	6.069	11.858
8	1.2	0.95	0	11.96	5.305	11.988
9	1.2	0.95	0	10.58	4.712	12.081
10	1.2	0.95	0	9.66	4.239	12.15

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงระนาบ xy ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

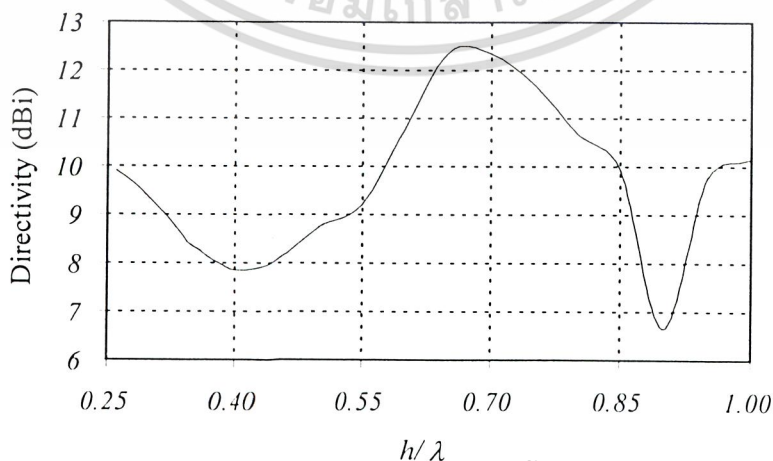
จากตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 จะเห็นว่าเมื่อนำสายอากาศมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงระนาบ xy มากขึ้น ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามมีค่าเท่ากับศูนย์องศาซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งและค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางมีค่าลดลงเรื่อยๆทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก และค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก จะเห็นว่าการที่ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งมีค่าลดลง ทำให้ได้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่เพิ่มมากขึ้นด้วย

จากการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อนำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงระนาบ xy ข้างต้นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาออกแบบคือ ค่าความกว้างเท่ากับ 0.69λ ค่าความยาวเท่ากับ 0.35λ ค่าความสูงเท่ากับ 0.25λ ค่าระยะระหว่างตัวสายอากาศตามแนวแกน x เท่ากับ 1.2λ ค่าระยะระหว่างตัวสายอากาศตามแนวแกน y เท่ากับ 0.9λ ซึ่งปริภูมิตั้งขึ้นนี้จะนำสายอากาศสี่องค์ประกอบจัดเรียงกันเป็นแถวลำดับเชิงระนาบ xy โดยให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 12.855 dBi ซึ่งผลการทดลองดูจากบทที่ 4 ต่อไป

3.4 การพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว

ในการพิจารณาถึงค่าระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นนั้น จะต้องพิจารณาถึงค่าระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นที่ทำให้คลื่นออกจากตัวสายอากาศมีเพียงแบบรูปของคลื่นหลักเท่านั้น

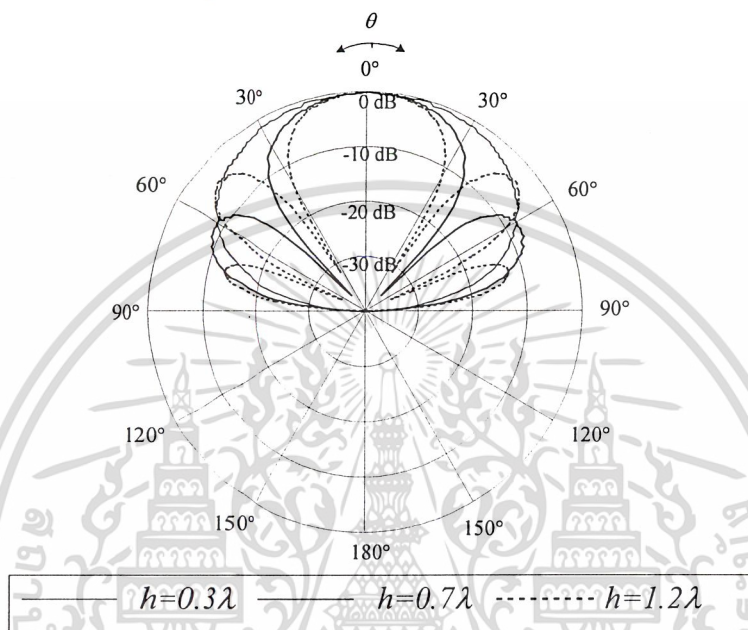
ซึ่งค่าความกว้าง ความสูงและความยาวของสายอากาศที่ออกแบบนี้มี ค่าความกว้างเท่ากับ 0.35λ ค่าความสูงเท่ากับ 0.69λ และค่าความยาวเท่ากับ 0.25λ ในการหาค่าระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่น เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม จะพิจารณาค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.44



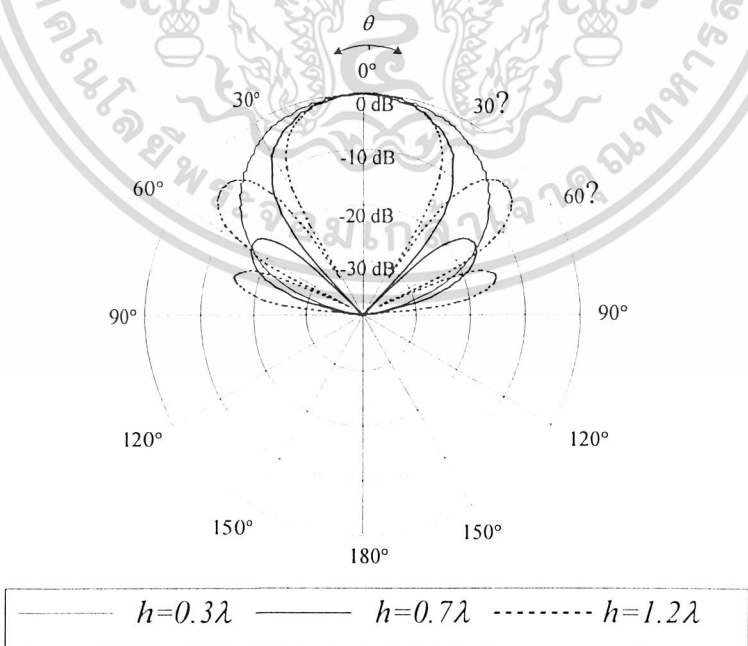
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.45 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.45 จะพบว่าที่ค่าที่เหมาะสมจะให้ค่าสภาพเงาเงจทิศทางมีค่าสูงที่สุดและทำให้ลำคลื่นออกจากสายอากาศหลักเป็นแบบรูปคลื่นหลัก นั้นมีค่าเท่ากับ 0.65λ แต่ต้องมาพิจารณาที่ค่าพารามิเตอร์อื่นร่วมด้วย ซึ่งจะกล่าวต่อไป

3.4.1 การพิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น



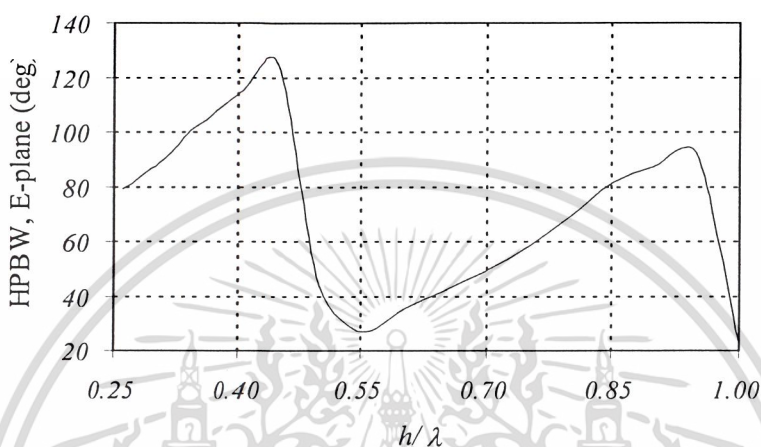
รูปที่ 3.46 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว



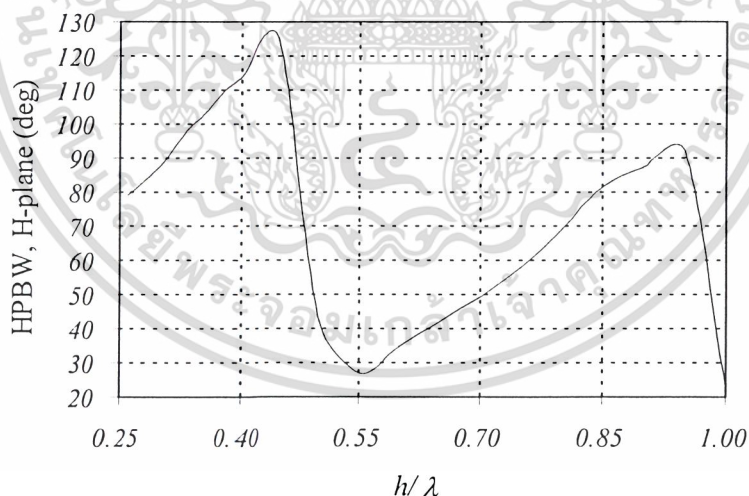
รูปที่ 3.47 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้าจะมีความกว้างของลำคลื่น มากกว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามแม่เหล็ก เมื่อความยาวของตัวสายอากาศมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างขึ้นด้วย

3.4.2 การพิจารณาค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่ง



รูปที่ 3.48 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบ กระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว

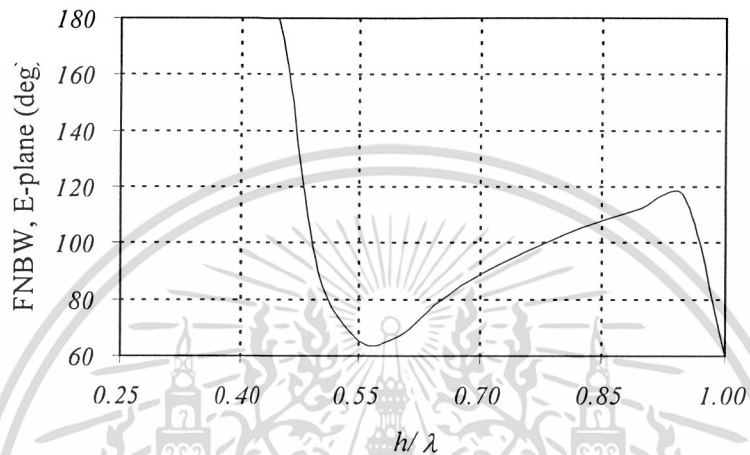


รูปที่ 3.49 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบ กระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว

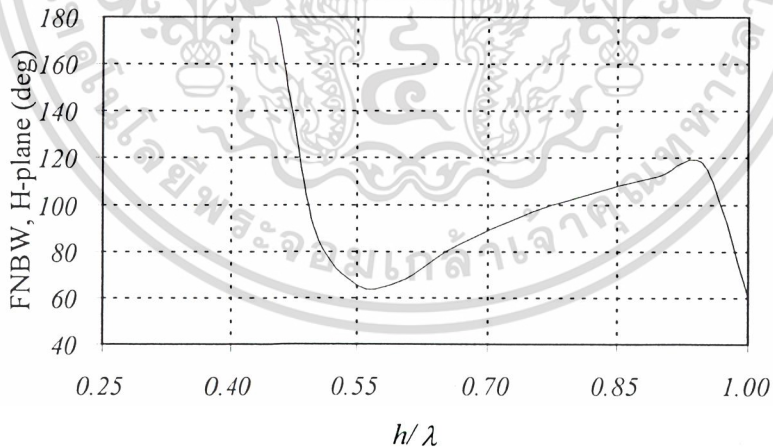
จากรูปที่ 3.48 และรูปที่ 3.49 ซึ่งจะพบว่าค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งมีผลต่อค่าสภาพเจาะจงทิศทางและขนาดของลำคลื่นที่แพร่กระจายออกจากตัวสายอากาศ เมื่อค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งมีค่าน้อย ทำให้ขนาดของลำคลื่นที่แพร่กระจายออกจากตัวสายอากาศไม่กว้างนัก ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคบลงและค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากขึ้น เมื่อค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครั้งหนึ่งมีค่ามากขึ้น ทำให้ขนาดของลำคลื่นที่แพร่กระจายออกจากตัวสายอากาศกว้างมากขึ้นและค่าสภาพการชี้ทิศทางก็ลดลงตามไปด้วย

3.4.3 การพิจารณาค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรก



รูปที่ 3.50 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบ กระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว



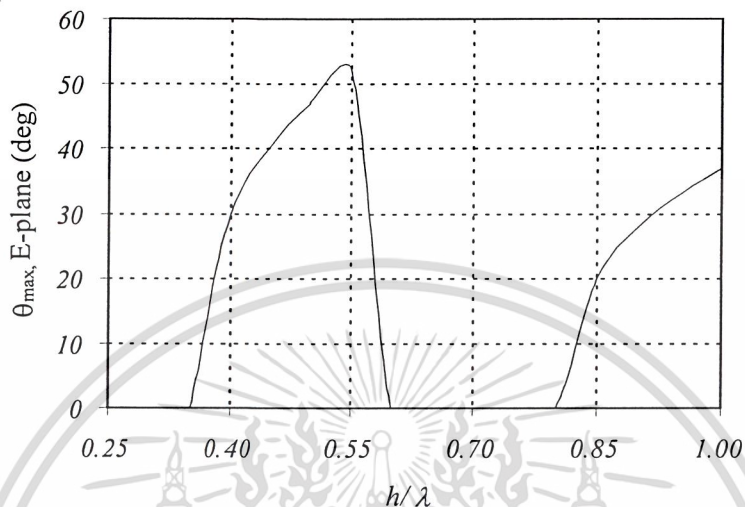
รูปที่ 3.51 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบ กระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว

พบว่าทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน คือ

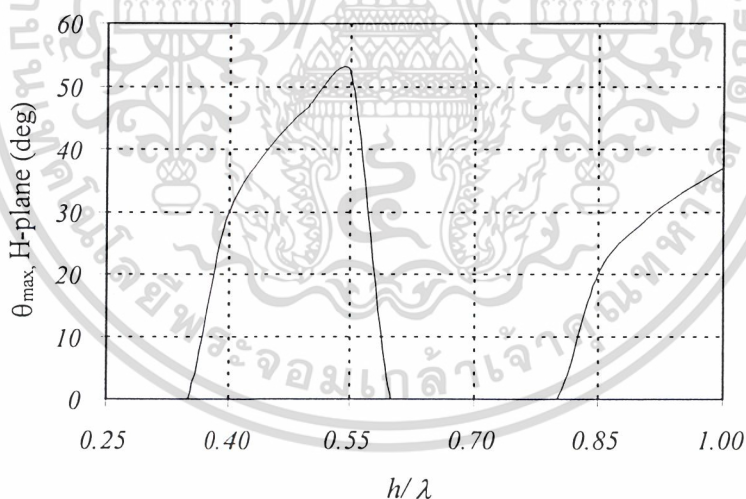
ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นมีค่าเท่ากับ 0.26λ - 0.45λ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีเอกสารเป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนการการค้า ค่าเท่ากับ 180 องศา จากนั้นก็ลดลงเรื่อยๆจนถึงระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นที่ 0.55λ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อจากนั้นค่าก็เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆจนถึงระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นที่ 0.95λ หลังจากนั้นเริ่มลดลงอีกครั้ง

3.4.4 การพิจารณาค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยก



รูปที่ 3.52 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ่นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว

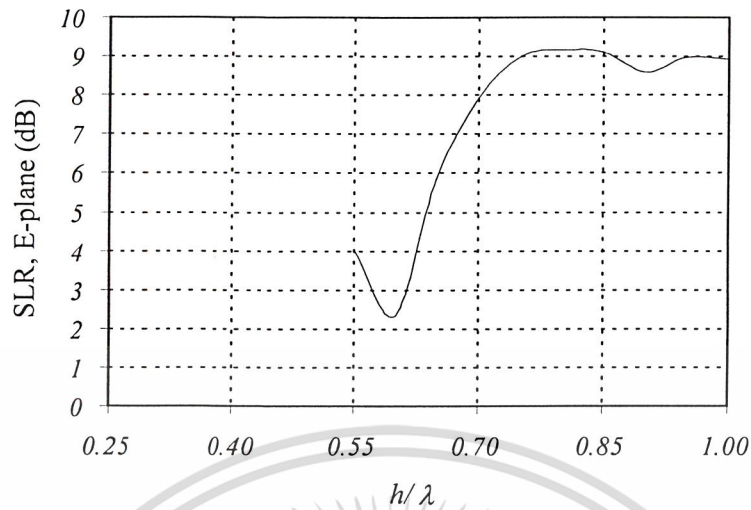


รูปที่ 3.53 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ่นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว

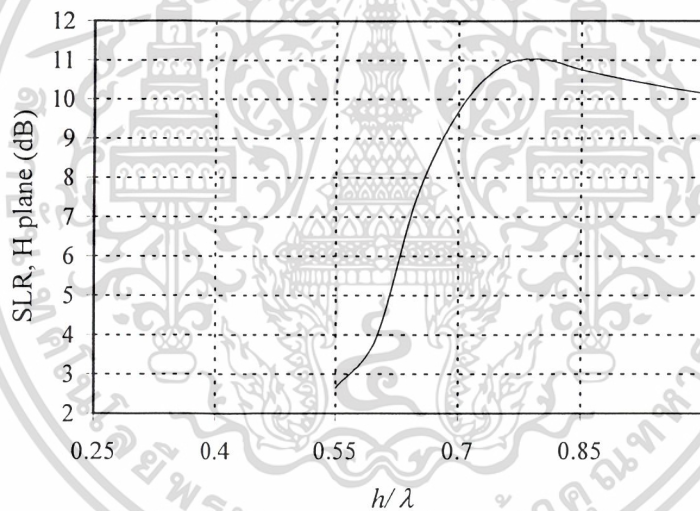
จากรูปที่ 3.52 และรูปที่ 3.53 ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน และจะเห็นว่าช่วงระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นที่นำมาพิจารณา คือ $0.26 \lambda - 0.33 \lambda$ และ $0.6 \lambda - 0.75 \lambda$ ซึ่งมีค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กเท่ากับศูนย์องศา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การพิจารณาค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้าง



รูปที่ 3.54 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบ กระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว



รูปที่ 3.55 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบ กระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว

จากรูปที่ 3.54 และรูปที่ 3.55 เมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0.55λ จะมีการเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างขึ้น ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก

จากการพิจารณาข้างต้นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาออกแบบคือ ค่าความกว้างเท่ากับ

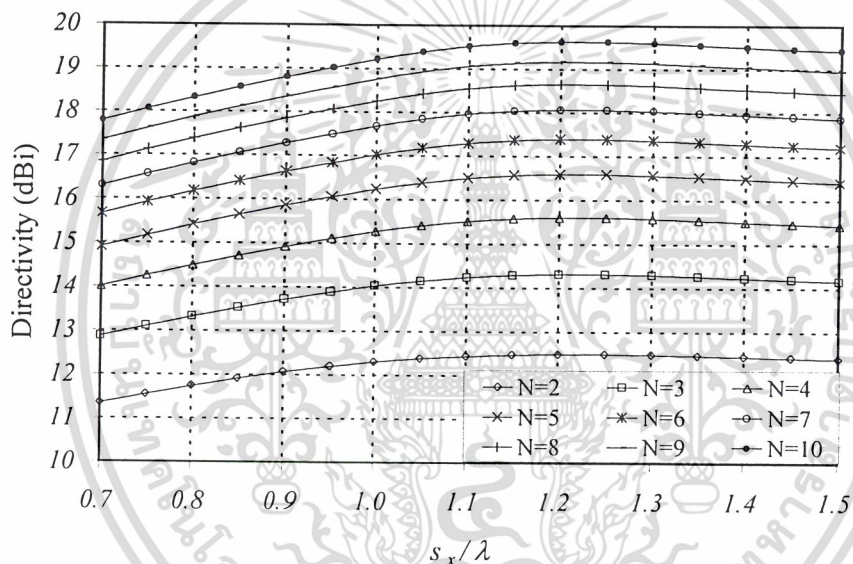
0.69λ ค่าความยาวเท่ากับ 0.35λ ค่าความสูงเท่ากับ 0.25λ และระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นของสายอากาศเท่ากับ 0.3λ เป็นช่วงที่ไม่มีมีการเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อย ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านข้างเลยโดยให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 9.336 dBi ซึ่งในปริภูมิงานนี้ได้นำตัวสายอากาศที่มีค่าคือ ค่าความกว้างเท่ากับ 0.69λ ค่าความยาวเท่ากับ 0.35λ ค่าความสูงเท่ากับ 0.25λ และระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นของสายอากาศเท่ากับ 0.7λ ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างขึ้นโดยให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 12.343 dBi มาทำการเปรียบเทียบกัน ซึ่งผลการทดลองดูจากบทที่ 4 ต่อไป

3.5 การพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อนำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับ

3.5.1 เมื่อนำมาจัดเรียงในแนวแกน x สามารถแสดงค่าต่างๆได้ดังต่อไปนี้

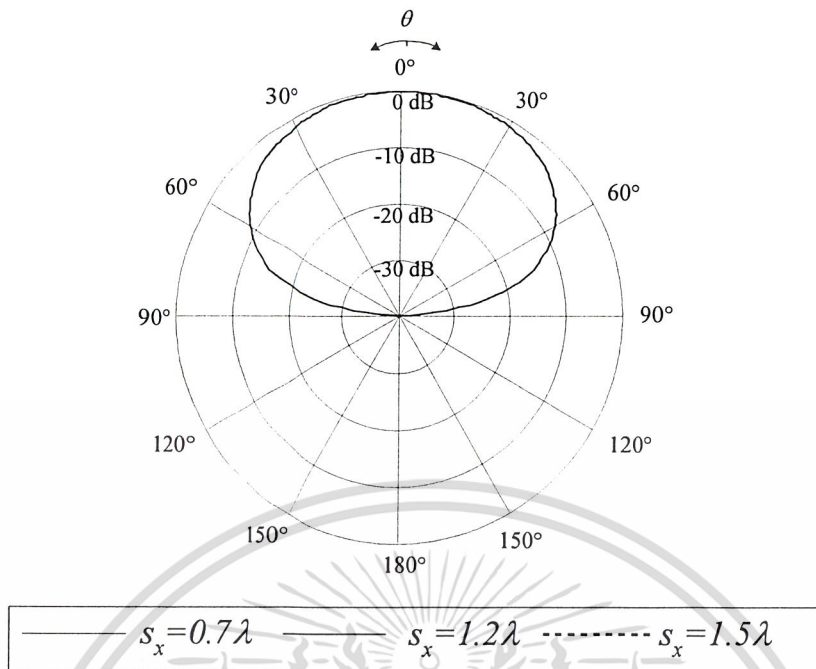
3.5.1.1 กรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระดุนวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ



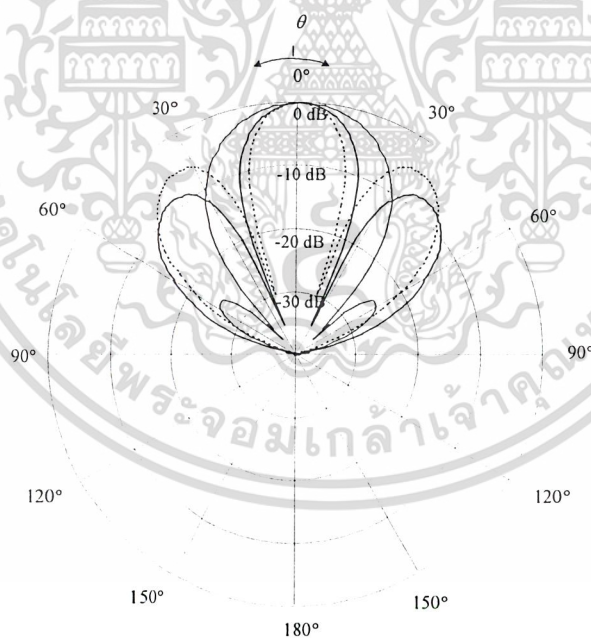
รูปที่ 3.56 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระดุนวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศและจำนวนสายอากาศที่มาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x มากขึ้น ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเพิ่มมากขึ้นด้วย และพบว่าค่าที่เหมาะสมให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมีค่าสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.2λ แต่ต้องพิจารณาร่วมกับค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



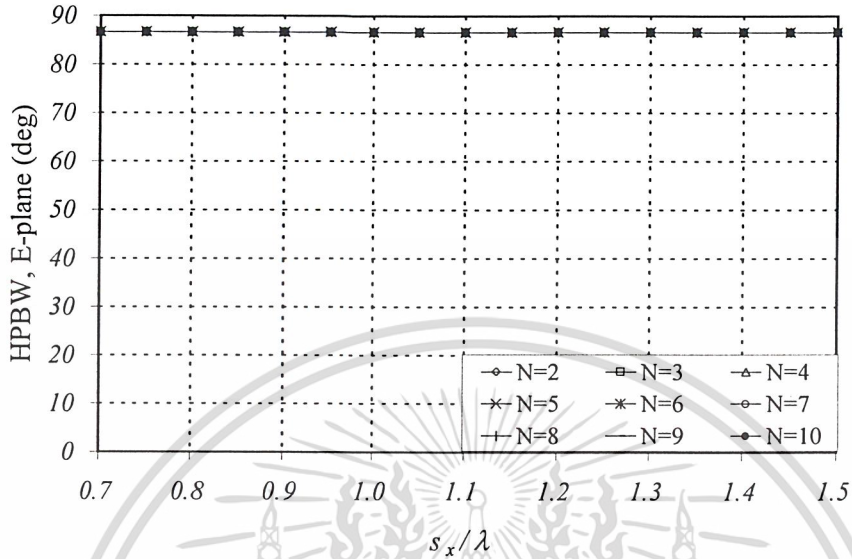
รูปที่ 3.57 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ



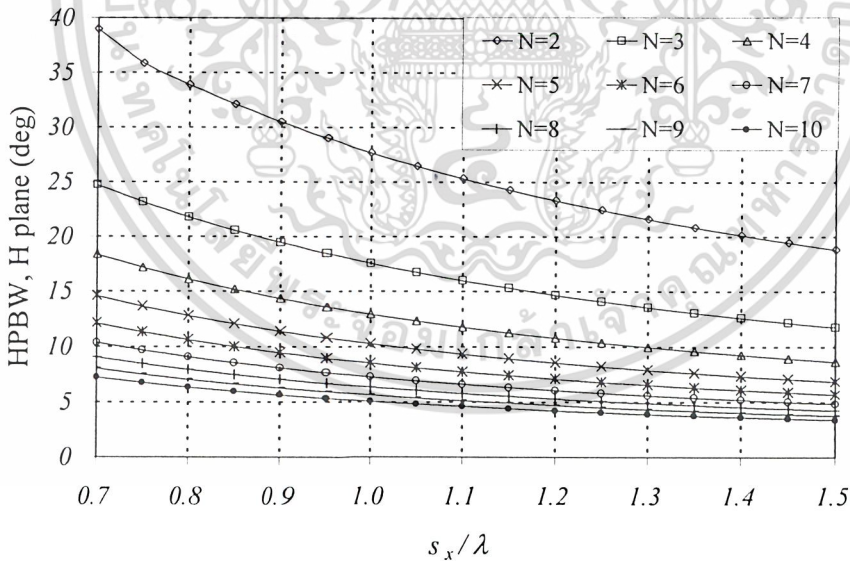
รูปที่ 3.58 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้าจะมีความกว้างของลำคลื่น มากกว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามแม่เหล็ก เมื่อความยาวของตัวสายอากาศมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างขึ้นด้วย

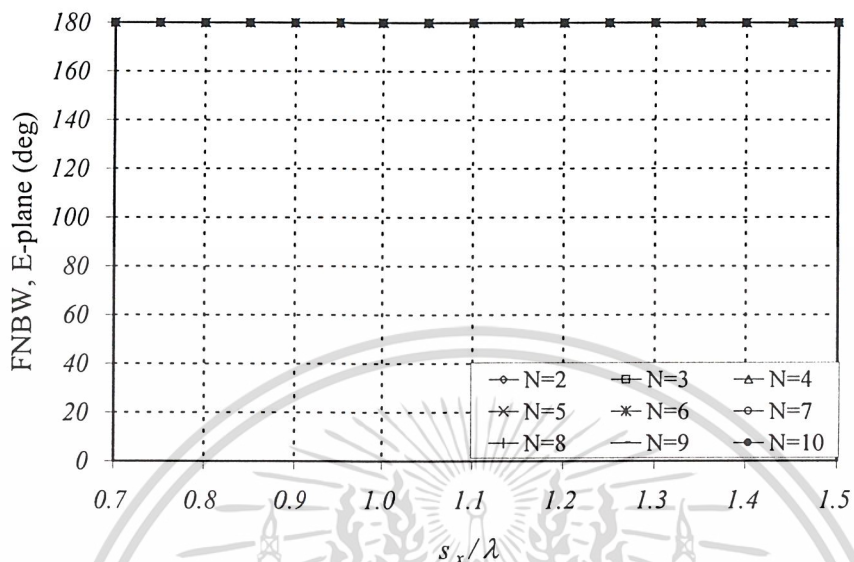


รูปที่ 3.59 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

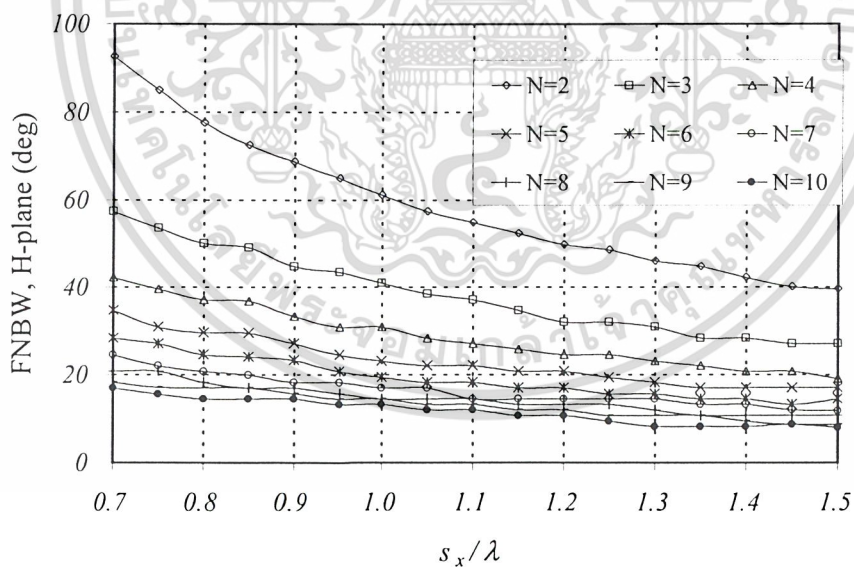


รูปที่ 3.60 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

อากาศที่มาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x มากขึ้น ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งลดลง ทำให้ได้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่มากขึ้นด้วย



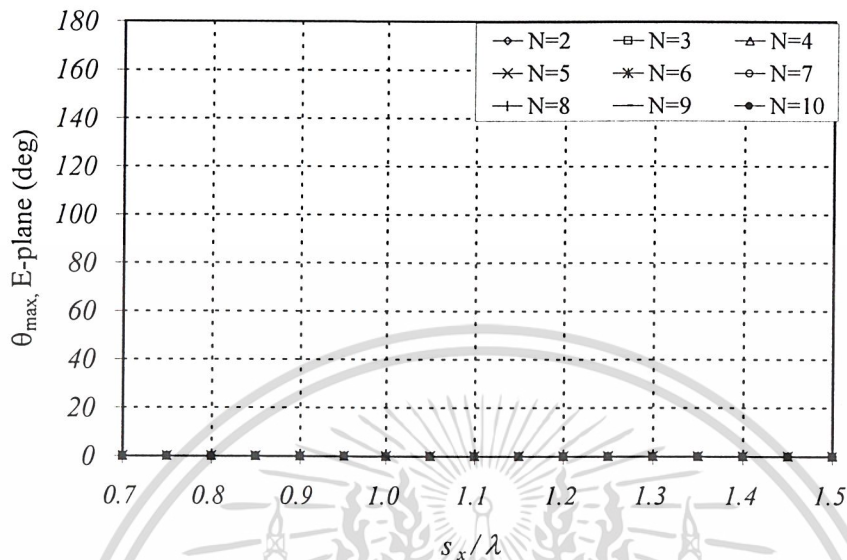
รูปที่ 3.61 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ



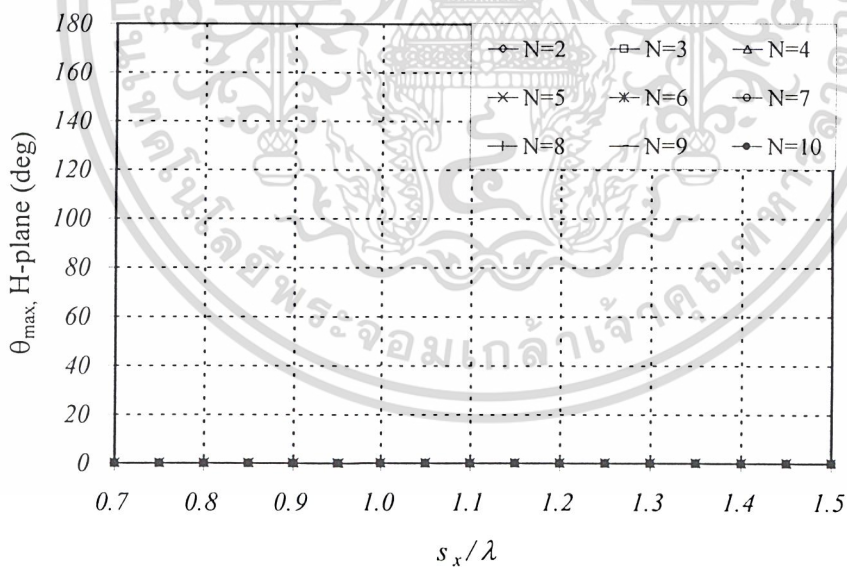
รูปที่ 3.62 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

จะเห็นว่าในระนาบสนามไฟฟ้าค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกเท่ากันตลอดมีค่าเท่ากับ 180 องศา ส่วนในระนาบสนามแม่เหล็ก เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศและจำนวนสาย

อากาศที่มาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x มากขึ้น ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์ คู่แรกลดลงเรื่อยๆ

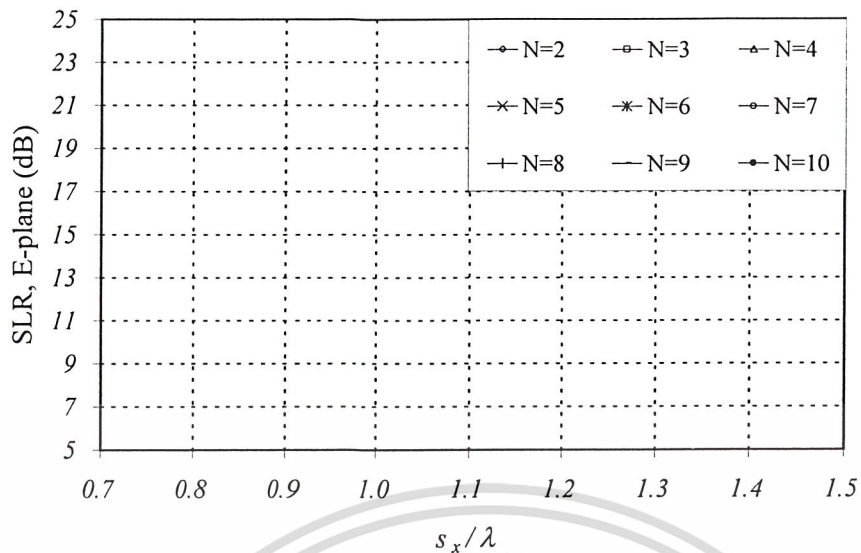


รูปที่ 3.63 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระยะนำมุกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

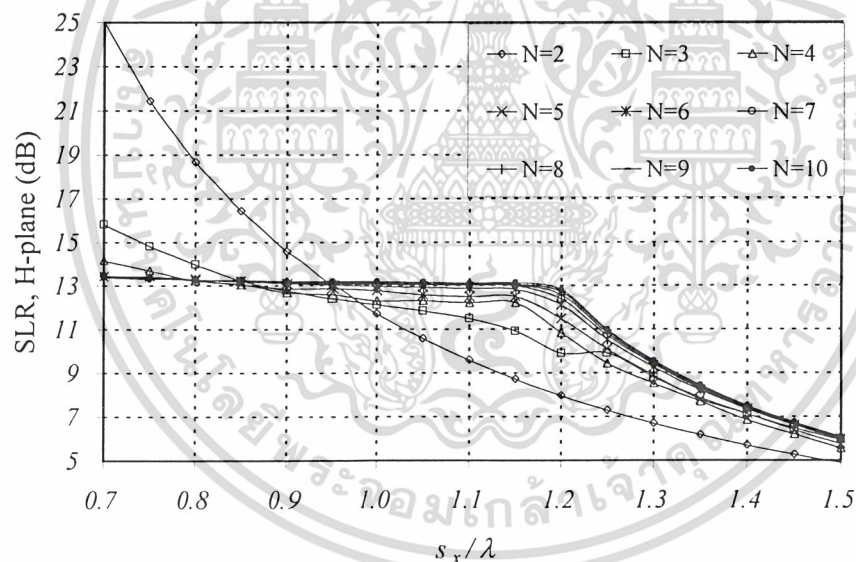


รูปที่ 3.64 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระยะนำมุกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมายขอสงวนสิทธิ์ในชื่อของเอกสารฉบับนี้ที่มีการนำไปใช้
องค์การ ซึ่งเป็นค่าที่สามารถนำมาพิจารณาถึงระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศได้ อยู่ในช่วง 0.7λ - 1.5λ



รูปที่ 3.65 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลัดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

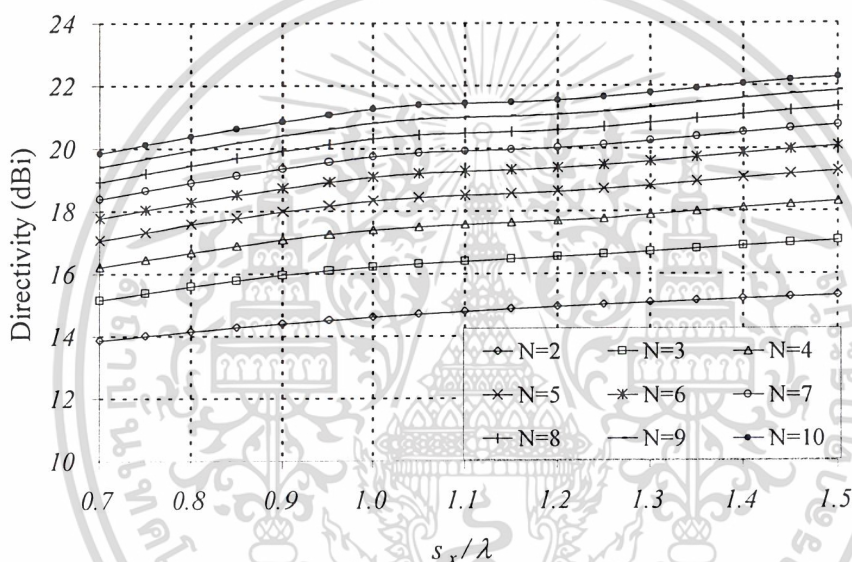


รูปที่ 3.66 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลัดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

จากรูปที่ 3.65 และรูปที่ 3.66 พบว่าในระนาบสนามไฟฟ้าไม่มีการเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างเลย ส่วนในระนาบสนามแม่เหล็ก เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศและจำนวนสายอากาศที่จัดเรียงเป็นแฉลัดับเชิงเส้นตามแนวแกน x มากขึ้น ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างลดลง ซึ่งหมายความว่ามีการเกิดลำคลื่นย่อยด้านข้างมากขึ้น ทำให้ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์แรกในระนาบสนามแม่เหล็กลดลงด้วย

จากการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อนำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนเคลื่อนเท่ากับ 0.3λ ข้างต้นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาออกแบบคือ ค่าความกว้างเท่ากับ 0.69λ ค่าความยาวเท่ากับ 0.35λ ค่าความสูงเท่ากับ 0.25λ ค่าระยะห่างตัวสายอากาศเท่ากับ 1.2λ ซึ่งปริยภูณานิพนธ์ฉบับนี้จะนำสายอากาศสององค์ประกอบจัดเรียงกันเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x โดยให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 12.497 dBi ซึ่งผลการทดลองดูจากบทที่ 4 ต่อไป

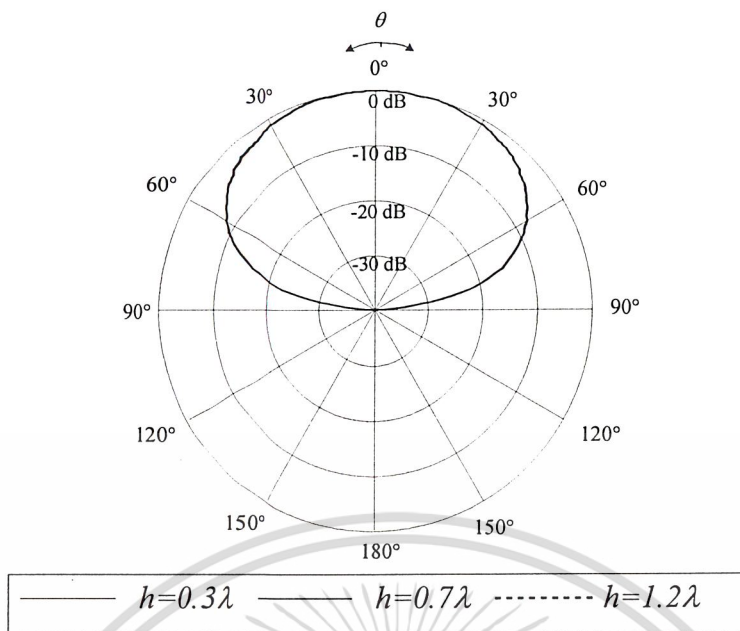
3.5.1.2 กรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนเคลื่อนเท่ากับ 0.7λ



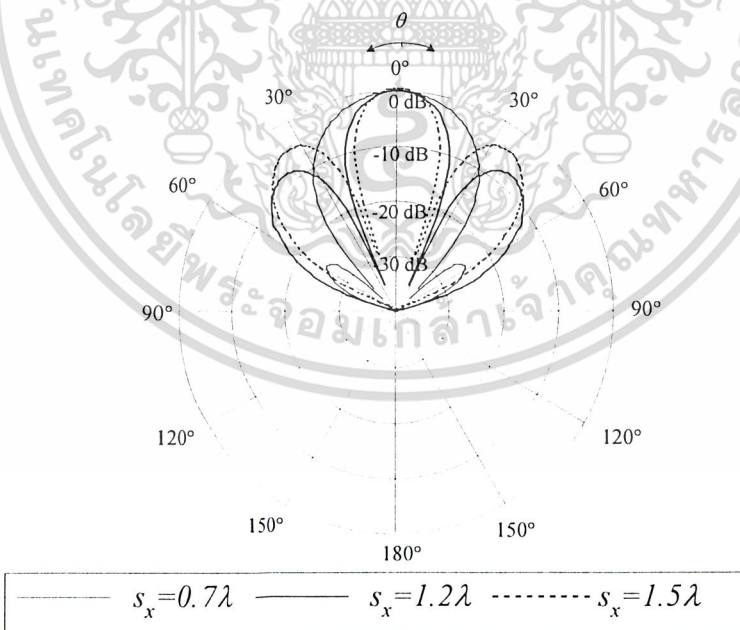
รูปที่ 3.67 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนเคลื่อนเท่ากับ 0.7λ

จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศและจำนวนสายอากาศที่นำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x มากขึ้น ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเพิ่มมากขึ้นด้วย และพบว่าค่าที่เหมาะสมให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมีค่าสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.5λ แต่ต้องพิจารณาร่วมกับค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



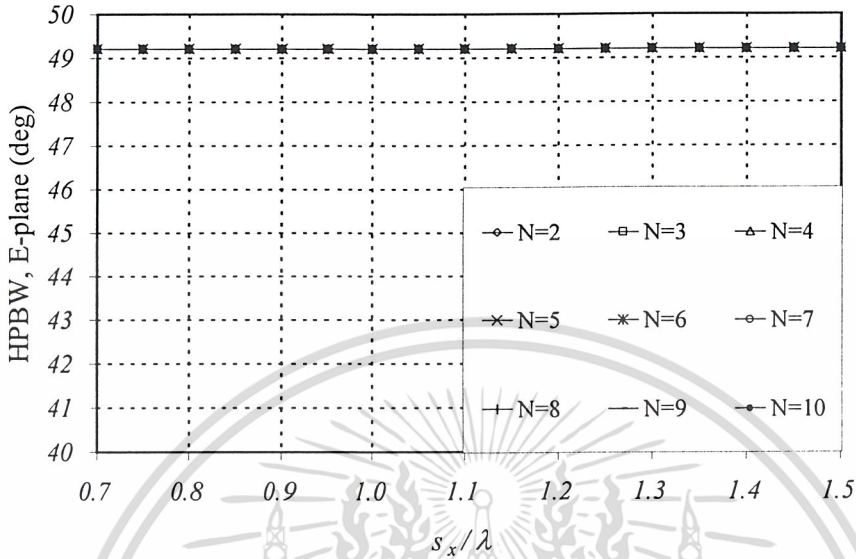
รูปที่ 3.68 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแอมพลิจูดเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ



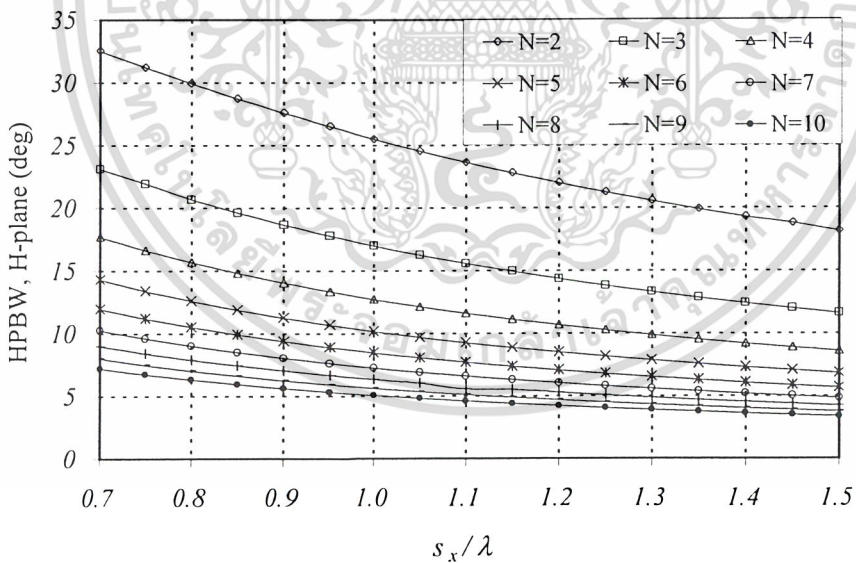
รูปที่ 3.69 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแอมพลิจูดเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้าจะมีความกว้างของลำคลื่น มากกว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามแม่เหล็ก เมื่อความยาวของตัวสายอากาศมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างขึ้นด้วย



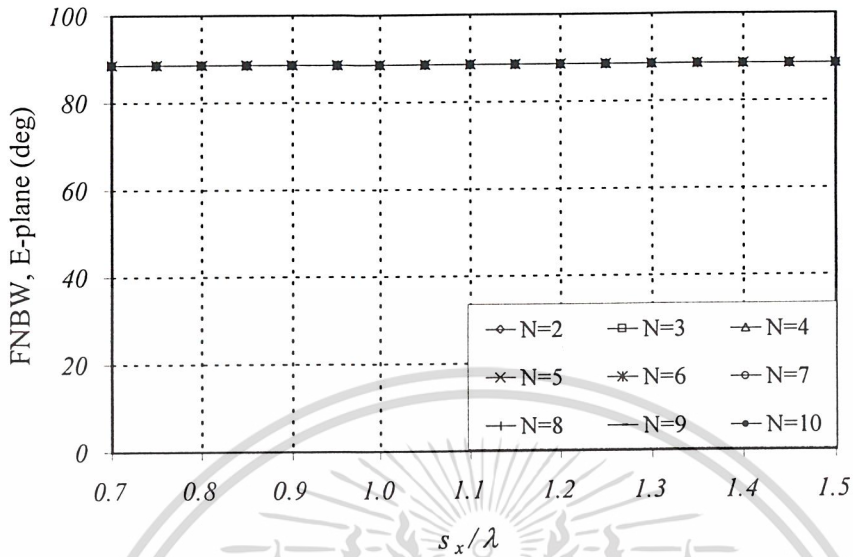
รูปที่ 3.70 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ



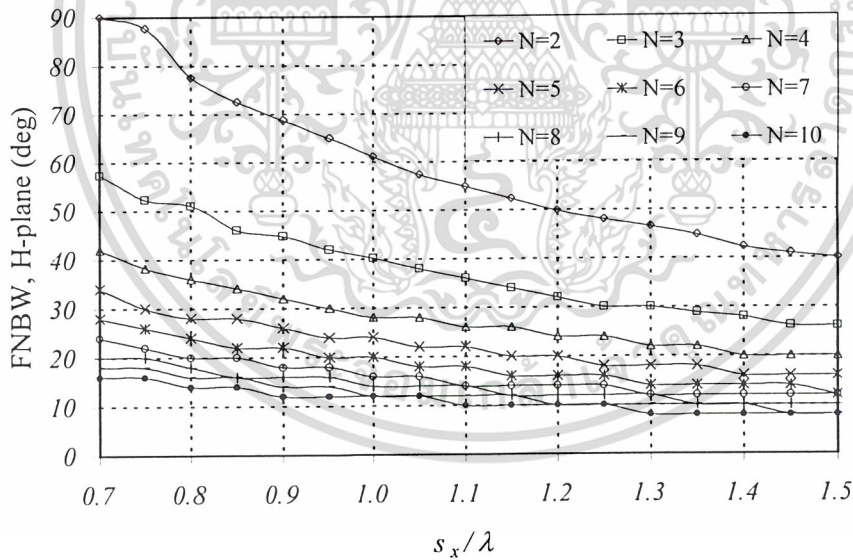
รูปที่ 3.71 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

จะพบว่าในระนาบสนามไฟฟ้าค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งเท่ากันตลอดมีค่าเท่ากับ 49.2 องศา ส่วนในระนาบสนามแม่เหล็ก เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศและจำนวน

สายอากาศที่มาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x มากขึ้น ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครั้งหนึ่งลดลง ทำให้ได้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่มากขึ้นด้วย



รูปที่ 3.72 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ่นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

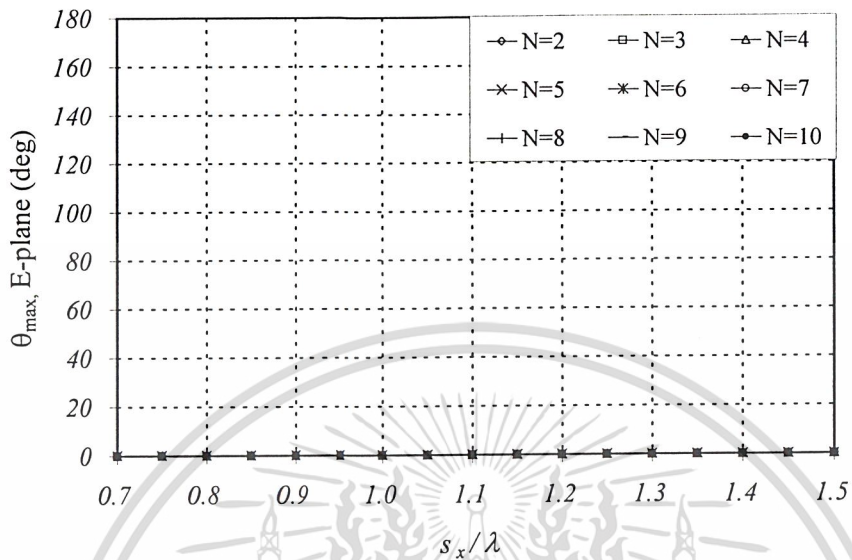


รูปที่ 3.73 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ่นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

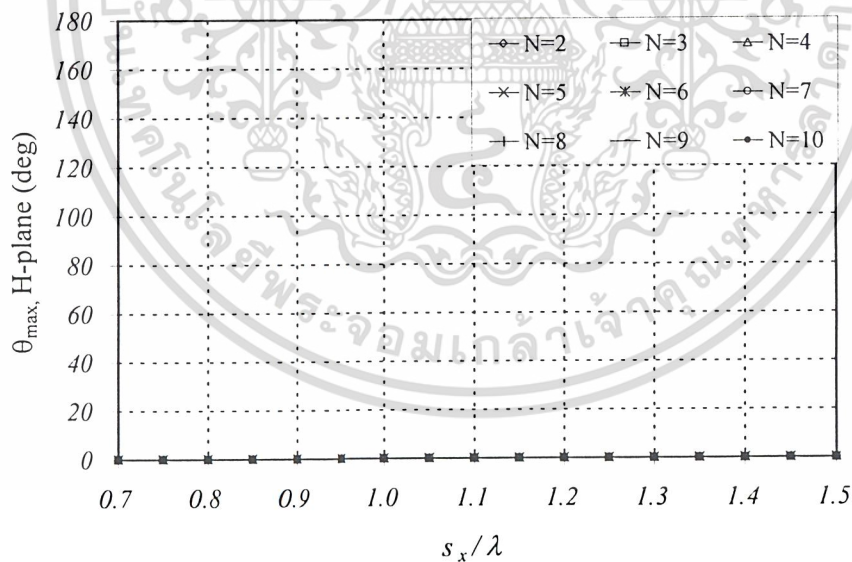
จะเห็นว่าในระนาบสนามไฟฟ้าค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกเท่ากันตลอดมี

ค่าเท่ากับ 88.6 องศา ส่วนในระนาบสนามแม่เหล็ก เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศและจำนวนสายไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศที่มาจากเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x มากขึ้น ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์ คู่แรกลดลงเรื่อยๆ

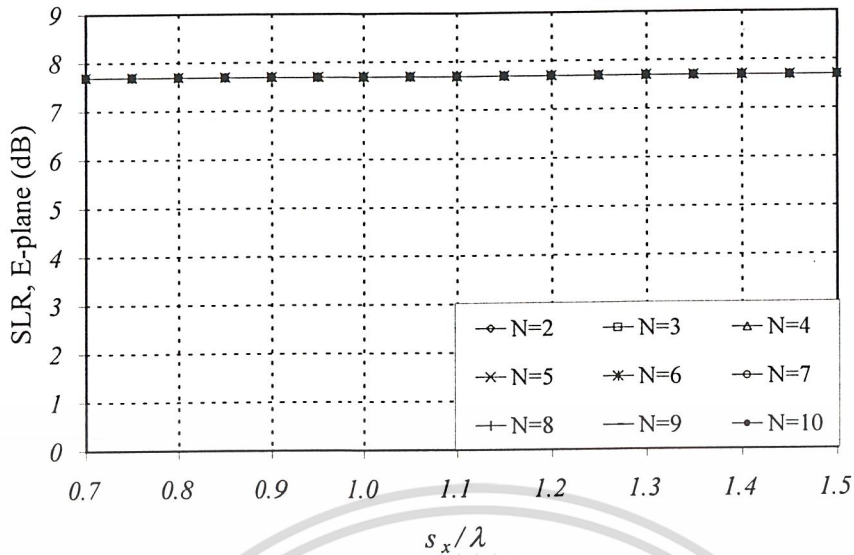


รูปที่ 3.74 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

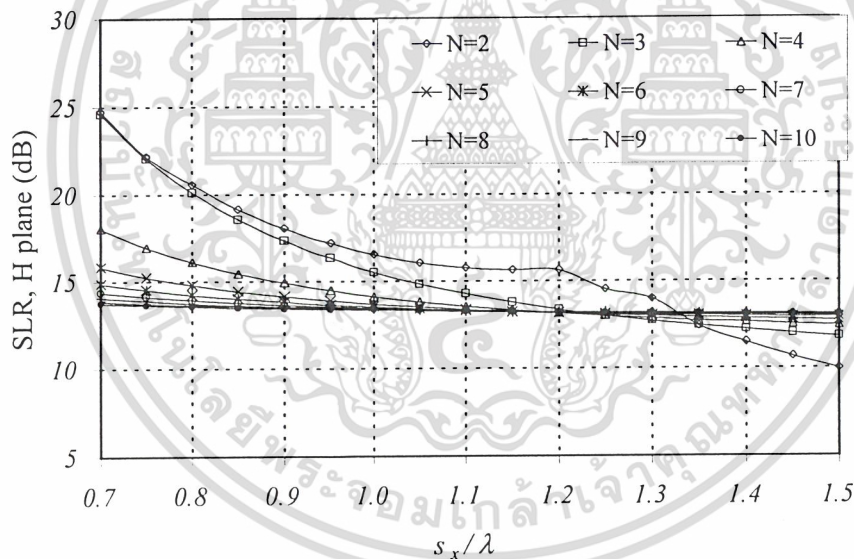


รูปที่ 3.75 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นจากข้อมูลไฟฟ้าและระบบสนามแม่เหล็กที่มีค่าเท่ากันตลอดมีค่าเท่ากับศูนย์
ไม่ควรถูกนำมาใช้เพื่อการอ้างอิงค่า ซึ่งเป็นค่าที่สามารถนำมาพิจารณาหาระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศได้อยู่ในช่วง 0.7λ ถึง 1.5λ การนำไปใช้



รูปที่ 3.76 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ



รูปที่ 3.77 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

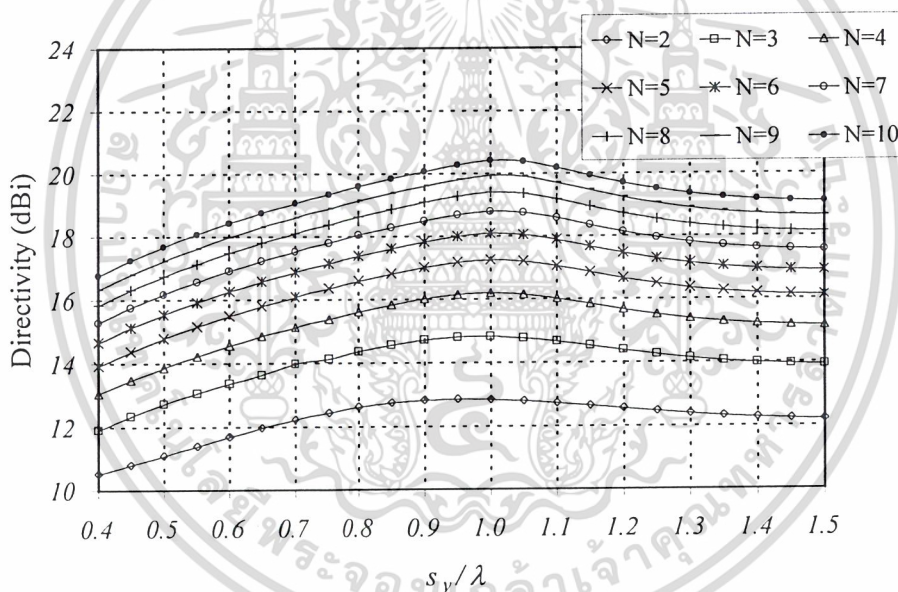
จากรูปที่ 3.75 และรูปที่ 3.76 พบว่าในระนาบสนามไฟฟ้ามีการเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างเท่ากันตลอด ทำให้ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามไฟฟ้าเท่ากันตลอดด้วยด้วย ส่วนในระนาบสนามแม่เหล็ก เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศและจำนวนสายอากาศที่นำจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x มากขึ้น ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่ออาร์ค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลาคลื่นย้อยด้านข้างลดลง ซึ่งหมายความว่ามีการเกิดลาคลื่นย้อยด้านข้างมากขึ้น ทำให้ค่าแถบความกว้างของลาคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกในระนาบสนามแม่เหล็กลดลงด้วย

จากการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อนำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ ข้างต้นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาออกแบบคือ ค่าความกว้างเท่ากับ 0.69λ ค่าความยาวเท่ากับ 0.35λ ค่าความสูงเท่ากับ 0.25λ ค่าระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศเท่ากับ 1.5λ ซึ่งปริณูณานิพนธ์ฉบับนี้จะนำสายอากาศสององค์ประกอบจัดเรียงกันเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน x โดยให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 22.276 dBi ซึ่งผลการทดลองดูจากบทที่ 4 ต่อไป

3.5.2 เมื่อนำมาจัดเรียงในแนวแกน y สามารถแสดงค่าต่างๆได้ดังต่อไปนี้

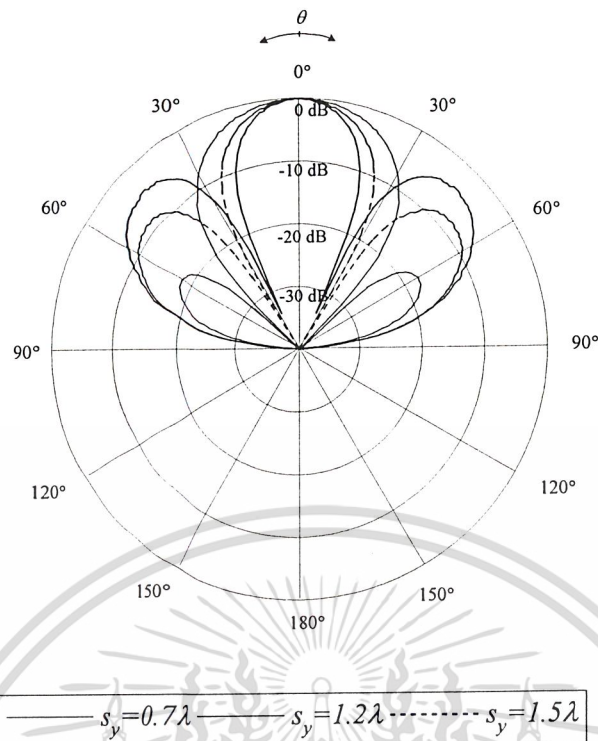
3.5.2.1 กรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ



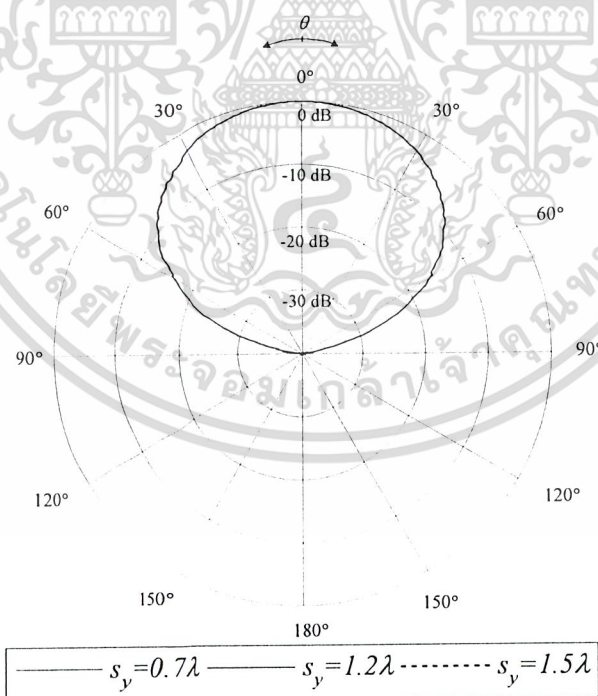
รูปที่ 3.78 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศและจำนวนสายอากาศที่มาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y มากขึ้น ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเพิ่มมากขึ้นจนถึงค่าหนึ่งแล้วก็ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



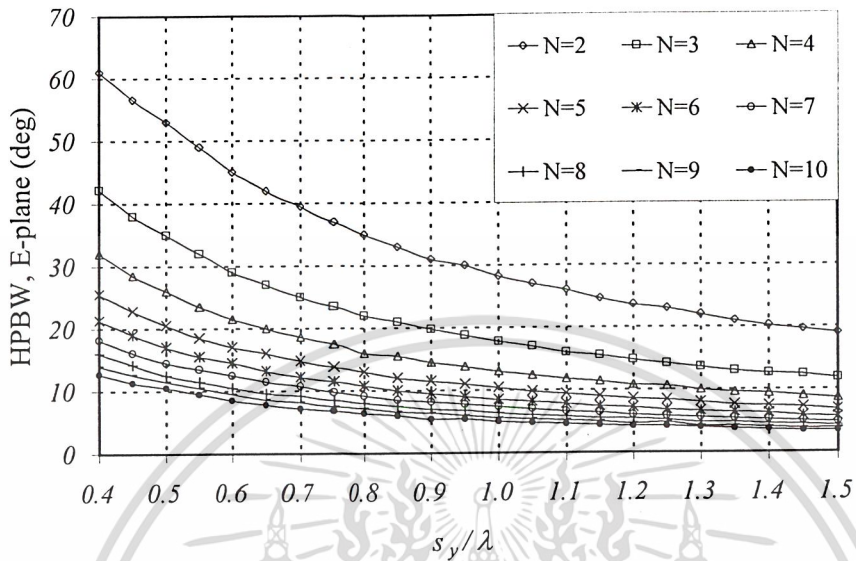
รูปที่ 3.79 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ



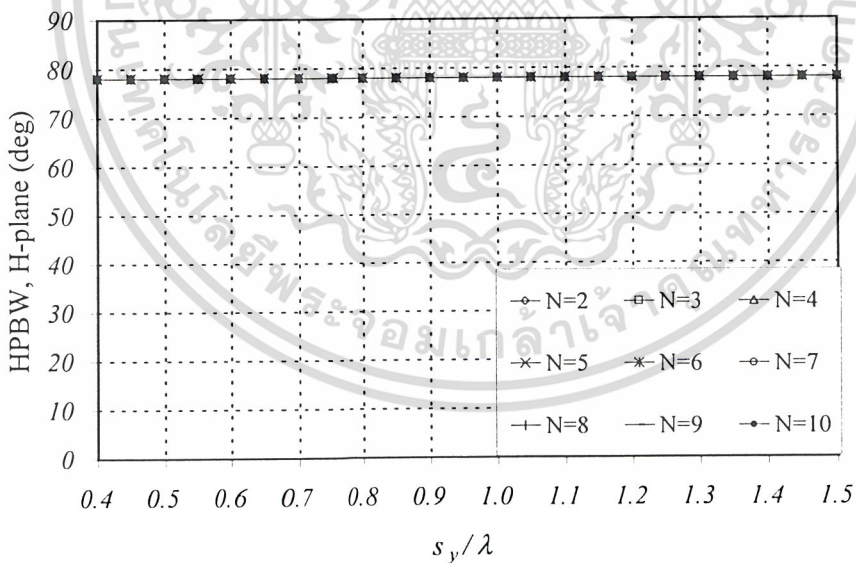
รูปที่ 3.80 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามแม่เหล็กจะมีความกว้างของลำคลื่น มากกว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้า เมื่อความยาวของตัวสายอากาศมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างขึ้นด้วย



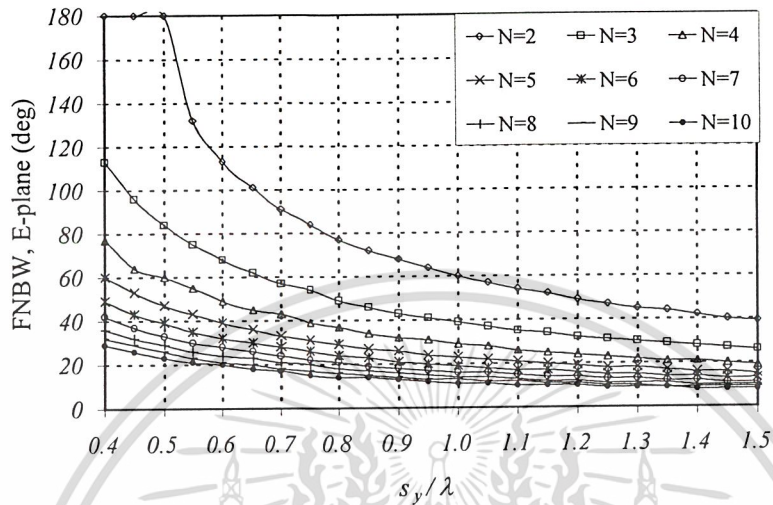
รูปที่ 3.81 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ



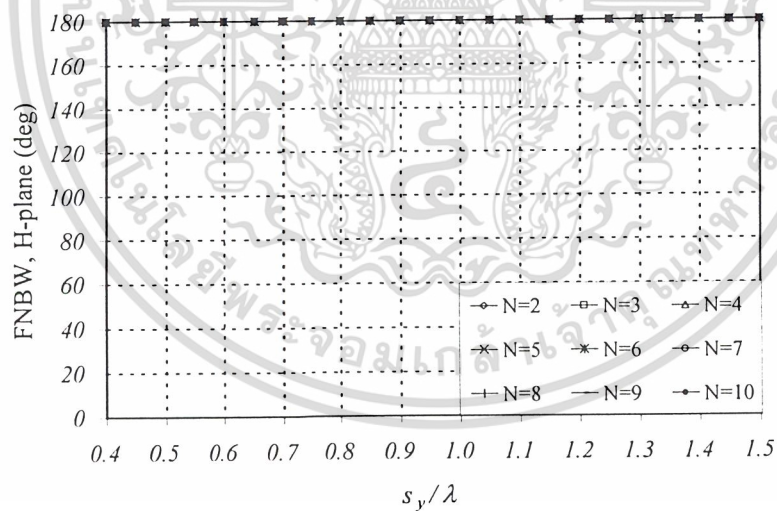
รูปที่ 3.82 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบว่าในระนาบสนามแม่เหล็กค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งเท่ากันตลอด มีค่าเท่ากับ 78.042 องศา ส่วนในระนาบสนามไฟฟ้า เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศและจำนวนสายอากาศที่มาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y มากขึ้น ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งลดลง ทำให้ได้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่มากขึ้นด้วย



รูปที่ 3.83 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

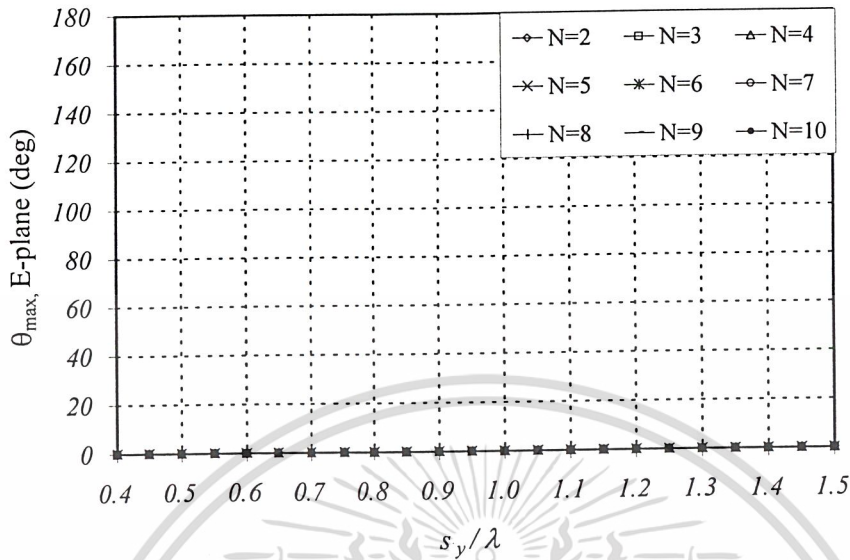


รูปที่ 3.84 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

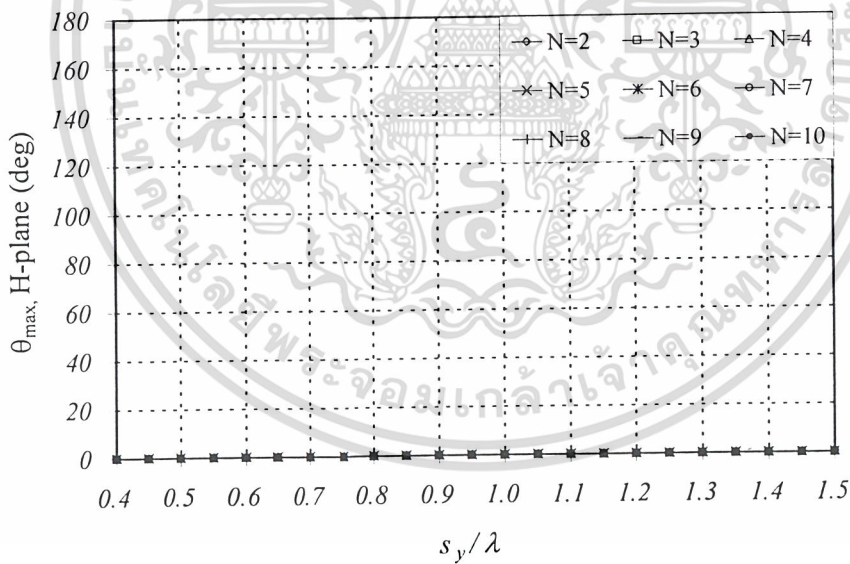
จะเห็นว่าในระนาบสนามแม่เหล็กค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกเท่ากันตลอด มีค่าเท่ากับ 180 องศา ส่วนในระนาบสนามไฟฟ้า เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศและจำนวนสายอากาศที่มาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y มากขึ้น ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งลดลง ทำให้ได้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่มากขึ้นด้วย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศที่มาจากเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y มากขึ้น ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์ คู่แรกลดลงเรื่อยๆ



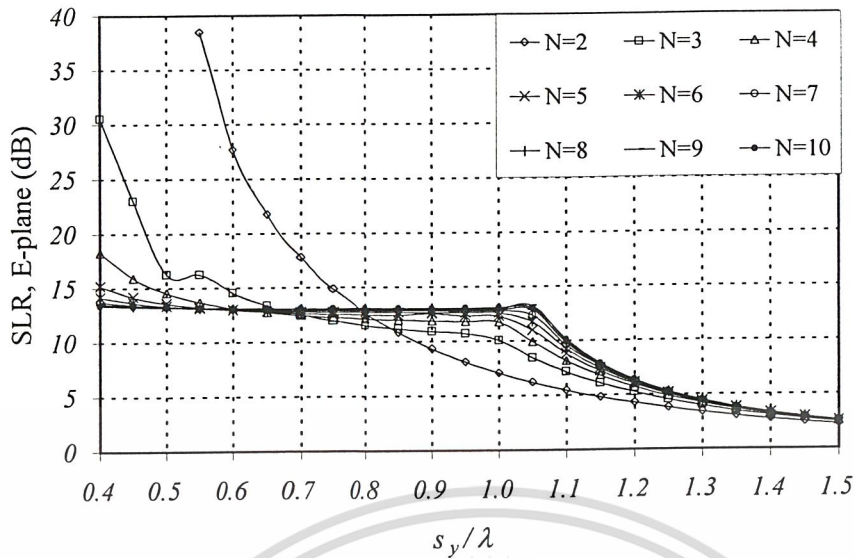
รูปที่ 3.85 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ



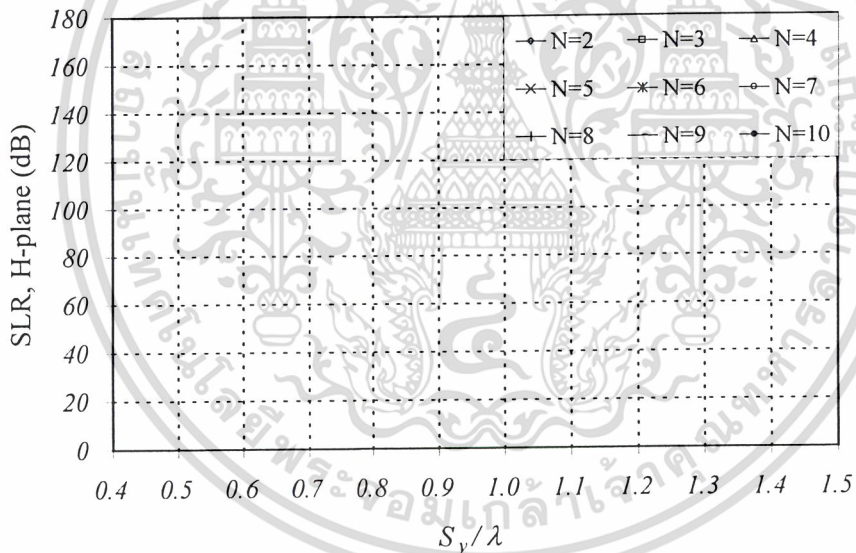
รูปที่ 3.86 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

จะเห็นว่าทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กมีค่าเท่ากันตลอดมีค่าเท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับวิทยานิพนธ์ที่มีระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศได้อยู่ในช่วง 0.7λ ถึง 1.5λ ในด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.87 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ



รูปที่ 3.88 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ

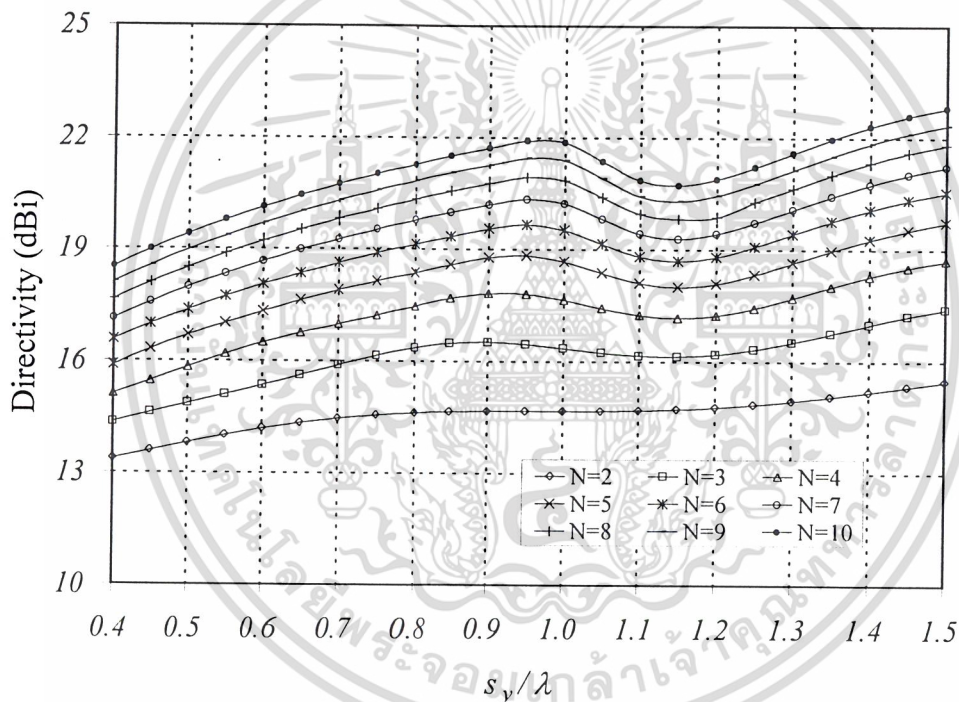
พบว่าในระนาบสนามแม่เหล็กมีการเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างเท่ากันตลอด ทำให้ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามแม่เหล็กเท่ากันตลอดด้วย ส่วนในระนาบสนามไฟฟ้า เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศและจำนวนสายอากาศที่มำจัดเรียงเป็น

แวลด์ำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y มากขึ้น ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างลดลง ซึ่งหมายความว่ากรณีนี้อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความว่ามีการเกิดลำคลื่นย่อยด้านข้างมากขึ้น ทำให้ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกในระนาบสนามไฟฟ้าลดลงด้วย

จากการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อนำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ ข้างต้นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาออกแบบคือ ค่าความกว้างเท่ากับ 0.69λ ค่าความยาวเท่ากับ 0.35λ ค่าความสูงเท่ากับ 0.25λ ค่าระยะห่างตัวสายอากาศเท่ากับ 0.95λ ซึ่งปริยภูยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำสายอากาศสององค์ประกอบจัดเรียงกันเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y โดยให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 12.857 dBi ซึ่งผลการทดลองดูจากบทที่ 4 ต่อไป

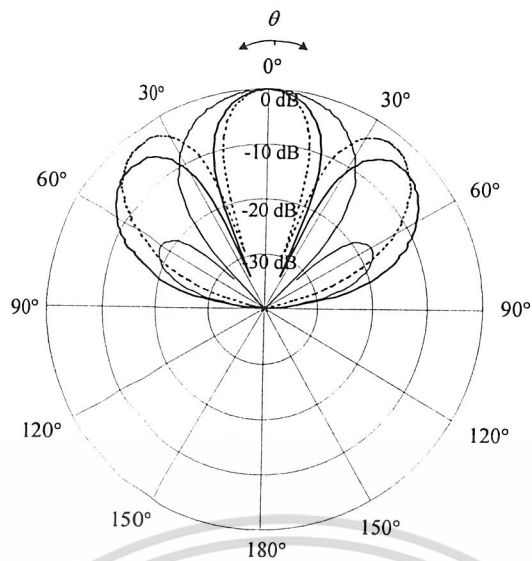
3.5.2.2 กรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ



รูปที่ 3.89 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

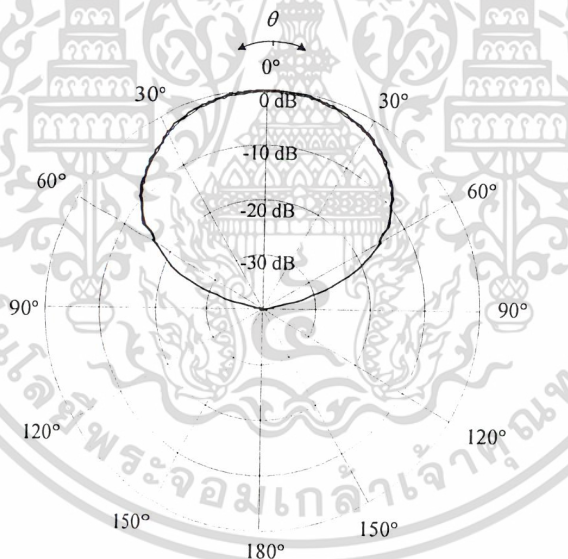
จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศและจำนวนสายอากาศที่นำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y มากขึ้น ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเพิ่มมากขึ้นจนถึงค่าหนึ่งแล้วก็ลดลงเมื่อมาถึงค่า 1.2λ ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



— $s_y = 0.7\lambda$ — $s_y = 1.2\lambda$ - - - $s_y = 1.5\lambda$

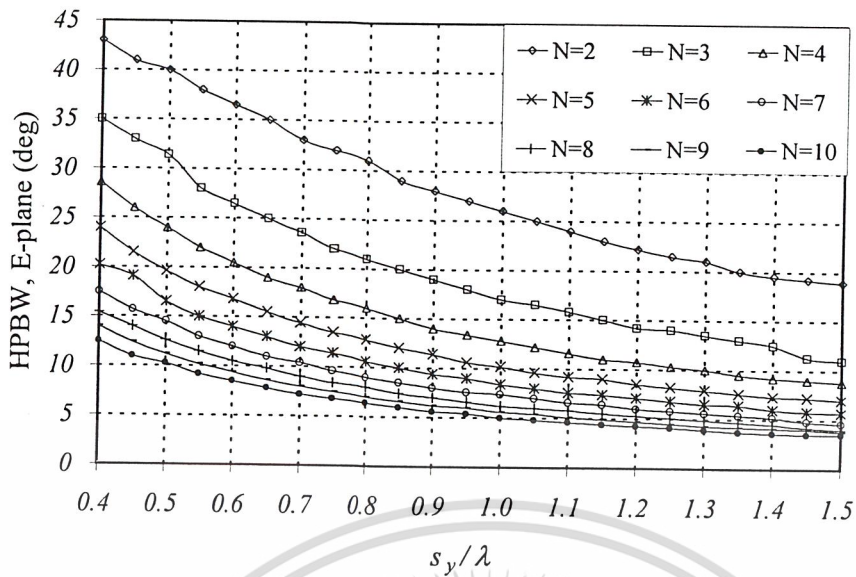
รูปที่ 3.90 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ



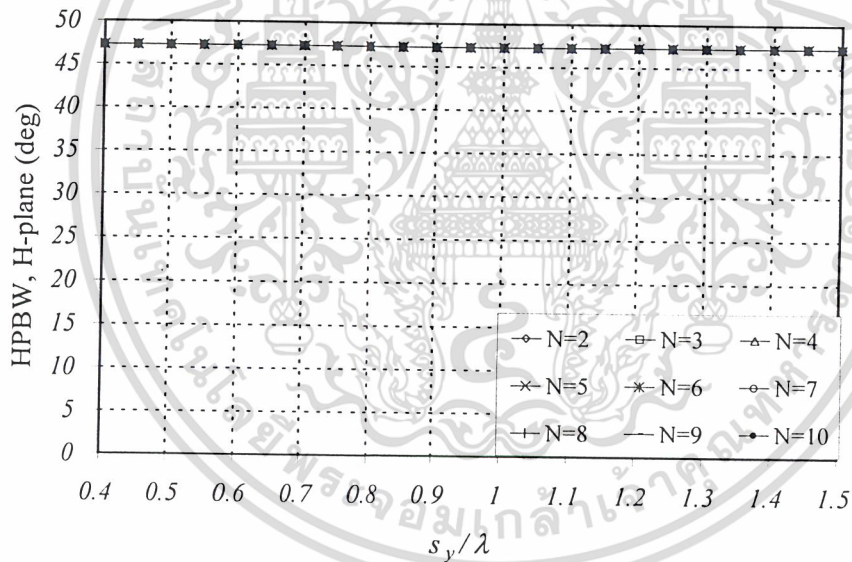
— $s_y = 0.7\lambda$ — $s_y = 1.2\lambda$ - - - $s_y = 1.5\lambda$

รูปที่ 3.91 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

เมื่อทำการเปรียบเทียบว่า แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสนามแม่เหล็กจะมีความกว้างของลำคลื่น มากกว่าแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้า เมื่อความยาวของตัวสายอากาศมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างขึ้นด้วย ไม่นิยามให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

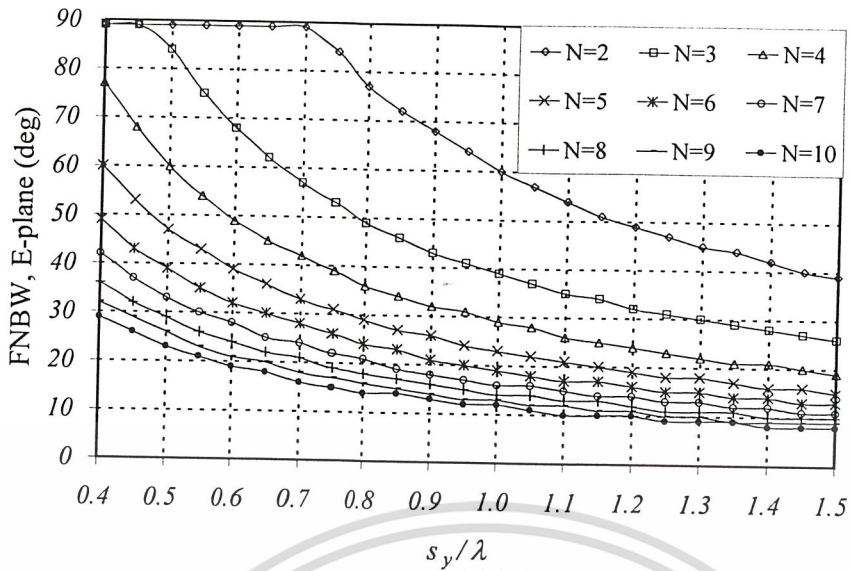


รูปที่ 3.92 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

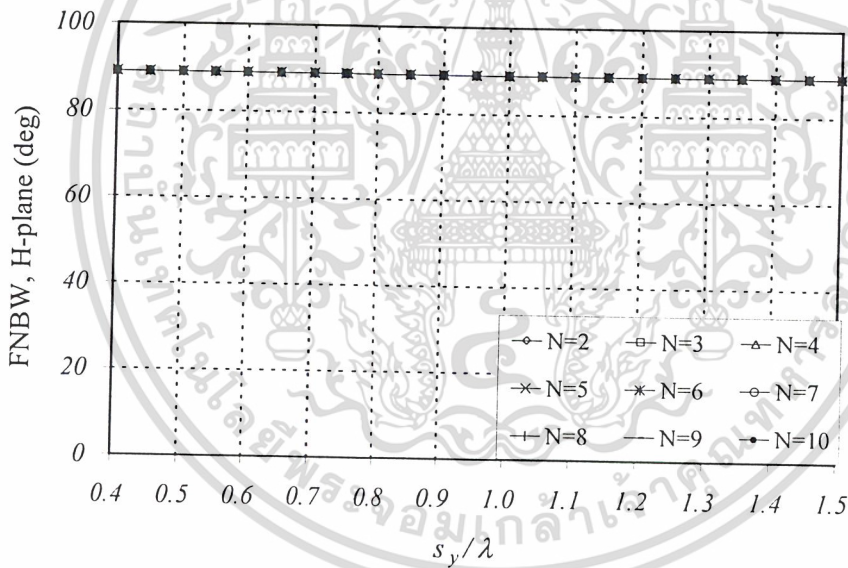


รูปที่ 3.93 ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

จากรูปที่ 3.92 และรูปที่ 3.93 จะพบว่าในระนาบสนามแม่เหล็กค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งเท่ากันตลอดมีค่าเท่ากับ 47.27 องศา ส่วนในระนาบสนามไฟฟ้า เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศและจำนวนสายอากาศที่มาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y มากขึ้น ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งลดลงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



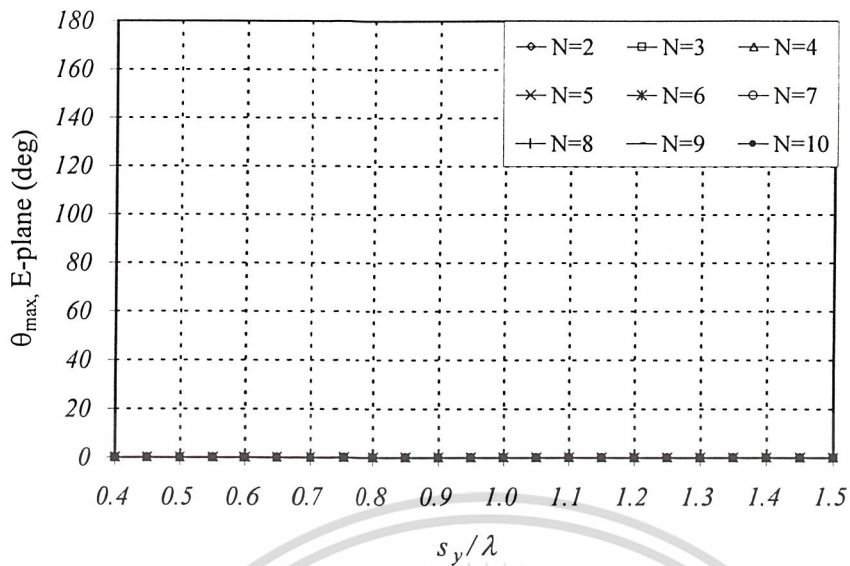
รูปที่ 3.94 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลัดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ



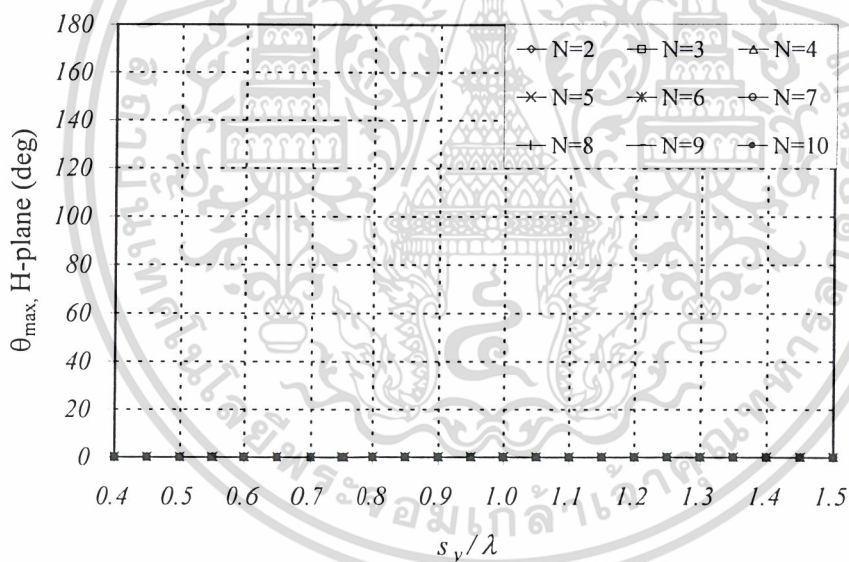
รูปที่ 3.95 ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลัดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

จะเห็นว่าในระนาบสนามแม่เหล็กค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกเท่ากันตลอดมีค่าเท่ากับ 89 องศา ส่วนในระนาบสนามไฟฟ้า เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศและจำนวนสายอากาศที่มำจัดเรียงเป็นแฉลัดับเชิงเส้นตามแนวแกน y มากขึ้น ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกลดลงเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



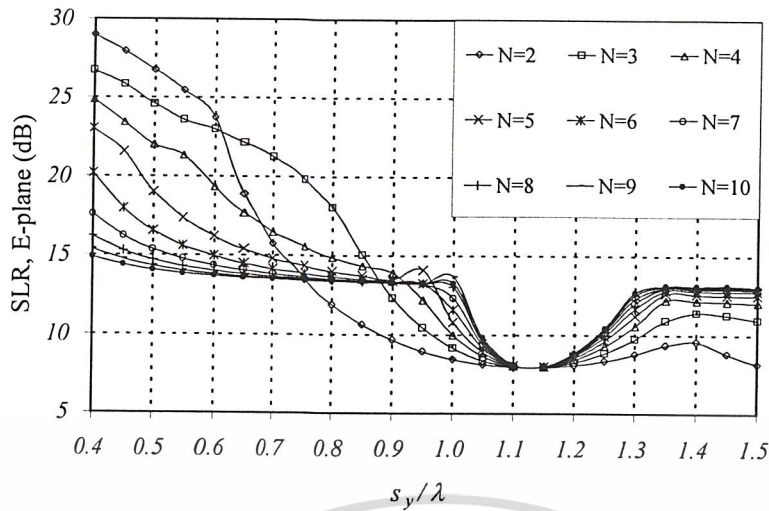
รูปที่ 3.96 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมขในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ



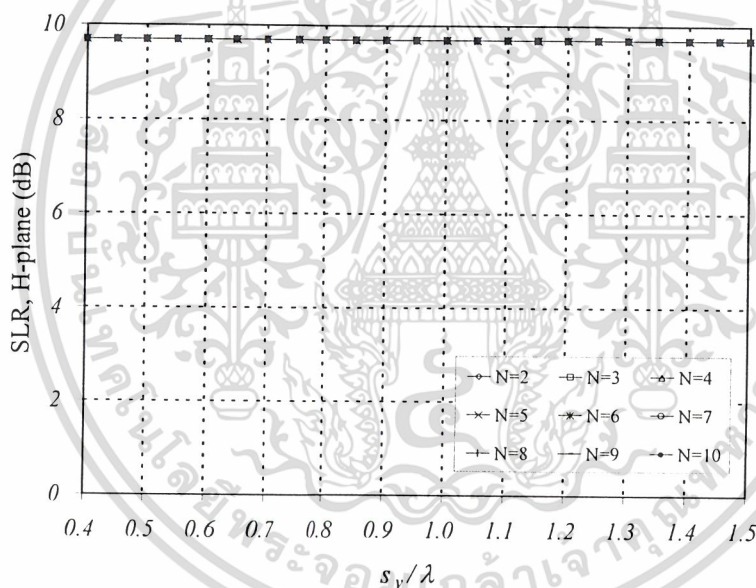
รูปที่ 3.97 ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมขในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

จะเห็นว่าทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กมีค่าเท่ากันตลอดมีค่าเท่ากับศูนย์องศา ซึ่งเป็นค่าที่สามารถนำมาพิจารณาหาระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศได้อยู่ในช่วง $0.7\lambda - 1.5\lambda$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.98 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแฉลวดำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ



รูปที่ 3.99 ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวดำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

จะเห็นว่าในระนาบสนามแม่เหล็กมีการเกิดค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างเท่ากันตลอด ทำให้ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามแม่เหล็กเท่ากันตลอดด้วย ส่วนในระนาบสนามไฟฟ้า เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศและจำนวนสายอากาศที่มาจัดเรียงเป็นแฉลวดำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y มากขึ้น ค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างลดลง ซึ่งหมายความว่ามีการเกิดลำคลื่นย่อยด้านข้างมากขึ้น ทำให้ค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรกในระนาบสนามไฟฟ้าลัดลงด้วยห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อนำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนเคลื่อนเท่ากับ 0.7λ ข้างต้นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาออกแบบคือ ค่าความกว้างเท่ากับ 0.69λ ค่าความยาวเท่ากับ 0.35λ ค่าความสูงเท่ากับ 0.25λ ค่าระยะห่างตัวสายอากาศเท่ากับ 1.5λ ซึ่งปริยญา นิพนธ์ฉบับนี้จะนำสายอากาศสององค์ประกอบจัดเรียงกันเป็นแถวลำดับเชิงเส้นตามแนวแกน y โดยให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 22.81 dBi ซึ่งผลการทดลองดูจากบทที่ 4 ต่อไป

3.5.2.3 กรณีแถวลำดับเชิงระนาบ xy ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนเคลื่อนเท่ากับ 0.3λ

N	dx/λ	dy/λ	θ_{max} (deg)	FNBW (deg)	HPBW (deg)	SLR (dB)	DIRECTIVITY (dBi)
2	1.2	0.95	0	63.52	29.629	8.114	16.002
3	1.2	1	0	38.96	17.694	10.086	19.775
4	1.2	1	0	28.96	13.008	11.747	22.443
5	1.2	1	0	23.08	10.313	12.294	24.494
6	1.2	1	0	19.2	8.552	12.59	26.158
7	1.2	1	0	16.44	7.309	12.769	27.557
8	1.2	1	0	14.36	6.376	12.884	28.765
9	1.2	1	0	12.76	5.629	12.964	29.827
10	1.2	1	0	11.48	5.096	13.02	30.775
11	1.2	1	0	10.44	4.629	13.062	31.621
12	1.2	1	0	9.56	4.241	13.094	32.394
13	1.2	1	0	8.84	3.939	13.12	33.127
14	1.2	1	0	8.2	3.633	13.14	33.763
15	1.2	1	0	7.64	3.39	13.156	34.442
16	1.2	1	0	7.16	3.177	13.168	34.904
17	1.2	1	0	6.76	2.95	13.179	35.423
18	1.2	1	0	6.36	2.823	13.188	36.103
19	1.2	1	0	6.04	2.674	13.197	36.614
20	1.2	1	0	5.72	2.54	13.201	36.915

ตารางที่ 3.3 ค่าสภาพเจาะจงทิศทางและค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงระนาบ xy ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนเคลื่อนเท่ากับ 0.3λ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N	dx/λ	dy/λ	θ_{max} (deg)	FNBW (deg)	HPBW (deg)	SLR (dB)
2	1.2	0.95	0	49.24	22.707	7.964
3	1.2	1	0	32.24	14.535	10.021
4	1.2	1	0	24.08	10.755	11.081
5	1.2	1	0	19.2	8.551	11.711
6	1.2	1	0	16	7.102	12.108
7	1.2	1	0	13.68	6.076	12.39
8	1.2	1	0	11.92	5.309	12.579
9	1.2	1	0	10.64	4.715	12.731
10	1.2	1	0	9.6	4.245	12.811
11	1.2	1	0	8.72	3.854	12.9
12	1.2	1	0	8	3.531	12.998
13	1.2	1	0	7.36	3.259	13.086
14	1.2	1	0	6.8	3.025	13.097
15	1.2	1	0	6.4	2.823	13.108
16	1.2	1	0	6	2.645	13.12
17	1.2	1	0	5.6	2.49	13.132
18	1.2	1	0	5.28	2.35	13.146
19	1.2	1	0	5.04	2.228	13.16
20	1.2	1	0	4.8	2.116	13.175

ตารางที่ 3.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแฉลวดับเชิงระนาบ xy ของสายอากาศโพรบกระตุ่นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3 λ

จากตารางที่ 3.3 และตารางที่ 3.4 จะเห็นว่าเมื่อนำสายอากาศมาจัดเรียงเป็นแฉลวดับเชิงระนาบ xy มากขึ้น ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมยกในระนาบสนามมีค่าเท่ากับศูนย์องศาซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งและค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางแรกมีค่าลดลงเรื่อยๆทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก และค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก จะเห็นว่าค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งมีค่าลดลง ทำให้ได้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.4 กรณีแถวลำดับเชิงระนาบ xy ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

N	dx/λ	dy/λ	θ_{\max} (deg)	FNBW (deg)	HPBW (deg)	SLR (dB)	DIRECTIVITY (dBi)
2	1.5	1.5	0	38.96	18.292	8.1697	18.473
3	1.5	1.5	0	25.62	11.664	10.98	22.144
4	1.5	1.5	0	19.18	8.619	12.074	24.648
5	1.5	1.5	0	15.27	6.848	12.503	26.602
6	1.5	1.5	0	12.74	5.686	12.737	28.178
7	1.5	1.5	0	10.9	4.863	12.875	29.514
8	1.5	1.5	0	9.52	4.249	12.969	30.662
9	1.5	1.5	0	8.6	3.774	13.032	31.683
10	1.5	1.5	0	7.68	3.394	13.076	32.598
11	1.5	1.5	0	6.99	3.084	13.105	33.385
12	1.5	1.5	0	6.3	2.826	13.135	34.261
13	1.5	1.5	0	5.84	2.608	13.153	34.717
14	1.5	1.5	0	5.38	2.421	13.177	35.534
15	1.5	1.5	0	5.15	2.259	13.187	36.26
16	1.5	1.5	0	4.69	2.117	13.195	36.713
17	1.5	1.5	0	4.46	1.993	13.2	37.042
18	1.5	1.5	0	4.23	1.882	13.204	37.43
19	1.5	1.5	0	3.96	1.782	13.209	37.934
20	1.5	1.5	0	3.75	1.693	13.214	38.526

ตารางที่ 3.5 ค่าสภาพแอมพลิจูดทิศทางและค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระนาบสนามไฟฟ้าในกรณีแถวลำดับเชิงระนาบ xy ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N	dx/λ	dy/λ	θ_{\max} (deg)	FNBW (deg)	HPBW (deg)	SLR (dB)
2	1.5	1.5	0	38.96	17.852	9.9877
3	1.5	1.5	0	25.62	11.546	11.841
4	1.5	1.5	0	19.18	8.571	12.458
5	1.5	1.5	0	15.27	6.824	12.745
6	1.5	1.5	0	12.74	5.672	12.905
7	1.5	1.5	0	10.9	4.855	12.997
8	1.5	1.5	0	9.52	4.244	13.06
9	1.5	1.5	0	8.6	3.769	13.106
10	1.5	1.5	0	7.68	3.391	13.134
11	1.5	1.5	0	6.99	3.082	13.154
12	1.5	1.5	0	6.3	2.824	13.176
13	1.5	1.5	0	5.84	2.606	13.188
14	1.5	1.5	0	5.42	2.42	13.207
15	1.5	1.5	0	5.15	2.258	13.213
16	1.5	1.5	0	4.69	2.117	13.222
17	1.5	1.5	0	4.46	1.992	13.236
18	1.5	1.5	0	4.23	1.881	13.221
19	1.5	1.5	0	4	1.782	13.244
20	1.5	1.5	0	3.77	1.693	13.252

ตารางที่ 3.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระนาบสนามแม่เหล็กในกรณีแถวลำดับเชิงระนาบ xy ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ

จากตารางที่ 3.5 และตารางที่ 3.6 จะเห็นว่าเมื่อนำสายอากาศมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงระนาบ xy มากขึ้น ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่ามุมที่สนามสูงสุดในระนาบมุมกในระนาบสนามมีค่าเท่ากับศูนย์องศาซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งและค่าแถบความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์กลางมีค่าลดลงเรื่อยๆทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก และค่าอัตราส่วนลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อยด้านข้างมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก จะเห็นว่ากรที่ค่าความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งมีค่าลดลง ทำให้ได้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่เพิ่มมากขึ้นด้วย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.3 และ ตารางที่ 3.4 พิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อนำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงระนาบ xy ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ ข้างต้นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาออกแบบคือ ค่าความกว้างเท่ากับ 0.69λ ค่าความยาวเท่ากับ 0.35λ ค่าความสูงเท่ากับ 0.25λ ค่าระยะระหว่างตัวสายอากาศตามแนวแกน x เท่ากับ 1.2λ ค่าระยะระหว่างตัวสายอากาศตามแนวแกน y เท่ากับ 0.95λ ซึ่งปริภูมิตั้งนี้จะนำสายอากาศสี่องค์ประกอบจัดเรียงกันเป็นแถวลำดับเชิงระนาบ xy โดยให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 16.022 dBi ซึ่งผลการทดลองดูจากบทที่ 4 ต่อไป

จากตารางที่ 3.5 และ ตารางที่ 3.6 พิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อนำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงระนาบ xy ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ ข้างต้นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาออกแบบคือ ค่าความกว้างเท่ากับ 0.69λ ค่าความยาวเท่ากับ 0.35λ ค่าความสูงเท่ากับ 0.25λ ค่าระยะระหว่างตัวสายอากาศตามแนวแกน x เท่ากับ 1.5λ ค่าระยะระหว่างตัวสายอากาศตามแนวแกน y เท่ากับ 1.5λ ซึ่งปริภูมิตั้งนี้จะนำสายอากาศสี่องค์ประกอบจัดเรียงกันเป็นแถวลำดับเชิงระนาบ xy โดยให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 18.473 dBi ซึ่งผลการทดลองดูจากบทที่ 4 ต่อไป



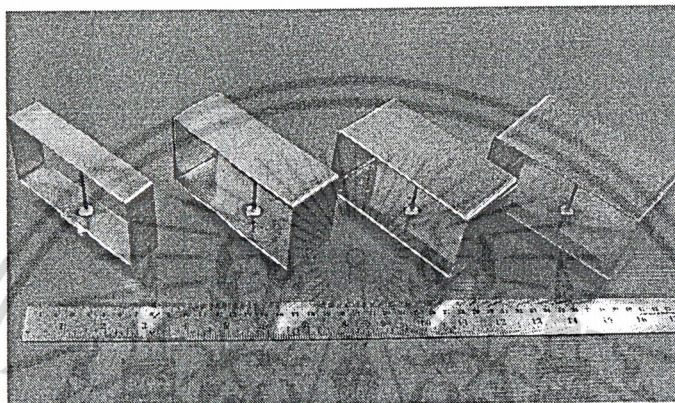
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การสร้าง ทดสอบ และผลการทดลอง

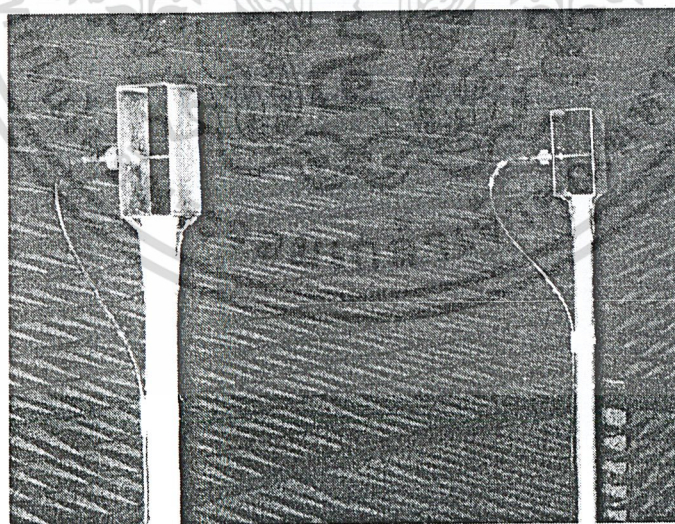
4.1 การสร้าง และทดสอบ

จากการวิเคราะห์ในบทที่ 3 ได้นำมาสร้างสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง 4 ขนาด ซึ่งมีความกว้างเท่ากับ 0.69λ (10.9 ซม.) ความยาวเท่ากับ 0.35λ (5.53 ซม.) และมีความสูง 0.15λ (2.37 ซม.) 0.25λ (3.95 ซม.) 0.35λ (5.53 ซม.) และ 0.45λ (7.11 ซม.) ดังแสดงดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 สายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

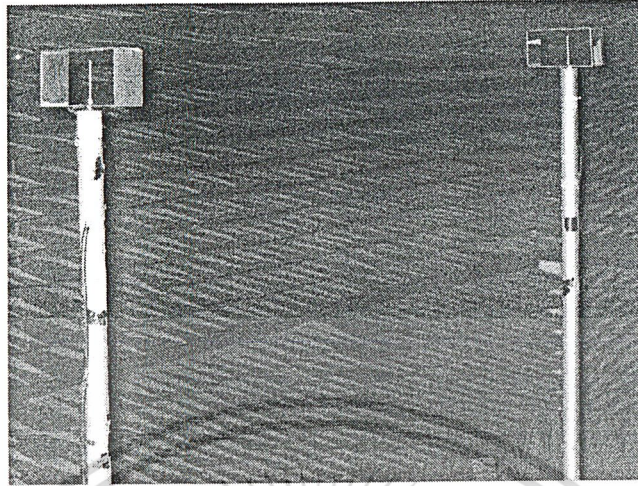
นำสายอากาศที่สร้างขึ้นมาทำการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าดังรูป 4.2



รูปที่ 4.2 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

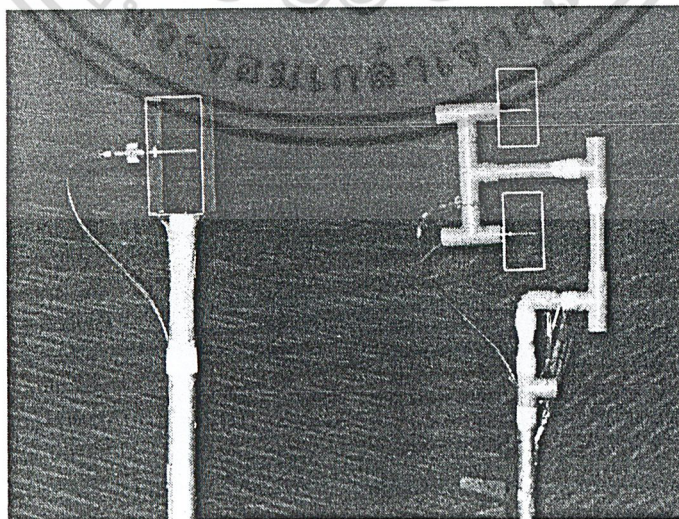
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และนำสายอากาศที่สร้างขึ้นมาทำการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กดังรูป 4.3



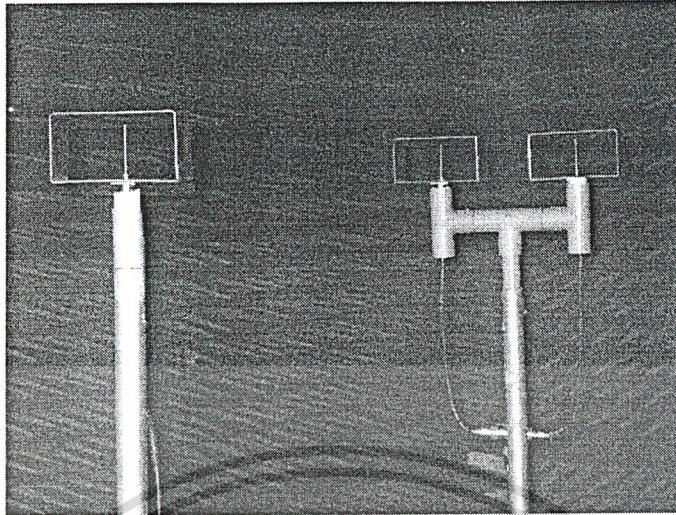
รูปที่ 4.3 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

ในการทดลองใช้สายอากาศที่มีความสูง 0.25λ (3.95 ซม.) เป็นสายอากาศส่งและสายอากาศที่มีความสูง 0.15λ (2.37 ซม.) 0.25λ (3.95 ซม.) 0.35λ (5.53 ซม.) และ 0.45λ (7.11 ซม.) เป็นสายอากาศรับโดยสายอากาศทั้ง 4 ขนาดมีมิติที่ยาวที่สุดเท่ากับ 12.5 ซม. 13 ซม. 13.5 ซม. 14 ซม. และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับไม่ต่ำกว่า 82.3 ซม. 21.398 ซม. 8.89 ซม. 92.27 ซม. ตามลำดับซึ่งในการทดสอบจริงได้วางสายอากาศส่งห่างจากสายอากาศรับเท่ากับ 3 เมตรจากนั้นได้ทำการเลือกสายอากาศที่มีความสูง 0.25λ (3.95 ซม.) มาทำการจัดเรียงแบบแถวลำดับในแนวแกน x เพื่อทำการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2.56 เมตร



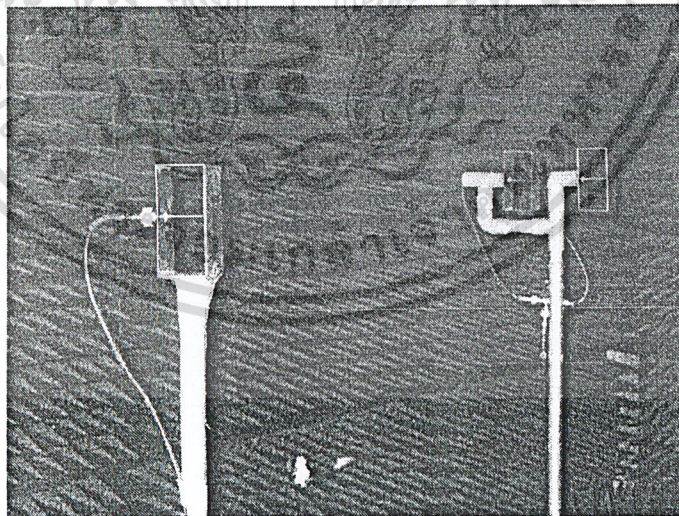
รูปที่ 4.4 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแถวลำดับโพรบเอกสกริปชันเอกรูปสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน x

ไม่ว่ากรณีใดๆ กระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน x และต้องไปยังถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



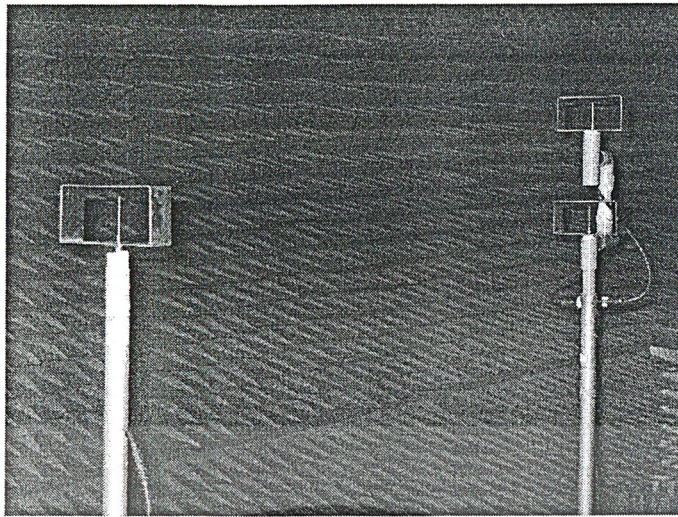
รูปที่ 4.5 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแฉวลำดับโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน x

ในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแฉวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางใช้สายอากาศที่มีความถี่มีความสูง 0.25λ เป็นสายอากาศส่งโดยการทดสอบจริงได้วางสายอากาศรับห่างจากสายอากาศส่งเท่ากับ 3 เมตร โดยที่ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแบบแฉวลำดับในแนวแกน x มีค่าเท่ากับ 1.2λ (18.96 ซม.)



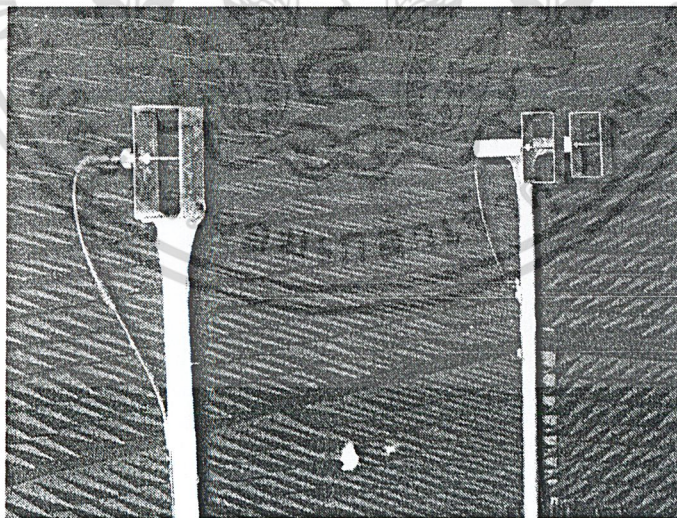
รูปที่ 4.6 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแฉวลำดับโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางในแนวแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



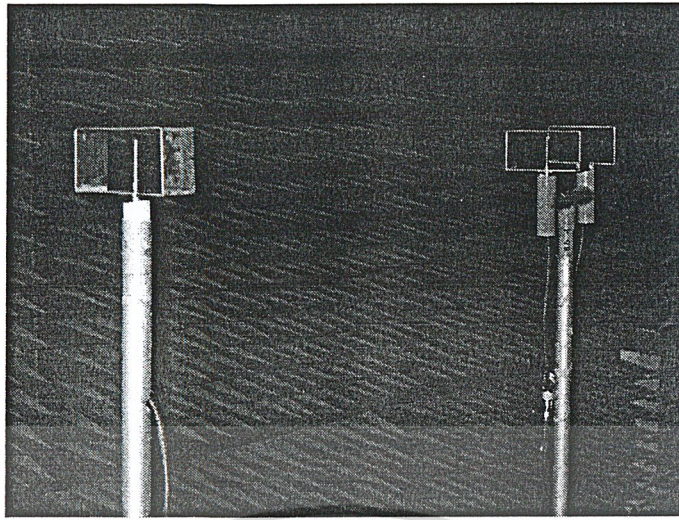
รูปที่ 4.7 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแฉกลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน y

การทดสอบสายอากาศแบบแฉกลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน y มีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.9λ (14.22 ซม.) และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับไม่ต่ำกว่า 1.73 เมตร จากนั้นทำการทดสอบสายอากาศแบบแฉกลำดับในแนวแกน z ซึ่งมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.75λ (11.85 ซม.) และต้องมีระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับไม่ต่ำกว่า 1.37 เมตร (สนามระยะไกล) ซึ่งในการทดสอบจริงใช้ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับเท่ากับ 3 เมตร



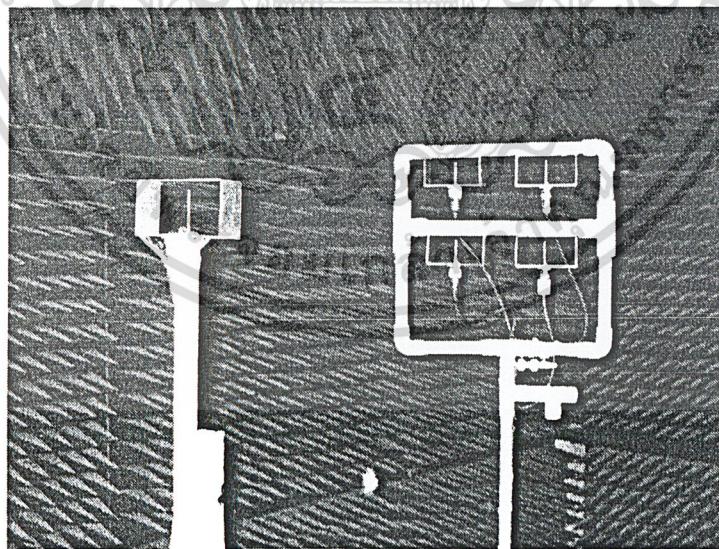
รูปที่ 4.8 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแฉกลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน z

จากนั้นนำระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน x และแนวแกน y มาสร้างเป็นสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบ (xy) ซึ่งจะได้ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกน x เท่ากับ 1.2λ (18.96 ซม.) และแกน y เท่ากับ 1.2λ (18.96 ซม.) และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับไม่ต่ำกว่า 3.29 เมตร โดยการทดสอบจริงได้วางสายได้วางสายอากาศส่งและสายอากาศรับห่างกัน 4 เมตรดังแสดงในรูปที่ 4.10



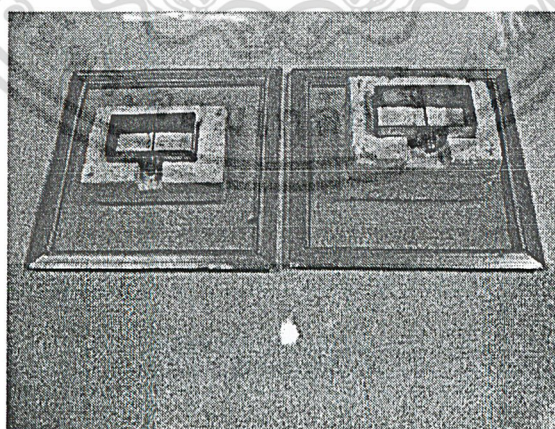
รูปที่ 4.10 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างและทดสอบที่ผ่านมาเป็นการสร้างและทดสอบสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางโดยต่อไปนี้จะเป็นการสร้างสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวโดยนำสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางที่มีขนาดความกว้าง 0.25λ ความยาว 0.69λ และมีความสูง 0.35λ มาทำการวิเคราะห์ซึ่งผลจากการวิเคราะห์นี้ได้นำมาทำการสร้างสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวขึ้นมาสองขนาดคือสายอากาศที่มีระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศกับแผ่นสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.3λ (4.74 ซม.) และ 0.7λ (11.6 ซม.) โดยที่สายอากาศทั้งสองขนาดนี้ทำจากแผ่นสะท้อนคลื่นที่ต่างกันสองชนิดคือชนิดที่หนึ่งแผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นปรินและชนิดที่สองแผ่นสะท้อนคลื่นทำจากตาข่ายอลูมิเนียมซึ่งแสดงในรูป 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ



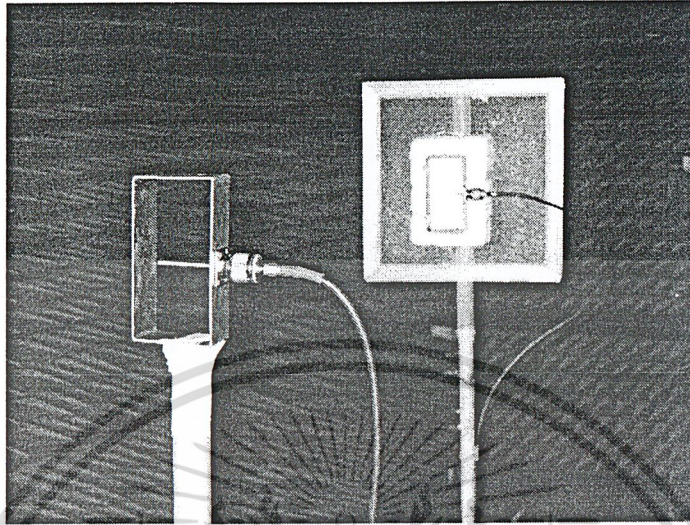
รูป 4.11 โครงสร้างสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวโดยใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นปริน



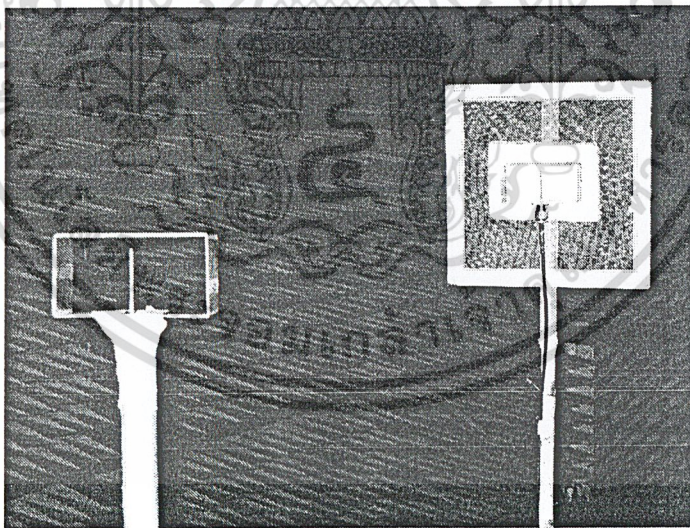
รูป 4.12 โครงสร้างสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวโดยใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นนำสายอากาศที่สร้างมาทำการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 4.13 และ 4.14



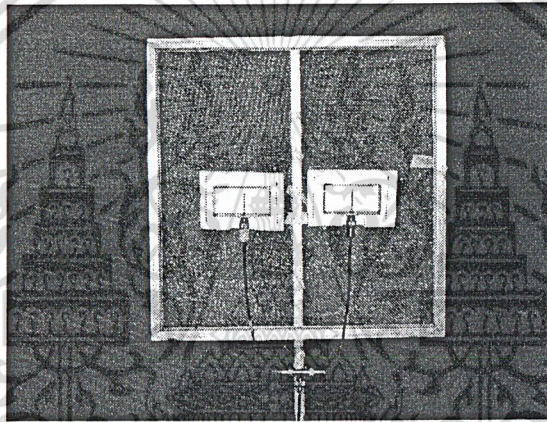
รูป 4.13 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวโดยใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม



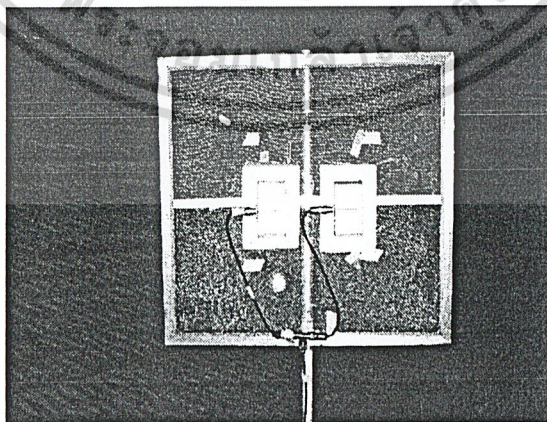
รูป 4.14 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวโดยใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศทั้งสองชนิดมีขนาดกว้าง 1 ฟุตและยาว 1 ฟุตและสายอากาศที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม ต้องมีช่องว่างระหว่างเส้นลวดไม่เกิน $\lambda/10$ [3] ต่อจากการสร้างสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวจะเป็นการสร้างสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว โดยในการทดสอบได้เลือกใช้ตาข่ายอลูมิเนียมมาทำเป็นสะท้อนคลื่นเนื่องจากแผ่นสะท้อนที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียมมีน้ำหนักเบาและต้านลมน้อย ซึ่งแผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียมมีขนาดกว้าง 2 ฟุตและยาว 2 ฟุต และเลือกระยะห่างระหว่างสายอากาศและแผ่นสะท้อนคลื่นเท่ากับ 0.7λ มาใช้ในการทดสอบเนื่องจากมีค่าสภาพเงาจะงทิสทางที่สูง ซึ่งระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศในแนวแกน x และแนวแกน y มีค่าเท่ากับ 1.5λ (23.7 ซม.) ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16 และมีสนามระยะไกลไม่ต่ำกว่า 12.15 เมตรซึ่งในการทดสอบจริงใช้ระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ 13.5 เมตร



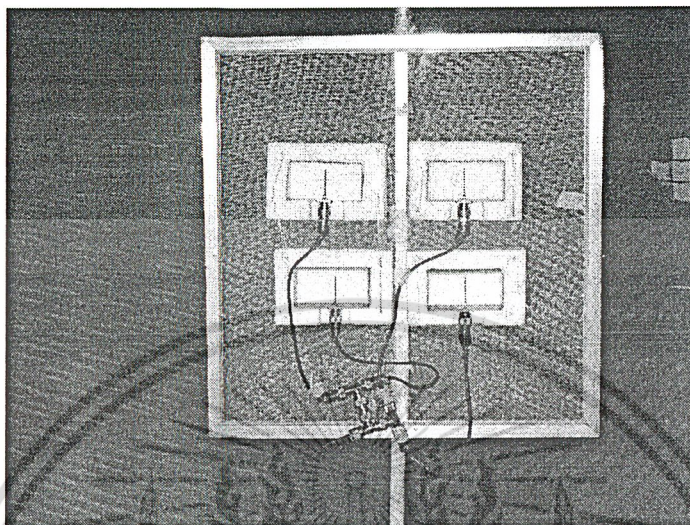
รูป 4.15 สายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน x โดยใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม



รูป 4.16 สายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน y โดยใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนต่อไปเป็นการสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบ(xy)ของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบทิสทางเดียวโดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกน x และแกน y เท่ากับ 1.5λ และใช้ระยะในการทดสอบเท่ากับ 13.5 เมตร



รูป 4.17 สายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบ(xy)ของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมแบบทิสทางเดียวโดยใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม

หลังจากที่ทำการสร้างและทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแล้วขั้นตอนต่อมาคือ การทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศ



รูปที่ 4.18 การต่ออุปกรณ์ที่ทดสอบอัตราขยายของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาอัตราขยายของสายอากาศมีสูตรดังนี้

$$G_r = P_r - P_t - G_t - L_r - L_t - L_s \tag{4.1}$$

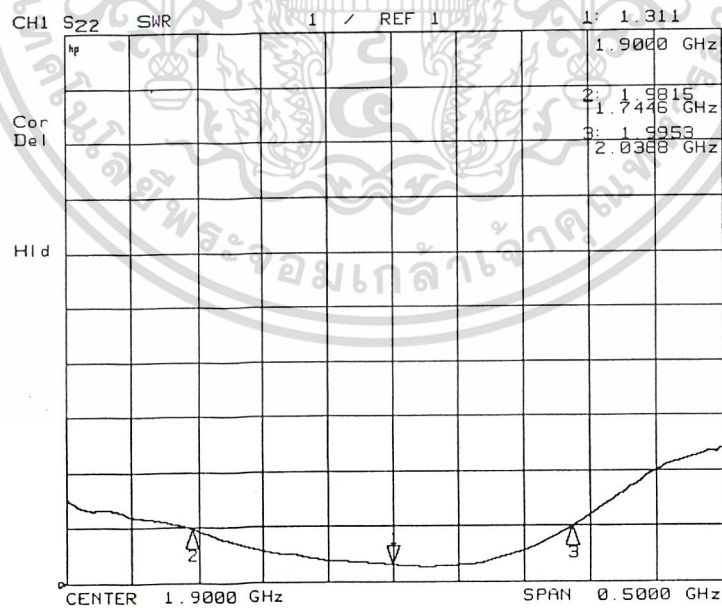
โดยที่ P_t มีค่าเท่ากับ 0dBm และการสูญเสียในอากาศมีค่าเท่ากับ

$$L_s = 20 \log(4\pi R/\lambda) \tag{4.2}$$

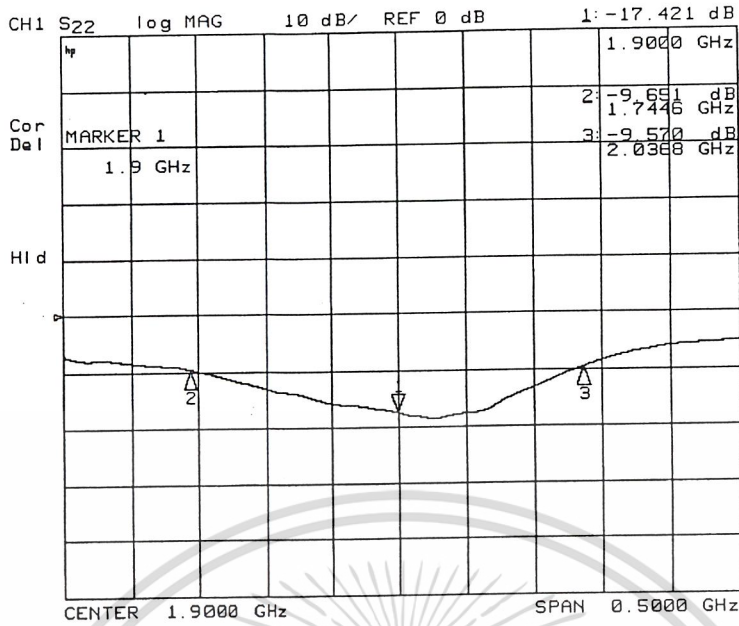
ซึ่งในการทดสอบใช้ระยะระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 ระยะคือระยะที่ 1 มีค่าเท่ากับ 4.5 เมตร และระยะที่ 2 มีค่าเท่ากับ 13.5 เมตรจะได้และการสูญเสียในอากาศมีค่าเท่ากับ 51.081 dBm และ 60.624 dBm ตามลำดับและมีการสูญเสียในสายที่ใช้ต่อกับอากาศรับ(L_r)เท่ากับ 1.5 dBm และมีค่าการสูญเสียในสายที่ใช้ต่อกับสายอากาศส่ง(L_t) มีค่าเท่ากับ 60.624 dBm และใช้กำลังในการส่งเท่ากับ 0 dBm เมื่อทราบค่าต่าง ๆ แล้วนำอุปกรณ์มาต่อตามรูปที่ 4.18 และทำการวัดค่ากำลังที่รับและนำไปคำนวณโดยใช้สมการที่ 4.1 จะได้อัตราขยายของสายอากาศ

4.2 ผลการทดลอง

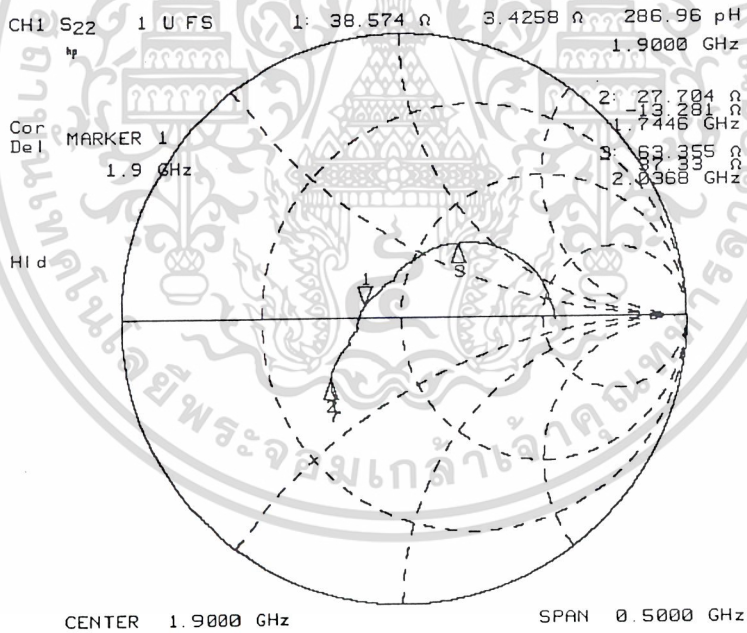
ในการทดสอบสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเมื่อความสูงของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.15λ ได้ผลต่างๆดังนี้



รูปที่ 4.19 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเมื่อความสูงของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.15λ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

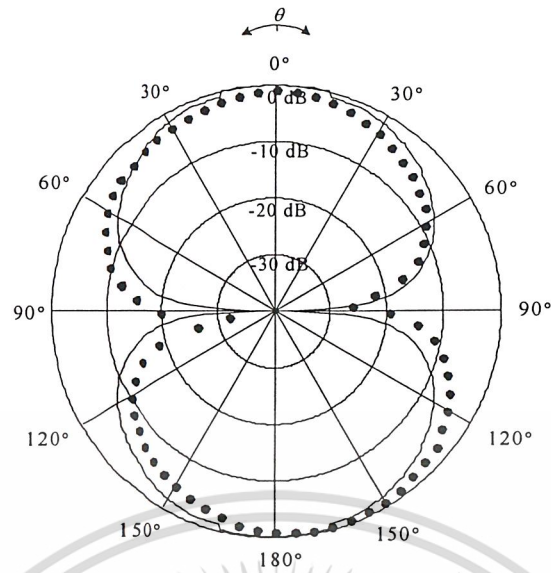


รูปที่ 4.20 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเมื่อความสูงของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.15λ



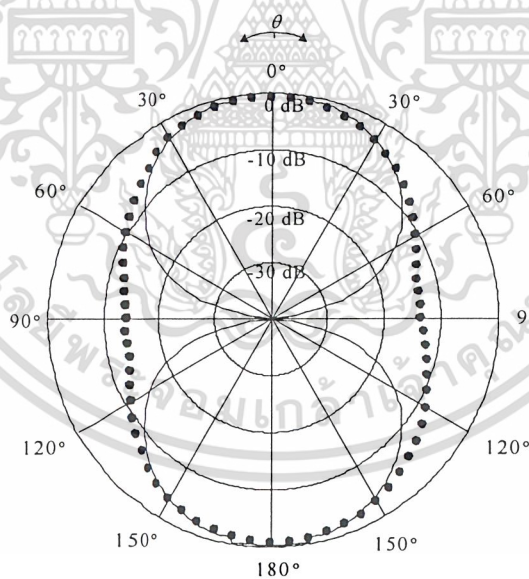
รูปที่ 4.21 อิมพีแดนซ์ของสายโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมแบบสองทิศทางเมื่อความสูงของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.15λ

จากผลการทดลองได้ค่า swr เท่ากับ 1.311 มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 15.4 % การสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ 17.421 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $38.574 + j3.4528$ โอห์ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



————— ผลจากการคำนวณ
 ผลจากการทดสอบ

รูปที่ 4.22 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง เมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.15λ

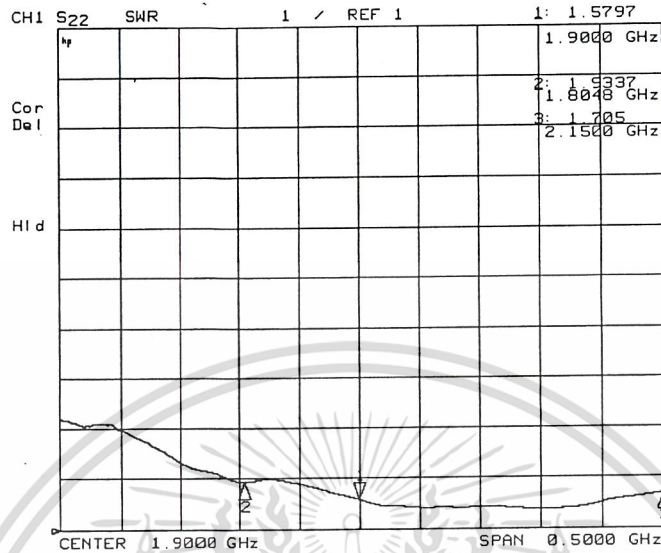


————— ผลจากการคำนวณ
 ผลจากการทดสอบ

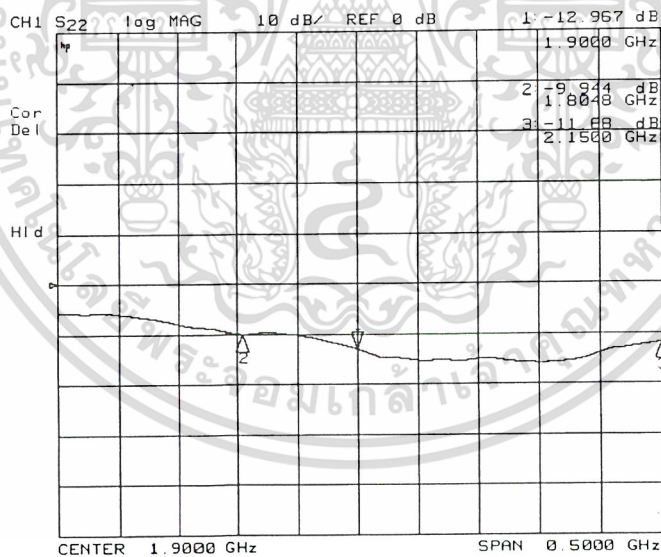
รูปที่ 4.23 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง เมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.15λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการทดสอบสายโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง เมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.25λ จะได้ค่าต่างๆดังนี้

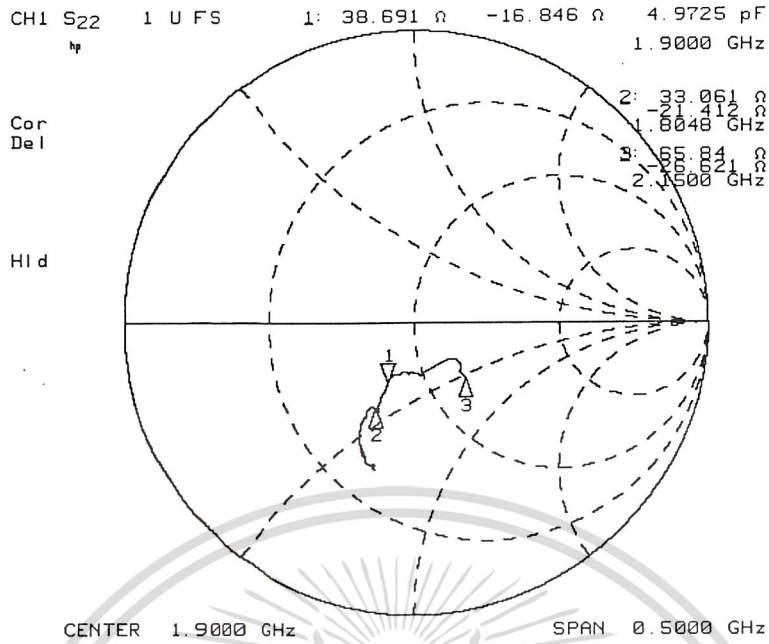


รูปที่ 4.24 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง เมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.25λ



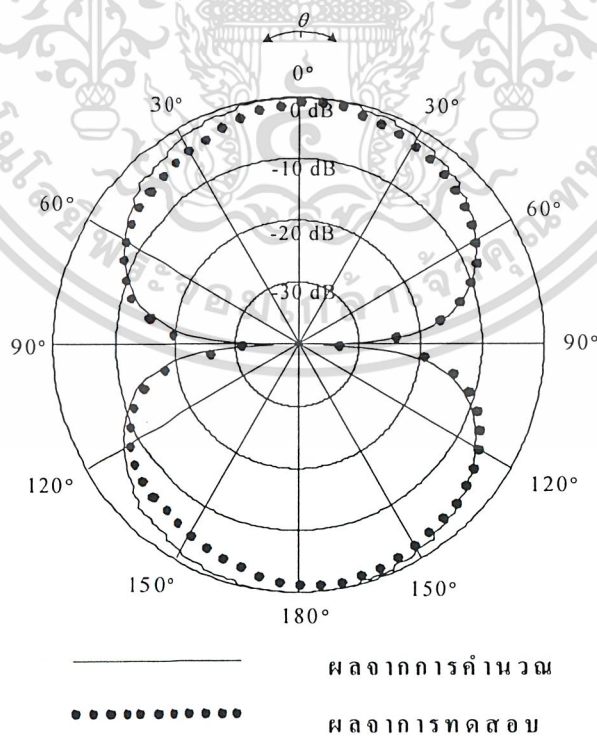
รูปที่ 4.25 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง เมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.25λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

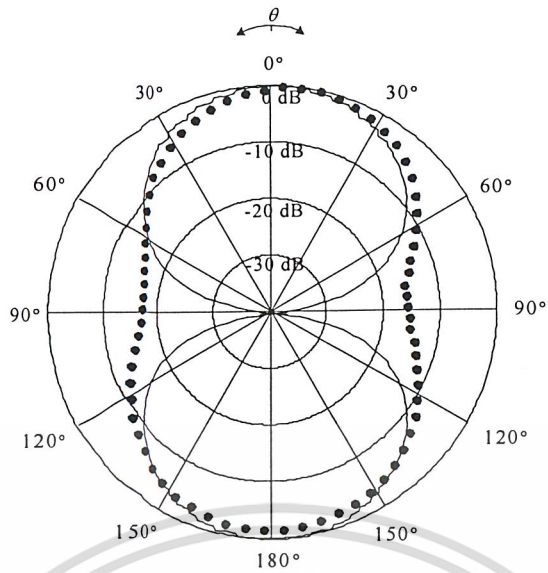


รูปที่ 4.26 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.25λ

จากผลการทดลองได้ค่า swr เท่ากับ 1.5797 มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 18.6 % การสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ 12.967 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $38.691 - j16.846$ โอห์มและมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 4.27 และ รูปที่ 4.28



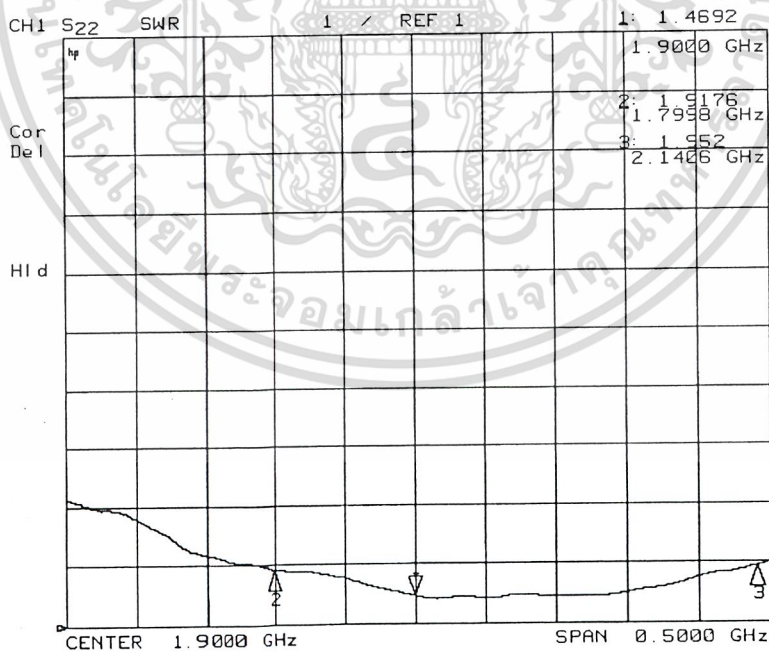
รูปที่ 4.27 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมค่า 0.25λ เมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.25λ อิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



————— ผลจากการคำนวณ
 ผลจากการทดสอบ

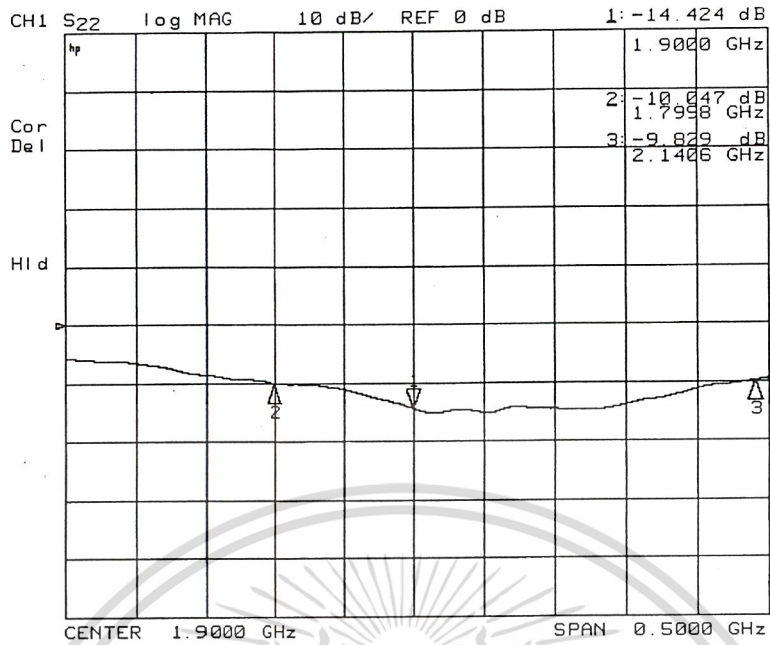
รูปที่ 4.28 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง เมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.25λ

ผลการทดสอบสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง เมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.35λ จะได้ค่าต่างๆดังนี้

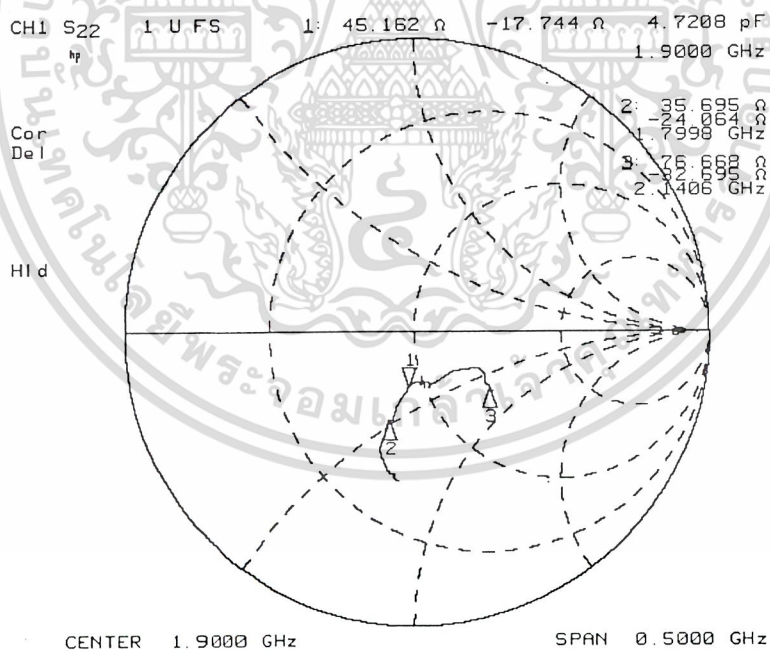


รูปที่ 4.29 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.35λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

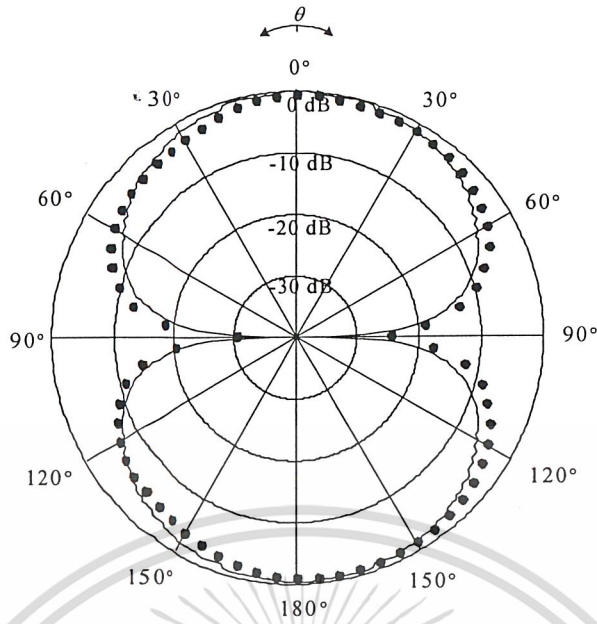


รูปที่ 4.30 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.35λ



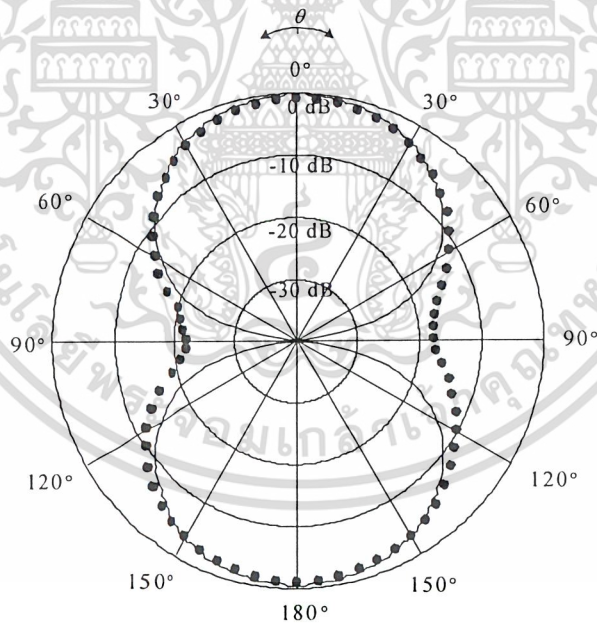
รูปที่ 4.31 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.35λ

เอกสารนี้เป็นจากผลการทดลองได้ค่า swr เท่ากับ 1.4692 มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 17.9368% การสูญเสียย้อนกลับค่าเท่ากับ 14.424 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $45.162 - j17.774$ โอห์ม ซึ่งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



————— ผลจากการคำนวณ
 ●●●●●●●●●● ผลจากการทดสอบ

รูปที่4.32 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.35λ

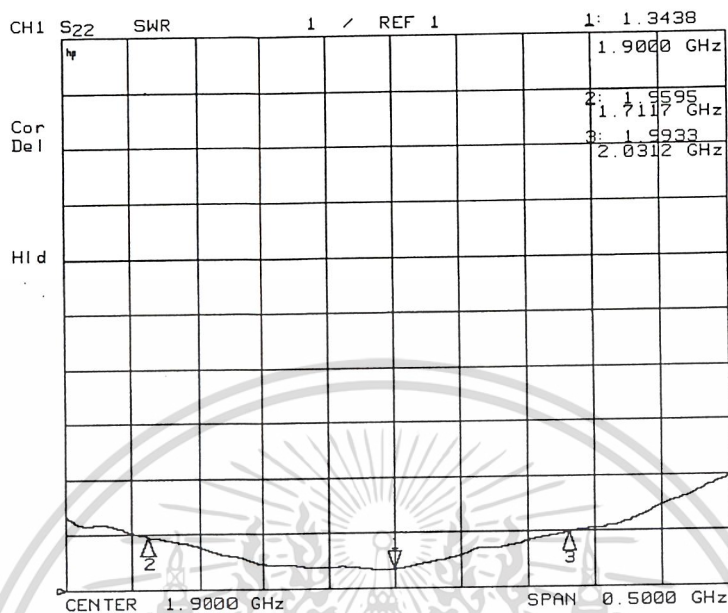


————— ผลจากการคำนวณ
 ●●●●●●●●●● ผลจากการทดสอบ

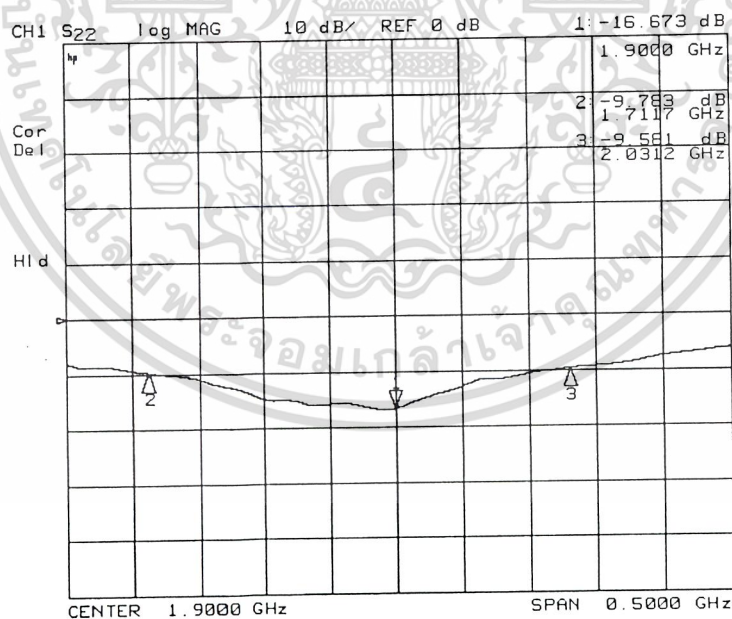
รูปที่4.33 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง เมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.35λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทาง เมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.45λ จะได้ค่าต่างๆดังนี้

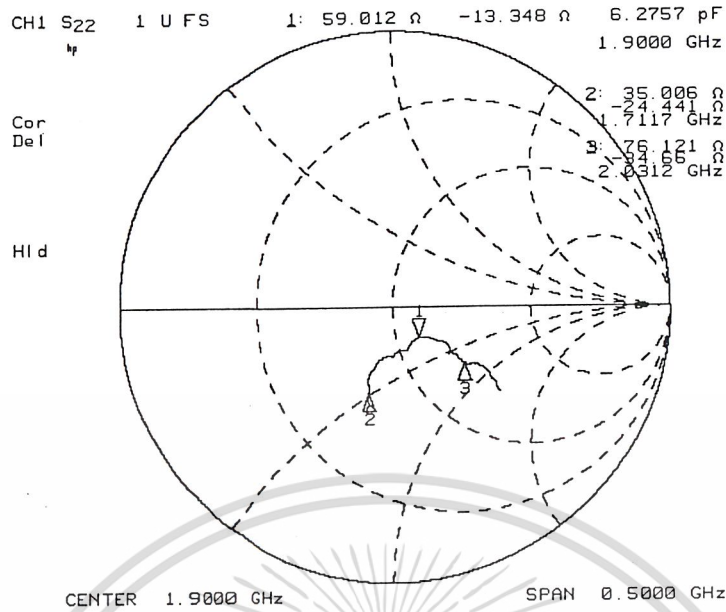


รูปที่ 4.34 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.45λ



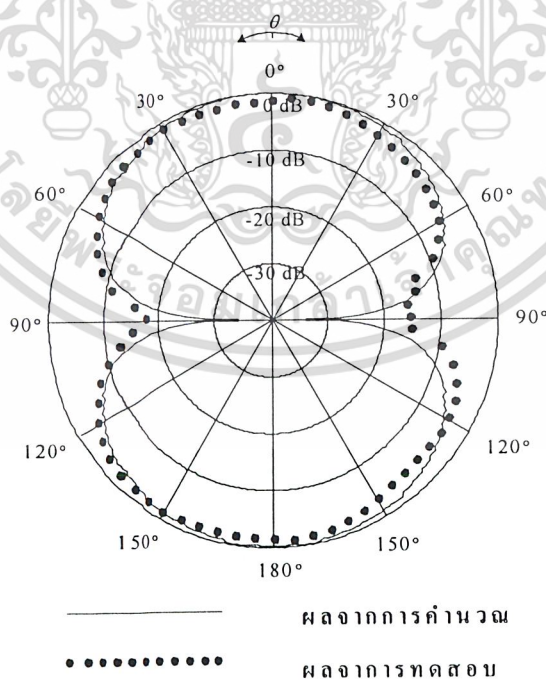
รูปที่ 4.35 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.45λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

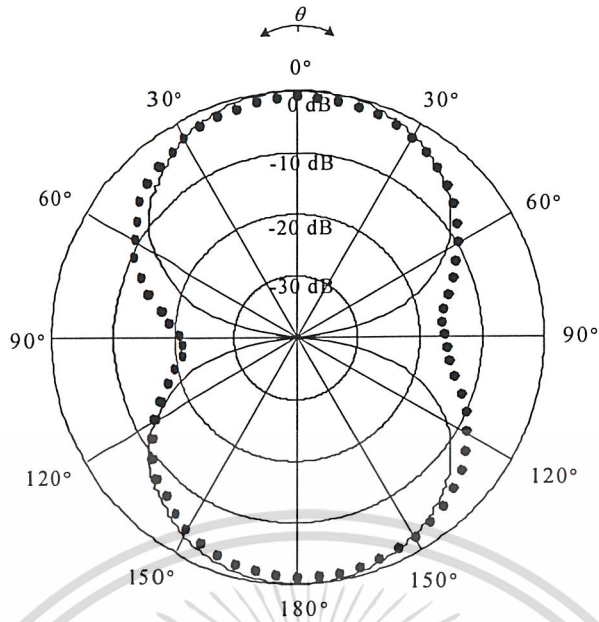


รูปที่ 4.36 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.45λ

จากผลการทดลองได้ค่า SWR เท่ากับ 1.3438 มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 16.815% การสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ 16.815 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $59.012 - j13.348$ โอห์ม และได้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 4.37 และ รูปที่ 4.38



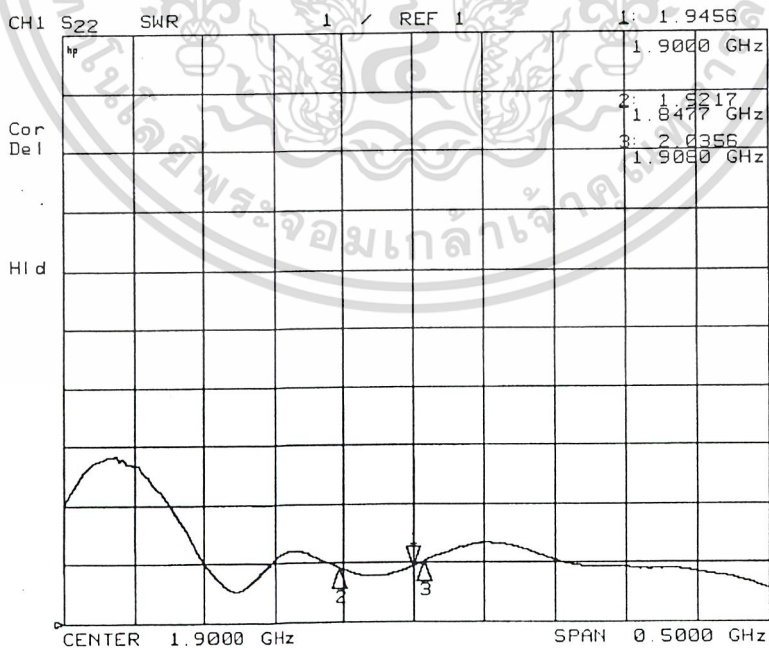
รูปที่ 4.37 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



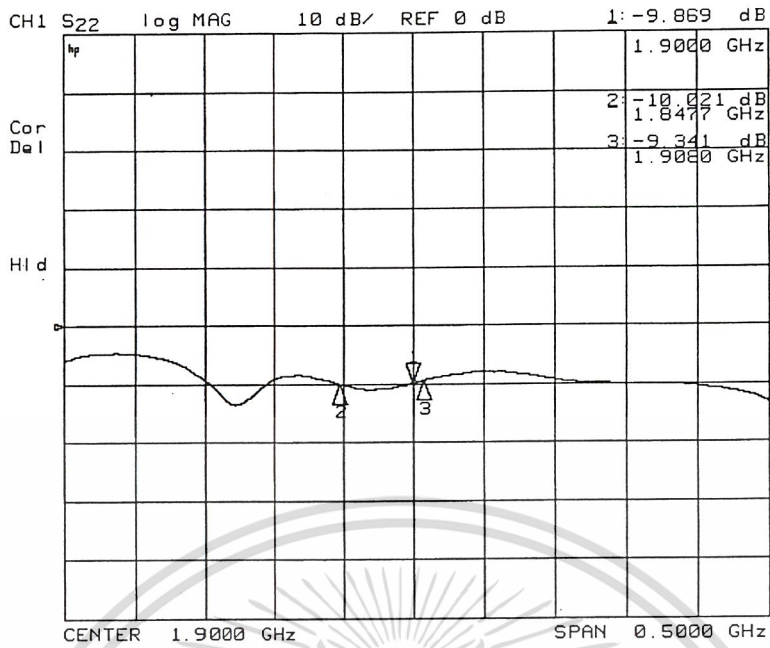
————— ผลจากการคำนวณ
 ผลจากการทดสอบ

รูปที่ 4.38 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง เมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.45λ

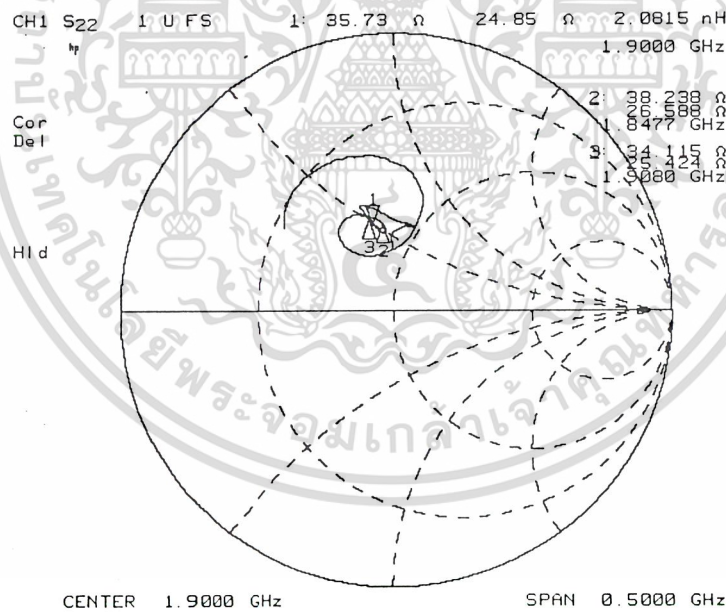
ผลการทดสอบสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน x เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 1.2λ ได้ค่าต่างๆดังนี้



รูปที่ 4.39 แอ็คตร้าส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง ไม่ว่าจะกรณีใดในแนวแกน x เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 1.2λ จึงได้มีการนำไปใช้

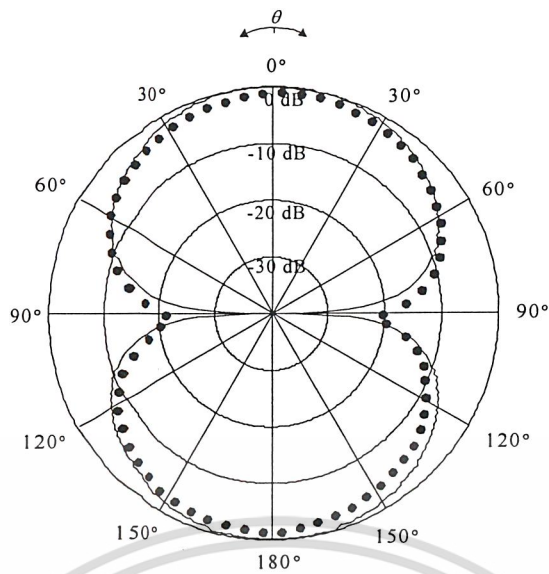


รูปที่ 4.40 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน x เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 1.2λ



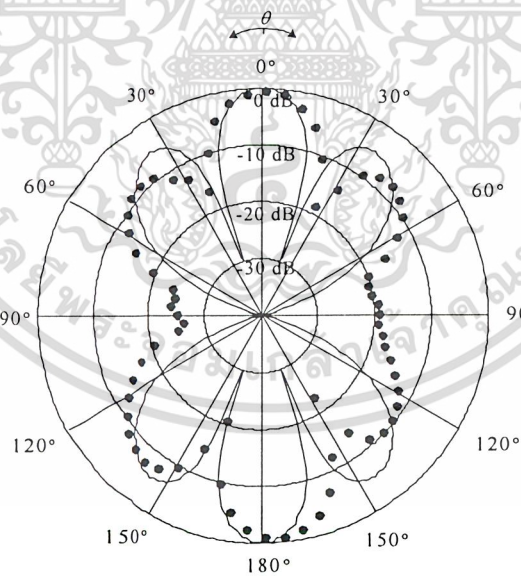
รูปที่ 4.41 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน x เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 1.2λ

จากผลการทดลองได้ค่า swr เท่ากับ 1.9456 มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 3 % การสูญเสียสะท้อนกลับเท่ากับ 9.869 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 35+ j24.85 โอห์มและมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 4.42 และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.43
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



— ผลจากการคำนวณ
 ผลจากการทดสอบ

รูปที่ 4.42 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุนวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน x เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 1.2λ

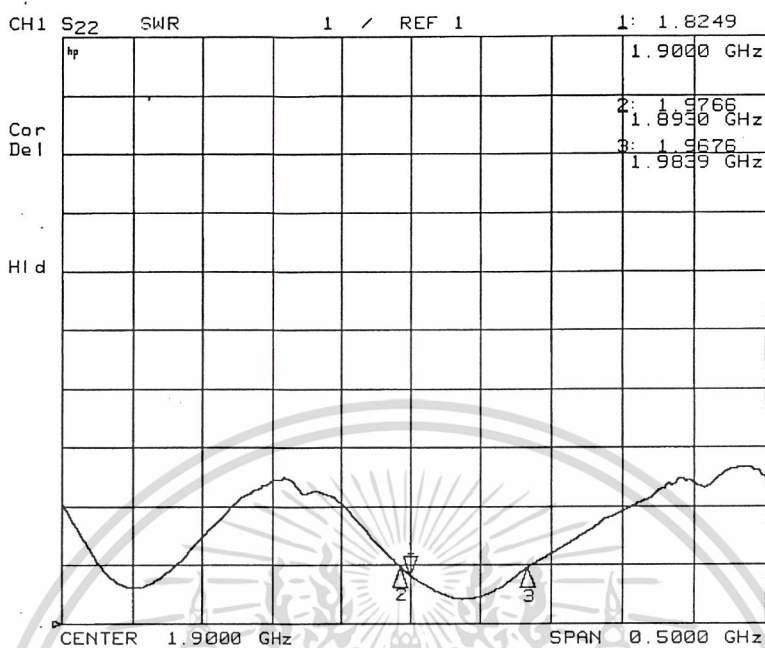


— ผลจากการคำนวณ
 ผลจากการทดสอบ

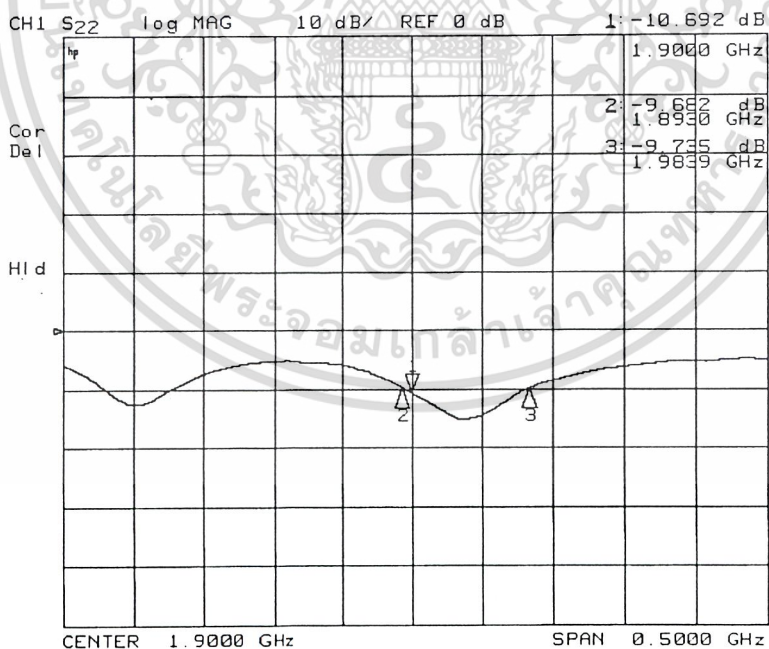
รูปที่ 4.43 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุนวงแหวนสี่เหลี่ยมในแนวแกน x ที่ทำการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทาง เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 1.2λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน y เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.9λ ได้ค่าต่างๆดังนี้

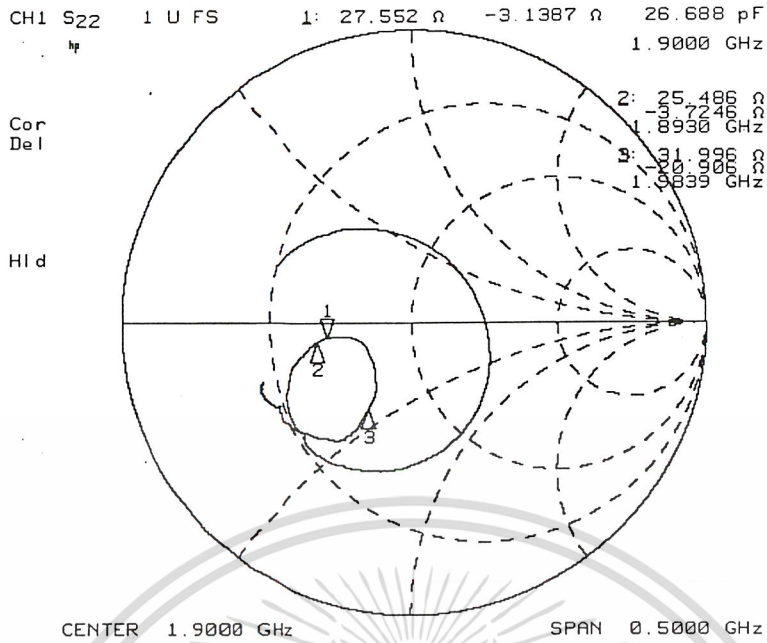


รูปที่ 4.44 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน y เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.9λ



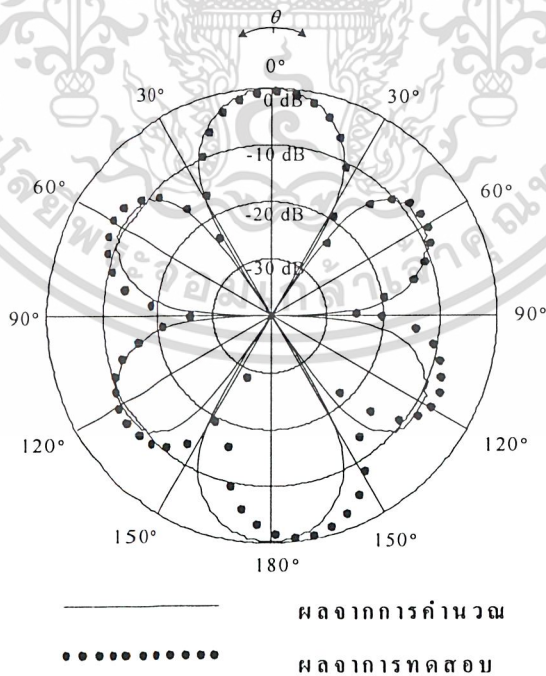
รูปที่ 4.45 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน y เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.9λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

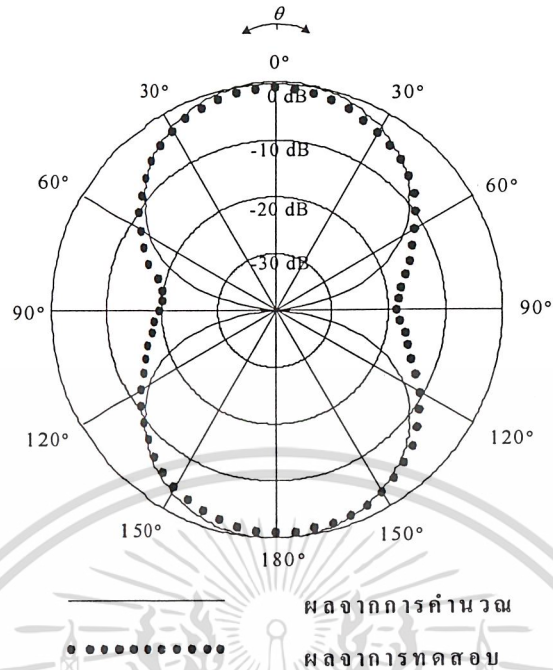


รูปที่ 4.46 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบแฉวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน y เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.9λ

จากการทดลองได้ค่า swr เท่ากับ 1.8249 มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 4.7 % การสูญเสียสะท้อนกลับเท่ากับ 10.692 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $27.552 - j3.1387$ โอห์มและมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 4.47 และรูปที่ 4.48

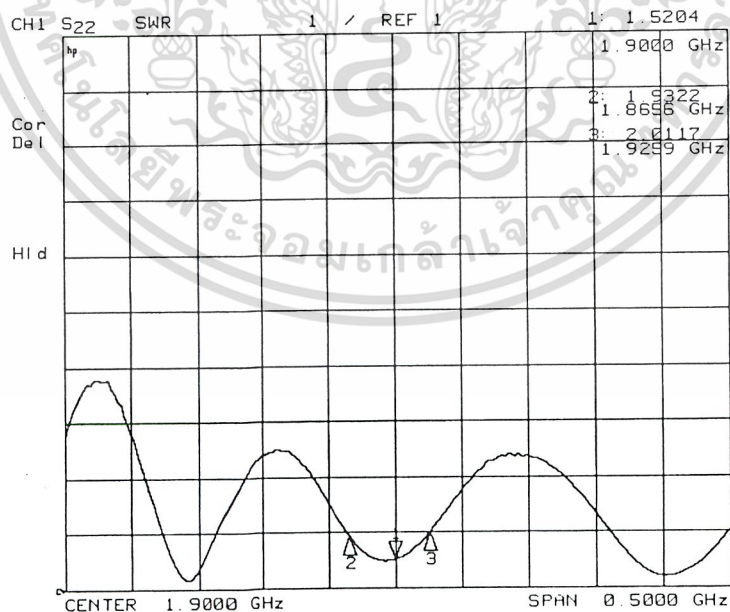


รูปที่ 4.47 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแฉวลำดับของโพรบกระตุ้น เอกสารนี้เป็นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน y เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.9λ ก็ทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

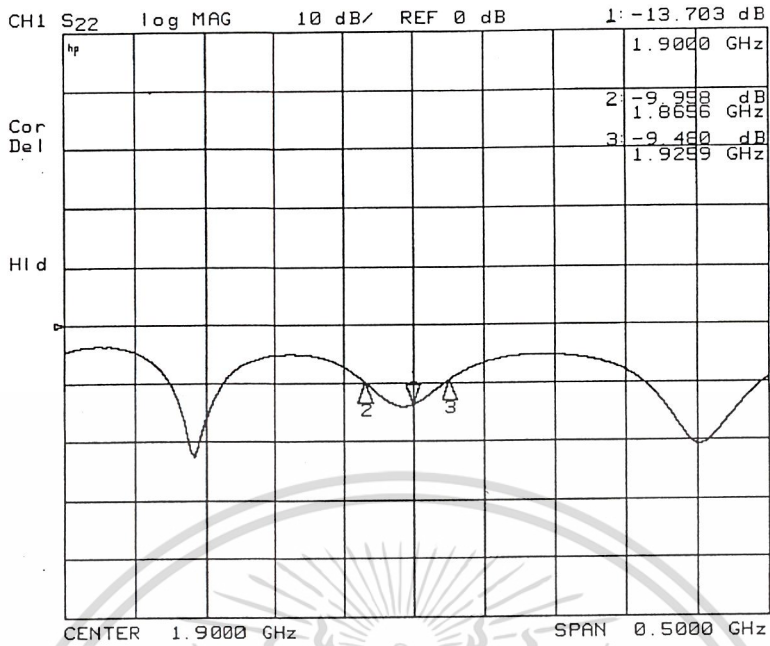


รูปที่ 4.48 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ่นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง ในแนวแกน y เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.9λ

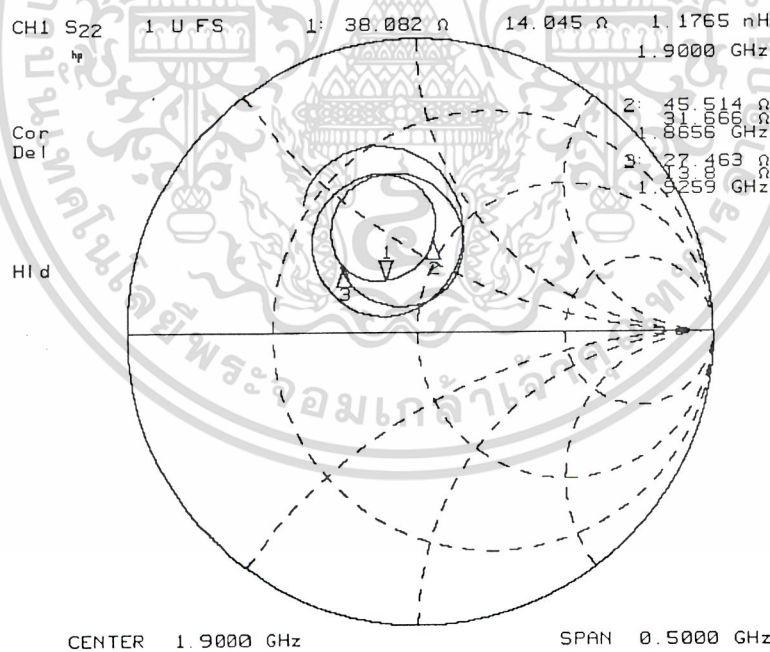
ผลการทดสอบสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ่นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน z เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.75λ ได้ค่าต่างๆดังนี้



รูปที่ 4.49 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ่นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง เอกสารนี้เป็นเอินแนวแกน z ที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าไม่ว่ากรณีใดๆค่าเท่ากับ 0.75λ ามีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

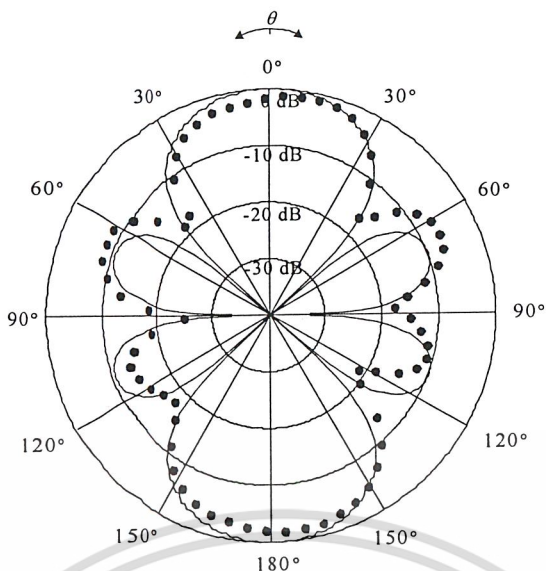


รูปที่ 4.50 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบแฉวลำดับของโพรบกระดุนวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน z เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.75λ



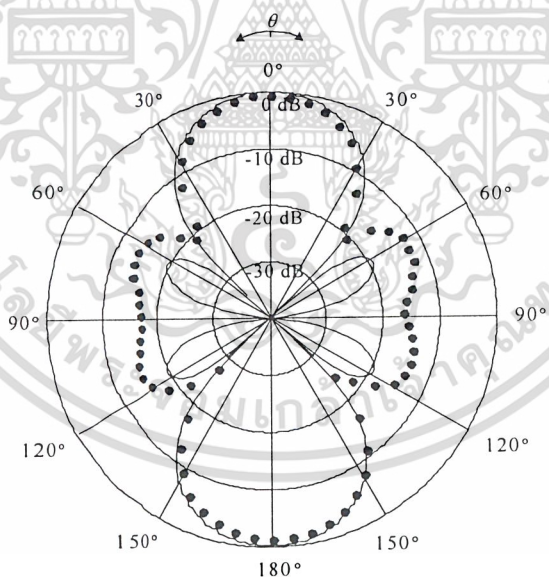
รูปที่ 4.51 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบแฉวลำดับของโพรบกระดุนวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน z เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.75λ

จากผลการทดลองได้ค่า swr เท่ากับ 1.5204 มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 3.1% การสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ 13.703 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $38.082 + j14.045$ โอห์ม และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 4.52 และรูปที่ 4.53 อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



————— ผลจากการคำนวณ
 ผลจากการทดสอบ

รูปที่ 4.52 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ่นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน z เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.75λ

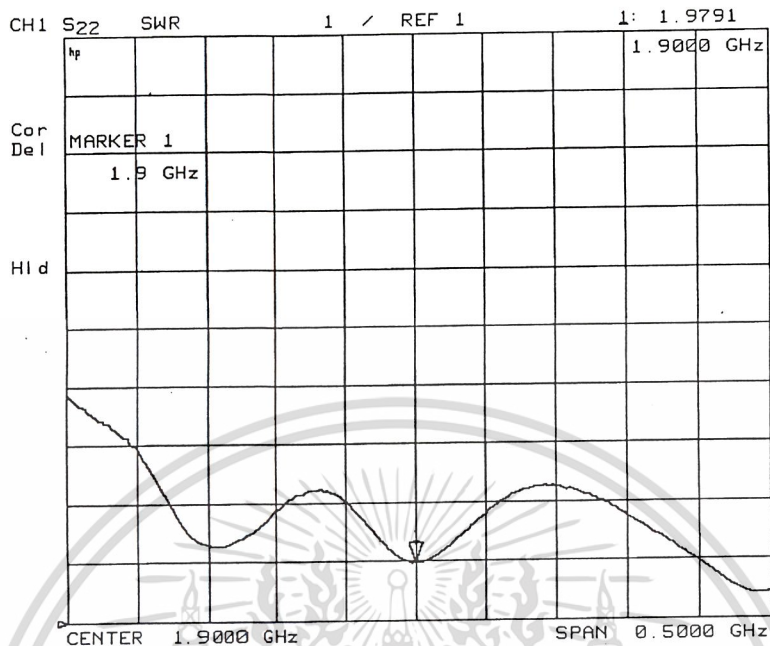


————— ผลจากการคำนวณ
 ผลจากการทดสอบ

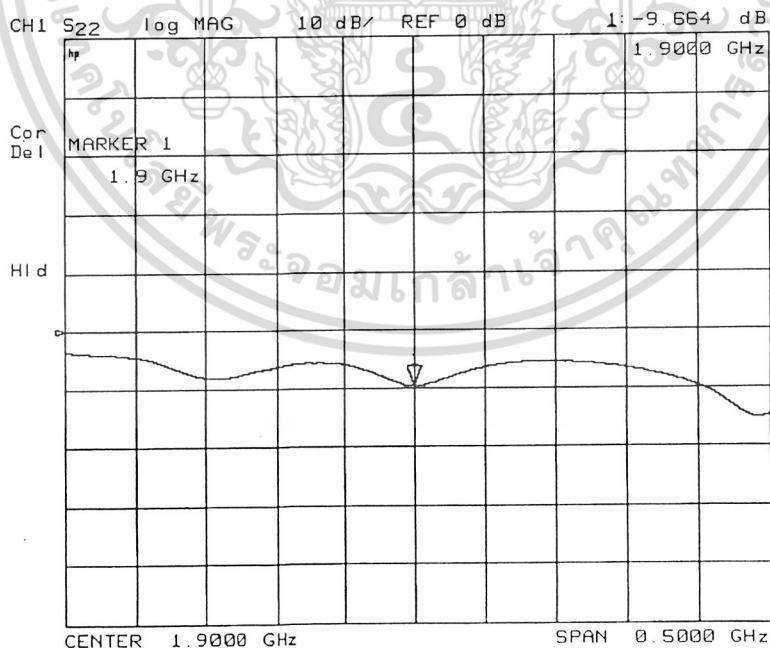
รูปที่ 4.53 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ่นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางในแนวแกน z เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.75λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

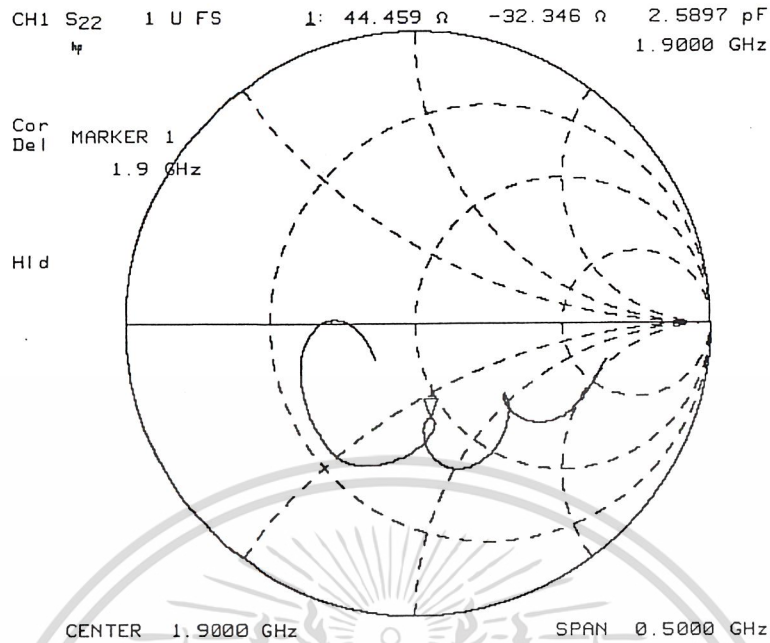
ผลการทดสอบสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบ(xy)ของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางได้ค่าต่างๆดังนี้



รูปที่ 4.54 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางที่มีเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนว x มีค่าเท่ากับ 1.2λ และระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนว y มีค่าเท่ากับ 0.9λ

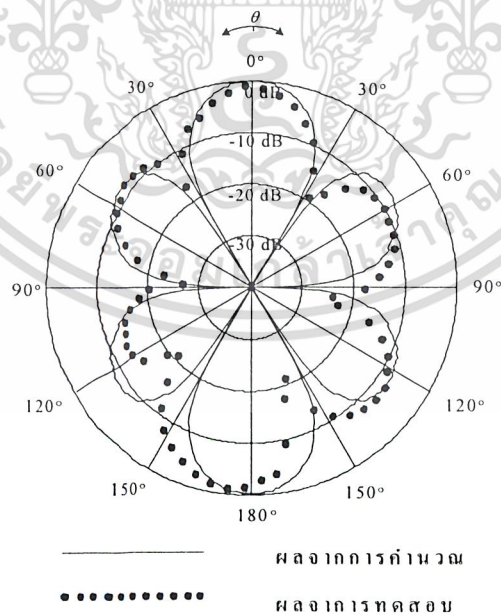


รูปที่ 4.55 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนว x มีค่าเท่ากับ 1.2λ และระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนว y มีค่าเท่ากับ 0.9λ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.56 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบของ โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนว x มีค่าเท่ากับ 1.2λ และระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนว y มีค่าเท่ากับ 0.9λ

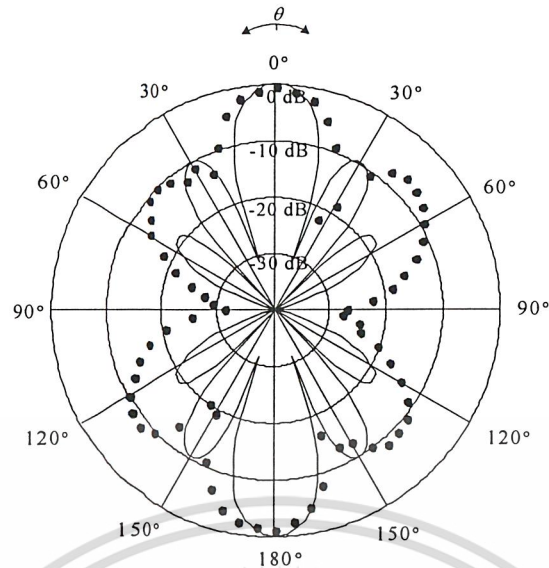
จากผลการทดลองได้ค่า swr เท่ากับ 1.9791 มี การสูญเสียสะท้อนกลับเท่ากับ 17.421 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $44.459 + j32.346$ โอห์มและมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 4.57 และรูปที่ 4.58



รูปที่ 4.57 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบของ

โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกน x มีค่าเท่ากับ 1.2λ และระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกน y มีค่าเท่ากับ 0.9λ

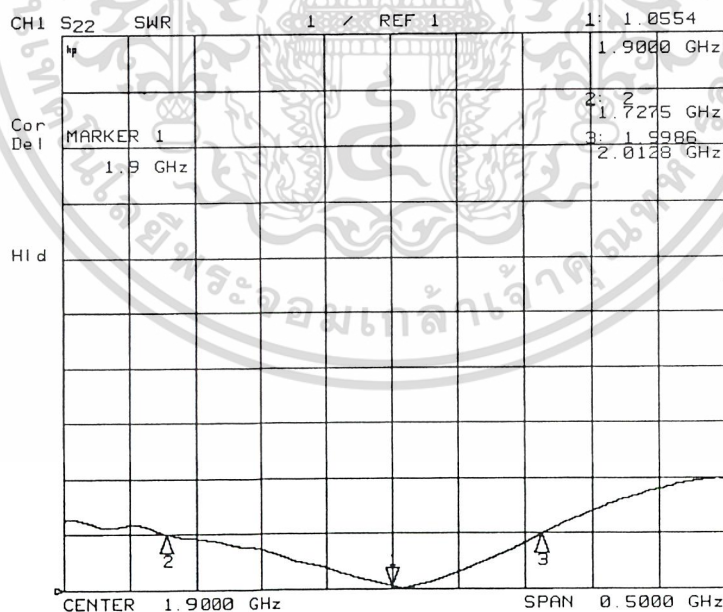
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



— ผลจากการคำนวณ
 ผลจากการทดสอบ

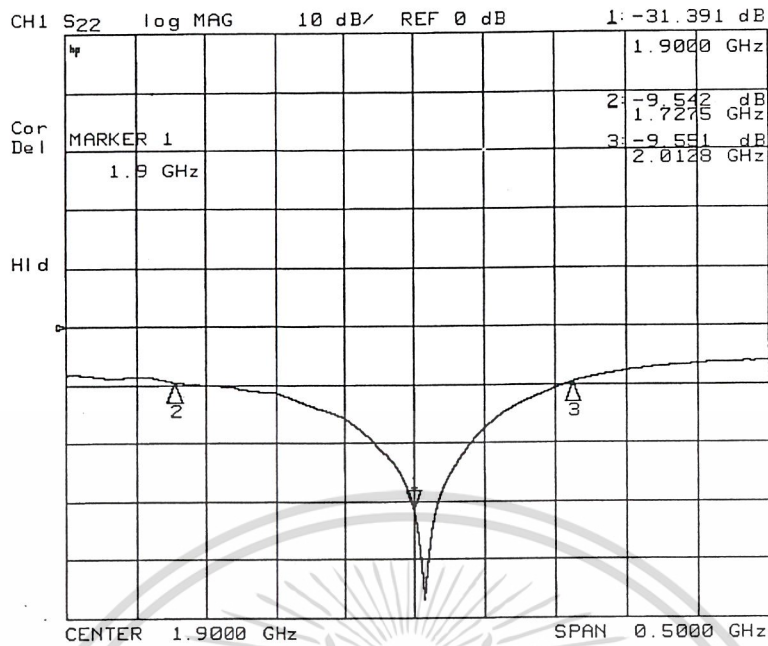
รูปที่ 4.58 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบของ
 โพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกน x มีค่า
 เท่ากับ 1.2λ และระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกน y มีค่าเท่ากับ 0.9λ

ผลการทดสอบสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำ
 จากแผ่นปรินและระยะห่างระหว่างแผ่นสะท้อนคลื่นและสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.3λ มีค่าต่างๆที่วัดได้ดังนี้

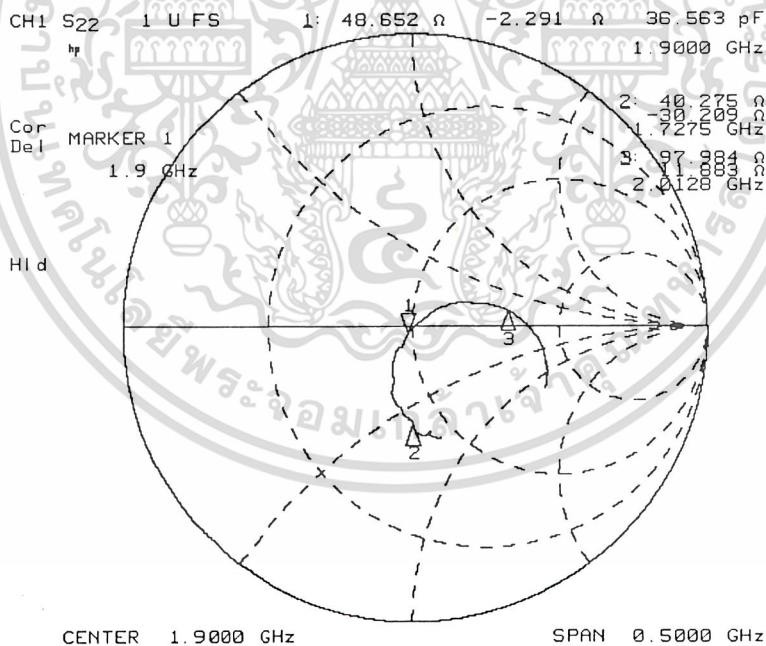


รูปที่ 4.59 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อน
 คลื่นที่ทำจากแผ่นปริน ($h=0.3\lambda$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



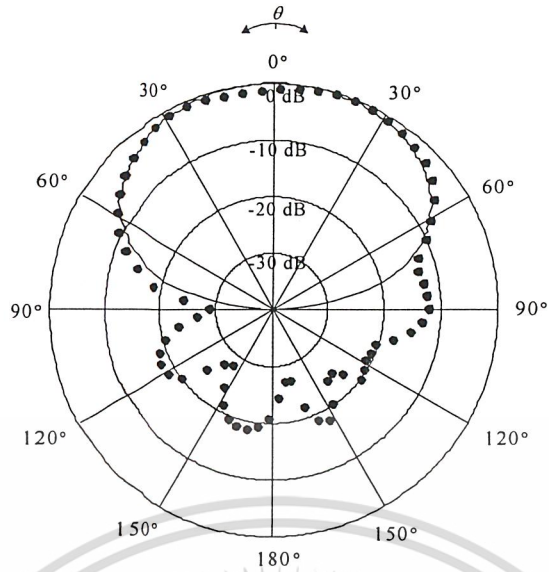
รูปที่ 4.60 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นปริน (h=0.3λ)



รูปที่ 4.61 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นปริน (h=0.3λ)

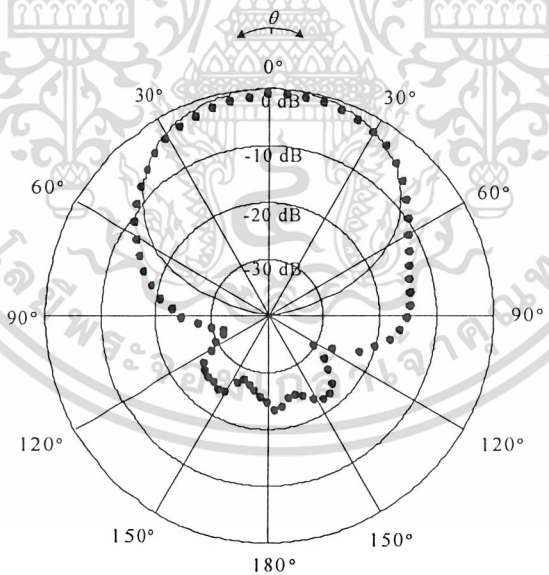
จากผลการทดลองได้ค่า swr เท่ากับ 1.0554 มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 15% การสูญเสียสะท้อนกลับเท่ากับ -31.391 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 48.652 - j2.291 โอห์ม และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 4.62 และรูปที่ 4.63

ไม่ทราบแน่ชัด ฟังสน อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



————— ผลจากการคำนวณ
 ผลจากการทดสอบ

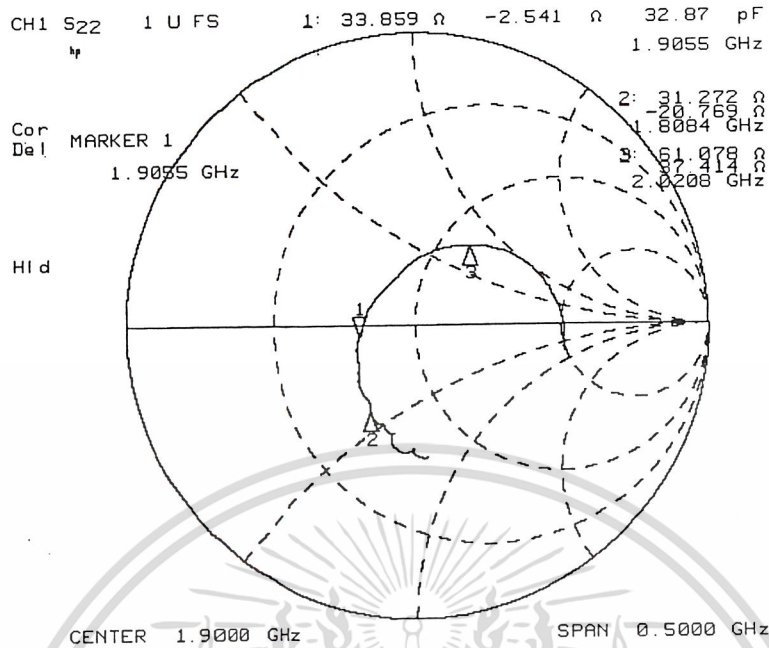
รูปที่ 4.62 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุนวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นปริน ($h=0.3\lambda$)



————— ผลจากการคำนวณ
 ผลจากการทดสอบ

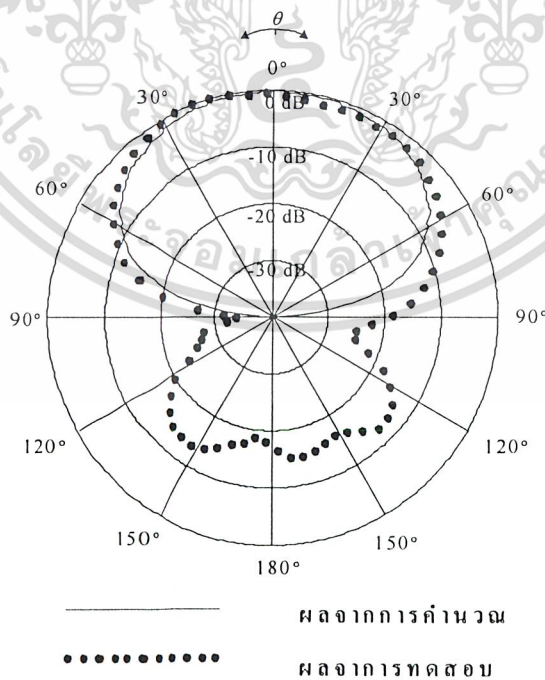
รูปที่ 4.63 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุนวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นปริน ($h=0.3\lambda$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



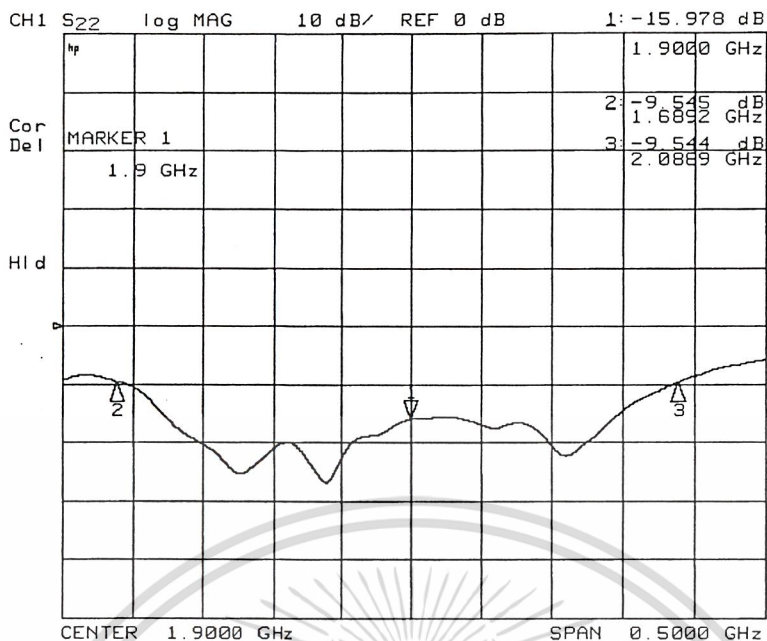
รูปที่ 4.66 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม ($h=0.3\lambda$)

จากผลการทดลองได้ค่า swr เท่ากับ 1.483 มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 11% การสูญเสียสะท้อนกลับเท่ากับ 14.211 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $38.859 - j2.541$ โอห์มและมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 4.67 และรูปที่ 4.68

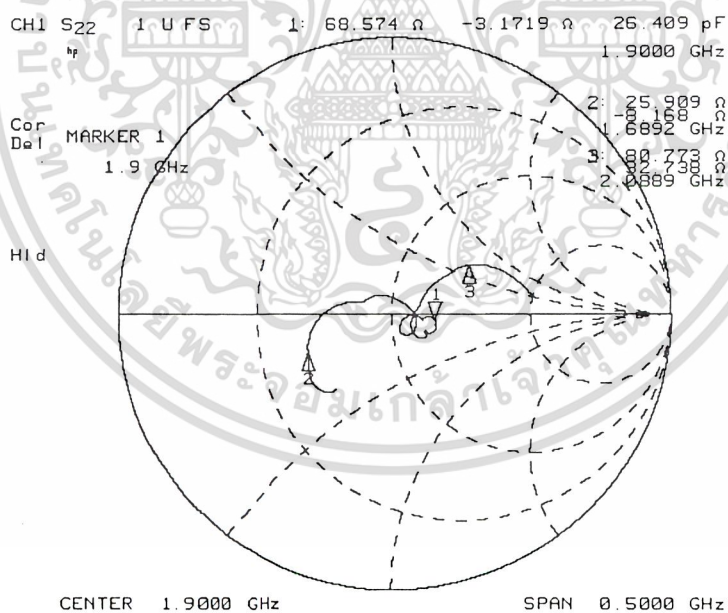


รูปที่ 4.67 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม ($h=0.3\lambda$)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

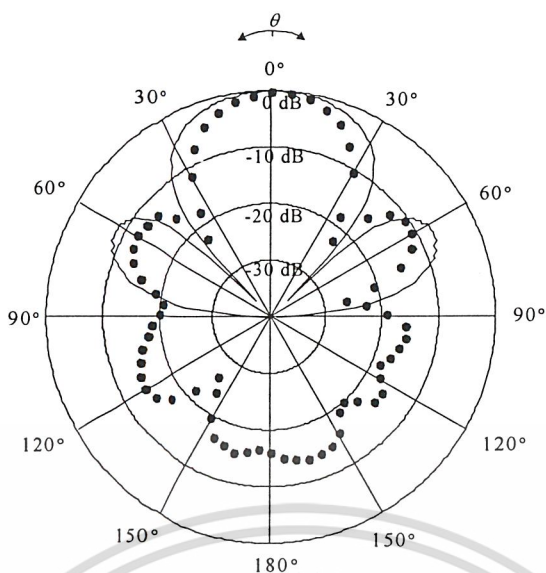


รูปที่ 4.70 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นปริน (h=0.7λ)



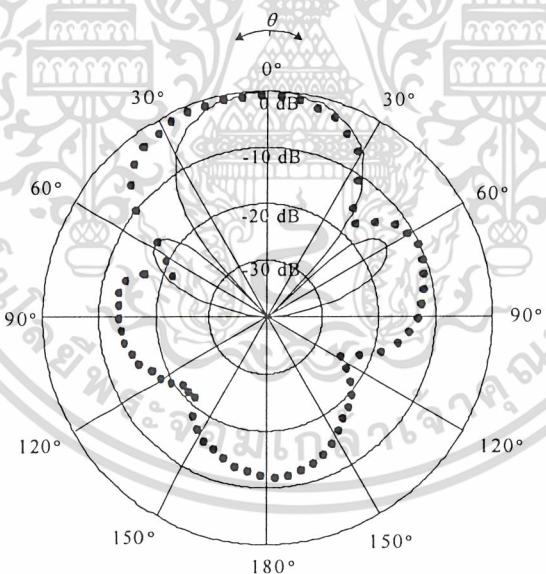
รูปที่ 4.71 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นปริน (h=0.7λ)

จากผลการทดลองได้ค่า swr เท่ากับ 1.377 มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 21.24 % การสูญเสียสะท้อนกลับเท่ากับ -15.978 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 68.574 - j3.1719 โอห์ม และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 4.72 และรูปที่ 4.73



————— ผลจากการคำนวณ
 ผลจากการทดสอบ

รูปที่ 4.72 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นปริน (h=0.7λ)

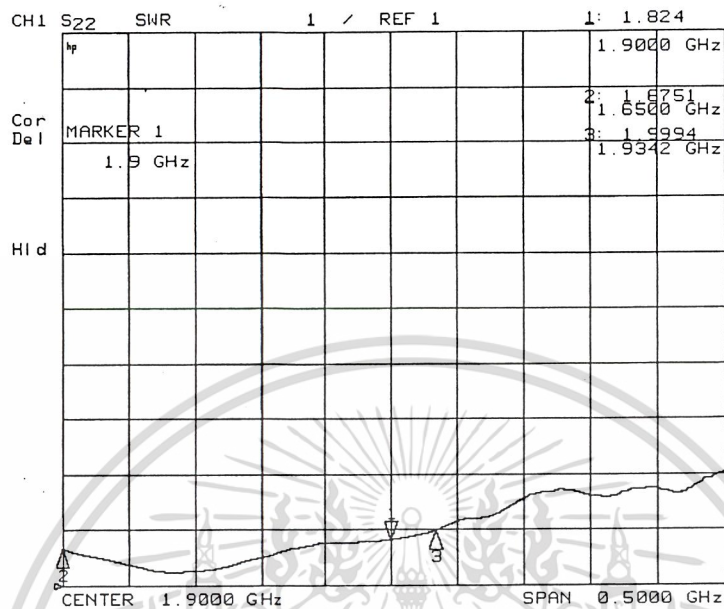


————— ผลจากการคำนวณ
 ผลจากการทดสอบ

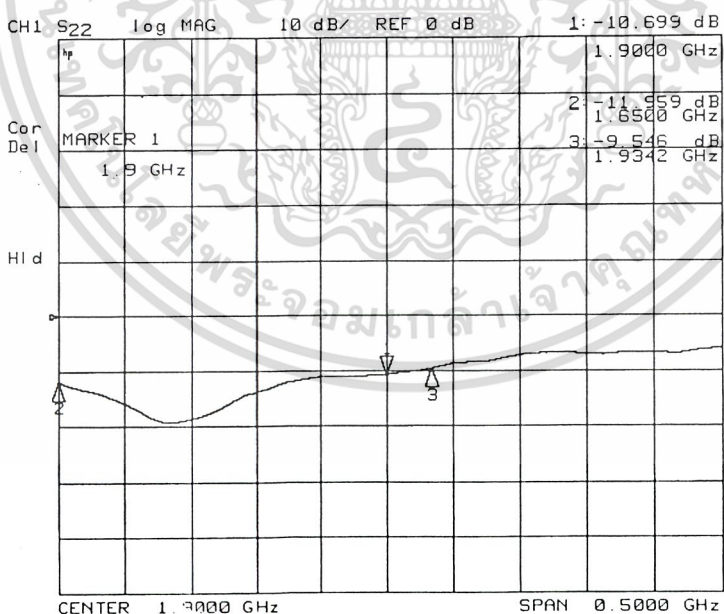
รูปที่ 4.73 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นปริน (h=0.7λ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียมและระยะห่างระหว่างแผ่นสะท้อนคลื่นและสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.7λ มีค่าต่างๆที่วัดได้ดังนี้

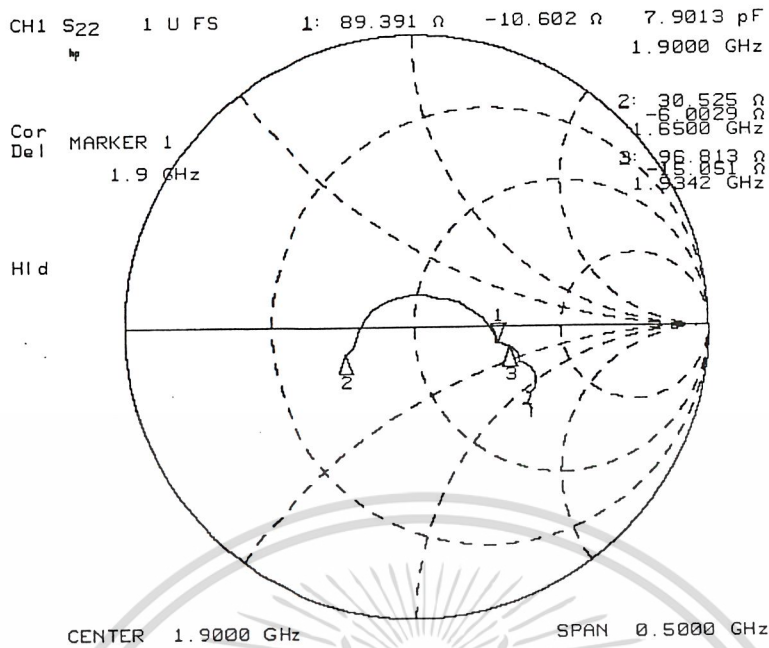


รูปที่ 4.74 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม ($h=0.7\lambda$)

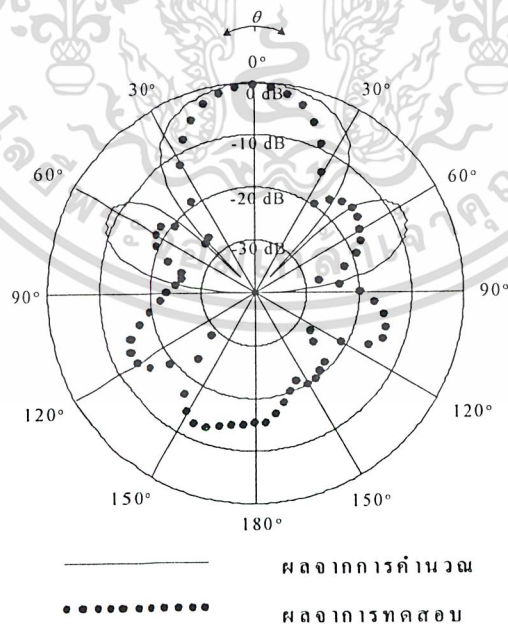


รูปที่ 4.75 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม ($h=0.7\lambda$)

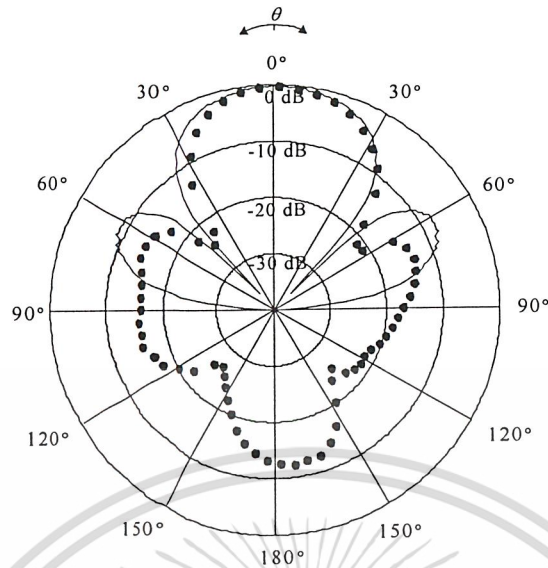
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.76 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากแผ่นอะลูมิเนียม ($h=0.7\lambda$)
 จากผลการทดลองได้ค่า swr เท่ากับ 1.824 มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 14.9% การสูญเสียสะท้อนกลับเท่ากับ 10.699 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $89.391 - j10.602$ โอห์มและมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 4.77 และรูปที่ 4.78



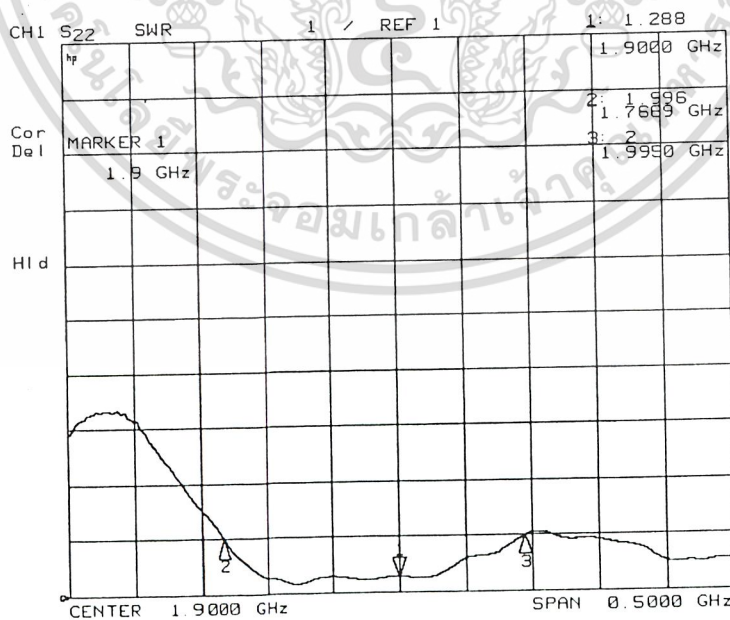
รูปที่ 4.77 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมเอปไซลอนเบนเฮกซะโกนัลทรงกลมที่ใช้ทำโครงใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม ($h=0.7\lambda$)
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุพิเศษขออนุญาตและต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



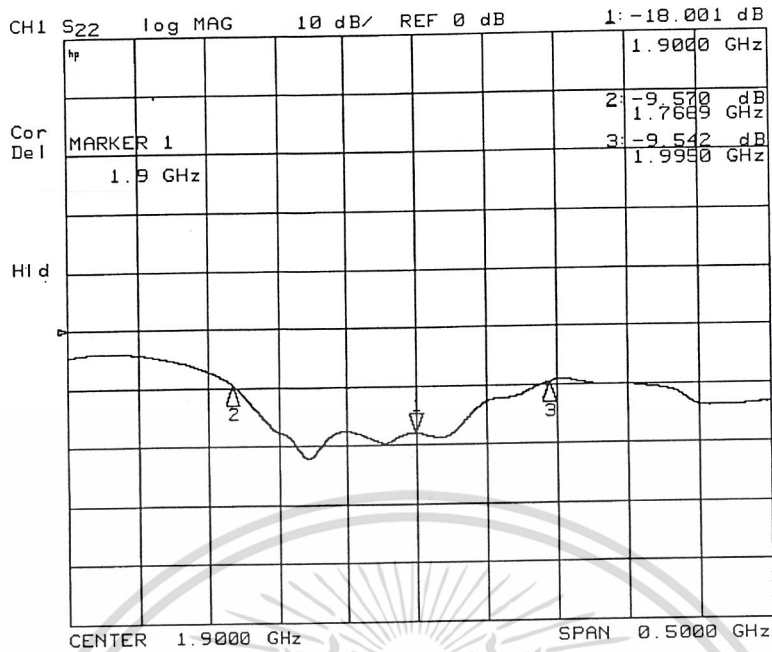
————— ผลจากการคำนวณ
 ผลจากการทดสอบ

รูปที่ 4.78 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโพรบกระดุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อใช้แผ่นสะท้อนคลื่นที่ทำจากตาข่ายอลูมิเนียม ($h=0.7\lambda$)

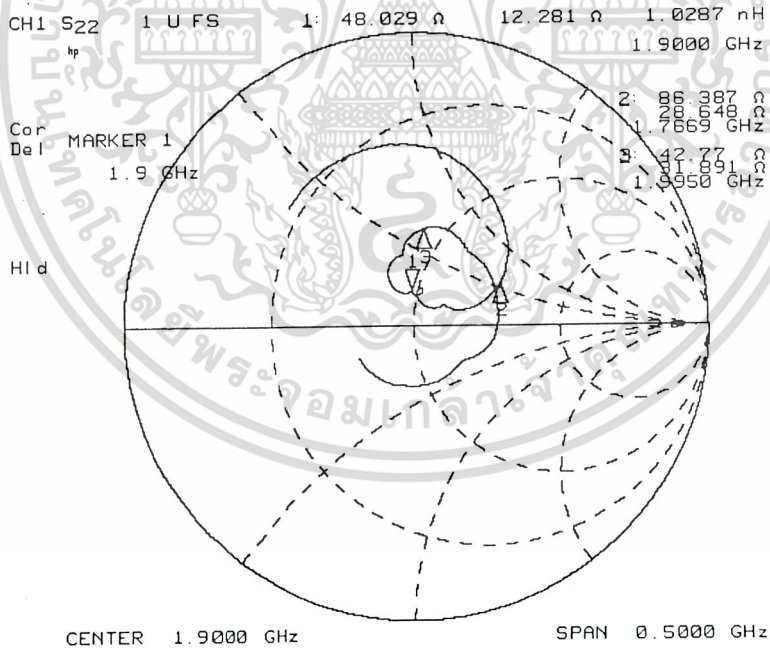
ผลการทดสอบสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระดุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน x เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 1.5λ และระยะห่างระหว่างแผ่นสะท้อนคลื่นและสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.7 วัตมีค่าดังนี้



รูปที่ 4.79 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระดุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ในแนวแกน x และมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)
 ไม่ว่ากรณีใดๆ พงษ์สน อภิสิทธิ์หามิเตตต์แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

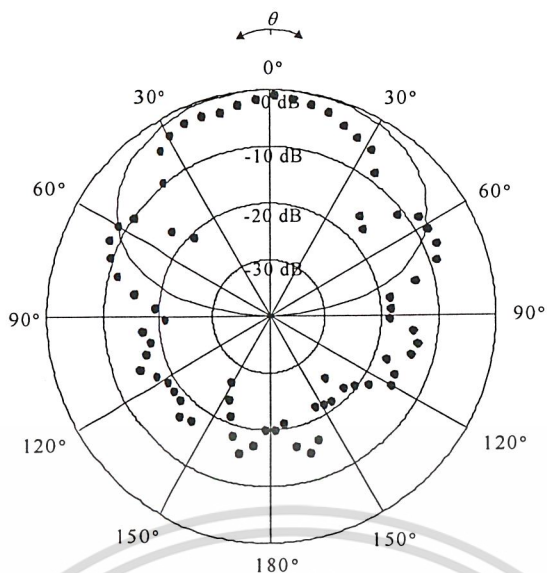


รูปที่ 4.80 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน x ที่มีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)



รูปที่ 4.81 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน x และมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)

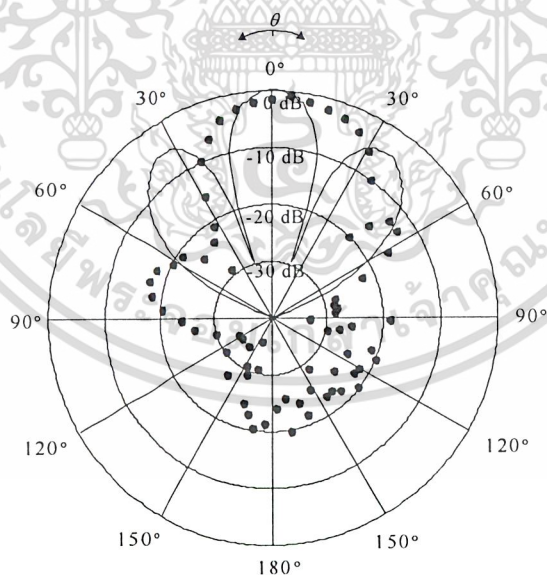
จากผลการทดลองได้ค่า swr เท่ากับ 1.288 มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 11.9% การสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -18.001 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $48.029 + j12.281$ โอห์ม และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 4.82 ไม่และรูปที่ 4.83 ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลจากการคำนวณ

ผลจากการทดสอบ

รูปที่ 4.82 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแฉกลำดับของโพรบ กระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน x โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)



ผลจากการคำนวณ

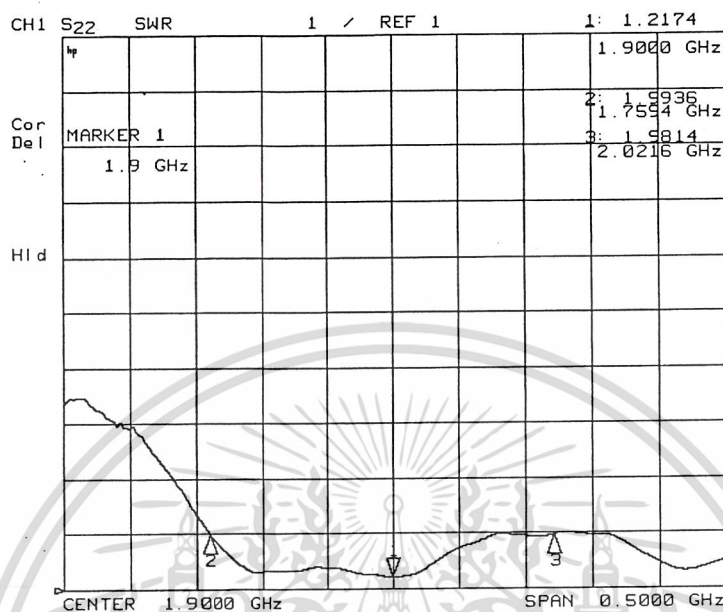
ผลจากการทดสอบ

รูปที่ 4.83 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแฉกลำดับของโพรบกระ

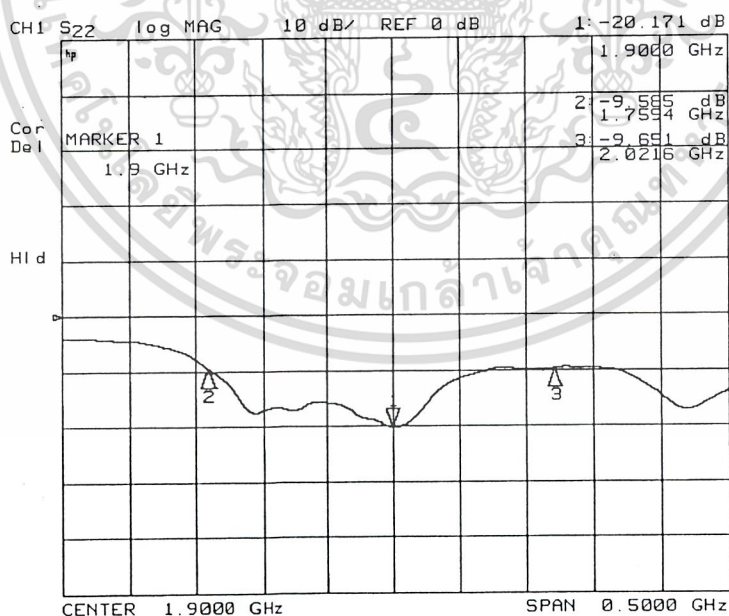
ตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน x โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน y เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 1.5λ และระยะห่างระหว่างแผ่นสะท้อนคลื่นและสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0.7λ มีค่าดังนี้

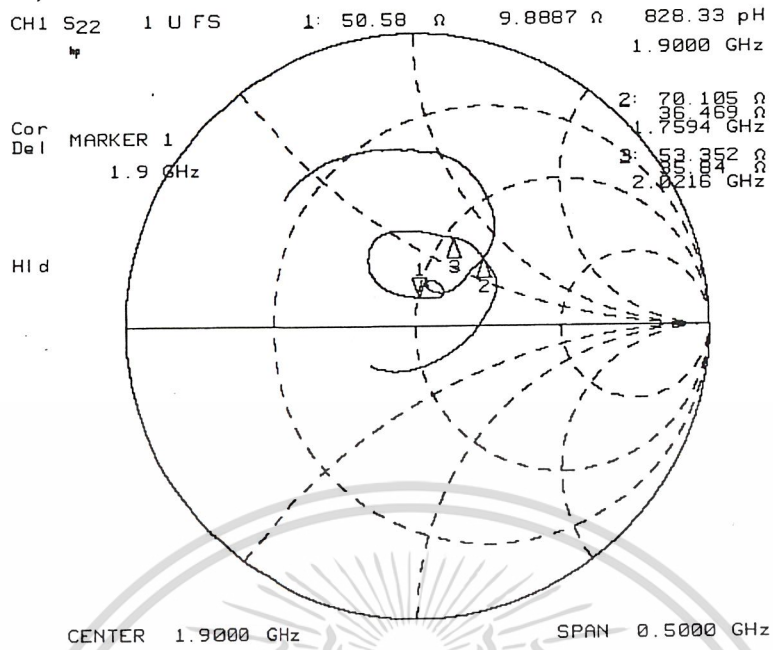


รูปที่ 4.84 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน y และมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)



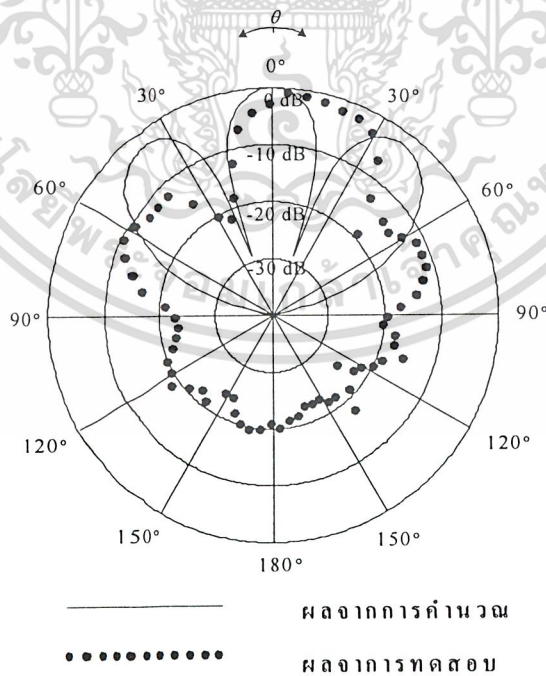
รูปที่ 4.85 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน y และมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

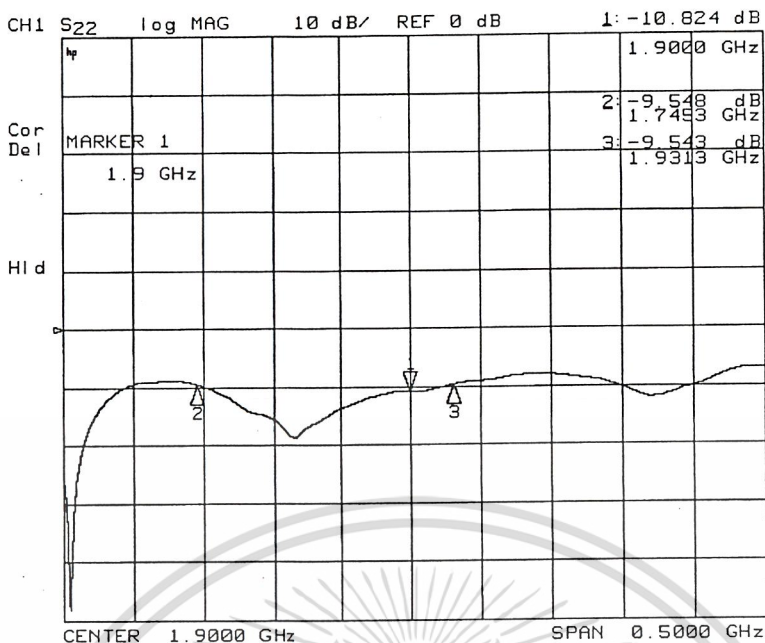


รูปที่ 4.86 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน y เมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)

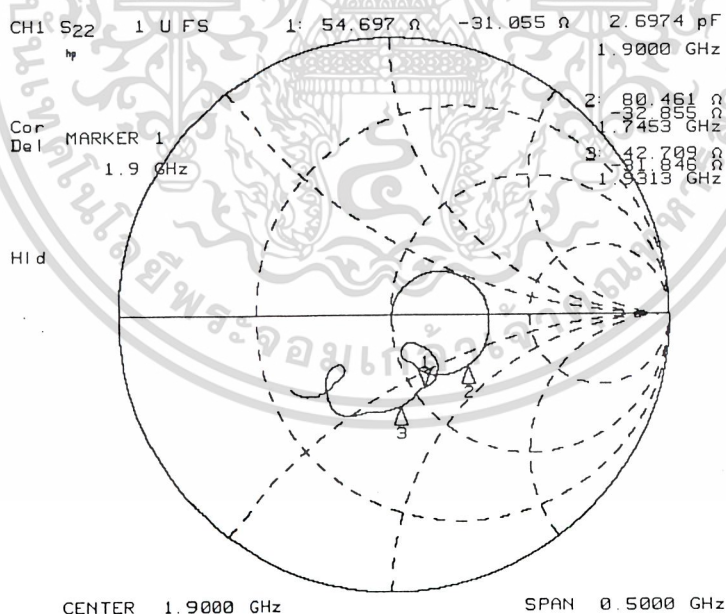
จากการทดลองได้ค่า swr เท่ากับ 1.2174 มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 13.8% การสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ 12.174 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $50.58 + j9.8887$ โอห์ม และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 4.87 และรูปที่ 4.88



รูปที่ 4.87 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวในแนวแกน y โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5λ การคำนวณ ($h=0.7\lambda$) อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



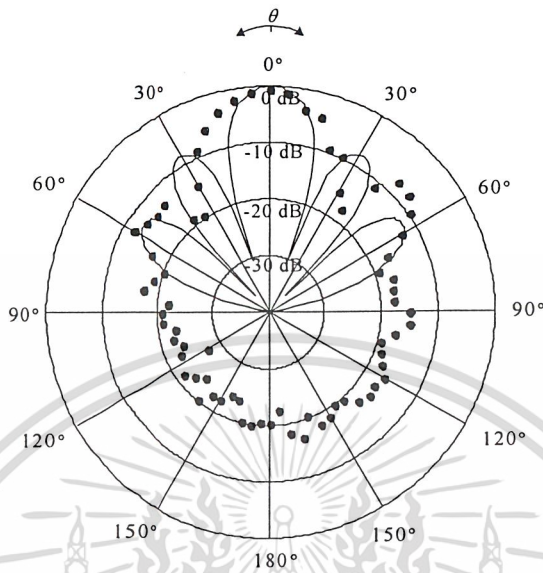
รูปที่ 4.90 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบ(xy)ของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกน x และ แกน y มีค่าเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)



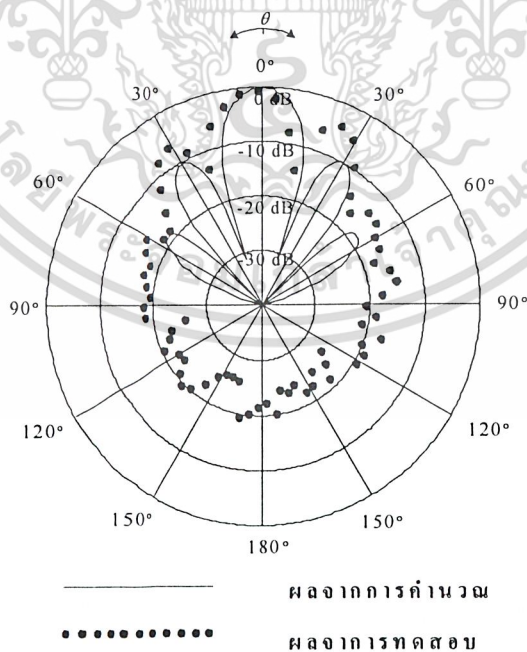
รูปที่ 4.91 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบ(xy)ของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกน x และ แกน y มีค่าเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองได้ค่า swr เท่ากับ 1.8074 มีช่วงกว้างความถี่เท่ากับ 9.7 % การสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ 10.824 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $54.697 - j31.055$ โอห์ม และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 4.92 และรูปที่ 4.93



รูปที่ 4.92 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกน x และแนวแกน y มีค่าเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)



รูปที่ 4.93 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงระนาบของเอกสารนี้เป็นโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกน x และแนวแกน y มีค่าเท่ากับ 1.5λ ($h=0.7\lambda$)

จากการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศจะได้ค่าดังนี้

c	Pr(dBm)	Gain
0.15λ	-40.8	6.361
0.25λ	-41.2	5.961
0.35λ	-41.9	5.26
0.45λ	-43.12	4.04

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองในการหาค่าอัตราขยายของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางเมื่อวัดที่ระยะทาง 4.5 เมตร

Array	Pr(dBm)	Gain(dB)
x	-48.7	8.003
y	-47.5	9.203
z	-47.8	8.903
plana	-45.4	11.303

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองในการหาค่าอัตราขยายของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางเมื่อวัดที่ระยะทาง 13.5 เมตร

h	Pr(dBm)	R(m)	Gain(dB)
0.3λ	-39.7	4.5	7.461
0.7λ	-45	13.5	11.703

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองในการหาค่าอัตราขยายของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวเมื่อแผ่นสะท้อนคลื่นทำจากตาข่ายอลูมิเนียม

h	Pr(dBm)	R(m)	Gain(dB)
0.3λ	-38.7	4.5	8.461
0.7λ	-44.9	13.5	11.803

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองในการหาค่าอัตราขยายของสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวเมื่อแผ่นสะท้อนคลื่นทำจากแผ่นปรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Array	Pr(dBm)	Gain(dB)
x	-43.6	13.103
y	-43.3	13.403
plana	-40.5	16.203

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองในการหาค่าอัตราขยายของสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวเมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อนคลื่นมีค่าเท่ากับ 0.7λ โดยที่แผ่นสะท้อนคลื่นทำจากตาข่ายอลูมิเนียมและวัดที่ระยะทาง 13.5 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์

ปริญญานิพนธ์นี้ เป็นการนำเสนอสายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง ทั้งนี้โดยจะนำมาประยุกต์ใช้กับสถานีฐานของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล (PCT) ที่ใช้ในบริเวณพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นแนวแคบและยาว ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าอัตราขยายของสายอากาศ ดังนั้นสายอากาศสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ระยะไกลขึ้น และนอกจากนี้ได้วิเคราะห์สายอากาศแบบแถวลำดับของโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียวโดยใช้สายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมวางไว้ใกล้ตัวสะท้อน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบสายอากาศที่ต้องการค่าอัตราขยายสูง ๆ ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศชนิดนี้เหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับระบบการสื่อสารแบบจุดต่อจุด สำหรับข้อดีของสายอากาศที่นำเสนอ คือ โครงสร้างไม่ซับซ้อน สร้างได้ง่ายและมีราคาถูกอีกทั้งสร้างให้มีลำคลื่นได้แบบสองทิศทางและแบบทิศทางเดียวโดยการนำแผ่นสะท้อนคลื่นที่เป็นตัวนำทางไฟฟ้ามาติดไว้ที่ด้านหลัง และความถี่ที่ใช้ในการออกแบบเท่ากับ 1.9 GHz ซึ่งเป็นความถี่กึ่งกลางในย่านความถี่สำหรับโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล (PCT) รูปแบบของสายอากาศที่ได้ทำการออกแบบไว้มีลักษณะดังนี้คือ เป็นวงแหวนสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างเท่ากับ 0.69λ มีความยาวเท่ากับ 0.25λ และมีค่าความสูงของวงแหวนสี่เหลี่ยมเท่ากับ 0.35λ โดยโพรบที่ใช้เป็นโพรบเชิงเส้นไฟฟ้าที่มีความยาวประมาณ 3.95 cm ซึ่งสายอากาศจะมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบสองทิศทาง และแบบทิศทางเดียว จากนั้นนำสายอากาศแบบสองทิศทางกรณีองค์ประกอบเดียวที่ได้ออกแบบข้างต้นไปทำการวิเคราะห์และคำนวณ ในรูปแบบการจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้น โดยที่รูปแบบการจัดเรียงคือการจัดเรียงตามแนวแกน x หรือเรียกว่าแบบ side by side การจัดเรียงตามแนวแกน y หรือเรียกว่าแบบ collinear การจัดเรียงตามแนวแกน z หรือเรียกว่าแบบ face to face และการจัดเรียงแบบระนาบหรือเรียกว่าแบบ planar เพื่อเพิ่มค่าอัตราขยายของสายอากาศ จากนั้นก็วิเคราะห์และคำนวณสายอากาศแบบทิศทางเดียวกรณีองค์ประกอบเดียว โดยจะเลือกค่า $h=0.7\lambda$ ในรูปแบบการจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้น โดยที่รูปแบบการจัดเรียงคือการจัดเรียงตามแนวแกน x หรือเรียกว่าแบบ side by side การจัดเรียงตามแนวแกน y หรือเรียกว่าแบบ collinear และการจัดเรียงแบบระนาบหรือเรียกว่าแบบ planar เพื่อเพิ่มค่าอัตราขยายของสายอากาศ เมื่อได้ผลที่วิเคราะห์และคำนวณแล้ว ก็นำสายอากาศแบบสองทิศทางและแบบทิศทางเดียวมาจัดเรียงตามผลที่ได้วิเคราะห์และคำนวณไว้ ซึ่งจากการทดสอบสายอากาศแบบสองทิศทางและแบบทิศทางเดียวจะพบว่ามีความสูญเสียทิศทางน้อยกว่าที่ได้คำนวณไว้ และจะเกิดลำคลื่นย่อยมากกว่ากรณีองค์ประกอบเดียว สำหรับการเปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและอัตราคลื่นนิ่งของสายอากาศ จะพบว่าผลที่ได้ผิดเพี้ยนไปเล็กน้อยนั้น อาจเกิดจากการไม่สัมพันธ์กันอย่างแท้จริงระหว่างสายอากาศกับสายนำสัญญาณ ความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดรวมถึงตัวต่อ (connector) ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับสายอากาศ ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจจะทำให้เกิดการสูญเสีย (loss) ของสัญญาณที่ออกมาจากสายอากาศได้ ทำให้ผลที่ได้ผิดเพี้ยนไปเล็กน้อยไม่สมบูรณ์เหมือนกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ แต่ผลทดสอบโดยรวมแสดงให้เห็นว่า สายอากาศที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้ตรงตามความต้องการที่ได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งได้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทางและสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว ดังตารางที่ 5.1 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับการใช้ประโยชน์ร่วมกันเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ควรถูกคัดลอก ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศ	VSWR	Return loss (dB)	Impedance (Ω)	Band width (%)	Gain (dB)
$C=0.15\lambda$	1.311	-17.421	$38.574+j3.4528$	15.4	6.361
$C=0.25\lambda$	1.5797	-12.967	$38.691-j16.864$	18.6	5.961
$C=0.35\lambda$	1.4692	-14.424	$45.162-j17.744$	17.9368	5.26
$C=0.45\lambda$	1.3438	-16.673	$59.012-j13.384$	16.815	4.04
Array แกน x	1.9456	-9.869	$35+j24.85$	3	8.003
Array แกน y	1.8249	-10.692	$27.552-j3.1387$	4.7	9.203
Array แกน z	1.5204	-13.703	$38.082+j14.045$	3.1	8.903
Planar xy	1.9791	-9.664	$44.459-j32.346$	-	11.303

ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมสองทิศทาง

สายอากาศ	VSWR	Return loss (dB)	Impedance (Ω)	Band width (%)	Gain (dB)
$h = 0.3\lambda$ (แผ่นปริน)	1.0554	-31.391	$48.652-2.291$	15	8.461
$h = 0.3\lambda$ (อลูมิเนียม)	1.483	-14.211	$33.859-j2.541$	11	7.461
$h = 0.7\lambda$ (แผ่นปริน)	1.3777	-15.978	$68.574-j3.179$	21.24	11.803
$h = 0.7\lambda$ (อลูมิเนียม)	1.824	-10.699	$89.391-j10.602$	14.9	11.703
$h = 0.7\lambda$ (อลูมิเนียม) Array แกน x	1.288	-18.001	$48.029+j12.281$	11.9	13.103
$h = 0.7\lambda$ (อลูมิเนียม) Array แกน y	1.2174	-20.171	$50.58+j9.8887$	13.8	13.403
$h = 0.7\lambda$ (อลูมิเนียม) Planar xy	1.8074	-10.824	$54.697-j31.055$	9.7	16.203

ตารางที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบสายอากาศโพรบกระตุ้นวงแหวนสี่เหลี่ยมทิศทางเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ในประเทศไทย บริษัทเทเลคอมเอเชีย และองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ได้นำระบบ PCT มาใช้งานกับโทรศัพท์บ้านในกรุงเทพมหานครตั้งแต่ปลายปี พ.ศ. 2540 โดยใช้เทคโนโลยีที่สำคัญ 3 ประการด้วยกัน คือ PHS PSTN และ Intelligent Network (IN) ทำให้ระบบ PCT ในประเทศไทยมีข้อแตกต่างจากระบบ PHS เดิม คือ

- (1) หมายเลขของ PCT จะเป็นหมายเลขเดียวกับโทรศัพท์บ้านเพื่อให้สามารถจำได้ง่ายเพราะเป็นหมายเลขส่วนตัว (Personal Number)
- (2) พื้นที่ครอบคลุมของเซลล์จะมีขนาดใหญ่กว่าของ PHS เพื่อที่จะลดเวลาที่ใช้ไปในขบวนการแฮนด์โอเวอร์ (Hand Over) ซึ่งจะทำได้ทำให้สามารถเพิ่มความเร็วของการเคลื่อนที่ได้สูงถึง 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- (3) ใช้เทคนิคสองคลื่นพาห์ต่อหนึ่งพื้นที่ (Two Carriers Per Area) เพื่อลดการเกิดการสูญเสียการเรียก

แนวคิดเบื้องต้นของการให้บริการ PCT คือ การที่สามารถใช้อุปกรณ์มือถือไร้สายดิจิทัลได้ทุกที่ไม่ใช่เฉพาะที่บ้านเท่านั้น โดยการใช้หมายเลขของโทรศัพท์บ้าน ดังนั้น ผู้ที่เรียกเข้ามาจะสามารถเลือกการติดต่อได้ว่าจะติดต่อกับโทรศัพท์บ้านหรือโทรศัพท์ไร้สายดิจิทัล โดยที่สามารถใช้งานเครื่อง PCT ได้ 4 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 ใช้งานในลักษณะเป็นโทรศัพท์ไร้สายเสียบ (Cordless Telephone) รูปแบบที่ 2 ใช้งานภายในอาคารร่วมกับตู้สาขาอัตโนมัติไร้สาย (WPABX:Wireless Private Automatic Branch Exchange) รูปแบบที่ 3 ใช้งานในสถานที่สาธารณะโดยการวางสถานีเซลล์ (Cell Station) ตามสถานที่ต่าง ๆ เช่น สถานีรถไฟ สถานีขนส่ง รูปแบบที่ 4 ใช้งานในยานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับช่องสัญญาณของระบบ PCT จะมีทั้งหมด 77 ช่องสัญญาณ โดยใช้ความถี่ย่าน 1895.15-1917.95 เมกะเฮิรตซ์ แต่ละช่องสัญญาณห่างกัน 300 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งการใช้งานแต่ละช่องสัญญาณมีรายละเอียด ดังตารางที่ ก.1 ในช่องสัญญาณ (1-10) ใช้สำหรับโหมดรับส่ง (Transceiver Mode) ส่วน 27 ช่องสัญญาณต่อมา (11-37) ใช้สำหรับโหมดส่วนบุคคล (Private Mode) เหมือนกับตู้สาขาอัตโนมัติแบบไร้สายสำหรับภายในอาคาร ส่วนช่องสัญญาณที่ (38-69) ใช้สำหรับการให้บริการแบบสาธารณะและช่องสัญญาณ 7 ช่องสุดท้ายใช้สำหรับเป็นช่องสัญญาณควบคุม

สำหรับการวางสถานีเซลล์ในระบบ PCT นั้นจะใช้สถานีเซลล์ของบริษัท NEC ซึ่งจะทำการวางสถานีเซลล์ไปตามถนนทั่วกรุงเทพและปริมณฑล ซึ่งคุณสมบัติทั่วไปของสถานีเซลล์แสดงดังตารางที่ ก.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 การจัดสรรความถี่สำหรับระบบ PCT

ช่องสัญญาณ	ความถี่ (เมกะเฮิรตซ์)	ชนิดการใช้งาน
1-10	1895.150-1897.850 (แต่ละช่องสัญญาณความถี่ห่างกัน 300 กิโลเฮิรตซ์)	ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างสถานีส่วนบุคคล (Personal Station:PS)
11-37	1898.150-1905.950 (แต่ละช่องสัญญาณความถี่ห่างกัน 300 กิโลเฮิรตซ์)	ใช้สำหรับการสื่อสารภายในอาคาร เช่น การใช้ WPABX
38-69	1906.250-1915.550 (แต่ละช่องสัญญาณความถี่ห่างกัน 300 กิโลเฮิรตซ์)	ใช้สำหรับภายนอกอาคารสำหรับสาธารณะ
70-77	1915.850-1917.950 (แต่ละช่องสัญญาณความถี่ห่างกัน 300 กิโลเฮิรตซ์)	ใช้สำหรับเป็นช่องควบคุมสำหรับผู้ให้บริการ

ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติทั่วไปของสถานีเซลล์ในระบบ PCT

คุณสมบัติ	รูปแบบที่ใช้
ย่านความถี่	1900 เมกะเฮิรตซ์ (1895.15-1917.95 เมกะเฮิรตซ์)
ลักษณะการใช้งาน	TDMA/TDD
ปริมาณช่องสัญญาณ/คลื่นพาห์อาร์เอฟ	4
วิธีการมอดูเลต	$\pi/4$ QPSK
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	32 kbps ADPCM
อัตราการส่งสัญญาณควบคุม	384 kbps
กำลังส่งทางด้านเสาต่อผู้	CS:200 mW (Cell Station) PS:5-10 mW (Personal Station)
ช่องว่างระหว่างคลื่นพาห์	300 กิโลเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและความดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี ตลอดจนการตั้งเตือนในข้อบกพร่องที่มีในตัวข้าพเจ้า ทั้งหมดนี้เกิดขึ้นได้เพราะข้าพเจ้ามีอาจารย์ที่ปรึกษาประกอบด้วย

ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

ผศ.ดร.สมผล โกศลวิตร

รวมถึงบุคคลที่สำคัญอีกหลายท่านที่ได้ให้คำแนะนำและความรู้ในด้านต่างๆ อีกทั้งยังคอยตรวจตราในงานของข้าพอย่างเสมอมา ท่านทั้งหลายเหล่านี้ ประกอบด้วย

คุณ สุธาสินี ละมุลตรี

คุณ ไพโรจน์ วุ่นชุม

คุณ ธนรัชต์ สร้อยสุวรรณ

คุณ สัญญา อำนางปลุก

คุณ นัทรชัย บุรณะคุณากรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุศักดิ์ พรพันธ์ “โทรศัพท์ระบบ PHS.” เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 157
- [2] Moungnoul P., Sukkasem M. and Pungma T. “Personal Communication Telephone New System for Digital Wireless Communication in Thailand,” IEICE Trans. Electron., vol. E82-C, no. 7, Jul. 1999.
- [3] C.A. Balanis, “Antenna Theory Analysis and Design,” 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 1997.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้