

CONTRIBUTION



สายอากาศสำหรับสถานีส่งวิทยุเอฟเอ็มที่มีการโพลาไรซ์ แบบวงกลม รุ่นที่ 2

โดย

นายทวีโชค	โพธิ์ธรรม	รหัสประจำตัว B4402053
นายสาธิต	พยัคฆวงศ์	รหัสประจำตัว B4406846

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427494 โครงการศึกษาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2548

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง
พ.ศ. 2545 สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หัวข้อโครงการ	สายอากาศสำหรับสถานีส่งวิทยุเอฟเอ็มที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลม รุ่นที่ 2		
นักศึกษา	นายทวีโชค โปธิ์ธรรม	รหัสนประจำตัว	B4402053
	นายสาธิต พยัคฆวงศ์	รหัสนประจำตัว	B4406846
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
พ.ศ.	2548		
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	อ.ศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์		

บทคัดย่อ

โครงการฉบับนี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์ ออกแบบ ทดสอบและประเมินคุณลักษณะของสายอากาศแบบร็อมบิคอล ไดโพล รุ่นที่ 2 สำหรับสถานีวิทยุระบบเอฟเอ็ม ย่านความถี่ 88-108 MHz โดยอาศัยต้นแบบของสายอากาศ รุ่นที่ 1 เพื่อพัฒนาการแมตซ์ซิ่ง ซึ่งสายอากาศมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นสายอากาศไดโพลและสายอากาศแบบร็อมบิค มาทำงานผสมผสานเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้การโพลาริซ์แบบวงกลม โดยใช้โปรแกรมคำนวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2 (NEC 2) ช่วยในการออกแบบและทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ ได้แก่ อิมพีแดนซ์ด้านเข้า อัตราส่วนคลื่นนิ่ง แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานและความกว้างแถบ เพื่อเปรียบเทียบและยืนยันผลการคำนวณจึงสร้างสายอากาศต้นแบบขึ้นมาเพื่อประเมินสมรรถนะเชิงการสื่อสารภายใต้สภาพแวดล้อมการใช้งานจริงในระบบการสื่อสาร ณ ความถี่ปฏิบัติการ 98 MHz และทำการทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศ ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ มีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการคำนวณของ โปรแกรม จากผลการคำนวณและผลการทดสอบที่ได้แสดงให้เห็นว่า สายอากาศแบบร็อมบิคอล ไดโพล รุ่นที่ 2 สำหรับสถานีวิทยุระบบเอฟเอ็ม ที่นำเสนอในโครงการฉบับนี้ มีคุณสมบัติเพียงพอสำหรับการนำไปใช้งานจริง

กิตติกรรมประกาศ

คุณความดีอันใดที่เกิดจากโครงการฉบับนี้ ขอมอบแด่บิดา มารดา ผู้ที่คอยห่วงใยให้โอกาสให้กำลังใจและให้การสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด

โครงการฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา อ.ศศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรคร์ ผู้ที่เป็นเจ้าของแนวคิดเริ่มแรกของสายอากาศแบบลูบที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม เพื่อใช้เป็นสายอากาศส่งสำหรับสถานีวิทยุระบบเอฟเอ็ม ที่ให้ความช่วยเหลือในการให้แนวคิด การดูแลเอาใจใส่ติดตามงาน ชี้แนะข้อบกพร่องที่ข้าพเจ้ามองข้าม ตลอดจนฝึกฝนและสนับสนุนข้าพเจ้าให้มีความสามารถในการทำโครงการจนสามารถนำเสนอผลงานให้เป็นที่รู้จักและยอมรับได้

ขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ดังนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่าน ที่สั่งสอนให้ความรู้ข้าพเจ้ามาโดยตลอด คุณณณิรัตน์ ทุมพงษ์ เลขานุการการประจำสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้ความสะดวกในการติดต่อกับอาจารย์ คุณประพล จาระตะคุ วิศวกรประจำอาคารเครื่องมือ 3 ที่ช่วยเป็นธุระติดต่อสั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาสร้างสายอากาศ คุณณรงค์ เขียวสูงเนิน คุณมานพ จันทร์สนิทศรี คุณจิรวัฒน์ คำนทองกลาง คุณวาทิ ทิพย์เลิศ คุณคมสัน ภายหลัง และพี่ๆ ทุกคนที่ประจำอาคารเครื่องมือ 1 ที่คอยสอนการใช้เครื่องมือแต่ละประเภท รวมไปถึงการให้คำแนะนำและการช่วยทำสายอากาศ คุณฉัตรชัย ถาจอหอ เจ้าหน้าที่ดูแลอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ โทรคมนาคม ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเบิกอุปกรณ์และเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ในการทดสอบสายอากาศ พี่นักศึกษาปริญญาโทวิศวกรรมโทรคมนาคมและเพื่อนนักศึกษาสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่ให้การสนับสนุน และท้ายที่สุดน้องนักศึกษาสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่เป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

นายทวีโชค โปธิ์ธรรม

นายสาธิต พยัคฆวงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีสายอากาศแบบร็อมบิคอลไดโพล	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.1.1 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน	3
2.1.2 การโพลาไรซ์	4
2.1.3 อัตราขยาย	4
2.1.4 ความกว้างแถบ	5
2.2 สายอากาศไดโพล	5
2.2.1 สายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ	5
2.2.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศไดโพล	6
2.2.3 การโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล	9
2.3 สายอากาศร็อมบิค	10
2.4 สายอากาศร็อมบิคอลไดโพล	11
2.5 สรุป	14
บทที่ 3 การจำลองโครงสร้างของสายอากาศด้วยโปรแกรม	15
3.1 กล่าวนำ	15
3.2 การจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2	16

สารบัญ

	หน้า
3.3 การใช้งาน โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2	19
3.3.1 การเข้าใช้งาน โปรแกรม	19
3.3.2 การออกแบบ โครงสร้างของสายอากาศ	21
3.4 การออกแบบสายอากาศร็อมบิค	24
3.4.1 การปรับแต่งระยะจุดป้อนสัญญาณ	29
3.4.2 การปรับแต่งระยะห่างของบริเวณรอยต่อของแขนสายอากาศ	31
3.5 การออกแบบสายอากาศไดโพล	32
3.5.1 การปรับแต่งความยาวของแขนสายอากาศไดโพล	35
3.6 การออกแบบสายอากาศร็อมบิคคอล ไดโพล	36
3.6.1 การปรับแต่งระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพล	40
3.6.2 การปรับแต่งความยาวของไดโพล	41
3.7 สรุป	50
บทที่ 4 การสร้างและทดสอบสายอากาศต้นแบบ	51
4.1 กล่าวนำ	51
4.2 การวัดทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ	53
4.2.1 การวัดอิมพีแดนซ์อินพุต	53
4.2.2 ความกว้างแถบของสายอากาศ	56
4.2.3 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน	57
4.2.4 การโพลาไรซ์	63
4.2.5 อัตราขยาย	65
4.3 สรุป	68
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	69
5.1 บทสรุป	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	69

สารบัญ

	หน้า
บรรณานุกรม	71
ภาคผนวก	72
ประวัติผู้เขียน	73

สารบัญรูป

	หน้า
2.1 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดี่ยว	3
2.2 สายอากาศไดโพล	5
2.3 ระนาบสนามไฟฟ้า: E-plane (y-z) และระนาบสนามแม่เหล็ก: H-plane (x-y) ของสายอากาศไดโพล	6
2.4 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ของไดโพลอุดมคติ	7
2.5 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ของไดโพลอุดมคติ	7
2.6 การแจกแจงของกระแสบนสายอากาศไดโพล $\lambda/2$	8
2.7 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ของสายอากาศไดโพล $\lambda/2$ (เส้นทึบ) และไดโพลอุดมคติ (เส้นประ)	8
2.8 ลักษณะการโพลาริซซ์ของสายอากาศไดโพล	9
2.9 สายอากาศร็อมบิคที่สร้างจากสายอากาศตัววี	10
2.10 สายอากาศร็อมบิคที่สร้างจากสายอากาศตัววี 2 ตัว	10
2.11 สายอากาศร็อมบิคที่แบ่งโครงสร้างออกเป็น 4 ส่วน	11
2.12 โครงสร้างสายอากาศร็อมบิคอล ไดโพล	13
3.1 ไอคอน 4nec2x ในการเข้าใช้โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2	19
3.2 การเลือกไฟล์แบบจำลอง	19
3.3 เมนูหลักของโปรแกรม	20
3.4 ไอคอน Edit NEC input-file บนหน้าต่างหลัก	21
3.5 การเลือกคำสั่ง New ในหน้าต่าง Geometry Edit เพื่อเข้าสู่หน้าต่าง Geometry Edit (File changed)	22
3.6 หน้าต่าง Geometry Edit (File changed) และส่วนประกอบต่าง ๆ	22
3.7 การป้อนค่าความถี่สายอากาศที่ต้องการออกแบบ	24
3.8 หน้าต่างแสดงขนาดรัศมีที่ต้องการในการออกแบบ	24
3.9 ภาพวาดสายอากาศร็อมบิค พร้อมทั้งลักษณะการป้อนแหล่งจ่าย โหลด การกำหนดค่าของอิมพีแดนซ์ และการกำหนดประเภทของโหลด	25
3.10 ตำแหน่งและค่าในการปรับเช็กเมนต์	26
3.11 ตำแหน่งคำสั่งในการตั้งค่าเช็กเมนต์แบบอัตโนมัติ	26
3.12 หน้าต่างแสดงจำนวนเช็กเมนต์ที่ต้องการ	27

3.13	หน้าตัดเจเนอรัลเรท	27
3.14	หน้าตัดหลักกับผลลัพธ์ของค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศรีอิมบิค	28
3.15	หน้าตัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศรีอิมบิค	28
3.16	หน้าตัด โครงสร้างสายอากาศสายอากาศรีอิมบิค	29
3.17	การปรับแต่งระยะจุดป้อนสัญญาณ	30
3.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของจุดป้อนสัญญาณกับค่าจริงของอิมพีแดนซ์	30
3.19	การปรับแต่งระยะห่างของบริเวณรอยต่อของแขนสายอากาศ	31
3.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของข้อต่อของแขนสายอากาศกับค่าจริงของอิมพีแดนซ์	31
3.21	ภาพวาดสายอากาศไดโพล	32
3.22	หน้าตัดหลักกับผลลัพธ์ของค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศไดโพล	33
3.23	หน้าตัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศไดโพลแบบ 2 มิติ	33
3.24	หน้าตัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศไดโพลแบบ 3 มิติ	34
3.25	หน้าตัด โครงสร้างสายอากาศสายอากาศไดโพล	34
3.26	การปรับแต่งความยาวสายอากาศไดโพล	35
3.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวไดโพลกับค่าจริงของอิมพีแดนซ์	35
3.28	รูปวาดสายอากาศรีอิมบิคและสายอากาศไดโพลก่อนทำการรวมเป็นสายอากาศรีอิมบิคอลไดโพล	37
3.29	หน้าตัดหลักกับผลลัพธ์ของค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศรีอิมบิคอลไดโพล	37
3.30	หน้าตัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศรีอิมบิคอลไดโพลแบบ 2 มิติ	38
3.31	หน้าตัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศรีอิมบิคอลไดโพลแบบ 3 มิติ	38
3.32	หน้าตัด โครงสร้างสายอากาศสายอากาศรีอิมบิคอลไดโพล	39
3.33	การปรับแต่งระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพล	40
3.34	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างไดโพลกับค่าจริงของอิมพีแดนซ์	40
3.35	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวไดโพลกับค่าจริงของอิมพีแดนซ์	41
3.36	ภาพวาดสายอากาศรีอิมบิคอลไดโพลในระนาบ XY	42
3.37	ภาพวาดสายอากาศรีอิมบิคอลไดโพลในระนาบ XZ	42
3.38	หน้าตัดหลักกับผลลัพธ์ของค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศรีอิมบิคอลไดโพลที่สมบูรณ์	43
3.39	หน้าตัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศรีอิมบิคอลไดโพลที่สมบูรณ์แบบ 2 มิติ	43

3.40 หน้าต่างแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศรีอมบิคอลไดโพลที่สมบูรณ์ แบบ 3 มิติ	44
3.41 หน้าต่าง โครงสร้างสายอากาศสายอากาศรีอมบิคอลไดโพลที่สมบูรณ์	44
3.42 การเลือกฟังก์ชันและการกำหนดความถี่ในหน้าต่างเจเนอร์เรท	45
3.43 การเปลี่ยนฟังก์ชันในเมนู Show เพื่อเข้าสู่ฟังก์ชัน Imped./Phase	45
3.44 หน้าต่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับค่าอิมพีแดนซ์	46
3.45 ภาพวาดสายอากาศรีอมบิคอลไดโพลกับสายส่งสัญญาณแบบแข็งในระนาบ XY	47
3.46 ภาพวาดสายอากาศรีอมบิคอลไดโพลกับสายส่งสัญญาณแบบแข็งในระนาบ YZ	47
3.47 ภาพวาดสายอากาศรีอมบิคอลไดโพลกับสายส่งสัญญาณแบบแข็งในระนาบ XZ	48
3.48 ภาพวาดสายอากาศรีอมบิคอลไดโพลกับสายส่งสัญญาณแบบแข็งแบบ 3 มิติ	48
3.49 หน้าต่างแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศรีอมบิคอลไดโพลที่มีสายส่ง สัญญาณแบบแข็งแบบ 2 มิติ	49
3.50 หน้าต่างแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศรีอมบิคอลไดโพลที่มีสายส่ง สัญญาณแบบแข็งแบบ 3 มิติ	49
4.1 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล	51
4.2 ผลการจำลองสายอากาศรีอมบิคอลไดโพลจากโปรแกรม NEC 2	52
4.3 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล	52
4.4 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล	53
4.5 Smith chart ของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์	54
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอกแตนซ์กับความถี่	55
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่	55
4.8 ความกว้างแถบของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์	56
4.9 ความกว้างแถบของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล 2 อิลิเมนต์	57
4.10 Network Analyzer	58
4.11 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพลในระนาบ สนามไฟฟ้า	59
4.12 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพลในระนาบ สนามแม่เหล็ก	59
4.13 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล	60
4.14 ผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า	61
4.15 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าจากโปรแกรม NEC 2	62

4.16 ผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก	63
4.17 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กจาก โปรแกรม NEC 2	63
4.18 การวัดโพลาไรซ์ร่วม	64
4.19 ผลการวัดโพลาไรซ์ของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล	64
4.20 การวัด S_{21} ของสายอากาศไดโพลในระนาบสนามแม่เหล็ก	66
4.21 การวัดอัตราขยายของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก	66
4.22 ผลการวัด S_{21} ของไดโพล	67
4.23 ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์	67
4.24 ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล 2อิลิเมนต์	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ตั้งแต่อดีตการสื่อสารและระบบข้อมูลข่าวสารนับเป็นสิ่งที่สำคัญซึ่งมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามขีดความสามารถของเทคโนโลยีแต่ละยุคสมัย โดยการสื่อสารที่รู้จักกันดีคือ การสื่อสารระบบวิทยุเอฟเอ็ม ซึ่งใช้งานในย่านความถี่ 88-108 MHz (FM Broadcast Band) การสื่อสารระบบวิทยุเอฟเอ็มมีความสำคัญและเป็นที่ยอมรับอย่างมากแม้จะถูกนำมาใช้ในประเทศไทยเป็นเวลานานแล้ว โดยสถานีส่งวิทยุระบบเอฟเอ็มที่คั่นนั้นย่อมต้องการที่จะส่งสัญญาณออกไปให้ได้ไกลที่สุดเท่าที่จะทำได้ และสามารถให้ผู้รับฟังได้โดยสะดวกดังนั้นการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อส่งคลื่นวิทยุระบบเอฟเอ็มให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง ด้วยเหตุนี้สายอากาศสำหรับส่งคลื่นวิทยุในระบบเอฟเอ็มจึงเป็นอุปกรณ์ที่เข้ามามีบทบาทสำคัญอย่างยิ่ง

ปัจจุบันสายอากาศที่มีการใช้งานอยู่ภายในประเทศยังคงเป็นสายอากาศที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ดังนั้นโครงการฉบับนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างสายอากาศต้นแบบ เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตสายอากาศภายในประเทศแทนการนำเข้าสายอากาศจากต่างประเทศ โดยได้เน้นการศึกษาและออกแบบสายอากาศซึ่งถูกตั้งชื่อว่า ร็อมบิคอลไดโพล (Rhombical Dipole) ซึ่งสายอากาศเป็นการทำงานร่วมกันของโครงสร้างของสายอากาศแบบร็อมบิคและแบบไดโพล ซึ่งจะทำให้เกิดการโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular Polarized Antenna) โดยสายอากาศต้นแบบนี้เป็นรุ่นที่ 2 โดยมีการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงระบบการแมตซ์ซึ่งซึ่งจากเดิมเป็นแบบแกมมาแมตซ์และแบบสตัดแมตซ์ส่งผลให้สายอากาศรุ่นที่ 1 นั้นมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานไม่รอบตัวทุกทิศทาง โดยจุดเด่นของสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมเมื่อใช้เป็นสายอากาศภาคส่งก็คือ ลักษณะของแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) ที่มีลักษณะแผ่กระจายออกรอบตัวสายอากาศในระนาบเดียว มีการโพลาไรซ์ที่มีมุมหมุนครบทั้ง 360 องศา ทำให้เครื่องรับสามารถรับสัญญาณได้ไม่ว่าสายอากาศภาครับจะมีการวางตัวอยู่ที่ทิศทางใดก็ตาม และนอกจากนี้ยังสามารถออกแบบให้ทนกำลังได้สูง (High Power Handling)

ในระบบสถานีส่งวิทยุระบบ FM ต้องการสายอากาศที่ให้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเป็นแบบรอบทิศทางในระนาบเดียวและความกว้างแถบ (Bandwidth) ในระนาบมุมเงย (Elevation plane) ที่กว้างเพียงพอ เพราะคุณสมบัติทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กล่าวมา จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาสายอากาศให้เข้ากับความถี่ดังกล่าว นอกจากนี้สายอากาศจะต้องมีคุณสมบัติทางกลที่แข็งแรง ทนกำลังได้สูง และที่สำคัญต้องมีต้นทุนต่ำดังนั้นด้วยลักษณะ โครงสร้างสายอากาศแบบร็อมบิคอลไดโพลสามารถตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้อย่างเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศสำหรับสถานีส่งวิทยุระบบเอฟเอ็มตัวเดิมเพื่อ พัฒนาระบบการแมตซ์ซิ่ง เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสม ได้แก่ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing-Wave Ratio หรือ SWR) ความกว้างแถบ (Bandwidth) และ อัตราขยาย (Gain)
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานและการใช้งานของ โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2 (Numerical Electromagnetics Code 2: NEC2) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สายอากาศต้นแบบที่ได้ศึกษาและออกแบบใหม่เพื่อใช้สำหรับสถานีส่งวิทยุระบบเอฟเอ็ม
- 1.2.3 เพื่อสร้างสายอากาศต้นแบบสำหรับใช้งานย่านความถี่เอฟเอ็มที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมซึ่งประสิทธิภาพสูงได้และนำไปใช้ทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ

1.3 ขอบเขตของงาน

- 1.3.1 ศึกษาการทำสายอากาศรีอิมบิลไดโพล
- 1.3.2 ศึกษาการใช้โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงตัวเลขรุ่นที่ 2 ในการออกแบบสายอากาศ
- 1.3.3 ออกแบบสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมโดยอาศัยต้นแบบของสายอากาศ รุ่นที่ 1
- 1.3.4 ออกแบบระบบการแมตซ์ซิ่งสายอากาศให้แมตซ์กับค่าอิมพีแดนซ์สายส่ง โคแอกเซียล
- 1.3.5 ทำการวัดทดสอบคุณสมบัติและพารามิเตอร์ที่จำเป็นของสายอากาศ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 วางแผนดำเนินการ ศึกษาโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงตัวเลขรุ่นที่ 2
- 1.4.2 ใช้โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงตัวเลข รุ่นที่ 2 คำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ
- 1.4.3 สร้างสายอากาศต้นแบบ
- 1.4.4 ศึกษาออกแบบระบบการแมตซ์ซิ่งให้กับสายอากาศ
- 1.4.5 วัดทดสอบคุณลักษณะสายอากาศ

บทที่ 2

ทฤษฎีสายอากาศแบบรอมบิคอลไดโพล (Rhombical Dipole Antenna)

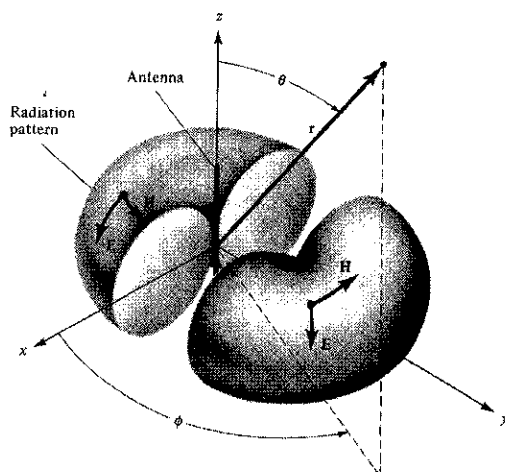
ในบทนี้จะกล่าวถึง ลักษณะของสายอากาศที่จะใช้เป็นสายอากาศส่งคลื่นวิทยุระบบเอฟเอ็ม โดยได้นำทฤษฎีของสายอากาศไดโพล (Dipole Antenna) และสายอากาศรอมบิค (Rhombic Antenna) มาผสมผสานกัน เพื่อนำมาประยุกต์เป็นสายอากาศในชื่อว่า รอมบิคอลไดโพล เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ

2.1 กล่าวนำ

คุณสมบัติของสายอากาศสำหรับส่งคลื่นวิทยุในระบบเอฟเอ็มที่จะทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งที่ดีนั้น ต้องเป็นสายอากาศที่ทำให้สายอากาศภาครับสามารถรับสัญญาณได้ดีที่สุดนั่นคือ ไม่ว่าสายอากาศภาครับจะอยู่ที่ทิศทางใดของสายอากาศภาคส่งและมีการโพลาไรซ์เป็นแบบใดก็ตามสายอากาศภาครับควรรับคลื่นจากสถานีส่งได้ ดังนั้นคุณสมบัติที่ดีของสายอากาศสำหรับส่งคลื่นวิทยุระบบเอฟเอ็มที่สำคัญมีดังนี้

2.1.1 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation pattern)

สายอากาศสำหรับสถานีส่งวิทยุระบบเอฟเอ็มนั้นต้องมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดียว (Omni Directional Pattern) คือ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ไม่มีทิศทางในระนาบที่กำหนดให้ในที่นี้คือ มุมอาซิมุท (Azimuth) และระนาบที่อยู่ตั้งฉากกันจะมีแบบรูปการกระจายกำลังงานแบบมีทิศทางในกรณีนี้คือ มุมเงย (Elevation) ดังรูปที่ 2.1 ทำให้เครื่องรับสามารถรับสัญญาณได้ไม่ว่าสายอากาศภาครับจะมีการวางตัวอยู่ที่ทิศทางใดของสายอากาศภาคส่ง [3]



รูปที่ 2.1 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดียว

2.1.2 การโพลาไรซ์ (Polarization)

การแยกแ้วคลื่นที่แผ่กำลังงานออกไป (Polarization of a Radiated Wave) หมายถึง การอธิบายคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งขนาดสัมพัทธ์และทิศทางของเวกเตอร์สนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาตลอดทิศทางของการแผ่กำลังงานออกไป การแยกแ้วคลื่น สามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ แบบเชิงเส้น (Linear) แบบวงรี (Ellipse) และแบบวงกลม (Circular)

โดยสายอากาศภาคส่งที่ดีสำหรับสถานีส่งวิทยุระบบเอฟเอ็ม ควรมีการโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular Polarization) คือ มีขนาดของเวกเตอร์องค์ประกอบทั้งสองของคลื่นมีค่าเท่ากันทั้งในแกนใหญ่ (Major Axis) และแกนเล็ก (Minor Axis) โดยตั้งฉากซึ่งกันและกันรวมทั้งความต่างเฟสเชิงเวลาระหว่างทั้งสองต้องมีค่าเป็นจำนวนคี่ของ $\pi/2$

สายอากาศภาคส่งมีการโพลาไรซ์แบบวงกลมมีข้อได้เปรียบคือ ไม่ว่าสายอากาศรับนั้นมีการโพลาไรซ์แบบใดก็ตามก็ยังสามารถรับสัญญาณที่ส่งมาได้ ในทางกลับกันถ้าใช้สายอากาศที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นเป็นสายอากาศภาคส่งแล้วจะเป็นเรื่องยากที่จะกำหนดลักษณะการวางตัวของสายอากาศรับซึ่งจะส่งผลให้เกิดการจางหายของสัญญาณเมื่อการวางตัวของสายอากาศเปลี่ยนไปไม่ว่าจะเป็นภาครับหรือภาคส่ง

2.1.3 อัตราขยาย (Gain)

อัตราขยายจริง (Absolute Gain) ของสายอากาศ (ในทิศทางที่กำหนดให้) หมายถึง อัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานที่ได้รับเข้ามา

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_m} \quad (2.1)$$

อัตราขยายสัมพัทธ์ (Relative Gain) หมายถึง อัตราส่วนของอัตราขยายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่ออัตราขยายกำลังงานของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น โดยกำลังงานที่ป้อนให้กับอินพุตของสายอากาศจะต้องเหมือนกันทั้งสองตัว โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้ในการเปรียบเทียบ คือสายอากาศที่เป็นแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิกที่ไม่มีการสูญเสีย (Lossless Isotropic Source)

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in} \text{ (Isotropic source)}} \quad (2.2)$$

โดยทั่วไปแล้วสายอากาศสำหรับสถานีส่งวิทยุระบบเอฟเอ็มที่มีขายกันจะมีค่าอัตราขยายในแต่ละอีทิเมนต์อยู่ที่ประมาณ 4.5 dB [6]

2.1.4 ความกว้างแถบ (Bandwidth)

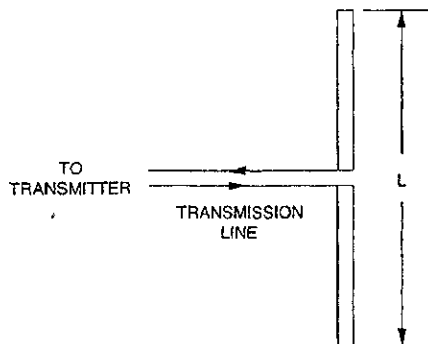
ความกว้างแถบของสายอากาศถูกนิยามว่า ย่านของความถี่ที่ยังอยู่ภายในสภาวะที่สายอากาศยังสามารถทำงานได้ สภาวะดังกล่าวพิจารณาจากคุณลักษณะบางตัวของสายอากาศและให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ความกว้างแถบจะพิจารณาจากช่วงของความถี่ที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความถี่กลาง (Center Frequency) ซึ่งสภาวะการทำงานของสายอากาศที่ยอมรับได้จะต้องสามารถทำงานได้ตลอดย่านความถี่นี้ สำหรับการสื่อสารวิทยุระบบเอฟเอ็ม ความกว้างแถบตามมาตรฐานกำหนดที่ 500 kHz [2]

2.2 สายอากาศไดโพล (Dipole antenna)

2.2.1 สายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ (Dipole antenna and Isotropic antenna)

สายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด มีส่วนประกอบเป็นเส้นลวดสองเส้นที่มีความยาว L วางเป็นแนวเส้นตรงดังรูปที่ 2.2 โดยจุดกึ่งกลางของตัวไดโพลจะถูกต่อเข้ากับเครื่องส่ง โดยใช้สายส่งเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ เครื่องส่งจะจ่ายสัญญาณเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปยังสายอากาศ กระแสของสัญญาณนี้จะไหลไปยังขั้วหนึ่งของไดโพลและไหลกลับมายังอีกขั้วหนึ่งของไดโพลดังแสดงในรูปที่ 2.2

การแจกแจงรูปของกระแส (Current Distribution) จะแสดงให้เห็นขนาด (Magnitude) ของสัญญาณกระแสสลับที่เกิดขึ้นตลอดความยาวของสายอากาศไดโพลซึ่งมีค่าไม่เท่ากัน โดยที่ปลายทั้งสองจะมีค่าเป็นศูนย์แต่จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่จุดกึ่งกลางหรือที่จุดอื่นๆ บนตัวไดโพล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของไดโพลและความถี่ของสัญญาณที่มาจากเครื่องส่ง



รูปที่ 2.2 สายอากาศไดโพล

ไดโพลอุดมคติ (Ideal Dipole) เป็นสายอากาศสมมติซึ่งใช้ประโยชน์ในการศึกษาสายอากาศชนิดอื่นๆ สามารถพิจารณาให้เป็นส่วนประกอบของความยาวไดโพล (Infinitesimal Dipole) ที่มีการแจกแจงรูป

ของกระแสที่เท่ากันตลอดความยาวคุณลักษณะทางทฤษฎีของไดโพลอุดมคติจะประมาณให้มีค่าทางไฟฟ้าเท่ากับสายอากาศไดโพลที่มีขนาดเล็ก

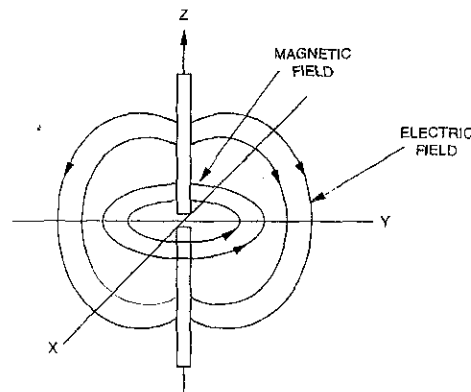
2.2.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศไดโพล (Dipole antenna pattern)

แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศสามารถที่จะทราบได้ด้วยการวัดและถ้าทราบลักษณะการแจกแจงของกระแสบนตัวสายอากาศ ก็จะสามารถหาแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากการคำนวณได้เช่นเดียวกัน

แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจะเป็นตัวแสดงถึงการกระจายกำลังงานออกไปตามฟังก์ชันของทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกไปจากสายอากาศ ซึ่งแสดงถึงระดับสัมพันธ์ของกำลังงานที่ส่งออกไปซึ่งเป็นฟังก์ชันของทิศทาง ถึงแม้ว่าเราจะใช้คำว่า “การแผ่กระจายกำลังงาน” กับแบบรูปที่ใช้กับสายอากาศส่ง แต่ความจริงจะเป็นแบบรูปอันเดียวกันกับแบบรูป “การรับคลื่น” ในกรณีที่เป็นสายอากาศรับด้วยตามทฤษฎีภาวะย้อนกลับ (Reciprocity Theorem)

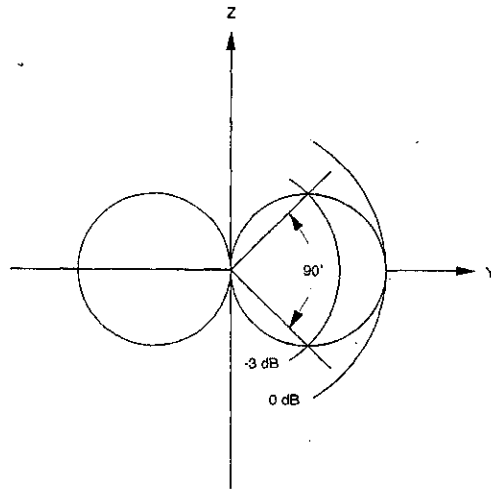
ถึงแม้ว่าแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่สมบูรณ์จะเป็นฟังก์ชันแบบ 3 มิติ แต่ทั่วไปจะใช้งานกันเพียง 2 มิติ ก็เพียงพอที่จะบอกคุณลักษณะของสายอากาศที่มีทิศทางได้ การวัดในแต่ละมิติจะวัดในแต่ละระนาบที่ตั้งฉากกันคือ ระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) และระนาบที่ขนานกันคือ ระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ดังแสดงในรูปที่ 2.3

แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบหนึ่งสามารถวัดได้โดยการหมุนสายอากาศในระนาบนั้น ขณะที่ระดับของกำลังงานที่รับได้จะเป็นฟังก์ชันของการหมุนของสายอากาศ เพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ถูกต้องควรจะต้องจัดสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบสายอากาศที่จะทำการวัดให้ปราศจากวัตถุที่อาจจะทำให้เกิดการสะท้อนสัญญาณและส่งกลับไปยังสายอากาศที่ทำการวัดอยู่

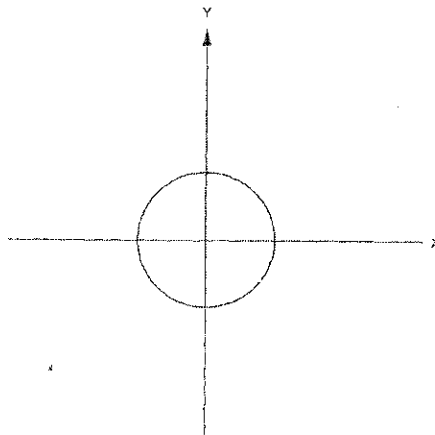


รูปที่ 2.3 ระนาบสนามไฟฟ้า: E-plane (y-z) และระนาบสนามแม่เหล็ก: H-plane (x-y) ของสายอากาศไดโพล

รูปที่ 2.4 ได้แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของไดโพลอุดมคติ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานนี้แสดงให้เห็นว่าไดโพลอุดมคตินั้นมีทิศทางด้วยเพราะว่าการแผ่กระจายกำลังงานจะมีความแรงของสัญญาณสูงในบางทิศทางเมื่อเทียบกับทิศทางอื่นๆ ส่วนแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในสนามแม่เหล็กได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 ซึ่งในแบบรูปนี้การแผ่กระจายกำลังงานจะเท่ากันทุกทิศทาง



รูปที่ 2.4 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ของไดโพลอุดมคติ

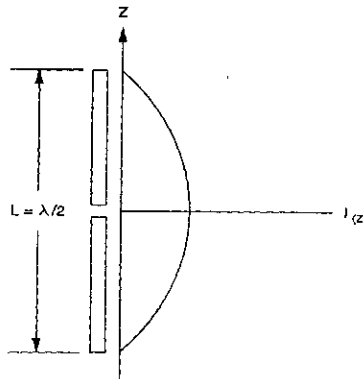


รูปที่ 2.5 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ของไดโพลอุดมคติ

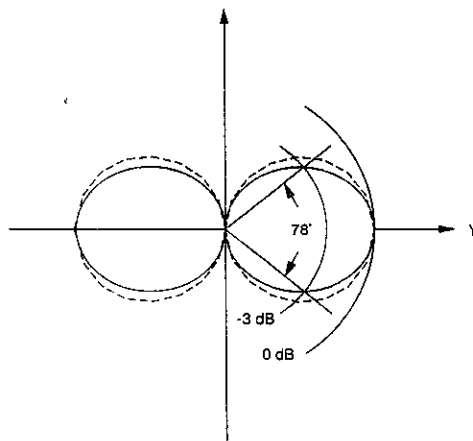
ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power Beamwidth: HPBW) ของสายอากาศคือ การพิจารณา มุมในลำคลื่นหลักโดยคิดที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง (-3 dB) ของกำลังงานที่แผ่ออกในทิศทางของกำลังงานสูงสุด

$$\text{HPBW} = \left| \theta_{\text{HPBW}_{\text{left}}} - \theta_{\text{HPBW}_{\text{right}}} \right| \quad (2.3)$$

ค่า HPBW ของไดโพลอุดมคติในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) จะเท่ากับ 90 องศาซึ่งดูได้จาก รูปที่ 2.5 สำหรับสายอากาศไดโพลในทางปฏิบัติซึ่งใช้กันทั่วไป จะมีความยาว L เท่ากับ $\lambda/2$, λ และ $3\lambda/2$ ค่า λ เป็นค่าความยาวคลื่นของสัญญาณ การแจกแจงของกระแสที่เกิดขึ้นบนไดโพล $\lambda/2$ จะมีรูปร่างของสัญญาณเป็นรูปไซน์ครึ่งคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยกระแสจะมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางและมีค่าศูนย์ที่จุดปลายสุด รูปที่ 2.7 ได้แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ทั้งจากสายอากาศไดโพลแบบ $\lambda/2$ และในไดโพลอุดมคติ โดยสายอากาศไดโพล $\lambda/2$ มี HPBW 78 องศา ในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) และให้ผลที่แคบและบางกว่าลักษณะของสายอากาศไดโพลอุดมคติ ส่วนการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ของสายอากาศไดโพล $\lambda/2$ จะมีลักษณะเป็นวงกลมดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การแจกแจงของกระแสบนสายอากาศไดโพล $\lambda/2$

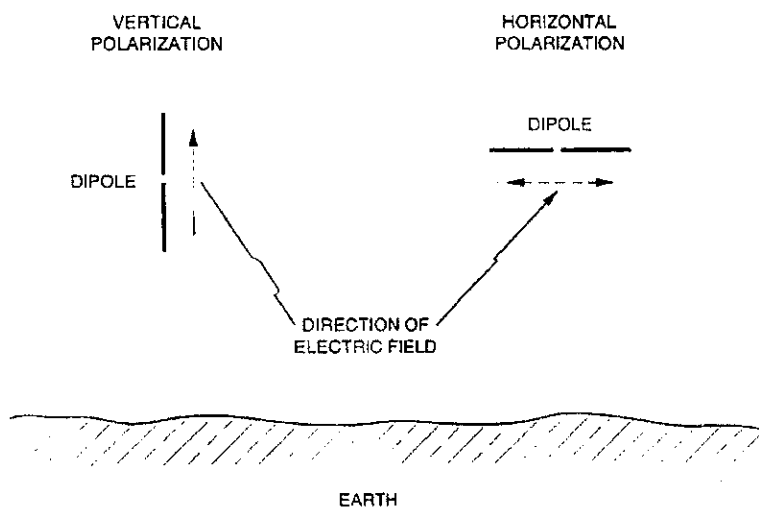


รูปที่ 2.7 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ของสายอากาศไดโพล $\lambda/2$ (เส้นทึบ) และไดโพลอุดมคติ (เส้นประ)

2.2.3 การโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล (Dipole Antenna Polarization)

การโพลาไรซ์ของสายอากาศใช้อธิบายทิศทางของสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศซึ่งถูกส่งออกไปโดยตัวสายอากาศในทิศทางซึ่งมีความเข้มของสนามสูงสุดและวัดได้ในสนามระยะไกล สายอากาศจำนวนมากจะมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้นคือ ในหนึ่งรอบ (Cycle) เวกเตอร์สนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และยังคงถูกแบ่งออกเป็นการโพลาไรซ์แนวตั้ง (Vertical Polarization) และการโพลาไรซ์แนวนอน (Horizontal Polarization) นอกจากนี้ยังมีการโพลาไรซ์แบบวงกลม และแบบรูปวงรี

บ่อยครั้งที่การโพลาไรซ์ของสายอากาศจะพิจารณาจากรูปทรงของตัวสายอากาศเอง เช่น ในกรณีของสายอากาศแบบเส้นลวด ซึ่งอาจจะมีส่วนประกอบเพียงตัวเดียวหรือหลายตัววางขนานกัน (เช่นสายอากาศไดโพลและยาگی) เราสามารถที่จะสมมติให้สนามไฟฟ้าซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นขนานไปกับส่วนประกอบของตัวสายอากาศ แต่ก็มีสายอากาศบางชนิดซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นเหมือนกัน แต่ไม่สามารถจะใช้รูปทรงของโครงสร้างมาทำนายการโพลาไรซ์ได้ เช่น สายอากาศปากแตร (Horn) แบบบ่วง (Loop) และแบบร่อง (Slit) เป็นต้น

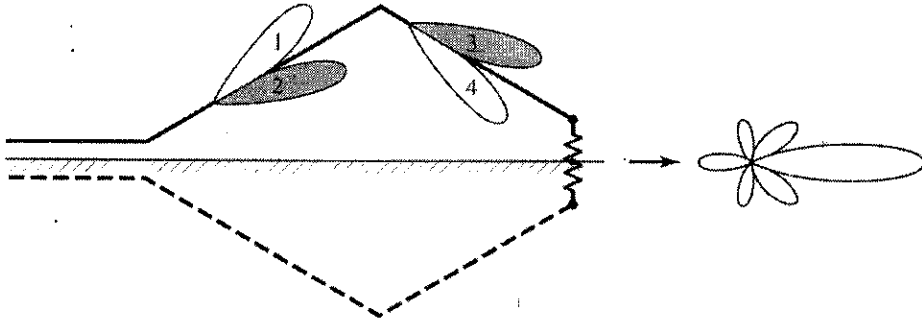


รูปที่ 2.8 ลักษณะการโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล

เพื่อให้การรับสัญญาณทำได้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้สิ่งสำคัญคือ สายอากาศที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะต้องมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเดียวกันกับการโพลาไรซ์ของสัญญาณที่ส่งมา หากเกิดการสูญเสียสัญญาณอันเนื่องมาจากการจัดวางการโพลาไรซ์ไม่ถูกต้อง (เช่น สัญญาณที่รับได้เป็นของการโพลาไรซ์ทางแนวตั้ง แต่สายอากาศที่ใช้มีการจัดการโพลาไรซ์ทางแนวนอน) เรียกว่า เกิดการแยกการโพลาไรซ์แบบไขว้ (Cross-Polarization Isolation)

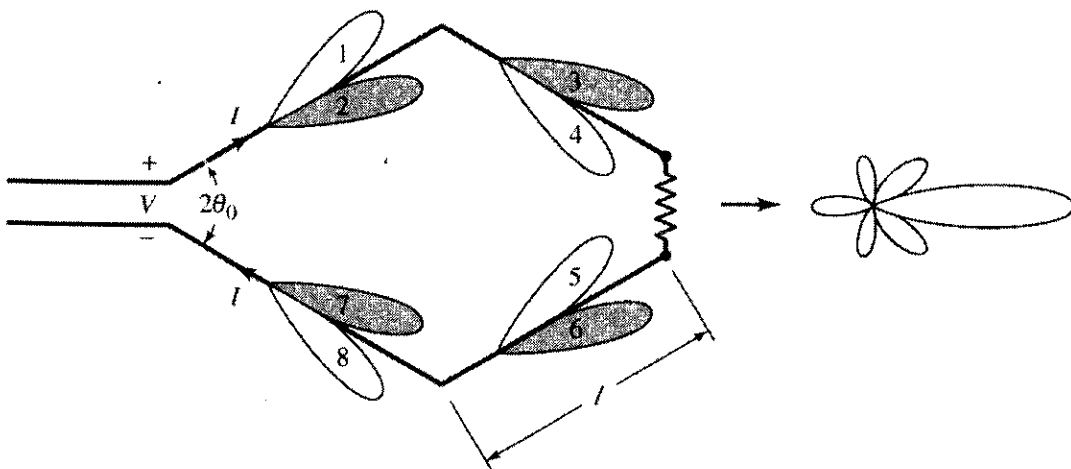
2.3 สายอากาศรอมบิก (Rhombic antenna)

สายอากาศแบบรอมบิกสามารถสร้างได้จากการนำสายอากาศแบบตัววี (V-Antenna) ดังรูปที่ 2.9 ปกติแล้วที่ปลายของสายอากาศนี้ มักจะต่อด้วยความต้านทานประมาณ 600-800 โอห์ม แต่ค่าของความต้านทานอาจจะต้องเปลี่ยนไปโดยเพิ่มหรือลด เพื่อลดระดับของการเกิดการสะท้อน



รูปที่ 2.9 สายอากาศรอมบิกที่สร้างจากสายอากาศตัววี

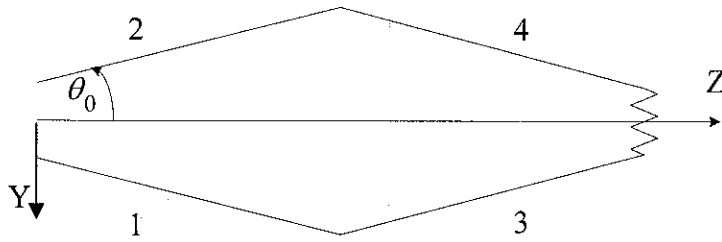
สายอากาศรอมบิกที่มีโครงสร้างพื้นฐานมาจากสายอากาศตัววี 2 ตัวมาต่อกันนั้นดังรูปที่ 2.10 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน สามารถแปรเปลี่ยนได้ตามความยาวของแต่ละขา มุมระหว่างขาสองข้าง และระนาบของสายอากาศรอมบิก โดยทั่วไปก่อนข้างจะมีลักษณะไปทางสายอากาศที่มีทิศทางเดียว (Unidirectional) หากประกอบด้วยหลาย ๆ ตัววี และจะไม่เกิดการเรโซแนนซ์เพราะสายอากาศตัวนี้จะต่อจุดปลาย (Terminate) ได้ค่อนข้างง่าย ในส่วนของสภาพเจาะจงทิศทางและปฏิกิริยาของโหนดด้านข้าง (Side lobe) สามารถทำได้โดยการนำสายอากาศรอมบิก และหรือสายอากาศตัววีมาอะเรย์กัน



รูปที่ 2.10 สายอากาศรอมบิกที่สร้างจากสายอากาศตัววี 2 ตัว

สนามที่ถูกแผ่ออกไปจากสายอากาศแบบรอมบิกสามารถหาได้จากสนามที่แผ่ออกจากขาทั้งสี่ ด้านของตัวรอมบิก สำหรับรอมบิกที่มีลักษณะสมมาตร (Symmetrical rhombus) คือมีขาทั้งสี่ที่มีความ

ยาวเท่ากันหมด ในการพิจารณาคูสมบัติของสายอากาศแบบนี้เพื่อสะดวกจะพิจารณาในกรณีที่สายอากาศรีอมบิก อยู่ตัวเดียวโคด ๆ โดยไม่มีพื้นกราวด์ก่อน เมื่อใช้ระบบแกนประสานตามรูปที่ 2.11 จะสามารถคำนวณหาสนามไฟฟ้าในระนาบ $y - z$ และระนาบ $x - z$ ได้โดยใช้ ทฤษฎีของแถวลำดับ (Array theory) และทฤษฎีการรวมแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Pattern multiplication) จากรูปที่ 2.11 เมื่อพิจารณาจากโครงสร้าง จะเห็นได้ว่าสายอากาศส่วนที่ 1 กับส่วนที่ 4 จะวางตัวอยู่ในแนวเดียวกัน และสายอากาศส่วนที่ 2 กับส่วนที่ 3 ก็วางตัวอยู่ในแนวเดียวกันเช่นกัน ดังนั้นเมื่อรู้ค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 ก็จะสามารถหาสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศส่วนที่ 3 และส่วนที่ 4 ได้ โดยอาศัยทฤษฎีของแถวลำดับ โดยกระแสที่ไหลในสายอากาศส่วนที่ 3 และส่วนที่ 4 จะเขียนได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.11 สายอากาศรีอมบิกที่แบ่งโครงสร้างออกเป็น 4 ส่วน

$$I_3(s) = I_0 e^{-j\beta(L+s)} = -e^{-j\beta L} I_2(s) \quad (2.4)$$

$$I_4(s) = -I_0 e^{-j\beta(L+s)} = -e^{-j\beta L} I_1(s) \quad (2.5)$$

ขณะที่ L เป็นความยาวของสายอากาศแต่ละส่วน และ s เป็นระยะทางตามสายที่คิดจากจุดเริ่มต้นของสายอากาศแต่ละส่วน ดังนั้นเมื่อให้

$$E_{\theta 3} = -E_{\theta 2} \cdot e^{-jkL} \cdot e^{jkr_0 \cdot \vec{d}_3} \quad (2.6)$$

$$E_{\theta 4} = -E_{\theta 1} \cdot e^{-jkL} \cdot e^{jkr_0 \cdot \vec{d}_4} \quad (2.7)$$

โดย
$$\vec{r}_0 = \sin\theta \vec{i}_y + \cos\theta \vec{i}_z \quad (2.8)$$

และ
$$\vec{d}_3 = L (\sin\theta \vec{i}_y + \cos\theta \vec{i}_z) \quad (2.9)$$

$$\vec{d}_4 = L \left(-\sin\theta \vec{i}_y + \cos\theta \vec{i}_z \right) \quad (2.10)$$

เมื่อแทนค่า \vec{r}_0 , \vec{d}_3 และ \vec{d}_4 ลงในสมการ (2.6) และสมการ (2.7) จะได้

$$E_{\theta 3} = -E_{\theta 2} \cdot e^{-jkL} \cdot e^{jkL \cdot \cos(\theta - \theta_0)} \quad (2.11)$$

$$E_{\theta 4} = -E_{\theta 1} \cdot e^{-jkL} \cdot e^{jkL \cdot \cos(\theta + \theta_0)} \quad (2.12)$$

และสามารถหาสนามไฟฟ้ารวมในระนาบ $y-z$ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} E_{\theta} &= E_{\theta 1} + E_{\theta 2} + E_{\theta 3} + E_{\theta 4} \\ &= E_{\theta 1} (1 - e^{jkL \{ \cos(\theta + \theta_0) - 1 \}}) + E_{\theta 2} (1 - e^{jkL \{ \cos(\theta - \theta_0) - 1 \}}) \end{aligned} \quad (2.13)$$

และเมื่อแทนค่า $E_{\theta 1}$ และ $E_{\theta 2}$ จะได้สนามไฟฟ้ารวมในรูปสมการ

$$\begin{aligned} E_{\theta} &= -120I_0 \cdot \frac{e^{-jkr}}{r} \cdot j \frac{kL}{2} \{ \cos(\theta - \theta_0) + \cos(\theta + \theta_0) - 2 \} \cdot \sin \left[\frac{kL}{2} \cos(\theta - \theta_0) - 1 \right] \\ &\quad \sin \left[\frac{kL}{2} \cos(\theta + \theta_0) - 1 \right] \cdot \left[\frac{\sin(\theta + \theta_0)}{\cos(\theta + \theta_0) - 1} - \frac{\sin(\theta - \theta_0)}{\cos(\theta - \theta_0) - 1} \right] \end{aligned} \quad (2.14)$$

สำหรับการหาสนามไฟฟ้าในระนาบ $x-z$ นั้น ก็จะสามารถทำได้ในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือถ้าให้ $E_{\phi 1}$ และ $E_{\phi 2}$ เป็นสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 ตามลำดับ และเนื่องจาก \vec{r}_0 ในกรณีนี้จะเป็น $\sin\theta \vec{i}_x + \cos\theta \vec{i}_z$ ดังนั้นสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศส่วนที่ 3 และส่วนที่ 4 จะเขียนได้ในรูปต่อไปนี้

$$E_{\phi 3} = -E_{\phi 2} \cdot e^{jkL(\cos\theta_0 \cdot \cos\theta - 1)} \quad (2.14)$$

$$E_{\phi 4} = -E_{\phi 1} \cdot e^{jkL(\cos\theta_0 \cdot \cos\theta - 1)} \quad (2.15)$$

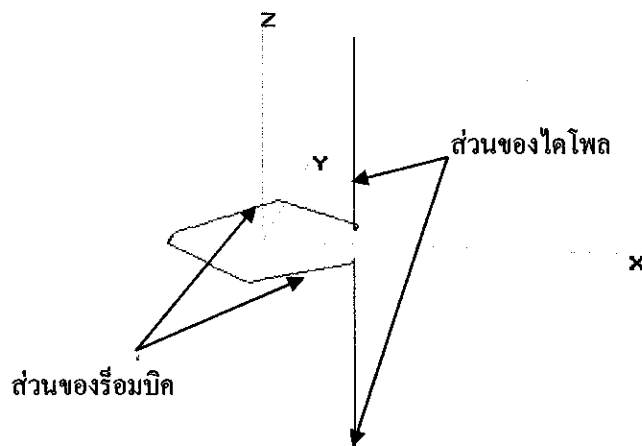
เมื่อรวมสนามไฟฟ้า $E_{\phi 1}$ ถึง $E_{\phi 4}$ จะสามารถหาสนามไฟฟ้ารวมในระนาบ x-z ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 E_{\phi} &= E_{\phi 1} + E_{\phi 2} + E_{\phi 3} + E_{\phi 4} \\
 &= -240I_0 \frac{e^{-jkr}}{r} \cdot e^{jkL(\cos\theta_0 \cdot \cos\theta - 1)} \cdot \frac{\sin\theta_0 \cdot \sin^2\left[\frac{kL}{2}(\cos\theta_0 \cdot \cos\theta - 1)\right]}{\cos\theta_0 \cdot \cos\theta - 1} \quad (2.16)
 \end{aligned}$$

จากสนามไฟฟ้าในสมการ (2.14) และสมการ (2.16) จะพิจารณาได้ว่าจุดสูงสุดของแพทเทินในทั้งสองระนาบจะขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นลวดสายอากาศและมุม θ_0 ดังนั้นในการออกแบบสายอากาศจึงเป็นการกำหนดค่า L และ θ_0 ที่จะให้แพทเทินชี้ไปในทิศทางที่ต้องการ

2.4 สายอากาศรอมบิคอลไดโพล (Rhombical dipole antenna)

จากคุณสมบัติของสายอากาศไดโพลและสายอากาศรอมบิค ในหัวข้อ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ ที่มีลักษณะเป็นสายอากาศที่มีการแผ่กระจายกำลังงานในทิศทางเดียว เพื่อให้ได้สายอากาศภาคส่งสำหรับสถานีส่งวิทยุระบบ เอฟเอ็ม ที่มีคุณสมบัติตามหัวข้อ 2.1 จึงได้นำโครงสร้างของสายอากาศไดโพลและรอมบิคมาทำงานผสมผสานกัน ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างสายอากาศรอมบิคอลไดโพล

จากรูปที่ 2.12 เป็นลักษณะโครงสร้างของสายอากาศแบบรอมบิคอลไดโพล ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างของสายอากาศไดโพลซึ่งให้การโพลาไรซ์ในแนวตั้ง (Vertical Polarization) และโครงสร้างของสายอากาศแบบรอมบิคอลที่ให้การโพลาไรซ์ในแนวนอน (Horizontal Polarization) เมื่อโครงสร้างทั้งสองมาทำงานผสมผสานกันเป็นสายอากาศรอมบิคอลไดโพล จะให้การโพลาไรซ์แบบวงกลม ที่มีมุม

หมุนครบทั้ง 360 องศา ตรงตามความต้องการสำหรับสายอากาศภาคส่งสถานีวิทยุระบบเอฟเอ็ม ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1

2.5 สรุป

สายอากาศสำหรับสถานีส่งวิทยุระบบเอฟเอ็ม ที่ดีมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบทิศทาง มีการ โพลาริซเป็นแบบวงกลม มีความกว้างแถบที่กว้างเพียงพอ เป็นต้น สายอากาศรีอมบิคอลไดโพลเกิดจากการทำงานผสมผสานกันระหว่างสายอากาศไดโพลและสายอากาศรีอมบิค เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่กล่าวไว้เมื่อได้ลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพลแล้ว จะต้องนำไปจำลองโครงสร้างเพื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2 ในบทต่อไป

บทที่ 3

การจำลองโครงสร้างของสายอากาศด้วยโปรแกรม

3.1 กล่าวนำ [4]

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและขั้นตอนการใช้โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2 หรือ NEC2 เพื่อใช้ในการออกแบบสายอากาศรอมบิคอลไดโพลรุ่นที่ 2 โดยอาศัยโครงสร้างของสายอากาศรอมบิคอลไดโพลรุ่นที่ 1 เป็นต้นแบบ

โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2 หรือ NEC2 เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาโดยห้องปฏิบัติการแห่งชาติลอเรนซ์ลิเวอร์มอร์ (Lawrence Livermore National Laboratory) ประเทศสหรัฐอเมริกา และเป็นโปรแกรมประเภทฟรีแวร์ซึ่งผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดมาใช้ได้โดยง่ายจาก <http://www.qsl.net/wb6tpu/swindex.html> การจะสั่งให้โปรแกรมทำงานนั้น ผู้ใช้จะต้องจัดเรียงรหัสทางคอมพิวเตอร์ (User-Oriented Computer Code) ให้กับโปรแกรมเพื่อให้โปรแกรมทำการวิเคราะห์การตอบสนองทางแม่เหล็กไฟฟ้าของสายอากาศและโครงสร้างที่เป็นโลหะใด ๆ ที่มีรูปทรงไม่เจาะจง รหัสทางคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมที่ผู้ใช้จะต้องใส่เข้าไปนั้น คือ การสร้างโครงสร้างของสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ด้วยเส้นลวดเล็ก ๆ (Wire) หรือพื้นผิว (Surface) จำนวนมาก ซึ่งในกรณีที่โครงสร้างถูกแทนด้วยเส้นลวด โปรแกรมจะใช้สมการอินทิกรัลสนามไฟฟ้า (Electric Field Integral Equation: EFIE) ในการหากระแสเหนี่ยวนำ (Induced Current) บนโครงสร้างนั้น ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดหรือสนามที่ตกกระทบ (Incident Field) และในกรณีที่โครงสร้างถูกแทนด้วยพื้นผิว โปรแกรมจะใช้สมการอินทิกรัลเชิงสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Integral Equation: MFIE) ในการหาค่าของกระแสเหนี่ยวนำที่ต้องการ ส่วนการกระตุ้นสามารถที่จะเป็นได้ทั้งแหล่งกำเนิดแรงดันที่ป้อนเข้าไป (Applied Voltage Source) หรือคลื่นระนาบที่ตกกระทบ (Incident Plane Wave) NEC2 สามารถใช้ในการคำนวณหาค่ากระแสเหนี่ยวนำ ประจุสนามไฟฟ้า ประจุสนามแม่เหล็กทั้งระยะใกล้และไกล ภาคตัดขวางเป้าเรดาร์ (Radar Cross Section: RCS) อิมพีแดนซ์ แอดมิตแตนซ์ (Admittance) อัตราขยาย สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) การใช้กำลังงาน (Power Budget) และการต่อเชื่อมร่วมระหว่างสายอากาศ (Mutual Coupling)

สำหรับสายอากาศที่นำเสนอในโครงการฉบับนี้ ได้ทำการออกแบบสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมโดยอาศัยต้นแบบของสายอากาศรุ่นที่ 1 โดยทำการวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะของสายอากาศโดยการแทนโครงสร้างของสายอากาศด้วยเส้นลวดขนาดเล็ก ๆ ดังนั้นสมการที่ใช้จึงเป็นสมการอินทิกรัลเชิงสนามไฟฟ้าซึ่งสมการอินทิกรัลเชิงสนามไฟฟ้านี้เหมาะที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาโครงสร้างที่มีขนาดเล็ก ๆ มีพื้นผิวที่มีความหนาไม่มากและไม่มีลักษณะเป็นตัวนำปิดทึบได้ดีกว่าการใช้สมการอินทิกรัลเชิงสนามแม่เหล็ก

3.2 การจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขฐานที่ 2

สำหรับการจำลองโครงสร้างด้วยเส้นลวดนั้น อุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้ในการจำลองโครงสร้างด้วยรหัส NEC2 คือ เซกเมนต์ที่มีลักษณะตรงและสั้น การกำหนดเซกเมนต์สำหรับการออกแบบเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากเพราะจะมีผลต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ จำนวนของเซกเมนต์ควรจะมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะต้องการสำหรับความถูกต้องเพราะ โปรแกรมจะใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อจำนวนเซกเมนต์เพิ่มขึ้น

เซกเมนต์เส้นลวดจะถูกกำหนดโดยระบบพิกัด (Co-Ordinate) ของจุดปลายทั้งสองของเซกเมนต์และขนาดของรัศมี การกำหนดความยาวเซกเมนต์ (Segment Length: Δ) จะสัมพันธ์กับค่าของความยาวคลื่น λ โดยปกติ Δ ควรจะมีค่าน้อยกว่า 0.1λ ที่ความถี่ที่ต้องการ ในบางครั้งอาจมีการใช้เซกเมนต์ที่มีความยาวมากกว่านี้บนเส้นลวดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด ในขณะที่เซกเมนต์ที่สั้นกว่า เช่น 0.05λ หรือน้อยกว่านี้ อาจจะต้องใช้ในการจำลองบริเวณที่มีความสำคัญของสายอากาศขนาดของเซกเมนต์จะเป็นตัวกำหนดการแก้ปัญหาสำหรับการหากระแสบนแบบจำลอง เนื่องจากกระแสจะถูกคำนวณที่ตรงกลางของแต่ละเซกเมนต์ เซกเมนต์ที่มีขนาดสั้นมาก ๆ เช่น น้อยกว่า $10^{-3}\lambda$ ไม่ควรนำมาใช้ เพราะความเหมือนกันขององค์ประกอบค่าคงที่และโคไซน์ของการกระจายของกระแสจะทำให้ผลจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขขาดความแม่นยำ

รัศมีของเส้นลวด (Wire Radius: a) ซึ่งสัมพันธ์กับ λ จะถูกจำกัดโดยการประมาณที่ใช้ในเคอร์เนล (Kernel) ของสมการอินทิกรัลเชิงสนามไฟฟ้าซึ่งมีการประมาณ 2 แบบ ด้วยกันที่ใช้ใน NEC2 คือ เคอร์เนลแบบเส้นลวดบางและเคอร์เนลแบบขยายออกของเส้นลวดบาง สำหรับเคอร์เนลแบบเส้นลวดบางนั้นกระแสบนพื้นผิวของแต่ละเซกเมนต์จะถูกลดกลายเป็นเส้นลวดนำไฟฟ้าเล็ก ๆ ของกระแสบนแกนเซกเมนต์ ส่วนในเคอร์เนลแบบขยายออกของเส้นลวดบาง กระแสจะมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอรอบพื้นผิวของเซกเมนต์นั้น

การกระจายกระแสที่ใช้ใน NEC2 จะบังคับเงื่อนไขกระแสและความหนาแน่นประจุตามแนวเส้นลวด ที่จุดเชื่อมต่อและที่ปลายเส้นลวด จากเงื่อนไขเหล่านี้ทำให้เซกเมนต์จะต้องต่อกันทางไฟฟ้าที่จุดปลาย ถ้าเซกเมนต์มีการซ้อนทับกันเกิดขึ้นที่ปลายของแต่ละอัน NEC2 จะไม่ยอมให้กระแสไหลจากเซกเมนต์หนึ่งไปยังเซกเมนต์อื่น ๆ เซกเมนต์จะเหมือนกับต่อกันเมื่อระยะห่างของจุดปลายของแต่ละด้านมีค่าน้อยกว่า 10^{-3} เท่าของความยาวเซกเมนต์ที่สั้นที่สุด ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ควรเชื่อมต่อเซกเมนต์ด้วยวิธีการกำหนดระบบพิกัดที่เหมือนกัน

ข้อจำกัดของการจำลองโครงสร้างด้วยตาข่ายเส้นลวด (Wire-Grid) มีดังต่อไปนี้

1. เซกเมนต์จะต้องไม่ซ้อนทับกัน เนื่องจากการแบ่งกระแสระหว่างสองเซกเมนต์ที่ซ้อนทับกันนั้น ไม่สามารถสรุปได้ เซกเมนต์ที่ซ้อนทับกันอาจจะมีผลในสมการเมตริกซ์เอกฐาน (Singular Matrix Equation)

2. การเปลี่ยนแปลงรัศมีที่มีความแตกต่างกันมากของเซกเมนต์ที่เชื่อมต่อกัน อาจจะมีผลทำให้ความแม่นยำลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ ค่า Δ/a มีค่าน้อย ปัญหาสามารถแก้ไขได้โดยการให้รัศมีลดลงตามลำดับตลอดหลายเซกเมนต์

3. จำเป็นที่จะต้องมิเซกเมนต์ที่จุดซึ่งมีการเชื่อมต่อกับโครงข่าย หรือแหล่งกำเนิดแรงดันสำหรับช่องว่างการกระตุ้น ก็จำเป็นต้องมีเส้นลวดต่อเนื่องลากข้ามช่องว่าง ดังนั้นแรงดันตกคร่อมที่ต้องการสามารถระบุให้เป็นเงื่อนไขขอบเขตได้

4. จำนวนเส้นลวดที่จะนำมาต่อที่จุดเชื่อมต่อใด ๆ นั้น ไม่สามารถมีค่าเกิน 30 เส้นได้ เนื่องจากข้อจำกัดของมิติในรหัส NEC2

ข้อมูลที่ใช้อธิบายสายอากาศ สภาพแวดล้อมและคุณสมบัติของสายอากาศที่ต้องการจะคำนวณจะเป็นอินพุตที่จะใส่เข้าไป คล้ายกับบัตรเจาะรูที่เป็นข้อมูลใส่ให้กับคอมพิวเตอร์เมนเฟรมในสมัยก่อน กลุ่มของรหัสข้อมูลในการทำงานครั้งหนึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ประเภทด้วยกัน ส่วนแรกเริ่มต้นด้วยรหัสหนึ่งชุดหรือมากกว่านั้นซึ่งบรรจุรายละเอียดของการทำงาน ซึ่งจะพิมพ์เป็นตัวหนังสือที่จุดเริ่มต้นของไฟล์เอาต์พุต ต่อมาจะตามด้วยรหัสข้อมูลระบุแบบทางเรขาคณิตซึ่งจะระบุรูปทรงของสายอากาศ และสุดท้ายจะเป็นส่วนของรหัสควบคุมโปรแกรมซึ่งจะระบุตัวแปรทางไฟฟ้า เช่น ความถี่ การโหลด (Loading) การกระตุ้น (Excitation) รวมทั้ง ความต้องการให้คำนวณกระแสและสนามของสายอากาศ

รหัสข้อมูลทุก ๆ รหัส จะมีตัวอักษร 2 ตัว ในคอลัมน์ที่หนึ่งและที่สอง เพื่อเป็นการระบุรหัสให้กับโปรแกรม ตัวอย่างเช่น รหัสระบุข้อมูลเส้นลวด (Wire Specification: GW) ซึ่งจะเป็นรหัสที่ใช้ในการกำหนดเส้นลวดขึ้นมาระหว่างจุดสองจุด ซึ่งมีลักษณะของข้อมูลที่จะต้องใส่ลงไป ดังนี้

GW	I1	I2	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
ITG	NS	XW1	YW1	ZW1	XW2	YW2	ZW2	RAD	

ความหมายของตัวแปรแต่ละตัวที่จะต้องใส่ลงไป คือ

ITG (I1) คือ ป้ายแสดงหมายเลข (Tag) ที่จะกำหนดให้เส้นลวดมีหมายเลขประจำเส้นลวดเป็นค่าเท่าใด รวมทั้งเซกเมนต์ทุกเซกเมนต์ของเส้นลวดก็จะมีหมายเลขตามหมายเลขเส้นลวดนั้นด้วย

NS (I2) คือ จำนวนเซกเมนต์ที่จะแบ่งให้กับเส้นลวด

XW1 (F1) คือ พิกัด x ของจุดปลายที่หนึ่งของเส้นลวด

YW1 (F2) คือ พิกัด y ของจุดปลายที่หนึ่งของเส้นลวด

ZW1 (F3) คือ พิกัด z ของจุดปลายที่หนึ่งของเส้นลวด

XW2 (F4) คือ พิกัด x ของจุดปลายที่สองของเส้นลวด

YW2 (F5) คือ พิกัด y ของจุดปลายที่สองของเส้นลวด

ZW2 (F6) คือ พิกัด z ของจุดปลายที่สองของเส้นลวด

RAD (F7) คือ รัศมีของเส้นลวด

การกำหนดรัศมีของเส้นลวดนั้นจะต้องเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดที่ทำให้พื้นที่ผิวรวมของเส้นลวดทั้งหมดมีค่าเท่ากับพื้นที่ผิวของตัวนำของสายอากาศ

จากรหัสตัวอย่างข้างต้น เมื่อทำการใส่ตัวแปรต่าง ๆ ลงไปแล้ว และสั่งให้โปรแกรมทำงาน NEC2 จะสร้างเส้นลวดให้ 1 เส้น ซึ่งเส้นลวดนี้จะถูกแบ่งเป็นเซกเมนต์เล็ก ๆ จำนวน NS เซกเมนต์ การสร้างแบบจำลองของสายอากาศสามารถทำได้โดยการใส่รหัสที่มีลักษณะเดียวกันไปเรื่อยๆ ก็จะทำให้สามารถสร้างโครงสร้างสายอากาศและหาคุณสมบัติของสายอากาศที่ต้องการได้ นอกจากนี้ โครงสร้างที่สร้างขึ้นโดย NEC2 ยังสามารถกำหนดสภาพนำ (Conductivity) ให้เท่ากับสภาพนำของโลหะที่จะใช้ทำสายอากาศได้ เช่น ในกรณีนี้สายอากาศต้นแบบจะสร้างขึ้น โดยใช้อะลูมิเนียม ดังนั้นในการคำนวณโดยใช้ NEC2 ก็จะทำการกำหนดสภาพนำของโครงสร้างด้วยค่าสภาพนำของอะลูมิเนียม คือ 5.08×10^7 S/m โดยการใส่คำสั่ง โหลด (Load)

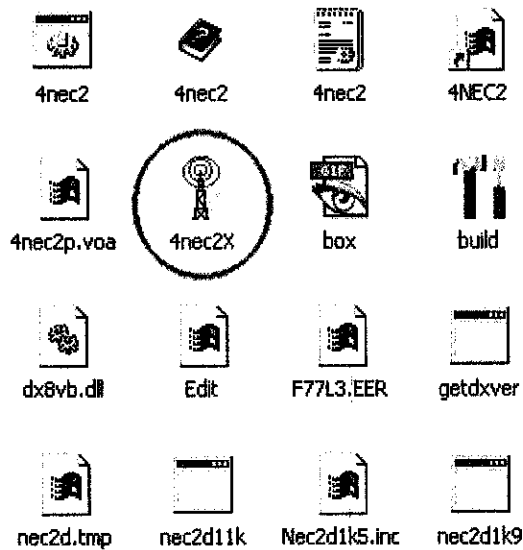
ในการตรวจสอบ โครงสร้างของสายอากาศว่าได้สร้างถูกต้องเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่นั้น สามารถดูได้โดยใช้โปรแกรม Necview ซึ่งจะแสดงโครงสร้างของสายอากาศที่ได้ใส่รหัสใน NEC2 ออกมาเป็นตาข่ายเส้นลวด ตามที่กำหนดในระบบพิกัด x, y และ z นอกจากนี้โปรแกรม Necview ยังใช้ในการดูผลแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ในระบบพิกัด x, y และ z ของสายอากาศที่ NEC2 คำนวณออกมาได้ด้วย สำหรับไฟล์เอาต์พุตที่ได้ออกมาจากการรันโปรแกรม NEC2 นั้น จะเป็นไปตามรูปแบบของข้อมูลที่ใส่เข้าไป เริ่มต้นด้วยการอธิบาย ตามมาด้วยข้อมูลทางเรขาคณิต และจากนั้นเป็นผลของตัวแปรที่ต้องการจะคำนวณ

NEC2 ได้รับการยอมรับว่าเป็นโปรแกรมที่สามารถคำนวณแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ แต่สำหรับการหาอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศด้วย NEC2 นั้น ยังมีความผิดพลาดอยู่บ้าง เนื่องจากข้อจำกัดของโปรแกรม NEC2 เอง จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาการคำนวณอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ผิดพลาดนี้

3.3 การใช้งานโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2

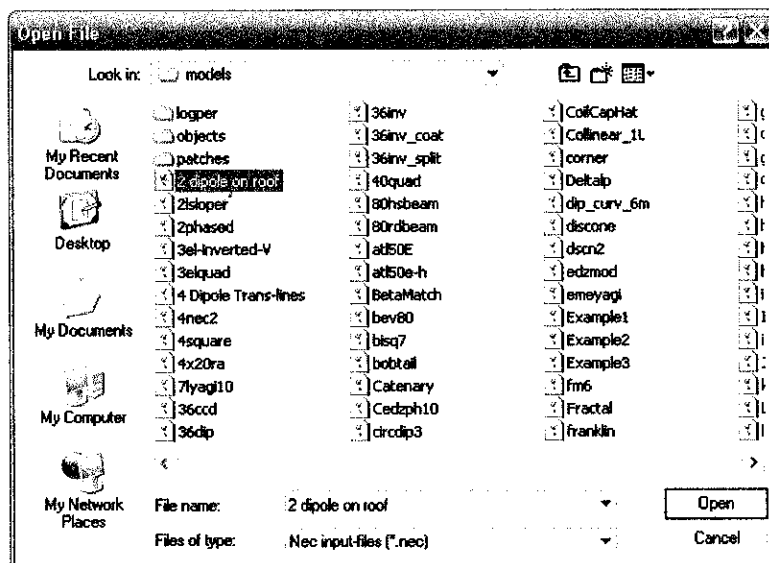
3.3.1 การเข้าใช้งานโปรแกรม

1. ดับเบิลคลิกที่ไอคอน โปรแกรม 4nec2x จะเห็นหน้าจอโปรแกรม ดังรูปที่ 3.1

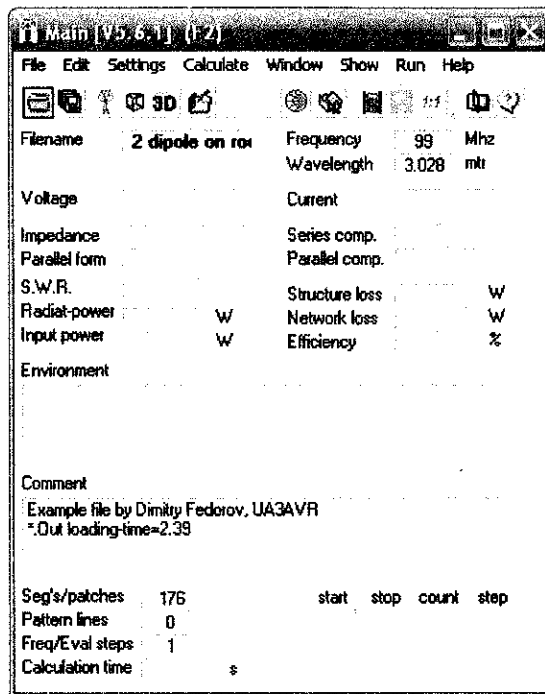


รูปที่ 3.1 ไอคอน 4nec2x ในการเข้าใช้โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2

2. เลือกไฟล์ของแบบจำลองใด ๆ เพื่อเข้าสู่หน้าจอหลักของโปรแกรม เช่น 2 dipole on roof ดังรูปที่ 3.2 จากนั้นหน้าต่างเมนูหลักของโปรแกรมจะปรากฏขึ้นดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 การเลือกไฟล์แบบจำลอง



รูปที่ 3.3 เมนูหลักของโปรแกรม

ในเมนูหลักของโปรแกรมแต่ละส่วนมีความหมายดังนี้

- Filename:** แสดงชื่อไฟล์ที่ใช้งานอยู่
- Frequency:** แสดงค่าความถี่ที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างสายอากาศ ในหน่วยเมกาเฮิรตซ์ (MHz)
- Wavelength:** ค่าความยาวคลื่นที่คำนวณจากค่าความถี่ใช้งาน ในหน่วยเมตร (m)
- Voltage:** ค่าแรงดันที่ป้อนให้กับโปรแกรม
- Current:** ค่ากระแสเหนี่ยวนำที่โปรแกรมคำนวณได้
- Impedance:** ค่าอิมพีแดนซ์ที่คำนวณได้จากโปรแกรม ณ ความถี่ใช้งาน
- Series comp.:** เป็นค่าที่ได้จากการแมตช์ของสายอากาศแบบอนุกรมที่ความถี่ใช้งาน
- Parallel form:** ค่าอิมพีแดนซ์ที่คำนวณได้จากโปรแกรม ณ ความถี่ใช้งานแบบขนาน
- Parallel comp.:** เป็นค่าที่ได้จากการแมตช์ของสายอากาศแบบขนานที่ความถี่ใช้งาน
- Radiat-power:** ค่ากำลังงานที่ใช้ในการแผ่กระจายกำลังงาน ในหน่วยวัตต์ (W)
- Input power:** ค่ากำลังงานด้านเข้า ในหน่วยวัตต์
- Structure loss:** ค่าความสูญเสียเนื่องจากโครงสร้าง ในหน่วยวัตต์
- Network loss:** ค่าความสูญเสียเนื่องจากโครงข่าย ในหน่วยวัตต์
- Efficiency:** ค่าประสิทธิภาพ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์

Environment: ใช้แสดงเมื่อมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นจากการทำงานของโปรแกรม

Comment: แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างโครงสร้าง

Seg's/patches: แสดงจำนวนเซกเมนต์ทั้งหมดในโครงสร้าง

Pattern line: แสดงจำนวนบรรทัดในการสร้างแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

Freq/Eval steps: จำนวนความถี่ที่ต้องการผันแปร

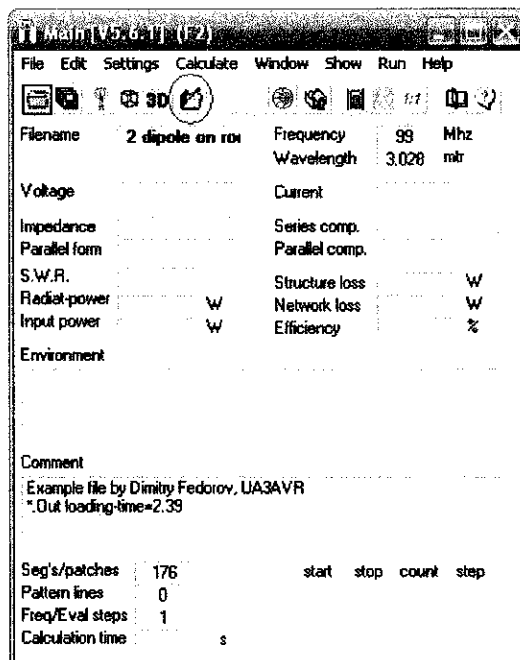
Calculation time: เวลาที่โปรแกรมใช้ในการทำงานของไฟล์นั้น

Theta: การกำหนดมุมในการหมุนเริ่มต้นและสิ้นสุดของมุม Theta โดยเพิ่มค่าที่ละเท่า ๆ กัน จนครบ 360°

Phi: การกำหนดมุมในการหมุนเริ่มต้นและสิ้นสุดของมุม Phi โดยเพิ่มค่าที่ละเท่า ๆ กัน จนครบ 360°

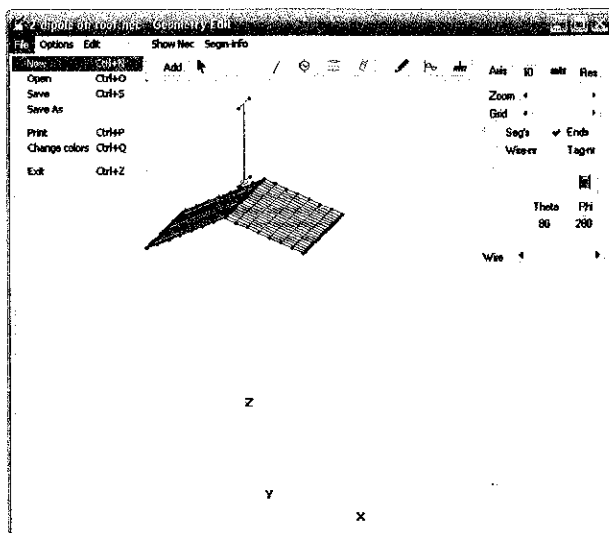
3.3.2 การออกแบบโครงสร้างของสายอากาศ

1. คลิกที่ไอคอน Edit NEC input-file ดังรูปที่ 3.4

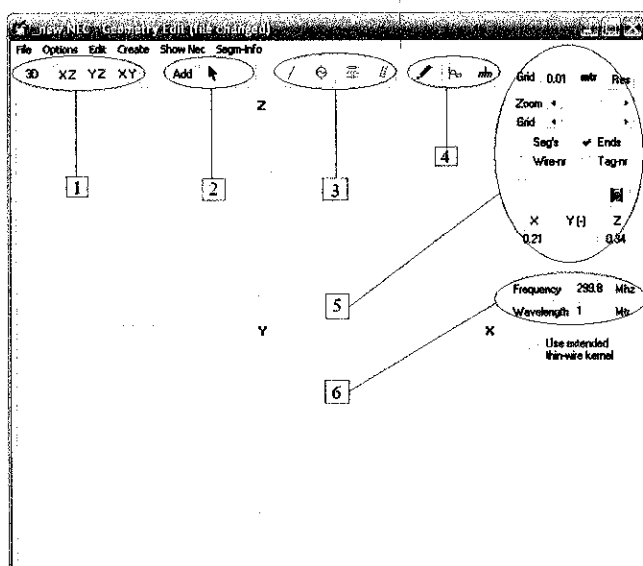


รูปที่ 3.4 ไอคอน Edit NEC input-file บนหน้าต่างหลัก

จากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง Geometry Edit ขึ้น ให้ทำการเลือก File --> New ดังรูปที่ 3.5 เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนทำการออกแบบสายอากาศตัวใหม่ในหน้าต่าง Geometry Edit (File changed) ที่ปรากฏขึ้นมาตามมาดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 การเลือกคำสั่ง New ในหน้าต่าง Geometry Edit เพื่อเข้าสู่หน้าต่าง Geometry Edit (File changed)



รูปที่ 3.6 หน้าต่าง Geometry Edit (File changed) และส่วนประกอบต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.6 ความหมายของแต่ละส่วนมีดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 คือ ไอคอนเกี่ยวกับมุมมองของสายอากาศในแต่ละระนาบ ประกอบด้วย

3D คือ มุมมองสายอากาศในลักษณะที่เป็น 3 มิติ

XZ คือ มุมมองสายอากาศในระนาบ XZ

YZ คือ มุมมองสายอากาศในระนาบ YZ

XY คือ มุมมองสายอากาศในระนาบ XY

ส่วนที่ 2 คือ ไอคอนเกี่ยวกับการกระทำกับสายอากาศ ประกอบด้วย

Add คือ คำสั่งเพิ่ม เช่นถ้าต้องการเพิ่มจุดป้อนแรงดัน ให้เลือกจุดป้อนแรงดัน (ดูส่วนที่ 3) จากนั้นเลือกไอคอน **Add** แล้ววางคลงบนส่วนของสายอากาศบนระนาบตามต้องการ

R คือ คำสั่งเลือก

Del คือ คำสั่งลบ

ส่วนที่ 3 คือ ไอคอนประเภทขององค์ประกอบของตัวโครงสร้างสายอากาศ

/ คือ โครงสร้างสายอากาศที่เป็นเส้นตรง

⊙ คือ จุดป้อนสัญญาณ

≡ คือ ประเภทของโหลด ได้แก่ ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ

คือ สายส่งสัญญาณ

ส่วนที่ 4 คือ ไอคอนเกี่ยวกับตำแหน่ง ความถี่ และประเภทของกราวด์ตามลำดับ

✎ คือ ไอคอนที่ใช้ในการแสดงจำนวนเส้นตรงของโครงสร้างสายอากาศที่มีอยู่ จำนวนเซกเมนต์ และตำแหน่งของสายอากาศทั้งในแนวแกน X แกน Y และแกน Z

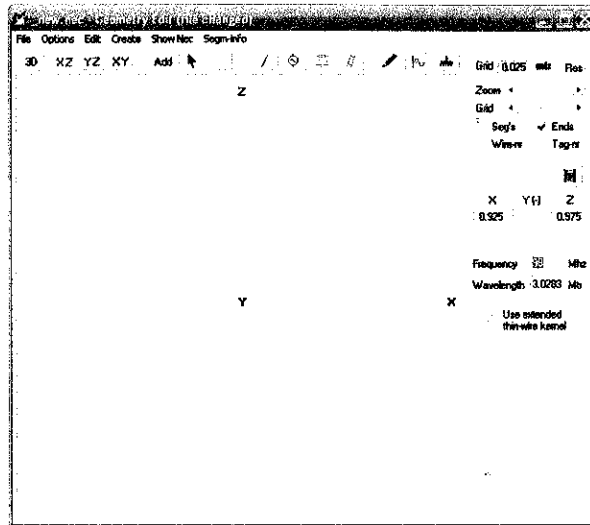
⌘ คือ ความถี่และความยาวคลื่นที่ใช้ในการออกแบบ

mm คือ ประเภทของกราวด์ที่ต้องการใช้ในการออกแบบ เช่น แบบอากาศว่าง และแบบสมบูรณ์แบบ

ส่วนที่ 5 คือ ส่วนที่ใช้ในการจัดการกับหน้าต่างในการออกแบบ เช่น แสดงกริด (Grid) ซุมเข้า-ออก ขยาย-ลด กริด และแสดงตำแหน่งของเมาส์ปัจจุบันในแนวแกน X แกน Y และแกน Z นอกจากนี้ในส่วนนี้ยังประกอบไปด้วยไอคอน **⏏** ซึ่งใช้ในการรันโปรแกรม เมื่อทำการออกแบบสายอากาศเสร็จสิ้นแล้ว

ส่วนที่ 6 คือ ความถี่และความยาวคลื่นที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งเป็นสิ่งแรกสุดในการป้อนค่าพารามิเตอร์ก่อนที่จะทำการออกแบบตัวสายอากาศ



2. ป้อนค่าความถี่ของสายอากาศที่ต้องการออกแบบ ในที่นี้ใช้ 99 MHz เนื่องจากใกล้เคียงกับความถี่กลางของย่านความถี่เอฟเอ็ม ดังรูปที่ 3.7 จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าความยาวคลื่นให้โดยอัตโนมัติ (หมายเหตุ การเลือกความถี่ในการออกแบบสายอากาศสามารถเลือกทำที่ความถี่ใด ๆ ก็ได้ภายในย่านเอฟเอ็ม เนื่องจากในการใช้งานจริงสามารถทำการเปลี่ยนแปลงความถี่ปฏิบัติการในการใช้งานได้ โดยการปรับความยาวของส่วนที่เป็นไดโพล)

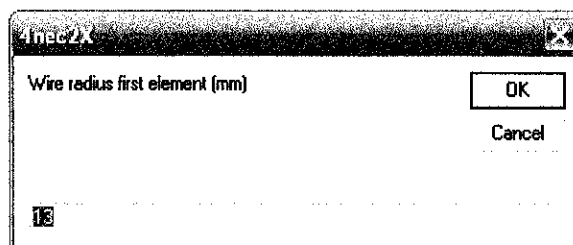


รูปที่ 3.7 การป้อนค่าความถี่สายอากาศที่ต้องการออกแบบ

3. วาดรูปโครงสร้างสายอากาศ โดยที่ในการออกแบบสายอากาศรอมบิคอลไดโพลนั้น จะทำการแบ่งการออกแบบเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นสายอากาศรอมบิคและสายอากาศไดโพล

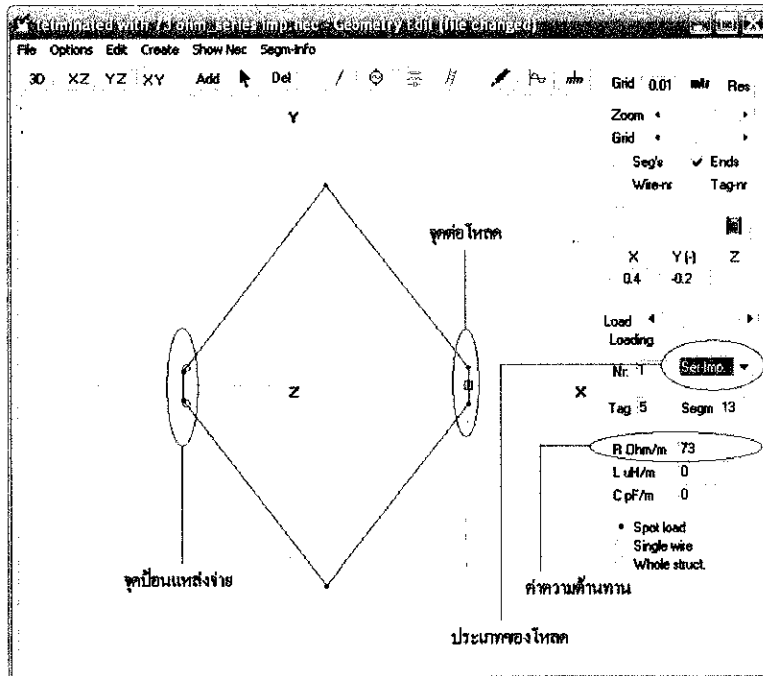
3.4 การออกแบบสายอากาศรอมบิค

ในการออกแบบสายอากาศรอมบิค จะทำการวาดรูปโดยเลือกไอคอน  ตามด้วยไอคอน  จากนั้นทำการวาดรูปสายอากาศลงในระนาบตามที่ต้องการ (ในที่นี้วาดในระนาบ XY) ซึ่งเมื่อทำการวาดรูปเสร็จสิ้นแล้วหนึ่งเส้น จะปรากฏหน้าต่างที่ให้ระบุขนาดรัศมีของ โครงสร้างสายอากาศในหน่วยมิลลิเมตร เนื่องจากในโครงการนี้ได้ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1 นิ้วหรือประมาณ 25.4 มิลลิเมตร ดังนั้นขนาดของรัศมีจึงเท่ากับ 12.7 มิลลิเมตร ซึ่งประมาณได้เท่ากับ 13 มิลลิเมตร จากนั้นจึงป้อนตัวเลข 13 ลงในหน้าต่างที่ปรากฏขึ้นมาตอนแรกดังรูปที่ 3.8




รูปที่ 3.8 หน้าต่างแสดงขนาดรัศมีที่ต้องการในการออกแบบ

จากนั้นทำการวาดสายอากาศร็อมบิกให้สมบูรณ์ โดยที่ส่วนต้นของสายอากาศให้ต่อด้วยแหล่งจ่ายที่มีลักษณะดังรูปที่ 3.9 และที่ส่วนปลายของสายอากาศให้ต่อด้วยอิมพีแดนซ์ประเภท Series Impedance ที่มีค่าความต้านทาน $R=73$ โอห์ม ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ภาพวาดสายอากาศร็อมบิก พร้อมทั้งลักษณะการป้อนแหล่งจ่าย โหลด การกำหนดค่าของอิมพีแดนซ์ และการกำหนดประเภทของโหลด

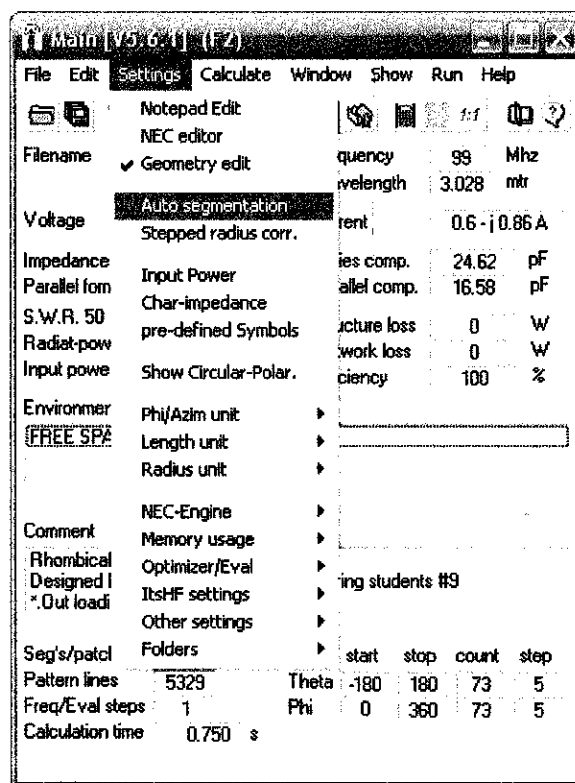
ความหมายของการต่อโหลดด้วยค่าอิมพีแดนซ์ที่มีค่าความต้านทาน $R=73$ โอห์ม คือ ที่บริเวณปลายของสายอากาศจะเป็นส่วนที่จะถูกต่อด้วยสายอากาศไดโพลซึ่งสายอากาศไดโพลมีค่าความต้านทานการแผ่กระจายกำลังงานของคลื่นในตัวกลางที่เป็นอากาศว่างประมาณ 73 โอห์ม

ในการป้อนแหล่งจ่ายที่ส่วนต้นของสายอากาศให้ทำการปรับเช็กเมนต์เพิ่มขึ้นก่อน เพื่อให้สายอากาศแต่ละส่วนถูกแบ่งย่อยเป็นส่วน ๆ ที่เล็กลงซึ่งจะทำให้สามารถทำการวาดจุดป้อนแหล่งจ่ายได้ใกล้กับต้นสายอากาศมากขึ้น ซึ่งการปรับเช็กเมนต์สามารถทำได้โดยเลือกที่ไอคอน  จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 3.10 และในโครงการนี้ได้ทำการปรับเช็กเมนต์ให้มีค่าเท่ากับ 25 ซึ่งเป็นค่าขนาดกลางของโปรแกรม

Wire	Tag	Segs	X1 (mtr)	Y1 (mtr)	Z1 (mtr)	X2 (mtr)	Y2 (mtr)	Z2 (mtr)	rad (mm)
1	1	25	0.05	0.28	0	0.25	0.025	0	12.5
2	2	25	0.25	-0.025	0	0.05	-0.28	0	12.5
3	3	25	-0.15	-0.02	0	0.05	-0.28	0	12.5
4	4	25	0.05	0.28	0	-0.15	0.02	0	12.5
5	5	25	0.25	-0.025	0	0.25	0.025	0	12.5
6	6	25	-0.15	-0.02	0	-0.15	0.02	0	12.5

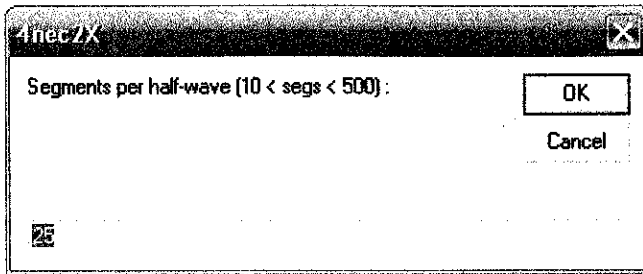
รูปที่ 3.10 ตำแหน่งและค่าในการปรับเช็คเมนต์

นอกจากนี้ให้ทำการตั้งค่าเช็คเมนต์ให้เป็นแบบอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.11




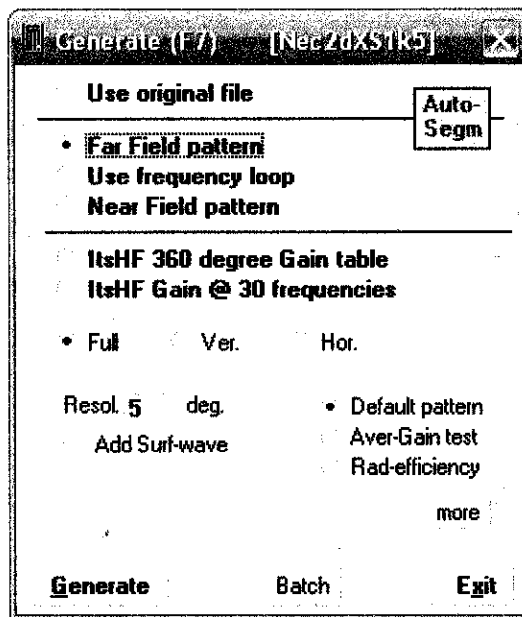
รูปที่ 3.11 ตำแหน่งค่าตั้งในการตั้งค่าเช็คเมนต์แบบอัตโนมัติ

เมื่อเลือกค่าตั้ง Auto segmentation แล้วจะปรากฏหน้าต่างเพื่อให้ระบุค่าของจำนวนเช็คเมนต์ที่เราต้องการ ซึ่งเมื่อหน้าต่างดังกล่าวปรากฏให้ทำการระบุค่าเช็คเมนต์ให้เท่ากับ 25 ซึ่งเป็นจำนวนขนาดกลางของโปรแกรม ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 หน้าต่างแสดงจำนวนเซกเมนต์ที่ต้องการ

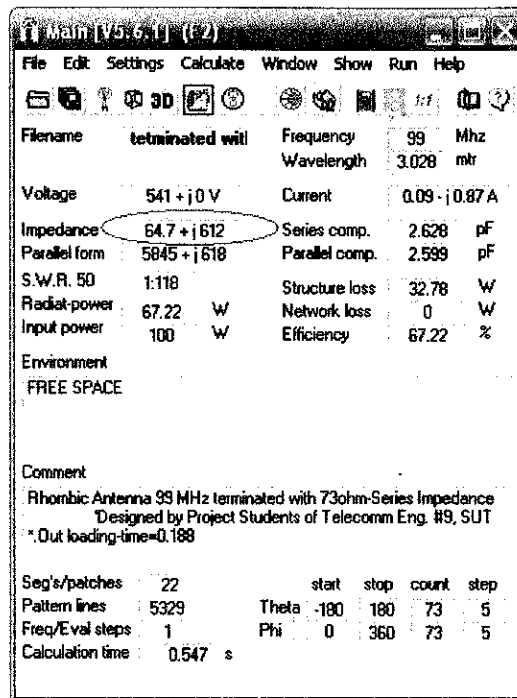
จากนั้นทำการคำนวณด้วยโปรแกรมเพื่อดูค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้า โดยการเลือกไอคอนเจเนอเรท  ที่อยู่ด้านขวาของหน้าต่าง สำหรับค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าที่ต้องการคือ $Z_m = 50 \pm jX$ เพื่อให้เข้ากันกับสายส่งสัญญาณที่มีค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะเท่ากับ 50 โอห์ม ส่วนค่าที่เป็นจำนวนจินตภาพจะมีค่าเท่าใดก็ได้ แต่ควรมีค่าน้อย ๆ หลังจากที่ได้เลือกที่ไอคอนเจเนอเรทแล้วจะปรากฏหน้าต่างออกมา จากนั้นให้เลือกที่คำสั่ง Far Filed pattern จากนั้นกดปุ่ม **Generate** ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 หน้าต่างเจเนอเรท

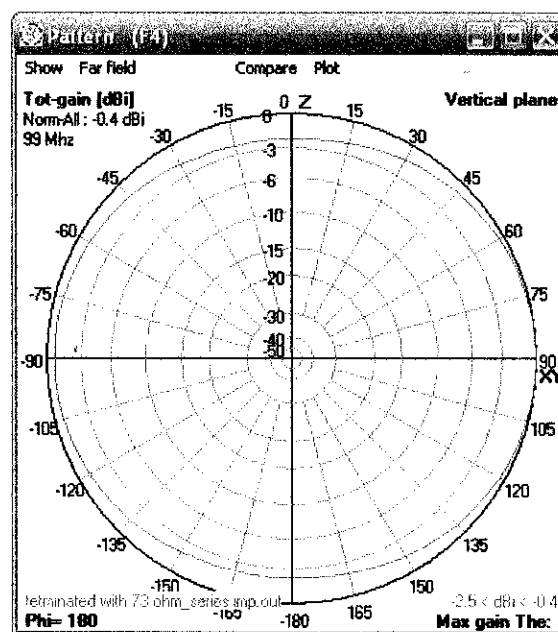
ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นหน้าต่างจำนวน 3 หน้าต่างด้วยกัน คือ

1. หน้าต่างหลักที่ประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ที่ต้องการ คือ อิมพีแดนซ์ขาเข้า ดังรูปที่ 3.14



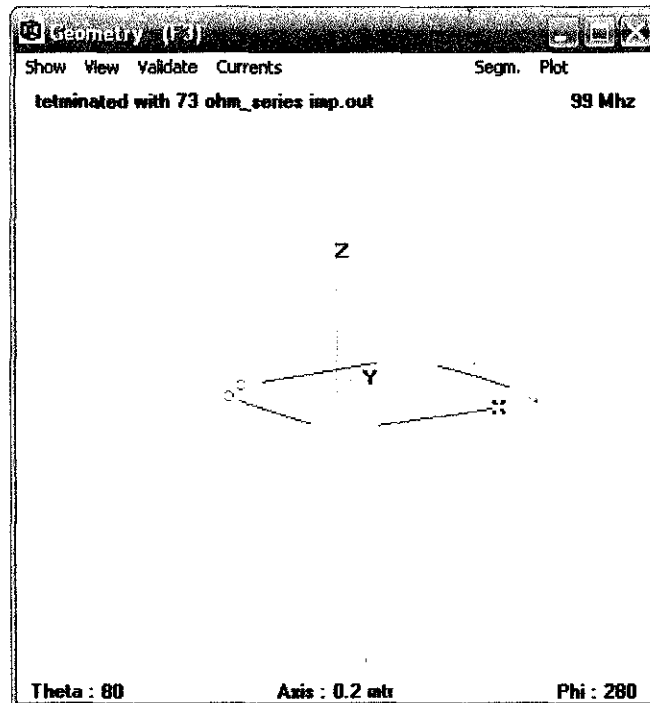
รูปที่ 3.14 หน้าต่างหลักกับผลลัพธ์ของค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศรีอิมบิก

2. หน้าต่างที่แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของคลื่น ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 หน้าต่างแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศรีอิมบิก

3. หน้าต่างที่แสดงโครงสร้างของสายอากาศ



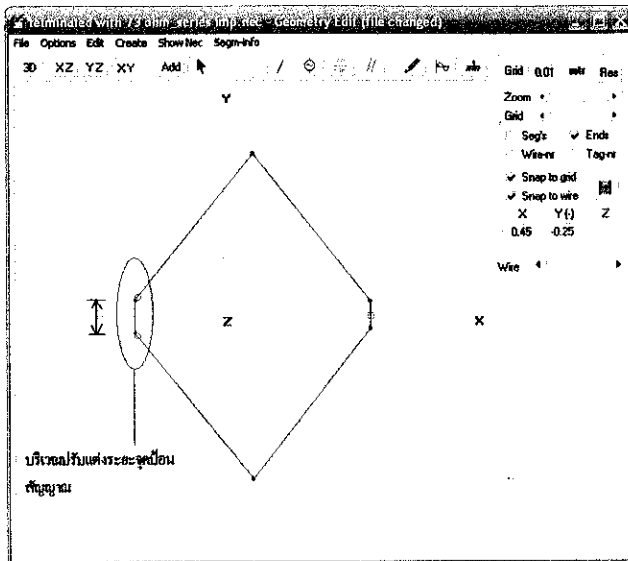
รูปที่ 3.16 หน้าต่าง โครงสร้างสายอากาศสายอากาศรอมบิค

ในตอนนี้จะยังไม่พิจารณาแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของคลื่น แต่จะพิจารณาหลังจากที่ ออกแบบสายอากาศเป็นสายอากาศรอมบิคอลโคโพลีเรียบร็อยแล้ว และจะไม่พิจารณาโครงสร้างของ สายอากาศด้วย

จากรูปที่ 3.14 พบว่าค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศรอมบิคที่ทำการออกแบบมีค่าเท่ากับ $Z_m = 64.7 + j612\Omega$ ซึ่งยังถือว่าไม่ใกล้เคียงกับค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งสัญญาณ อาจ ส่งผลทำให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นได้ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับแต่งสายอากาศให้มีค่าอิมพีแดนซ์ ขาเข้าของสายอากาศใกล้เคียงกับค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งสัญญาณให้มากที่สุด ในการ ปรับแต่งสายอากาศสามารถทำได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

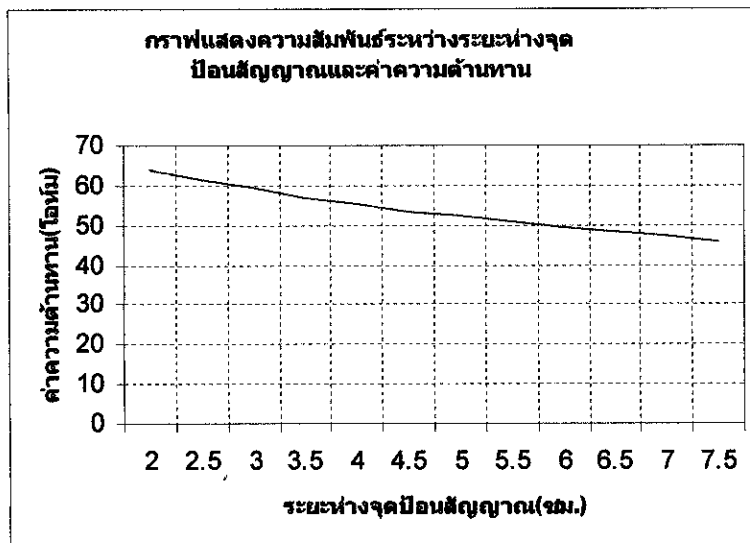
3.4.1 การปรับแต่งระยะจุดป้อนสัญญาณ

ในการปรับแต่งระยะนี้ให้ทำการแปรค่าระยะห่างของจุดป้อนสัญญาณและทำการกำหนด ระยะห่างของบริเวณรอยต่อของแขนสายอากาศให้คงที่ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การปรับแต่งระยะจุดป้อนสัญญาณ

เมื่อทำการปรับแต่งระยะห่างดังกล่าวจะได้ผลลัพธ์ดังกราฟในรูปที่ 3.18

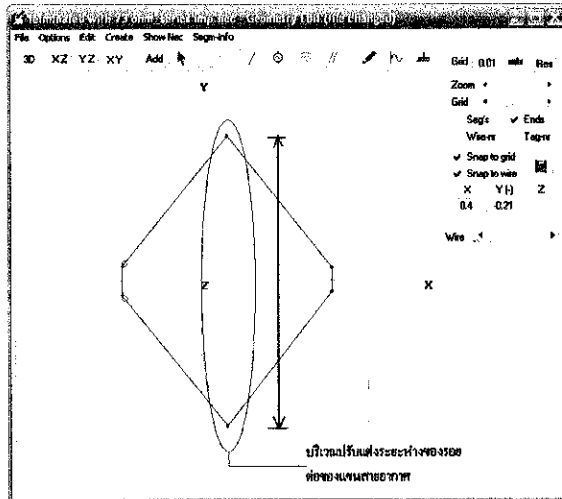


รูปที่ 3.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของจุดป้อนสัญญาณกับค่าจริงของอิมพีแดนซ์

สรุปได้ว่าในการออกแบบเมื่อทำการเพิ่มระยะห่างของจุดป้อนสัญญาณให้มากขึ้นจะส่งผลให้ค่าจริงของอิมพีแดนซ์ของสายอากาศมีค่าลดลงตาม และระยะที่เหมาะสมในการสร้างสายอากาศคือที่ระยะประมาณ 5.5 เซนติเมตร ถึง 6 เซนติเมตร เนื่องจากมีค่าจริงของอิมพีแดนซ์ประมาณ 50 โอห์ม

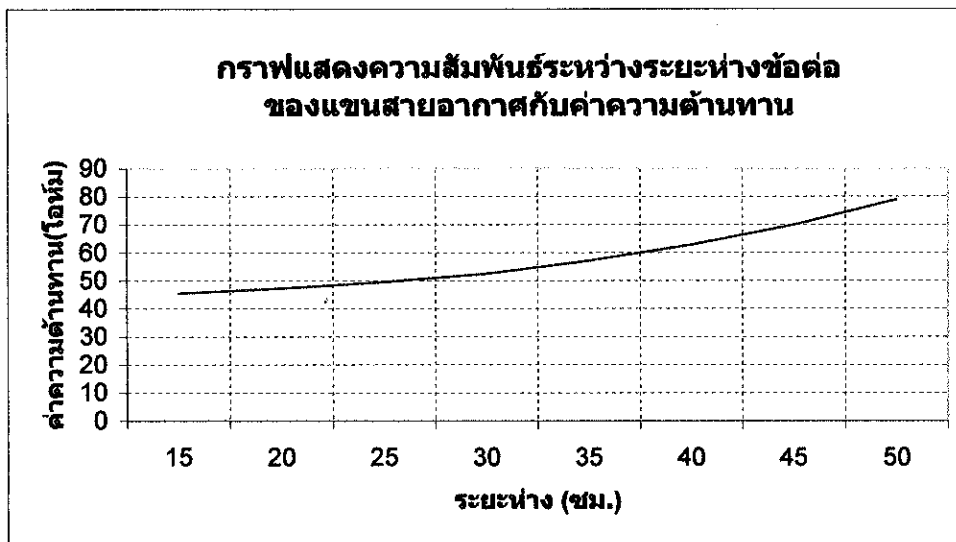
3.4.2 การปรับแต่งระยะห่างของบริเวณรอยต่อของแขนสายอากาศ

ในการปรับแต่งระยะนี้ให้ทำการแปรค่าระยะห่างของบริเวณรอยต่อของแขนสายอากาศรีอมบิค และทำการกำหนดระยะห่างของจุดป้อนสัญญาณ ให้คงที่ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การปรับแต่งระยะห่างของบริเวณรอยต่อของแขนสายอากาศ

เมื่อทำการปรับแต่งระยะห่างดังกล่าวจะได้ผลลัพธ์ดังกราฟในรูปที่ 3.20



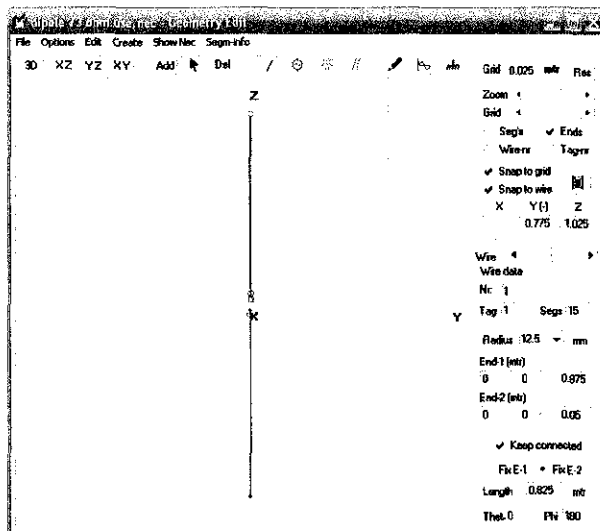
รูปที่ 3.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของข้อต่อของแขนสายอากาศกับค่าจริงของอิมพีแดนซ์

สรุปได้ว่าการออกแบบเมื่อทำการเพิ่มระยะห่างของข้อต่อของแกนสายอากาศให้มากขึ้น จะส่งผลให้ค่าจริงของอิมพีแดนซ์ของสายอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นตาม และระยะที่เหมาะสมในการสร้างสายอากาศคือที่ระยะประมาณ 20 เซนติเมตร ถึง 30 เซนติเมตร เนื่องจากมีค่าจริงของอิมพีแดนซ์ประมาณ 50 โอห์ม

ดังนั้นเมื่อทราบแนวโน้มและความสัมพันธ์ของระยะต่างๆ ก็จะสามารถทำให้ออกแบบสายอากาศรอมบิกและปรับแต่งให้มีค่าใกล้เคียงกับ 50 โอห์ม ได้

3.5 การออกแบบสายอากาศไดโพล

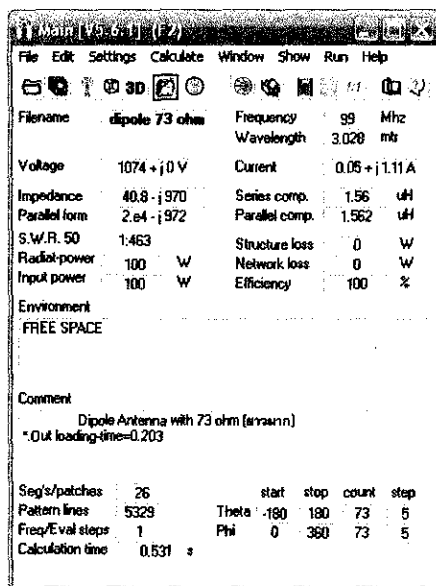
เมื่อเข้าสู่หน้าต่างวาดรูปสายอากาศให้ทำการวาดสายอากาศเป็นรูปเส้นตรงสองเส้น พร้อมทั้งวาดจุดป้อนสัญญาณที่ปลายสายอากาศทั้งสองด้านดังรูปที่ 3.21



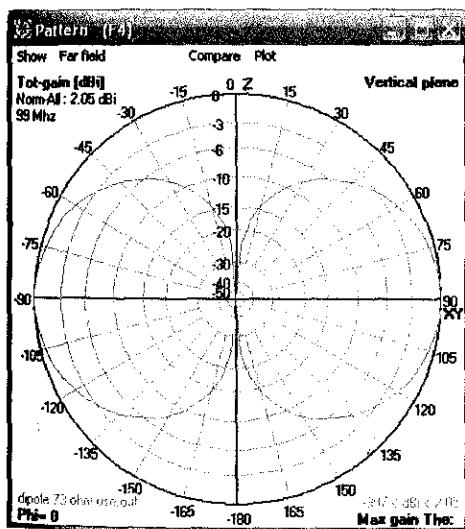
รูปที่ 3.21 ภาพวาดสายอากาศไดโพล

ในการวาดสายอากาศสามารถคำนวณความยาวของสายอากาศไดโพลจากค่าความยาวคลื่นหรือ λ ได้โดย $l_{(m)} = \lambda/2 = 3.028/2 = 1.515m$ ดังนั้นสายอากาศแต่ละข้างจะมีความยาว $l_{(m)} = 1.515/2 = 0.7575m$ สาเหตุในการออกแบบสายอากาศไดโพลที่มีจุดป้อนสัญญาณสองจุดและสายอากาศไดโพลมีลักษณะแยกออกจากกันเหมือนเป็นสายอากาศโมโนโพลสองตัววางไว้ใกล้กัน เนื่องจากสายอากาศรอมบิกที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา มีจุดต่อโพลด 73 โอห์มที่ปลายสายอากาศ ซึ่งมีระยะห่างค่าหนึ่ง และระยะห่างดังกล่าวจะเป็นระยะห่างที่จะนำสายอากาศไดโพลมาต่อเข้าด้วยกัน ซึ่งจะได้แสดงในหัวข้อถัดไป

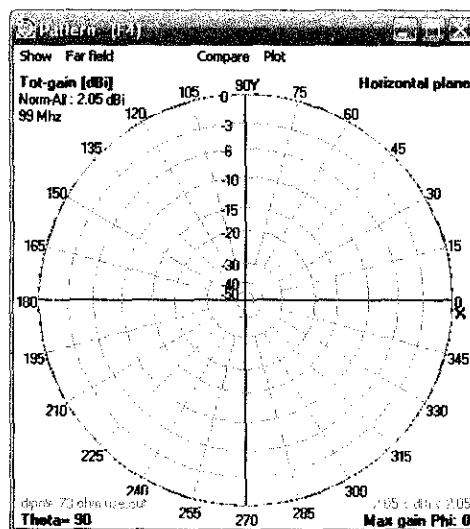
เมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรมจะได้ผลลัพธ์ดังนี้



รูปที่ 3.22 หน้าต่างหลักกับผลลัพธ์ของค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศไดโพล



(ก)

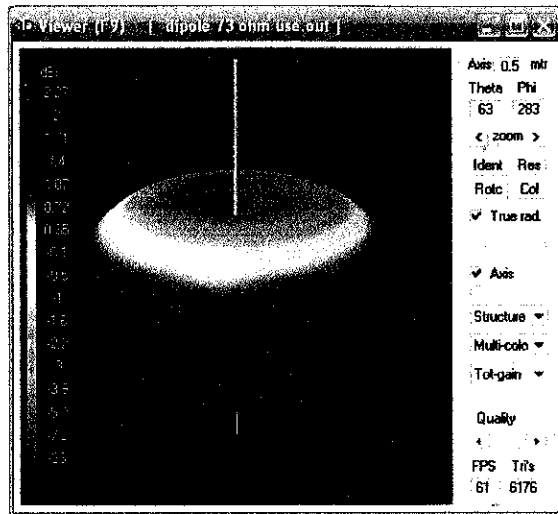


(ข)

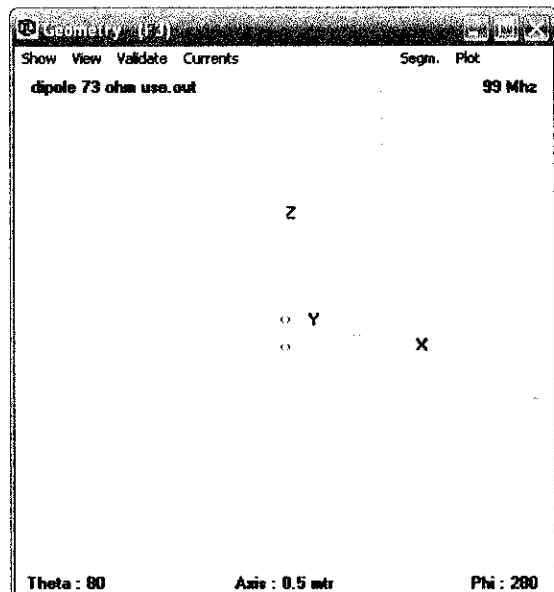
รูปที่ 3.23 หน้าต่างแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศไดโพลแบบ 2 มิติ

(ก) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวตั้ง (Vertical plane)

(ข) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวนอน (Horizontal plane)



รูปที่ 3.24 หน้าต่างแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศไดโพลแบบ 3 มิติ

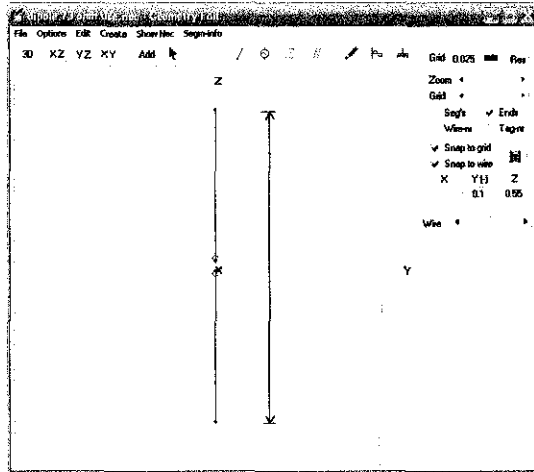


รูปที่ 3.25 หน้าต่างโครงสร้างสายอากาศสายอากาศไดโพล

จากรูปที่ 3.22 พบว่าค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศไดโพลที่ทำการออกแบบยังมีค่าไม่ได้ตามที่ต้องการคือ $Z_m = 73 \pm jX$ ซึ่งก็คือต้องการค่าที่เป็นจำนวนจริงเท่ากับ 73 โอห์ม ส่วนค่าที่เป็นจำนวนจินตภาพเท่ากับเท่าใดก็ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับแต่งสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ตามที่ต้องการ ในการปรับแต่งสายอากาศสามารถทำได้โดยการปรับระยะความยาวของแขนสายอากาศ

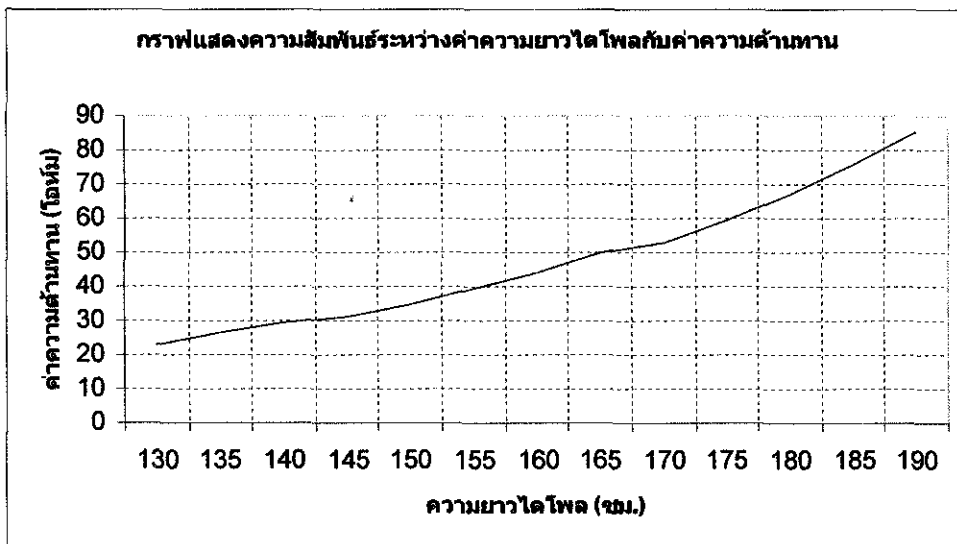
3.5.1 การปรับแต่งความยาวของแขนสายอากาศไดโพล

ในการปรับแต่งความยาวนี้จะต้องทำการกำหนดระยะห่างของจุดป้อนสัญญาณทั้งสองให้คงที่ก่อนทำการปรับแต่งความยาวของแขนสายอากาศทั้งสองด้านของไดโพล ในบทความนี้ได้กำหนดระยะห่างของจุดป้อนสัญญาณให้เท่ากับ 5 เซนติเมตร ลักษณะของการปรับแต่งความยาวแขนสายอากาศเป็นดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 การปรับแต่งความยาวสายอากาศไดโพล

เมื่อทำการปรับแต่งระยะความยาวของสายอากาศไดโพลจะได้ผลลัพธ์ซึ่งเป็นการสัมพันธ์ระหว่างระยะความยาวกับค่าจริงของอิมพีแดนซ์ได้ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวไดโพลกับค่าจริงของอิมพีแดนซ์

จากรูปที่ 3.27 จะได้ว่าความยาวโคโพลที่ทำให้ค่าจริงของอิมพีแดนซ์ใกล้เคียงกับ 73 โอห์มคือช่วงที่อยู่ระหว่าง 180 ถึง 185 เซนติเมตร แต่ในทางทฤษฎีแล้วความยาวของสายอากาศโคโพลที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการจะมีค่าน้อยกว่าผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมคือมีค่าความยาวสายอากาศโคโพลเพียง 151.5 เซนติเมตร และในทางปฏิบัติค่าความยาวสายอากาศโคโพลจะมีค่าน้อยกว่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ เนื่องจากผลของการมีเส้นผ่าศูนย์กลางของสายอากาศ

จากรูป 3.23 ได้แสดงถึงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของคลื่นของสายอากาศโคโพลของทั้งสองระนาบ คือ ระนาบเวอร์ติคัล (Vertical Plane) หรือระนาบมุมยก (Elevation Plane) และระนาบฮอไรซอนทอล (Horizontal) หรือระนาบมุมกวาด (Azimuth Plane)

ระนาบเวอร์ติคัลจะมีช่วงของมุมอยู่ที่ $0^\circ < \theta < 180^\circ$ และ $0^\circ < \theta < -180^\circ$ และจากรูปพบว่าสายอากาศโคโพลมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบมีทิศทางและมีทิศทางสูงสุดอยู่ที่ $\theta = \pm 90^\circ$ นอกจากนี้ลักษณะของแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานมีรูปร่างคล้ายเลขแปด

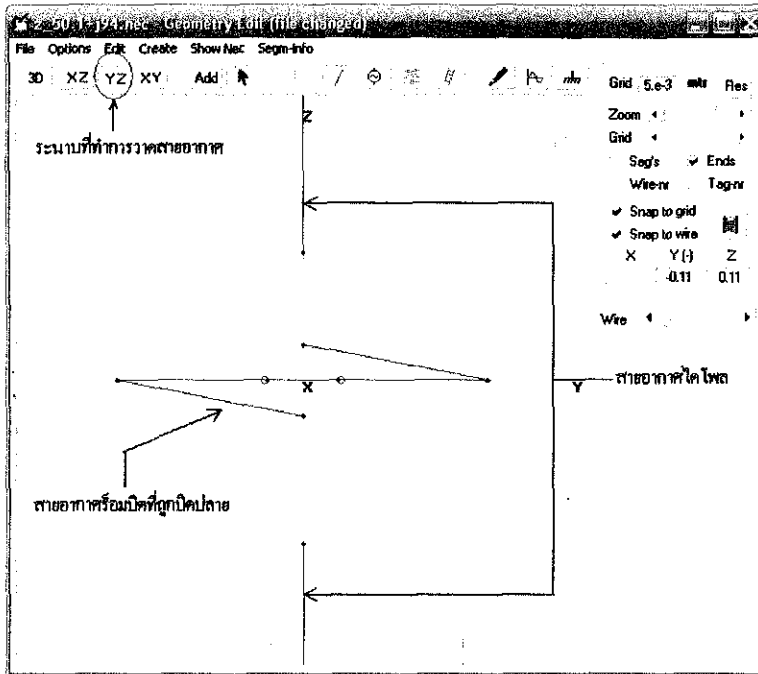
ระนาบฮอไรซอนทอลจะมีช่วงของมุมอยู่ที่ $0^\circ < \theta < 360^\circ$ และจากรูปพบว่าที่ระนาบนี้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานมีลักษณะที่ไม่มีการแผ่กระจายไปในทิศทางใดๆ เลย นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะของแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานมีรูปร่างเป็นเส้นวงกลม

เมื่อทำการพิจารณาระนาบทั้งสองที่ตั้งฉากกันนี้พบว่า เป็นแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว

ดังนั้นเมื่อทราบแอมพลิจูดและความสัมพันธ์ของระยะต่างๆ ก็จะสามารถทำให้ออกแบบสายอากาศโคโพลและปรับแต่งให้มีค่าใกล้เคียงกับ 73 โอห์ม ได้

3.6 การออกแบบสายอากาศรอมบิคอลโคโพล

ในการออกแบบสายอากาศรอมบิคอลโคโพลนี้เป็นการออกแบบสายอากาศที่รวมสายอากาศ รอมบิคเข้ากับสายอากาศโคโพลเข้าด้วยกัน และก่อนที่จะทำการรวมสายอากาศเข้าด้วยกันให้ทำการบิดบริเวณปลายของสายอากาศรอมบิคที่ถูกต้องด้วยโหลด 73 โอห์มให้อยู่ในแกนเดียวกัน เพื่อที่จะนำสายอากาศโคโพลมาต่อเข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.28

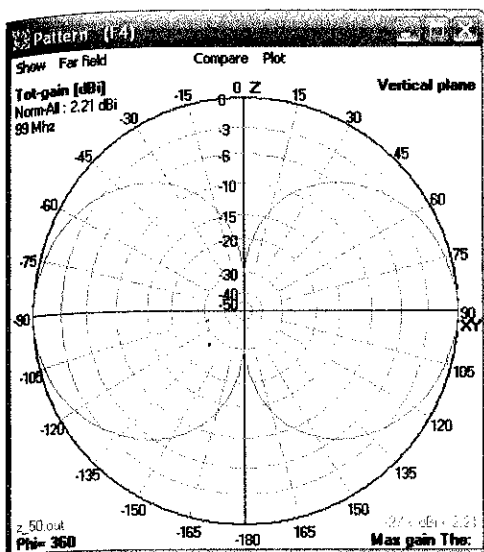


รูปที่ 3.28 รูปวาดสายอากาศรีอมบิคและสายอากาศไดโพลก่อนทำการรวมเป็นสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล

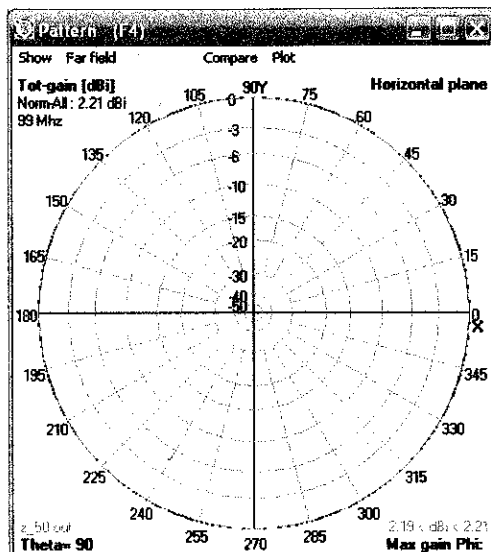
จากนั้นทำการรวมสายอากาศทั้งสองเข้าด้วยกันเพื่อให้กลายเป็นสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล ตามด้วยการคำนวณผลด้วยโปรแกรม เพื่อดูว่าค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้ามีค่าเป็น $Z_{in} = 50 \pm jX$ หรือไม่ และแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของคลื่นเป็นแบบรอบตัวในระนาบเดียวหรือไม่ ซึ่งเมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรม ได้ผลลัพธ์ดังนี้

File Edit Settings Calculate Window Show Run Help			
Filename	z_50.out	Frequency	99 Mhz
		Wavelength	3.028 mtr
Voltage	110 + j0 V	Current	0.45 - j1.01 A
Impedance	40.8 + j90.6	Series comp.	17.74 pF
Parallel form	242 + j108	Parallel comp.	14.75 pF
S.W.R. 50	1:5.09	Structure loss	0 W
Radiat-power	100 W	Network loss	0 W
Input power	100 W	Efficiency	100 %
Environment FREE SPACE			
Comment Rhombical Antenna at 99 MHz Designed by Telecommunication Engineering students H9 ".Gut loading-time=0.172			
Seg's/patches	35	start	stop
Pattern lines	5329	Theta	180 73 5
Freq/Eval steps	1	Phi	0 360 73 5
Calculation time	0.750 s		

รูปที่ 3.29 หน้าต่างหลักกับผลลัพธ์ของค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล



(ก)

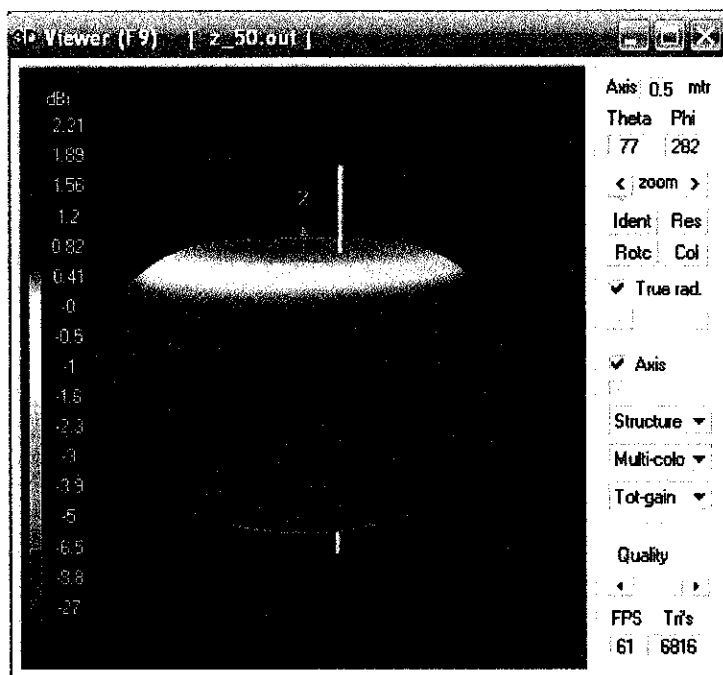


(ข)

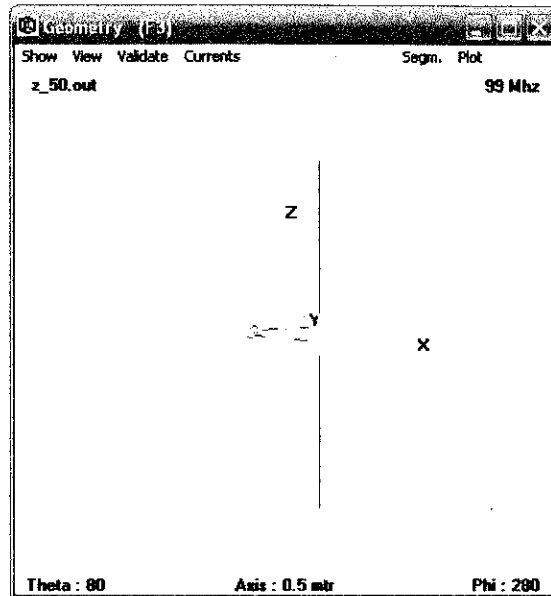
รูปที่ 3.30 หน้าต่างแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศร็อบบิคอลโคโพลแบบ 2 มิติ

(ก) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวตั้ง

(ข) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวนอน



รูปที่ 3.31 หน้าต่างแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศร็อบบิคอลโคโพลแบบ 3 มิติ



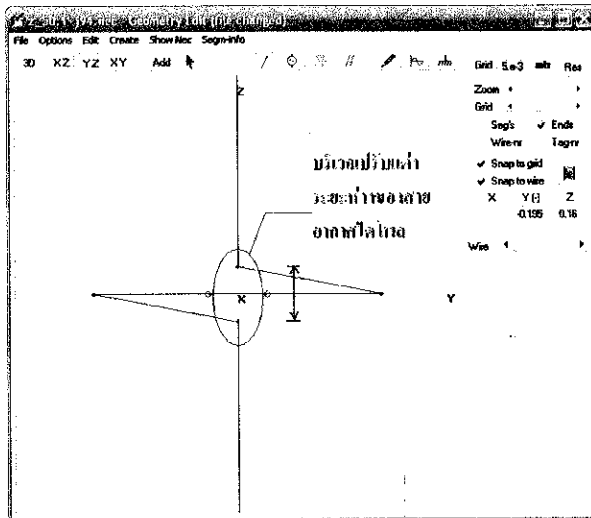
รูปที่ 3.32 หน้าต่างโครงสร้างสายอากาศสายอากาศรอมบิคอลโคโพล

จากรูปที่ 3.29 พบว่าค่าของอิมพีแดนซ์ขาเข้ามีค่าเป็น $Z_m = 40.8 + j90.6\Omega$ ซึ่งยังเป็นค่าอิมพีแดนซ์ที่ไม่ต้องการ เนื่องจากค่าที่เป็นจำนวนจริงยังมีค่าไม่เท่ากับ 50 โอห์ม ดังนั้นจึงต้องทำการปรับแต่งสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าตามที่ต้องการ ส่วนจากรูปที่ 3.30 พบว่าในระนาบเวกเตอร์คอลลีมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานคลื่นเป็นแบบมีทิศทางที่มุม $\theta = \pm 90$ องศา และในระนาบฮอไรซอนทอลมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานคลื่นเป็นแบบไม่มีทิศทาง ซึ่งก็หมายความว่าสายอากาศรอมบิคอลโคโพลนี้มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานคลื่นเป็นแบบรอบตัวในระนาบเดียว ดังรูปที่ 3.31 ที่เป็นรูปสามมิติ ซึ่งเป็นแบบรูปการแผ่กระจายกำลังที่เหมาะสมสำหรับสายอากาศที่ทำหน้าที่ในการส่งกระจายเสียงในการปรับแต่งสายอากาศรอมบิคอลโคโพลนี้สามารถทำได้โดยการปรับแต่งที่ระยะห่างของจุดป้อนสัญญาณ ระยะห่างของบริเวณรอยต่อของแขนสายอากาศของส่วนที่เป็นสายอากาศรอมบิค ความยาวของส่วนที่เป็นสายอากาศโคโพล และระยะห่างระหว่างสายอากาศโคโพล

ในการปรับแต่งสายอากาศรอมบิคอลโคโพลนี้จะเลือกปรับแต่งเฉพาะความยาวของส่วนที่เป็นสายอากาศโคโพล และระยะห่างระหว่างสายอากาศโคโพลเท่านั้น เนื่องจากการปรับแต่งที่อื่นนั้นมีความพอดีอยู่แล้ว นอกจากนี้ยังทราบเกี่ยวกับแนวโน้มของการปรับแต่งที่สัมพันธ์กับค่าอิมพีแดนซ์ที่ระยะอื่นเรียบร้อยแล้ว แต่การปรับแต่งที่ความยาวของส่วนที่เป็นสายอากาศโคโพล และระยะห่างระหว่างสายอากาศโคโพลนั้นยังไม่มีที่พอดี เนื่องจากความยาวของส่วนที่เป็นสายอากาศโคโพลนั้นยังยาวเกินไป นอกจากนี้ยังไม่มีทราบแนวโน้มของการปรับแต่งระยะห่างระหว่างสายอากาศโคโพลว่ามีความสัมพันธ์กับค่าอิมพีแดนซ์อย่างไรบ้าง

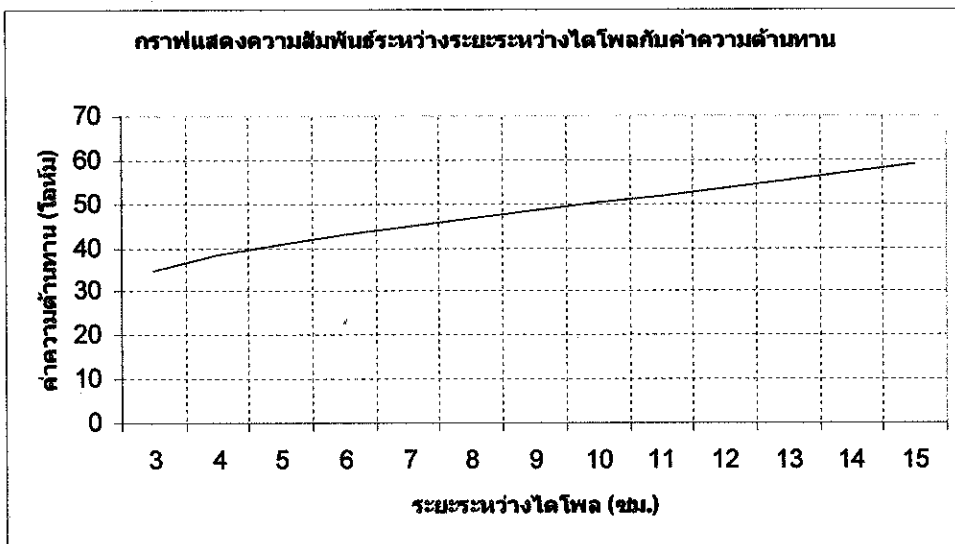
3.6.1. การปรับแต่งระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพล

ลักษณะการปรับแต่งระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพลเป็นดังรูป 3.33



รูปที่ 3.33 การปรับแต่งระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพล

เมื่อทำการปรับแต่งระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพลจะได้ผลลัพธ์ซึ่งเป็นการสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างกับค่าจริงของอิมพีแดนซ์ได้ดังรูปที่ 3.34

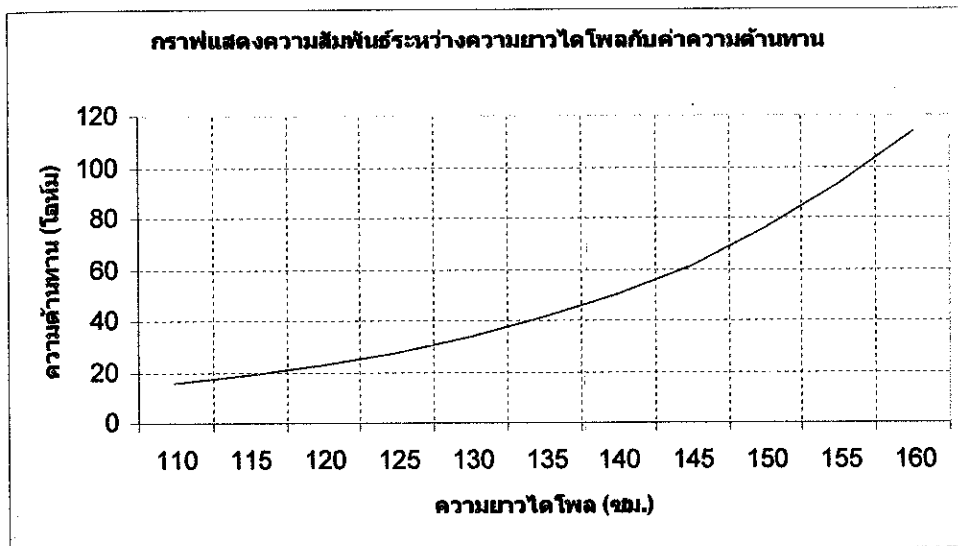


รูปที่ 3.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างไดโพลกับค่าจริงของอิมพีแดนซ์

จากรูปที่ 3.34 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มระยะห่างระหว่างไดโพลให้มากขึ้น ค่าจริงของอิมพีแดนซ์จะเพิ่มขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่าค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กับแบบแปรผันตรง และค่าระยะห่างที่ทำให้เกิดค่าจริงของอิมพีแดนซ์ใกล้เคียง 50 โอห์มมากที่สุดคือที่ระยะ 10 เซนติเมตร

3.6.2 การปรับแต่งความยาวของโคโพล

จากหัวข้อการออกแบบสายอากาศโคโพลในรูปที่ 3.27 พบว่าการปรับแต่งความยาวของโคโพลมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับค่าจริงของอิมพีแดนซ์คือ เมื่อทำการเพิ่มความยาวของสายอากาศโคโพลให้มากขึ้น ค่าจริงของอิมพีแดนซ์จะมีค่ามากขึ้นตามลำดับ และเมื่อทำการปรับแต่งความยาวสายอากาศโคโพล โดยที่กำหนดให้ระยะห่างระหว่างโคโพลเท่ากับ 10 เซนติเมตรคงที่ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.35



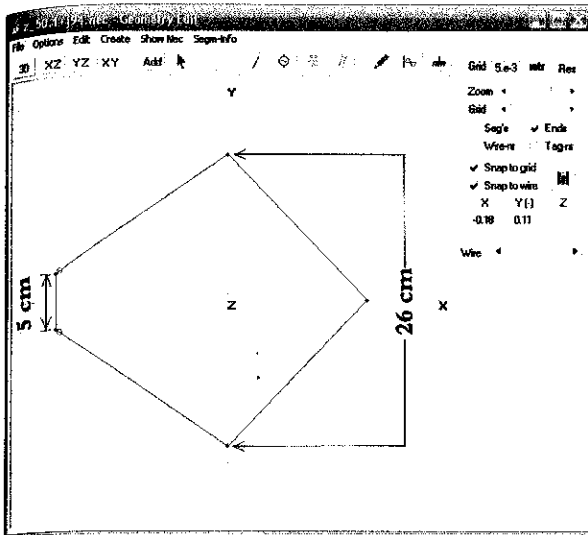
รูปที่ 3.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวโคโพลกับค่าจริงของอิมพีแดนซ์

จากรูปที่ 3.35 จะได้ค่าความยาวของโคโพลที่เหมาะสม ที่จะให้ค่าจริงของอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม คือที่ความยาว 140 เซนติเมตร ตลอดความยาวของส่วนที่เป็นสายอากาศโคโพล หรือ แต่ละแขนของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 65 เซนติเมตร

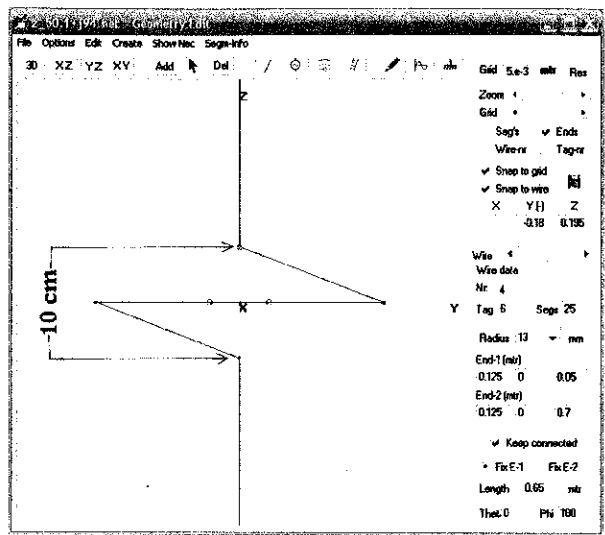
จากการปรับแต่งทั้งหมด ได้ความยาวที่ทำให้เกิดค่าอิมพีแดนซ์ใกล้เคียงกับ 50 โอห์ม ดังนี้

- ระยะห่างของจุดป้อนสัญญาณ 5 เซนติเมตร
- ระยะห่างบริเวณรอยต่อของแขนสายอากาศรีอมบิค 26 เซนติเมตร
- ระยะห่างระหว่างสายอากาศโคโพล 10 เซนติเมตร
- ความยาวแขนโคโพลแต่ละข้าง 65 เซนติเมตร

ลักษณะของภาพวาดสายอากาศในแต่ละระนาบใน โปรแกรมมีลักษณะดังรูปที่ 3.36 และ 3.37 ตามลำดับดังต่อไปนี้



(ก)

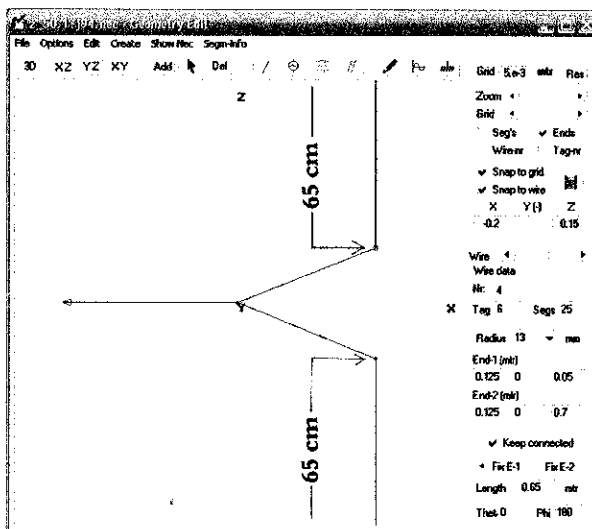


(ข)

รูปที่ 3.36 ภาพวาดสายอากาศรีอมบิคอลโคโพลในระนาบ XY

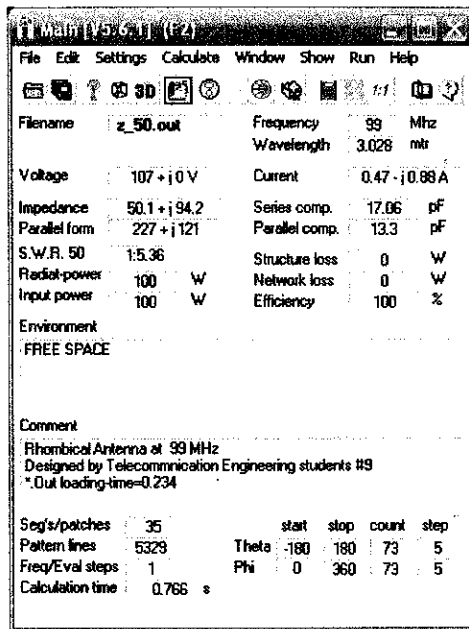
(ก) สายอากาศรีอมบิคอลโคโพลในระนาบ XY

(ข) สายอากาศรีอมบิคอลโคโพลในระนาบ YZ

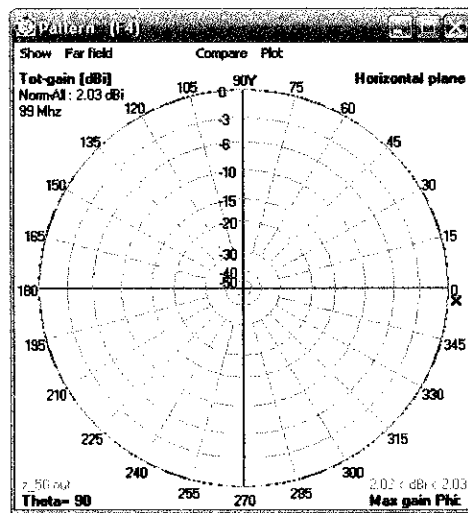
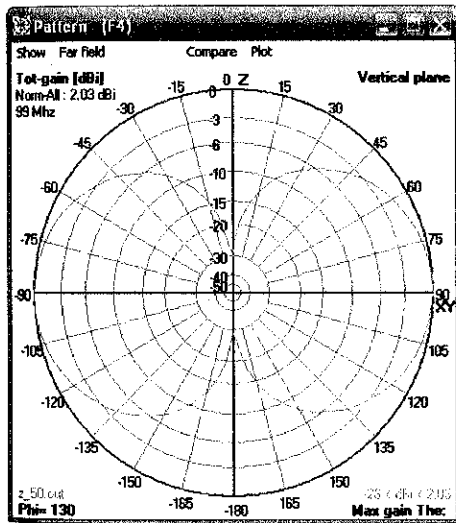


รูปที่ 3.37 ภาพวาดสายอากาศรีอมบิคอลโคโพลในระนาบ XZ

เมื่อได้ระยะต่าง ๆ ของสายอากาศเรียบร้อยแล้วจะได้สายอากาศรีอมบิคอลโคโพลที่มีค่าอิมพีแดนซ์ใกล้เคียงกับ 50 โอห์มมากที่สุด และเมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรมจะได้ผลลัพธ์ดังนี้

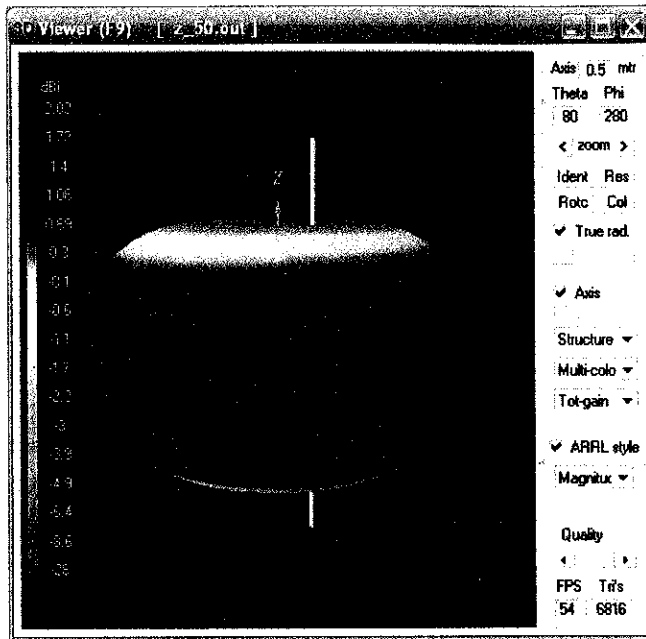


รูปที่ 3.38 หน้าต่างหลักกับผลลัพธ์ของค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพลที่สมบูรณ์

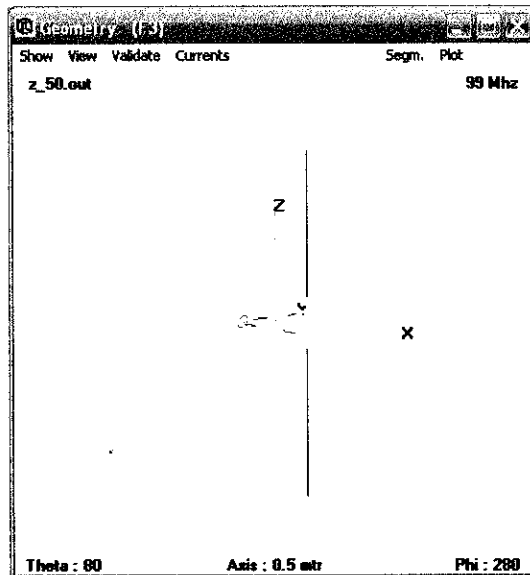


รูปที่ 3.39 หน้าต่างแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศรีอมบิคอลไดโพลที่สมบูรณ์แบบ 2 มิติ

- (ก) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวตั้ง
- (ข) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวนอน




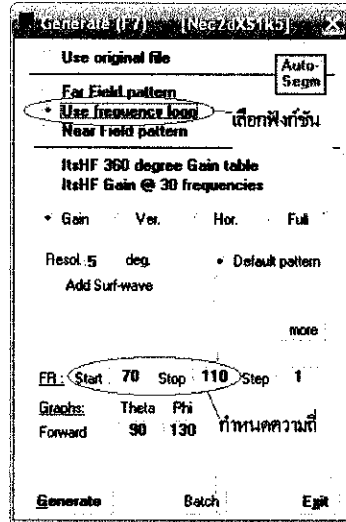
รูปที่ 3.40 หน้าต่างแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศร็อมบิคอลโคโพลที่สมบูรณ์ แบบ 3 มิติ



รูปที่ 3.41 หน้าต่างโครงสร้างสายอากาศสายอากาศร็อมบิคอลโคโพลที่สมบูรณ์

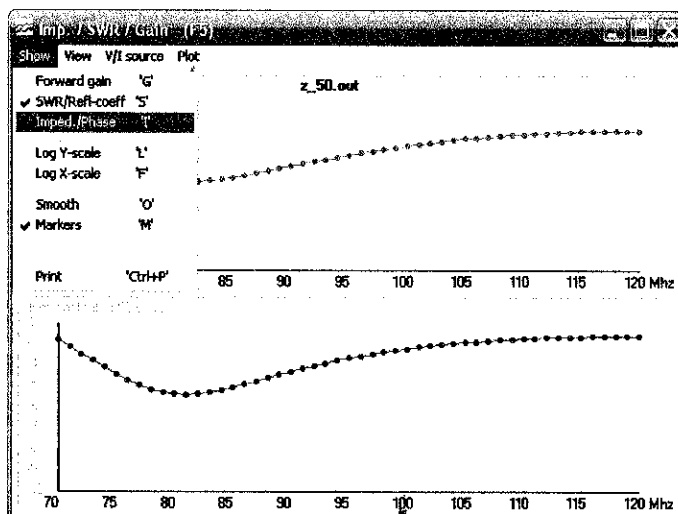
หลังจากที่ได้ค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้า $Z_m = 50.1 + j94.2 \Omega$ ต่อไปจะเป็นการพิจารณาเทอมของค่าจำนวนจินตภาพของอิมพีแดนซ์ขาเข้าหรือค่ารีแอกแตนซ์ (Reactance) คือค่า $+j94.2$ ซึ่งต้องการให้มีค่าเท่ากับศูนย์เพื่อให้เกิดการเรโซแนนซ์ (Resonance) ที่ความถี่ใช้งานคือ 99 MHz

การดูความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับค่าอิมพีแดนซ์สามารถทำได้โดยคลิกที่ไอคอนเจนเนอเรท  เมื่อปรากฏหน้าต่างใหม่ขึ้นมาให้ทำการเลือก Use Frequency Loop พร้อมทั้งทำการกำหนดความถี่เริ่มต้นและความถี่สุดท้ายที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.42

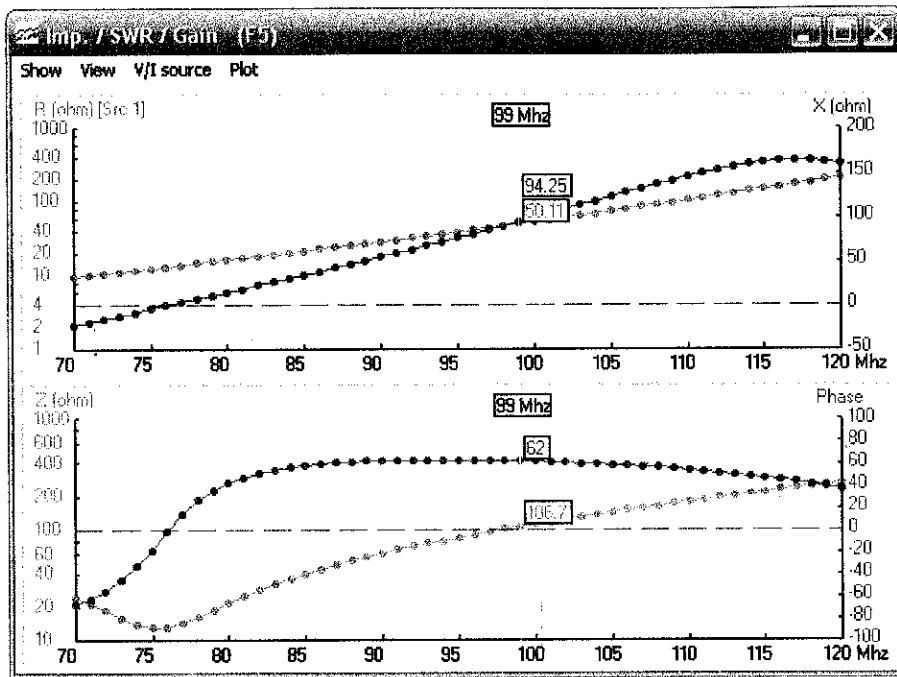


รูปที่ 3.42 การเลือกฟังก์ชันและการกำหนดความถี่ในหน้าต่างเจนเนอเรท

เมื่อกดปุ่ม **Generate** จะปรากฏหน้าต่างความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งและความถี่กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนตามลำดับ แต่ที่ที่ต้องการทราบคือค่าความถี่กับค่าอิมพีแดนซ์ ซึ่งสามารถทราบได้โดยเลือกที่เมนู Show จากนั้นเลือก Imped./Phase ดังรูปที่ 3.43 จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับค่าอิมพีแดนซ์ที่ต้องการดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.43 การเปลี่ยนฟังก์ชันในเมนู Show เพื่อเข้าสู่ฟังก์ชัน Imped./Phase

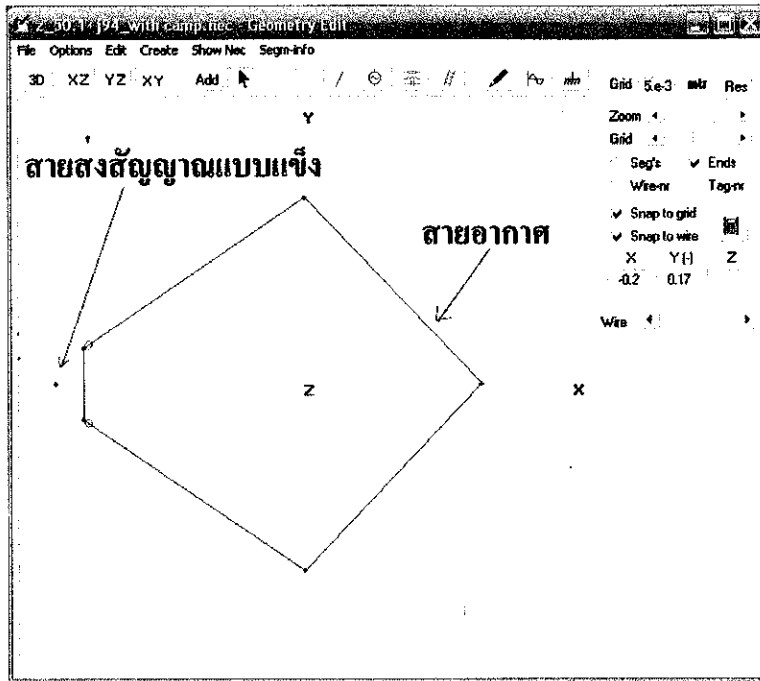


รูปที่ 3.44 หน้าต่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับค่าอิมพีแดนซ์

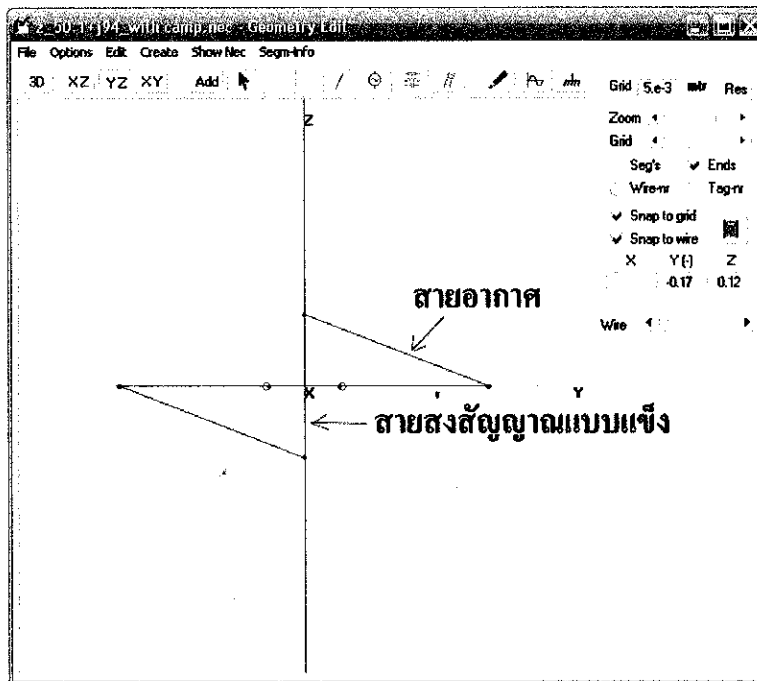
จากรูปที่ 3.44 พบว่าสายอากาศรีอมบิคอลโคโพลนี้ยังไม่เรโซแนนซ์ที่ความถี่ใช้งาน 99 MHz เนื่องจากค่ารีแอคแทนซ์มีค่า 94.25 โอห์ม แต่มีการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ประมาณ 76 MHz

อย่างไรก็ตามสายอากาศรีอมบิคอลโคโพลที่ออกแบบนี้สามารถลดค่ารีแอคแทนซ์ได้โดยใช้บาลูน (Balun) ซึ่งจะได้กล่าวในบทต่อไป นอกจากนี้ในทางปฏิบัติผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมและการวัดผลจริงจะมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่มากในเรื่องของอิมพีแดนซ์ เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณยังเป็นโปรแกรมในระดับที่ไม่สูงมากนัก

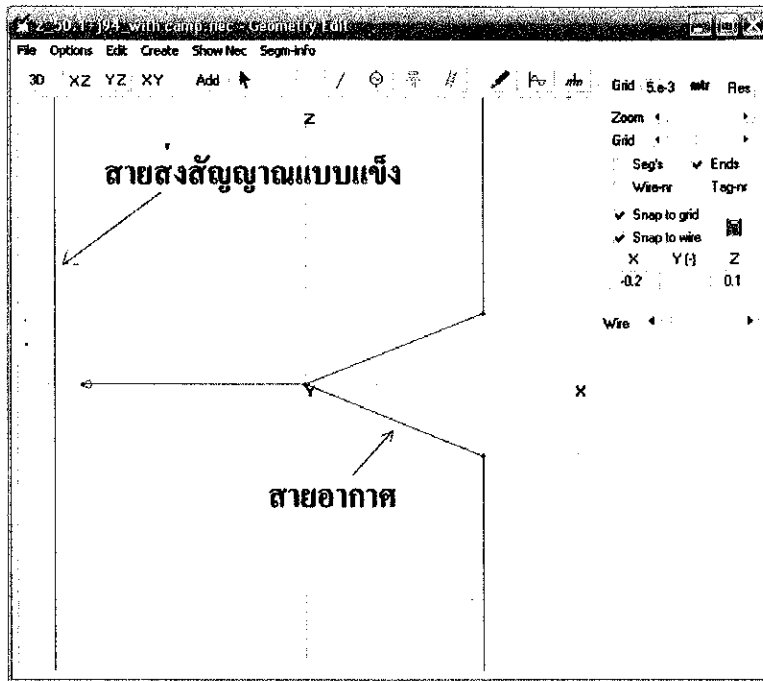
ในทางปฏิบัติการนำสายอากาศรีอมบิคอลโคโพลมาใช้งานจะต้องมีเสายึดเพื่อให้สายอากาศอยู่ในอากาศสว่างหรือที่สูงได้ ในโครงการนี้ได้มีการประยุกต์นำสายส่งสัญญาณแบบแข็ง (Rigid Coaxial Line) ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อทองแดงมาต่อเข้ากับสายอากาศรีอมบิคอลโคโพลมาเป็นทั้งสายส่งสัญญาณและเสายึดเพื่อให้สายอากาศวางตัวอยู่ในอากาศสว่างได้ ซึ่งสายส่งสัญญาณแบบแข็งนี้สามารถมีผลต่อแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของคลื่นของสายอากาศรีอมบิคอลโคโพลได้ ดังนั้นในการออกแบบด้วยโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2 จะต้องทำการวาดสายส่งสัญญาณแบบแข็งที่บริเวณจุดป้อนสัญญาณของสายอากาศดังรูป 3.45, 3.46, 3.47 และ 3.48 ตามลำดับ



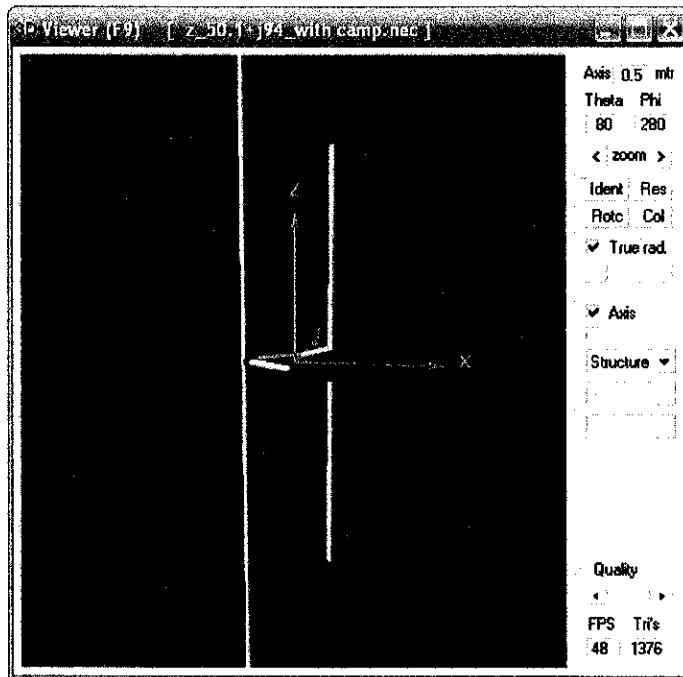
รูปที่ 3.45 ภาพวาดสายอากาศที่เชื่อมกับคอลโคโพลกับสายส่งสัญญาณแบบแข็งในระนาบ XY



รูปที่ 3.46 ภาพวาดสายอากาศที่เชื่อมกับคอลโคโพลกับสายส่งสัญญาณแบบแข็งในระนาบ YZ



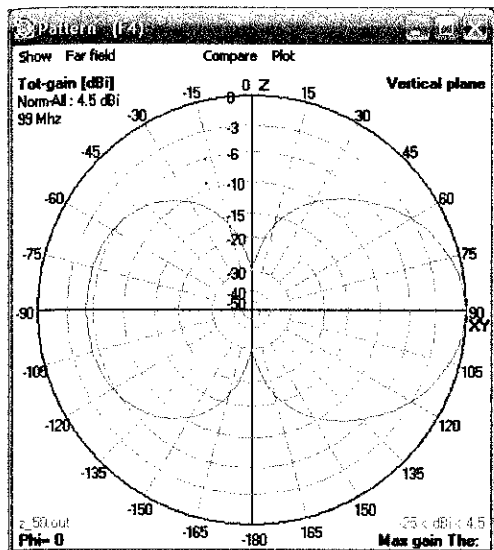
รูปที่ 3.47 ภาพวาดสายอากาศหรือมิกอดโคโพลกับสายส่งสัญญาณแบบแข็งในระนาบ XZ



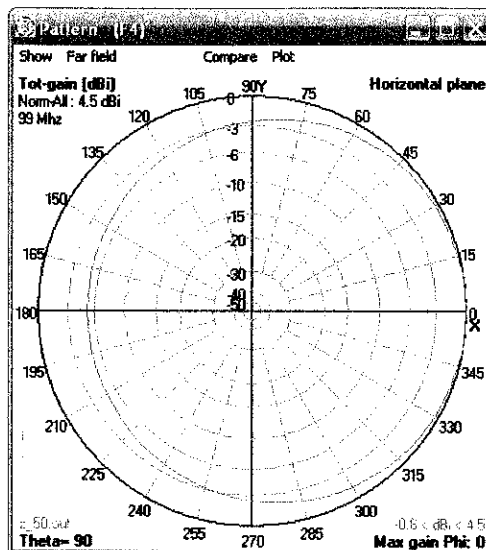
รูปที่ 3.48 ภาพวาดสายอากาศหรือมิกอดโคโพลกับสายส่งสัญญาณแบบแข็งแบบ 3 มิติ

ในการกำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศหรือมิกอดโคโพลกับสายส่งสัญญาณแบบแข็งจะกำหนดเป็น 2 เซนติเมตรเพื่อเป็นการชดเชยรอยต่อระหว่างสายอากาศหรือมิกอดโคโพลกับสายส่งสัญญาณแบบแข็งซึ่งเป็นตัวเชื่อมต่อ

เมื่อการทำการคำนวณด้วยโปรแกรมจะพบว่าแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของคลื่นจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.49 และ 3.50



(ก)



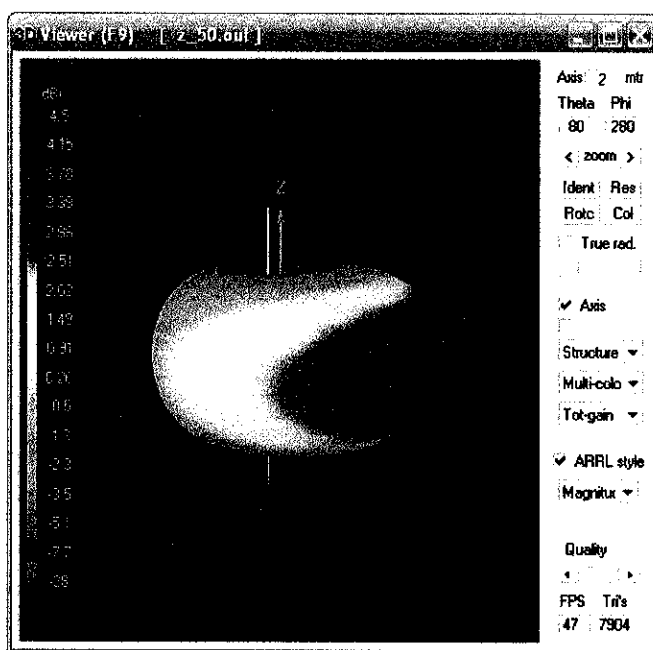
(ข)

รูปที่ 3.49 หน้าต่างแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศรีอมบิคอลโคโพลที่มีสายส่งสัญญาณ

แบบแข็งแบบ 2 มิติ

(ก)แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวตั้ง

(ข) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวนอน



รูปที่ 3.50 หน้าต่างแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสายอากาศรีอมบิคอลโคโพลที่มีสายส่งสัญญาณ

แบบแข็งแบบ 3 มิติ

จากรูปที่ 3.49 จะเห็นได้ว่าแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมที่ไม่มีการวาดสายส่งสัญญาณแบบแข็ง ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะพบว่าที่บริเวณซีกซ้ายของวงกลมของทั้งสองระนาบคือระนาบเวกเตอร์คิคลและระนาบฮอไรซอนทอลจะมีลักษณะเล็กลง ซึ่งหมายความว่า ณ บริเวณดังกล่าวมีการรับสัญญาณที่ส่งมาได้น้อยลง อันเนื่องมาจากมีสายส่งสัญญาณแบบแข็งบังอยู่

3.7 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงรายละเอียดขั้นตอนในการออกแบบสายอากาศรีอมบิคอลโคโพล รวมทั้งรายละเอียดในการวิเคราะห์คุณสมบัติบางอย่างของสายอากาศ โดยใช้โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2 ซึ่งก็คือ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของคลื่นและอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศ และยังได้กล่าวถึงข้อจำกัดของโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2 ด้วย

ในบทต่อไปจะเป็นการนำสายอากาศได้ถูกออกแบบ โดยโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2 ไปสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบจริงและการวัดผลค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศรีอมบิคอลโคโพล

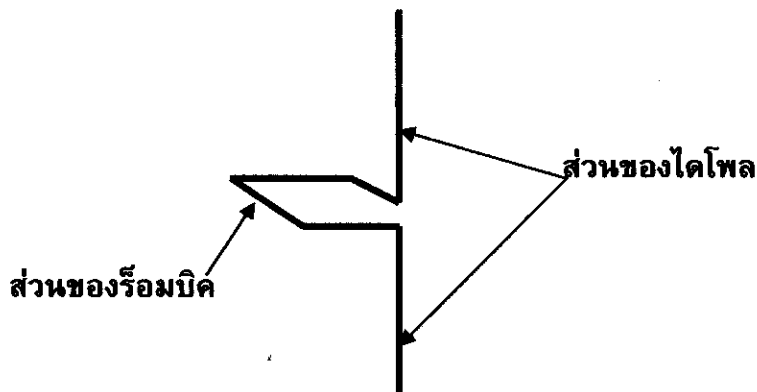
บทที่ 4

การสร้างและทดสอบสายอากาศคั่นแบบ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการสร้างสายอากาศขึ้นมาโดยใช้ขนาดของส่วนต่าง ๆ ของสายอากาศที่ได้จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าแรงเลขรุ่นที่ 2 แต่เพื่อยืนยันความถูกต้องและให้สายอากาศสามารถนำไปใช้งานได้จริงจึงต้องมีการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยมีขั้นตอนการออกแบบและทดสอบ พร้อมแสดงผลการทดสอบ

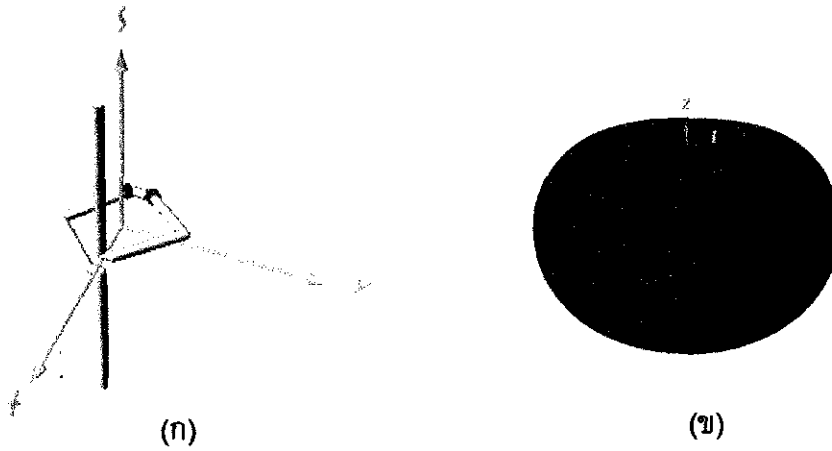
4.1 กล่าวนำ

จากการนำโครงสร้างของสายอากาศไดโพลและสายอากาศแบบร็อมบิคมาทำงานผสมผสานกันเพื่อให้ได้โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศแบบร็อมบิคอลไดโพล ดังรูปที่ 4.1 แต่เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศร็อมบิคอลไดโพล จึงใช้โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าแรงเลขรุ่นที่ 2 ในการจำลองโครงสร้างของสายอากาศร็อมบิคอลไดโพลและคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สำคัญเพื่อให้ได้สายอากาศร็อมบิคอลไดโพลที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการของสายอากาศภาคส่งสำหรับสถานีส่งวิทยุระบบเอฟเอ็มที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2



รูปที่ 4.1 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศร็อมบิคอลไดโพล

การออกแบบสายอากาศร็อมบิคอลไดโพล ในโครงการนี้ได้นำแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่มีลักษณะแผ่กระจายออกรอบตัวสายอากาศในระนาบเดียวมาเป็นเงื่อนไข ได้ผลการจำลองโครงสร้างของสายอากาศร็อมบิคอลไดโพล จากเงื่อนไขดังกล่าว ดังรูปที่ 4.2 (ก)

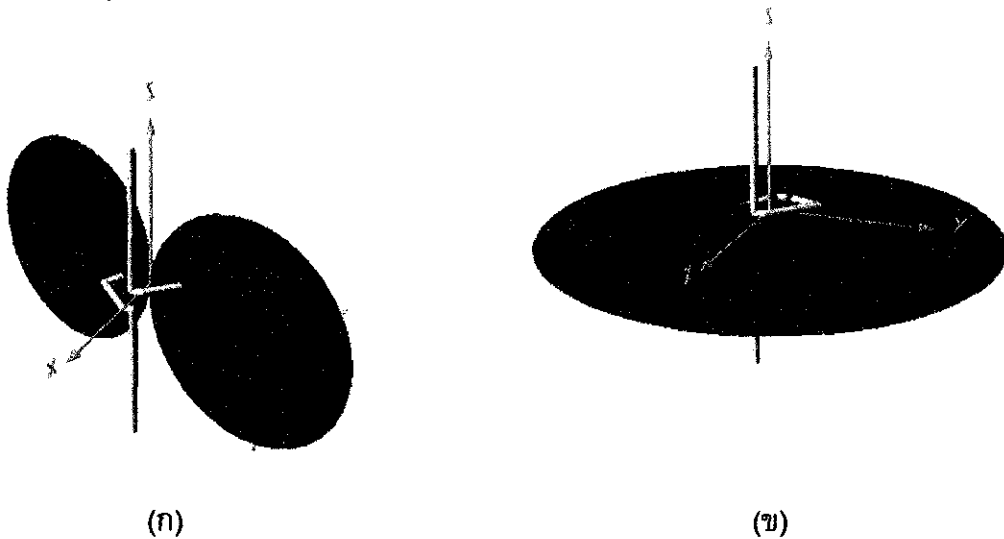


รูปที่ 4.2 ผลการจำลองสายอากาศรีอมบิคอลโคโพลจากโปรแกรม NEC 2

(ก) โครงสร้างของสายอากาศรีอมบิคอลโคโพล

(ข) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศรีอมบิคอลโคโพล

จากรูปที่ 4.2 (ข) แสดงผลการคำนวณแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่แผ่กระจายออกรอบตัวสายอากาศในระนาบเดียวกับโครงสร้างของสายอากาศรีอมบิคอลโคโพล ด้วยโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2



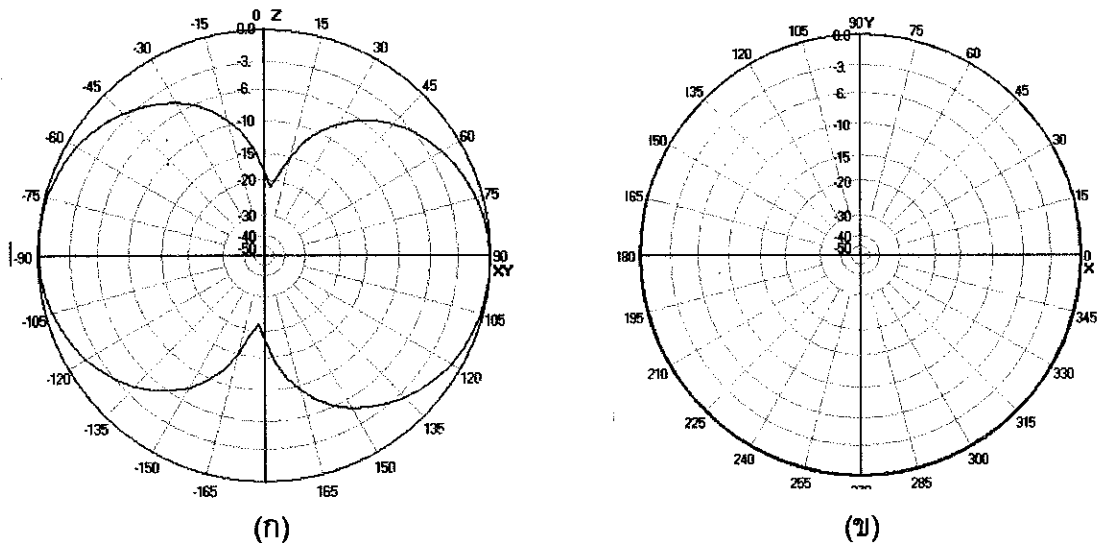
รูปที่ 4.3 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศรีอมบิคอลโคโพล

(ก) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า

(ข) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.3 (ก) แสดงโครงสร้างและผลการคำนวณแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศรีอมบิคอลโคโพล รูปที่ 4.3 (ข) แสดง โครงสร้างและผลการคำนวณแบบ

รูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศรอมบิคอลไดโพลโดยโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2



รูปที่ 4.4 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศรอมบิคอลไดโพล

(ก) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวตั้ง (Vertical plane)

(ข) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวนอน (Horizontal plane)

รูปที่ 4.4 (ก) และ (ข) แสดงผลการคำนวณแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแนวตั้งและแนวนอนตามลำดับ ในลักษณะตามมุมหมุนรอบทิศทาง 360 องศา

4.2 การวัดทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ

การวัดทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศคือ การวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นของสายอากาศ โดยโครงการฉบับนี้ได้สร้างสายอากาศรอมบิคอลไดโพลจำนวน 2 ตัว เพื่อทำการอะเรย์ให้มีกำลังขยายที่สูงขึ้นด้วยสายส่งโคแอกเซียล

4.2.1 การวัดอิมพีแดนซ์อินพุต

อิมพีแดนซ์อินพุตเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญเป็นอันดับแรก เพราะว่าหากสายอากาศไม่แมตช์กับสายนำสัญญาณแล้ว สายอากาศก็ไม่สามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงได้ สำหรับโครงการฉบับนี้ใช้สายส่งโคแอกเซียลมีค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ดังนั้นสายอากาศรอมบิคอลไดโพลที่สร้างขึ้นจะต้องมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับหรือใกล้เคียง 50 โอห์ม

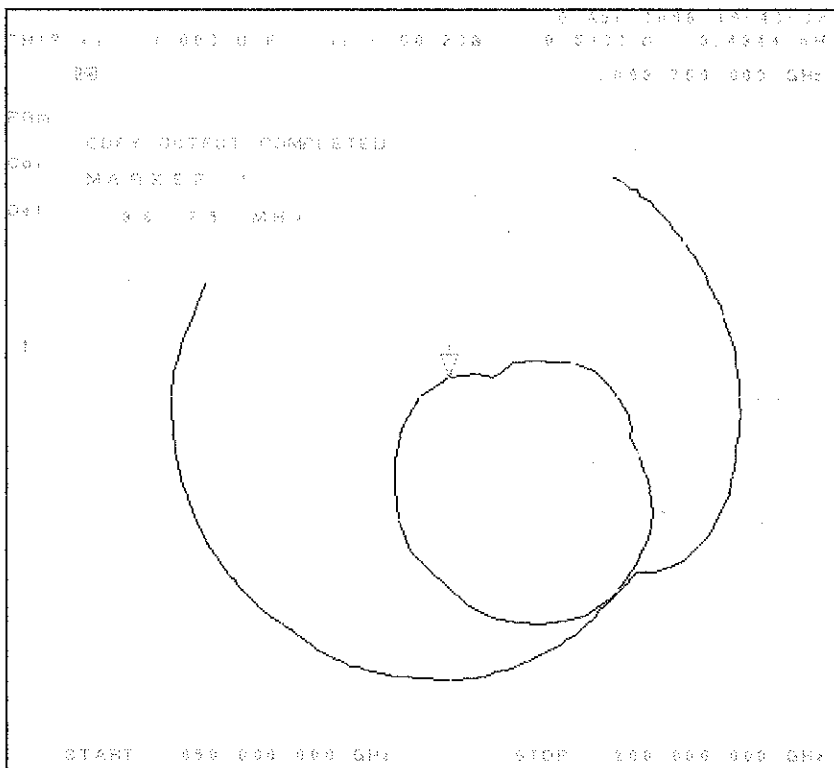
1. ขั้นตอนการวัดค่าอิมพีแดนซ์

- 1) ทำการ Calibrate เครื่อง Network Analyzer ที่ความถี่ตั้งแต่ 88 MHz ถึง 108 MHz
- 2) เลือกคำสั่ง Save เพื่อจะได้ไม่ต้องทำ Calibrate เครื่องใหม่ เมื่อต้องการใช้งานภายหลัง
- 3) ต่อสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล เข้าที่ Port 1 ของ Network Analyzer ทำการวัด S_{11}

เลือก Format แบบ Smith Chart

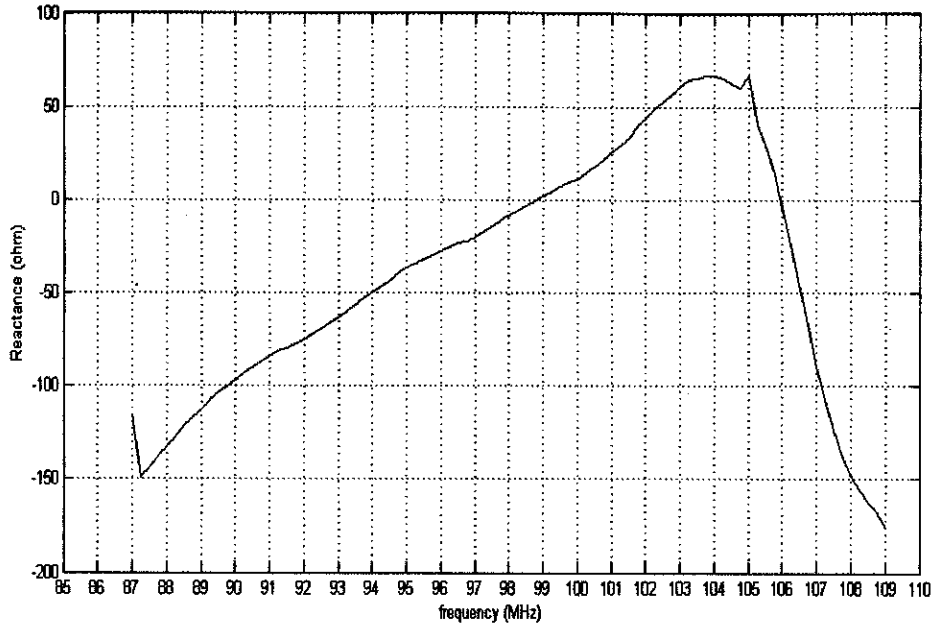
2. ผลการวัดค่าอิมพีแดนซ์

- 1) สายอากาศรีอมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์

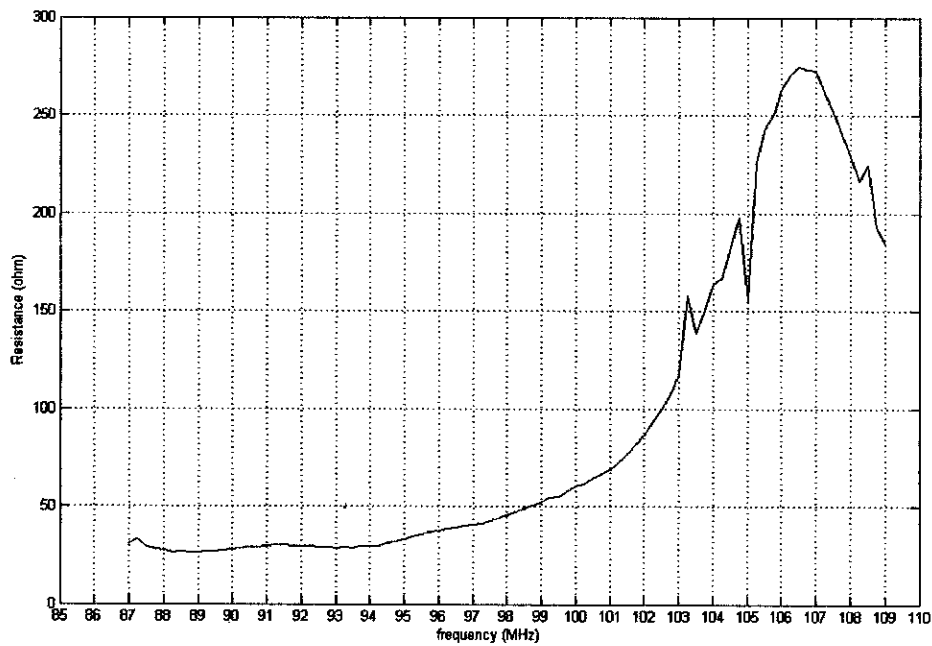


รูปที่ 4.5 Smith chart ของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์

จากรูปที่ 4.5 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์ นั้นมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 98.75 MHz เท่ากับ $50.23 - j0.513 \Omega$ แสดงว่าสามารถนำสายอากาศไปใช้งานร่วมกับสายโคแอกเซียลที่มีค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ได้จริง



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีแอคแตนซ์กับความถี่



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความถี่

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่ามี 2 จุดที่ค่าของรีแอคแตนซ์เป็นศูนย์ (เส้นกราฟตัดแกน X) หมายความว่า สายอากาศตัวนี้เกิดการเรโซแนนซ์ (Resonance) ที่ 2 ความถี่ด้วยกัน ในย่านความถี่ตั้งแต่ 87 -109 MHz แต่ที่ต้องคำนึงถึงค่าของความต้านทาน ณ ความถี่นั้นด้วยว่ามีค่าใกล้เคียง 50 Ω มากที่สุด ดังรูปที่ 4.7

4.2.2 ความกว้างแถบของสายอากาศ

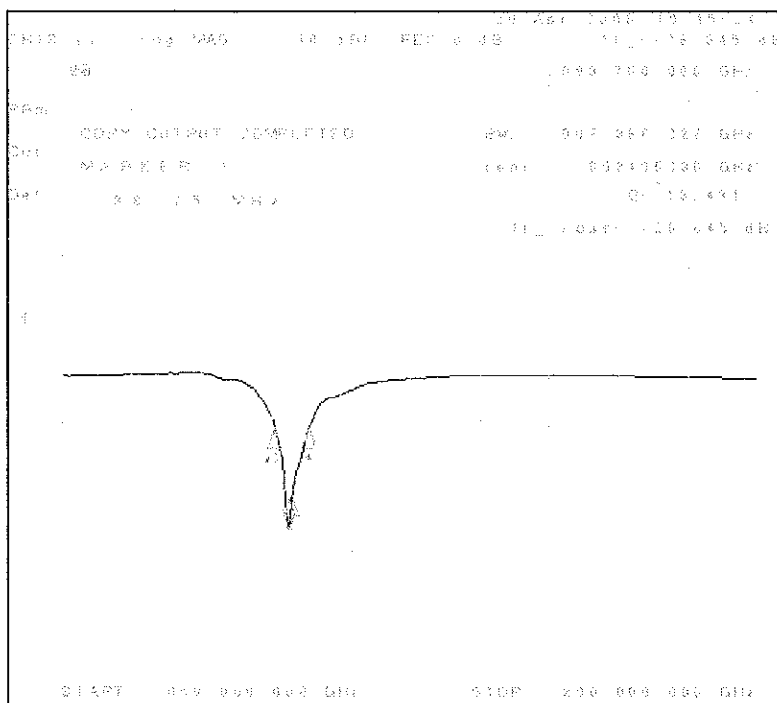
ความกว้างแถบของสายอากาศ หมายถึงช่วงความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้ดี สายอากาศร็อมบิคอลไดโพลในโครงการนี้จะพิจารณาความกว้างแถบของสายอากาศอยู่ที่ -10 dB ในโหมดของ LOG MAG

1. ขั้นตอนการวัดความกว้างแถบ

- 1) Recall state จากเครื่อง Network Analyzer ที่จัดเก็บไว้
- 2) เลือกคำสั่ง Format และเลือก LOG MAG
- 3) เลือกคำสั่ง Marker Fctn และเลือก MKR SEARCH [OFF]
- 4) เลือก WIDTH VALUE เพื่อป้อน -10 dB
- 5) เลือก WIDTH ON เพื่อดูค่า

2. ผลการวัดความกว้างแถบ

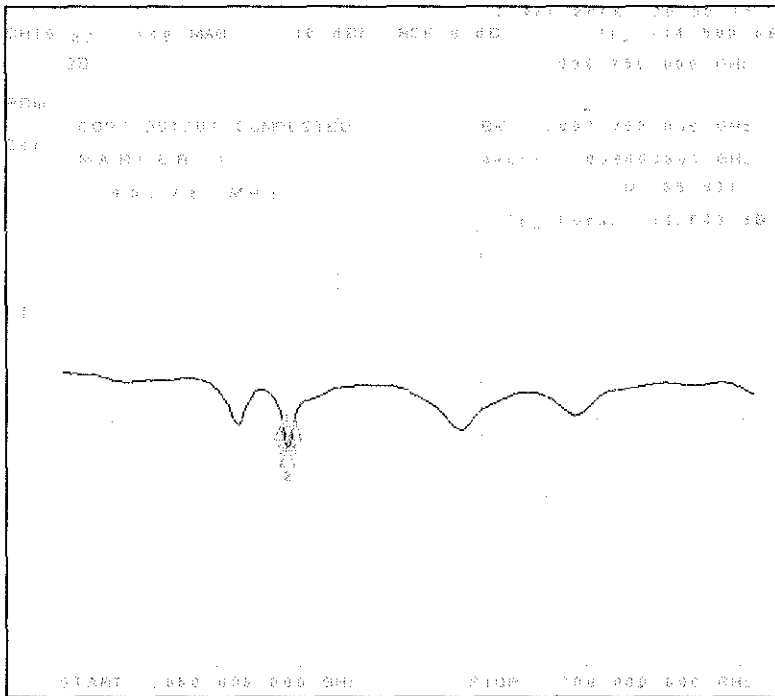
- 1) สายอากาศร็อมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์



รูปที่ 4.8 ความกว้างแถบของสายอากาศร็อมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์

จากรูปที่ 4.8 เป็นผลการวัดความกว้างแถบ โดยสายอากาศรีอิมบิลคอปไดโพล 1 อิลิเมนต์
ตัวนี้มีความกว้างแถบอยู่ที่ 7.368 MHz และมีอัตราส่วนคลื่นนิ่ง 1.13 ถือว่าเป็นค่าความกว้างแถบที่
กว้างเพียงพอสำหรับทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งสำหรับสถานีวิทยุระบบเอฟเอ็ม

2) สายอากาศรีอิมบิลคอป ไดโพล 2 อิลิเมนต์



รูปที่ 4.9 ความกว้างแถบของสายอากาศรีอิมบิลคอปไดโพล 2 อิลิเมนต์

จากรูปที่ 4.8 เป็นผลการวัดความกว้างแถบ โดยสายอากาศรีอิมบิลคอปไดโพล 2 อิลิเมนต์
ตัวนี้มีความกว้างแถบอยู่ที่ 2.759 MHz สำหรับสายอากาศภาคส่งสถานีวิทยุระบบเอฟเอ็มนั้นความ
กว้างแถบระดับนี้ถือว่ากว้างเพียงพอ

4.2.3 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

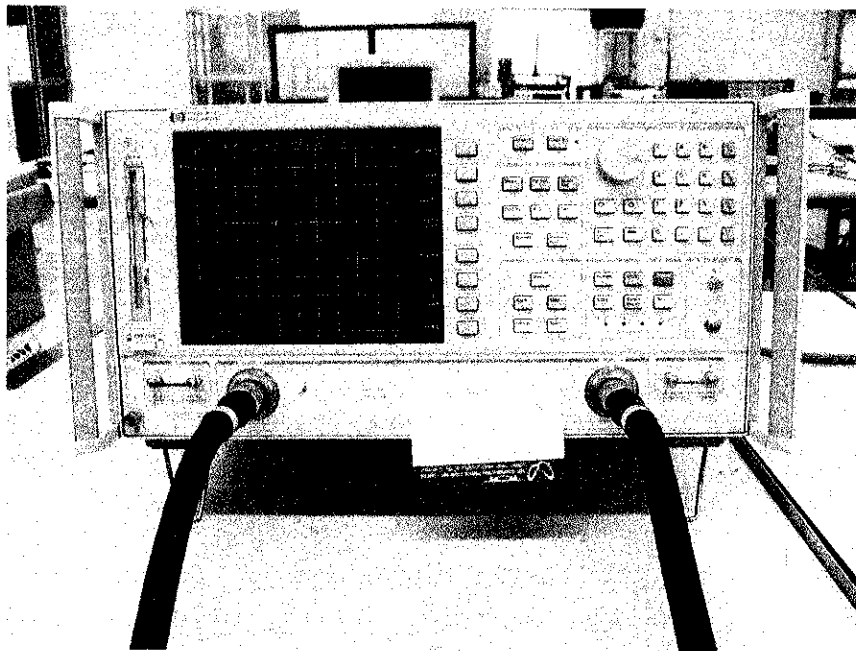
การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศจะอาศัยทฤษฎีรีซิโปรซิตีโดยทำการ
วัดที่บริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Region) ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการ

$$R > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4.1)$$

- เมื่อ R คือ ระยะของสนามระยะไกล
 D คือ ความยาวสูงสุดของสายอากาศ
 λ คือ ความยาวคลื่นของสายอากาศ

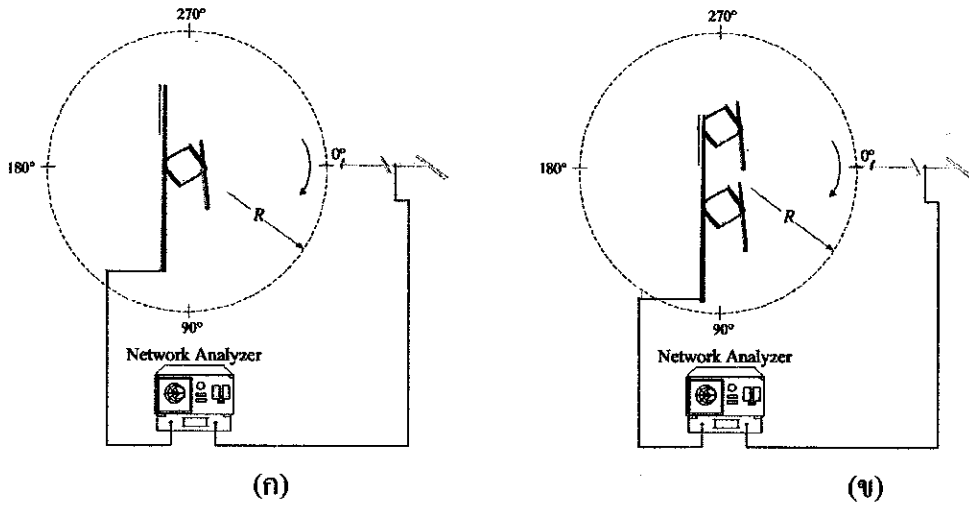
1. ขั้นตอนการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

- 1) Recall state จากเครื่อง Network Analyzer ที่จัดเก็บไว้
- 2) สายอากาศขาถัก-อูคะ เป็นสายอากาศภาคส่ง ต่อเข้า Port 1 พร้อมทำการแมทซ์ที่ความถี่ 98.75 MHz
- 3) สายอากาศร้อมบิคอล โค โพล เป็นสายอากาศภาครับ ต่อเข้า Port 2 พร้อมทำการแมทซ์ที่ความถี่ 98.75 MHz
- 4) ทำการจ่ายเพาเวอร์ โดยเลือกคำสั่ง Menu
- 5) เลือกคำสั่ง POWER และคำสั่ง POWER RANGES
- 6) เลือก RANGE -20 TO -5 ป้อนค่า -5 dB
- 7) เลือกคำสั่ง CW FREQ ป้อนค่า 98.75 MHz ทำการวัดค่า S_{21} จากเครื่อง Network Analyzer เพื่อนำมาพล็อตแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน



รูปที่ 4.10 Network Analyzer

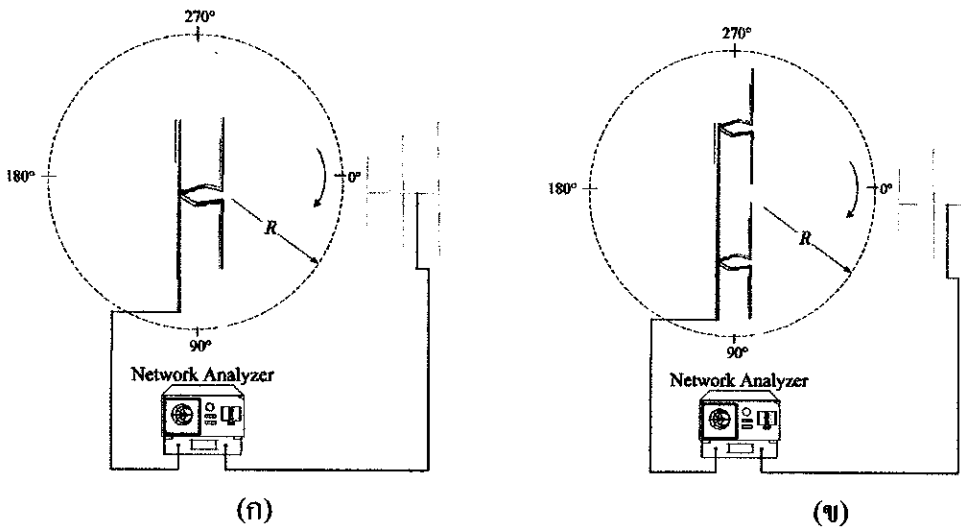
การทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศรีอมบิคอลโคโพลในโรงงานนี้ ทำการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศรีอมบิคอลโคโพล ในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานนั้น จะต้องทำการหมุนสายอากาศรอบตัว 360 องศา โดยให้สายอากาศภาคตั้งอยู่นิ่งตามทฤษฎีรีซิโปรซิติ



รูปที่ 4.11 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศรีอมบิคอลโคโพลในระนาบสนามไฟฟ้า

(ก) การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ 1 อิลิเมนต์

(ข) การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ 2 อิลิเมนต์

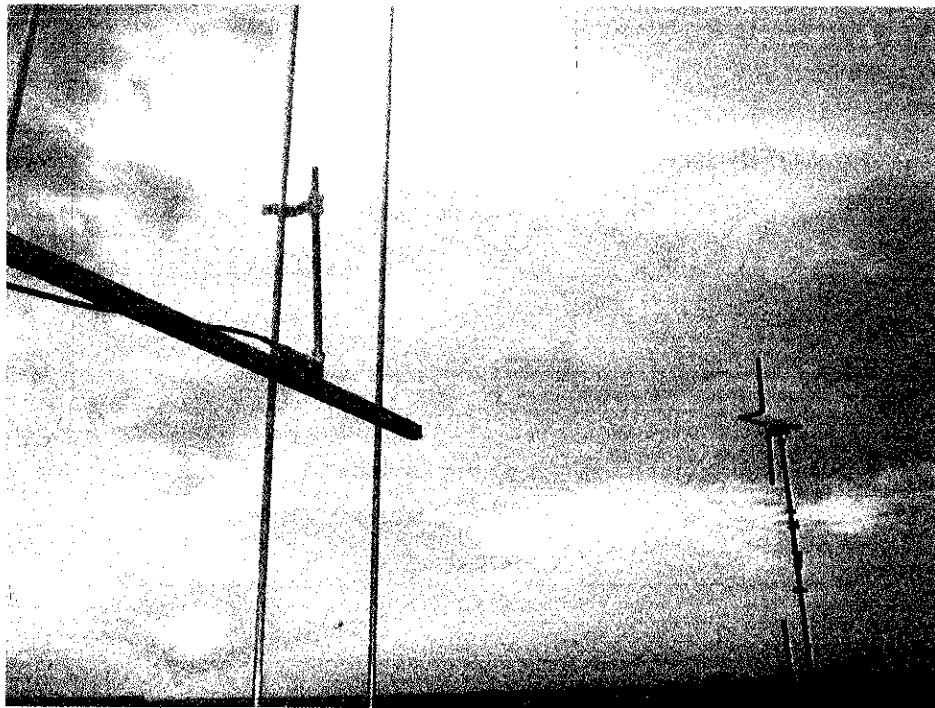


รูปที่ 4.12 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศรีอมบิคอลโคโพลในระนาบสนามแม่เหล็ก

(ก) การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ 1 อิลิเมนต์

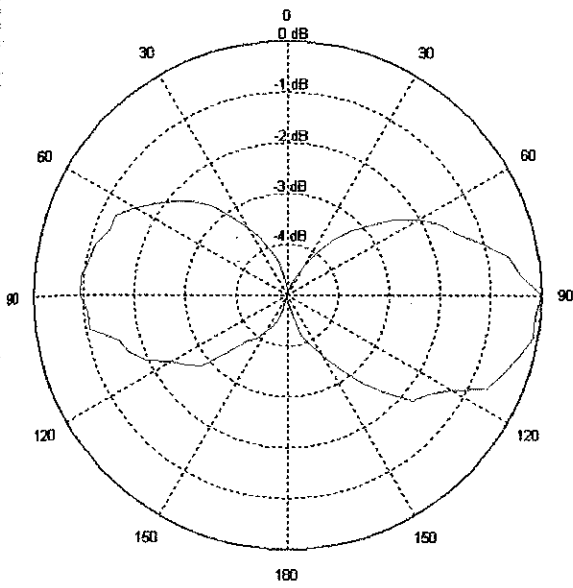
(ข) การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ 2 อิลิเมนต์

จากรูปที่ 4.11 (ก) เป็นการติดตั้งสายอากาศ 1 อิลิเมนต์ เพื่อทำการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าโดยใช้สายอากาศภาคส่งเป็นสายอากาศยาคิ-อุตะ (Yagi-Uda) วางขนานกับพื้น และสายอากาศภาครับคือ สายอากาศร็อมบิคอลไดโพลซึ่งต่อสายส่งโคแอกเซียลเรียบร้อยวางขนานกับพื้นทั้ง โครงสร้าง และรูปที่ 4.11 (ข) เป็นการติดตั้งสายอากาศ 2 อิลิเมนต์ เพื่อทำการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าเช่นกัน โดยทั้ง โครงสร้างติดตั้งเช่นเดียวกับการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ 1 อิลิเมนต์ ส่วนรูปที่ 4.12 (ก) เป็นการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศ 1 อิลิเมนต์ โดยสายอากาศภาคส่งยังคงใช้สายอากาศยาคิ-อุตะแต่วางตั้งฉากกับพื้น สายอากาศภาครับคือ สายอากาศร็อมบิคอลไดโพลและสายส่งโคแอกเซียลทั้ง โครงสร้างวางตั้งฉากกับพื้น และรูปที่ 4.12 (ข) เป็นการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ 2 อิลิเมนต์ โดยทั้งภาคส่งและภาครับวางตั้งฉากกับพื้นเช่นเดียวกัน

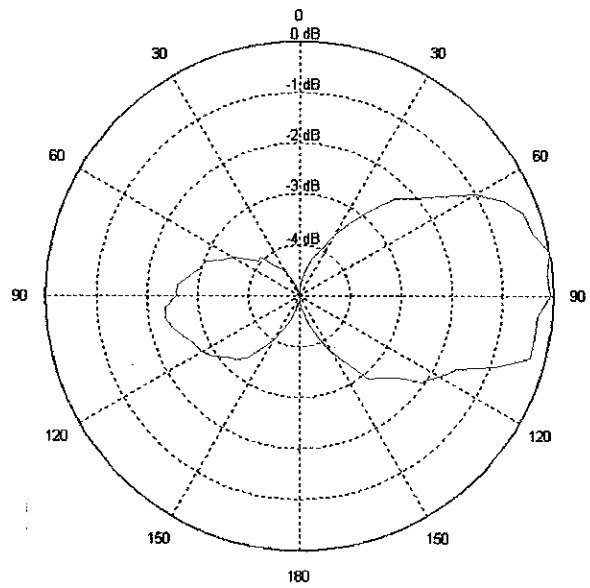


รูปที่ 4.13 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศร็อมบิคอลไดโพล

2. ผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน



(ก)

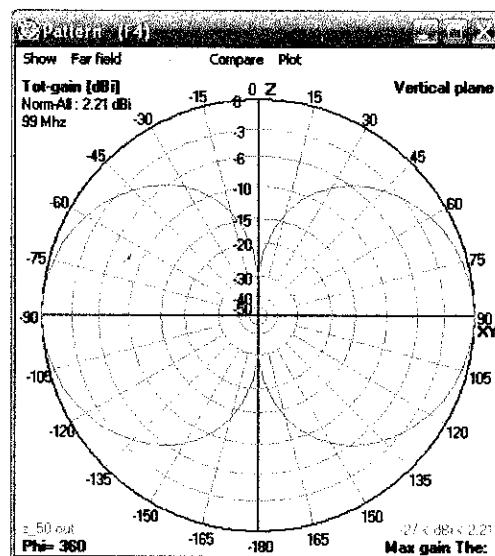


(ข)

รูปที่ 4.14 ผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า

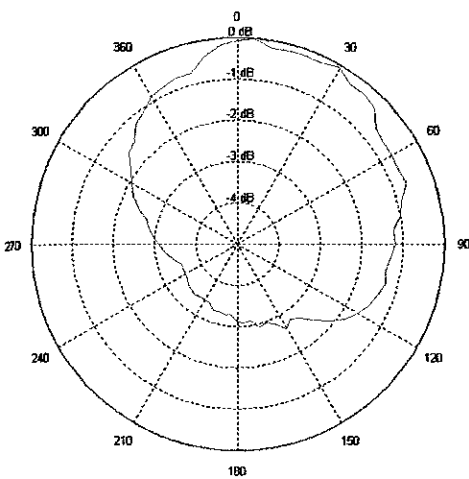
(ก) สายอากาศรีอมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์

(ข) สายอากาศรีอมบิคอลไดโพล 2 อิลิเมนต์

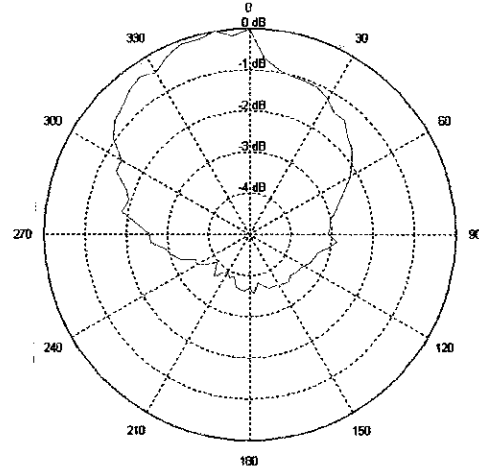


รูปที่ 4.15 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าจากโปรแกรม NEC 2

รูปที่ 4.14 (ก) เป็นผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศร็อมบิคอลโคโพล 1 อิลิเมนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากการคำนวณด้วยโปรแกรม ดังรูปที่ 4.15 มีผลที่สอดคล้องกับการคำนวณ และรูปที่ 4.14 (ข) เป็นผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศร็อมบิคอลโคโพล 2 อิลิเมนต์ ซึ่งผลการเปรียบเทียบกับแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากการคำนวณด้วยโปรแกรม พบว่าด้านหลังของสายอากาศจะรับสัญญาณได้น้อยกว่าด้านหน้าสายอากาศ



(ก)

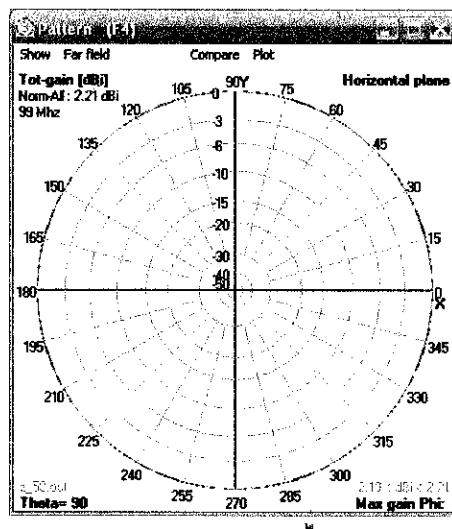


(ข)

รูปที่ 4.16 ผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

(ก) สายอากาศร็อมบิคอลโคโพล 1 อิลิเมนต์

(ข) สายอากาศร็อมบิคอลโคโพล 2 อิลิเมนต์



รูปที่ 4.17 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กจากโปรแกรม NEC 2

รูปที่ 4.15 (ก) เป็นผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศร็อมบิคอล ไคโพล 1 อิลิเมนต์ และรูปที่ 4.15 (ข) เป็นผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ ร็อมบิคอล ไคโพล 2 อิลิเมนต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากการ คำนวณด้วยโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2 ดังรูปที่ 4.16 ผลการวัดมีแนวโน้มว่า สายอากาศที่สร้างมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าสอดคล้องกับการคำนวณ

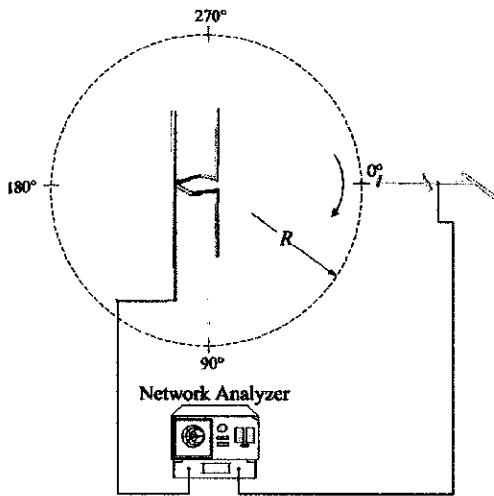
จากผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศร็อมบิคอล ไคโพล ในระนาบ สนามไฟฟ้าให้ผลที่สอดคล้องกับผลที่ได้จากการคำนวณจาก โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้า เชิงเลขรุ่นที่ 2 โดยมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเป็นแบบมีทิศทาง และผลการวัดแบบรูปการ แผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็กก็ให้ผลสอดคล้องกับผลจากการคำนวณ โดยโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2 โดยมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเป็น วงกลม แต่แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานทั้งสองมีความคลาดเคลื่อนบ้างทั้งสายอากาศ 1 อิลิเมนต์ และสายอากาศ 2 อิลิเมนต์ เนื่องจากในการจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมนั้นไม่มีส่วนของแมตซึ่ง อยู่ จากแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานทั้งสองระนาบทำให้ทราบว่าสายอากาศร็อมบิคอล ไคโพลที่ สร้างขึ้นนี้มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเป็นแบบรอบตัวในระนาบเดียว

4.2.4 การโพลาไรซ์

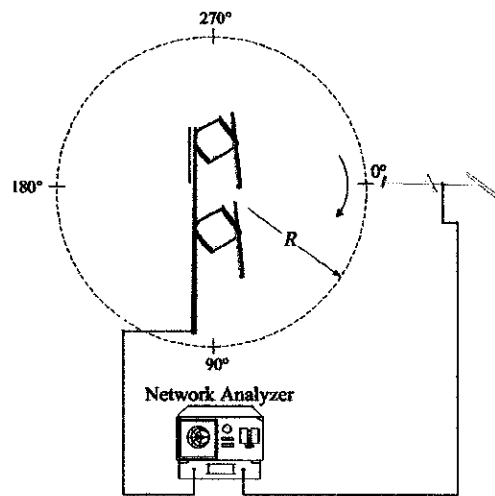
สายอากาศในโครงการฉบับนี้ต้องการโพลาไรซ์แบบวงกลม สามารถทดสอบโดยอาศัย คุณสมบัติที่เรียกว่า “โพลาไรซ์ร่วม” (Co-polarization) สามารถทดสอบโดยผลการวัดแบบรูปการ แผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กซึ่งเป็นระนาบที่สายอากาศวางตัวขณะใช้งานจริง เปรียบเทียบกับผลการวัด โพลาไรซ์ไขว้ (X-polarization) ของสายอากาศ โดยจะมีอัตราส่วนต่างที่ โดดเด่นต่างกัน

1. ขั้นตอนการวัดโพลาไรซ์

- 1) ทำการวัดโพลาไรซ์ไขว้ โดยสายอากาศภาคส่งวางตัวในระนาบสนามไฟฟ้าคือ วาง สายอากาศขนานกับพื้น และสายอากาศภาครับวางตัวในระนาบสนามแม่เหล็กคือ วาง สายอากาศตั้งฉากกับพื้น และทำการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานตามปกติทั้ง สายอากาศ 1 อิลิเมนต์ และสายอากาศ 2 อิลิเมนต์ดังรูปที่ 4.17 (ก) และรูปที่ 4.17 (ข)
- 2) นำแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กเปรียบเทียบกับแบบ รูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ได้จากการวัดโพลาไรซ์ไขว้



(ก)



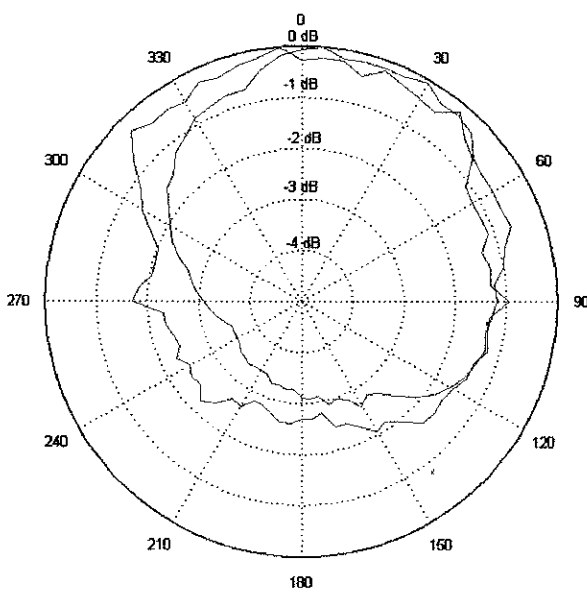
(ข)

รูปที่ 4.18 การวัดโพลาไรซ์ร่วม

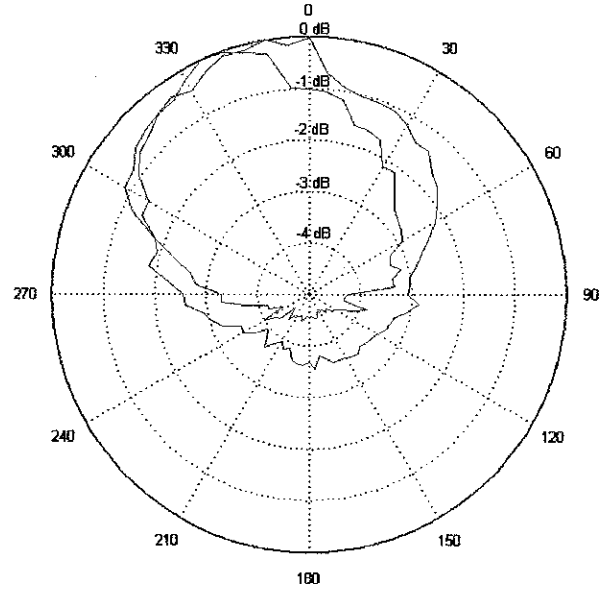
(ก) สายอากาศ 1 อิลิเมนต์

(ข) สายอากาศ 2 อิลิเมนต์

2. ผลการวัดโพลาไรซ์



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.19 ผลการวัดโพลาไรซ์ของสายอากาศรอมบิคอลไดโพล

(ก) สายอากาศรอมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์

(ข) สายอากาศรอมบิคอลไดโพล 2 อิลิเมนต์

จากรูปที่ 4.19 (ก) และรูปที่ 4.19 (ข) จะพบว่าแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กกับแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานโดยวัดแบบโพลาริซซ์ไจว์มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งสายอากาศรอมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์ และสายอากาศรอมบิคอลไดโพล 2 อิลิเมนต์ ตามลำดับ

จากผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กเปรียบเทียบกับแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานโดยวัดแบบโพลาริซซ์ไจว์ทั้งสายอากาศ 1 อิลิเมนต์ และสายอากาศ 2 อิลิเมนต์ มีค่าใกล้เคียงกันทำให้ทราบว่าสายอากาศที่สร้างนั้นมีโพลาริซซ์แบบวงกลม

4.2.5 อัตราขยาย

การวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน วิธีที่ง่ายที่สุดคือ วิธีที่เรียกว่า วิธีแบบใช้สายอากาศอ้างอิง (Reference Antenna Method) หรือ วิธีการเปรียบเทียบ (Comparison Method) หรือวิธีการแทนที่ (Substitution Method) ซึ่งสามารถหาได้โดยการเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้รับด้วยสายอากาศอ้างอิง (P_{ref}) กับกำลังงานที่รับได้จากสายอากาศที่ทำการทดสอบ (P_{test}) ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ต้องการทราบจะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$G_{test} = \frac{P_{test}}{P_{ref}} G_{ref} \quad (4.2)$$

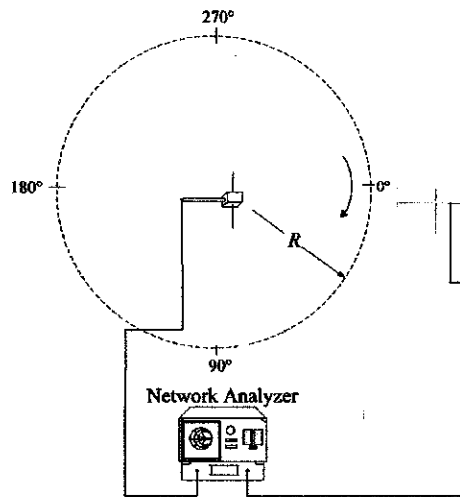
เนื่องจากการวัดอัตราขยายในโครงการฉบับนี้มีการเชื่อมต่อกับสายส่งโคแอกเชียลซึ่งมีการสูญเสียในสายส่งด้วยจึงต้องมีการนำค่าการสูญเสียมาคำนวณด้วยดังสมการต่อไปนี้

$$G_{test} (dB) = [P_{test} (dB) - Loss_{tran} (dB)] - P_{ref} (dB) \quad (4.3)$$

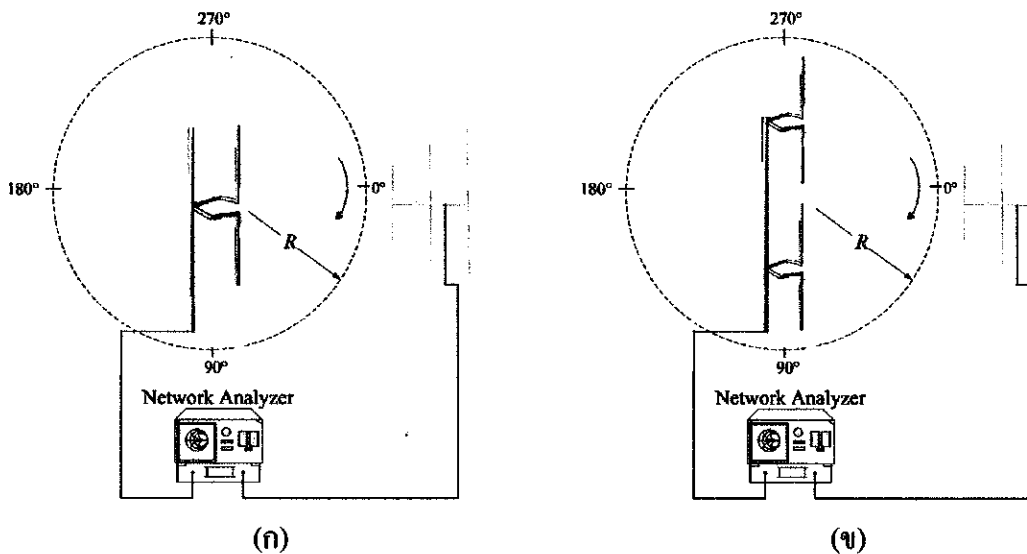
1. ขั้นตอนการวัดอัตราขยาย .

- 1) สายอากาศยาก็-ฮูจะเป็นสายอากาศภาคส่งวางตั้งฉากกับพื้นในระนาบสนามแม่เหล็ก
- 2) สายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศภาครับวางตั้งฉากกับพื้นในระนาบสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 4.19
- 3) ทำการวัด S_{21} เพื่อเก็บค่าสำหรับการเปรียบเทียบ
- 4) เปลี่ยนสายอากาศภาครับเป็นสายอากาศรอมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์ ในระนาบสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 4.20 (ก)
- 5) ทำการวัด S_{21} นำไปลบออกจากค่า S_{21} ในขั้นตอนที่ 3 จึงได้อัตราขยายของสายอากาศรอมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์

6) ทำนองเดียวกัน เปลี่ยนสายอากาศภาคส่งเป็นสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล 2 อิลิเมนต์
 ในระนาบสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 4.20 (ข) แล้วทำตามขั้นตอน 3, 4 และ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.20 การวัด S_{21} ของสายอากาศไดโพลในระนาบสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 4.21 การวัดอัตรายายของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก

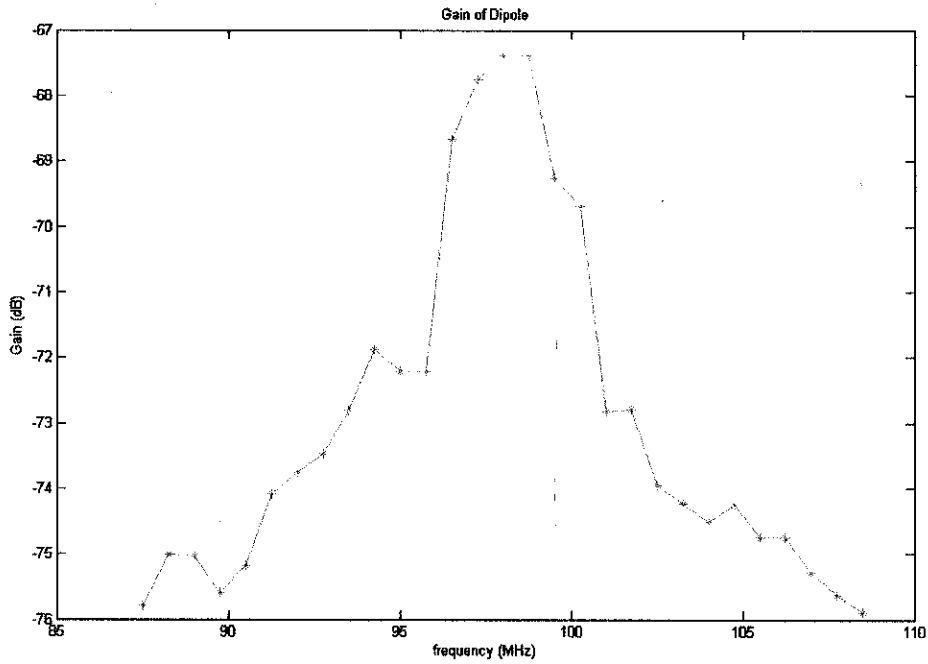
(ก) สายอากาศรีอมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์

(ข) สายอากาศรีอมบิคอลไดโพล 2 อิลิเมนต์

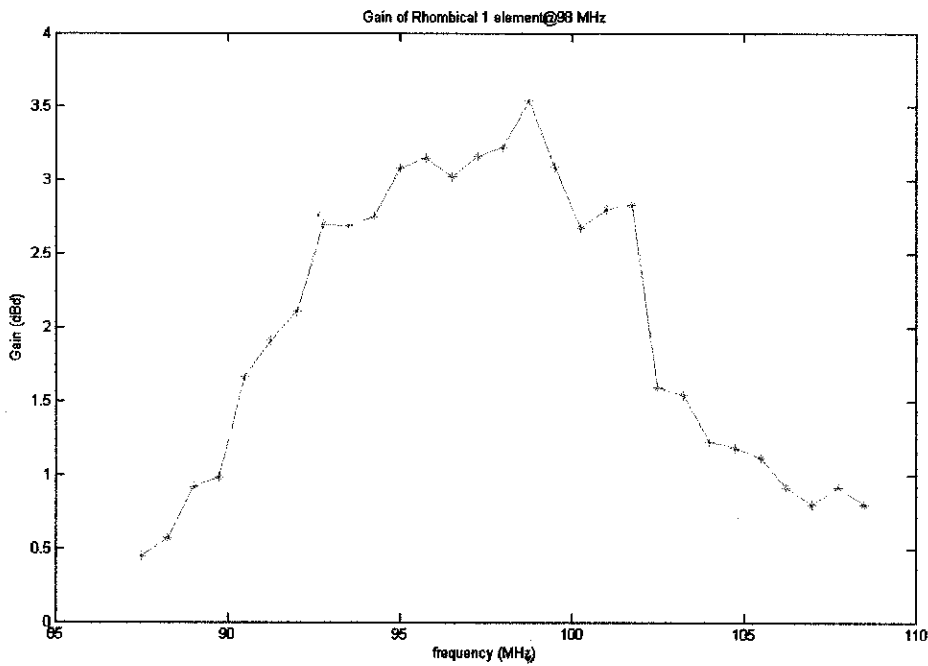
รูปที่ 4.20 เป็นการวัด S_{21} ของสายอากาศไดโพลเพื่อเป็นค่าเปรียบเทียบหาค่าอัตรายาย
 ของสายอากาศรีอมบิคอลไดโพล รูปที่ 4.21 (ก) และรูปที่ 4.21 (ข) เป็นการวัด S_{21} ของสายอากาศ

รอมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์ และ 2 อิลิเมนต์ ตามลำดับ เพื่อนำไปคำนวณตามสมการ 4.3 เพื่อหา
อัตราขยายของสายอากาศ

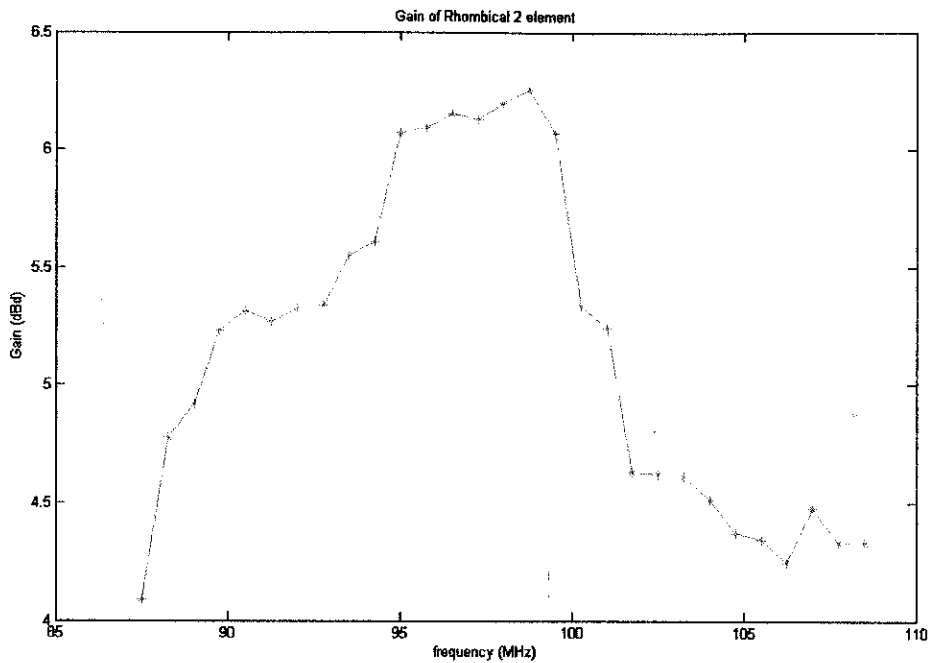
2. ผลการวัดอัตราขยาย



รูปที่ 4.22 ผลการวัด S_{21} ของไดโพล



รูปที่ 4.23 ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศรอมบิคอลไดโพล 1 อิลิเมนต์



รูปที่ 4.24 ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศรีอมบิคอลโคโพล 2 อิลิเมนต์

จากรูปที่ 4.22 เป็นผลการวัด S_{21} ของสายอากาศโคโพลเพื่อไว้เปรียบเทียบหาอัตราขยายของสายอากาศรีอมบิคอลโคโพล 1 อิลิเมนต์ และ 2 อิลิเมนต์ ซึ่งได้ผลการวัดดังรูปที่ 4.23 และ 4.24 ตามลำดับ เมื่อคำนวณเปรียบร้อพบว่าบริเวณ 98.75 MHz จะมีอัตราขยายประมาณ 3-3.5 dB สำหรับสายอากาศรีอมบิคอลโคโพล 1 อิลิเมนต์ และมีอัตราขยายประมาณ 6 dB สำหรับสายอากาศรีอมบิคอลโคโพล 2 อิลิเมนต์

จากผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศรีอมบิคอลโคโพล 1 อิลิเมนต์ มีอัตราขยายประมาณ 3 dB ที่ความถี่ออกแบบคือ 98.75 MHz และสายอากาศรีอมบิคอลโคโพล 2 อิลิเมนต์ มีอัตราขยายอยู่ที่ประมาณ 6 dB ซึ่งเป็นผลมาจากการอะเรย์สายอากาศให้มีอัตราขยายสูงขึ้นจากเดิม

4.4 สรุป

จากรูปแบบทางโครงสร้างและขนาดของสายอากาศรีอมบิคอลโคโพลรุ่นที่ 2 ที่ได้ ออกแบบด้วยโปรแกรม NEC 2 ในบทนี้ได้ทำการแมตซ์สายอากาศ เพื่อให้ความต้านทาน 50 โอห์ม เท่ากับสายนำสัญญาณ เพื่อทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ อินพุตอิมพีแดนซ์ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ความกว้างแถบ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน และอัตราขยาย ซึ่งพบว่าค่าที่ได้จากการทดสอบ ใกล้เคียงทฤษฎี และใกล้เคียงกับผลการคำนวณด้วยโปรแกรม NEC 2 ทำให้สายอากาศรีอมบิคอลโคโพลนี้ มีคุณสมบัติเหมาะสมเป็นสายอากาศภาคส่งสำหรับที่สถานีส่งวิทยุระบบ FM ที่ดี

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

โครงการฉบับนี้เป็นการนำเสนอสายอากาศสำหรับสถานีส่งวิทยุระบบเอฟเอ็ม ที่มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังเป็นแบบรอบตัวในระนาบเดียวและโพลาไรซ์แบบวงกลม โดยนำทฤษฎีของสายอากาศไดโพล และสายอากาศรีอิมบิคมาผสมผสานเข้าด้วยกัน เพื่อประยุกต์เป็นสายอากาศที่เรียกว่า รีอิมบิคอลไดโพล สายอากาศแบบรีอิมบิคอลไดโพล รุ่นที่ 2 นี้ได้อาศัยการออกแบบของสายอากาศรีอิมบิคอลไดโพล รุ่น 1 เป็นต้นแบบ นอกจากนั้นสายอากาศจะต้องมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน มีความแข็งแรง รองรับกำลังงานสูง และต้นทุนต่ำ

ในเชิงทฤษฎีได้นำโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2 เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ โดยโครงสร้างของสายอากาศได้ถูกแทนด้วยเส้นลวดขนาดเล็ก และโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2 นี้สามารถใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ ได้แก่ กระแสเหนี่ยวนำ ประจุสนามไฟฟ้า ประจุสนามแม่เหล็กทั้งระยะใกล้และระยะไกล อิมพีแดนซ์ แอตมิตแตนซ์ อัตราขยาย สภาพเจาะจงทิศทาง และการใช้กำลังงาน

การวิเคราะห์คุณลักษณะที่เหมาะสมของสายอากาศรีอิมบิคอลไดโพลในโครงการฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ด้านเข้า ความกว้างแถบ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน อัตราส่วนคลื่นนิ่ง การโพลาไรซ์ และอัตราขยาย ซึ่งทำให้มีความรู้ความเข้าใจถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ โดยบทที่ 4 ได้แสดงผลการทดสอบอิมพีแดนซ์ด้านเข้า ความกว้างแถบ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน อัตราส่วนคลื่นนิ่ง การโพลาไรซ์ และอัตราขยายของสายอากาศที่ได้ออกแบบและสร้าง พบว่าผลการทดสอบเป็นที่ยอมรับได้ คือใกล้เคียงตามทฤษฎีและตามความต้องการของสายอากาศที่จะใช้งานจริง ไม่ว่าจะเป็นแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ความกว้างแถบ และโพลาไรซ์ อย่างไรก็ตามมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างในค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เนื่องจากข้อจำกัดทางการคำนวณด้วยโปรแกรม และความไม่พร้อมของเครื่องมือที่ใช้การสร้างและการทดสอบสายอากาศ เนื่องจากสายอากาศทดสอบมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ดังนั้นจึงเกิดความไม่สะดวกมากในการทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเนื่องจากความสูญเสียในสายส่ง สัญญาณและความไม่สมบูรณ์ของสถานที่ทดสอบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับสายอากาศรีอิมบิคอลไดโพล รุ่นที่ 2 ที่ได้ทำการทดสอบนี้ มีความคลาดเคลื่อนไปจากผลที่คำนวณได้จาก โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2 อยู่พอสมควร ทั้งนี้เป็นผล

จากสภาพแวดล้อมและอุปกรณ์ในการทดสอบ และจากการออกแบบเอง สำหรับกรณีแรก การทดสอบสายอากาศที่คืนั้น ควรจะหาพื้นที่โล่งและกว้างพอสมควร เพื่อลดปัญหาการบังหรือสะท้อนของคลื่นระหว่างสายอากาศภาคส่ง และภาครับ รวมถึงเพื่อสะดวกในการหมุน โครงสร้างของสายอากาศในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน และสายอากาศที่จะนำมาเป็นสายอากาศภาคส่งต้องมีความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศที่ทำการทดสอบ เพื่อให้สายอากาศทั้งสองตัวทำงานได้ดีที่สุดที่ความถี่เดียวกัน เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ถูกต้องมากที่สุด สำหรับกรณีที่สอง สายอากาศรีอมบิคอลโคโพลที่ได้ออกแบบในโครงการฉบับนี้ เนื่องจากในส่วนของวงจรจำลองด้วยโปรแกรม ไม่มีส่วนของบาลันแต่เมื่อทำการสร้างสายอากาศต้นแบบที่นำมาวัดทดสอบจำเป็นต้องมีบาลัน ปรากฏว่าส่วนของบาลันนี้มีผลกระทบต่อแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ทำให้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากกรคำนวณด้วยโปรแกรม

บรรณานุกรม

- [1] ผศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์, Antenna Engineering, from <http://sut.ac.th/e-text/antennas>, 2004
- [2] A. Bruce Carlson, Communication Systems 3rd Edition, McGraw-Hill, Inc. pp. 276, 1986
- [3] Constantine A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design 2nd Edition, John Wiley & Sons, INC. 1982
- [4] NEC-2 User's Guide, from <http://www.traveller.com/~richesop/nec>
- [5] www.monsterfm.com/engineering/antcalc.htm
- [6] <http://radiothailand.prd.go.th/chonburi/chonburi/chonburi8.php>

ภาคผนวก

ตัวอย่างโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2

CE Rhombical Antenna

CE 98 MHz

GW	1	25	0	0.13	0	0.125	0	0.05	13
GW	2	25	0.125	0	-0.05	0	-0.13	0	13
GW	3	25	-0.155	-0.025	0	0	-0.13	0	13
GW	6	25	0.125	0	0.05	0.125	0	0.7	13
GW	5	25	0.125	0	-0.05	0.125	0	-0.7	13
GW	4	0	0.13	0	-0.155	0.025	0	13	
GW	7	-0.155	-0.025	0	-0.155	0.025	0	13	
EX	0	4	25	0	1.0	0.0			
EX	0	3	1	0	1.0	0.0			
GN	-1								
FR	0	1	0	0	98.0	0.0			

EN

; By Telecommunication Engineering

; Suranaree University of Technology

ประวัติผู้เขียน

นายวิโชค โพธิ์ธรรม เกิดเมื่อวันจันทร์ที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2526 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลเมืองเหนือ อำเภอเมือง ฯ จังหวัดศรีสะเกษ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย อำเภอเมือง ฯ จังหวัดศรีสะเกษ เมื่อปี พ.ศ. 2543 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นายสาธิต พัทธฉวงค์ เกิดเมื่อวันศุกร์ที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2526 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลรั้วใหญ่ อำเภอเมือง ฯ จังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนกรรณสูตศึกษา อำเภอเมือง ฯ จังหวัดสุพรรณบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2543 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

