



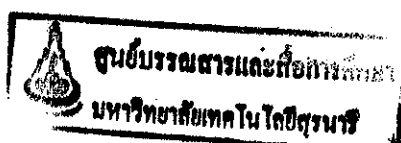
# CONTRIBUTION



การศึกษาสายอากาศสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่  
2.4 GHz – 2.5 GHz โดยใช้สวดโลหะรูปเกลียวทรงกระบอก (Cylindrical Helix)

นายวรพงศ์	รัตน์จิโรจน์	รหัส B4501640
นายเกรียงศักดิ์	เจริญคุณ	รหัส B4502227
นายสหเทพ	ศรีโพธิ์	รหัส B4506942

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2549



หัวข้อโครงการ	การศึกษาสายอากาศสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 2.4 GHz – 2.5GHz โดยใช้ลวดโลหะรูปเกลียวทรงกระบอก (Cylindrical Helix)		
นักศึกษา	นายวรพงศ์ รัตน์จิโรจน์	รหัส B4501640	
	นายเกรียงศักดิ์ เจริญคุณ	รหัส B4502227	
	นายสหเทพ ศรีโพธิ์	รหัส B4506942	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
พ.ศ.	2549		
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	อ.ดร.ชาญชัย ทองโสภ		

### บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการออกแบบเพื่อสร้างสายอากาศที่มีอัตราขยายสัญญาณสูงที่มีลักษณะเป็นสายอากาศแบบหนึ่งขั้ว (Mono Pole) จากนั้นทำการดัดแปลงเส้นลวดให้มีลักษณะเป็นเกลียวรูปทรงกระบอก (Cylindrical Helix) โดยเริ่มจากใช้โปรแกรม IE3D จำลองแบบสายอากาศขึ้นมา แล้วให้โปรแกรมทำงานเพื่อดูคุณสมบัติของสายอากาศ โดยสายอากาศที่ทำการออกแบบนั้น จะมีการทำงานที่ความถี่ 2.4 GHz - 2.5 GHz มีค่าความต้านทานขาเข้า (Input Impedance) อยู่ที่ 50 Ohms และมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (Omnidirectional Radiation Patterns) เมื่อทำการจำลองแบบเสร็จ ขั้นตอนต่อไปก็นำไปสร้างเป็นตัวสายอากาศต้นแบบเพื่อประเมินสมรรถนะเชิงการสื่อสารภายใต้สภาพแวดล้อมการใช้งานจริงในระบบการสื่อสาร สุดท้ายสามารถนำสายอากาศนี้ไปใช้กับจุดเชื่อมต่อ เพื่อให้จุดเชื่อมต่อนั้นมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีมากยิ่งขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการงานศึกษาสายอากาศสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ย่านความถี่ 2.4 GHz – 2.5 GHz โดยใช้เส้นลวดโลหะคดเป็นเกลียวรูปทรงกระบอก (Cylindrical Helix) สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้เนื่องด้วยความกรุณาของบุคคลหลายท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและคอยให้คำปรึกษา รวมทั้งข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการทางคณะผู้จัดทำใคร่ขอแสดงความขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านซึ่งบุคคลเหล่านั้นประกอบด้วย

- ❖ อาจารย์.ดร. ชาญชัย ทองโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงานผู้ที่เปิดโอกาสให้คณะผู้จัดทำได้เรียนรู้การทำงานในโครงการนี้และเป็นผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้รวมทั้งคำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ยิ่งเกี่ยวกับโครงการ
- ❖ อ.พศ.ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์คนแรกในชีวิตที่สอนให้พวกผมรู้จักคำว่า "สายอากาศ"
- ❖ คณาจารย์ทุกท่านที่เกี่ยวข้องในการให้ความรู้แก่คณะผู้จัดทำและได้นำความรู้นั้นมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาโครงการ
- ❖ คุณประพล จาระตะคุ วิศวกรประจำอาคารเครื่องมือ 3 ที่ช่วยเป็นธุระช่วยเหลือในทุกๆด้าน คุณฉัตรชัย тажอหอ เจ้าหน้าที่ดูแลอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ โทรคมนาคม ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเบิกอุปกรณ์ และเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ในการทดสอบสายอากาศ พี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท วิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่ให้การสนับสนุน
- ❖ เพื่อนๆ วิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนสำหรับความช่วยเหลือที่ดีทุกด้านตลอดจนกำลังใจที่มอบให้แก่คณะผู้จัดทำตลอดมา

สุดท้ายผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาของผู้จัดทำผู้ให้โอกาสทางการศึกษาและคอยสนับสนุนรวมทั้งกำลังใจที่คอยมอบให้ตลอดมาอย่างหาที่เปรียบมิได้

ผู้จัดทำ

นายวรพงศ์ รัตนจิโรจน์  
นายเกรียงศักดิ์ เจริญคุณ  
นายสหเทพ ศรีโพธิ์

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	ก
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
สารบัญ.....	ค
สารบัญรูป.....	จ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน .....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์สายอากาศ.....</b>	<b>3</b>
2.1 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation pattern).....	3
2.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Voltage Standing-Wave Ratio หรือ VSWR).....	5
2.3 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return loss).....	5
2.4 อิมพีแดนซ์ค้ำเข้า (Input Impedance).....	6
2.5 อัตราขยาย (Gain).....	7
2.6 แถวลำดับของสายอากาศ (Antenna Arrays).....	8
2.7 ค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับ (Gain of Array Antennas).....	8
<b>บทที่ 3 การจำลองโครงสร้างของสายอากาศด้วยโปรแกรม.....</b>	<b>11</b>
สายอากาศตัวที่ 1 Cylindrical Helix Antenna.....	11
ผลการทดสอบ.....	12
สายอากาศตัวที่ 2 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array.....	15
ผลการทดสอบ.....	15
สายอากาศตัวที่ 3 3 Column Cylindrical Helix Antenna Array .....	18
ผลการทดสอบ.....	19
สรุป.....	22

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

<b>บทที่ 4</b> การสร้างและทดสอบสายอากาศต้นแบบ.....	23
4.1 การสร้างโครงสร้างของสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna.....	23
4.2 การวัดเพื่อทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ.....	24
4.3 ขั้นตอนการวัด Radiation Pattern.....	43
4.4 การคำนวณหาค่าอัตราขยาย.....	46
4.4 สรุป.....	47
<b>บทที่ 5</b> บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	49
บรรณานุกรม.....	51
ประวัติผู้เขียน.....	52
ภาคผนวก ก.....	53
ภาคผนวก ข.....	65

## สารบัญรูป

	หน้า
2.1 ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์แบบการแผ่กระจายกำลังงาน ของสายอากาศ.....	3
2.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดียว.....	4
2.3 สายอากาศองค์ประกอบเดียวที่มีการส่งกำลังงาน $P_1$ .....	9
2.4 สายอากาศองค์ประกอบที่มีการส่งกำลังงาน $P_1$ .....	9
3.1 ผลการจำลองสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna จาก โปรแกรม IE3D.....	11
3.2 ผลการจำลองสายอากาศ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array จาก โปรแกรมIE3D....	15
3.3 ผลการจำลองสายอากาศ 3 Column Cylindrical Helix Antenna Array จาก โปรแกรมIE3D....	18
4.1 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna.....	23
4.2 กราฟแสดงค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array.....	27
4.3 กราฟแสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array.....	28
4.4 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array.....	29
4.5 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array.....	30
4.6 กราฟแสดงค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array.....	31
4.7 กราฟแสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array.....	32
4.8 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array .....	33
4.9 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array.....	34
4.10 กราฟแสดงค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array.....	35
4.11 กราฟแสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array.....	36
4.12 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array .....	37
4.13 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array.....	38
4.14 กราฟแสดงค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array.....	39

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

4.15 กราฟแสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array.....	40
4.16 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array.....	41
4.17 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array.....	42
4.18 รูปแสดงชุดสายอากาศภาครับและชุดสายอากาศภาคส่ง.....	43
4.19 รูปแสดงหน้าจอของเครื่อง SIGNAL GENERATOR ขณะทำการส่งสัญญาณ.....	44
4.20 รูปแสดงหน้าจอของเครื่อง SPECTRUM ANALYZER ขณะทำการส่งสัญญาณ.....	44



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันการใช้งานอินเทอร์เน็ตมีเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารระหว่างกัน หรือการใช้งานเพื่อความบันเทิง ทั้งที่ทำงานและที่บ้าน ดังนั้นจำเป็นต้องมีจุดที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบเครือข่ายมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งการเพิ่มจุดให้บริการเครือข่ายนั้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การใช้สายนำสัญญาณไปยังจุดที่ต้องการ (Wire LAN) และใช้งานระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) ซึ่งเครือข่ายไร้สายเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้การเชื่อมต่อเข้าไปยังจุดต่างๆ ที่ไม่สามารถนำสายนำสัญญาณเข้าไปถึงหรือเป็นจุดที่ต้องการเคลื่อนย้ายอยู่บ่อยครั้งดังนี้

เทคโนโลยีไร้สาย จึงช่วยให้สามารถไปถึงยังทุกๆ จุดภายในอาคาร เช่น ห้องประชุม หรือ ห้องเพื่อการเรียนการสอน เป็นต้น และราคาเครือข่ายไร้สายไม่สูงมาก ทำให้เครือข่ายไร้สายเป็นที่แพร่หลายมากขึ้นในปัจจุบัน และเนื่องจากสายอากาศที่ติดมากับจุดเชื่อมต่อนั้นมีอัตราขยายสัญญาณที่ไม่สูงมากทำให้ส่งสัญญาณได้ไม่ไกลมากนัก แต่สิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งที่เราต้องการคือ การที่จะทำให้จุดเชื่อมต่อนั้นส่งสัญญาณได้ระยะไกลขึ้นกว่าเดิม โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (Omnidirectional Radiation Patterns Antenna) เพื่อที่จะให้จุดเชื่อมต่อนั้นสามารถที่จะส่งสัญญาณได้ไกลขึ้น ซึ่งถ้าหากเป็นเช่นนั้นแล้วจะทำให้จุดเชื่อมต่อมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีมากยิ่งขึ้น

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 สามารถนำความรู้ที่ได้จากภาคทฤษฎีของวิชาวิศวกรรมสายอากาศมาประยุกต์ใช้เพื่อ สร้างชิ้นงานขึ้นมาและสามารถนำมาใช้งานได้จริง

1.2.2 ศึกษาความรู้เพิ่มเติมในเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ เช่น ศึกษาการออกแบบ สายอากาศ ที่ใช้กับจุดเชื่อมต่อเป็นต้น

1.2.3 สามารถสร้างสายอากาศที่มีลักษณะเป็นแถวลำดับได้

1.2.4 สามารถใช้โปรแกรมที่ช่วยจำลองการทำงานของสายอากาศได้

1.2.5 พัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพของสายอากาศต้นแบบให้มีความเหมาะสมสำหรับ ใช้งานในเครือข่ายไร้สาย

1.2.6 สามารถใช้เครื่องมือวัดทางโทรคมนาคมได้

1.2.7 สามารถทำงานเป็นทีมได้

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการฉบับนี้เป็นการนำเสนอสายอากาศที่มี เป้าหมายการประยุกต์ใช้งานเพื่อเป็นสายอากาศสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

การวิเคราะห์คุณลักษณะพื้นฐานของสายอากาศทำได้โดยเริ่มจาก

- 1.3.1 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศ
- 1.3.2 ศึกษาการแพร่กระจายคลื่นจากจุดเชื่อมต่อ
- 1.3.3 ศึกษาการใช้โปรแกรมที่ช่วยจำลองการทำงานของสายอากาศ
- 1.3.4 ออกแบบสายอากาศที่ใช้งานย่านความถี่ 2.4 GHz
- 1.3.5 สร้างสายอากาศที่เข้ากับ จุดเชื่อมต่อได้
- 1.3.6 ใช้เส้นลวดทองแดงในการสร้างตัวสายอากาศ
- 1.3.7 นำสายอากาศที่สร้างไปวัดค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นเพื่อนำไปใช้งาน ได้จริง

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

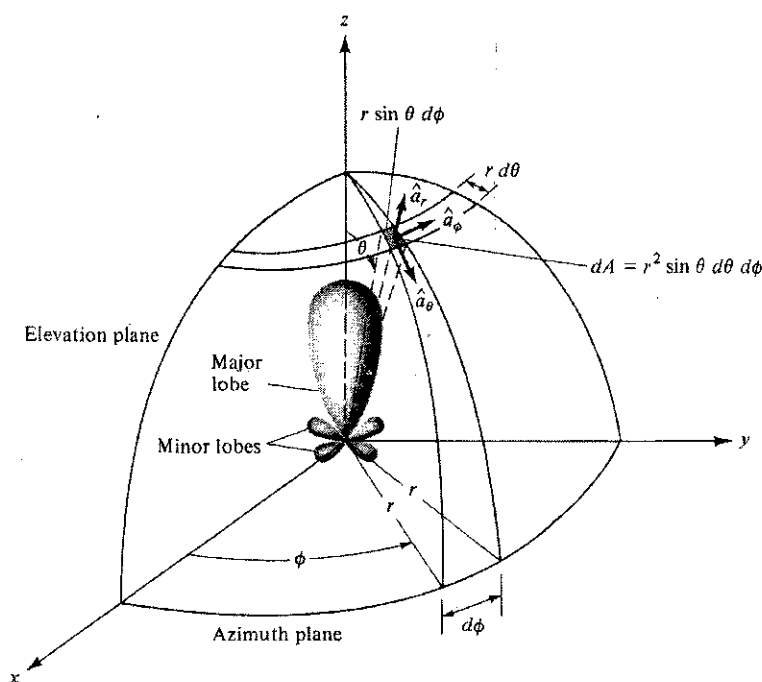
- 1.4.1 ศึกษาพารามิเตอร์ที่จำเป็นของสายอากาศ
- 1.4.2 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม IE3D ที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้
- 1.4.3 วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากโปรแกรม
- 1.4.4 สร้างสายอากาศต้นแบบ และทำการวัดทดสอบคุณลักษณะต่างๆ ของสายอากาศเพื่อเปรียบเทียบและยืนยันผลจากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม
- 1.4.5 สรุปผลการทำงาน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์สายอากาศ

#### 2.1 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation pattern)

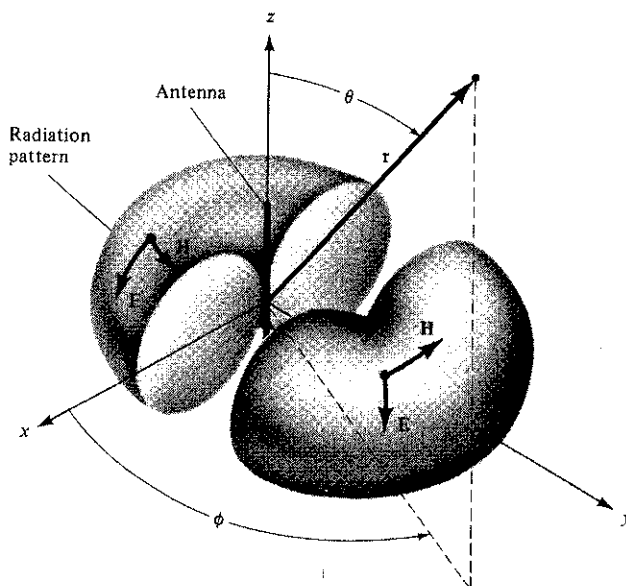
การนำเสนอคุณสมบัติในการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศเชิงกราฟิกหรือฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพิกัดเชิงตำแหน่ง (Space Coordinate) ในการพิจารณาแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นจะต้องกระทำในบริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Region)



รูปที่ 2.1 ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์แบบการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ

แบบรูปการแผ่กระจายแบบรอบตัวในระนาบเดียว (Omni directional Pattern) คือ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ไม่มีทิศทางในระนาบที่กำหนดให้ในที่นี้คือมุมอาซิมุท (Azimuth) และระนาบที่อยู่ตั้งฉากกันจะมีแบบรูปการกระจายกำลังงานแบบมีทิศทาง ในกรณีนี้คือมุมเงย (Elevation)

ผังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดียว

แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานคือ การแสดงรูปแบบของกำลังงานที่แผ่กระจายออกจากตัวสายอากาศเป็นรูปภาพ 3 มิติ ที่วัดได้ในบริเวณสนามระยะไกล คุณสมบัติการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศเป็นฟังก์ชันของพิกัดเชิงตำแหน่ง (Space Coordinates) บริเวณของสนามระยะไกลคือบริเวณที่ไกลเพียงพอสำหรับการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ซึ่งจะไม่นับอยู่กับระยะทางที่อยู่ห่างจากสายอากาศ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศใดๆ สามารถที่จะทราบได้ด้วยการวัดและถ้าเราทราบลักษณะการแจกแจงรูปของกระแสบนตัวสายอากาศ ก็จะสามารถหาแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากการคำนวณได้เช่นเดียวกัน

แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจะเป็นตัวแสดงถึงการกระจายกำลังงานออกไปตามฟังก์ชันของทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกไปจากสายอากาศ ซึ่งแสดงถึงระดับสัมพันธ์ของกำลังงานที่ส่งออกไปซึ่งเป็นฟังก์ชันของทิศทาง ถึงแม้ว่าเราจะใช้คำว่า “การแผ่กระจายกำลังงาน” กับแบบรูปที่ใช้กับสายอากาศส่ง แต่ความจริงจะเป็นแบบรูปอันเดียวกันกับแบบรูป “การรับคลื่น” ในกรณีที่เป็นสายอากาศรับด้วย ตามทฤษฎีภาวะย้อนกลับ (Reciprocity Theorem) ถึงแม้ว่าแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่สมบูรณ์จะเป็นฟังก์ชันแบบ 3 มิติ แต่ทั่วไปจะใช้งานกันเพียง 2 มิติ ก็เพียงพอที่จะบอกคุณลักษณะของสายอากาศที่มีทิศทางได้

ในทางปฏิบัติแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบหนึ่งๆ สามารถวัดได้โดยการหมุนสายอากาศในระนาบนั้นๆ ขณะที่ระดับของกำลังงานที่รับได้จะเป็นฟังก์ชันของการหมุนของสายอากาศ เพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ถูกต้องควรจะต้องจัดสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบสาย

อากาศที่จะทำการวัดให้ปราศจากวัตถุใดๆ ที่อาจจะทำให้เกิดการสะท้อนสัญญาณและส่งกลับไปยังสายอากาศที่ทำการวัดอยู่

## 2.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Voltage Standing-Wave Ratio หรือ VSWR)

เรานิยามอัตราส่วนของขนาดแรงดันสูงสุดต่อขนาดแรงดันต่ำสุดเป็นอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน VSWR (Voltage Standing-Wave Ratio) โดยเมื่อเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์

$$VSWR = \frac{|V_{\max}|}{|V_{\min}|}$$

อย่างไรก็ดีเราสามารถให้คำจำกัดความ VSWR ให้เป็นค่าที่จุดๆหนึ่งโดยใช้ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนดังนี้

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$|\Gamma| = \frac{Zl - Z0}{Zl + Z0}$$

โดยที่  $|\Gamma|$  คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่น

$Z0$  คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ

$Zl$  คือ อิมพีแดนซ์ของโหลด

จะเห็นได้ว่าถ้าคลื่นไม่มีการสะท้อน  $|\Gamma| = 0$ ,  $Zl = Z0$

$$VSWR = 1$$

ถ้าคลื่นมีการสะท้อนกลับหมด  $|\Gamma| = 1$

$$VSWR = \infty$$

ในการออกแบบสายอากาศควรมีค่า VSWR ไม่เกิน 1.5

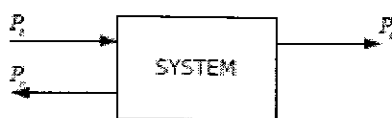
ทางปฏิบัติเราสามารถวัดค่า VSWR โดยใช้เครื่อง Network Analyzer

## 2.3 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return loss)

การสูญเสียหรือ Loss นั้นจะเกิดขึ้นทุกครั้งเมื่อระบบการสื่อสารของเราเริ่มทำงาน ซึ่งผลของมันอาจจะไม่เป็นที่ต้องการของเรา เพราะมันจะทำให้ระบบของเรามีประสิทธิภาพต่ำลงนั่นเอง โดยการสูญเสียในทางโทรคมนาคมที่เราจะกล่าวถึงในหัวข้อนี้คือ

- ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return Loss)

ซึ่งการสูญเสียประเภทนี้มักจะเกิดขึ้นเมื่อมีการส่งสัญญาณข้อมูลเข้าไปในระบบดังรูป



จากรูป  $P_i$  คือ กำลังงานของสัญญาณอินพุต

$P_r$  กำลังงานของสัญญาณที่สะท้อนกลับ

$P_o$  กำลังงานของสัญญาณเอาต์พุต

ซึ่งค่าของ และ Return loss สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Return loss} = -10 \log \left( \frac{P_r}{P_i} \right)$$

จากสมการจะเห็นว่าค่า Return loss คืออัตราส่วนของ  $P_r$  กับ  $P_i$  ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการส่งผ่าน ซึ่งแสดงได้ว่าถ้าค่า Return loss มากๆจะยิ่งดีเนื่องจากจะมีประสิทธิภาพการส่งผ่านที่ดีนั่นเอง

ทางปฏิบัติเราสามารถวัดค่า Return Loss โดยใช้เครื่อง Network Analyzer โดยตั้งค่าไปที่ความถี่ของสายอากาศที่เราออกแบบไว้

## 2.4 อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance)

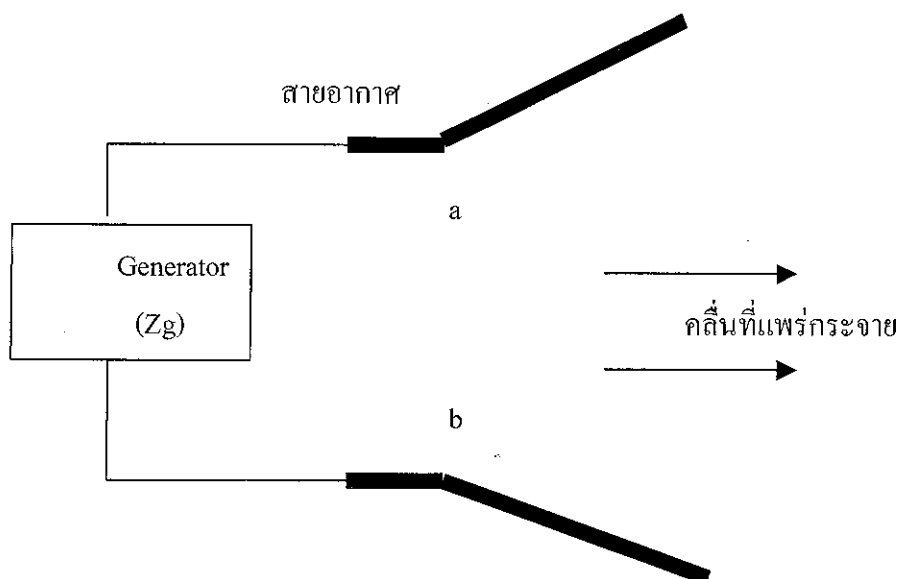
อินพุทอิมพีแดนซ์ (Input Impedance) ของสายอากาศใดๆจะเป็นอิมพีแดนซ์ที่ขั้วของสายอากาศนั้นๆอาจเป็นอัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าต่อกระแสที่ขั้วของสายอากาศนั้นหรือเป็นอัตราส่วนของสนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็กที่จุดใดๆในรูปที่ 1 เป็นขั้วของสายอากาศ อัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้าที่ขั้วนี้ เมื่อไม่ได้ต่อ โหลด (load) จะเป็นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ซึ่งมีค่า

$$Z_A = R_A + jX_A$$

เมื่อ  $Z_A$  = อิมพีแดนซ์ที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (โอห์ม)

$R_A$  = ความต้านทานที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (โอห์ม)

$X_A$  = รีแอกแตนซ์ที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (โอห์ม)



ปกติอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะเป็นฟังก์ชันของความถี่ และจะแมตช์กับสายส่งเฉพาะในช่วงความถี่ช่วงหนึ่งๆเท่านั้น นอกจากนี้อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศยังขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ต่างๆอีก ได้แก่ รูปทรง วิธีการป้อนสัญญาณ และสิ่งแวดล้อมข้างเคียง เนื่องจากคำนวณได้ยากจึงมักจะพบว่า ส่วนใหญ่จะหาค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ได้จากการทดลอง

ในการออกแบบสายอากาศนั้นต้องคำนึงถึงค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ด้วย เนื่องจากสายส่งและตัว SMA Connector ที่ใช้มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม ดังนั้นเราควรออกแบบค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้มีค่าเท่ากับ 50 โอห์มด้วย

ทางปฏิบัติเราสามารถวัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ โดยใช้เครื่อง Network Analyzer

## 2.5 อัตราขยาย (Gain)

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

ข. อัตราขยายสัมพัทธ์ (Relative Gain) หมายถึง อัตราส่วนของอัตราขยายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่ออัตราขยายกำลังงานของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบกับในทิศทางนั้น โดยกำลังงานที่ป้อนให้กับอินพุทของสายอากาศจะต้องเหมือนกันทั้งสองตัว โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ก็คือ สายอากาศที่เป็นแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิกที่ไม่มีการสูญเสีย (Lossless Isotropic Source) และสายอากาศแบบไดโพล

## 2.6 แอลลำดับของสายอากาศ (Antenna Arrays)

แอลลำดับของสายอากาศ (Antenna Array) หมายถึง การนำเอาสายอากาศหลายๆ ตัวมาจัดวางเรียงกัน โดยมีระยะห่างที่แน่นอน โดยสายอากาศแต่ละตัวที่นำมาจัดเรียงให้เป็นแอลลำดับนั้น จะเรียกว่า องค์ประกอบ (Element) ซึ่งการนำเอาองค์ประกอบมาจัดเรียงเป็นแอลลำดับ จะให้สมรรถนะคล้ายคลึงกับสายอากาศองค์ประกอบเดี่ยวที่มีขนาดใหญ่มาก แต่การจัดเรียงเป็นแอลลำดับนั้นจะสามารถขจัดปัญหาในเรื่องของกลไกต่างๆ อันเนื่องมาจากขนาดที่ใหญ่เทอะทะของสายอากาศได้

ข้อดีของการนำสายอากาศมาจัดเรียงเป็นแอลลำดับจะทำให้สามารถเพิ่มค่าสภาพเจาะจงทิศทางและค่าอัตราขยายของสายอากาศได้นอกจากนี้สายอากาศแบบแอลลำดับยังสามารถปรับขนาดของแอมพลิจูดและเฟสของสัญญาณที่ป้อนให้แก่แต่ละองค์ประกอบ ได้อีกด้วย ซึ่งทำให้สามารถปรับแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานให้เป็นไปตามที่เราต้องการในการใช้งานแต่ละประเภทได้

เราสามารถแบ่งการจัดเรียงองค์ประกอบของแอลลำดับตามรูปร่าง ได้หลายประเภท เช่น แอลลำดับแบบเชิงเส้น (Linear Array) จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบจำนวนมากที่จัดเรียงกันอย่างสมมาตรเมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางของแอลลำดับในแนวเส้นตรง ซึ่งอาจจะมีระยะระหว่างองค์ประกอบห่างเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ ประเภทต่อไปก็คือ แอลลำดับเชิงระนาบ (Planar Array) จะเป็นการจัดเรียงองค์ประกอบในลักษณะสองมิติบนแผ่นระนาบ ซึ่งการจัดเรียงแอลลำดับในลักษณะนี้อาจจัดเรียงในลักษณะของสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือรูปวงกลมก็ได้โดยขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่มีอยู่

## 2.7 ค่าอัตราขยายของสายอากาศแอลลำดับ (Gain of Array Antennas)

ค่าสภาพเจาะจงทิศทางรวมทั้งค่าอัตราขยายเชิงกำลังงานของสายอากาศแอลลำดับ มักจะมีค่ามากกว่ากรณีของสายอากาศองค์ประกอบเดี่ยว ซึ่งคุณสมบัตินี้มีประโยชน์อย่างมากทั้งในการส่งและรับสัญญาณ ในการส่งสัญญาณนั้น สายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางที่ดีจะสามารถรวบรวมกำลังงานให้อยู่ในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่นๆ ได้ ซึ่งให้ผลเสมือนว่าเกิดการเพิ่มกำลังงานให้กับจุดนั้นๆ ของเครื่องส่ง ส่วนทางด้านรับ สายอากาศจะทำหน้าที่เสมือนว่าเลือกรับคลื่นที่เข้ามาในทิศทางที่เจาะจง โดยจะไม่เลือกรับสัญญาณที่เราไม่ต้องการรวมทั้งการแทรกสอดจากทิศทางอื่นๆ

เพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับการเพิ่มค่าอัตราขยายของสายอากาศแอลลำดับ ในเบื้องต้นจะพิจารณาองค์ประกอบเดี่ยวของสายอากาศไอโซทรอปิกซึ่งมีการแผ่กระจายกำลังงานด้วยกำลังงาน  $P_1$  ดังแสดงในรูปที่ 1.1 โดยกระแสในองค์ประกอบของสายอากาศนี้มีค่า  $I_1$  ณ จุดที่ไกลออกไป กำหนดให้เป็นจุด  $X$  ค่ากระแสนี้จะสร้างความเข้มของสนาม (ศักดาไฟฟ้า) เป็น  $E_1$  ซึ่งค่านี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสในองค์ประกอบของสายอากาศ



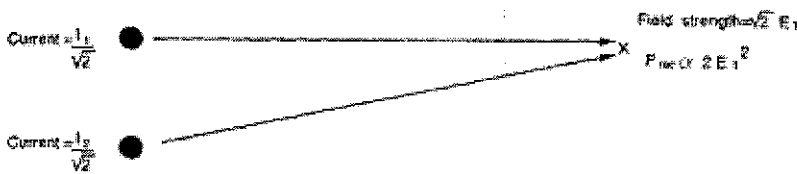


รูปที่ 2.3 สายอากาศองค์ประกอบเดียวที่มีการส่งกำลังงาน  $P_1$

ค่ากำลังงานที่รับได้โดยสายอากาศที่จุด  $X$  จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังสองของความเข้มสนาม ทั้งหมด  $E_T$  ที่จุดนั้น กล่าวคือ

$$P_{rec} \propto E_T^2 = E_1^2 \quad (1.1)$$

ต่อไปจะแทนองค์ประกอบเดี่ยวด้วยสายอากาศชนิดแฉวลำดับ ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบไอโซทรอปิกที่มีลักษณะเหมือนกัน 2 องค์ประกอบ และมีการแผ่กระจายกำลังงานด้วยกำลังงานที่เท่ากันทั้งหมด คือ  $P_1$  ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 2.4 สายอากาศซึ่งมีสององค์ประกอบที่มีการส่งกำลังงาน  $P_1$

ค่ากำลังงานที่แผ่กระจายออกมาจากแต่ละองค์ประกอบจะเท่ากับ  $P_1/2$  แต่เนื่องจากค่าของกระแสจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรากที่สองของกำลังงาน ดังนั้นกระแสที่เกิดขึ้นในแต่ละองค์ประกอบจึงเท่ากับ  $I_1/\sqrt{2}$

ความเข้มของสนามที่จุด  $X$  ซึ่งถูกสร้างขึ้นมาจากแต่ละองค์ประกอบจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสในองค์ประกอบนั้น ดังนั้นความเข้มของสนามที่จุด  $X$  จากแต่ละองค์ประกอบจะเท่ากับ  $E_1/\sqrt{2}$  และถ้าคลื่นจากทั้งสององค์ประกอบมาถึงที่จุด  $X$  โดยมีเฟสตรงกันอย่างสมบูรณ์ ความเข้มของสนามทั้งหมด  $E_T$  ที่จุด  $X$  จะเป็นผลรวมของความเข้มของสนามดังนี้

$$E_T = \frac{2E_1}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}E_1 \quad (1.2)$$

กำลังงานทั้งหมดที่รับได้จะเท่ากับ

$$P_{rec} \propto E_T^2 = (\sqrt{2}E_1)^2 = 2E_1^2 \quad (1.3)$$

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสมการ (1.1) และสมการ (1.3) จะเห็นว่ากำลังสองของค่าความเข้มของสนามทั้งหมด ที่จุด  $X$  จะมีค่าเป็นสองเท่า ด้วยเหตุผลนี้สามารถแสดงได้ว่าค่ากำลังงานที่รับได้ที่จุด  $X$  ก็จะมีค่าเป็นสองเท่า ดังนั้นเมื่อใช้แฉวลำดับที่มีองค์ประกอบสององค์ประกอบแทนองค์ประกอบเดี่ยวจะทำให้ได้ค่าอัตราขยายเชิงกำลังงานมีค่าเป็นสองเท่า

ความสัมพันธ์ที่กล่าวมาทั้งหมดในตัวอย่างจะถูกพิจารณาภายใต้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. องค์ประกอบของสายอากาศทุกตัวจะต้องมีลักษณะเหมือนกันและมีกระแสเท่ากัน
2. สนามที่แผ่กระจายออกจากองค์ประกอบของสายอากาศทั้งหมดจะต้องมีเฟสตรงกันที่จุดรับ
3. กระแสที่เหนี่ยวนำในแต่ละองค์ประกอบจะไม่ถูกนำมาพิจารณา

สำหรับสายอากาศแฉวลำดับในทางปฏิบัติ เงื่อนไขเหล่านี้จะเป็นเพียงการประมาณเท่านั้น แม้ว่าการสูญเสียซึ่งเกิดจากการป้อนสัญญาณและจากตัวประกอบอื่นๆ จะมีส่วนในการจำกัดการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราขยาย แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติเหล่านี้จะดีขึ้นเมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปพบว่าค่าอัตราขยายของแฉวลำดับจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า (เพิ่มขึ้นประมาณ 3 dB) ทุกๆ ครั้งที่จำนวนองค์ประกอบเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเช่นกัน โดยที่ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบถูกกำหนดไว้ให้คงที่

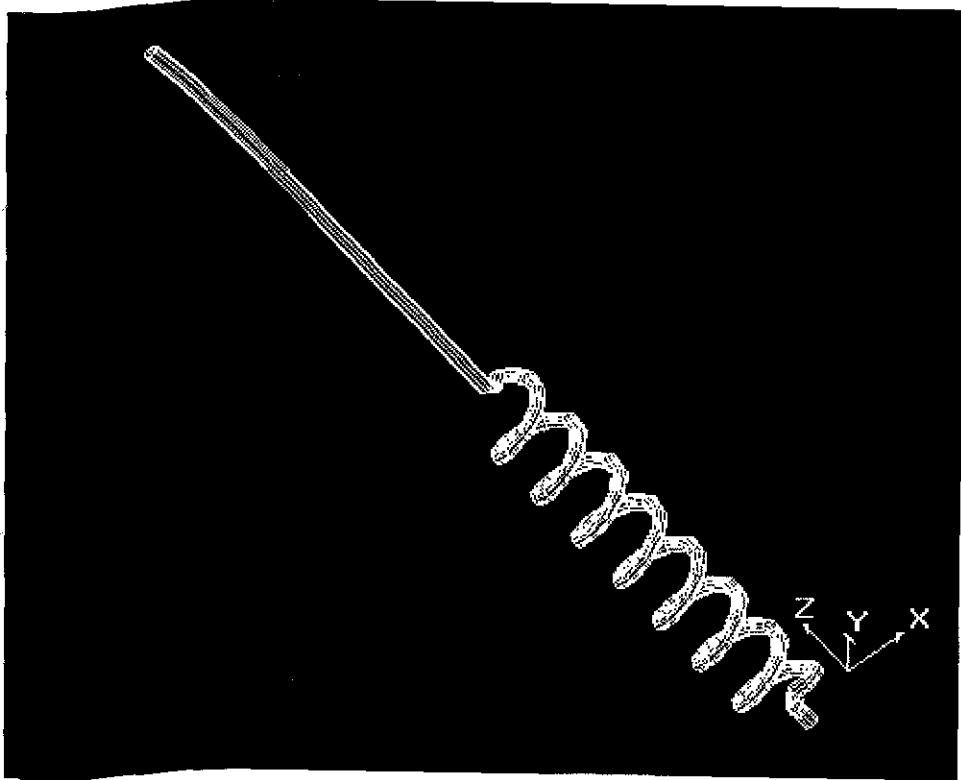
### บทที่ 3

## การจำลองโครงสร้างของสายอากาศด้วยโปรแกรม

เนื้อหาในบทนี้ จะแสดงถึงผลการทดสอบของสายอากาศที่สร้างขึ้นมาโดยใช้โปรแกรม IE3D จำลองโครงสร้าง ซึ่งการจะสั่งให้โปรแกรมทำงานนั้น ผู้ใช้จะต้องกำหนดชั้น Layer ต่างๆ ของสายอากาศซึ่งได้แก่ชั้นของ Ground plane, Substrate, Antenna สำหรับการจำลองโครงสร้าง ขนาดของส่วนต่างๆของสายอากาศอย่างละเอียดนั้นสามารถดูได้จากภาคผนวก ก. ซึ่งผลที่ได้จะนำมาแสดงในบทนี้ได้แก่

1. ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ
2. แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน
3. อัตราส่วนคลื่นนิ่ง
4. อิมพีแดนซ์ด้านเข้า

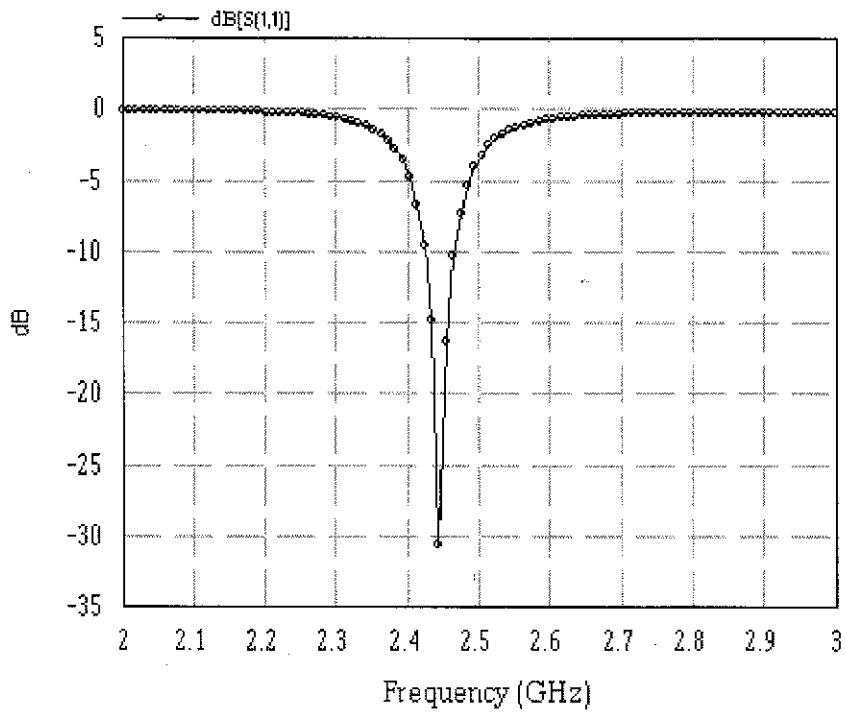
#### สายอากาศตัวที่ 1 Cylindrical Helix Antenna



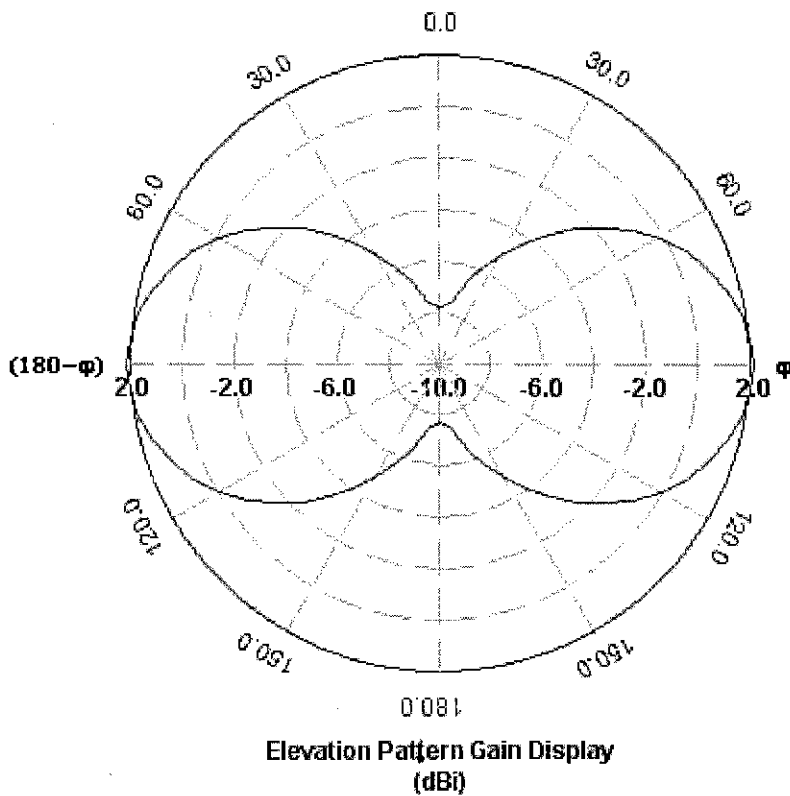
รูปที่ 3.1 ผลการจำลองสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna จากโปรแกรม IE3D

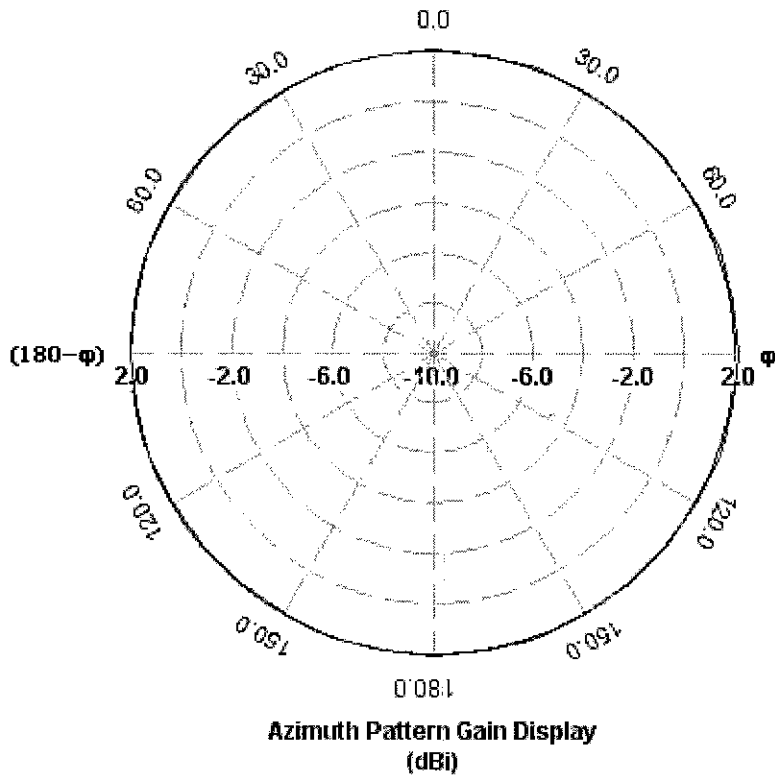
ผลการทดสอบ

1. ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

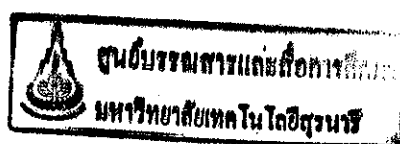
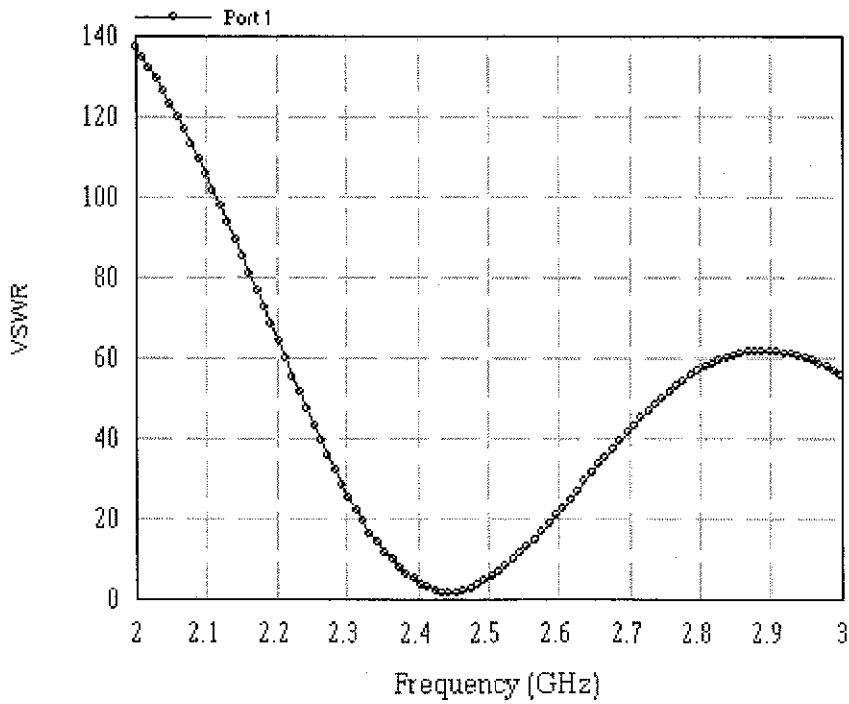


2. แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

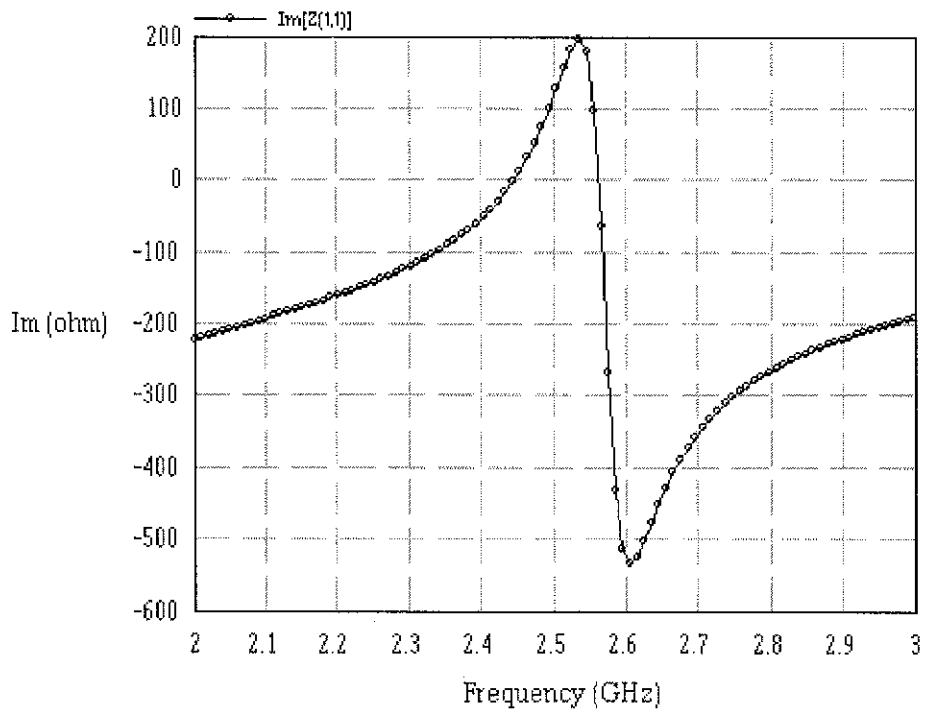
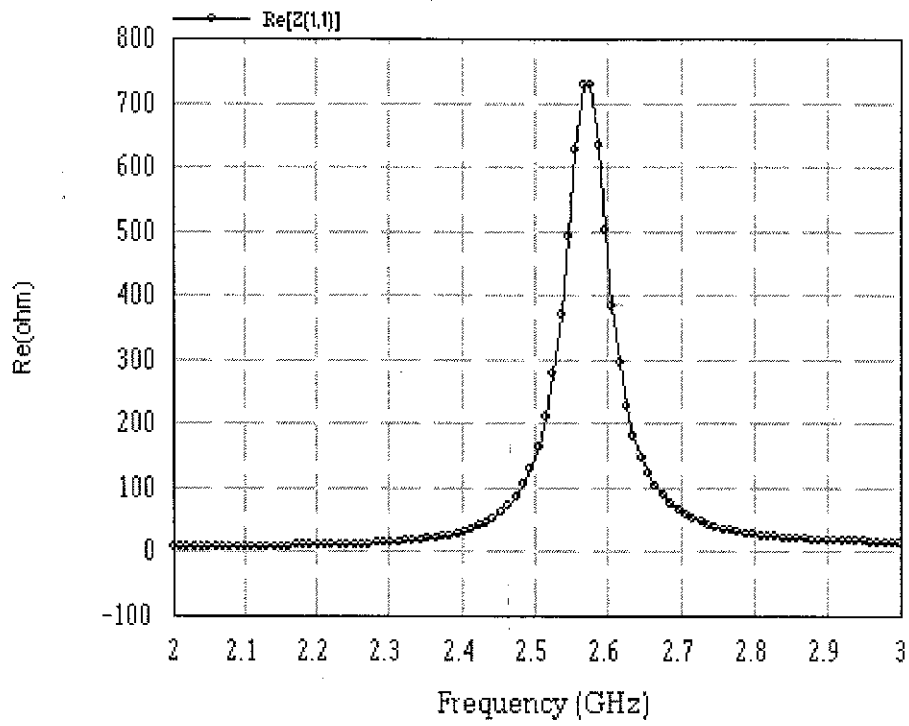




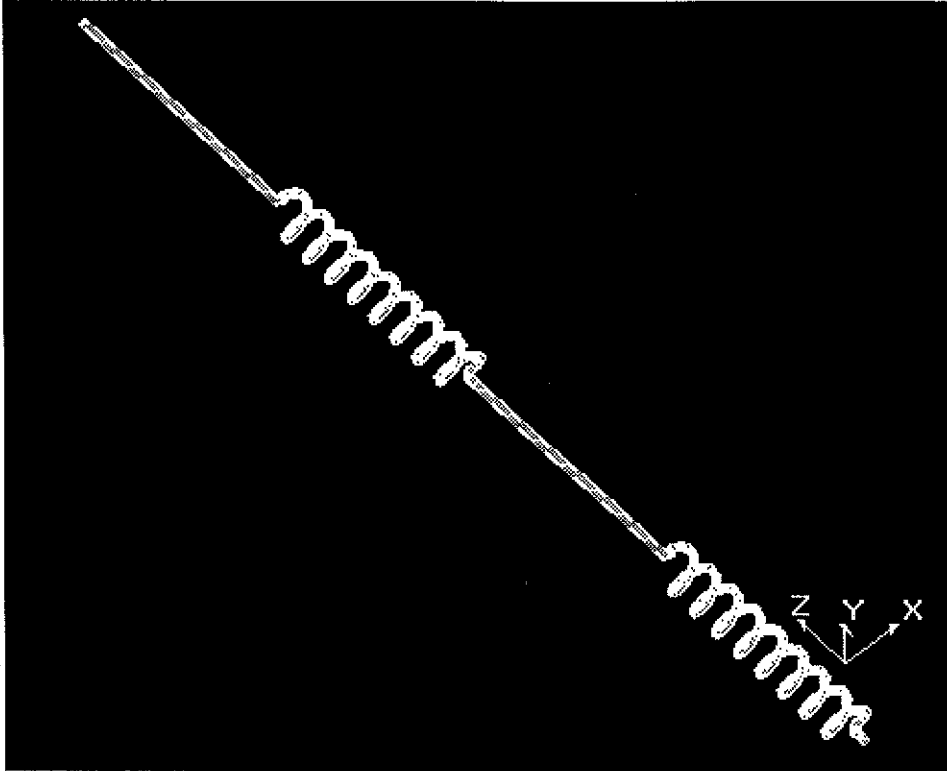
3. อัตราส่วนคลื่นนิ่ง



## 4. อิมพีแดนซ์ด้านเข้า



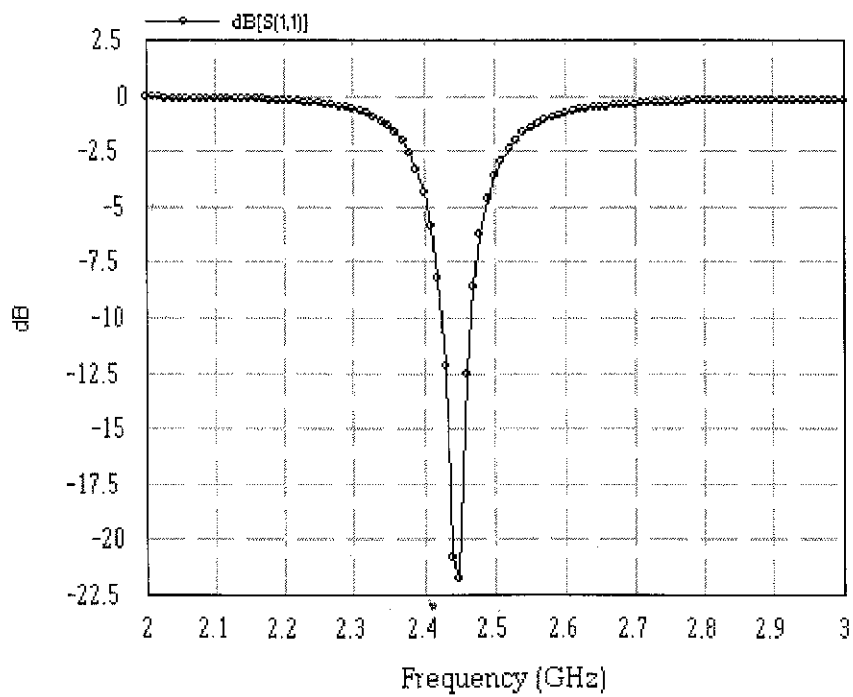
สายอากาศตัวที่ 2 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array



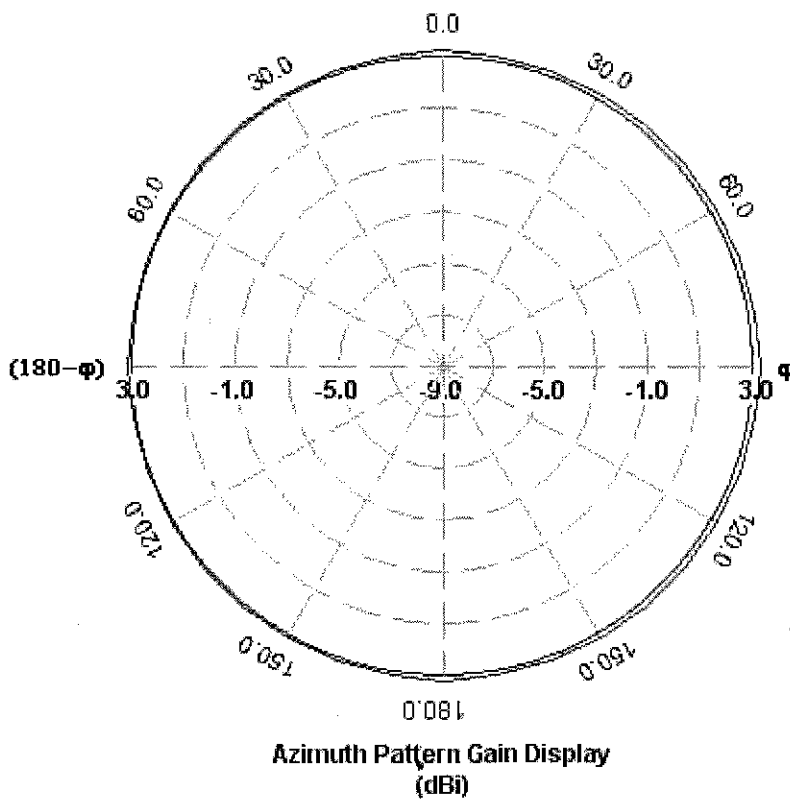
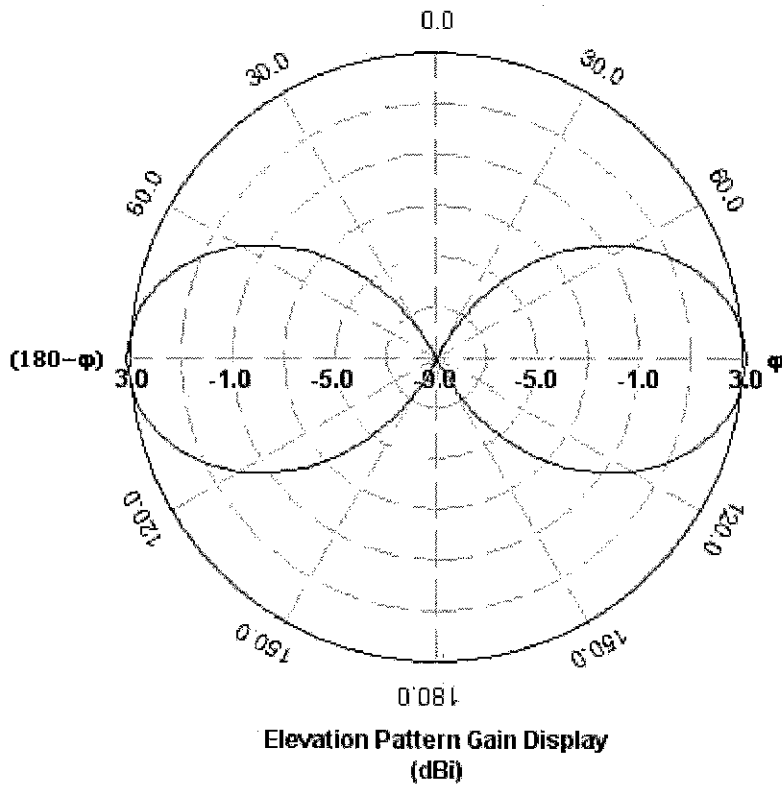
รูปที่ 3.2 ผลการจำลองสายอากาศ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array จากโปรแกรม IE3D

ผลการทดสอบ

1. ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

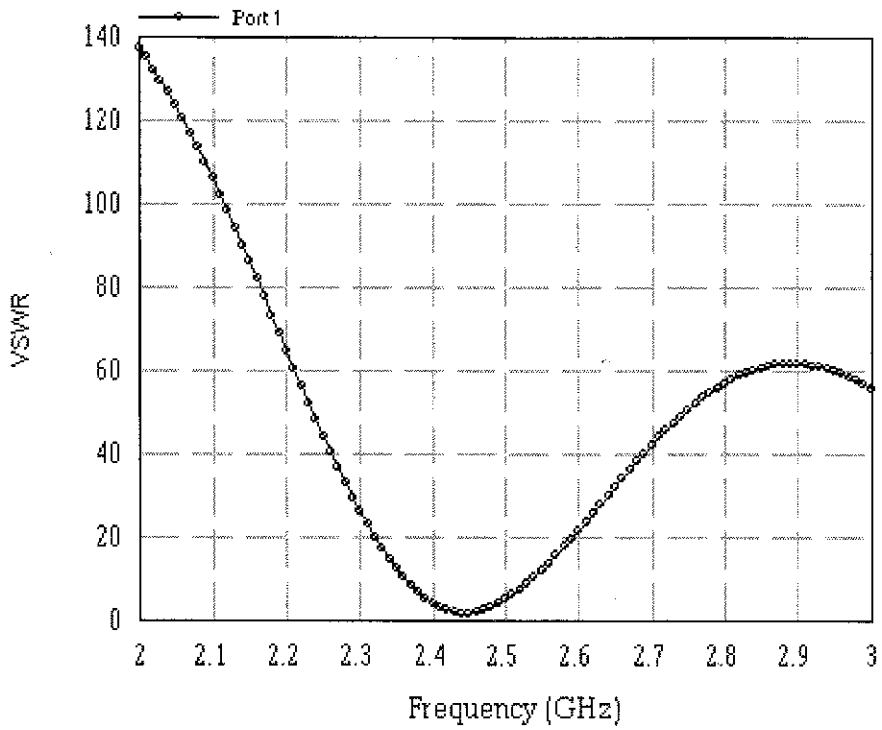


2. แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

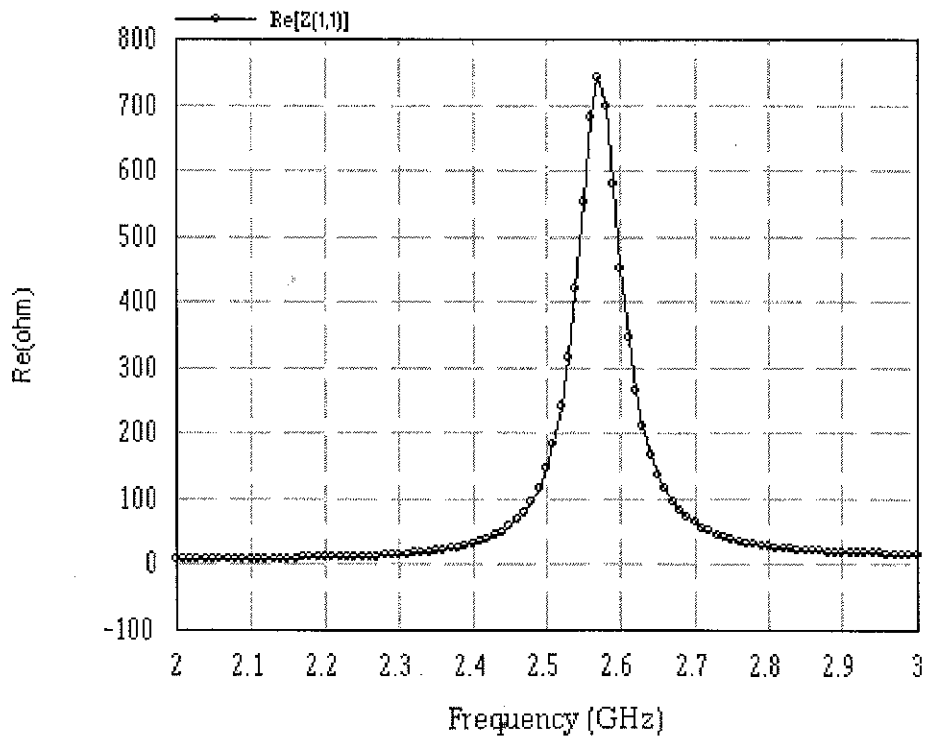


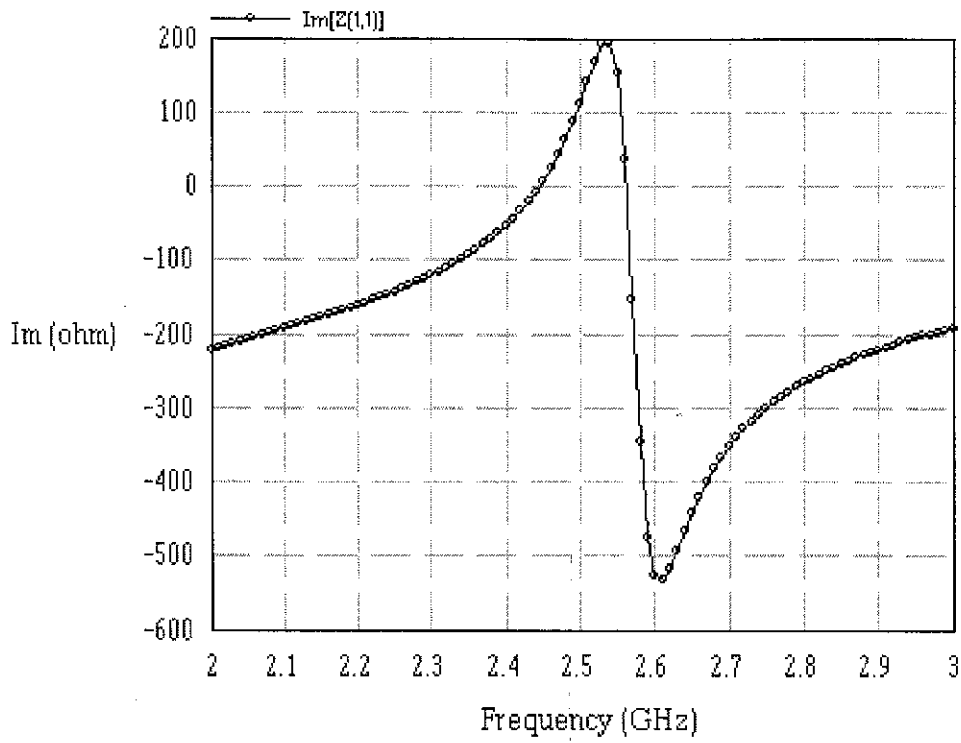


## 3. อัตราส่วนคลื่นนิ่ง

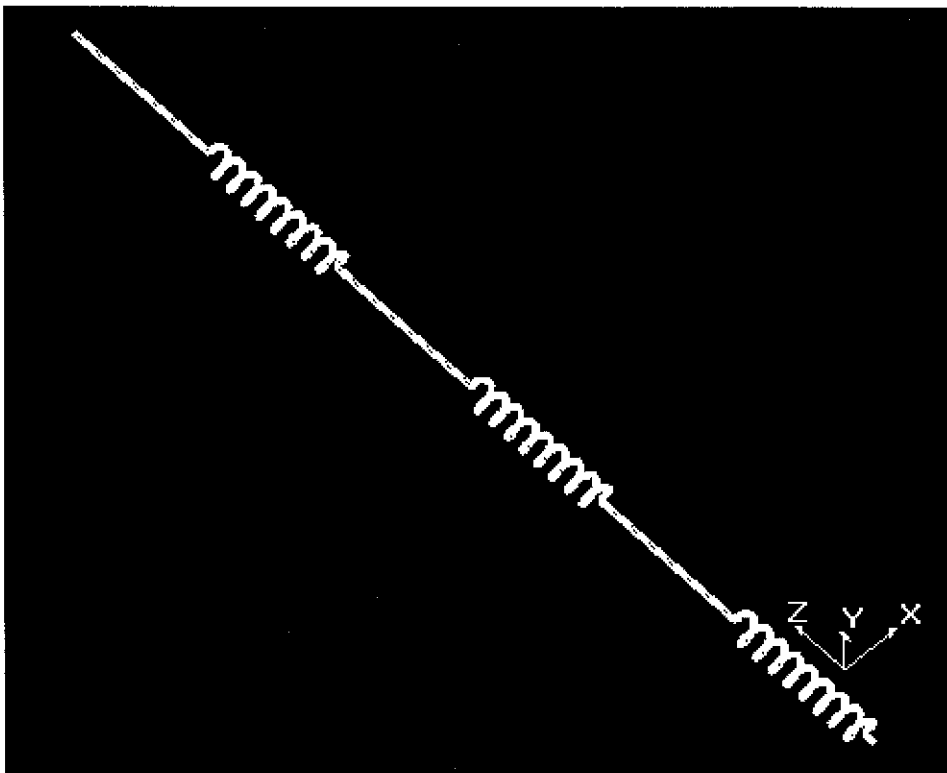


## 4. อิมพีแดนซ์ด้านเข้า





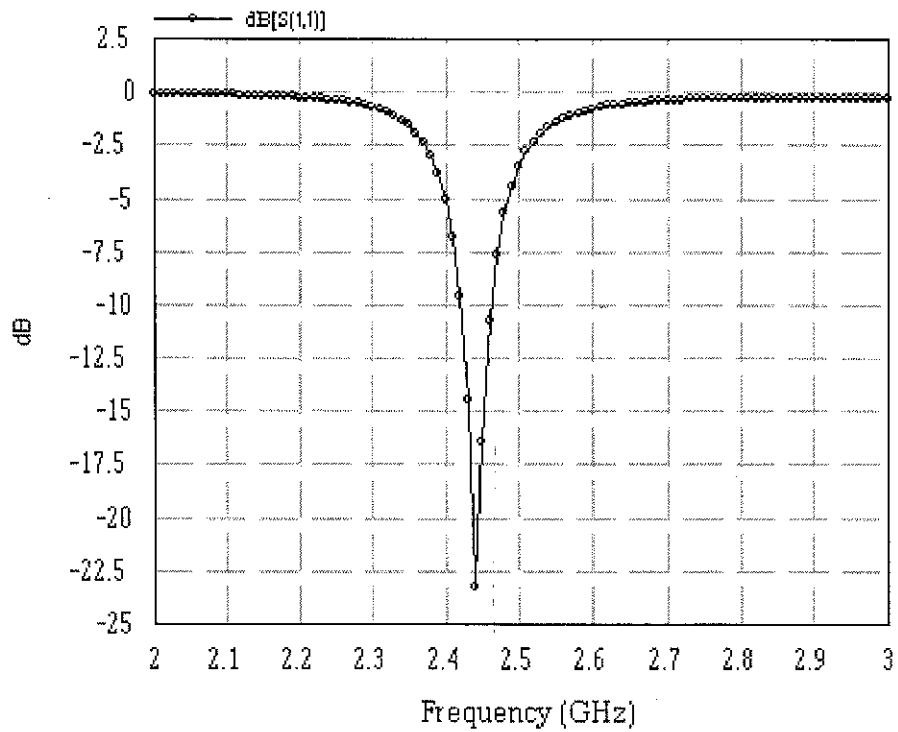
สายอากาศตัวที่ 3 3 Column Cylindrical Helix Antenna Array



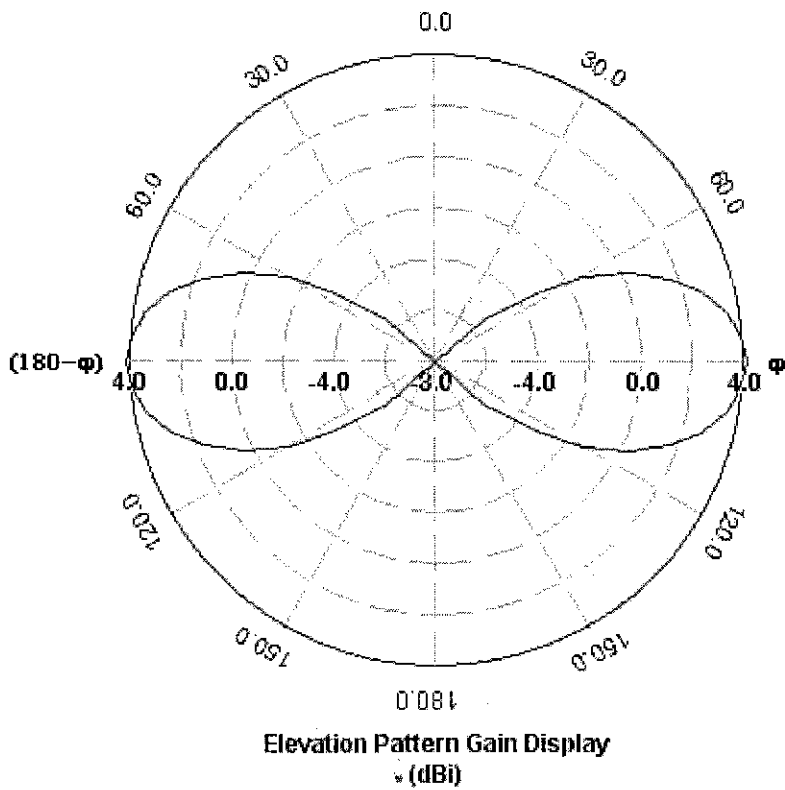
รูปที่ 3.3 ผลการจำลองสายอากาศ 3 Column Cylindrical Helix Antenna Array จาก โปรแกรม IE3D

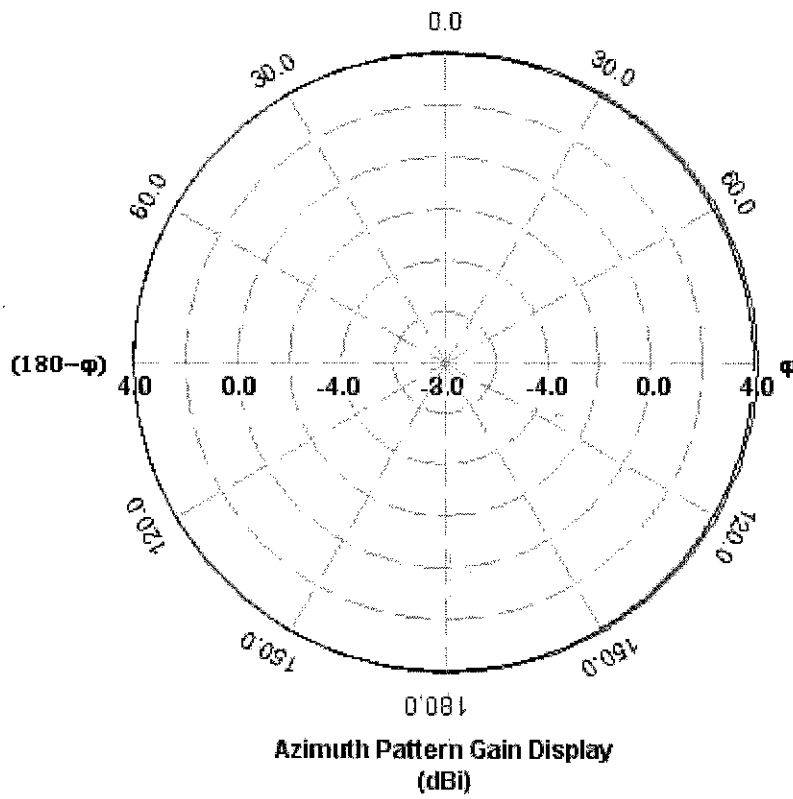
## ผลการทดสอบ

## 1. ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

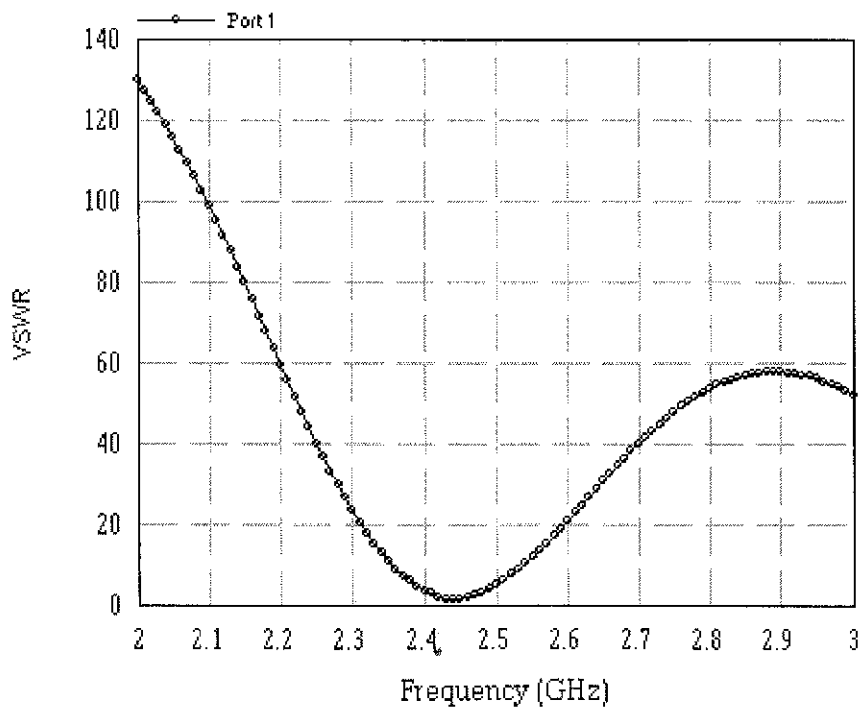


## 2. แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

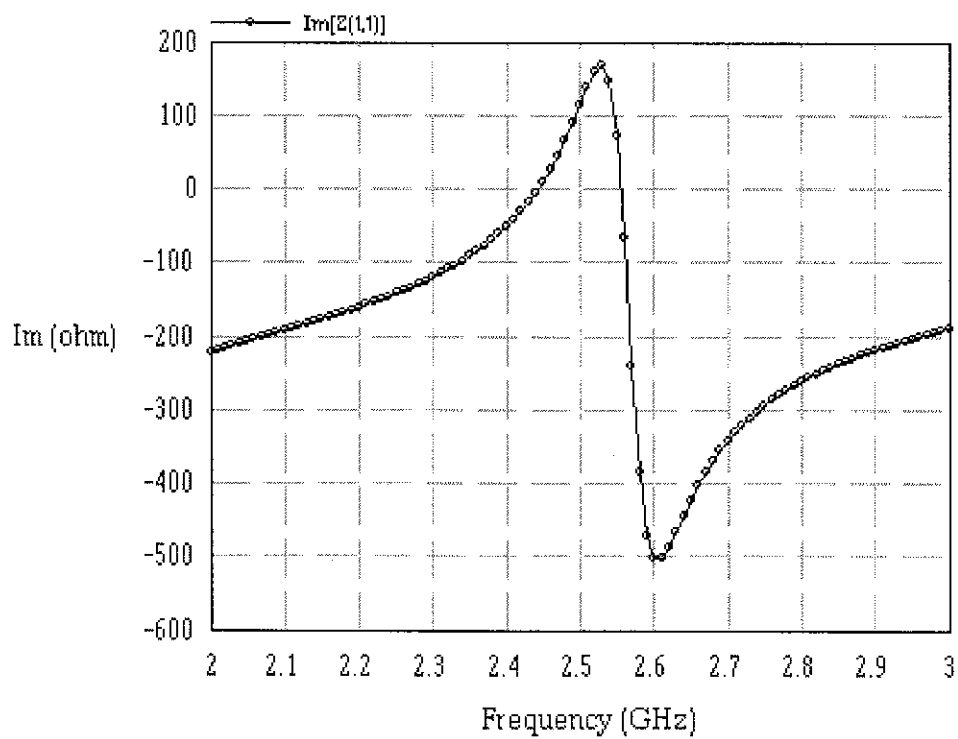
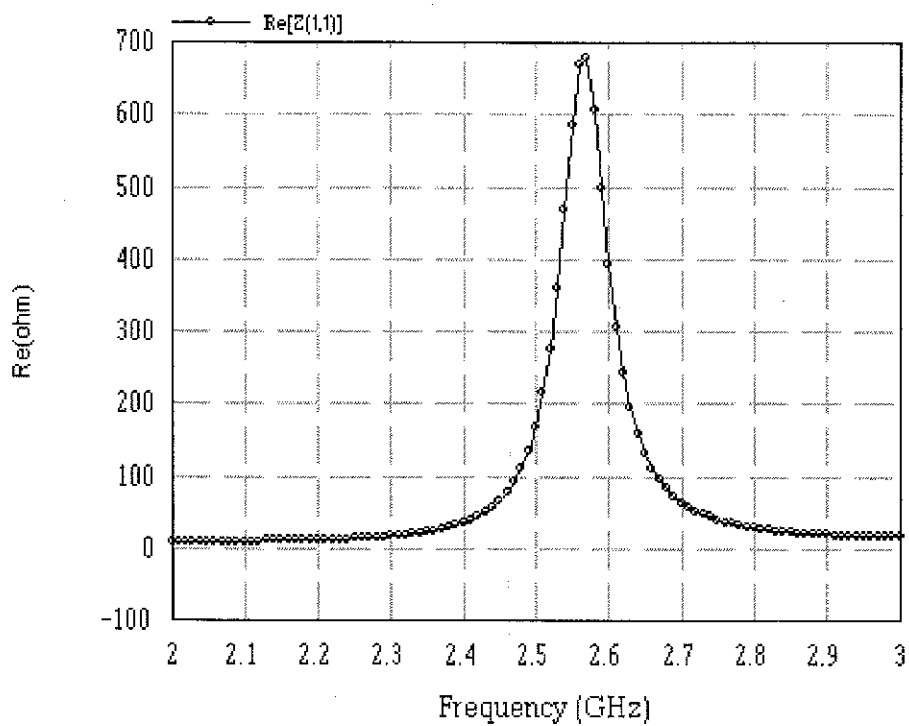




### 3. อัตราส่วนคลื่นนิ่ง



## 4. อิมพีแดนซ์ด้านเข้า



## สรุป

จากรูปแบบทางโครงสร้างและขนาดของสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna ที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรม IE3D ในบทนี้ได้ทำการ Simulate เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ ดังนี้

1. ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ
2. แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน
3. อัตราส่วนคลื่นนิ่ง
4. อิมพีแดนซ์ด้านเข้า

ซึ่งพบว่าค่าที่ได้จากการทดสอบค่อนข้างเป็นไปตามทฤษฎี ช่วงการทำงานของสายอากาศอยู่ในช่วงความถี่ที่เราต้องการ (ประมาณ 2.4 GHz-2.5 GHz) ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับมีค่าต่ำกว่า -15 dB อัตราส่วนคลื่นนิ่งต่ำกว่า 1.5 อิมพีแดนซ์ด้านเข้ามีค่าประมาณ 50 โอห์ม ซึ่งค่าที่ได้นั้นโดยรวมแล้วถือว่าเป็นค่าที่พอยอมรับได้ ดังนั้นสายอากาศที่ได้จากการออกแบบนี้จึงสามารถที่จะนำข้อมูลไปสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบได้

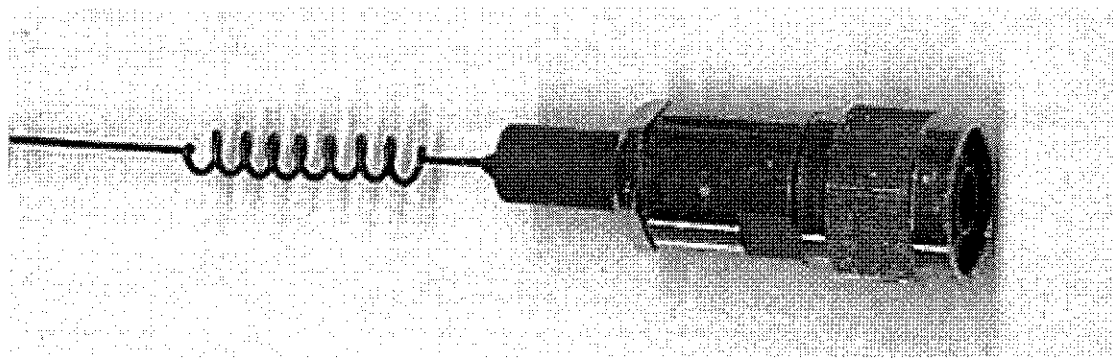
## บทที่ 4

### การสร้างและทดสอบสายอากาศต้นแบบ

เนื้อหาในบทนี้ จะเป็นการสร้างสายอากาศขึ้นมาโดยใช้ขนาดของส่วนต่างๆของสายอากาศที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม IE3D แต่เพื่อยืนยันความถูกต้อง และให้สายอากาศสามารถนำไปใช้งานได้จริงนั้น จึงต้องมีการทดสอบเพื่อยืนยันผล ซึ่งการทดสอบนี้เป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการโทรคมนาคม โดยมีขั้นตอนการออกแบบและทดสอบ พร้อมแสดงผลการทดสอบ

#### 4.1 การสร้างโครงสร้างของสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna

โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna ดังรูปที่ 4.1 แต่เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna จึงใช้โปรแกรม IE3D ซึ่งได้อธิบายเพื่อจำลองโครงสร้างของสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna และทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญ เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการของสายอากาศ



รูปที่ 4.1 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna

#### 4.2 การวัดเพื่อทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศ

การทดสอบสายอากาศ ก็คือ การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญของสายอากาศ เนื่องจากคุณสมบัติของสายอากาศนั้นขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์เหล่านี้นั่นเอง ในโครงการนี้ได้สร้างสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna จำนวน 4 ตัว โดยที่สายอากาศตัวแรกคือสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna โดยนำมาจัดแถวลำดับแบบเชิงเส้น (Linear Array) แบบ 2 Column และอีก 3 ตัวคือสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna Array แบบ 3,4 และ 5 Column ตามลำดับ

#### 4.2.1 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return loss)

ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ แสดงถึงประสิทธิภาพการส่งผ่าน ซึ่งแสดงได้ว่าถ้าค่า Return loss มากๆจะยิ่งดีเนื่องจากจะมีประสิทธิภาพการส่งผ่านที่ดีนั่นเอง

ขั้นตอนการวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

- 1) ทำการ Calibrate เครื่อง Network Analyzer ที่ความถี่ตั้งแต่ 2 GHz ถึง 3 GHz
- 2) เลือกคำสั่ง Save เพื่อจะได้ไม่ต้องทำการเซตเครื่องใหม่ เมื่อมาใช้งานตอนหลังอีก
- 3) ต่อสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna เข้าที่ Port 1 ของ Network Analyzer
- 4) เปลี่ยน Format เป็น LOG MAG

#### 4.2.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern)

การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ จะทำการวัดที่บริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Region) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$R > \frac{2D^2}{\lambda}$$

เมื่อ	R	คือ ระยะของสนามระยะไกล
	D	คือ ความยาวสูงสุดของสายอากาศ
	$\lambda$	คือ ความยาวคลื่นของสายอากาศ

ขั้นตอนการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

- 1) ทำการเซตเครื่อง Spectrum Analyzer
- 2) ตั้งความถี่การวัดที่ 2.45 GHz
- 3) สายอากาศภาคส่ง ต่อเข้ากับ Power Generator
- 4) สายอากาศที่ทำการทดสอบในภาครับ ต่อเข้ากับ Spectrum Analyzer



- 5) ทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณจากเครื่อง Spectrum Analyzer เพื่อนำมาพล็อตแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน โดยการหมุนสายอากาศไปที่ละ 5 องศา
- 6) นำค่าความแรงของสัญญาณที่ได้ไปพลอตโดยใช้โปรแกรม MATLAB

#### 4.2.3 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศ (Standing-Wave Ratio หรือ SWR)

ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศ หมายถึง ช่วงความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้ดี ในสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna คุณสมบัติที่จำเป็นต้องพิจารณาคือ สายอากาศจะต้องแมตช์อย่างดี ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งต้องไม่เกิน 1.5

##### ขั้นตอนการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

- 1) ทำการ Calibrate เครื่อง Network Analyzer ที่ความถี่ตั้งแต่ 2 GHz ถึง 3 GHz
- 2) เลือกคำสั่ง Save เพื่อจะได้ไม่ต้องทำการเซตเครื่องใหม่ เมื่อมาใช้งานตอนหลังอีก
- 3) ต่อสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna เข้าที่ Port 1 ของ Network Analyzer
- 4) เปลี่ยน Format เป็น SWR

#### 4.2.4 การวัดอิมพีแดนซ์อินพุต (Input Impedance)

อิมพีแดนซ์อินพุตเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญเป็นอันดับแรก เพราะว่าหากสายอากาศไม่แมตช์กับสายนำสัญญาณแล้ว สายอากาศก็ไม่สามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงๆ ได้ ดังนั้น สายอากาศ Cylindrical Helix Antenna ที่สร้างจะต้องมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ หรือใกล้เคียง 50 โอห์ม มากที่สุด โดยสามารถดูจากค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ที่จะต้องไม่เกิน 1.5 dB

##### ขั้นตอนการวัดค่าอิมพีแดนซ์

- 1) ทำการ Calibrate เครื่อง Network Analyzer ที่ความถี่ตั้งแต่ 2 GHz ถึง 3 GHz
- 2) เลือกคำสั่ง Save เพื่อจะได้ไม่ต้องทำการเซตเครื่องใหม่ เมื่อมาใช้งานตอนหลังอีก
- 3) ต่อสายอากาศ Cylindrical Helix Antenna เข้าที่ Port 1 ของ Network Analyzer
- 4) ทำการวัด S<sub>11</sub> เลือก Format แบบ Smith Chart

#### 4.2.5 การวัดอัตราขยาย (Gain)

การวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน นี่เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถวัดอัตราขยาย คือ เราใช้สายอากาศที่เราทราบค่าอัตราขยายเป็นตัวส่ง และเราใช้สายอากาศที่ต้องการทราบค่าอัตราขยายเป็นตัวรับ และวัดค่ากำลังงานที่ส่งและรับ ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ต้องการทราบจะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$(G_{or})_{dB} + (G_{ot})_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{P_r}{P_t} \right)$$

เมื่อ  $(G_{ot})_{dB}$  คือ ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่เป็นตัวส่ง

$(G_{or})_{dB}$  คือ ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่เป็นตัวรับ

$P_r$  คือ กำลังงานของตัวรับ

$P_t$  คือ กำลังงานของตัวส่ง

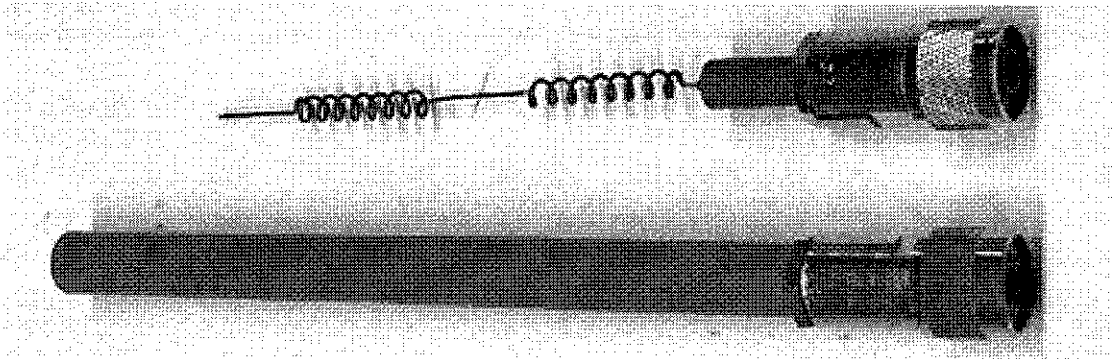
$R$  คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสอง

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นในอากาศ (หน่วยเดียวกันกับระยะทาง)

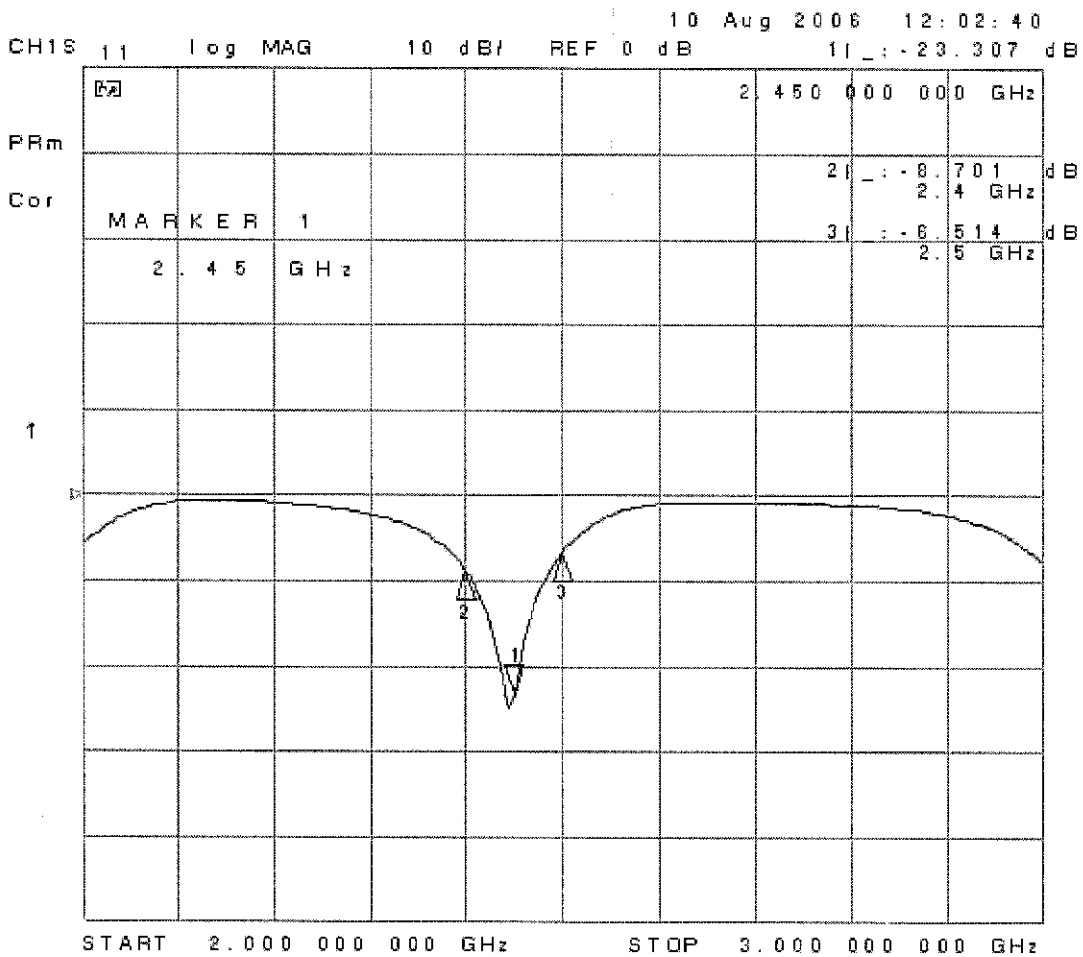
ขั้นตอนการวัดอัตราขยาย

- 1) ทำการเซตเครื่อง Spectrum Analyzer
- 2) ตั้งความถี่การวัดที่ 2.45 GHz
- 3) สายอากาศภาคส่ง ต่อเข้ากับ Power Generator
- 4) สายอากาศที่ทำการศึกษาทดสอบในภาครับ ต่อเข้ากับ Spectrum Analyzer
- 5) ทำการวัดค่ากำลังงานของตัวรับและตัวส่งเพื่อนำไปคำนวณหาอัตราขยาย

## สายอากาศตัวที่ 1 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array



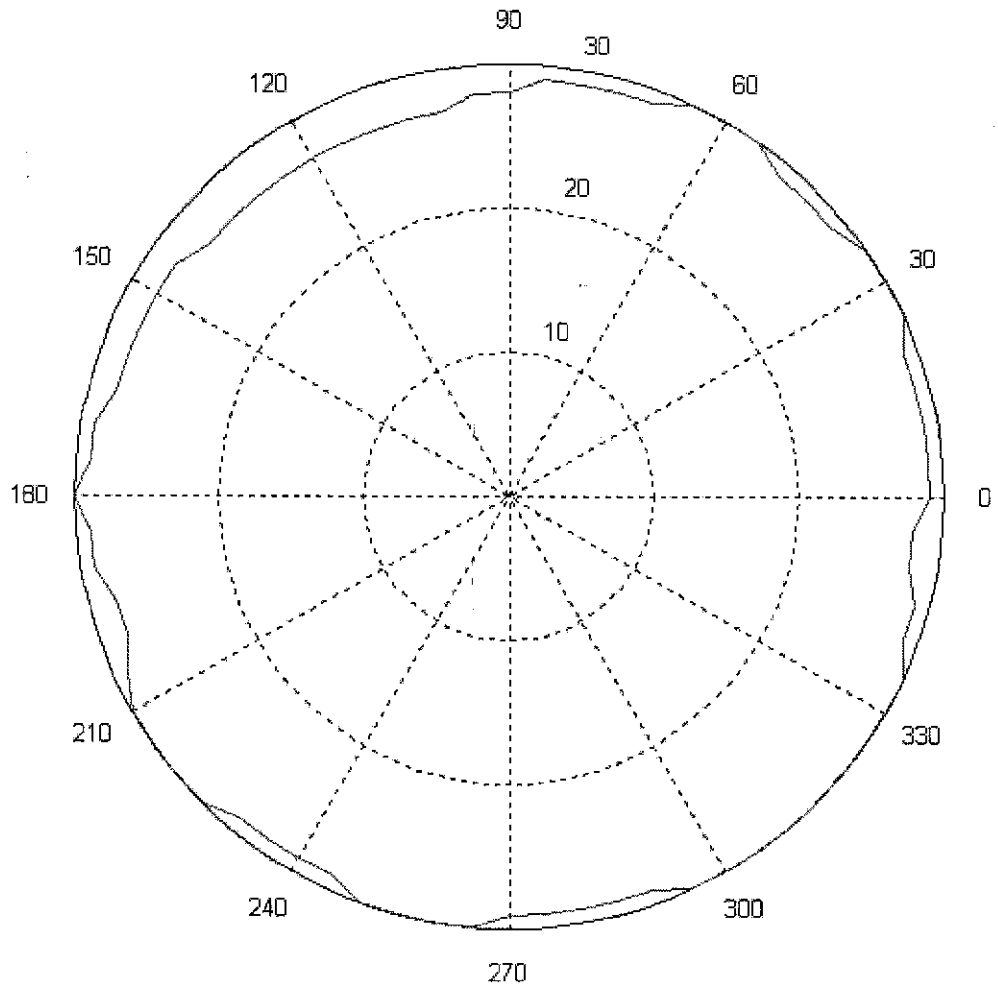
### 1. ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ



สายอากาศมีค่าReturn Loss ที่ความถี่ 2.45 GHz ประมาณ -23 dB

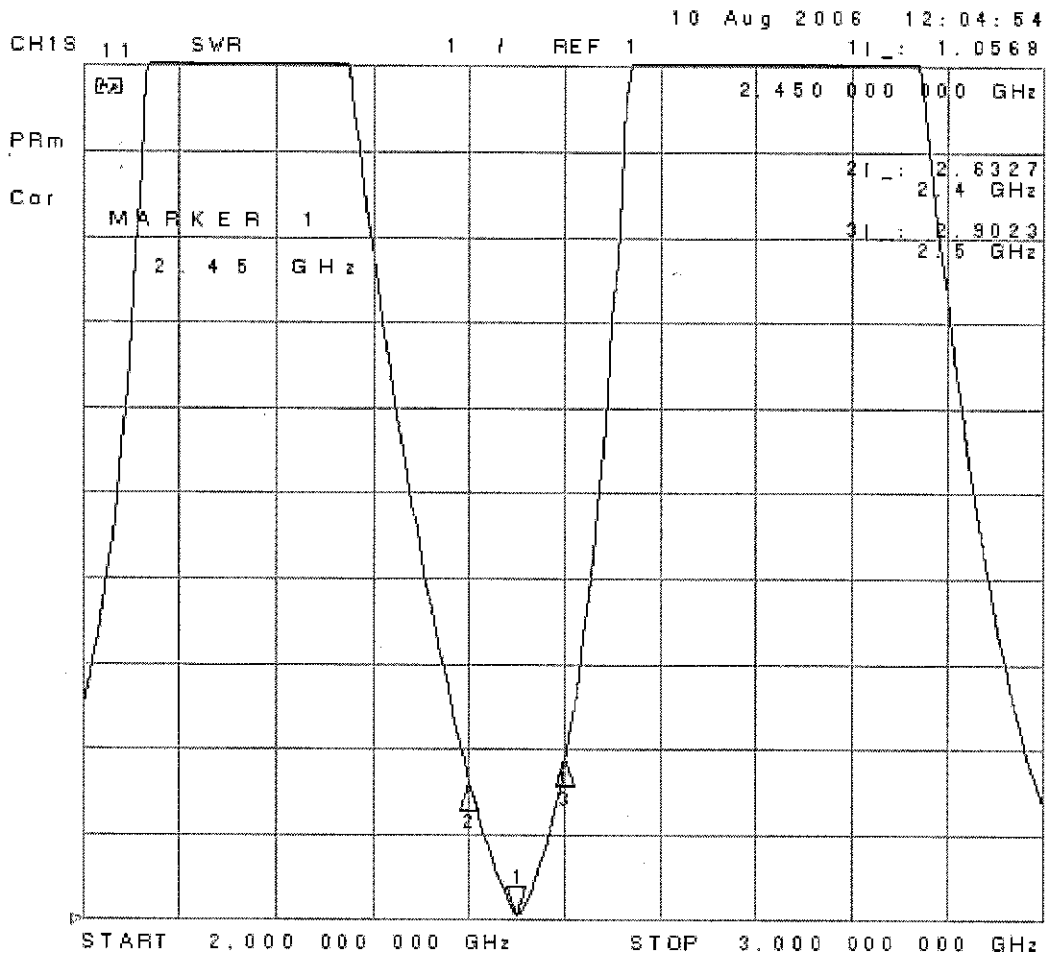
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array

### 2. แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array

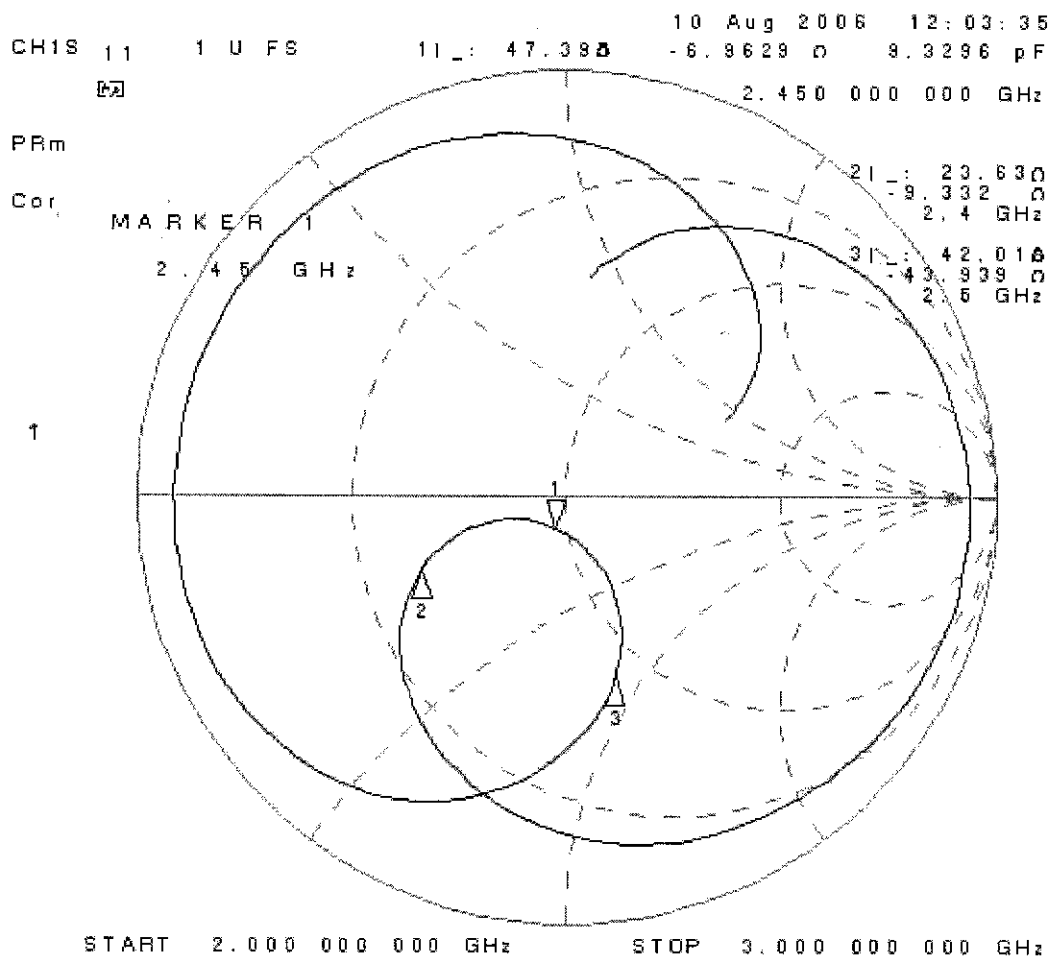
### 3. ผลการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง



สายอากาศมีค่า SWR ที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 1.0568

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array

### 4. ผลการวัดค่าอิมพีแดนซ์

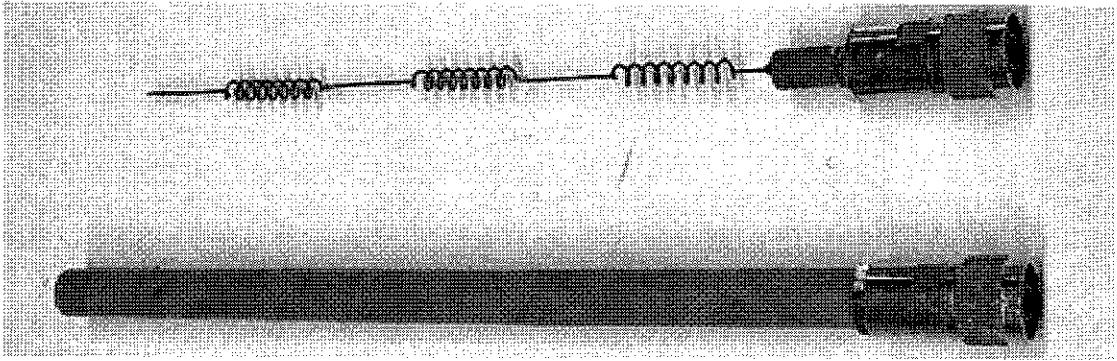


สายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ  $47.39 - j6.9629 \Omega$   
 รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array

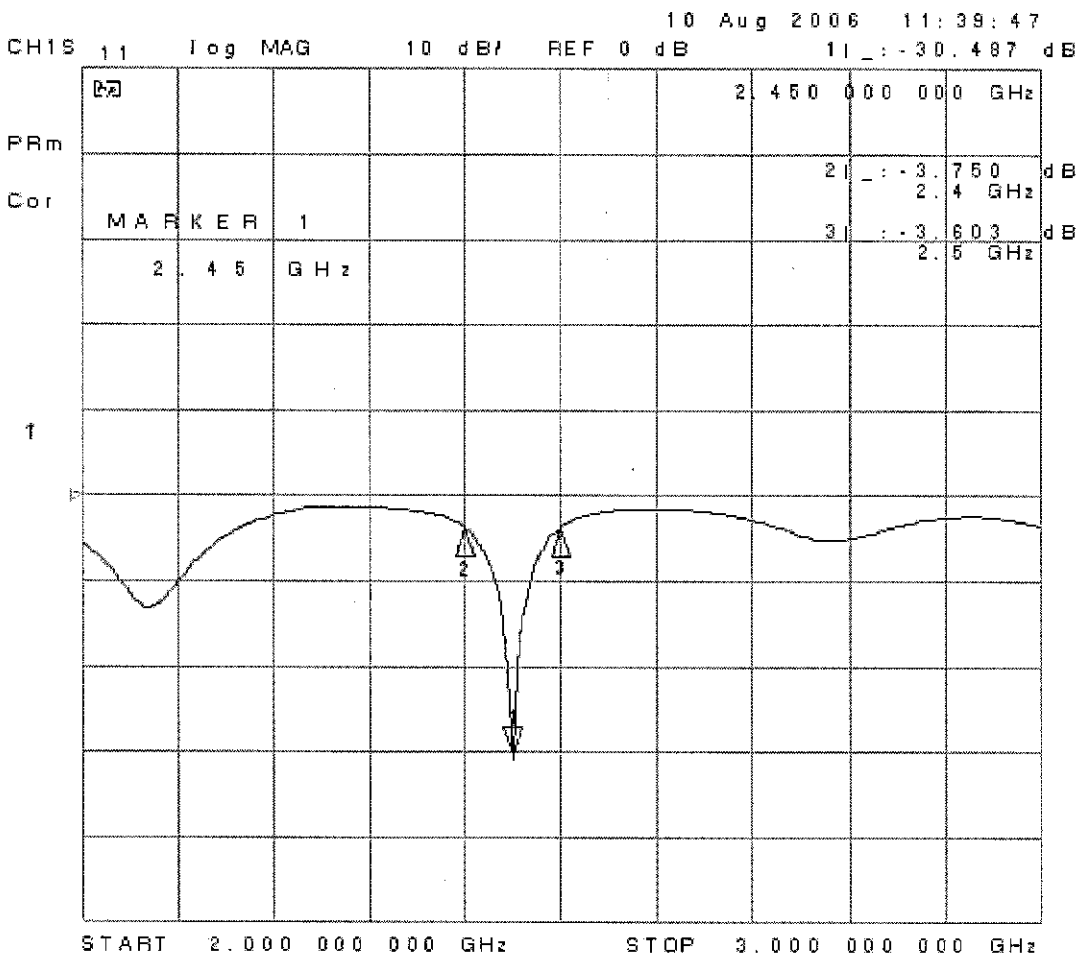
#### 5. ผลการวัดค่าอัตราขยาย

สายอากาศมีค่าอัตราขยายที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 4 dB

สายอากาศตัวที่ 2 3 Column Cylindrical Helix Antenna Array



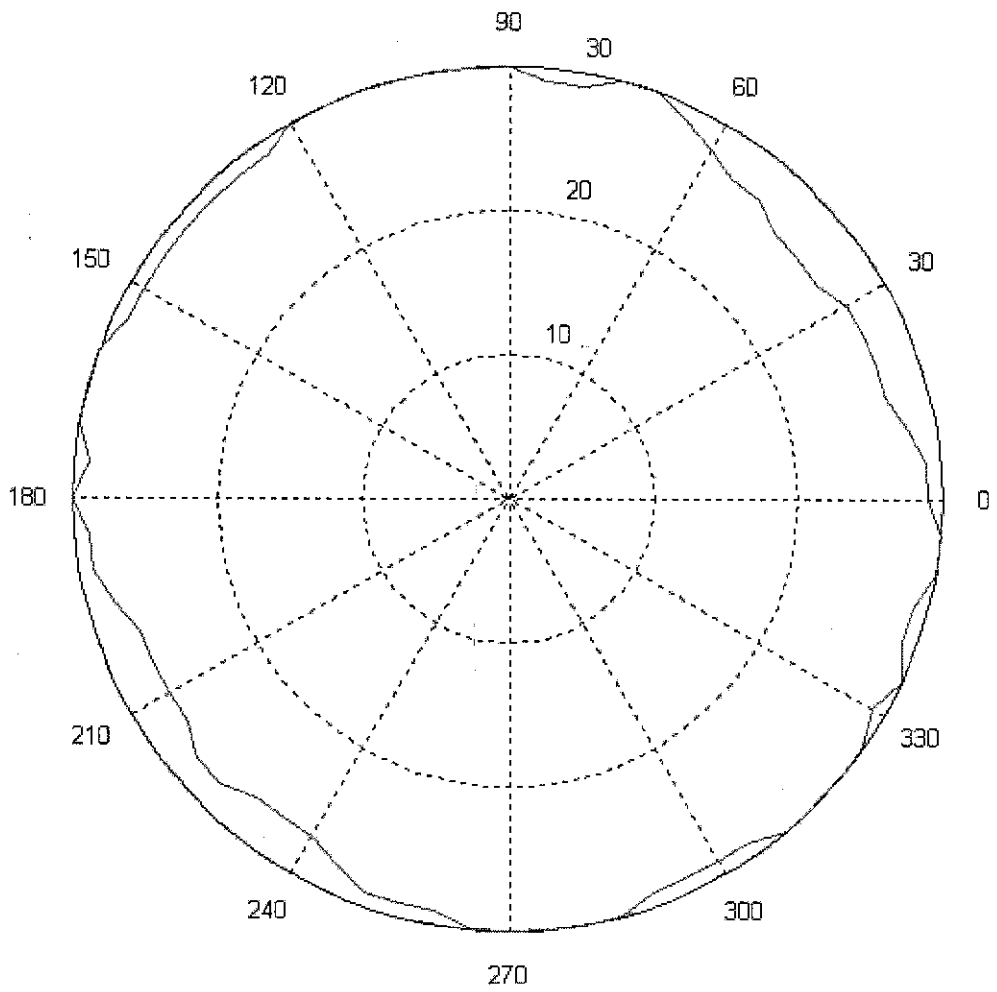
### 1. ค่าความเสียหายเนื่องจากการย้อนกลับ



สายอากาศมีค่าReturn Loss ที่ความถี่ 2.45 GHz ประมาณ -30 dB

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของ 3 Column Cylindrical Helix Antenna Array

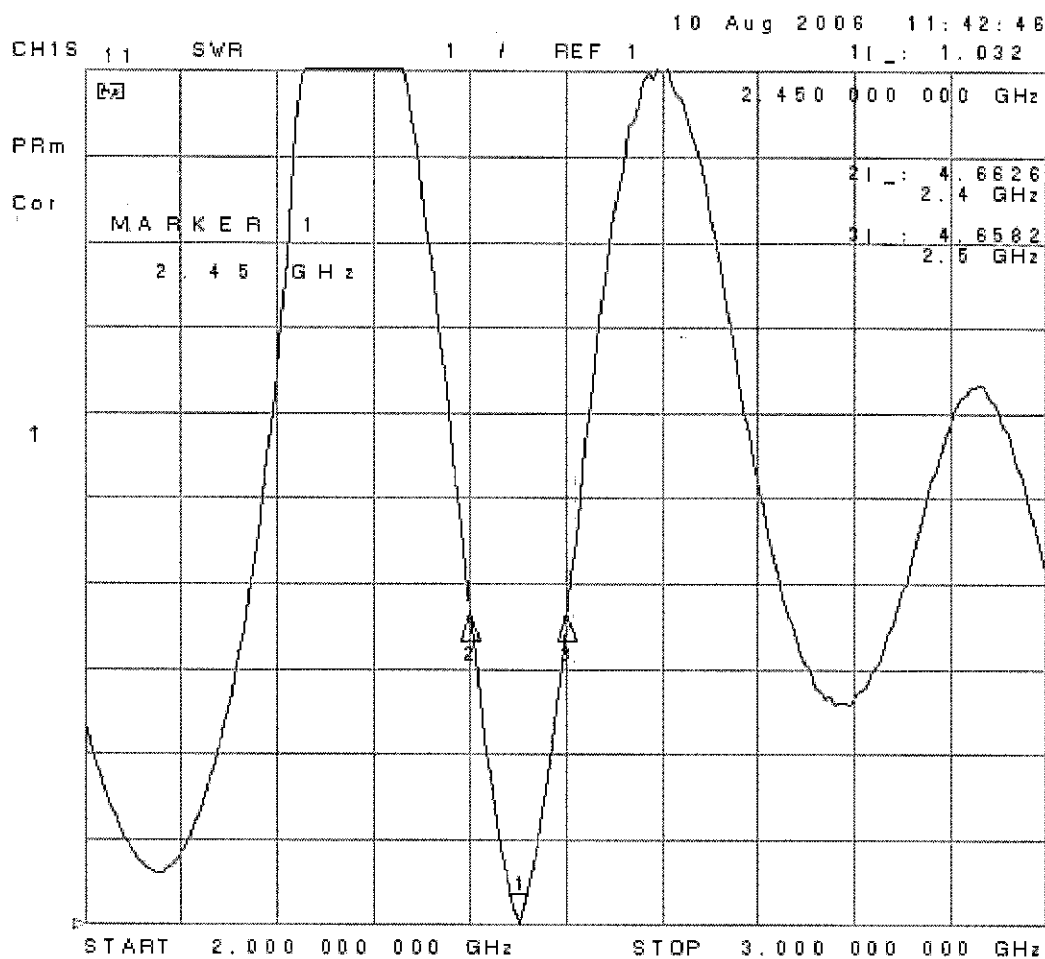
### 2. แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของ 3 Column Cylindrical Helix Antenna Array

### 3. ผลการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

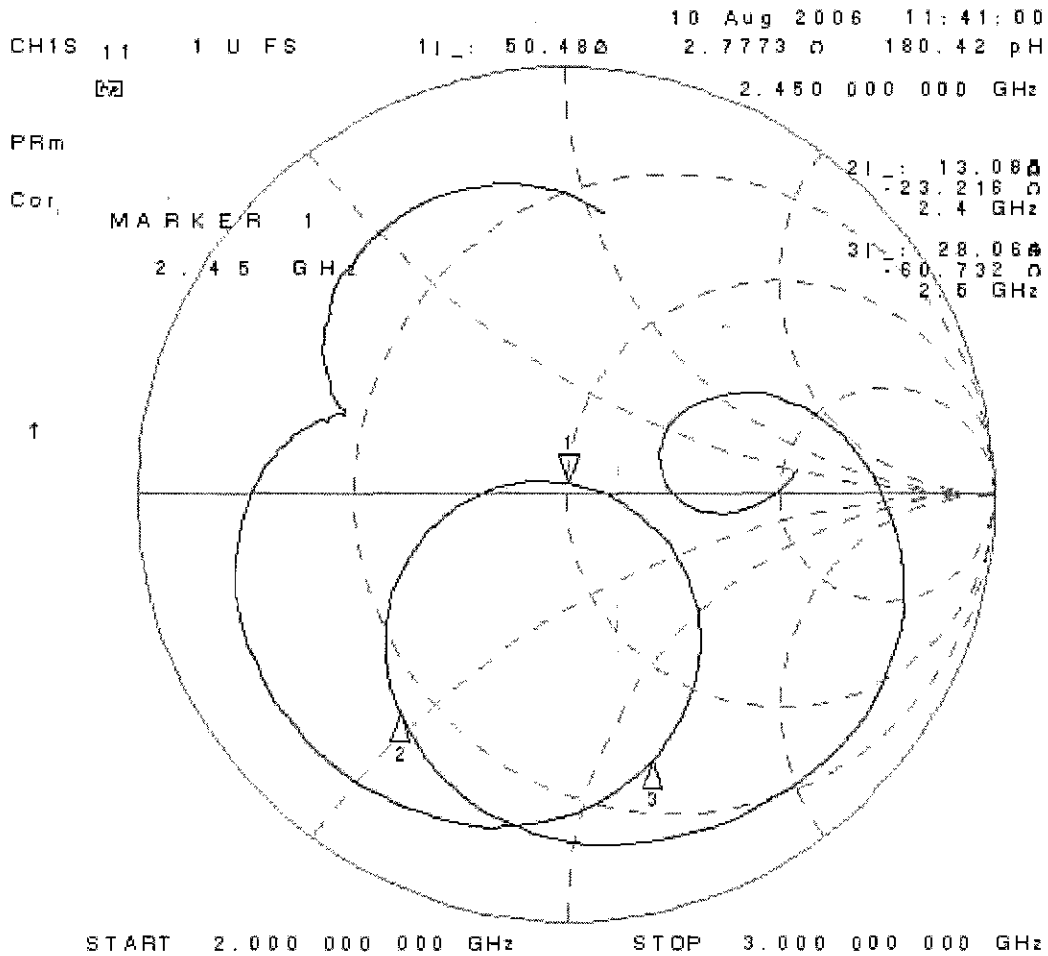




สายอากาศมีค่า SWR ที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 1.032

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของ 3 Column Cylindrical Helix Antenna Array

#### 4. ผลการวัดค่าอิมพีแดนซ์



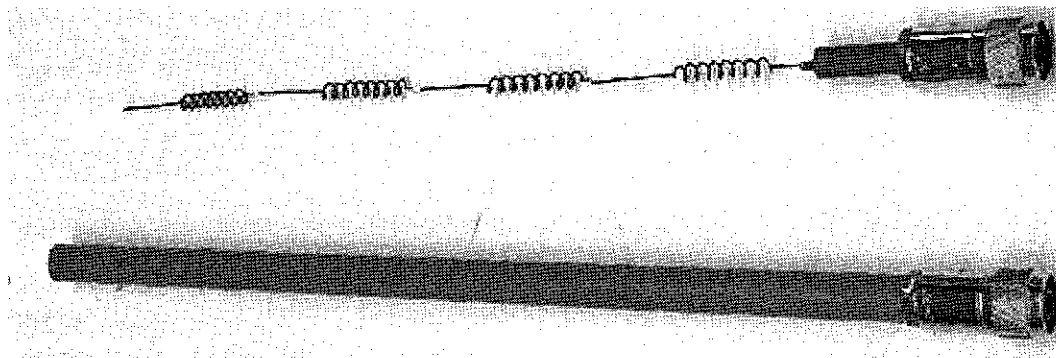
สายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ  $50.48 + j2.7773 \Omega$

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของ 3 Column Cylindrical Helix Antenna Array

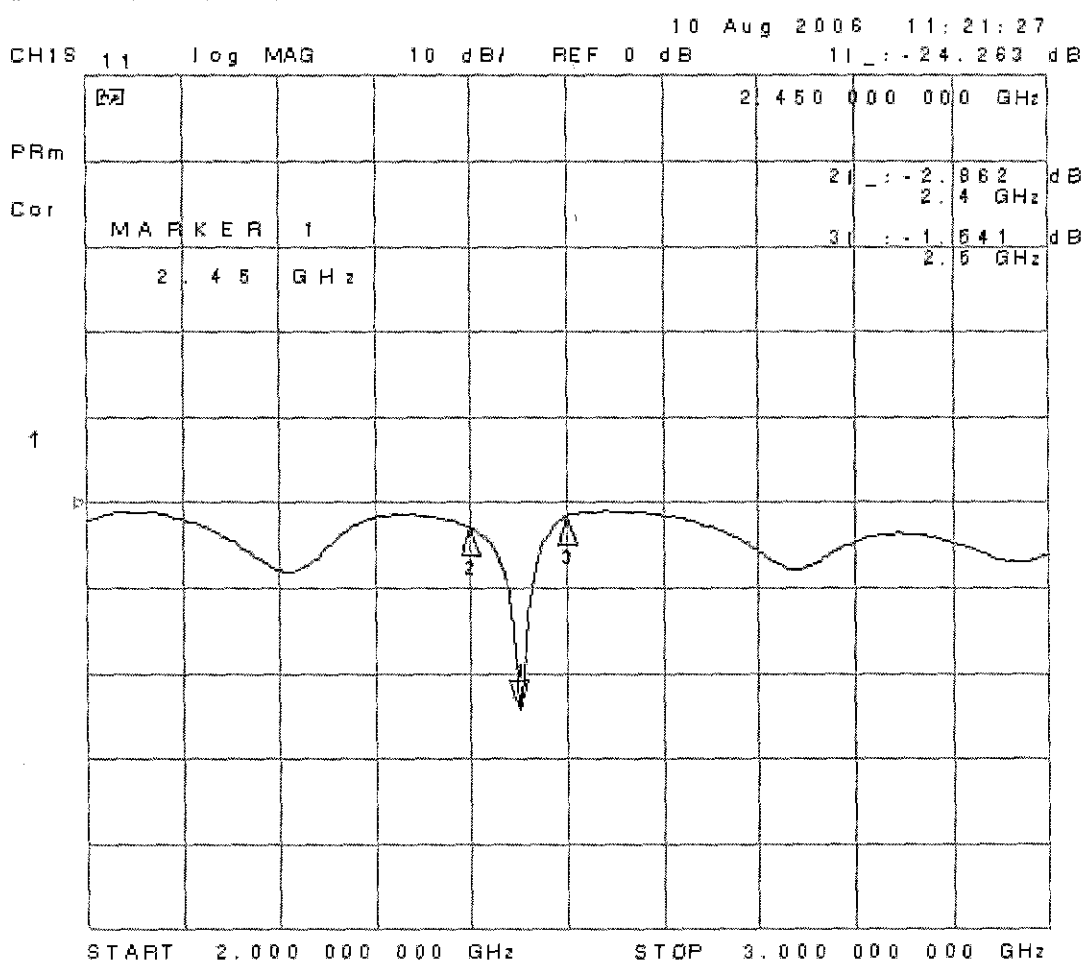
#### 5. ผลการวัดค่าอัตราขยาย

สายอากาศมีค่าอัตราขยายที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 5 dB

สายอากาศตัวที่ 3 4 Column Cylindrical Helix Antenna Array



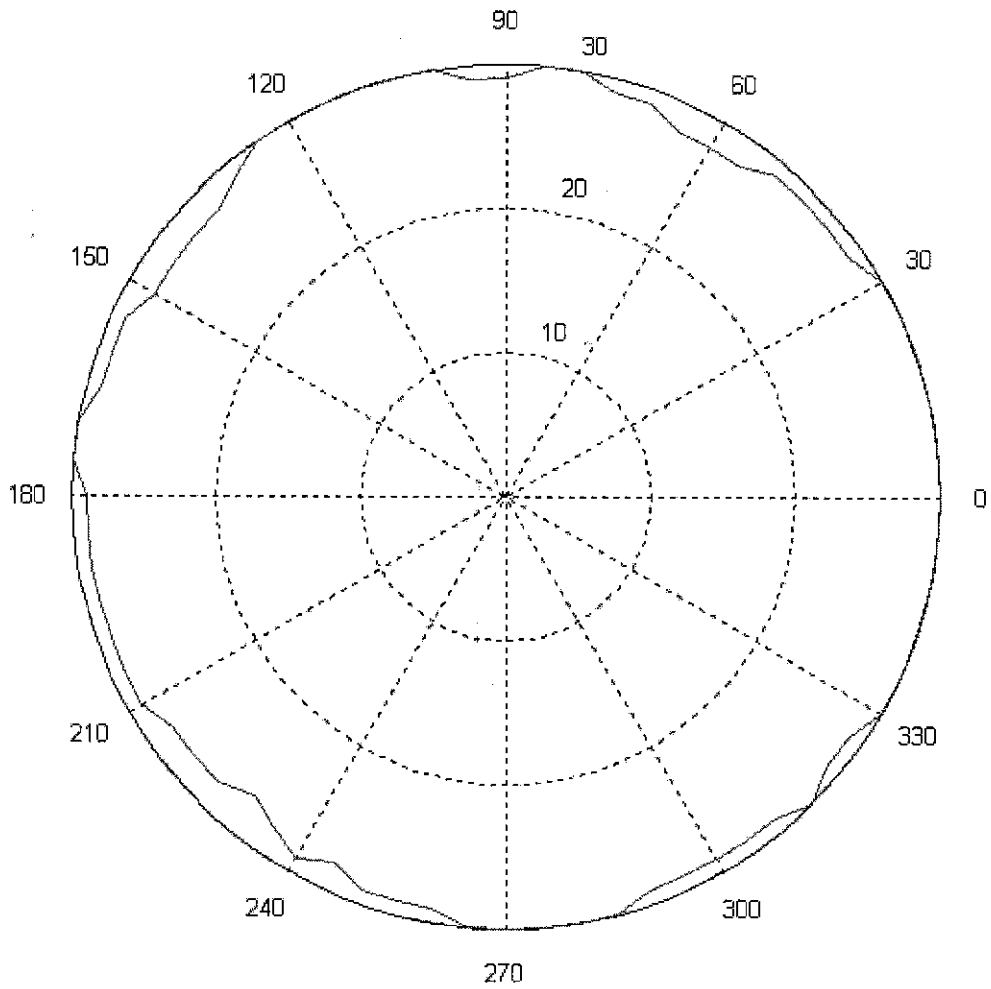
### 1. ค่าความเสียหายเนื่องจากการย้อนกลับ



สายอากาศมีค่าReturn Loss ที่ความถี่ 2.45 GHz ประมาณ -24 dB

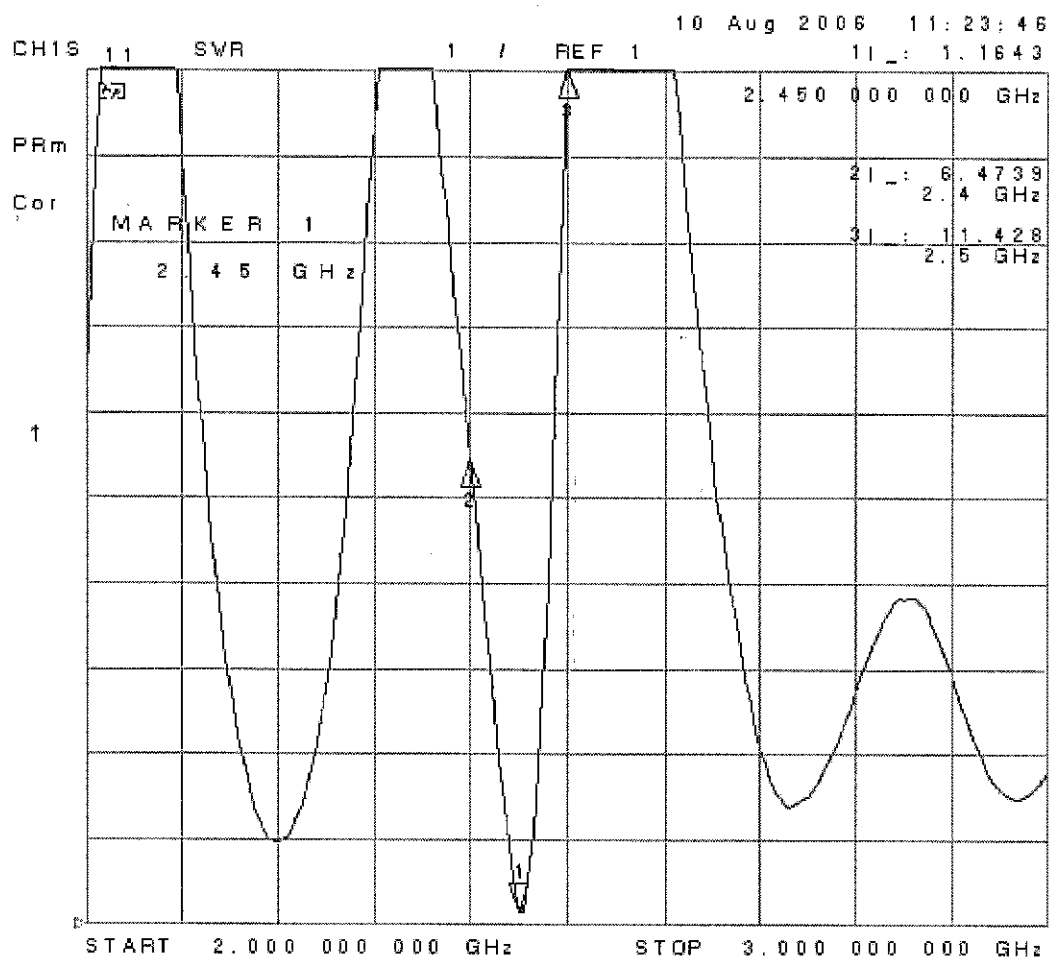
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของ 4 Column Cylindrical Helix Antenna Array

### 2. แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของ 4 Column Cylindrical Helix Antenna Array

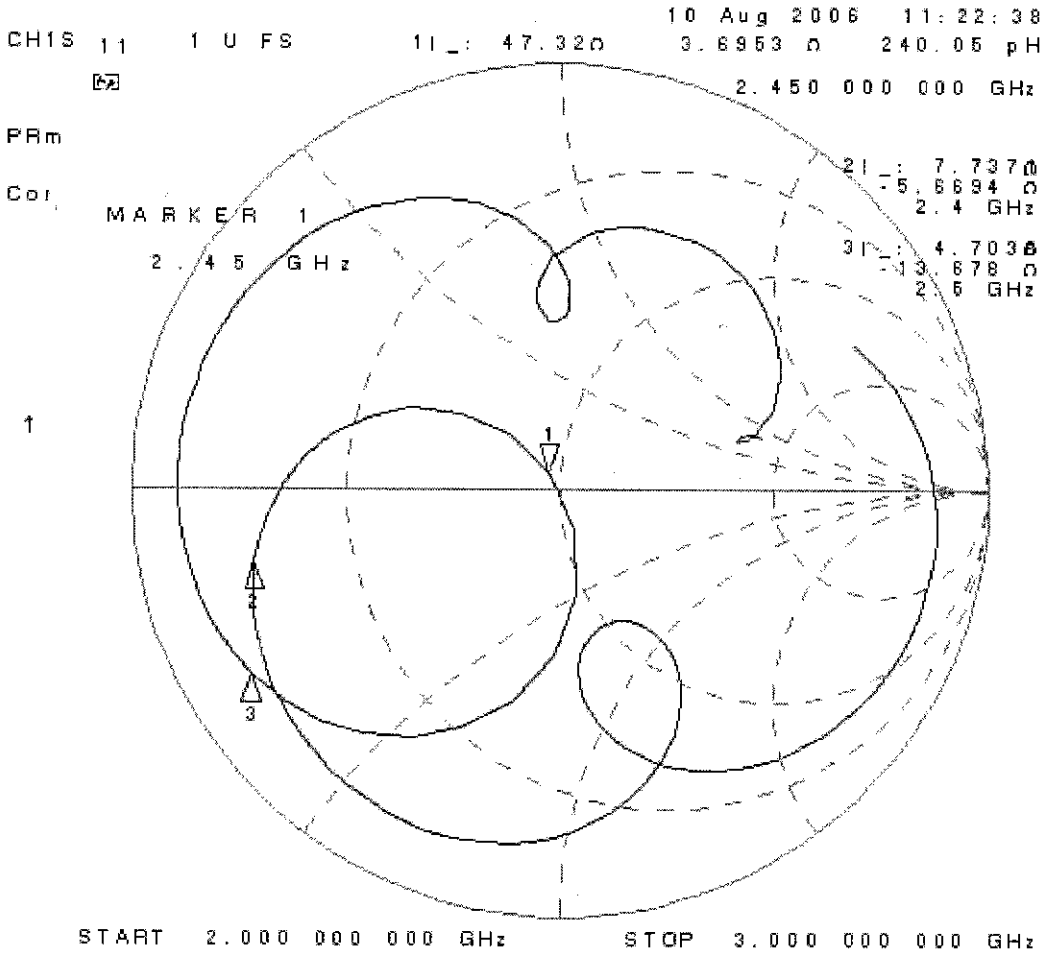
### 3. ผลการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง



สายอากาศมีค่า SWR ที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 1.1643

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของ 4 Column Cylindrical Helix Antenna Array

#### 4. ผลการวัดค่าอิมพีแดนซ์



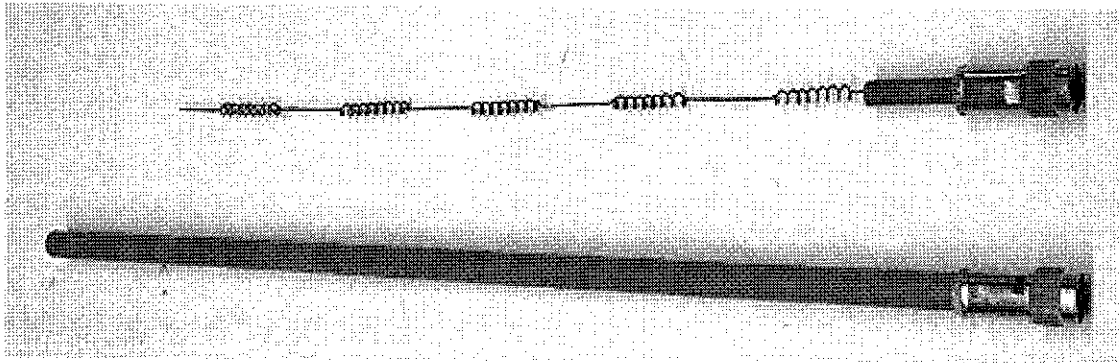
สายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ  $47.32 + j3.6953 \Omega$

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของ 4 Column Cylindrical Helix Antenna Array

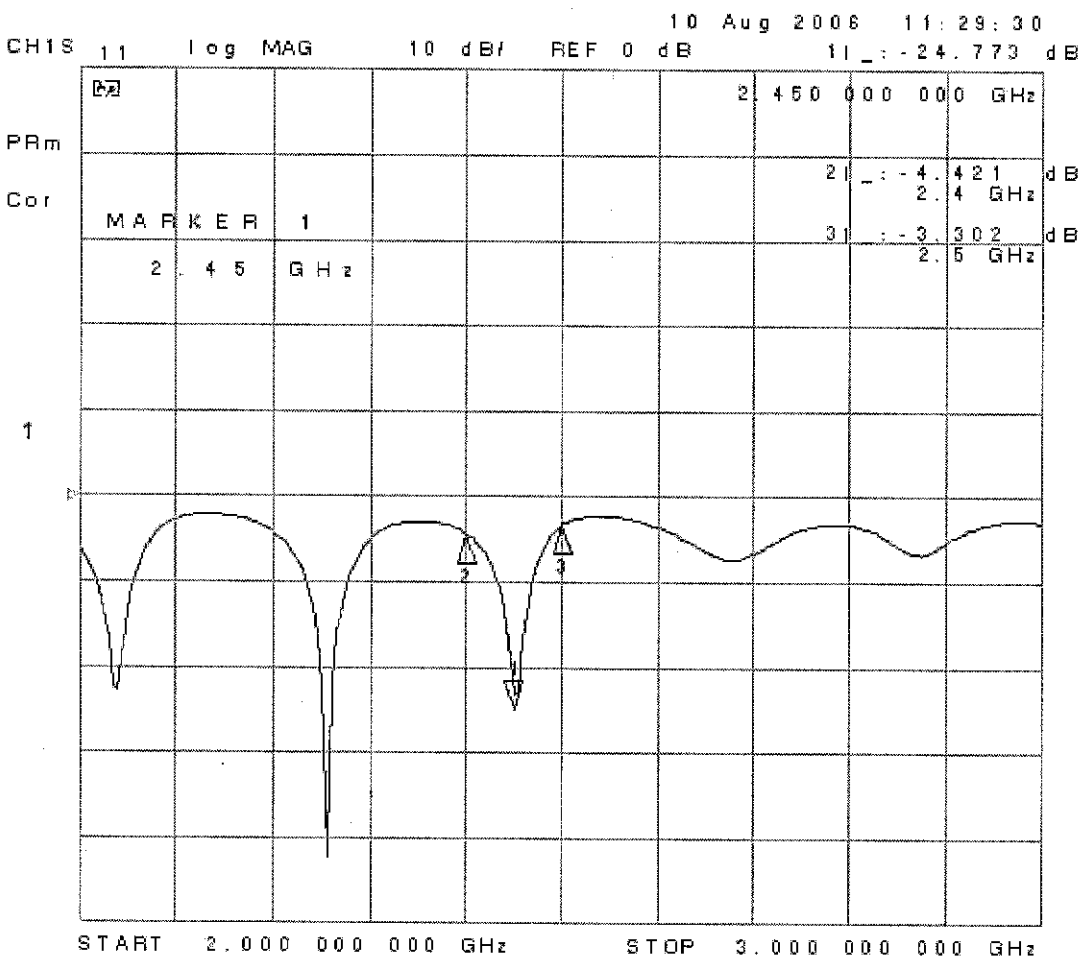
5. ผลการวัดค่าอัตราขยาย

สายอากาศมีค่าอัตราขยายที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 7 dB

สายอากาศตัวที่ 4 5 Column Cylindrical Helix Antenna Array



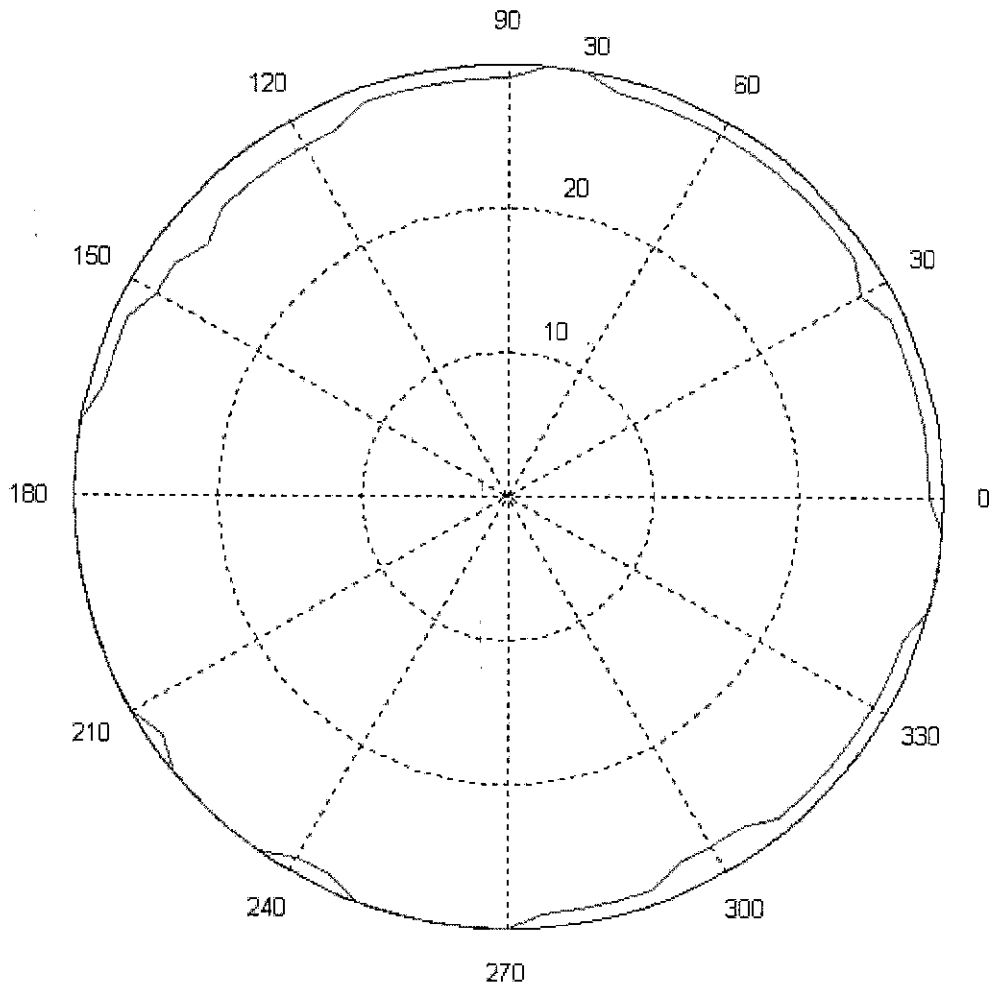
1. ค่าความเสียหายเนื่องจากการย้อนกลับ



สายอากาศมีค่าReturn Loss ที่ความถี่ 2.45 GHz ประมาณ -24 dB

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของ 5 Column Cylindrical Helix Antenna Array

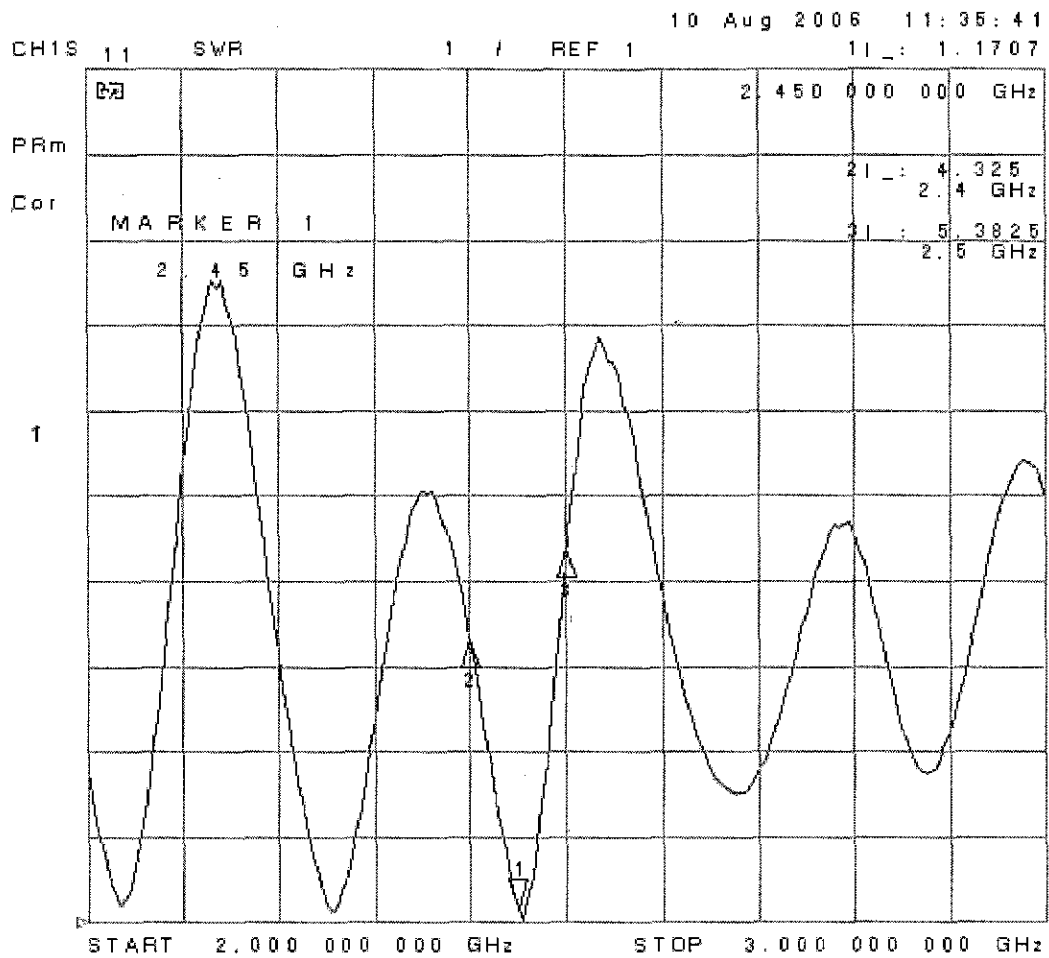
2. แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของ 5 Column Cylindrical Helix Antenna Array

### 3. ผลการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

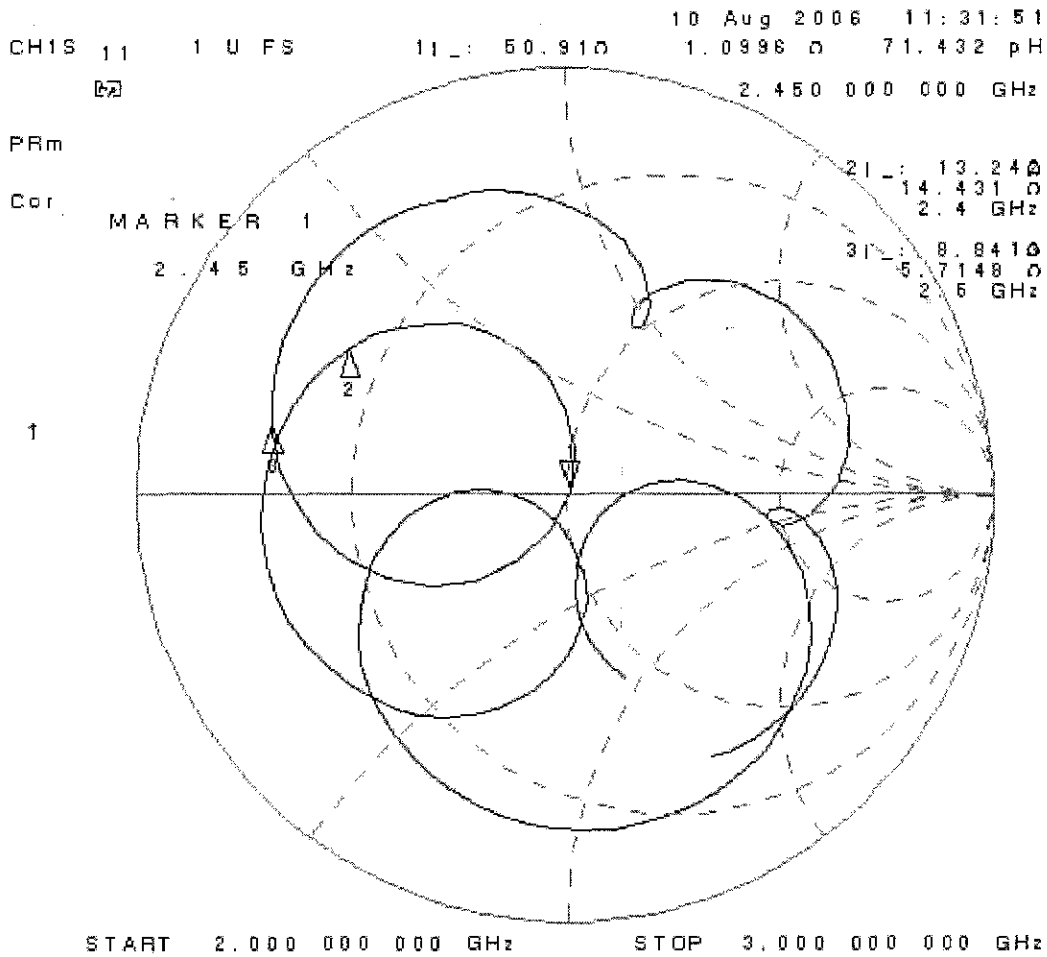




สายอากาศมีค่า SWR ที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 1.1707

รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของ 5 Column Cylindrical Helix Antenna Array

#### 4. ผลการวัดค่าอิมพีแดนซ์



สายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ  $50.91 + j1.0996 \Omega$

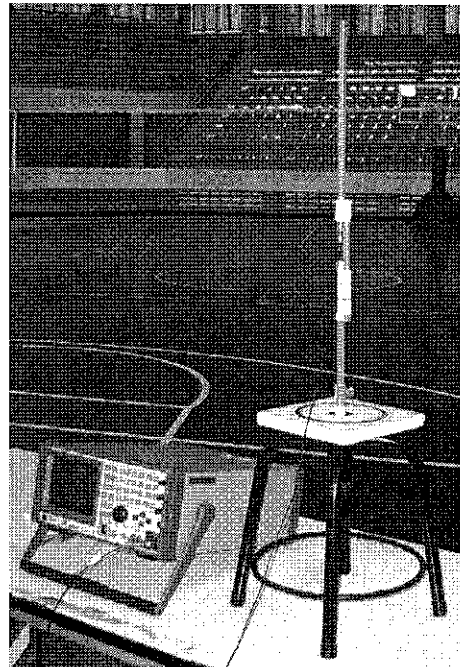
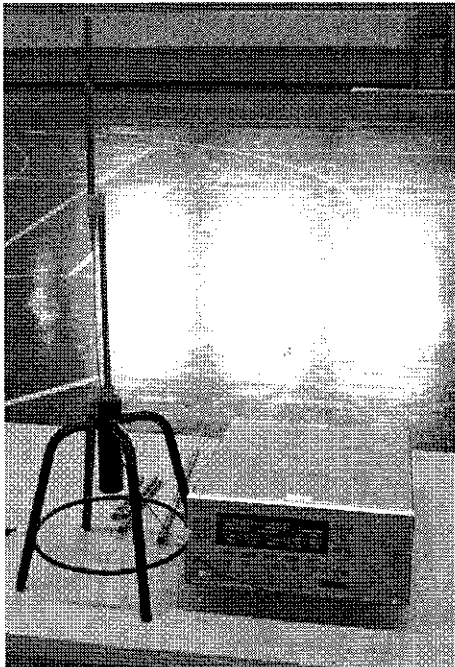
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของ 5 Column Cylindrical Helix Antenna Array

#### 5. ผลการวัดค่าอัตราขยาย

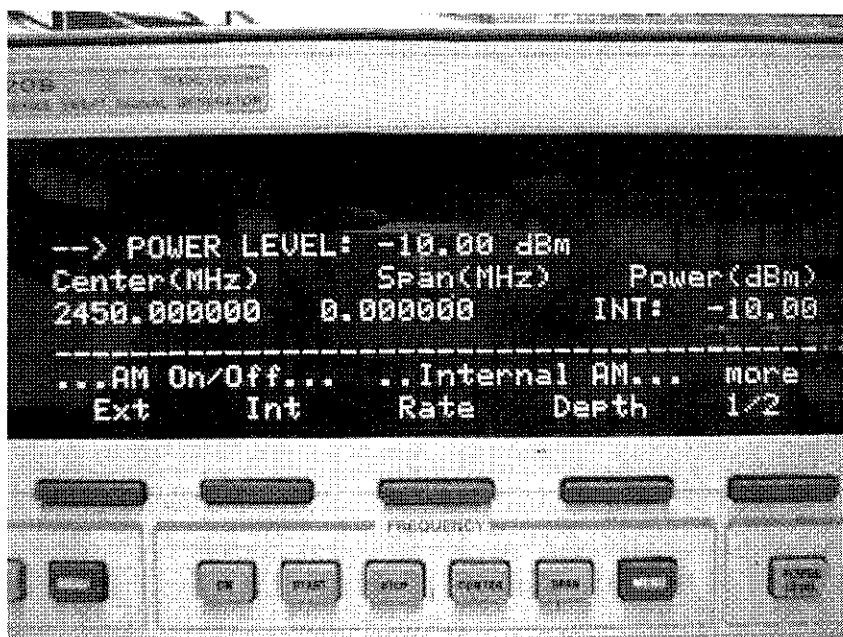
สายอากาศมีค่าอัตราขยายที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 8 dB

### 4.3 ขั้นตอนการวัด Radiation Pattern

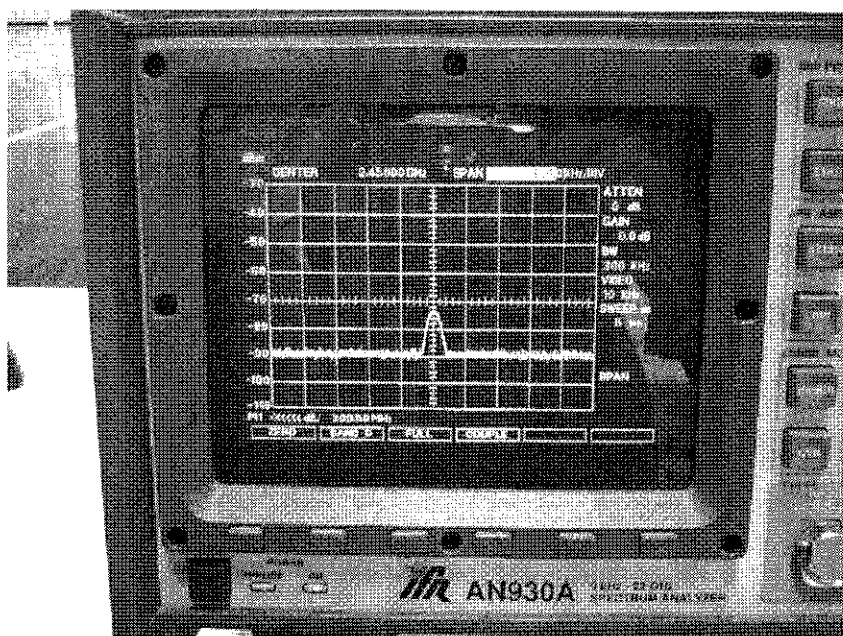
1. ที่ภาคส่ง ให้ต่อเครื่อง SIGNAL GENERATOR เข้ากับ Helix Antenna
2. ปรับเครื่อง SIGNAL GENERATOR ให้
  - Center Frequency ที่ 2.45 GHz
  - กำลังส่งที่ -10 dB
3. ที่ภาครับ ต่อเครื่อง SPECTRUM ANALYZER เข้ากับ Helix Antenna
4. ต่อ Helix Antenna ภาครับ เข้ากับแท่นองศา
5. ปรับเครื่อง SPECTRUM ANALYZER ให้
  - Center Frequency ที่ 2.45 GHz
  - Span 800 KHz/ DIV
6. วาง Helix Antenna ทั้งภาคส่งและภาครับ ห่างกัน 12.5 เมตร
7. เปิดเครื่อง SIGNAL GENERATOR และ SPECTRUM ANALYZER
8. บันทึกค่าจากเครื่อง SPECTRUM ANALYZER
9. หมุน Helix Antenna ภาครับ ไปที่ 5 องศา และ เพิ่มทีละ 5 องศา จนถึง 360 องศา



รูปที่ 4.18 รูปแสดงชุดสายอากาศภาครับและชุดสายอากาศภาคส่ง



รูปที่ 4.19 รูปแสดงหน้าจอของเครื่อง SIGNAL GENERATOR ขณะทำการส่งสัญญาณ



รูปที่ 4.20 รูปแสดงหน้าจอของเครื่อง SPECTRUM ANALYZER ขณะทำการส่งสัญญาณ

ตารางแสดงค่ากำลังงาน(dB) ที่วัดได้จากเครื่อง SPECTRUM ANALYZER

องศา	กำลังงาน(dB)			
	2	3	4	5
0	-77	-73	-70	-68
5	-77	-73	-70	-68
10	-78	-73	-69	-68
15	-78	-73	-69	-68
20	-78	-73	-69	-68
25	-78	-73	-69	-69
30	-78	-73	-69	-69
35	-78	-74	-69	-69
40	-78	-74	-70	-69
45	-78	-74	-71	-69
50	-78	-74	-71	-70
55	-77	-74	-71	-69
60	-77	-74	-71	-69
65	-77	-74	-70	-68
70	-77	-73	-70	-68
75	-77	-73	-70	-68
80	-76	-73	-69	-67
85	-76	-74	-69	-67
90	-75	-73	-70	-67
95	-76	-74	-70	-67
100	-76	-74	-70	-67
105	-77	-75	-70	-67
110	-77	-76	-70	-67
115	-76	-76	-70	-67
120	-75	-76	-70	-67
125	-75	-76	-71	-68
130	-75	-75	-71	-67
135	-75	-75	-71	-67
140	-76	-76	-72	-67
145	-76	-76	-71	-67
150	-76	-76	-70	-68
155	-76	-75	-71	-68
160	-75	-74	-70	-67
165	-75	-74	-70	-67
170	-75	-74	-70	-67
175	-75	-73	-69	-67
180	-76	-73	-69	-67

องศา	กำลังงาน(dB)			
	2	3	4	5
185	-76	-73	-69	-68
190	-76	-73	-69	-68
195	-76	-73	-69	-68
200	-76	-74	-70	-68
205	-75	-74	-70	-69
210	-75	-74	-70	-69
215	-75	-74	-70	-69
220	-75	-73	-70	-68
225	-75	-73	-69	-68
230	-75	-73	-70	-68
235	-75	-73	-70	-68
240	-75	-74	-69	-68
245	-75	-73	-69	-68
250	-76	-74	-69	-68
255	-76	-74	-69	-67
260	-77	-73	-69	-67
265	-77	-73	-69	-67
270	-76	-74	-69	-68
275	-76	-74	-69	-68
280	-76	-75	-69	-68
285	-76	-76	-69	-68
290	-76	-76	-69	-68
295	-75	-76	-69	-68
300	-75	-76	-69	-69
305	-75	-77	-70	-68
310	-76	-77	-70	-68
315	-76	-77	-70	-68
320	-76	-76	-70	-68
325	-75	-76	-71	-68
330	-75	-75	-71	-68
335	-75	-74	-71	-68
340	-76	-73	-70	-68
345	-76	-73	-70	-68
350	-76	-74	-69	-67
355	-76	-74	-69	-67
360	-77	-73	-70	-68
-	-	-	-	-

#### 4.4 การคำนวณหาค่าอัตราขยาย

จากสูตร

$$(G_{ot})_{dB} + (G_{or})_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log \left( \frac{P_r}{P_t} \right)$$

+ ค่าความสูญเสียของสายนำสัญญาณ

แทนค่าลงในสูตร สำหรับสายอากาศ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array มีค่ากำลังงานภาครับ ( $P_r$ ) เฉลี่ยเท่ากับ -76 dB ค่ากำลังงานภาคส่ง ( $P_t$ ) เท่ากับ -10 dB ระยะระหว่างสายอากาศทั้งสอง ( $R$ ) เท่ากับ 12.5 เมตร ความยาวคลื่นของสัญญาณที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ 0.12245 เมตร ค่าความสูญเสียของสายนำสัญญาณเท่ากับ 12 dB

หลังจากคำนวณเสร็จ สมการด้านขวามือจะมีค่าเท่ากับ 8 dB ซึ่งสมการด้านซ้ายมือคือผลบวกของอัตราขยายของสายอากาศภาครับและภาคส่ง แต่เราใช้สายอากาศทั้งภาครับและภาคส่งที่มีค่าอัตราขยายเท่ากัน เพราะฉะนั้นอัตราขยายของสายอากาศ 2 Column Cylindrical Helix Antenna Array จะมีค่าเท่ากับ 4 dB

สำหรับการคำนวณค่าอัตราขยายของสายอากาศ อีก 3 ตัวจะใช้วิธีการเดียวกันนี้ ซึ่งสายอากาศ Array ที่มี 3, 4 และ 5 Column มีค่ากำลังงานภาครับ ( $P_r$ ) เฉลี่ยเท่ากับ -74, -70 และ -68 dB จะมีค่าอัตราขยายเท่ากับ 5, 7 และ 8 dB ตามลำดับ

## 4.5 สรุป

### สรุปการวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

จากการวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศทั้ง 4 ตัว พบว่าสายอากาศมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ได้มีค่ามากกว่า 15 dB ซึ่งแสดงว่าสามารถนำสายอากาศทั้ง 4 ตัว ไปใช้งานได้

### สรุปผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

จากผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศทั้ง 4 ตัว ให้ผลที่สอดคล้องกับผลที่ได้จากการคำนวณจากโปรแกรม IE3D ในบทที่ 3 แต่มีความคลาดเคลื่อนบ้าง เนื่องจากการจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมนั้น ไม่มีส่วนของแมตซึ่งอยู่แต่ในสายอากาศที่สร้างจริงนั้น มีผลกระทบจากส่วนของแมตซึ่ง ส่งผลให้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

### สรุปผลการวัดค่า SWR

จากการวัดค่า SWR ของสายอากาศทั้ง 4 ตัว พบว่าสายอากาศมี ค่า SWR ที่ให้ค่าไม่เกิน 1.5 dB ซึ่งแสดงว่าสามารถนำสายอากาศทั้ง 4 ตัว ไปใช้งานได้

### สรุปการวัดค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้า

สายอากาศที่ทำการทดสอบทุกตัวมีค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าประมาณ 50 โอห์ม ซึ่งแสดงว่าสามารถนำสายอากาศทั้ง 4 ตัว ไปใช้งานได้

### สรุปการวัดค่าอัตราขยาย

จากการวัดค่าอัตราขยายจะเห็นได้ว่า ถ้าเราวัดค่าสายอากาศที่มีแถวลำคับน้อย จะมีค่าอัตราขยายอยู่ที่ค่าๆหนึ่ง ซึ่งสามารถยอมรับได้ แต่เมื่อเรานำสายอากาศมาเพิ่มแถวลำคับมากขึ้นจะเห็นว่า มีค่าอัตราขยายจะเพิ่มขึ้นซึ่งตรงกับทฤษฎี

### สรุป

จากรูปแบบทาง โครงสร้างและขนาดของสายอากาศที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรม IE3D ในบทนี้ ได้ทำการแมตซ์สายอากาศ เพื่อให้ได้ความต้านทาน 50 โอห์ม เท่ากับ SMA เพื่อทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ อินพุตอิมพีแดนซ์ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน และ ค่า

อัตราขยาย ซึ่งพบว่าค่าที่ได้จากการทดสอบค่อนข้างเป็นไปตามทฤษฎี ทำให้สายอากาศทั้ง 4 ตัวนี้มีคุณสมบัติเป็นสายอากาศเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ย่านความถี่ 2.4 GHz – 2.5GHz ได้



## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### บทสรุป

โครงการฉบับนี้เป็นการศึกษาสายอากาศสำหรับเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) โดยได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศสำหรับใช้งานในเครือข่ายไร้สาย ได้แก่ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern), อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance), อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing-Wave Ratio หรือ SWR), ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return loss) และอัตราขยาย (Gain)

ในเชิงทฤษฎีได้นำโปรแกรม IE3D เข้ามาวิเคราะห์ โดยตัวโปรแกรมสามารถใช้ในการคำนวณหาแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน อิมพีแดนซ์ด้านเข้า อัตราส่วนคลื่นนิ่ง ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

การวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศในโครงการฉบับนี้จะเริ่มจากอิมพีแดนซ์ด้านเข้า และแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศแบบ Cylindrical Helix Antenna ซึ่งทำให้มีความรู้และเข้าใจในพื้นฐานของอิทธิพลจากขนาดพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศที่มีต่อแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานและอิมพีแดนซ์ด้านเข้า ในส่วนของการออกแบบเพื่อจะนำสายอากาศไปใช้งาน สิ่งสำคัญนั่นคือจะต้องทำให้สายอากาศมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบนั้นๆ และเงื่อนไขที่ได้นำมาพิจารณาในการออกแบบสายอากาศนั้นก็คือแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน อัตราส่วนคลื่นนิ่ง ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีทั้งหมดทำโดยโปรแกรม IE3D

จากบทที่ 4 ได้แสดงผลการทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน อิมพีแดนซ์ด้านเข้า อัตราส่วนคลื่นนิ่ง ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับและอัตราขยายของสายอากาศที่ได้ศึกษาและสร้าง จะพบว่าผลการทดสอบนั้นเป็นที่ยอมรับได้ คือค่อนข้างตรงตามทฤษฎี และตามความต้องการของสายอากาศที่จะใช้งานจริง อย่างไรก็ตามยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง อันเนื่องมาจากข้อจำกัดทางการคำนวณด้วยโปรแกรม และสถานะแวดล้อมที่มีผลต่อการทดสอบสายอากาศ ดังนั้นจึงเกิดความไม่สะดวกอย่างมากในการทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ

## ข้อเสนอแนะ

สำหรับสายอากาศแบบ Cylindrical Helix Antenna ที่ได้ทำการทดสอบนี้ มีความคลาดเคลื่อนไปจากผลที่คำนวณได้จากโปรแกรม IE3D อยู่พอสมควร ทั้งนี้เป็นผลจากสภาพแวดล้อมและอุปกรณ์ในการทดสอบ สำหรับกรณีแรก การทดสอบสายอากาศที่คืนั้น ควรจะหาพื้นที่โล่งและกว้างพอสมควร เพื่อลดปัญหาการบังหรือสะท้อนของคลื่นระหว่างสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าที่แท้จริงมากที่สุด ในการวัดเพื่อบันทึกค่านั้น ควรทำการวัดอย่างน้อย 2 ครั้ง เพื่อจะได้ค่าที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง กรณีที่สองสายอากาศแบบ Cylindrical Helix Antenna ที่ได้ออกแบบในโครงการนี้ เนื่องจากในส่วนของ การจำลองด้วยโปรแกรม IE3D ไม่มีส่วนของแมตซ์ซิ่ง(matching) แต่เมื่อทำการสร้างสายอากาศต้นแบบที่จะนำไปใช้งานได้จริง จำเป็นต้องมีส่วนของแมตซ์ซิ่งปรากฏว่าส่วนของแมตซ์ซิ่งนี้มีผลกระทบต่อแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ทำให้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากการคำนวณด้วยโปรแกรม จึงควรจะมีการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป

## บรรณานุกรม

- [1] Constantine A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, INC. 1982
- [2] ผศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สวรรค์, Antenna Engineering, from <http://sut.ac.th/e-text/antennas>, 2004
- [3] IE3D User's Guide, from <http://www.Zeland.com>
- [4] ไม่น้อย ไกรฤกษ์, วิศวกรรมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ, 2544.
- [5] ผศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สวรรค์, ทฤษฎีสายอากาศ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา, 2547

## ประวัติผู้เขียน

นายวรพงษ์ รัตน์จิโรจน์ เกิดเมื่อวันพฤหัสบดีที่ 21 กรกฎาคม พ.ศ. 2526 ภูมิลำเนาอยู่ที่ แขวงคลองมหานาค เขต ป้อมปราบศัตรูพ่าย จังหวัด กรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลาย จากโรงเรียนเทพศิรินทร์ เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย จังหวัดกรุงเทพฯ เมื่อปี พ.ศ. 2545 ปัจจุบันเป็นนัก ศึกษาชั้นปีที่ 5 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี

นายเกรียงศักดิ์ เจริญคุณ เกิดเมื่อวันจันทร์ที่ 4 กันยายน พ.ศ. 2521 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบล โนนหัน อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนขอนแก่น- วิทยายน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2540 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 5 สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

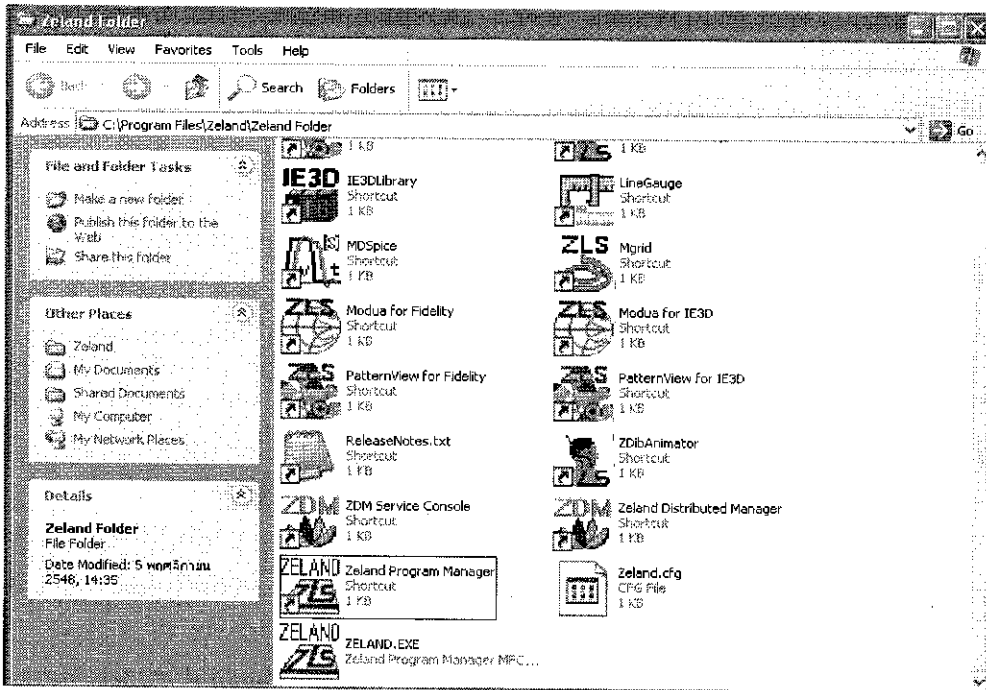
นายสหเทพ ศรีโพธิ์ เกิดเมื่อวันเสาร์ที่ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลพลูตา- หลวง อำเภอเสตังหีบ จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสิงห์- สมุทร อำเภอเสตังหีบ จังหวัดชลบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2545 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 5 สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## ภาคผนวก ก.

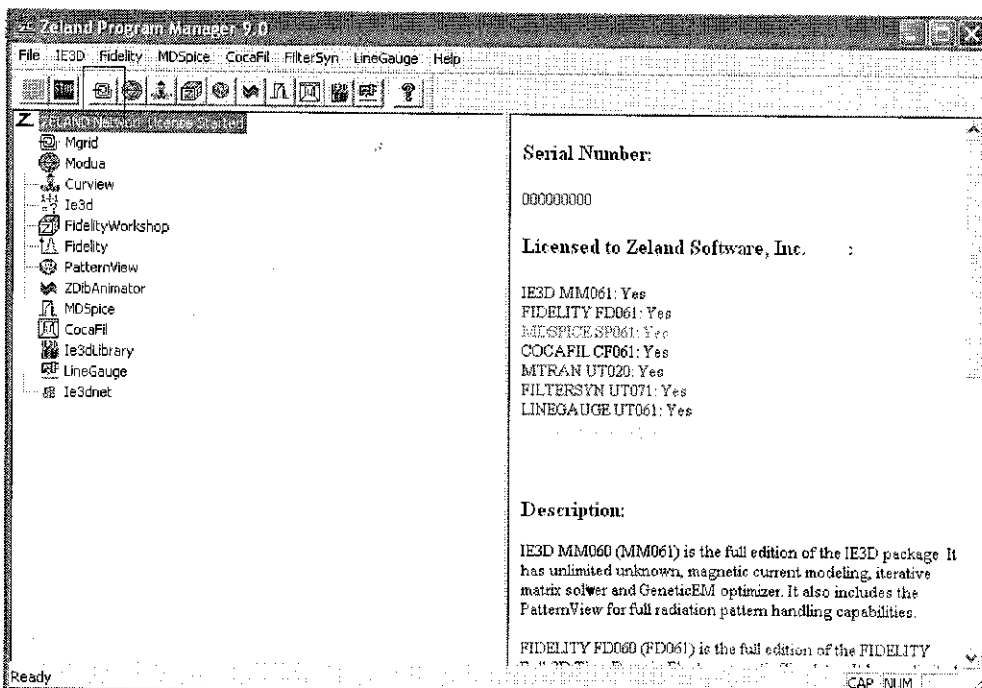
การจำลองสายอากาศแบบ Cylindrical Helix Antenna โดยใช้โปรแกรม IE3D

## 1. การเข้าใช้งานโปรแกรม

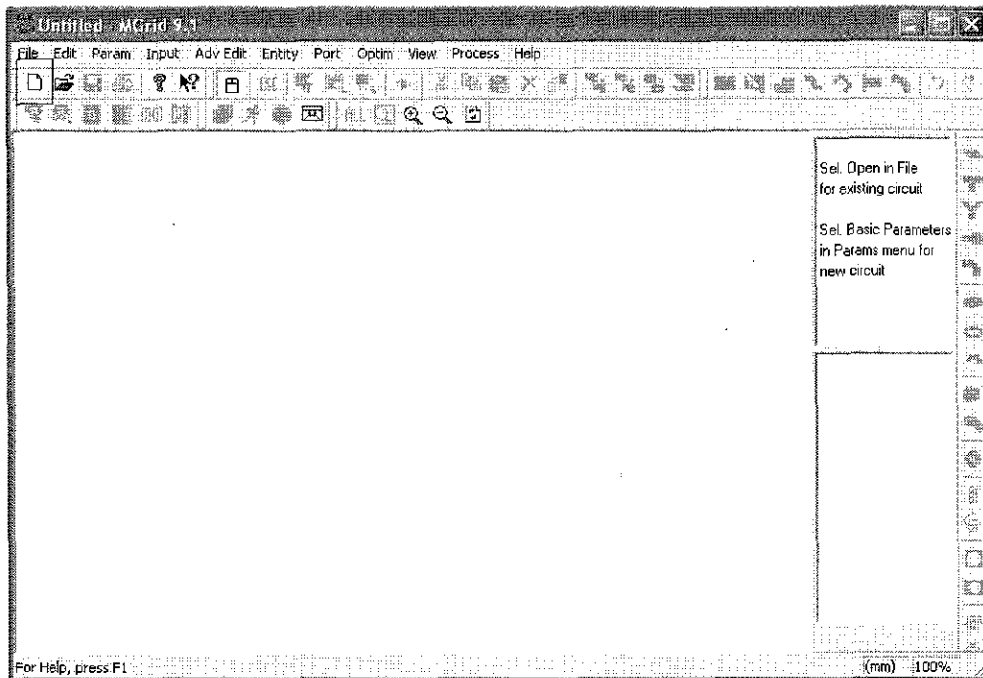
ดับเบิลคลิกที่ไอคอนโปรแกรม IE3D จะเห็นหน้าจอโปรแกรม ดังรูปที่ 1



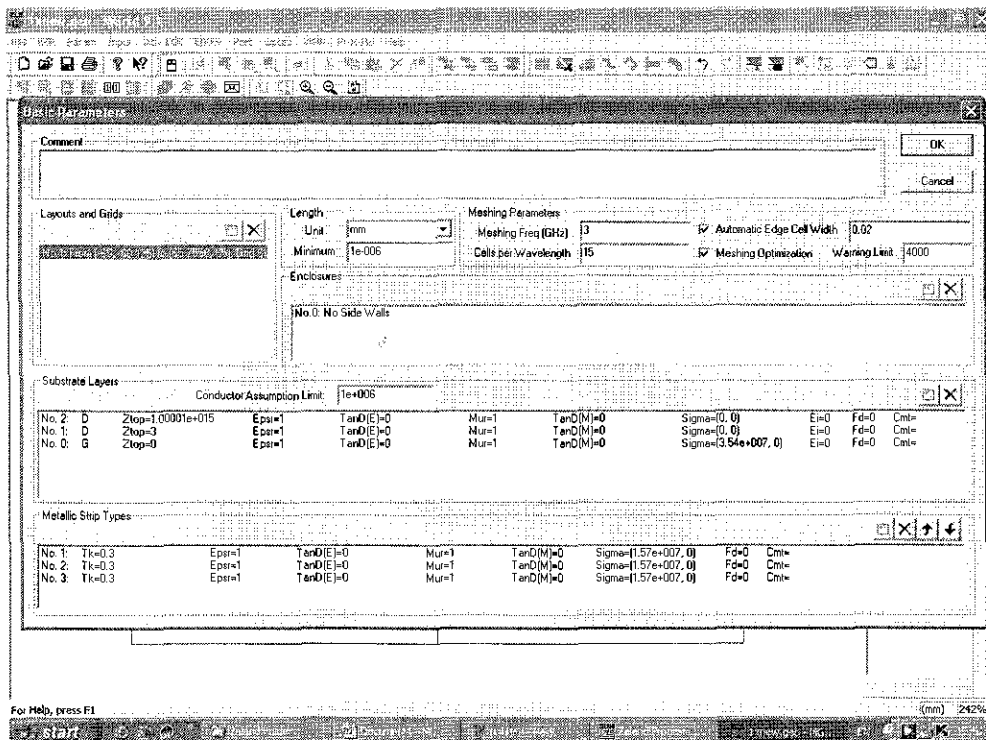
## 2. คลิกที่ไอคอนดังรูปที่ 2



3.คลิกที่ไอคอนดังรูปที่ 2 หรือไปที่ File → New เพื่อตั้งค่า Basic Parameter

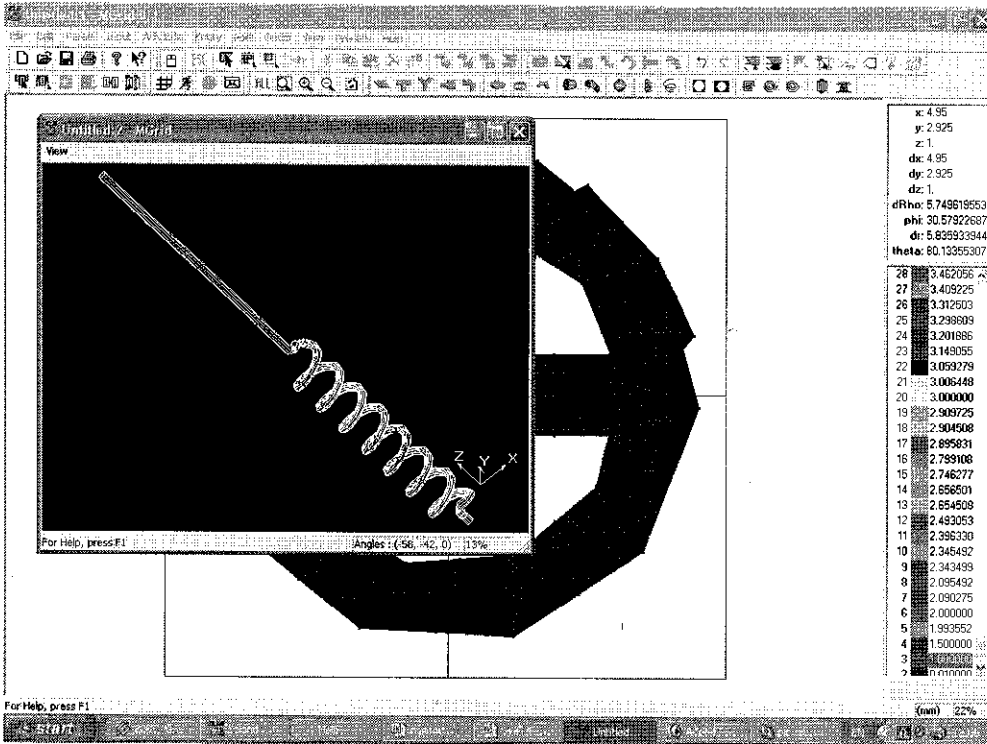


4. ตั้งค่า Basic Parameter โดยตั้งค่า Grid, Substrate layer และ Metallic layer แล้วกด OK

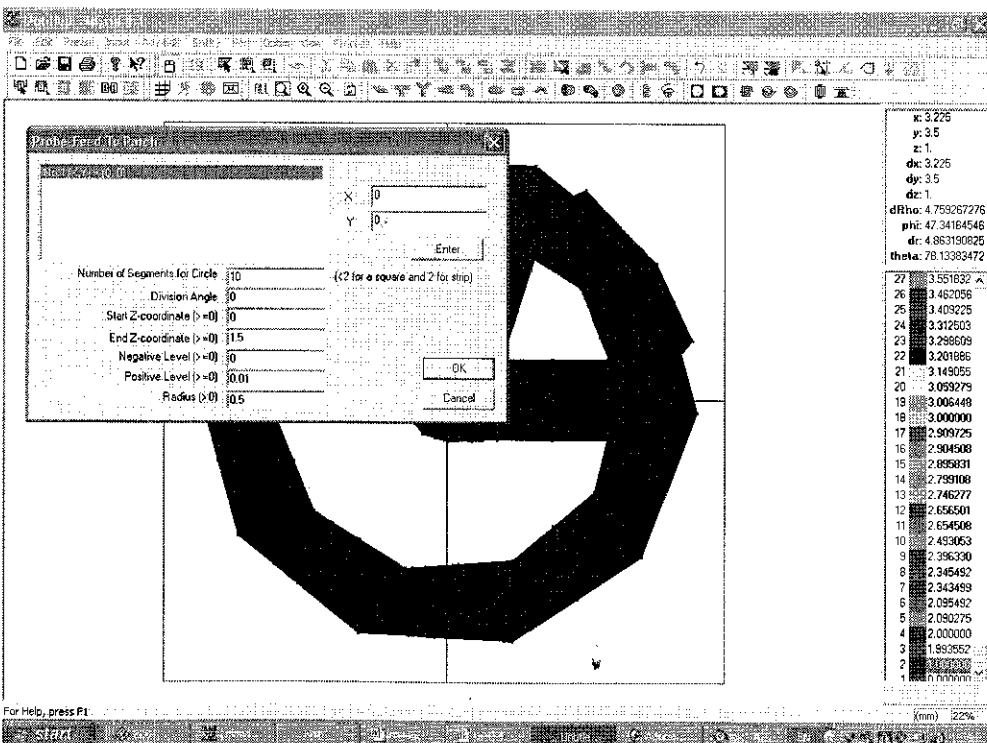




## 7. โปรแกรมสามารถแสดงรูปของชิ้นงานในลักษณะ 3D

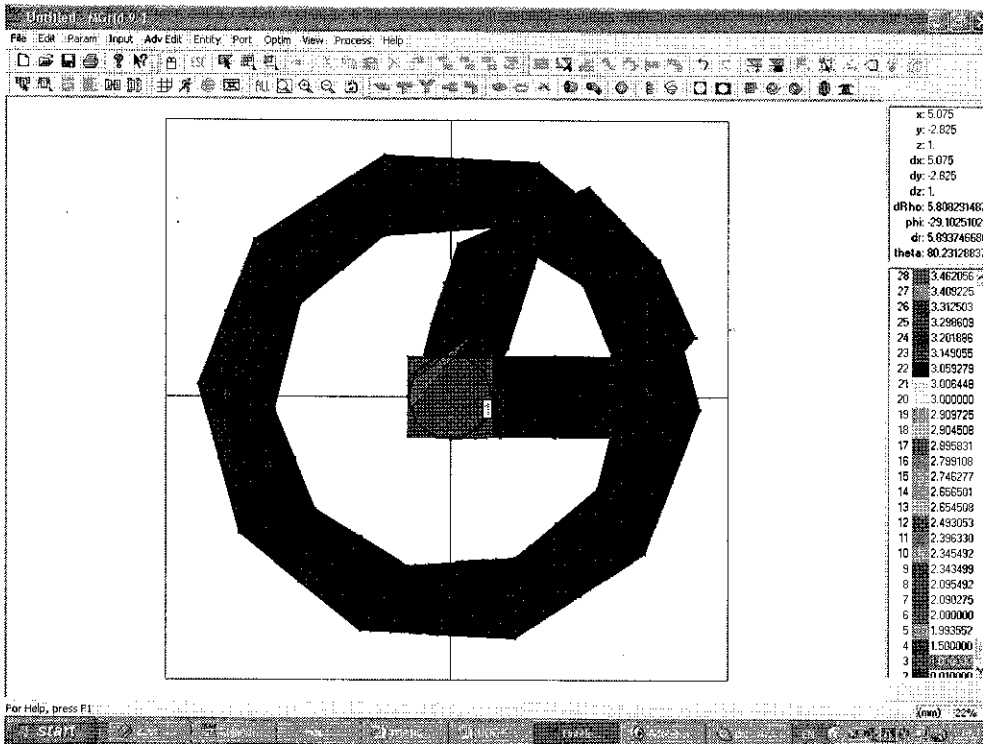


## 8. สร้างจุด Feed ให้ชิ้นงาน โดยเลือกเมนู Probe Feed To Patch ใส่ค่าพารามิเตอร์ให้ครบดังรูป แล้ว กด OK

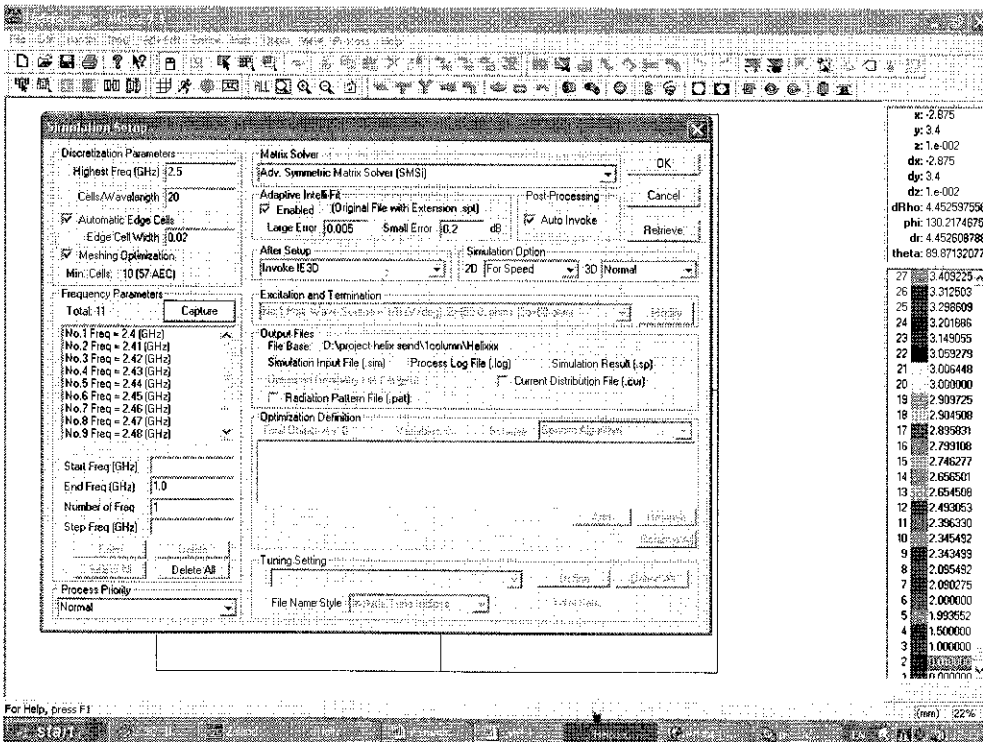




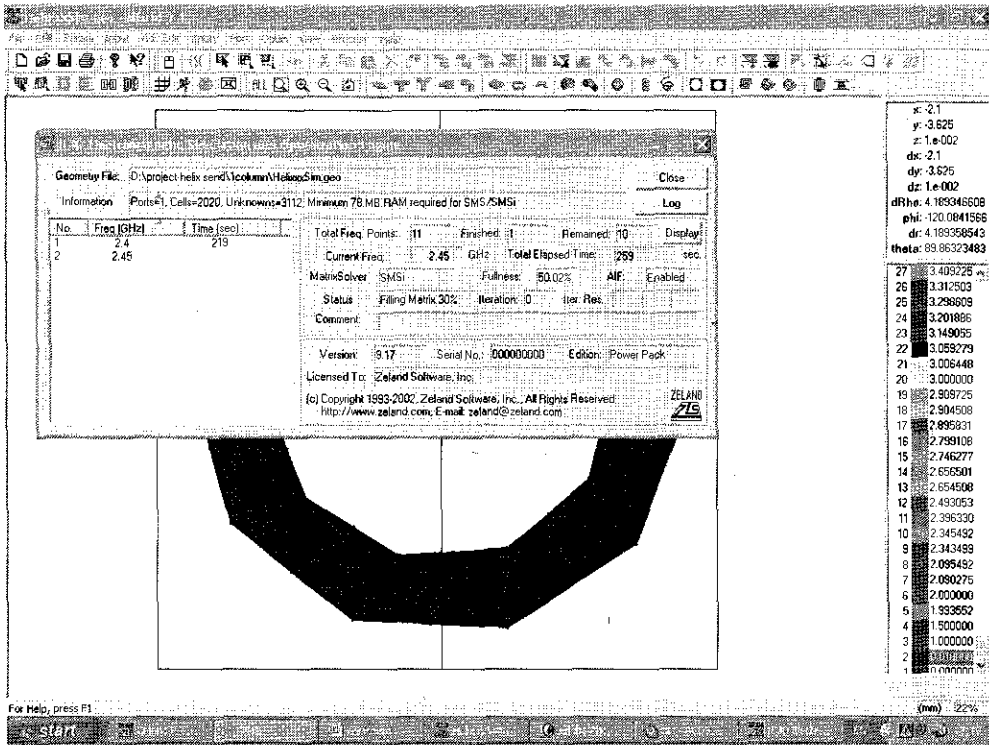
9. จุด Feed ของชิ้นงานแสดงดังรูป หลังจากนั้น Save ชิ้นงาน จะได้ชิ้นงานที่พร้อม Simulate



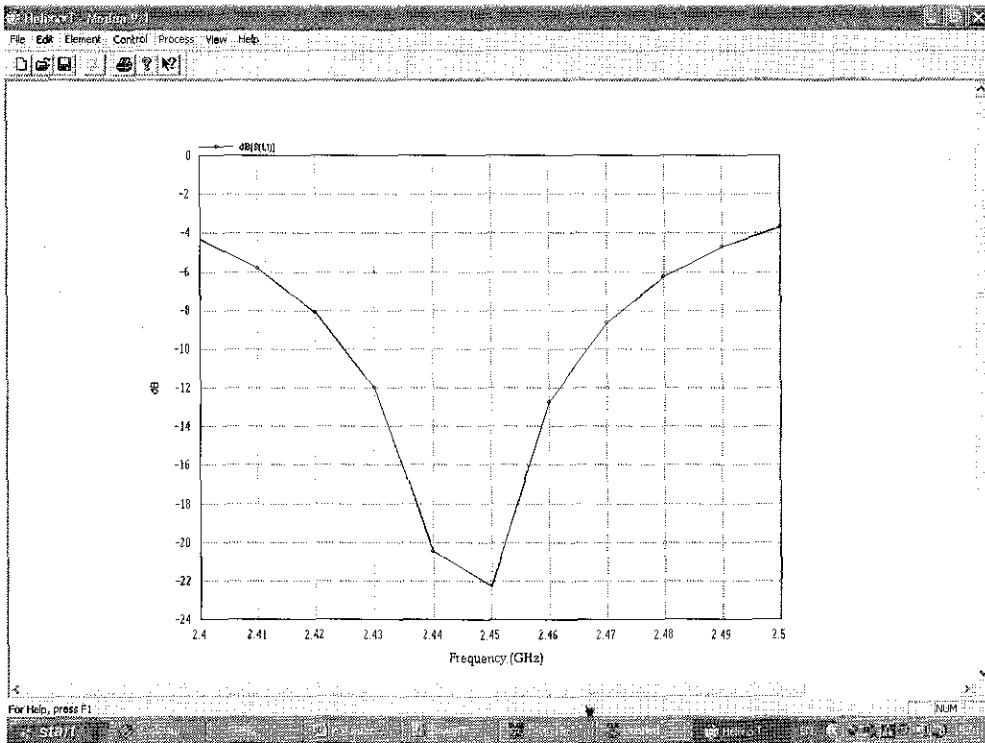
10. เปิดเมนู Simulate แล้วตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ครบดังรูป แล้วกด OK เพื่อเริ่มการ Simulate



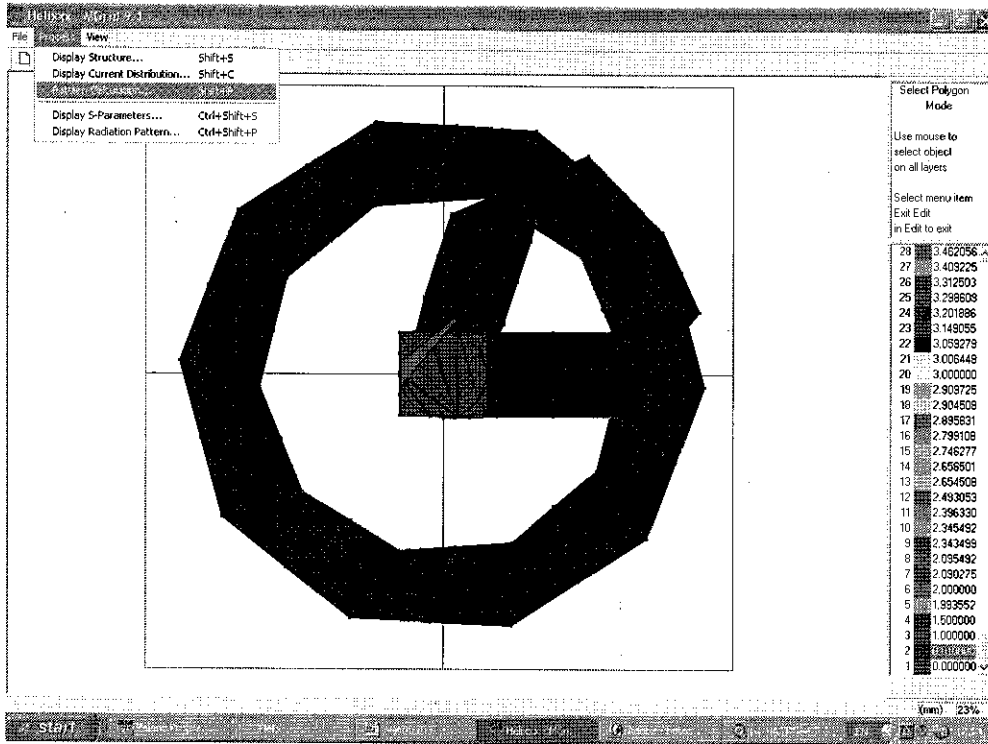
11. รูปแสดงขณะที่โปรแกรมกำลังทำการ Simulate



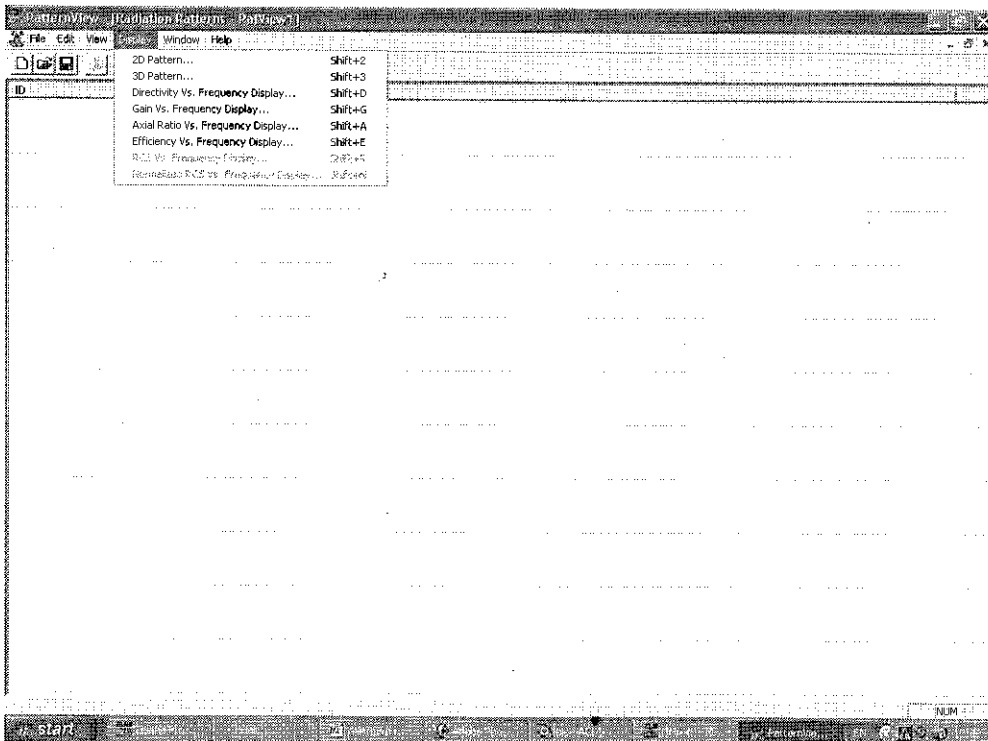
12. รูปแสดง S – Parameter หลังการ Simulate เสร็จสมบูรณ์



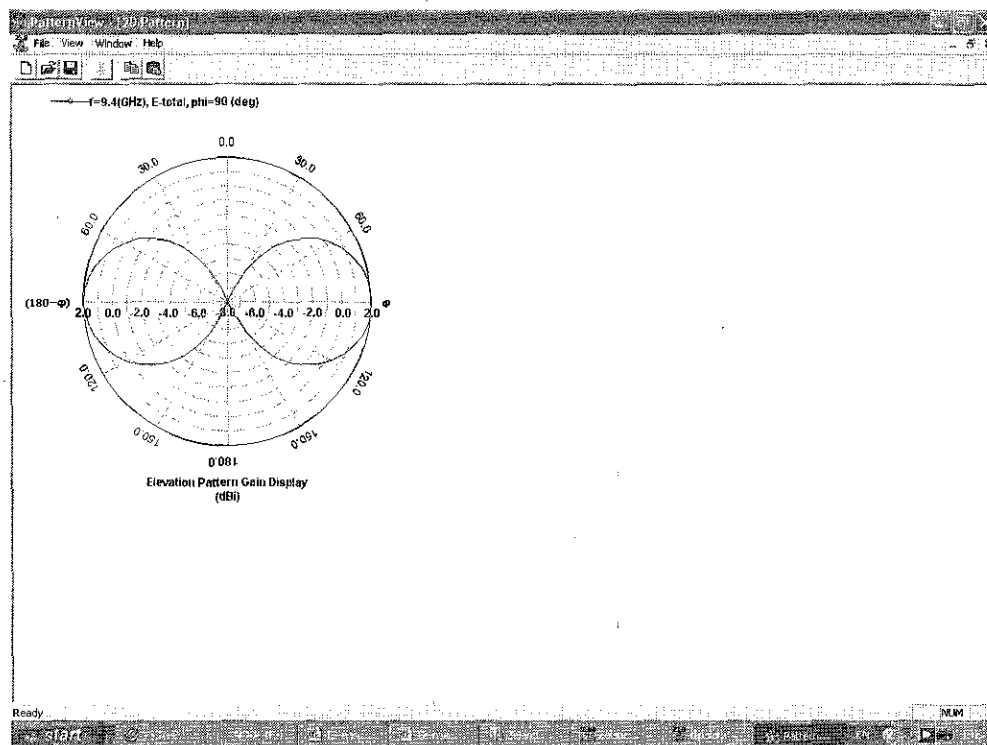
### 13. เปิดไฟล์นามสกุล ico ขึ้นมาแล้วทำการ Pattern Calculation



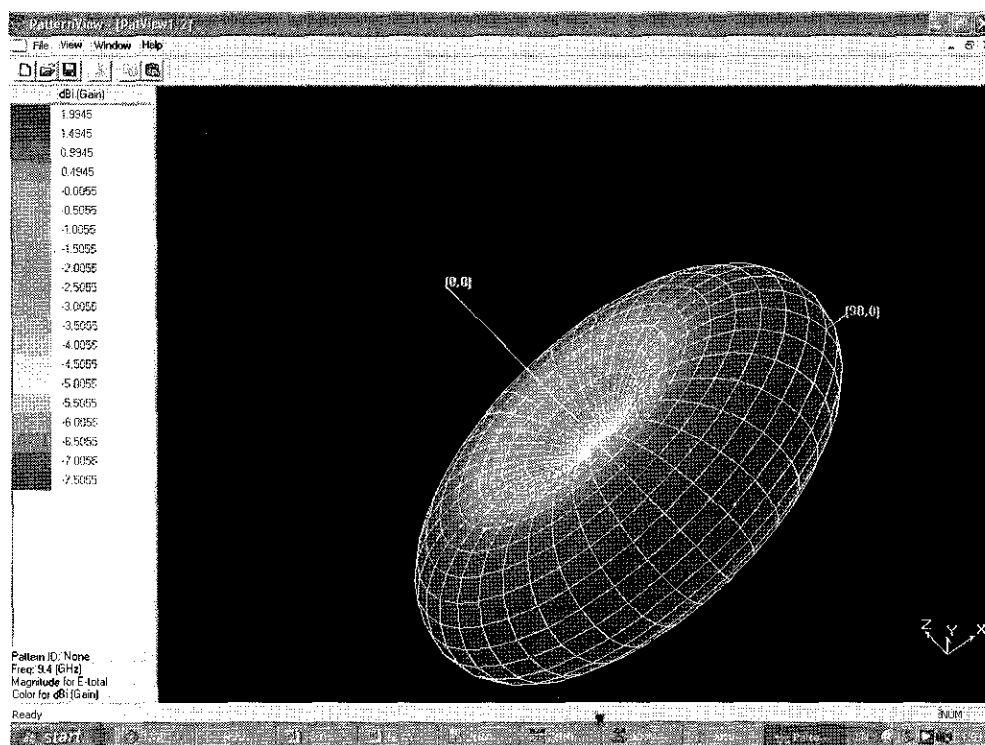
### 14. เปิดไฟล์นามสกุล pat ขึ้นมาแล้วเลือกการแสดงผลเป็น 2D หรือ 3D



## 15. รูปแสดง 2D Pattern

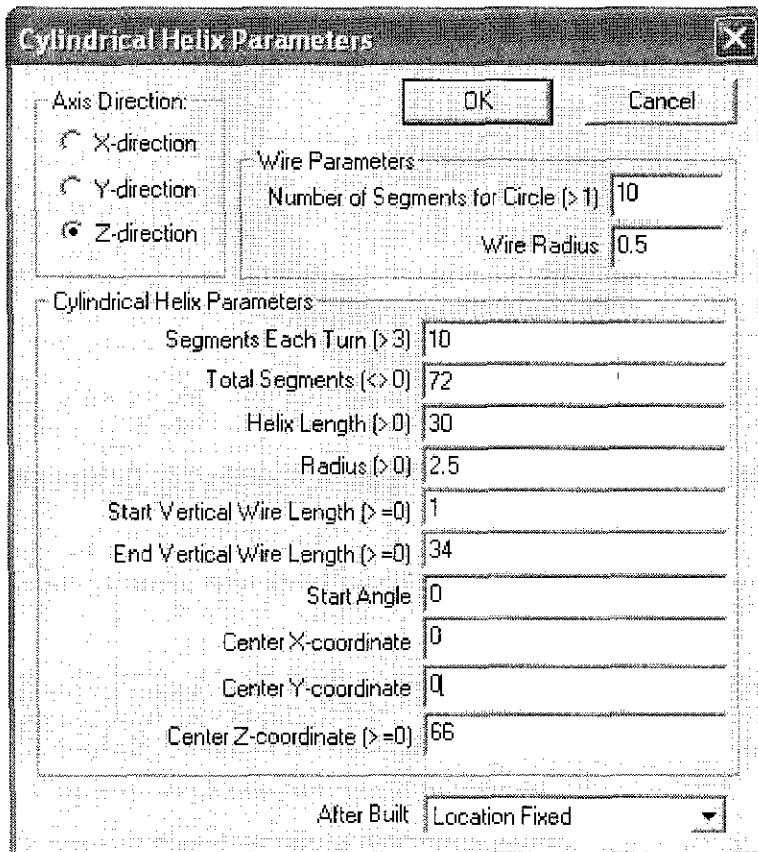


## 16. รูปแสดง 3D Pattern



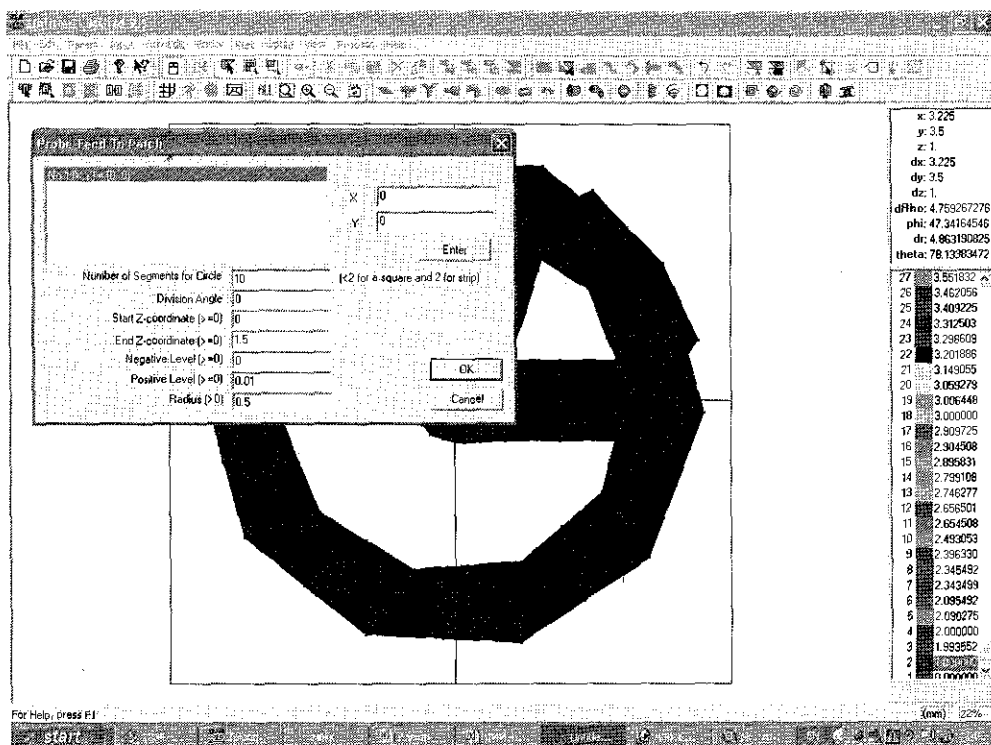
## การทำ ARRAY

1. สร้างชิ้นงานแบบ Cylindrical Helix ชั้นที่2 ต่อจากชั้นแรกให้ใส่ค่าพารามิเตอร์ให้ครบดังรูป แล้วกด OK (โดยแตกต่างตรงค่าแกน Z ซึ่งเราสามารถกำหนดค่าแกน Z ให้มีค่าเท่ากับค่าจุดสูงสุดของแกน Z ชั้นแรก )

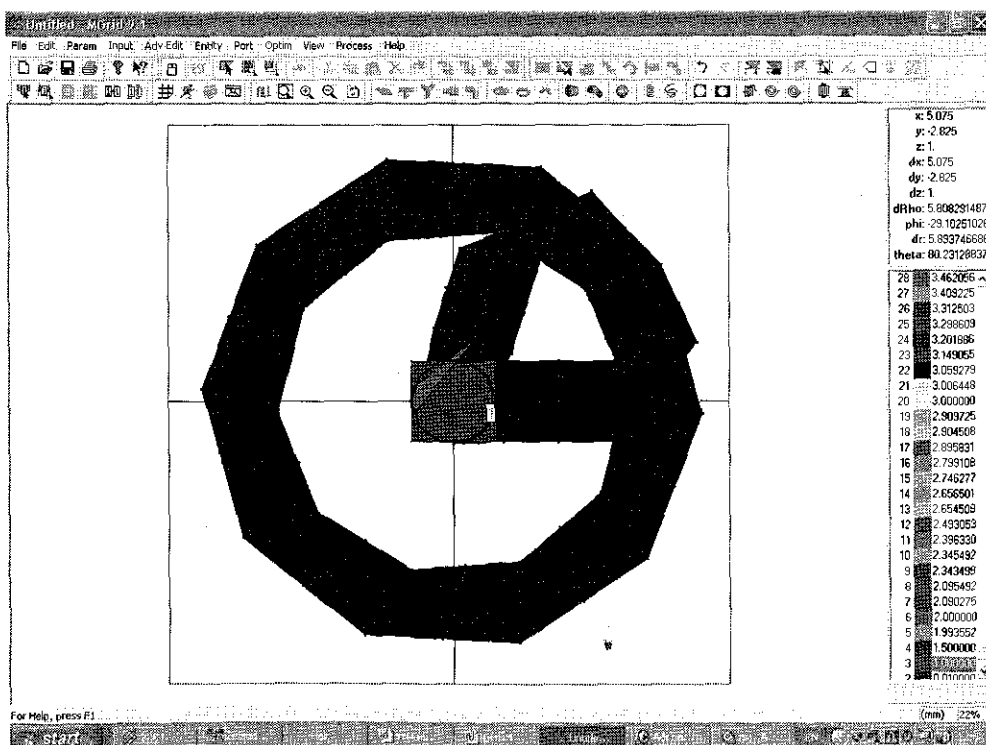




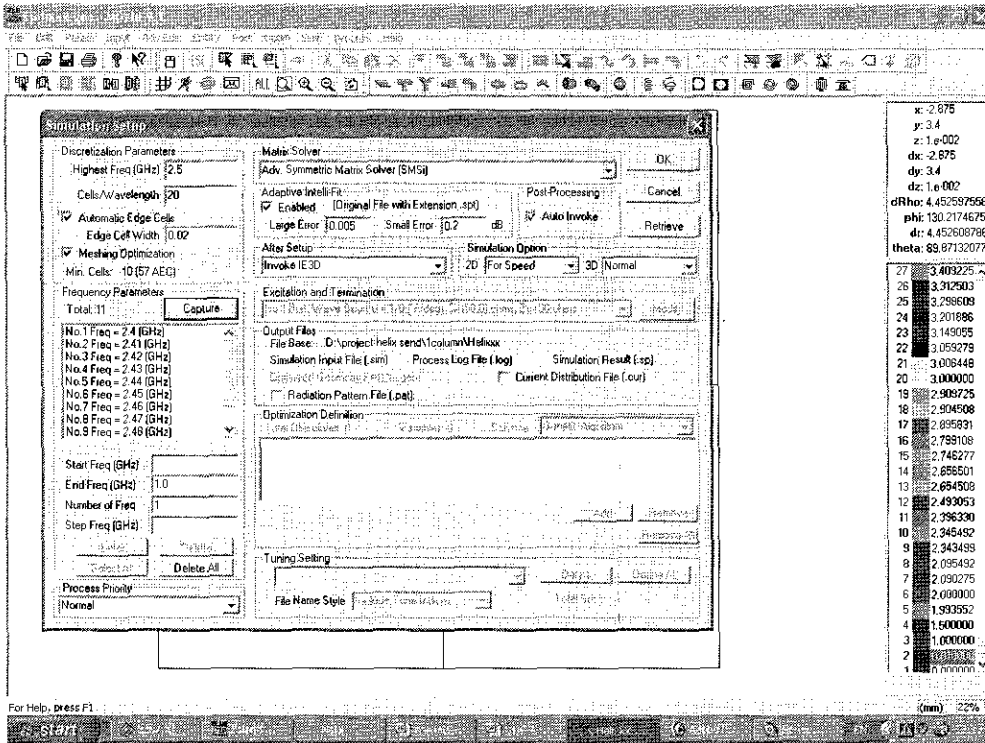
4. สร้างจุด Feed ให้ชิ้นงาน โดยเลือกเมนู Probe Feed To Patch ใส่ค่าพารามิเตอร์ให้ครบดังรูป แล้วกด OK



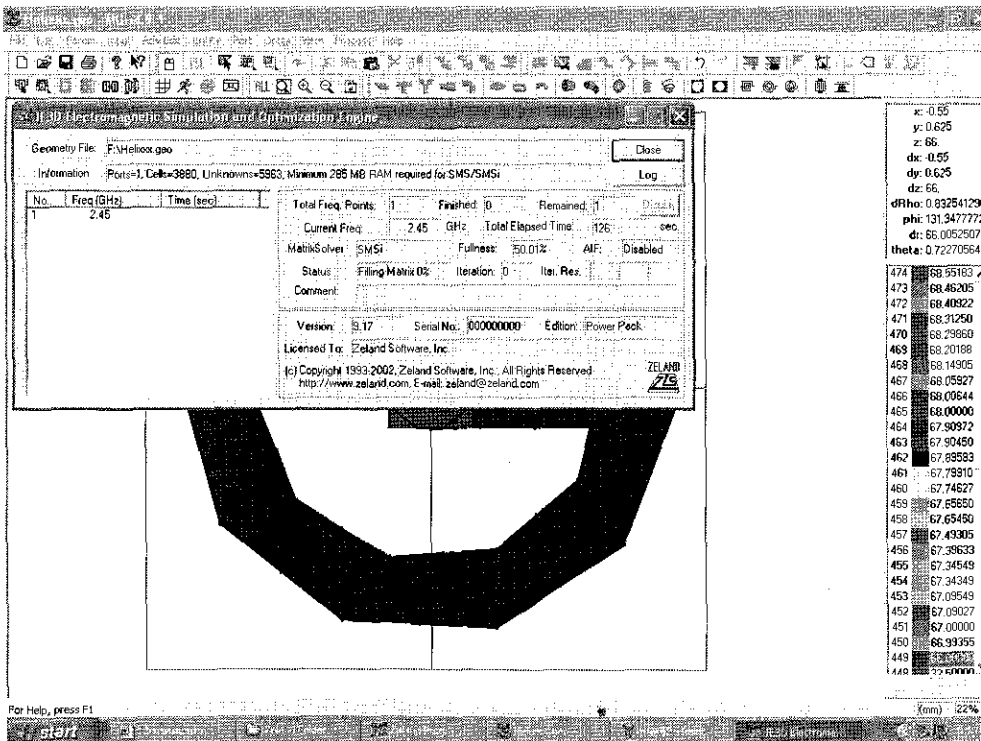
5. จุด Feed ของชิ้นงานแสดงดังรูป หลังจากนั้น Save ชิ้นงาน จะได้ชิ้นงานที่พร้อม Simulate



6. เปิดเมนู Simulate แล้วตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ครบดังรูป แล้วกด OK เพื่อเริ่มการ Simulate



7. รูปแสดงขณะที่โปรแกรมกำลังทำการ Simulate





## ภาคผนวก ข.

table of return loss vs. voltage standing wave ratio

RETURN LOSS (dB)	VSWR	RETURN LOSS (dB)	VSWR	RETURN LOSS (dB)	VSWR	RETURN LOSS (dB)	VSWR	RETURN LOSS (dB)	VSWR
46.064	1.01	13.842	1.51	9.485	2.01	7.327	2.51	5.999	3.01
40.086	1.02	13.708	1.52	9.428	2.02	7.294	2.52	5.970	3.02
36.607	1.03	13.577	1.53	9.372	2.03	7.262	2.53	5.956	3.03
34.151	1.04	13.449	1.54	9.317	2.04	7.230	2.54	5.935	3.04
32.256	1.05	13.324	1.55	9.262	2.05	7.198	2.55	5.914	3.05
30.714	1.06	13.201	1.56	9.208	2.06	7.167	2.56	5.893	3.06
29.417	1.07	13.081	1.57	9.155	2.07	7.135	2.57	5.872	3.07
28.299	1.08	12.964	1.58	9.103	2.08	7.105	2.58	5.852	3.08
27.318	1.09	12.849	1.59	9.051	2.09	7.074	2.59	5.832	3.09
26.444	1.10	12.736	1.60	8.999	2.10	7.044	2.60	5.811	3.10
25.658	1.11	12.625	1.61	8.949	2.11	7.014	2.61	5.791	3.11
24.943	1.12	12.518	1.62	8.899	2.12	6.984	2.62	5.771	3.12
24.289	1.13	12.412	1.63	8.849	2.13	6.954	2.63	5.751	3.13
23.686	1.14	12.308	1.64	8.800	2.14	6.925	2.64	5.732	3.14
23.127	1.15	12.207	1.65	8.752	2.15	6.896	2.65	5.712	3.15
22.607	1.16	12.107	1.66	8.705	2.16	6.867	2.66	5.693	3.16
22.120	1.17	12.009	1.67	8.657	2.17	6.839	2.67	5.674	3.17
21.664	1.18	11.913	1.68	8.611	2.18	6.811	2.68	5.654	3.18
21.234	1.19	11.818	1.69	8.565	2.19	6.783	2.69	5.635	3.19
20.828	1.20	11.725	1.70	8.519	2.20	6.755	2.70	5.617	3.20
20.443	1.21	11.634	1.71	8.474	2.21	6.728	2.71	5.598	3.21
20.079	1.22	11.545	1.72	8.430	2.22	6.700	2.72	5.579	3.22
19.732	1.23	11.457	1.73	8.386	2.23	6.673	2.73	5.561	3.23
19.401	1.24	11.370	1.74	8.342	2.24	6.646	2.74	5.542	3.24
19.085	1.25	11.285	1.75	8.299	2.25	6.620	2.75	5.524	3.25
18.783	1.26	11.202	1.76	8.257	2.26	6.594	2.76	5.506	3.26
18.493	1.27	11.120	1.77	8.215	2.27	6.567	2.77	5.488	3.27
18.216	1.28	11.039	1.78	8.173	2.28	6.541	2.78	5.470	3.28
17.949	1.29	10.960	1.79	8.138	2.29	6.516	2.79	5.452	3.29
17.690	1.30	10.881	1.80	8.091	2.30	6.490	2.80	5.435	3.30
17.445	1.31	10.804	1.81	8.051	2.31	6.465	2.81	5.417	3.31
17.207	1.32	10.729	1.82	8.011	2.32	6.440	2.82	5.400	3.32
16.977	1.33	10.654	1.83	7.972	2.33	6.415	2.83	5.383	3.33
16.755	1.34	10.581	1.84	7.933	2.34	6.390	2.84	5.365	3.34
16.540	1.35	10.509	1.85	7.894	2.35	6.366	2.85	5.348	3.35
16.332	1.36	10.437	1.86	7.856	2.36	6.341	2.86	5.331	3.36
16.131	1.37	10.367	1.87	7.818	2.37	6.317	2.87	5.315	3.37
15.936	1.38	10.298	1.88	7.781	2.38	6.293	2.88	5.298	3.38
15.747	1.39	10.230	1.89	7.744	2.39	6.270	2.89	5.281	3.39
15.563	1.40	10.163	1.90	7.707	2.40	6.246	2.90	5.265	3.40
15.385	1.41	10.097	1.91	7.671	2.41	6.223	2.91	5.248	3.41
15.211	1.42	10.032	1.92	7.635	2.42	6.200	2.92	5.232	3.42
15.043	1.43	9.968	1.93	7.599	2.43	6.177	2.93	5.216	3.43
14.879	1.44	9.904	1.94	7.564	2.44	6.154	2.94	5.200	3.44
14.719	1.45	9.842	1.95	7.529	2.45	6.131	2.95	5.184	3.45
14.564	1.46	9.780	1.96	7.494	2.46	6.109	2.96	5.168	3.46
14.412	1.47	9.720	1.97	7.460	2.47	6.086	2.97	5.152	3.47
14.264	1.48	9.660	1.98	7.426	2.48	6.064	2.98	5.137	3.48
14.120	1.49	9.601	1.99	7.393	2.49	6.042	2.99	5.121	3.49
13.979	1.50	9.542	2.00	7.360	2.50	6.021	3.00	5.105	3.50

ที่มา [www.minicircuit.com](http://www.minicircuit.com)