

CONTRIBUTION



สายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอก (A Perpendicularly Slots Array on Cylindrical Surface)

โดย

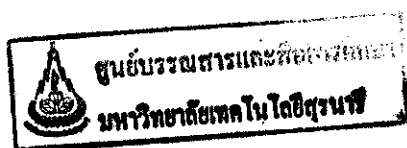
นายณัฐพงษ์ โตบารมีกุล

รหัสประจำตัว B4602569

นางสาวเมทินี ขำแจ้ง

รหัสประจำตัว B4607045

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427494 โครงการศึกษาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2549
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง
พ.ศ. 2549 สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



หัวข้อโครงการ	สายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอก		
	A Perpendicularly Slots Array on Cylindrical Surface		
จัดทำโครงการโดย	นายณัฐพงษ์ โทบารมีกุล	รหัสประจำตัว	B4602569
	นางสาวเมทินี จำแจ้ง	รหัสประจำตัว	B4607045
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม		
ภาคการศึกษา	3/2549		

บทคัดย่อ

สายอากาศส่งสัญญาณมีความจำเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการส่งสัญญาณโทรทัศนใน ปัจจุบัน ถ้าเราสามารถพัฒนาสายอากาศทรงกระบอกให้มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular Polarization) ได้จะทำให้สายอากาศภาครับสามารถวางตัวในแนวใดก็ได้เพื่อที่รับสัญญาณจากสายอากาศภาคส่ง ทั้งนี้เนื่องจากการส่งสัญญาณโพลาไรซ์แบบวงกลม จะทำให้เกิดเวกเตอร์สนามไฟฟ้า และเพื่อให้เกิดการโพลาไรซ์แบบวงกลมจึงทำการสร้างแถวลำดับแบบร่องตั้งฉาก โดยให้ร่องมีการวางตัวทำมุม 45 องศากับแนวแกนของทรงกระบอกและตั้งฉากซึ่งกันและกันบนผิวทรงกระบอก ดังนั้นโครงการนี้จึงได้เสนอการออกแบบสายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอก สำหรับการส่งสัญญาณโทรทัศน โดยมีสมมติฐานว่า จะสามารถส่งสัญญาณออกไปในลักษณะโพลาไรซ์แบบวงกลม โดยใช้โปรแกรม Mathematica ในการจำลองแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern)

กิตติกรรมประกาศ

คุณความดีอันใดที่เกิดจากโครงการฉบับนี้ ขอมอบแต่บิดา มารดา ผู้ที่คอยห่วงใยให้โอกาสให้กำลังใจและให้การสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด

โครงการฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา อ.ผศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ผู้ที่เป็นเจ้าของแนวคิดเริ่มแรกของสายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอก เพื่อใช้เป็นสายอากาศสำหรับการส่งสัญญาณโทรทัศน ที่ให้ความช่วยเหลือในการให้แนวคิด การดูแลเอาใจใส่ติดตามงาน ชี้แนะข้อบกพร่องที่ข้าพเจ้ามองข้าม ตลอดจนฝึกฝนและสนับสนุนข้าพเจ้าให้มีความสามารถในการทำโครงการจนสามารถนำเสนอผลงานให้เป็นที่รู้จักและยอมรับได้

ขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ดังนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรม โทรคมนาคมทุกท่าน ที่สั่งสอนให้ความรู้ข้าพเจ้ามาโดยตลอด คุณมณีนรัตน์ ทุมพงษ์ เลขานุการการประจำสาขาวิศวกรรม โทรคมนาคม ที่ให้ความสะดวกในการติดต่อกับอาจารย์ คุณประพล จาระตะกู วิศวกรประจำอาคารเครื่องมือ 3 ที่ช่วยเป็นธุระติดต่อสั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาสร้างสายอากาศ วิศวกรประจำอาคารเครื่องมือ 1 และวิศวกรประจำเครื่องมือ 6 ที่คอยสอนการใช้เครื่องมือแต่ละประเภท รวมไปถึงการให้คำแนะนำและการช่วยทำสายอากาศ พี่นักศึกษาปริญญาโทวิศวกรรม โทรคมนาคมและเพื่อนนักศึกษาสาขาวิศวกรรม โทรคมนาคมทุกคนที่ให้การสนับสนุน และท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิศวกรรม โทรคมนาคมทุกคนที่เป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

นายณัฐพงษ์ โตบารมีกุล

นางสาวเมทินี ขำแจ้ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตการทำงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีสายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอก	
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 ท่อนำคลื่นแบบวงกลม (Circular Waveguide)	4
2.3 โพรงวงกลม (Circular Cavity)	7
2.4 สายอากาศแบบร่องบนผิวทรงกระบอก (Slotted Cylinder)	9
2.4.1 สายอากาศแบบร่องในแนวแกนตั้ง	9
2.4.2 สายอากาศแบบร่องในแนวเฉียง	10
2.5 การจำลองแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานโดยใช้โปรแกรม Mathematica	11
2.6 สรุป	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างสายอากาศ	
3.1 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างสายอากาศ	14
3.1.1 การคำนวณหาค่าความยาวคลื่น	14
3.1.2 การปรับระดับความสูงของท่ออะลูมิเนียม	15
3.1.3 การเจาะร่องบนผิวทรงกระบอก	17
3.1.4 การทำโพรบเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำกำลังงาน	19
3.2 สรุป	20
บทที่ 4 สรุปผลการทดลองและเปรียบเทียบผลการทดลองกับการออกแบบ	
4.1 ขั้นตอนการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ	22
4.1.1 ขั้นตอนการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศแบบร่องจำนวน 1 ร่อง	22
4.1.2 ขั้นตอนการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศแบบร่องจำนวน 2 ร่อง	23
4.1.3 การวัดความกว้างแถบของสายอากาศ	24
4.2 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ	25
4.3 อัตราขยายของสายอากาศ	31
4.4 สรุป	32
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 บทสรุป	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
บรรณานุกรม	34
ประวัติผู้เขียน	35

สารบัญรูป

	หน้า
2-1 สายอากาศโคแอกเซียล	3
2-2 ท่อนำคลื่นแบบวงกลม	4
2-3 โพรงวงกลม	7
2-4 สายอากาศแบบร่องในแนวแกนตั้งบนผิวทรงกระบอก	9
2-5 สายอากาศแบบร่องในแนวเฉียงบนผิวทรงกระบอก	10
2-6 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานโดยใช้โปรแกรม Mathematica	13
3-1 แสดงแบบจำลองท่ออะลูมิเนียมซึ่งมีตัวปรับระดับความสูงของท่อ	15
3-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของท่อและความถี่ที่ใช้	15
3-3 แสดงตำแหน่งที่มีค่าสูงที่สุดที่เกิดขึ้นภายในท่ออะลูมิเนียม	16
3-4 แสดงแบบจำลองระยะห่างระหว่างร่องทั้งสอง	16
3-5 เครื่องสปาร์ค	17
3-6 แสดงแบบจำลองขนาดของทองแดงที่ใช้เป็นตัวอิเล็กทรอนิกส์	17
3-7 แสดงการวางตัวของอิเล็กทรอนิกส์บนผิวทรงกระบอก	18
3-8 สายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอกที่เสร็จสมบูรณ์	18
3-9 แสดงแบบจำลองลักษณะของโพรบที่ใช้	19
3-10 แสดงแบบจำลองการวางโพรบภายในท่ออะลูมิเนียม	19
4-1 เครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย	21
4-2 แสดงค่า S_{11} ของสายอากาศแบบร่องจำนวน 1 ร่อง	22
4-3 แสดงค่า S_{11} ของสายอากาศแบบร่องจำนวน 2 ร่อง	23
4-4 แสดงความกว้างแถบของสายอากาศแบบร่องจำนวน 2 ร่อง	24
4-5 แสดงการต่ออุปกรณ์ในการวัดการลดทอนในสาย	25
4-6(ก) แสดงแบบจำลองการต่ออุปกรณ์ในการวัดค่าการรับสัญญาณในระนาบสนามไฟฟ้า	26
4-6(ข) แสดงแบบจำลองการต่ออุปกรณ์ในการวัดค่าการรับสัญญาณในระนาบสนามแม่เหล็ก	26
4-7(ก) แสดงการต่ออุปกรณ์ในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า	27
4-7(ข) แสดงการต่ออุปกรณ์ในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก	27
4-8(ก) แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากการวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย ในระนาบสนามไฟฟ้า	28

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4-8(ข) แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากการวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย ในระนาบสนามแม่เหล็ก	28
4-9 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากโปรแกรม Mathematica	29
4-10 แสดงการทดสอบการพัฒนาสายอากาศให้มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม	29
4-11 แสดงผลการทดสอบการโพลาไรซ์แบบวงกลม	30

สารบัญตาราง

	หน้า
2-1 ค่ารากของ Bessel Function $J_m(x)$ สำหรับโหมด TE : $J'_m(x_{mn}) = 0 (n = 1, 2, 3, \dots)$	5
2-2 ค่ารากของ Bessel Function $J_m(x)$ สำหรับโหมด TM : $J_m(x_{mn}) = 0 (n = 1, 2, 3, \dots)$	6

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

โดยปกติการส่งสัญญาณ โทรทัศน์นั้นจะมีการส่งสัญญาณในลักษณะโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น (Linear Polarization) ทำให้สายอากาศภาครับต้องมีการวางตัวในแนวเดียวกับภาคส่ง โดยไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ แต่ในปัจจุบันการใช้ชีวิตของบุคคลส่วนใหญ่อาจจะต้องอยู่บนรถเป็นส่วนใหญ่จึงอาจต้องการรับชมข่าวสารบันเทิง ดังนั้นจึงมีการติดตั้งโทรทัศน์ภายในรถแต่ก็มักเกิดปัญหาในการรับสัญญาณภาพ เนื่องจากเมื่อรถวิ่งจะไม่สามารถรับชมภาพได้ชัดเจนหรืออาจจะรับชมไม่ได้เลย เพราะฉะนั้นในขณะที่รถวิ่งนั้นสายอากาศภาครับอาจจะวางตัวในแนวที่ไม่ตรงกันกับสายอากาศภาคส่ง ดังนั้นสายอากาศภาคส่งที่สามารถส่งสัญญาณได้ไม่ว่าสายอากาศภาครับจะมีการวางตัวอยู่ที่ทิศทางใดก็ตาม จึงทำให้ผู้รับชมรับฟังได้ ดังนั้นการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อส่งสัญญาณโทรทัศน์ให้สามารถใช้งานได้ต้องมีประสิทธิภาพสูงที่สุดนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง ด้วยเหตุนี้สายอากาศสำหรับส่งสัญญาณโทรทัศน์จึงเป็นอุปกรณ์ที่เข้ามามีบทบาทสำคัญอย่างยิ่ง

ปัจจุบันสายอากาศที่มีการใช้งานอยู่นั้น โดยทั่วไปแล้วภาคส่งจะมีการส่งสัญญาณที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น จึงทำให้สายอากาศภาครับต้องมีการวางตัวในแนวเดียวกับภาคส่ง โดยไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นโครงการฉบับนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างสายอากาศเพื่อเป็นแนวทางในการผลิตสายอากาศ โดยได้เน้นการศึกษาและออกแบบสายอากาศซึ่งถูกตั้งชื่อว่า สายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอก (A Perpendicularly Slots Array on Cylindrical Surface) ดังนั้นจึงมีการปรับเปลี่ยนให้สายอากาศภาคส่งมีการส่งสัญญาณในลักษณะโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular Polarization) ซึ่งจากเดิมสายอากาศภาคส่งมีการส่งสัญญาณในลักษณะโพลาไรซ์แบบเส้นตรง โดยจุดเด่นของสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมเมื่อใช้เป็นสายอากาศภาคส่ง ก็คือลักษณะของแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) ที่มีลักษณะแผ่กระจายกำลังงานออกรอบตัวสายอากาศ ซึ่งมีการโพลาไรซ์ที่มีมุมหมุนครบทั้ง 360 องศา ทำให้เครื่องรับสามารถรับสัญญาณได้ไม่ว่าสายอากาศภาครับจะมีการวางตัวอยู่ที่ทิศทางใดก็ตาม จึงทำให้สายอากาศภาครับสามารถรับสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาทฤษฎีและออกแบบสายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอก
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมสำเร็จรูป Mathematica ในการจำลองแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน
- 1.2.3 เพื่อสร้างสายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอก

1.3 ขอบเขตของงาน

- 1.3.1 ศึกษาสายอากาศทรงกระบอก ที่ใช้งานในปัจจุบัน
- 1.3.2 ศึกษาการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Mathematica ในการจำลองแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน
- 1.3.3 สร้างสายอากาศต้นแบบ ที่มีการวางตัวของร่องในแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน โดยได้จากการวิเคราะห์ของโปรแกรม Mathematica
- 1.3.4 วัดและเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป Mathematica

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 วางแผนดำเนินการ ศึกษาการทำงานของโปรแกรม Mathematica
- 1.4.2 ใช้โปรแกรม Mathematica จำลองแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน
- 1.4.3 สร้างสายอากาศต้นแบบ
- 1.4.4 วัดทดสอบเพื่อเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานกับ โปรแกรม Mathematica

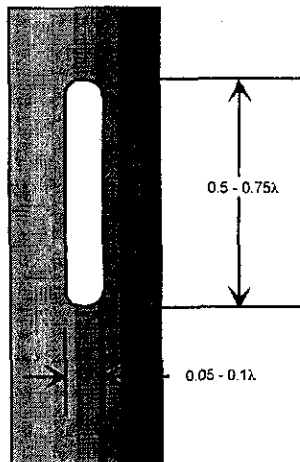
บทที่ 2

ทฤษฎีสายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอก

2.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันภายในตลาดมีสายอากาศที่ใช้ในย่านความถี่ UHF 3 ชนิด คือแบบร่อง (Slot), พาเนล (Panel) และซูเปอร์เทิร์นสไตล์ (Super turnstile) แต่ในรายงานฉบับนี้จะกล่าวถึงชนิดของสายอากาศที่เป็นแบบร่อง

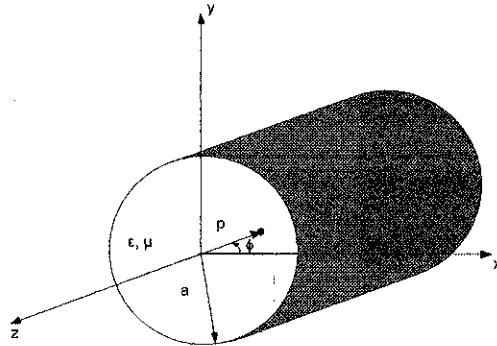
ชนิดของสายอากาศที่ใช้ในย่านความถี่ UHF ซึ่งใช้ในการแผ่กระจายคลื่นโทรทัศน์ที่รู้จักกันดีคือสายอากาศแบบร่อง โดยมีการโพลาไรซ์แบบเส้นตรง คือมีการวางตัวสายอากาศในแนวตั้ง (Vertical) หรือวางตัวสายอากาศในแนวนอน (Horizontal) ก็ได้ ขึ้นอยู่กับการวางตัวของสายอากาศภาคส่ง เนื่องจากสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งจะต้องวางอยู่ในระนาบเดียวกันจึงจะสามารถรับสัญญาณได้ ซึ่งในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้สายอากาศโคแอกเซียลหรือสายอากาศแบบแกนร่วม (Coaxial Antenna) ดังแสดงในรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 สายอากาศโคแอกเซียล

2.2 ท่อนำคลื่นแบบวงกลม (Circular Waveguide) [1]

ท่อนำคลื่นแบบวงกลมเราจะพิจารณาที่ภาคตัดขวางของท่อ โดยจะแยกพิจารณาเป็นโหมด TE และ TM ซึ่งกำหนดให้คลื่นเดินทางในทิศทาง +z และท่อที่มีรัศมีเท่ากับ a โดยกำหนดให้ ϵ_r และ μ_r มีค่าเท่ากับ 1 ดังแสดงในรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 ท่อนำคลื่นแบบวงกลม

ในแต่ละ โหมดจะสรุปสูตรสำเร็จเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ

2.2.1 TE Modes

สมการส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีดังนี้

$$E_\rho^+ = \frac{1}{\epsilon} \frac{\partial F_z^+}{\partial \phi} = -A_{mn} \frac{m}{\epsilon \rho} J_m(\beta_\rho \rho) [-C_2 \sin(m\phi) + D_2 \cos(m\phi)] e^{-j\beta_z z} \quad (2-1ก)$$

$$E_\phi^+ = \frac{1}{\epsilon} \frac{\partial F_z^+}{\partial \rho} = A_{mn} \frac{\beta_\rho}{\epsilon} J_m'(\beta_\rho \rho) [C_2 \cos(m\phi) + D_2 \sin(m\phi)] e^{-j\beta_z z} \quad (2-1ข)$$

$$E_z^+ = 0 \quad (2-1ค)$$

$$H_\rho^+ = -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \frac{\partial^2 F_z^+}{\partial \rho \partial z} = -A_{mn} \frac{\beta_\rho \beta_z}{\omega \mu \epsilon} J_m'(\beta_\rho \rho) [C_2 \cos(m\phi) + D_2 \sin(m\phi)] e^{-j\beta_z z} \quad (2-1ง)$$

$$H_\phi^+ = -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 F_z^+}{\partial \phi \partial z} = -A_{mn} \frac{m \beta_z}{\omega \mu \epsilon \rho} J_m(\beta_\rho \rho) \times [-C_2 \sin(m\phi) + D_2 \cos(m\phi)] e^{-j\beta_z z} \quad (2-1จ)$$

$$H_z^+ = -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} + \beta^2 \right) F_z^+ = -j A_{mn} \frac{\beta_\rho^2}{\omega \mu \epsilon} J_m(\beta_\rho \rho) \times [C_2 \cos(m\phi) + D_2 \sin(m\phi)] e^{-j\beta_z z} \quad (2-1ก)$$

สามารถหาค่าความถี่ตัด (Cutoff - frequency) ได้จาก

$$(f_c)_{mn} = \frac{x'_{mn}}{2\pi a \sqrt{\mu \epsilon}} \quad (2-2)$$

สามารถดูค่า x'_{mn} จากตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงค่ารากของ Bessel Function $J_m(x)$ สำหรับโหมด TE: $J_m(x'_{mn})=0 (n=1,2,3,...)$

	m = 0	m = 1	m = 2	m = 3	m = 4	m = 5	m = 6
n = 1	3.8318	1.8412	3.0542	4.2012	6.4155	7.5013	8.5777
n = 2	7.0156	5.3315	6.7062	8.0153	10.5199	11.7349	12.9324
n = 3	10.1735	8.5363	9.9695	11.3459	13.9872	15.2682	16.5294
n = 4	13.3237	11.7060	13.1704	14.5859	17.3129	18.6375	19.9419

โดยที่ $J_m(x)$ คือ Bessel functions of first kind

2.2.2 TM Modes

สมการส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กได้ดังนี้

$$E_\rho^+ = -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \frac{\partial^2 A_z^+}{\partial \rho \partial z} = -B_{mn} \frac{\beta_\rho \beta_z}{\omega \mu \epsilon} J_m(\beta_\rho \rho) [C_2 \cos(m\phi) + D_2 \sin(m\phi)] e^{-j\beta_z z} \quad (2-3ก)$$

$$E_\phi^+ = -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 A_z^+}{\partial \phi \partial z} = -B_{mn} \frac{m \beta_z}{\omega \mu \epsilon \rho} J_m(\beta_\rho \rho) [-C_2 \sin(m\phi) + D_2 \cos(m\phi)] e^{-j\beta_z z} \quad (2-3ข)$$

$$E_z^+ = -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} + \beta^2 \right) A_z^+ = -j B_{mn} \frac{\beta_\rho^2}{\omega \mu \epsilon} J_m(\beta_\rho \rho) [C_2 \cos(m\phi) + D_2 \sin(m\phi)] e^{-j\beta_z z} \quad (2-3ค)$$

$$H_\rho^+ = \frac{1}{\mu} \frac{1}{\rho} \frac{\partial A_z^+}{\partial \phi} = -B_{mn} \frac{m}{\mu} \frac{1}{\rho} J_m(\beta_\rho \rho) [-C_2 \sin(m\phi) + D_2 \cos(m\phi)] e^{-j\beta_z z} \quad (2-3\text{ง})$$

$$H_\phi^+ = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_z^+}{\partial \rho} = -B_{mn} \frac{\beta_\rho}{\mu} J_m(\beta_\rho \rho) [C_2 \cos(m\phi) + D_2 \sin(m\phi)] e^{-j\beta_z z} \quad (2-3จ)$$

$$H_z^+ = 0 \quad (2-3ข)$$

สามารถหาค่าความถี่ตัด (Cutoff - frequency) ได้จาก

$$(f_c)_{mn} = \frac{x_{mn}}{2\pi a \sqrt{\mu\epsilon}} \quad (2-4)$$

สามารถดูค่า x_{mn} จากตารางที่ 2-2

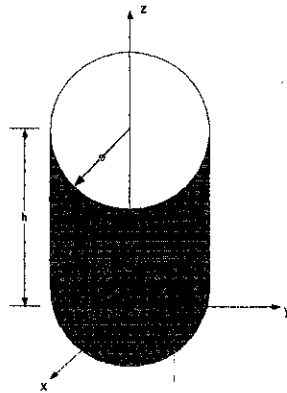
ตารางที่ 2-2 แสดงค่ารากของ Bessel Function $J_m(x)$ สำหรับโหมด $TM: J_m(x_{mn})=0$ ($n=1,2,3,\dots$)

	m = 0	m = 1	m = 2	m = 3	m = 4	m = 5	m = 6
n = 1	2.4049	3.8318	5.1357	6.3802	7.5884	8.7715	9.9361
n = 2	5.5201	7.0156	8.4173	9.7610	11.0647	12.3386	13.5893
n = 3	8.6537	10.1735	11.6199	13.0152	14.3726	15.7002	17.0038
n = 4	11.7915	13.3237	14.7960	16.2235	17.6160	18.9801	20.3208

โดยที่ $J_m(x)$ คือ Bessel functions of first kind

2.3 โพรงวงกลม (Circular Cavity) [2]

โพรงวงกลม เป็นท่อนำคลื่นที่มีลักษณะเป็นท่อที่มีปลายปิดทั้งสองด้าน ดังแสดงในรูปที่ 2-3 ซึ่งตัวที่ใช้เหนี่ยวนำภายในท่อ (สายอากาศ) นั้นจะเป็นโพรบ ซึ่งกำหนดให้คลื่นเดินทางในทิศทาง +z และท่อมี่รัศมีเท่ากับ a โดยจะแยกพิจารณาเป็นโหมด TE และ TM เช่นเดียวกันกับท่อนำคลื่นแบบวงกลม



รูปที่ 2-3 โพรงวงกลม

2.3.1 TE Modes

สมการสนามสามารถเขียนเป็นผลสำเร็จได้

$$F_z(\rho, \phi, z) = A_{mn} J_m(\beta_\rho \rho) [C_2 \cos(m\phi) + D_2 \sin(m\phi)] \sin(\beta_z z) \quad (2-5)$$

สามารถหาความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant frequency) ได้จาก

$$(f_r)_{mnp}^{\text{TE}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{x'_{mn}}{a}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{h}\right)^2} \quad \begin{array}{l} \text{เมื่อ} \\ m = 0, 1, 2, 3, \dots \\ n = 1, 2, 3, \dots \\ p = 1, 2, 3, \dots \end{array} \quad (2-6)$$

หรือ

$$\beta_\rho^2 + \beta_z^2 = \left(\frac{x'_{mn}}{a}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{h}\right)^2 = \beta_r^2 = \omega_r^2 \mu\epsilon \quad (2-7)$$

ค่า x'_{mn} สามารถดูได้จากตารางที่ 2.1

2.3.2 TM Modes

สมการสนามสามารถเขียนเป็นผลสำเร็จได้

$$A_z(\rho, \phi, z) = B_{mn} J_m(\beta_\rho \rho) [C_2 \cos(m\phi) + D_2 \sin(m\phi)] \cos(\beta_z z) \quad (2-8)$$

สามารถหาความถี่เรโซแนนซ์ได้จาก

$$(f_r)_{mnp}^{\text{TMz}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{x_{mn}}{a}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{h}\right)^2} \quad \begin{array}{l} \text{เมื่อ } m = 0, 1, 2, 3, \dots \\ n = 1, 2, 3, \dots \\ p = 1, 2, 3, \dots \end{array} \quad (2-9)$$

หรือ

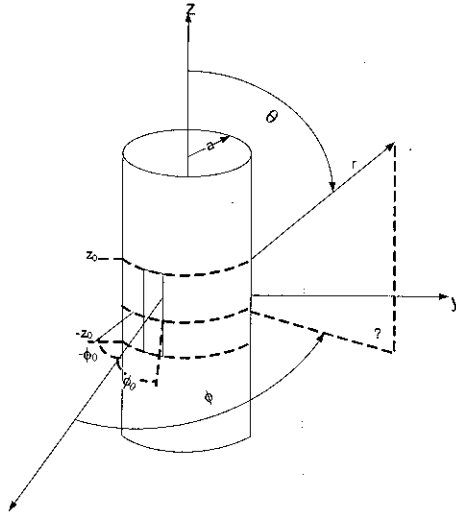
$$\beta_\rho^2 + \beta_z^2 = \left(\frac{x_{mn}}{a}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{h}\right)^2 = \beta_r^2 = \omega_r^2 \mu\epsilon \quad (2-10)$$

ค่า x_{mn} สามารถดูได้จากตารางที่ 2.2

2.4 สายอากาศแบบร่องบนผิวทรงกระบอก (Slotted Cylinder) [3]

2.4.1 สายอากาศแบบร่องในแนวแกนตั้ง

สายอากาศแบบร่องในแนวแกนตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 สายอากาศแบบร่องในแนวแกนตั้งบนผิวทรงกระบอก

การแผ่กระจายกำลังงานจากร่องบนผิวทรงกระบอก สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$E_{\theta} = \frac{e^{-jkr}}{2\pi^2 r} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{j^{n+1} e^{-jn\phi}}{\sin \theta H_n^{(2)}(ka \sin \theta)} \int_{-z_0}^{z_0} \int_{\phi_0}^{\phi_0+\phi_0} E'_z(\beta, s) e^{jn\beta} e^{jks \cos \theta} ds d\beta \quad (2-11ก)$$

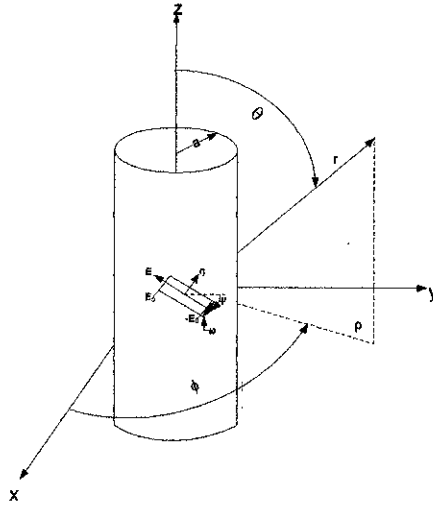
$$E_{\phi} = \frac{e^{-jkr}}{2\pi^2 r} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{j^n e^{-jn\phi}}{H_n^{(2)}(ka \sin \theta)} \int_{-z_0}^{z_0} \int_{\phi_0}^{\phi_0+\phi_0} E'_{\phi}(\beta, s) e^{jn\beta} e^{jks \cos \theta} ds d\beta \\ + \frac{n \cot \theta}{ka \sin \theta} \int_{-z_0}^{z_0} \int_{\phi_0}^{\phi_0+\phi_0} E'_z(\beta, s) e^{jn\beta} e^{jks \cos \theta} ds d\beta \quad (2-11ข)$$

$$H_{\theta} = \frac{-E_{\phi}}{Z_0} \quad (2-11ค)$$

$$H_{\phi} = \frac{E_{\theta}}{Z_0} \quad (2-11ง)$$

2.4.2 สายอากาศแบบร่องในแนวเฉียง [3]

สายอากาศแบบร่องในแนวเฉียง ดังแสดงในรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 สายอากาศแบบร่องในแนวเฉียงบนผิวทรงกระบอก

การแผ่กระจายกำลังงานจากร่องบนผิวทรงกระบอก สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$E_\phi = \frac{E_0}{\pi^2} \left[\int_0^\infty \frac{H_0^{(2)'}(k_h r) k_s}{H_0^{(2)'}(k_h a) k_{hs}^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{n} \sin n\phi_0 \cos n\phi \int_0^\infty \frac{H_n^{(2)'}(k_h r) k_s \left(\cos \frac{kL}{2} - \cos \frac{k_s L}{2} \right) \cos hz}{H_n^{(2)'}(k_h a) k_{hs}^2} dh \right] \quad (2-12)$$

$$H_\phi = \frac{E_0}{j\omega\mu\pi^2} \left[\int_0^\infty \frac{H_0^{(2)'}(k_h r) k_h k_s \phi_0 \left(\cos \frac{kL}{2} - \cos \frac{k_s L}{2} \right) \cos hz dh}{H_0^{(2)'}(k_h a) k_{hs}^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{n} \sin n\phi_0 \cos n\phi \int_0^\infty \frac{H_n^{(2)'}(k_h r) k_h k_s \left(\cos hL - \cos \frac{k_s L}{2} \right) \cos hz}{H_n^{(2)'}(k_h a) k_{hs}^2} dh \right] \quad (2-13)$$

ซึ่ง

$$k_h^2 = k^2 - h^2 \quad (2-14ก)$$

$$k_{hs}^2 = k_s^2 - h^2 \quad (2-14ข)$$

2.5 การจำลองแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานโดยใช้โปรแกรม Mathematica

นำสมการ (2-12) มาเขียนในโปรแกรม Mathematica จะได้ดังนี้

(*clear all constants and variables*)

Clear [k, a, theta, phi, func, lamda, Ls, E0];

(*slot array antenna*)

lamda = 5;

a = 3.5; (* radius of cylinder*)

k = 2*Pi/lamda;

Ls = 0.5*lamda; (*length of slot*)

E0 = 1;

ka = k*a;

inf = 30;

Q = 1;

zq1 = -0.5*lamda; (*distance between 2 slots*)

zq2 = 0.5*lamda;

Ecollinear = Exp [I*k*zq1*Cos [theta]] + Exp [I*k*zq2*Cos [theta]];

Sumn1 =

$$\sum_{m=0}^{Q-1} \left(\sum_{n=0}^0 \left((1*(I^n)*\text{Cos} [n*(\text{phi}-(2*m*\text{Pi}/Q)]) \right) / \right. \\ \left. \left((0.5*(\text{BesselJ} [n-1, ka*\text{Sin} [\text{theta}]] - \text{BesselJ} [n+1, ka*\text{Sin} [\text{theta}]]) - \right. \right. \\ \left. \left. (0.5*I*(\text{BesselY} [n-1, ka*\text{Sin} [\text{theta}]] - \text{BesselY} [n+1, ka*\text{Sin} [\text{theta}]]) \right) \right) \right);$$

Sumn2 =

$$\sum_{m=0}^{Q-1} \left(\sum_{n=1}^{\text{inf}} \left((2 * (I^n) * \text{Cos} [n * (\text{phi} - (2 * m * \text{Pi} / Q))]) / \right. \right. \\ \left. \left. \left((0.5 * (\text{BesselJ} [n-1, ka * \text{Sin} [\text{theta}]] - \text{BesselJ} [n+1, ka * \text{Sin} [\text{theta}]]) - \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. (0.5 * I * (\text{BesselY} [n-1, ka * \text{Sin} [\text{theta}]] - \text{BesselY} [n+1, ka * \text{Sin} [\text{theta}]]) \right) \right) \right) \right);$$

E1 = E0 / (Pi^2);

ET = (E1)*Ecollinear*(Sumn1+Sumn2);

func = "(ET)";

(*input variables*)

var1 = "theta";

var2 = "phi";

(*option for plot area*)

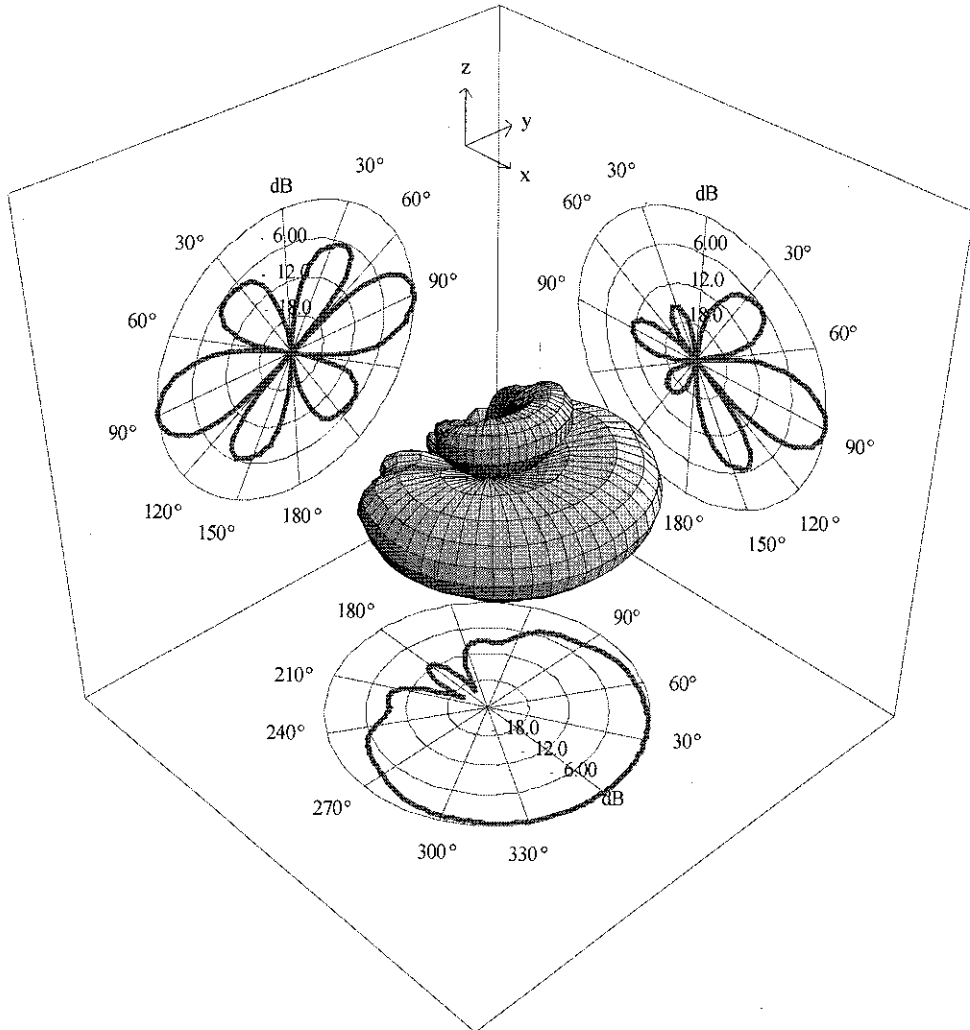
showgridline = True (*False*);

deleteangle = {{120,150},{120,150},{120,150}};

(*call function ' polardb3 '*)

polardb3 [func, var1, var2, -24]

จากนั้นทำการคอมไพล์ (Compile) โดยกดปุ่ม Shift และปุ่ม Enter พร้อมกัน จะได้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน โดยใช้โปรแกรม Mathematica

2.6 สรุป

สายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ ที่ดีควรมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบทิศทาง มีการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลม มีความกว้างแถบที่กว้างเพียงพอ เป็นต้น

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างสายอากาศ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการใช้โปรแกรม Mathematica เพื่อใช้ในการจำลองแบบรูปของสายอากาศ เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ โดยทำการวิเคราะห์สายอากาศโดยการแทนโครงสร้างของสายอากาศด้วยท่ออะลูมิเนียมที่มีปลายปิดทั้งสองด้าน

3.1 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างสายอากาศ

3.1.1 การคำนวณหาความยาวคลื่น

โดยความถี่ที่ใช้ในการออกแบบคือ 5.88 GHz เนื่องจากขนาดของท่ออะลูมิเนียมที่มีอยู่มีข้อจำกัดนั้นคือท่ออะลูมิเนียมมีขนาดเล็ก ซึ่งท่อมีรัศมีเพียง 3.5 เซนติเมตร ยาว 17 เซนติเมตร ดังนั้นจึงต้องใช้ความถี่ที่สูง สามารถคำนวณหาความยาวคลื่นได้จากสมการ

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (3-1)$$

เมื่อ

λ = ความยาวคลื่นหน่วยเป็นเมตร

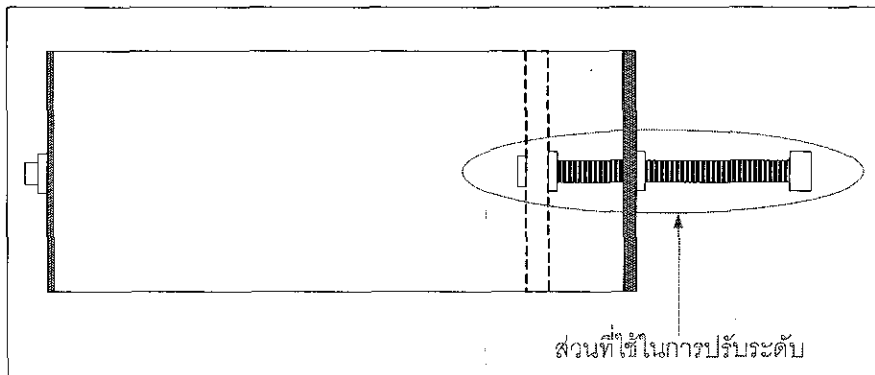
V = ความเร็วแสง (ประมาณ 3×10^8 เมตร/วินาที)

f = ความถี่ที่ใช้งานหน่วยเป็นเฮิร์ต

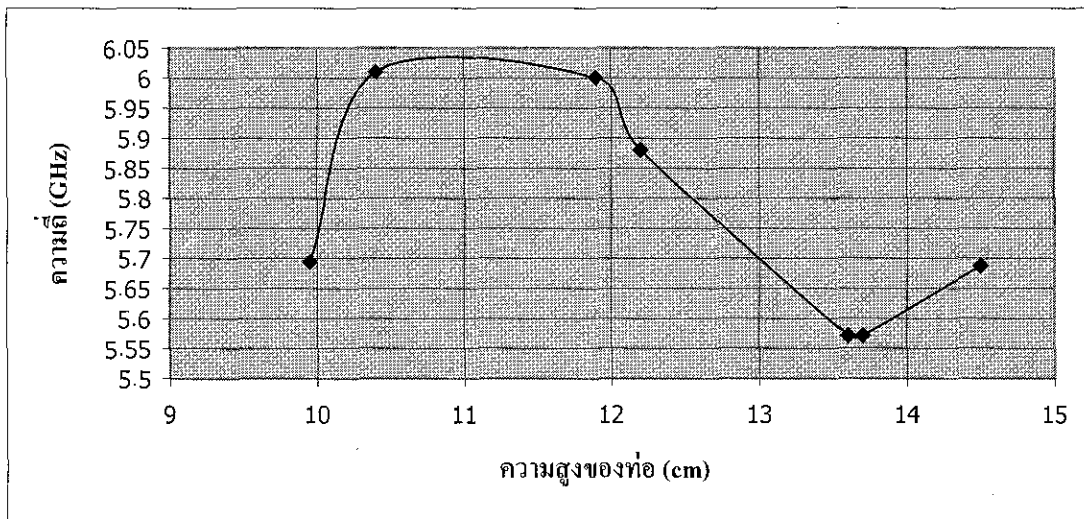
จากสมการ (3-1) เมื่อนำมาทำการคำนวณหาความยาวคลื่นแล้ว ได้ความยาวคลื่นเท่ากับ 5 เซนติเมตร

3.1.2 การปรับระดับความสูงของท่ออะลูมิเนียม

โดยสร้างท่ออะลูมิเนียมให้สามารถปรับระดับความสูงขึ้น-ลงได้ ดังแสดงในรูปที่ 3-1 เพื่อให้ท่อนี้สามารถทำงานที่ความถี่ 5.88 GHz ที่ความยาวเท่าใดได้ดีที่สุด ซึ่งได้นำผลมาเปรียบเทียบกับที่ระดับความสูงใดเหมาะสมที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3-2

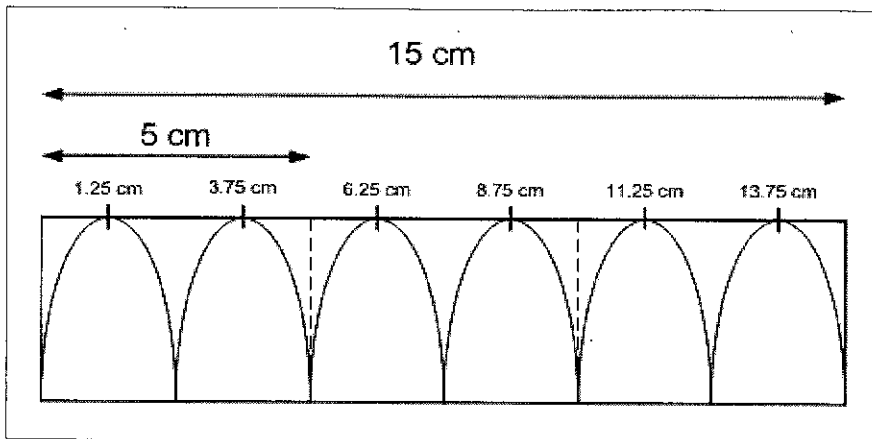


รูปที่ 3-1 แสดงแบบจำลองท่ออะลูมิเนียมซึ่งมีตัวปรับระดับความสูงของท่อ



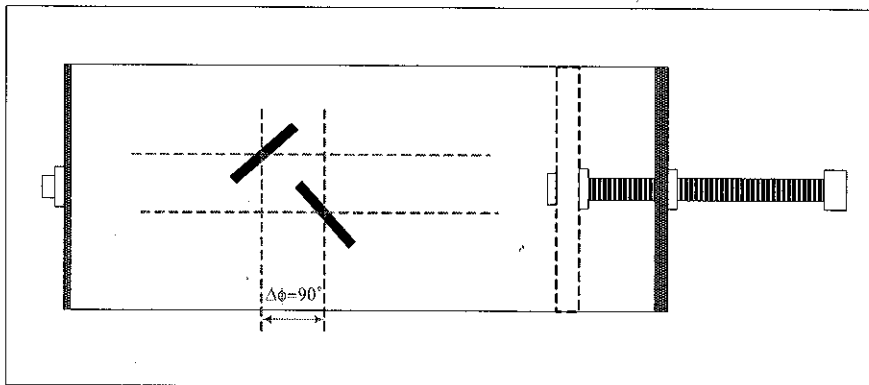
รูปที่ 3-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของท่อและความถี่ที่ใช้

จากรูปที่ 3-2 แสดงให้เห็นว่าท่ออะลูมิเนียมที่มีความยาว 12.2 เซนติเมตร สามารถใช้งานได้ดีที่ความถี่ 5.8804 GHz ซึ่งใกล้เคียงกับความถี่ที่กำหนดไว้ข้างต้น ดังนั้นจึงเลือกใช้ความยาวของท่อที่ 12.2 เซนติเมตร หลังจากนั้นจึงทำการตรวจสอบว่าภายในท่อนี้มีความยาวคลื่นกี่ลูก แต่เนื่องจากท่อที่เลือกใช้มีความยาวไม่เป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่น จึงทำการสมมติให้ท่อมีความยาว 15 เซนติเมตร ซึ่งจะช่วยให้ทราบตำแหน่งที่มีค่าสูงสุด เพื่อที่จะทำการเจาะร่องให้กำลังงานแผ่กระจายออกจากท่อได้มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 แสดงตำแหน่งที่มีค่าสูงที่สุดที่เกิดขึ้นภายในท่ออะลูมิเนียม

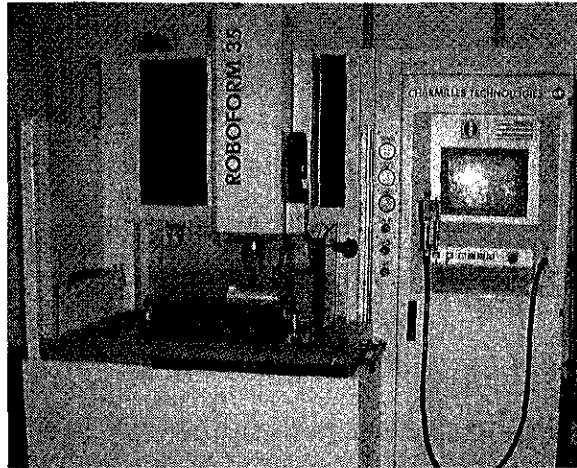
จากรูปที่ 3-3 คือภาพที่แสดงตำแหน่งของค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing wave ratio) ที่เกิดขึ้นภายในสายอากาศแบบโพรงวงกลม ว่าตำแหน่งที่มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดอยู่บริเวณใดบ้าง เพื่อที่เราจะนำไปใช้ในการเจาะร่องให้กำลังงานมีการแผ่กระจายคลื่นออกมาและได้ค่าของกำลังงานการแผ่กระจายคลื่นมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกเจาะร่องที่ 1 ที่ตำแหน่ง 6.25 เซนติเมตร และร่องที่ 2 ที่ตำแหน่ง 8.75 เซนติเมตร ซึ่งมีระยะห่างระหว่างร่องเป็นความยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น เพื่อให้คลื่นทั้งสองมีความต่างเฟสกัน 90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 แสดงแบบจำลองระยะห่างระหว่างร่องทั้งสอง

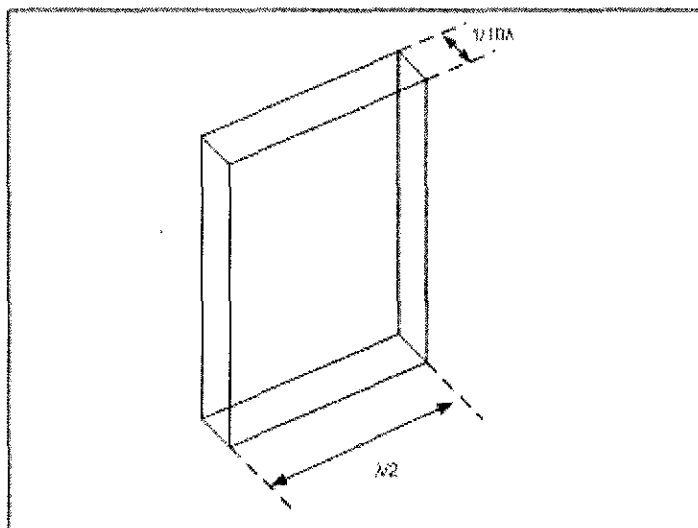
3.1.3 การเจาะร่องบนผิวทรงกระบอก

ในการเจาะร่องนี้จะใช้เครื่องสปาร์ค (Roboform 35) ดังแสดงในรูปที่ 3-5

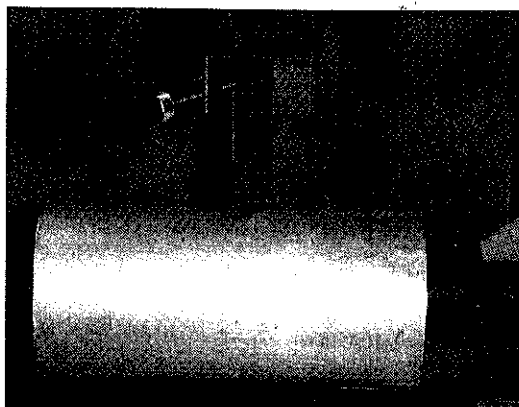


รูปที่ 3-5 เครื่องสปาร์ค

ขั้นแรกต้องนำทองแดงมาตัดให้ได้ขนาดตามต้องการ ซึ่งมีความกว้างเป็นความยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น และมีความหนาเป็นหนึ่งส่วนสิบเท่าของความยาวคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 3-6 เพื่อนำทองแดงไปทำเป็นตัวอิเล็กโทรด (Electrode) ซึ่งใช้ในการเจาะร่องลงบนผิวทรงกระบอก และในการวางตัวของอิเล็กโทรดนั้นจะวางทำมุม 45 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3-7

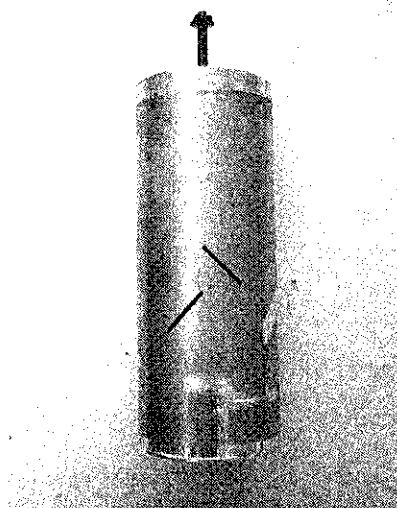


รูปที่ 3-6 แสดงแบบจำลองขนาดของทองแดงที่ใช้เป็นตัวอิเล็กโทรด



รูปที่ 3-7 แสดงการวางตัวของอิเล็กโทรดบนผิวทรงกระบอก

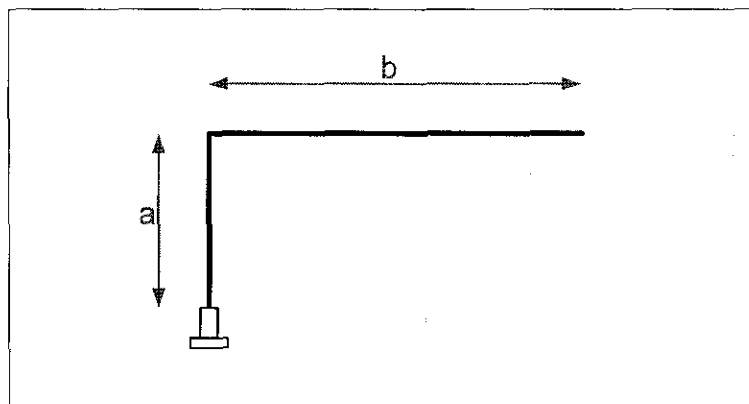
เมื่อทำการเจาะร่องที่ 1 แล้ว จากนั้นก็ทำการเจาะร่องที่ 2 ในลักษณะเดียวกัน ซึ่งร่องทั้งสองนั้นจะต้องวางในแนวตั้งฉากกัน ดังนั้นจะได้สายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอกที่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-8 สายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอกที่เสร็จสมบูรณ์

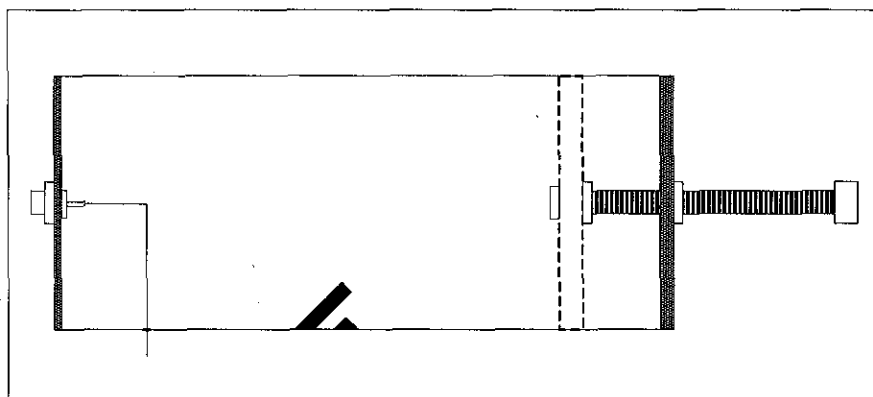
3.1.4 การทำโพรบเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำกำลังงาน

นำลวดทองแดงมาปลอกสารที่เคลือบอยู่ออกให้หมด จากนั้นทำการตัดลวดทองแดงให้ได้
ดังรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 แสดงแบบจำลองลักษณะของโพรบที่ใช้

จากรูปที่ 3-9 แสดงสัดส่วนของโพรบที่ใช้ โดยให้ด้าน a มีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น สำหรับด้าน b ให้มีความยาวเกินท่อออกไป เพื่อที่ลวดทองแดงจะสามารถทะลุผ่านและสัมผัสกับท่อ ซึ่งจะเจาะรูด้านเดียวกับร่อง โดยให้มีความสูงจากปลายท่อเท่ากับความยาว a ดังแสดงในรูปที่ 3-10



รูปที่ 3-10 แสดงแบบจำลองการวางโพรบภายในท่ออะลูมิเนียม

จากรูปที่ 3-10 จะเห็นว่าลักษณะของการวางโพรบภายในท่อนั้นที่ต้องให้ด้าน b มีความยาวเกินท่อออกไปและสัมผัสกับท่อนั้น เนื่องจากโครงการนี้ต้องการสร้างสายอากาศที่ใช้งานในโหมด TE ดังนั้นจึงต้องมีด้าน b เพื่อให้เกิดสนามไฟฟ้าออกมาด้วย แต่ถ้าใช้โพรบเฉพาะด้าน a จะเป็นการใช้งานในโหมด TM

จากนั้นทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับเครื่องมือวิเคราะห์โครงสร้าง (Network Analyzer)

3.2 สรุป

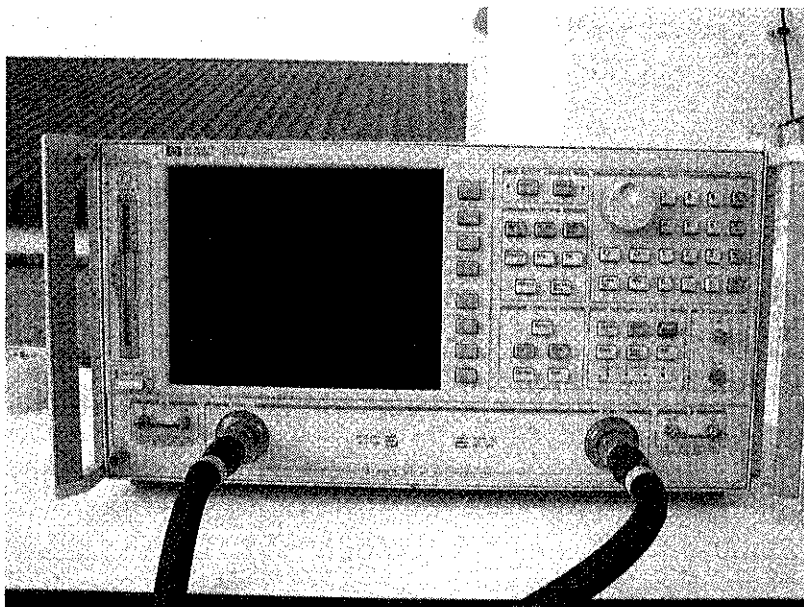
ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบและสร้างสายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอก การเจาะร่องบนผิวทรงกระบอก และการทำโพรบที่ใช้ในการเหนี่ยวนำกำลังงาน

ส่วนในบทต่อไปจะกล่าวถึงการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งการหาแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ

บทที่ 4

สรุปผลการทดลองและเปรียบเทียบผลการทดลองกับการออกแบบ

หลังจากได้สร้างสายอากาศต้นแบบดังแสดงในบทที่ 3 แล้วในบทนี้จะกล่าวถึงการนำสายอากาศมาวัดหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆและแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น จากนั้นนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรม Mathematica เพื่อหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างผลจากโปรแกรม Mathematica และผลที่วัดได้ด้วยเครื่องมือวัด โดยการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะใช้เครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 8722D ในการวัด ดังแสดงในรูปที่ 4-1

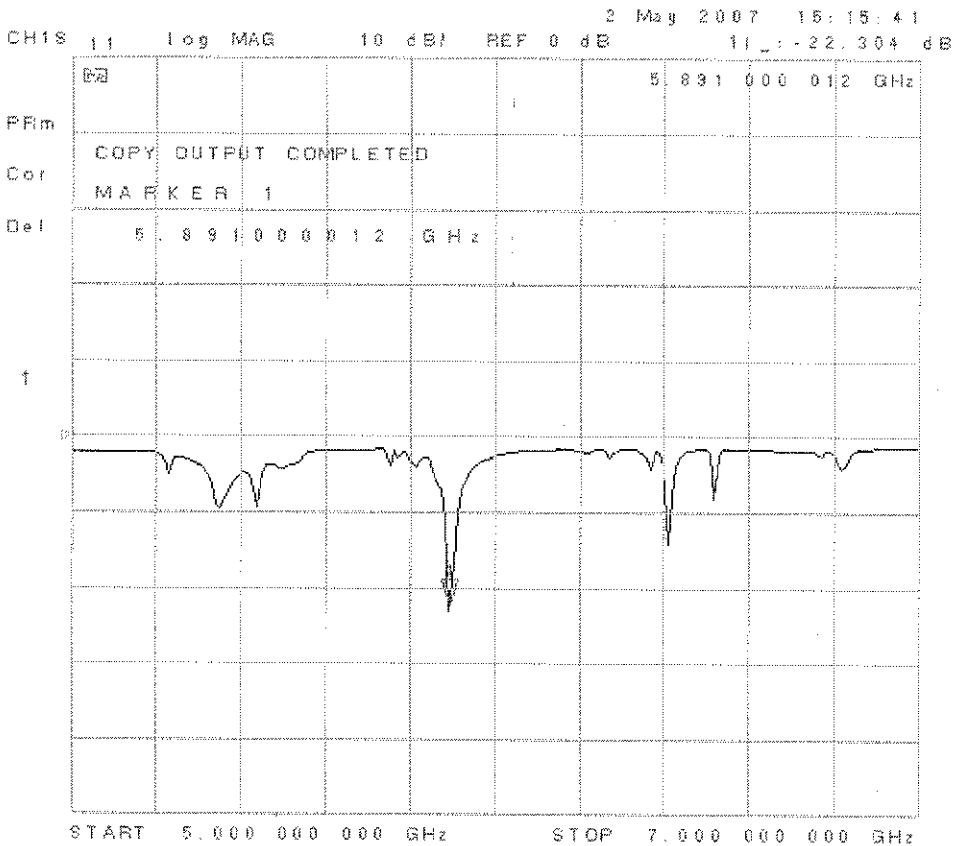


รูปที่ 4-1 เครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer)

4.1 ขั้นตอนการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ

4.1.1 ขั้นตอนการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศแบบร่องจำนวน 1 ร่อง

ทำการปรับเทียบ (Calibrate) เครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย ที่ความถี่ตั้งแต่ 5 GHz ถึง 7 GHz เลือกคำสั่ง Save เพื่อจะได้ไม่ต้องทำการปรับเทียบเครื่องมือ เมื่อต้องการใช้งานภายหลัง ต่อสายอากาศเข้าที่ Port 1 ของเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย ทำการวัด S_{11} เลือก Format แบบ Log Mag ผลการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4-2

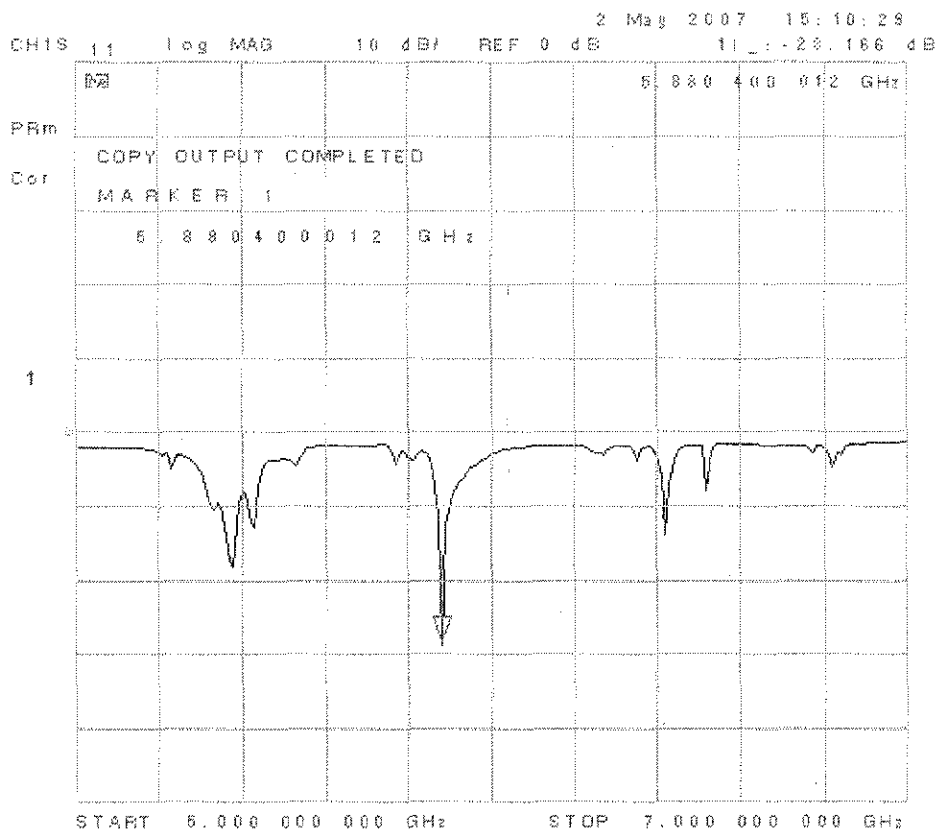


รูปที่ 4-2 แสดงค่า S_{11} ของสายอากาศแบบร่องจำนวน 1 ร่อง

จากรูปที่ 4-2 เป็นการวัดค่า S_{11} โดยที่ความถี่ 5.8910 GHz มีค่าเท่ากับ -22.304 dB การวัดในลักษณะนี้คือการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient) ของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนถ้าวัดค่า S_{11} ต่ำสุด แสดงว่าช่วงความถี่นั้นสามารถส่งและรับสัญญาณได้ดี สัญญาณที่จะสามารถนำไปใช้งานได้ต้องมีค่า S_{11} ต่ำกว่า -15 dB เป็นต้นไป

4.1.2 ขั้นตอนการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศแบบร่องจำนวน 2 ร่อง

ทำการวัดค่า S_{11} ในลักษณะเดียวกันกับสายอากาศแบบร่องจำนวน 1 ร่อง ซึ่งผลการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-3 แสดงค่า S_{11} ของสายอากาศแบบร่องจำนวน 2 ร่อง

จากรูปที่ 4-3 เป็นการวัดค่า S_{11} โดยที่ความถี่ 5.8804 GHz มีค่าเท่ากับ -28.166 dB

4.1.3 การวัดความกว้างแถบของสายอากาศ

ความกว้างแถบของสายอากาศ หมายถึงช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้คือช่วงความถี่ที่สายอากาศรับและส่งสัญญาณได้ โดยสายอากาศจะพิจารณาความกว้างแถบของสายอากาศอยู่ที่ -10 dB ในโหมดของ Log Mag

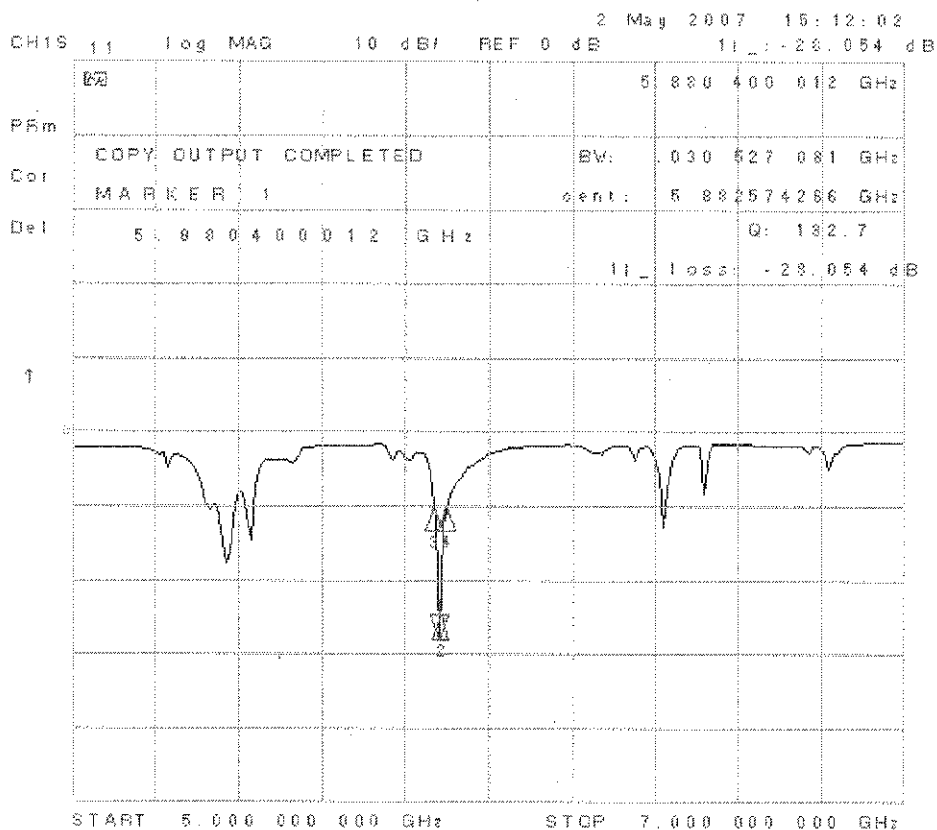
เลือกคำสั่ง Format และเลือก Log Mag

เลือกคำสั่ง Marker Fctn และเลือก MKR SEARCH [OFF]

เลือก WIDTH VALUE เพื่อป้อน -10 dB

เลือก WIDTH ON เพื่อดูค่า

ผลการวัดความกว้างแถบของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-4 แสดงความกว้างแถบของสายอากาศแบบร่องจำนวน 2 ร่อง

จากรูปที่ 4-4 ความกว้างแถบของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 30.527 MHz โดยจุดศูนย์กลางอยู่ที่ 5.8825 GHz

4.2 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ

เป็นการวัดค่าการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ โดยทำการวัดที่บริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Region) ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการ

$$R > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4-1)$$

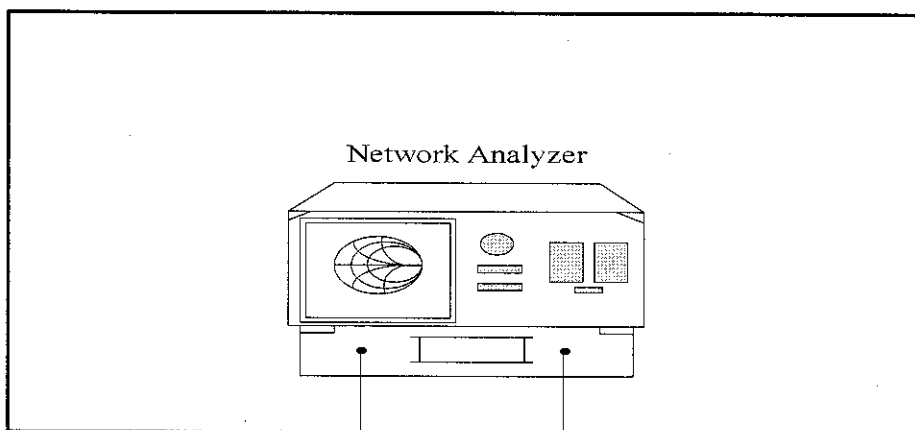
เมื่อ

R คือระยะของสนามระยะไกลหน่วยเป็นเมตร

D คือความยาวสูงสุดของพื้นที่หน้าตัดของร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอกหน่วยเป็นเมตร

λ คือความยาวคลื่นของสายอากาศหน่วยเป็นเมตร

ในการวัดค่าการแผ่กระจายกำลังงานควรทำการวัดการลดทอนในสายก่อน จะได้ทราบว่าในสายมีการสูญเสียเท่าไร เพื่อนำค่าการสูญเสียนั้นไปใช้ในการคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศ ซึ่งสามารถทำการวัดได้โดยต่ออุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-5 แสดงแบบจำลองการต่ออุปกรณ์ในการวัดการลดทอนในสาย

จากการวัดการลดทอนในสายพบว่า

การสูญเสียในสายที่ภาคส่งเท่ากับ 16.4 dB (L_r)

การสูญเสียในสายที่ภาครับเท่ากับ 3.3 dB (L_r)

ดังนั้นสามารถคำนวณค่าการสูญเสียในสายทั้งหมดได้จากสมการ

$$\text{Loss (Attenuation)} = P_i - P_r \quad (4-2)$$

เมื่อ

P_i = กำลังที่ใช้ในการส่งหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)

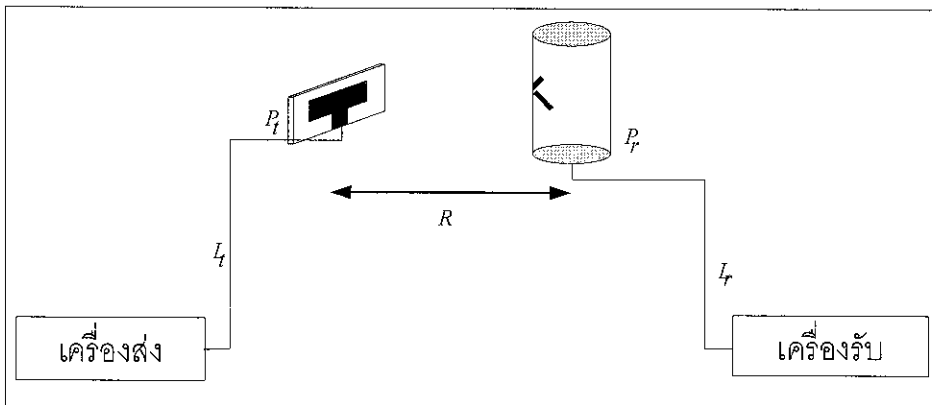
P_r = กำลังที่รับได้หน่วยเป็นเดซิเบล

Loss (Attenuation) = การลดทอนในสายหน่วยเป็นเดซิเบล

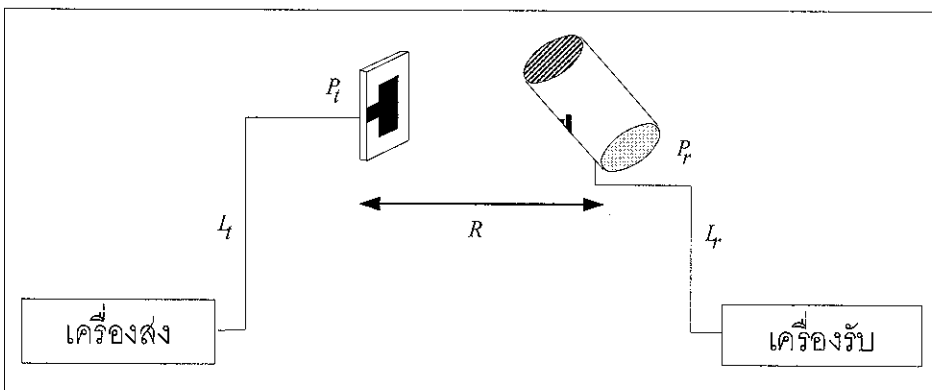
ดังนั้น $P_i =$ กำลังส่ง - L_i

$$P_r = \text{กำลังรับ} + L_r$$

ในการวัดค่าการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ จะทำการวัดในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) และสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ซึ่งสามารถต่ออุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-6(ก) และรูปที่ 4-6(ข) ตามลำดับ

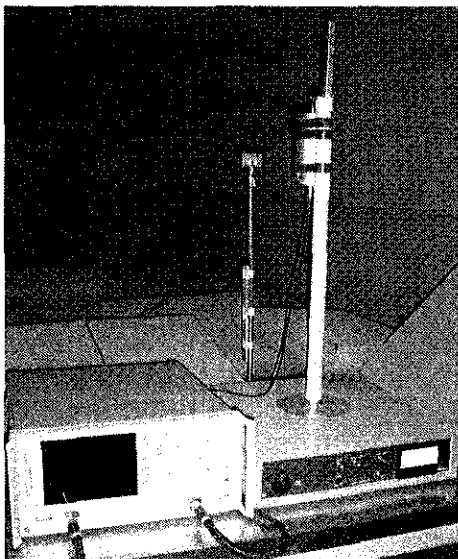


รูปที่ 4-6(ก) แสดงแบบจำลองการต่ออุปกรณ์ในการวัดค่าการรับสัญญาณในระนาบสนามไฟฟ้า

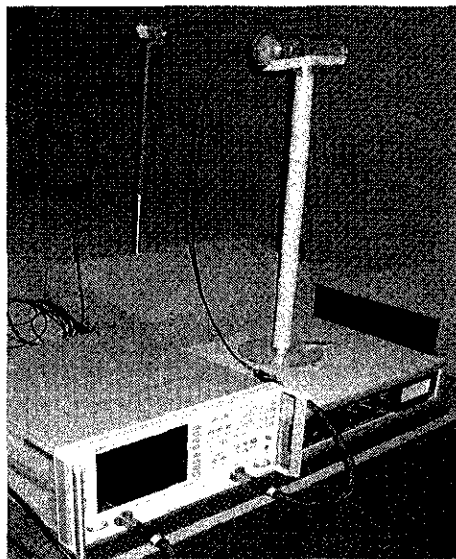


รูปที่ 4-6(ข) แสดงแบบจำลองการต่ออุปกรณ์ในการวัดค่าการรับสัญญาณในระนาบสนามแม่เหล็ก

จากสมการ (4-1) ค่าสนามระยะไกลที่คำนวณได้เท่ากับ 14.4 เซนติเมตร เป็นต้นไป ซึ่งในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศใช้ระยะห่างเท่ากับ 50 เซนติเมตร สามารถต่ออุปกรณ์ต่างๆ ได้ดังแสดงในรูปที่ 4-7(ก) และรูปที่ 4-7(ข) ตามลำดับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-7 แสดงการต่ออุปกรณ์ในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

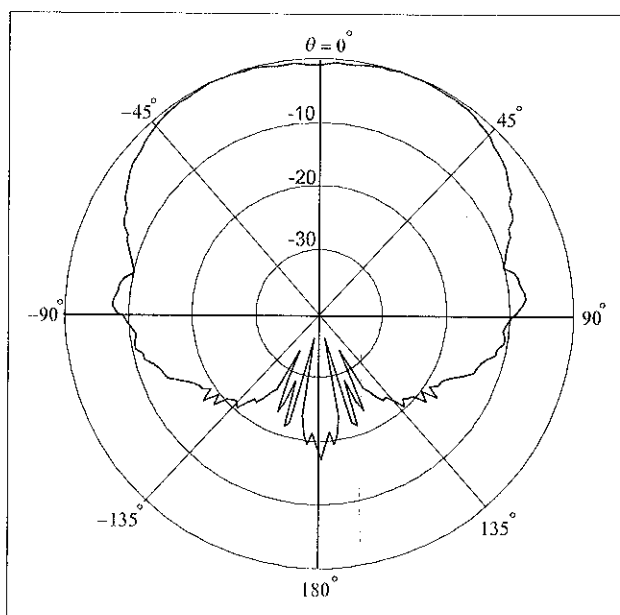
(ก) ในระนาบสนามไฟฟ้า

(ข) ในระนาบสนามแม่เหล็ก

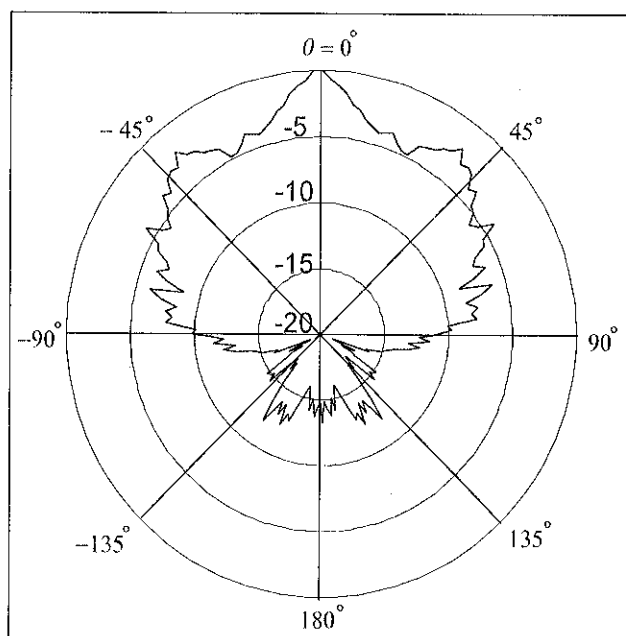
ขั้นตอนการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

1. Recall state จากเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่ายที่จัดเก็บไว้
2. ข่ายพาวเวอร์ โดยเลือกคำสั่ง Mcuu
3. เลือกคำสั่ง POWER และคำสั่ง POWER RANGES
4. เลือก RANGES -20 to -5 ป้อนค่า -10 dB
5. เลือกคำสั่ง CW FREQ ป้อนค่า 5.88 GHz ทำการวัดค่า S_{21} จากเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย เพื่อนำมาพล็อตแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน
6. บันทึกค่ากำลังงานที่รับได้ในแต่ละมุมจนครบ 360 องศา

จะได้ผลแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากการวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่ายใน
ระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4-8(ก) และรูปที่ 4-8(ข) ตามลำดับ



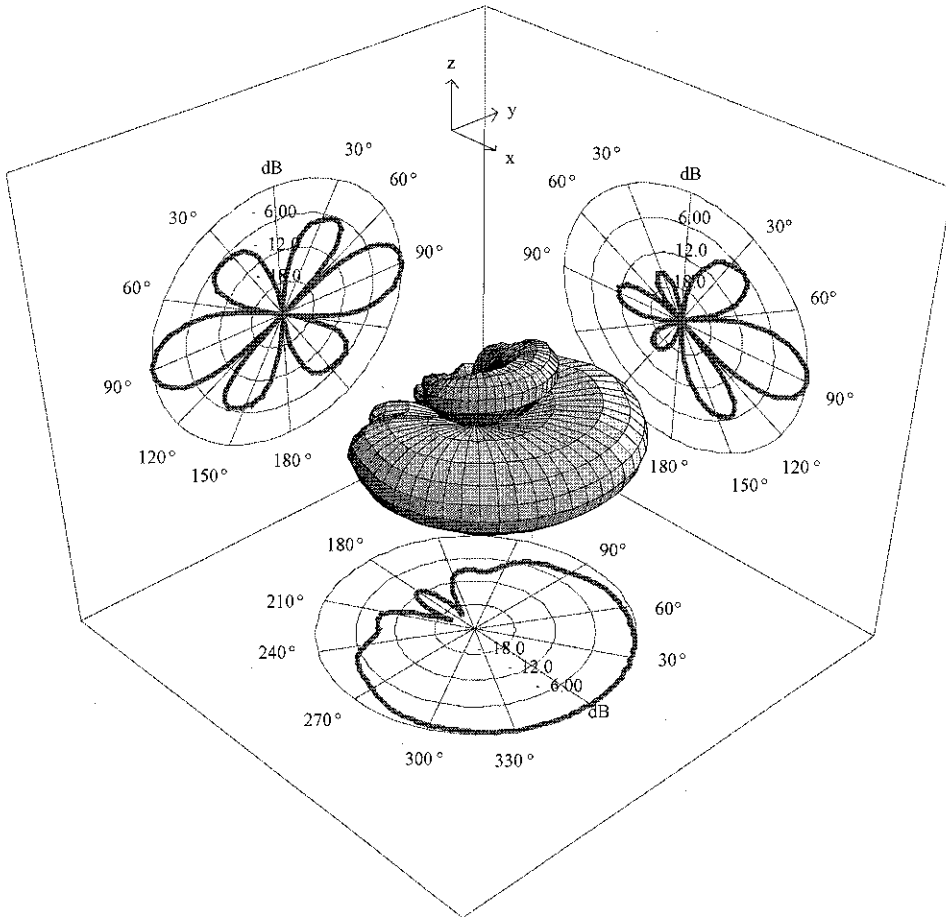
รูปที่ 4-8(ก) แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า



รูปที่ 4-8(ข) แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

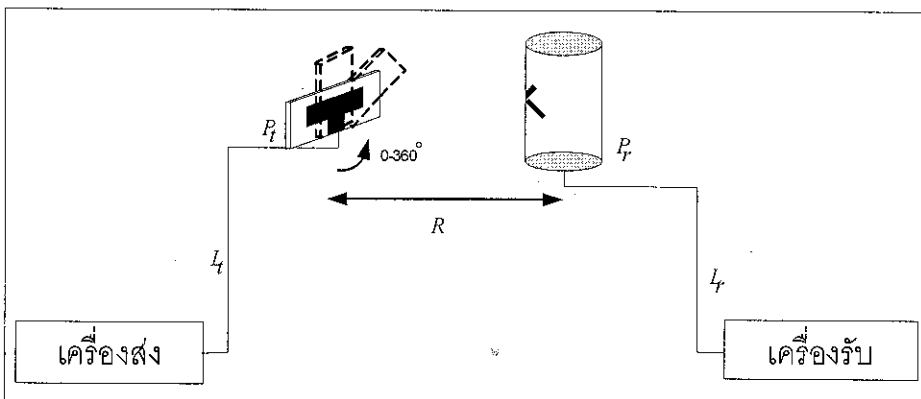
ผลการจำลองแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจาก โปรแกรม Mathematica ดังแสดงในรูปที่

4-9



รูปที่ 4-9 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจาก โปรแกรม Mathematica

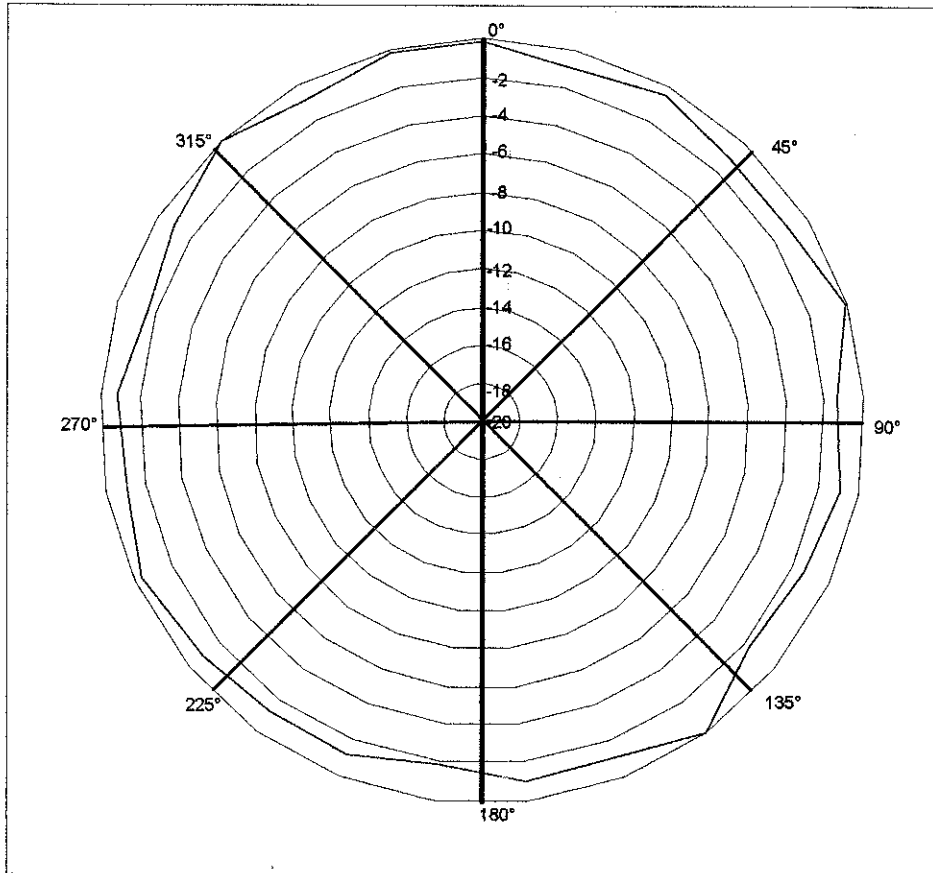
สามารถแสดงการทดสอบการพัฒนาสายอากาศให้มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมได้ โดยการต่ออุปกรณ์ต่างๆดังแสดงในรูปที่ 4-10



รูปที่ 4-10 แสดงการทดสอบการโพลาไรซ์ของสายอากาศ

สำหรับการทดสอบนี้ ต้องการแสดงว่าสายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอกนี้มีการ โพลาริซ์แบบวงกลม ซึ่งจะให้สายอากาศนี้ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณและจะติดตั้งไว้ในตำแหน่งเดิมตลอดการทดสอบ และจะใช้สายอากาศไมโครสตริปเป็นตัวส่งสัญญาณ โดยจะให้สายอากาศนี้หมุนทำมุมไปจนครบ 360 องศา ซึ่งในระหว่างนั้นต้องทำการเก็บค่ากำลังที่รับได้ในแต่ละทิศทางด้วย เพื่อนำค่าไปเปรียบเทียบดูว่ากราฟมีลักษณะเป็นอย่างไร

เมื่อนำค่ากำลังที่รับได้มาพล็อตกราฟได้ ดังรูปที่ 4-11



รูปที่ 4-11 แสดงผลการทดสอบการ โพลาริซ์

จากรูปที่ 4-11 พบว่ากราฟมีลักษณะค่อนข้างคล้ายวงกลม แสดงว่าสายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอกสามารถรับสัญญาณได้ทุกทิศทาง โดยไม่จำเป็นว่าสายอากาศภาคส่งจะอยู่ในระนาบเดียวกันกับภาครับ ซึ่ง ดังนั้นสายอากาศนี้จึงมีการ โพลาริซ์แบบวงกลม

4.3 อัตราขยายของสายอากาศ

ในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานนี้ มีกำลังที่ใช้ในการส่งเท่ากับ -10 dB ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับเท่ากับ 50 เซนติเมตร อัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปที่ใช้เป็นภาคส่งมีค่าเท่ากับ 4 dB และเกิดการลดทอนในสายเท่ากับ 20 dB ดังนั้นอัตราขยายของสายอากาศรับจึงสามารถคำนวณได้จาก

$$P_r = P_t G_t G_r \left[\frac{\lambda}{4\pi R} \right]^2 \quad (4-3)$$

เมื่อ

P_t = กำลังที่ใช้ในการส่งหน่วยเป็นเดซิเบล

P_r = กำลังที่รับได้หน่วยเป็นเดซิเบล

G_t = อัตราขยายของสายอากาศส่งหน่วยเป็นเดซิเบล

G_r = อัตราขยายของสายอากาศรับหน่วยเป็นเดซิเบล

λ = ความยาวคลื่นหน่วยเป็นเมตร

R = ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับหน่วยเป็นเมตร

จากสมการ (4-3) อัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอกมีค่าเท่ากับ $\sqrt{1.584 \text{ dB}}$

4.4 สรุป

ผลจากการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย จะได้ค่าดังนี้

- ความกว้างแถบมีค่าเท่ากับ 30.527 MHz
- การสูญเสียในสาย L_r มีค่าเท่ากับ 16.4 dB
- การสูญเสียในสาย L_r มีค่าเท่ากับ 3.3 dB
- กำลังที่ส่ง P_r มีค่าเท่ากับ -10 dB
- กำลังที่รับได้ P_r มีค่าเท่ากับ -35 dB
- อัตราขยายของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 1.584 dB

ผลจากการเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากการวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่ายและจากโปรแกรม Mathematica พบว่า

- ระนาบสนามไฟฟ้า ได้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน
- ระนาบสนามแม่เหล็ก ได้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ค่อนข้างจะแตกต่างกัน อาจเป็นผลมาจากการติดตั้งอุปกรณ์สายอากาศ เนื่องจากอุปกรณ์มีผิวโค้ง หรือเป็นผลจากการสะท้อนกลับของผิวหรือส่วนที่ยื่นออกมาจากตัวอุปกรณ์

ผลจากการทดสอบการโพลาไรซ์ของสายอากาศแล้วลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอก พบว่า

- สายอากาศแล้วลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอกมีลักษณะการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลม ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานข้างต้น

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

โครงการฉบับนี้เป็นการนำเสนอสายอากาศสำหรับการส่งสัญญาณโทรทัศน์ ที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular Polarization) โดยนำท่ออะลูมิเนียมกลวงทรงกระบอกซึ่งมีปลายปิดทั้งสองด้านเป็นโครงสร้างของสายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอก โดยมีสมมติฐานว่าจะให้ค่าคลื่นมีการแผ่กระจายคลื่นออกรอบตัวสายอากาศ ซึ่งมีการโพลาไรซ์ที่มีมุมหมุนครบทั้ง 360 องศา ในการออกแบบได้กำหนดให้สายอากาศมีรูปแบบเป็นแถวลำดับจำนวน 2 อิลิเมนต์ ซึ่งสายอากาศจะต้องมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน มีความแข็งแรง และมีประสิทธิภาพสูง

ในเชิงทฤษฎีได้นำโปรแกรม Mathematica เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ในการจำลองแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) ของสายอากาศ

การวิเคราะห์คุณลักษณะที่เหมาะสมของสายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอก ในโครงการฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความกว้างแถบ และแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ซึ่งทำให้มีความรู้ความเข้าใจถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ โดยบทที่ 4 ได้แสดงผลการทดสอบความกว้างแถบ และแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศที่ได้ออกแบบและสร้าง พบว่าผลการทดสอบเป็นที่ยอมรับได้ คือใกล้เคียงตามทฤษฎี

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับสายอากาศแถวลำดับแบบร่องตั้งฉากบนผิวทรงกระบอกที่ได้ทำการทดสอบนี้ มีความคลาดเคลื่อนไปจากผลที่ได้จากโปรแกรม Mathematica อยู่พอสมควร ทั้งนี้เป็นผลจากสภาพแวดล้อมและอุปกรณ์ในการทดสอบและจากการออกแบบเอง เนื่องจากสายอากาศนี้ทำงานในย่านความถี่สูง ดังนั้นในการทดสอบสายอากาศที่ติดตั้งควรหาพื้นที่โล่งและมิดชิดพอสมควร ยกตัวอย่างเช่น ทดสอบในห้องแชมเบอร์ (Chamber room) เพื่อลดปัญหาการรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกหรือสะท้อนของคลื่นระหว่างสายอากาศภาคส่งและภาครับ และสายอากาศที่จะนำมาเป็นสายอากาศภาคส่งต้องมีความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศที่ทำการทดสอบ เพื่อให้สายอากาศทั้งสองตัวทำงานได้ดีที่สุดที่ความถี่เดียวกัน เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ถูกต้องมากที่สุด

บรรณานุกรม

- [1] David M. Pozar, **Microwave Engineering 2nd Edition**, John Wiley & Sons Inc., New York, pp.132-136 , 1998.
- [2] Constantine A. Balanis, **Advance Engineering Electromagnetics**, John Wiley & Sons, New York, pp.470-484 และ pp.494-494 , 1998.
- [3] Edward A. Wolff, **Antenna Analysis, Slotted Cylinder.**

ประวัติผู้จัดทำ



นายรัฐพงษ์ โตบารมีกุล เกิดเมื่อวันศุกร์ที่ 7 มิถุนายน พ.ศ. 2528 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลโคกสะอาด อำเภอหนองแซง จังหวัดสระบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยม ปลายจากโรงเรียนหนองแซงวิทยา อำเภอหนองแซง จังหวัดสระบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2545 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นางสาวเมทินี ขำแจ่ม เกิดเมื่อวันพฤหัสบดีที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลพรานกระต่าย อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนนวมินทราชูทิศ มัชฌิม อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ เมื่อปี พ.ศ. 2545 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขา วิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี