

CONTRIBUTION

การศึกษาสายอากาศแบบช่องเปิดในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของโพรง
รูปทรงกระบอกแกนร่วมที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบสำหรับ
สถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ GSM 900 MHz

นาย ทนงศักดิ์ บุญศิริ

นาย กฤษณะ จิตตบุญท์

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2545


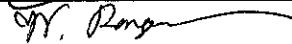
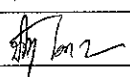


Special Project in Telecommunication Report Certification

School of Telecommunication Engineering

Suranaree University of Technology

Project Title The Study on a Circumferential Slot on the Sectoral Cylindrical Cavity for the GSM 900MHz Base Station
Student Mr. Thanongsak Boonsri No.B4104827
Mr. Kritsana Jitnoon No.B4106869
Degree Bachelor in Engineering
Programme Telecommunication Engineering
Project Advisor Mr.Rangsan Wongsan

Examiners	Sinatures
Dr.Rangsan Tongta	
Mr.Rangsan Wongsan	
Miss Priyaphorn Krachodnok	

Date 28 May 2003 Time 19.00-20.30 p.m.

Place Telecommunication Laboratory

หัวข้อโครงการ	สายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของ โพรงทรงกระบอกแกนร่วมที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบ
นักศึกษา	นายทงศักดิ์ บุญศรี รหัส B4104827 นายกฤษณะ จิตนุนท์ รหัส B4106869
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมโครงการ	อาจารย์รังสรรค์ วงศ์สวรรค์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์ ออกแบบ ทดสอบ และประเมินคุณสมบัติสาย
อากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของโพรงทรงกระบอกแกนร่วมที่ป้อนสัญญาณด้วย
โพรบในแนวรัศมี ซึ่งมีลักษณะเป็นสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่พลังงานทิศทางเดียว และมีโครง
สร้างประกอบด้วยโพรบเดี่ยวอยู่ภายในโพรงทรงกระบอกแกนร่วม สายอากาศนี้นำเสนอเพื่อนำไป
ประยุกต์ใช้เป็นสายอากาศสำหรับสถานีฐานของมือถือระบบ GSM 900 MHz การวิเคราะห์แบบ
รูปการแผ่พลังงานและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโดยใช้โปรแกรมการคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้า
รุ่นที่ 2 หลังจากนั้นทำการสร้างและทดสอบคุณลักษณะต่างๆของสายอากาศเพื่อเปรียบเทียบและ
ยืนยันผลการคำนวณ ซึ่งผลทดสอบมีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกับผลการคำนวณ จากผลการ
คำนวณและผลการทดสอบที่ได้แสดงให้เห็นว่า สายอากาศที่นำเสนอในโครงการนี้ มีคุณสมบัติ
เพียงพอกับการนำไปใช้งานโดยมีอัตราขยายสายอากาศ 4.993 dB

กิตติกรรมประกาศ

คุณความดีอันใดที่เกิดจากโครงการนี้ ขอมอบแต่บิดามารดาของข้าพเจ้า ผู้ที่คอยห่วงใย ให้โอกาส ให้กำลังใจ ปล่อยให้ความสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด

โครงการนี้สามารถสำเร็จรุด่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์รังสรรค์ วงศ์สวรรค์ ที่ช่วยให้ความช่วยเหลือในด้านแนวคิด การดูแลเอาใจใส่ในการติดตามงาน ชี้แนะข้อบกพร่องที่ข้าพเจ้ามองข้าม ตลอดจนฝึกฝนและสนับสนุนให้ข้าพเจ้าให้มีความสามารถในการทำโครงการ

ขอขอบคุณสมาชิกในห้องปฏิบัติการโทรคมนาคมทุกคน

ขอขอบคุณ คุณศิวโรจน์ เพ็ญจันทร์ ที่ให้ยืมเครื่องคอมพิวเตอร์ และที่พักอาศัยตอนปิดเทอม

ขอขอบคุณ คุณसानนท์ สีเทียนสูง ที่ช่วยในการขนส่งอากาศในการทดลอง

นายทองศักดิ์ บุญศรี

นายกฤษณะ จิตนุนท์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
กิตติกรรมประกาศ	II
สารบัญ	III
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและรูปแบบของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ	2
1.3 ขอบเขตโครงการ	2
บทที่ 2 การใช้โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขฐานที่ 2	3
2.1 วิธีการจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้า เชิงเลขฐานที่ 2	4
2.2 ข้อกำหนดการจำลองตาข่ายด้วยเส้นลวด (Wire-grid).....	4
2.3 การใช้งานโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขฐานที่ 2	6
2.3.1 การเข้าใช้งานโปรแกรม.....	6
2.3.2 การออกแบบโครงสร้างของสายอากาศ.....	8
2.3.3 การป้อนค่าต่างๆให้กับโปรแกรม (Program Input)	10
2.4 สรุป	14
บทที่ 3 สายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของโพรงกระบอกแกนร่วม ที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบ.....	15
3.1 โครงสร้างของสายอากาศ	15
3.2 การสร้างโครงสร้างสายอากาศลงในโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้า เชิงเลขฐานที่ 2	16
3.3 การวิเคราะห์ผลการคำนวณ	18
3.3.1 ผลการคำนวณอิมพีแดนซ์ด้านเข้า.....	18
1. ตำแหน่งร่องเดี่ยว(Z_s)	19
2. ความยาวโพรบ (L_p)	21
3. ตำแหน่งโพรบ (ϕ_p).....	23
4. ตำแหน่งโพรบ (Z_p).....	25

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5. ความถี่ที่ใช้งาน.....	27
3.4 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศร่องเดี่ยวด้วยโปรแกรม คำนวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงตัวเลขรุ่นที่ 2.....	29
3.5 สรุป	30
บทที่ 4 การทดสอบสายอากาศ.....	31
4.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศ.....	31
4.2 ขั้นตอนการวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน.....	32
4.3 ความกว้างแถบของสายอากาศ.....	37
4.4 อัตราขยาย.....	38
4.5 สรุป	39
บทที่ 5 ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	40
5.1 บทสรุปและวิจารณ์.....	40
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	41
เอกสารอ้างอิง.....	42
ภาคผนวก.....	43
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างวิธีการเขียนโปรแกรมคำนวณ แม่เหล็กไฟฟ้าเชิงตัวเลขรุ่นที่ 2.....	44

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงขนาดพารามิเตอร์อ้างอิงของสายอากาศ.....	19
4.1 แสดงขนาดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศ.....	31

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หน้าจอโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2.....	7
2.2 หน้าจอการออกแบบโครงสร้างของสายอากาศ.....	8
2.3 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์โครงสร้างของสายอากาศ.....	9
3.1 (ก) แสดงโครงสร้างสายอากาศร่องในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของโพรง ทรงกระบอกที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบ และ (ข) ภาพตัดขวางของสายอากาศ.....	15
3.2 โครงสร้างจำลองที่สร้างด้วยโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้ารุ่นที่ 2.....	16
3.3 แสดงพารามิเตอร์ของสายอากาศ.....	18
3.4 แสดงคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เมื่อ $Z_s = 0.025Z_d$, $0.25Z_d$, $0.5Z_d$, $0.75Z_d$ และ $0.975Z_d$ ความถี่ 900MHz	20
3.5 แสดงคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เมื่อ $L_p = 0.125\lambda$, 0.25λ , 0.375λ และ 0.5λ ความถี่ 900 MHz	22
3.6 แสดงคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เมื่อ $\phi_p = 7.5^\circ$, 15° , 30° , 45° และ 52.5° ความถี่ 900 MHz.....	24
3.7 แสดงคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เมื่อ $Z_p = 0.01Z_d$, $0.25Z_d$, $0.5Z_d$, $0.75Z_d$ และ $0.99Z_d$ ความถี่ 900MHz	26
3.8 แสดงคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้า $0.99Z_d$ ที่ $L_p = 0.125\lambda$, 0.25λ , 0.375λ และ 0.5λ ความถี่ 900MHz	28
3.9 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศร่องเดี่ยวด้วยโปรแกรมคำนวณ แม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2.....	31
4.1 แสดงภาพถ่ายสายอากาศในการทดสอบ.....	32
4.2 การวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ xz.....	33
4.3 การวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ xy.....	34
4.4 แสดงแบบรูปแผ่พลังงานสายอากาศร่องเดี่ยวเมื่อ $Z_d = 33.33$ cm, $L_s = 8.3325$ cm, $Z_s = 16.665$ cm, $b/a = 1.5$, $a = 34.96$ cm	35

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ความต้านทานเมื่อ $Z_d = 33.33 \text{ cm}$, $L_s = 8.3325 \text{ cm}$, $Z_s = 16.665 \text{ cm}$, $b/a = 1.5$, $a = 34.96 \text{ cm}$	35
4.6 รีแอกแตนซ์เมื่อ $Z_d = 33.33 \text{ cm}$, $L_s = 8.3325 \text{ cm}$, $Z_s = 16.665 \text{ cm}$, $b/a = 1.5$, $a = 34.96 \text{ cm}$	36
4.7 แสดงความอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันเมื่อ $Z_d = 33.33 \text{ cm}$, $L_s = 8.3325 \text{ cm}$, $Z_s = 16.665 \text{ cm}$, $b/a = 1.5$, $a = 34.96 \text{ cm}$	37
4.8 แสดงความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเมื่อ $Z_d = 33.33 \text{ cm}$, $L_s = 8.3325 \text{ cm}$, $Z_s = 16.665 \text{ cm}$, $b/a = 1.5$, $a = 34.96 \text{ cm}$	38
4.9 อัตราขยายของสายอากาศทดลอง.....	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและรูปแบบของปัญหา

ปัจจุบันการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่มีจำนวนสูงมากขึ้น เพื่อรองรับปริมาณการเพิ่มขึ้นของสถานีฐาน (Cell Site) จึงได้พัฒนาสายอากาศเพื่อใช้กับสถานีฐานสายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของควอเตอร์รูปทรงกระบอกแทนร่วมคืออีกแนวความคิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติตรงตามต้องการและที่สำคัญต้นทุนการผลิตค่อนข้างต่ำ

ด้วยลักษณะทางกายภาพที่โดดเด่นของสายอากาศร่องแถวลำดับในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของควอเตอร์รูปทรงกระบอกแทนร่วมมีด้วยกันหลายประการเช่น มีน้ำหนักเบา โครงสร้างกะทัดรัด ทนกำลังงานสูง สร้างได้ง่าย และเมื่อติดตั้งสายอากาศร่องแถวลำดับในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของควอเตอร์รูปทรงกระบอกแทนร่วมจะลักษณะราบเรียบไปกับพื้นผิวโดยจะไม่มีส่วนที่ยื่นโผล่ออกมา ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆ ที่ต้องการความเรียบไม่ต้านลม อีกทั้งยังสามารถจัดเรียงเป็นร่องลำดับให้เหมาะสมเพื่อปรับปรุงอัตราขยาย สภาพเจาะจงทิศทางและรูปแบบการแผ่พลังงานได้อีกด้วย

ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต้องการสายอากาศประจำสถานีฐานที่ให้อัตราขยายค่อนข้างสูง มีรูปแบบการแผ่พลังงานแบบรอบทิศทาง และมีแบนด์วิดท์ที่กว้างพอ คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนี้ทำให้สายอากาศที่ใช้อยู่หลายๆแบบมีข้อจำกัด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาสายอากาศให้เข้ากับความต้องการ นอกจากนี้สายอากาศจะต้องมีคุณสมบัติทางกลที่แข็งแรง ทนกำลังได้สูง ประกอบง่าย และที่สำคัญต้องมีต้นทุนต่ำ ดังนั้นลักษณะโครงสร้างสายอากาศร่องแถวลำดับในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของควอเตอร์รูปทรงกระบอกแทนร่วมที่ป้อนสัญญาณด้วยไฟรบ จึงสามารถตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้อย่างเหมาะสม ในส่วนของการป้อนสัญญาณจะใช้ไฟรบซึ่งมีข้อดีคือ มีระบบการป้อนสัญญาณที่รวมสายสัญญาณออกเพียงสายเดียวในแต่ละเซกเตอร์ทำให้ช่วยลดจำนวนของสายสัญญาณที่ใช้ในการป้อนสัญญาณลงทำให้โครงสร้างไม่ซับซ้อนและดูเป็นระบบมากขึ้น จึงนับว่าเป็นข้อได้เปรียบอย่างหนึ่งที่ดีกว่าสายอากาศที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการนี้เป็นการนำเสนอสายอากาศเฉพาะแบบร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของควาวิตี้รูปทรงกระบอกแกนร่วมที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบซึ่งมีโครงสร้างที่ง่าย แข็งแรง ทนกำลังได้สูง โดยมีวัตถุประสงค์ในการสร้างดังนี้คือ

- เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นสายอากาศสำหรับสถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่
- เพื่อศึกษาโครงสร้างของสายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของควาวิตี้รูปทรงกระบอกแกนร่วมที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบ และเป็นแหล่งค้นคว้าและอ้างอิงของผู้สนใจ
- ลดการนำเข้าจากต่างประเทศและสนับสนุนให้มีการผลิตสายอากาศขึ้นมาใช้เองกันมากขึ้น

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการสายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของควาวิตี้รูปทรงกระบอกแกนร่วมที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบนี้ เป็นการออกแบบเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานสายอากาศสำหรับสถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยสายอากาศที่นำเสนอมีลักษณะเป็นร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวง ซึ่งเรียงตัวกันเป็นแถวลำดับบนผิวตัวนำด้านนอกของเซกเตอร์โพรงรูปทรงกระบอกแกนร่วม โดยโพรงจะทำหน้าที่ป้อนสัญญาณภายในโพรง การวิเคราะห์คุณลักษณะพื้นฐานของสายอากาศทำได้โดยเริ่มจากการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศ โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณใช้หลักการสนามสมมูลและเงื่อนไขขอบเขตที่บริเวณร่องและโพรบจากนั้นนำมาหาผลเฉลยที่ละเอียดและแม่นยำจะนำไปสู่การออกแบบและการสร้างสายอากาศที่มีคุณภาพสูงและต้นทุนต่ำได้ และสุดท้ายสร้างสายอากาศและทดสอบคุณลักษณะต่างๆของสายอากาศเพื่อเปรียบเทียบและยืนยันผลการคำนวณ

บทที่ 2

การใช้โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงตัวเลขรุ่นที่ 2 (4NEC2)

โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงตัวเลขรุ่นที่ 2 หรือ 4NEC2 เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาโดยห้องปฏิบัติการแห่งชาติลอเรนซ์ลิวอร์มอร์ (Lawrence Livermore National Laboratory) ประเทศสหรัฐอเมริกา และเป็นโปรแกรมประเภทให้ใช้ฟรี (Freeware) ซึ่งผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดมาใช้ได้โดยง่าย การจะสั่งให้โปรแกรมทำงานนั้น ผู้ใช้จะต้องจัดเรียงรหัสทางคอมพิวเตอร์ (User-Oriented Computer Code) ให้กับโปรแกรมเพื่อให้โปรแกรมทำการวิเคราะห์การตอบสนองของทางแม่เหล็กไฟฟ้าของสายอากาศและโครงสร้างที่เป็นโลหะใดๆ ที่มีรูปร่างไม่เจาะจง รหัสทางคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมที่ผู้ใช้จะต้องใส่เข้าไปนั้น คือ การสร้างโครงสร้างของสิ่งที่ต้องการด้วยเส้นลวดเล็กๆ (Wire) หรือพื้นผิว (Surface) จำนวนมาก ซึ่งในกรณีที่โครงสร้างถูกแทนด้วยเส้นลวด โปรแกรมจะใช้สมการอินทิกรัลสนามไฟฟ้า (Electric Field Integral Equation: EFIE) ในการหากระแสเหนี่ยวนำ (Induced Current) บนโครงสร้างนั้น ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิด (Source) หรือ สนามที่ตกกระทบ (Incident Field) และในกรณีที่โครงสร้างถูกแทนด้วยพื้นผิว โปรแกรมจะใช้อินทิกรัลเชิงสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Integral Equation: MFIE) ในการหากระแสเหนี่ยวนำที่ต้องการ การกระตุ้นสามารถที่จะเป็นไปได้ทั้งแหล่งกำเนิดแรงดันที่ป้อนเข้าไป (Applied Voltage Source) หรือคลื่นระนาบที่ตกกระทบ (Incident Plane Wave) 4NEC2 สามารถใช้ในการคำนวณหากระแสเหนี่ยวนำและประจุ สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กระยะใกล้และไกล ภาคตัดขวางเรดาร์ (Radar Cross Section: RCS) อิมพีแดนซ์ แอดมิตแตนซ์ (Admittance) อัตราขยาย (Gain) และสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) การใช้กำลังงาน (Power Budget) และการเชื่อมต่อของสายอากาศ (Mutual Coupling)

2.1 วิธีการจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงตัวเลขรุ่นที่ 2

สำหรับการจำลองโครงสร้างด้วยเส้นลวดนั้น ส่วนประกอบพื้นฐานที่ใช้ในการจำลองโครงสร้างด้วยรหัส 4NEC2 คือ เซกเมนต์ที่มีลักษณะตรงและสั้น การกำหนดเซกเมนต์สำหรับการออกแบบเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากเพราะมีผลต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ จำนวนเซกเมนต์ควรมีค่าน้อยที่สุด เท่าที่เกิดความถูกต้อง เพราะโปรแกรมจะใช้เวลาการคำนวณเพิ่มขึ้น

เซกเมนต์เส้นลวดจะถูกกำหนดโดยพิกัด (Co-ordinate) ของจุดปลายทั้งสองของเซกเมนต์ และขนาดของรัศมี การกำหนดความยาวเซกเมนต์ (Segment Length: Δ) จะสัมพันธ์กับ

ค่าความยาวคลื่น λ โดยปกติ Δ ควรจะมีค่าน้อยกว่า 0.1λ ที่ความถี่ต้องการ ในบางครั้งอาจมีการใช้เชกเมนต์ที่ยาวมากกว่านี้บนเส้นลวดยาว ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด ในขณะที่เชกเมนต์สั้นกว่า เช่น 0.05λ หรือน้อยกว่านี้อาจใช้การจำลองบริเวณที่มีความสำคัญของสายอากาศ ขนาดของเชกเมนต์จะเป็นตัวกำหนดการแก้ปัญหาสำหรับหากกระแสนแบบจำลอง เนื่องจากกระแสถูกคำนวณที่ตรงกลางของแต่ละเชกเมนต์ เชกเมนต์ที่มีขนาดสั้นมากๆ เช่น น้อยกว่า $10^{-3}\lambda$ ไม่ควรนำมาใช้เพราะความเหมือนกันขององค์ประกอบค่าคงที่และโคไซน์ของการกระจายกระแสจะทำให้ผลจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขไม่แม่นยำ รัศมีของเส้นลวด (a) ซึ่งสัมพันธ์กับ λ จะถูกจำกัดโดยการประมาณที่ใช้ในเคอร์เนล (Kernel) ของสมการอินทิกรัลเชิงไฟฟ้า

2.2 ข้อกำหนดการจำลองตาข่ายด้วยเส้นลวด (Wire-grid)

การกระจายกระแสที่ใช้ใน 4NEC2 จะบังคับเงื่อนไขกระแสและความหนาแน่นประจุตามแนวเส้นลวดที่จุดเชื่อมต่อจุด และที่ปลายเส้นลวด จากเงื่อนไขเหล่านี้จะต้องต่อกันทางไฟฟ้าที่จุดปลาย ถ้าเชกเมนต์มีการซ้อนทับกันเกิดขึ้นที่ปลายของแต่ละอัน 4NEC2 จะไม่ยอมให้กระแสไหลจากเชกเมนต์หนึ่งไปยังเชกเมนต์อื่นๆ เชกเมนต์จะเหมือนกับการต่อกันเมื่อระยะห่างของจุดปลายของแต่ละด้านมีค่าน้อยกว่า 10^{-3} เท่าของความยาวเชกเมนต์ที่สั้นที่สุด ดังนั้น ถ้าเป็นไปได้ควรเชื่อมต่อเชกเมนต์ด้วยวิธีการกำหนดพิกัดที่เหมือนกัน

ข้อกำหนดการจำลองตาข่ายด้วยเส้นลวด (Wire-grid) มีดังต่อไปนี้

(1) เชกเมนต์ต้องไม่ซ้อนทับกัน เนื่องจากการแบ่งกระแระหว่างสองเชกเมนต์ที่ซ้อนทับกันนั้นไม่อาจสรุปได้ เชกเมนต์ที่ซ้อนทับกันอาจมีผลในสมการเมตริกเอกฐาน (Singular Matrix Equation)

(2) การเปลี่ยนแปลงรัศมีที่มีความยาวแตกต่างกันมากของเชกเมนต์ที่เชื่อมต่อกัน อาจมีผลทำให้ความแม่นยำลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ ค่า Δ/a มีค่าน้อยปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการให้รัศมีลดลงตามลำดับตลอดหลายเชกเมนต์

(3) จำเป็นที่จะต้องมีการเชื่อมต่อกับโครงข่าย (Network) หรือ แหล่งกำเนิดแรงดัน (Voltage Source) สำหรับช่องว่างการกระตุ้น (Excite Gap) ก็จำเป็นต้องมีเส้นลวดต่อเนื่องลากข้ามช่องว่าง ดังนั้น แรงดันตกคร่อมที่ต้องการสามารถระบุให้เป็นเงื่อนไขเป็นขอบเขตได้

(4) จำนวนเส้นลวดที่จะนำมาต่อที่จุดเชื่อมต่อใดๆ นั้นไม่สามารถมีค่าเกิน 30 เส้นได้เนื่องจากข้อจำกัดของมิติในรหัส 4NEC2

ข้อมูลที่ใช้อธิบายสายอากาศและสภาพแวดล้อมและคุณสมบัติของสายอากาศที่ต้องการจะคำนวณ จะเป็นอินพุตที่จะต้องใส่เข้าไป คล้ายกับบัตรเจาะรูที่เป็นข้อมูล

ใส่ให้กับคอมพิวเตอร์เมนเฟรมในสมัยก่อน กลุ่มของรหัสข้อมูลในการทำงานครั้งหนึ่งจะประกอบไปด้วยรหัสข้อมูล 3 ประเภทด้วยกัน ส่วนแรกเริ่มต้นด้วยรหัสหนึ่งชุดหรือมากกว่านั้นซึ่งบรรจุรายละเอียดของการทำงาน ซึ่งจะพิมพ์เป็นตัวหนังสือที่จุดเริ่มต้นของไฟล์เอาต์พุต ต่อมาจะตามด้วยรหัสข้อมูลระบุทิศทางแบบเรขาคณิตซึ่งจะระบุรูปทรงของสายอากาศ และสุดท้ายจะเป็นส่วนของรหัสควบคุมโปรแกรมซึ่งจะระบุตัวแปรทางไฟฟ้าเช่น ความถี่ การโหลด (Loading) และการกระตุ้น(Excitation) รวมทั้งความต้องการให้คำนวณกระแสและสนามของสายอากาศ

รหัสข้อมูลทุกรหัสจะมีอักษร 2 ตัว ในคอลัมน์ที่หนึ่งและสองเพื่อเป็นการระบุรหัสให้กับโปรแกรมตัวอย่างเช่น รหัสข้อมูลระบุเส้นลวด(Wire Specification: GW) ซึ่งจะเป็นรหัสที่ใช้ในการกำหนดเส้นลวดขึ้นมาระหว่างจุดสองจุด ซึ่งมีลักษณะของข้อมูลที่จะต้องใส่ลงไปดังนี้

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

ความหมายของแต่ละตัวที่จะต้องใส่ลงไปคือ

ITG (I2) คือป้ายแสดงหมายเลข (Tag) ที่จะกำหนดให้เส้นลวดมีหมายเลขประจำเส้นลวดเป็นเท่าใด รวมทั้งเซกเมนต์ของเส้นลวดก็จะมีหมายเลขตามเส้นลวดนั้นด้วย

NS (I2) คือจำนวนเซกเมนต์ที่จะแบ่งให้กับเส้นลวด

XW1 (F2) คือพิกัด x ของจุดปลายที่หนึ่งของเส้นลวด

YW1 (F2) คือพิกัด y ของจุดปลายที่หนึ่งของเส้นลวด

ZW1 (F3) คือพิกัด z ของจุดปลายที่หนึ่งของเส้นลวด

XW2 (F4) คือพิกัด x ของจุดปลายที่สองของเส้นลวด

YW2 (F5) คือพิกัด y ของจุดปลายที่สองของเส้นลวด

ZW2 (F6) คือพิกัด z ของจุดปลายที่สองของเส้นลวด

RDA (F7) คือรัศมีของเส้นลวด

การกำหนดรัศมีของเส้นลวดนั้นจะต้องเลือกขนาดของของเส้นลวดที่ทำให้พื้นที่ผิวรวมของทั้งเส้นลวดทั้งหมดมีค่าเท่ากับพื้นที่ผิวของตัวนำของสายอากาศ [1]

จากรหัสตัวอย่างข้างต้น เมื่อทำการใส่ตัวแปรต่างๆ ลงไปแล้ว และสั่งให้โปรแกรมทำงาน 4NEC2 จะสร้างเส้นลวดให้ 1 เส้นซึ่งเส้นลวดนี้จะถูกแบ่งเป็นเซกเมนต์เล็กๆ จำนวน NS เซกเมนต์ การสร้างแบบจำลองของสายอากาศสามารถทำได้โดยการใส่รหัสที่มีลักษณะคล้ายกับตัวอย่างข้างบนนี้ไปเรื่อยๆ ก็จะทำให้สามารถสร้างโครงสร้างเสาอากาศและหาคุณสมบัติของสายอากาศที่ต้องการได้ นอกจากนี้โครงสร้างที่สร้างขึ้นโดย 4NEC2 ยังสามารถกำหนดสภาพนำ (Conductivity) ให้เท่ากับสภาพนำของโลหะที่ใช้ทำสายอากาศได้ เช่น ในกรณีนี้สายอากาศต้นแบบจะสร้างขึ้นโดยใช้ทองเหลือง ดังนั้นในการคำนวณโดยใช้ 4NEC2 ก็จะมีการกำหนดสภาพ

นำของโครงสร้างด้วยค่าสภาพนำของทองเหลือง คือ 2.56×10^7 S/m โดยการใช้ค่าสั่งโหลด (Load)

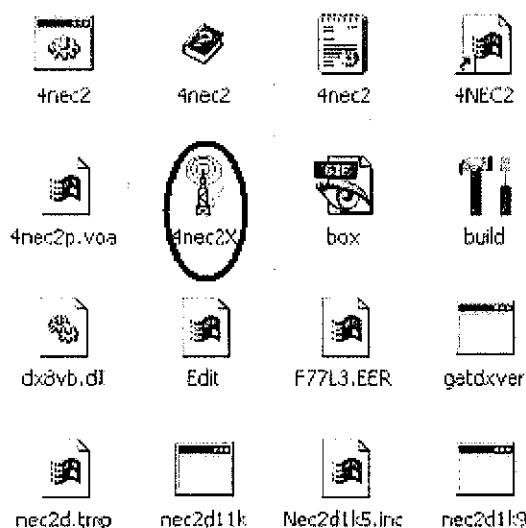
ในการตรวจสอบโครงสร้างของสายอากาศว่าได้สร้างถูกต้องเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ นั้น สามารถดูได้โดยใช้โปรแกรม Necview ซึ่งจะได้แสดงโครงสร้างของสายอากาศที่ได้ใส่รหัสลงใน NEC ออกมาเป็นตาข่ายเส้นลวด ตามที่กำหนดในระบบพิกัด x, y และ z นอกจากนี้โปรแกรม Necview ยังใช้ในการดูผลแบบรูปการแผ่พลังงาน ในระบบพิกัด x, y และ z ของสายอากาศที่ 4NEC2 คำนวณออกมาได้ด้วย สำหรับไฟล์เอาต์พุตที่ได้ออกมาจากการรันโปรแกรม 4NEC2 นั้น จะเป็นไปตามรูปแบบของข้อมูลที่ใส่เข้าไป เริ่มต้นด้วยการอธิบาย ตามมาด้วยข้อมูลทางเรขาคณิตและจากนั้นเป็นผลของตัวแปรที่ต้องการจะคำนวณ

4NEC2 ได้รับการยอมรับว่า เป็นโปรแกรมที่สามารถคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ แต่สำหรับการคำนวณหาอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศด้วย 4NEC2 นั้นยังมีความผิดพลาดอยู่บ้าง เนื่องจากข้อกำหนดด้านโปรแกรม 4NEC2 เอง จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาการคำนวณอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ผิดพลาดนี้ จากบทความของผู้วิจัยซึ่งได้ทำการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้น

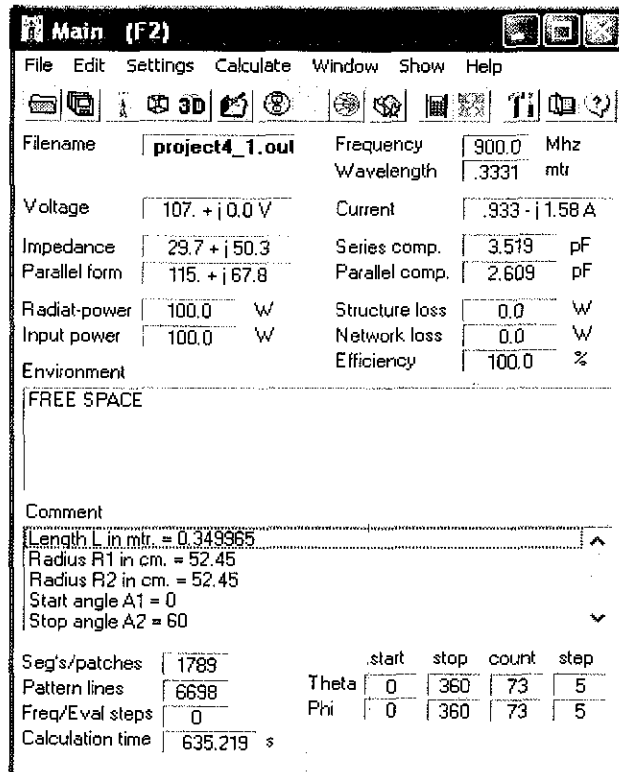
2.3 การใช้งานโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2

2.3.1 การเข้าใช้งานโปรแกรม

ดับเบิลคลิกที่ไอคอนโปรแกรม 4NEC2



จะเห็นหน้าจอโปรแกรม ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หน้าจอโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2

โดยแต่ละส่วนมีความหมาย ดังนี้

Filename : เป็นการแสดงชื่อไฟล์ที่ใช้งานอยู่

Frequency : แสดงค่าความถี่ที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างสายอากาศในหน่วย MHz

Wavelength : ค่าความยาวคลื่นที่คำนวณจากค่าความถี่ใช้งาน ในหน่วยเมตร

Voltage : ค่าแรงดันที่ป้อนให้กับโปรแกรม

Current : ค่ากระแสเหนี่ยวนำที่โปรแกรมคำนวณได้

Impedance : ค่าอิมพีแดนซ์ที่คำนวณได้จากโปรแกรม ณ ความถี่ใช้งาน

Series comp. : เป็นค่าที่ได้จากการแมตช์ของสายอากาศแบบอนุกรมที่ความถี่ใช้งาน

Parallel form : ค่าอิมพีแดนซ์ที่คำนวณได้จากโปรแกรม ณ ความถี่ใช้งานแบบขนาน

Parallel comp. : เป็นค่าที่ได้จากการแมตช์ของสายอากาศแบบขนานที่ความถี่ใช้งาน

Radiat-power : ค่าพลังงานที่ใช้ในการแผ่พลังงาน ในหน่วยวัตต์

Input power : ค่าพลังงานด้านเข้า ในหน่วยวัตต์

Structure loss : ค่าความสูญเสียเนื่องจากโครงสร้าง ในหน่วยวัตต์

Network loss : ค่าความสูญเสียเนื่องจากโครงข่าย ในหน่วยวัตต์

Efficiency : ค่าประสิทธิภาพ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์

Environment : ใช้แสดงเมื่อมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นจากการทำงานของโปรแกรม

Comment : แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างโครงสร้าง

Seg's/patches : แสดงจำนวนเซกเมนต์ทั้งหมดในโครงสร้าง

Pattern line : แสดงจำนวนบรรทัดในการสร้างแบบรูปการแผ่พลังงาน

Freq/Eval steps : จำนวนความถี่ที่ต้องการผันแปร

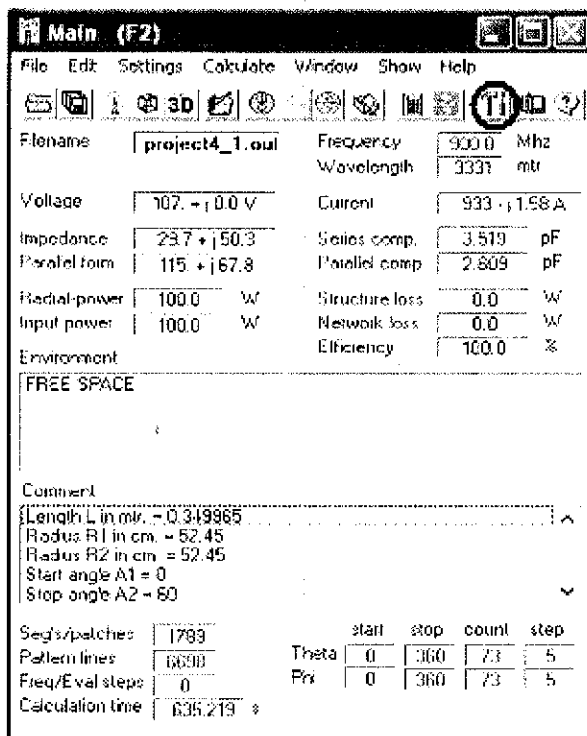
Calculation time : เวลาที่โปรแกรมใช้ในการทำงานของไฟล์นั้น

Theta : การกำหนดมุมในการหมุนเริ่มต้นและสิ้นสุดของมุม theta โดยเพิ่มค่าที่ละเท่าๆ กัน จนครบ 360°

Phi : การกำหนดมุมในการหมุนเริ่มต้นและสิ้นสุดของมุม phi โดยเพิ่มค่าที่ละเท่าๆ กัน จนครบ 360°

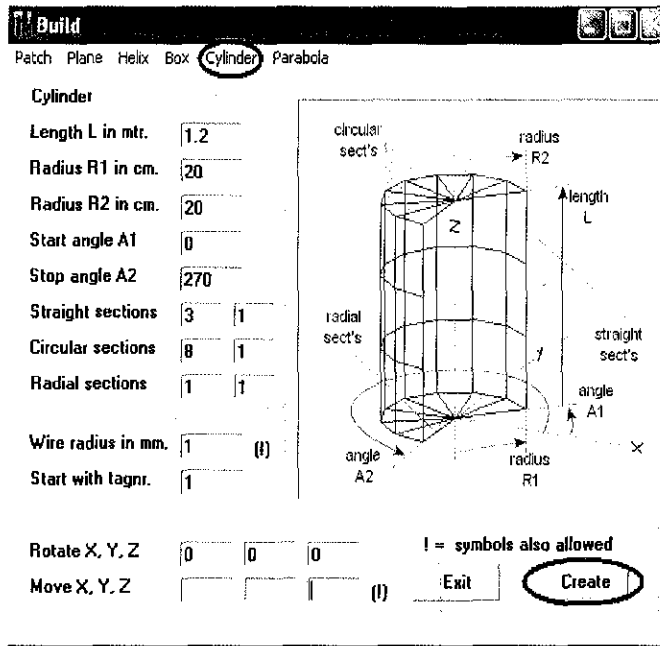
2.3.2 การออกแบบโครงสร้างของสายอากาศ

คลิกที่ไอคอนดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 หน้าจอการออกแบบโครงสร้างของสายอากาศ

เลือกประเภทของสายอากาศที่ต้องการสร้าง ในที่นี้ใช้เป็นสายอากาศทรงกระบอก (Cylinder) ใส่ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์โครงสร้างของสายอากาศ

โดยในแต่ละส่วนของโปรแกรมมีความหมาย ดังนี้

Length L in mtr.: ใส่ค่าความยาวทั้งหมดของสายอากาศที่ต้องการสร้างในหน่วยเมตร

Radius R1 in cm.: ใส่ค่ารัศมีตัวที่ 1 ในหน่วยเซนติเมตร

Radius R2 in cm.: ใส่ค่ารัศมีตัวที่ 2 ในหน่วยเซนติเมตร

Start angle A1: ค่ามุมเริ่มต้น

Stop angle A2: ค่ามุมสิ้นสุด

Straight sections: แบ่งจำนวนเซกเมนต์ในแนวรัศมี

Circular sections: แบ่งจำนวนเซกเมนต์ในแนวแกน

Radial sections: แบ่งจำนวนเซกเมนต์ในแนวเส้นกวางรัศมี (จากจุดศูนย์กลาง)

Wire radius in mm.: รัศมีของเส้นลวดที่ใช้ในการสร้าง ในหน่วยมิลลิเมตร

Start with tagnr.: ป้ายแสดงหมายเลข (Tag) ที่จะกำหนดให้เส้นลวดมีหมายเลขประจำเส้นลวดเป็นค่าเท่าใด

Rotate X, Y, Z: ค่าพิกัด X, Y, Z ที่ต้องการหมุนโครงสร้าง

Move X, Y, Z: ค่าพิกัด X, Y, Z ที่ต้องการเลื่อนโครงสร้าง

2.3.3 การป้อนค่าต่างๆให้กับโปรแกรม (Program Input)

• Comment cards (CM, CE)

เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับเริ่มต้นโปรแกรม ซึ่งบอกรายละเอียดของโครงสร้างและค่าพารามิเตอร์โดยสรุป เช่น

```

CM Length L in mtr. = 1.5
CM Radius R1 in cm. = 58.59
CM Radius R2 in cm. = 58.59
CM Start angle A1 = 0
CM Stop angle A2 = 60
CM Straight sections = 9
CM Circular sections = 16
CM Radial sections = 1
CM Rotate X, Y, Z = 0, 0, 0
CM Move X, Y, Z = 0, 0, 0
CE
  
```

• Structure geometry input cards

- Wire Specification (GW)

เป็นคำสั่งที่ใช้ระบุเส้นลวดขึ้นมาระหว่างจุดสองจุด

GW	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9

เช่น

```

GW 1 5 .5859 .0 .0 .5859 .0 .166667 .001
GW 2 5 .5859 .0 .166667 .5859 .0 .333333 .001
GW 3 5 .5859 .0 .333333 .5859 .0 .5 .001
GW 4 5 .5859 .0 .5 .5859 .0 .666667 .001
GW 5 5 .5859 .0 .666667 .5859 .0 .833333 .001
GW 6 5 .5859 .0 .833333 .5859 .0 1.0 .001
GW 7 5 .5859 .0 1.0 .5859 .0 1.167 .001
  
```

โดยที่

- I1 :ป้ายแสดงหมายเลข (Tag) ที่จะกำหนดให้เส้นลวดมีหมายเลขประจำเส้นลวดเป็นค่าเท่าใด
- I2 : จำนวนเซกเมนต์ที่จะแบ่งให้กับเส้นลวด
- I3 : พิกัด x ของจุดปลายที่หนึ่งของเส้นลวด

- I4 : พิกัด y ของจุดปลายที่หนึ่งของเส้นลวด
- I5 : พิกัด z ของจุดปลายที่หนึ่งของเส้นลวด
- I6 : พิกัด x ของจุดปลายที่สองของเส้นลวด
- I7 : พิกัด y ของจุดปลายที่สองของเส้นลวด
- I8 : พิกัด z ของจุดปลายที่สองของเส้นลวด
- I9 : รัศมีของเส้นลวด

- End geometry input (GE)

เป็นคำสั่งสิ้นสุดโปรแกรมในส่วนของ Structure geometry input cards

GE 0

• Program control cards

- Excitation (Ex)

เป็นคำสั่งที่ใช้กระตุ้นแรงดันหรือกระแสในโครงสร้างของสายอากาศ

/2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
EX	I1	I2	I3	I4	F1	F2	F3	F4	F5	F6

โดยที่ :

- I1 : ประเภทของการกระตุ้น
- I2 : ตำแหน่งเส้นลวดที่ต้องการกระตุ้น
- I3 : ตำแหน่งย่อยของเส้นลวดที่ต้องการกระตุ้น
- I4 : ตำแหน่งว่าง
- F1 : ค่าส่วนจริงของแรงดันที่ใช้กระตุ้น (Volts)
- F2 : ค่าส่วนจินตภาพของแรงดันที่ใช้กระตุ้น (Volts)
- F3 : ตำแหน่งว่าง เมื่อเป็นการทำให้เป็นบรรทัดฐานค่าสูงสุด
- F4 : ตำแหน่งว่าง
- F5 : ตำแหน่งว่าง
- F6 : ตำแหน่งว่าง

เช่น

EX 019012010

- Frequency (FR)

เป็นคำสั่งที่ใช้ระบุค่าความถี่ใช้งานในหน่วย เมกะเฮิรตซ์ (MHz)

/2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
FR	I1	I2	I3	I4	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	I	N	B	B	FMHZ	DELFRQ	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK
	F	F	L	L						
	R	R	A	A						
	Q	Q	N	N						
			K	K						

โดยที่ :

- I1 : ประเภทของความถี่
- I2 : จำนวนลำดับชั้นความถี่
- I3 : ตำแหน่งว่าง
- I4 : ตำแหน่งว่าง
- F1 : ค่าความถี่ใช้งานในหน่วยเมกะเฮิรตซ์ (MHz)
- F2 : ค่าความถี่ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละลำดับชั้น
- F3 : ตำแหน่งว่าง
- F4 : ตำแหน่งว่าง
- F5 : ตำแหน่งว่าง
- F6 : ตำแหน่งว่าง

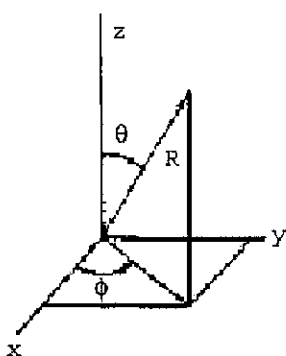
เช่น

FR 010008003

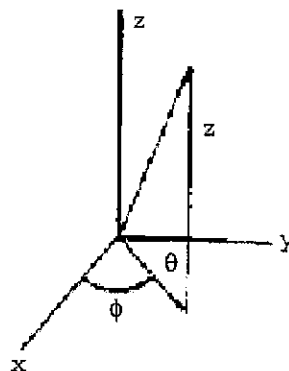
- Radiation Pattern (RP)

เป็นคำสั่งที่ใช้สร้างแบบรูปการแผ่พลังงาน

/2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
RP	I1	I2	I3	I4	F1	F2	F3	F4	F5	F6



Spherical coordinates



Cylindrical coordinates

รูปที่ 2.4 พิกัดสนามการแผ่พลังงาน

โดยที่ :

- I1 : เป็นการเลือกโหมดการสร้างแบบรูปการแผ่พลังงาน
- I2 : ค่ามุม theta (θ)
- I3 : ค่ามุม phi (ϕ)
- I4 : ตำแหน่งว่าง
- F1 : ค่ามุม θ เริ่มต้นในหน่วยองศา ($^{\circ}$)
- F2 : ค่ามุม ϕ เริ่มต้นในหน่วยองศา ($^{\circ}$)
- F3 : ค่ามุม θ ที่เพิ่มขึ้นในหน่วยองศา ($^{\circ}$)
- F4 : ค่ามุม ϕ ที่เพิ่มขึ้นในหน่วยองศา ($^{\circ}$)
- F5 : ตำแหน่งว่าง เมื่อสนามไฟฟ้าที่แผ่ออกมามีองค์ประกอบ $\exp(-jkR)/R$
- F6 : ตำแหน่งว่าง เมื่อคิดค่าอัตราขยายบรรทัดฐานสูงสุด (Normalized Maximum)

เช่น

RP 0 37 37 1000 -90 0 5 10

- End of Run (EN)

เป็นคำสั่งสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรม

/2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
EN					blank	blank	blank	blank	blank	blank
	b	b	b	b						
	l	l	l	l						
	a	a	a	a						
	n	n	n	n						
	k	k	k	k						

เช่น

RP 0 37 37 1000 -90 0 5 10

FR 0 10 0 0 800 3

EN

2.4 สรุป

ในบทนี้นั้นได้กล่าวถึงวิธีใช้โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงตัวเลขรุ่นที่ 2 (4NEC2) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของโครงสร้างของสายอากาศในแบบต่างๆ ซึ่งข้อกำหนดและขอบเขตการทำงานของโปรแกรมได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงวิธีการเขียนรหัสเพื่อสั่งให้ 4NEC2 คำนวณผลลัพธ์ที่ต้องการ ได้แก่ แบบรูปการแผ่พลังงาน และอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศไว้ในบทนี้ด้วย

เนื่องจากโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงตัวเลขรุ่นที่ 2 (4NEC2) มีรูปแบบของการเขียนโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน จึงง่ายต่อการทำความเข้าใจและสามารถศึกษาได้ด้วยตัวเอง จากคู่มือการใช้งานที่มีอยู่จากอินเทอร์เน็ตได้ แต่ตัวโปรแกรมก็มีข้อเสียที่ยังต้องปรับปรุงอยู่ค่อนข้างมาก เช่น โปรแกรม 4NEC2 จะมีรูปแบบของการจัดเรียงโครงสร้างของคำสั่งไว้ตายตัวถ้าไม่เป็นไปตามที่กำหนดแล้วโปรแกรมก็จะไม่ทำการประมวลผลให้ หรือถ้าในโครงสร้างของสายอากาศมีจุดที่ผิดพลาดจุดเล็กๆเพียงแค่จุดเดียว โปรแกรมก็จะไม่สามารถทำการคำนวณผลออกมาได้ จำเป็นที่จะต้องแก้ไขข้อผิดพลาดนี้ก่อนจึงจะสามารถคำนวณผลลัพธ์ที่ต้องการออกมาได้ หรือโครงสร้างของสายอากาศจะต้องต่อถึงกันทุกจุดอย่างพอดีมิฉะนั้นโปรแกรมก็จะไม่ให้ผ่านเช่นกัน เป็นต้น

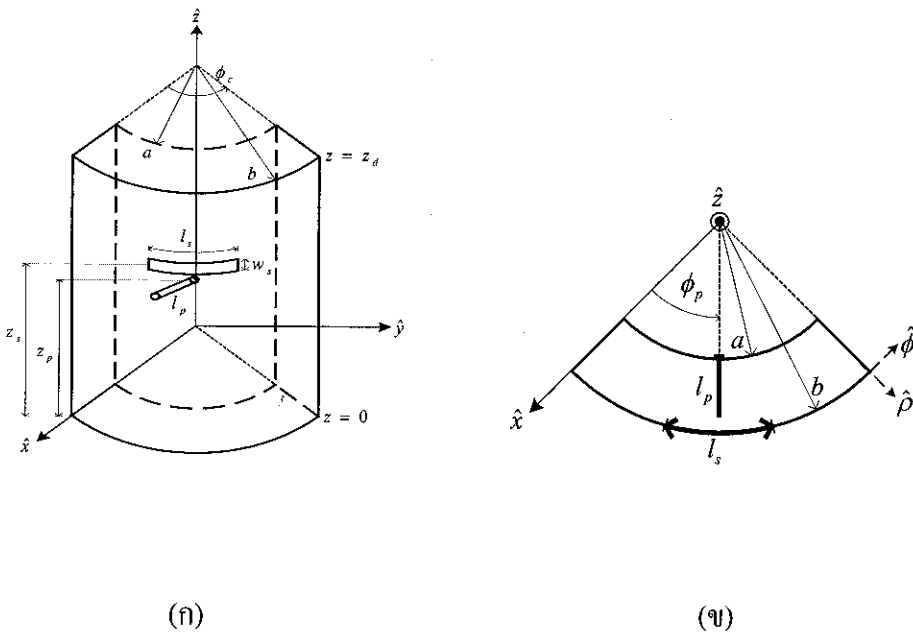
บทที่ 3

สายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของโพรงทรงกระบอกแกน ร่วมที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบ

ในบทนี้จะอธิบายถึงโครงสร้างทางกายภาพและรูปแบบจำลองสมมูลของสายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของโพรงทรงกระบอกที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบในแนวรัศมี โดยสร้างโครงสร้างสายอากาศลงในโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้ารุ่นที่ 2 เพื่อให้ได้คุณสมบัติของสายอากาศที่เหมาะสม

3.1 โครงสร้างของสายอากาศ

สายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของโพรงทรงกระบอกที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 (ก) แสดงโครงสร้างสายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของโพรงทรงกระบอกที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบ และ (ข) ภาพตัดขวางของสายอากาศ

3.2 การสร้างโครงสร้างสายอากาศลงในโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2

การออกแบบโดยใช้อัตราส่วนวงนอก (ρ_b) เท่ากับ 1.575λ [3-1] ความยาวคลื่นที่ความถี่ 900 MHz หาได้โดยใช้สมการ

$$V = f\lambda \quad (3.1)$$

$$\lambda = 0.3333 \text{ m}$$

V = ความเร็วคลื่นในอากาศว่าง (m/s)

F = ความถี่คลื่น (Hz)

λ = ความยาวคลื่น (m)

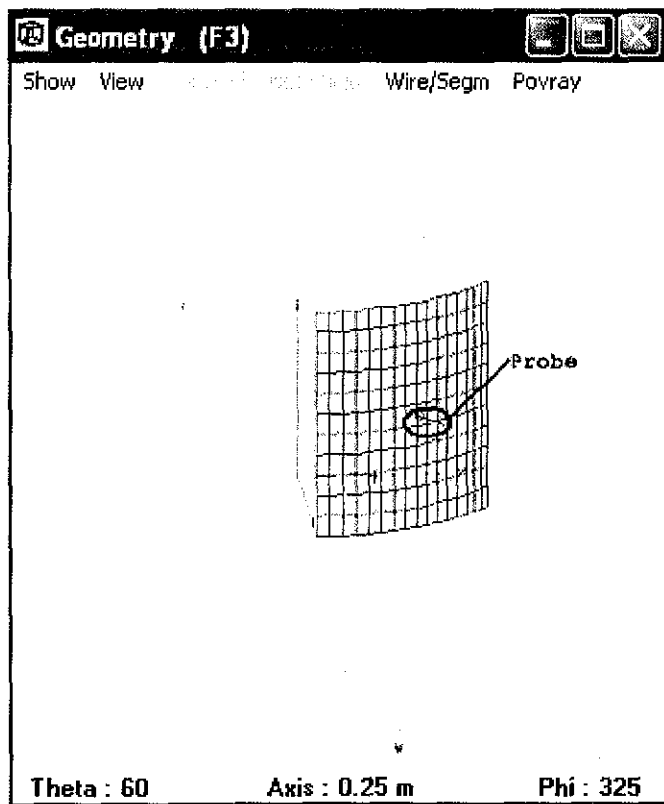
$$\rho_b/\rho_a = 1.5\lambda$$

จากการคำนวณจะได้ความยาวรัศมีวงนอก(ρ_b) 0.5245 m

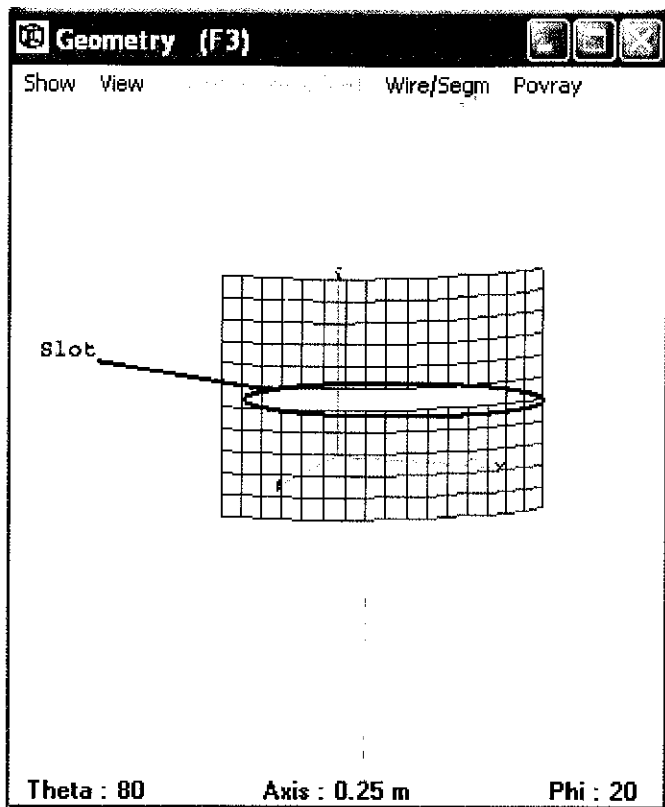
จากการคำนวณจะได้ความยาวรัศมีวงใน(ρ_a) 0.3492 m

นำค่าทั้งสองค่า a และ b ไปสร้างในโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้ารุ่นที่ 2 ในบทที่ 2

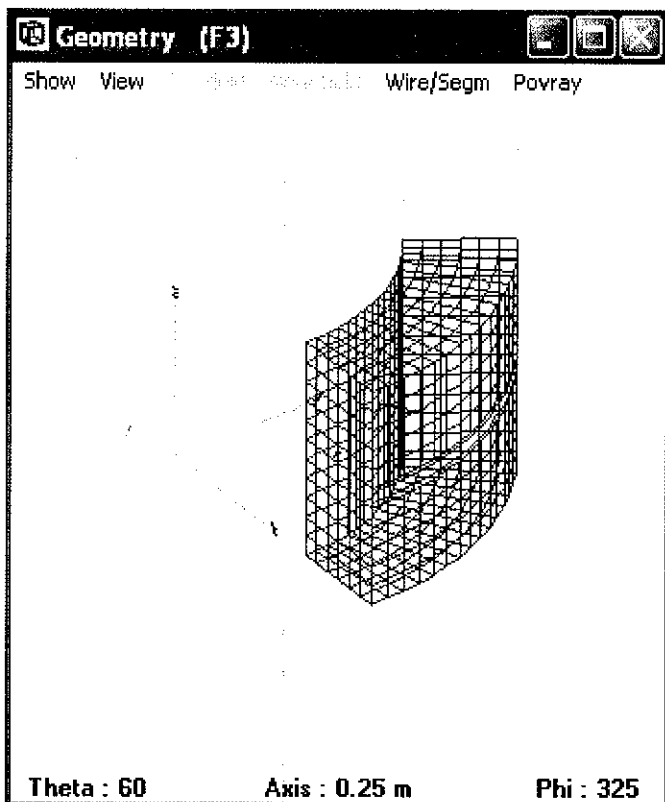
โครงการนี้สนใจออกแบบโครงสร้างของสายอากาศที่ความถี่ 900 MHz ความยาวคลื่น (λ) มีค่าเท่ากับ .3333 เมตร ทำให้รัศมีภายในและรัศมีภายนอกที่ใช้ในการออกแบบมีค่าเป็น 34.92 และ 52.45 เซนติเมตร ตามลำดับ มุมของเซกเตอร์เป็น 60° และโครงสร้างดังกล่าวจะถูกกระตุ้นด้วยโพรบไฟฟ้าเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 3.2



(ก) โครงสร้างรัศมีด้านใน



(ข) โครงสร้างรัศมีด้านนอก



(ค) โครงสร้างสมบูร์น

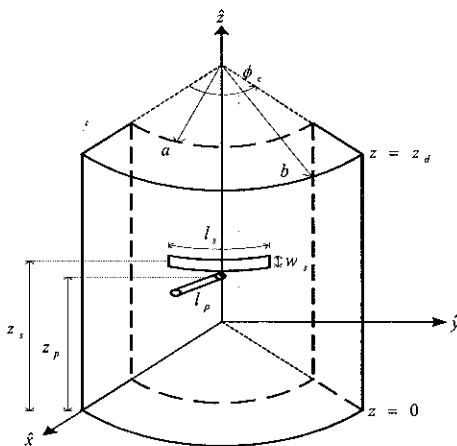
รูปที่ 3.2 โครงสร้างจำลองที่สร้างด้วยโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้ารุ่นที่ 2

3.3 การวิเคราะห์ผลการคำนวณ

การวิเคราะห์ผลการคำนวณของคุณลักษณะของสายอากาศได้แก่แบบรูปการแผ่พลังงานและอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เพื่อให้เกิดความรู้และความเข้าใจในธรรมชาติของสายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของโพรงทรงกระบอกที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบในแนวรัศมี ซึ่งจะนำไปสร้างสายอากาศตามที่ต้องการได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ในการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศจะทำได้โดยการศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศ ได้แก่ ตำแหน่งร่องบนทรงกระบอก ความยาวโพรบ ตำแหน่งโพรบ ซึ่งจะมีต่อแบบรูปการแผ่พลังงานและอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศ จากนั้นจะออกแบบและสร้างสายอากาศที่ให้แบบรูปการแผ่พลังงานและอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่สอดคล้องกับความต้องการใช้งาน ซึ่งจะแสดงความถูกต้องและแม่นยำในการวิเคราะห์ได้จากผลการทดสอบในบทที่ 4

3.3.1 ผลการคำนวณอิมพีแดนซ์ด้านเข้า

ก่อนอื่นเราจะวิเคราะห์คุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศ ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบสายอากาศที่อยู่ในภาวะสมดุลกับเครื่องรับส่งสัญญาณ เพื่อให้การถ่ายโอนกำลังงานมีประสิทธิภาพสูงสุด เราจะพิจารณาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่ออิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศซึ่งแสดงในรูปที่ 3.4 ได้แก่ ตำแหน่งร่อง (Z_s) ตำแหน่งโพรบ (ϕ_p, Z_p) ความยาวโพรบ (L_p) ตำแหน่งร่องเดี่ยว (Z_s) ในกรณีพิจารณาร่องแถวลำดับ โดยที่ขนาดอ้างอิงที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงได้ในตารางที่ 1 และความถี่ที่พิจารณาคือที่ความถี่ 900 MHz



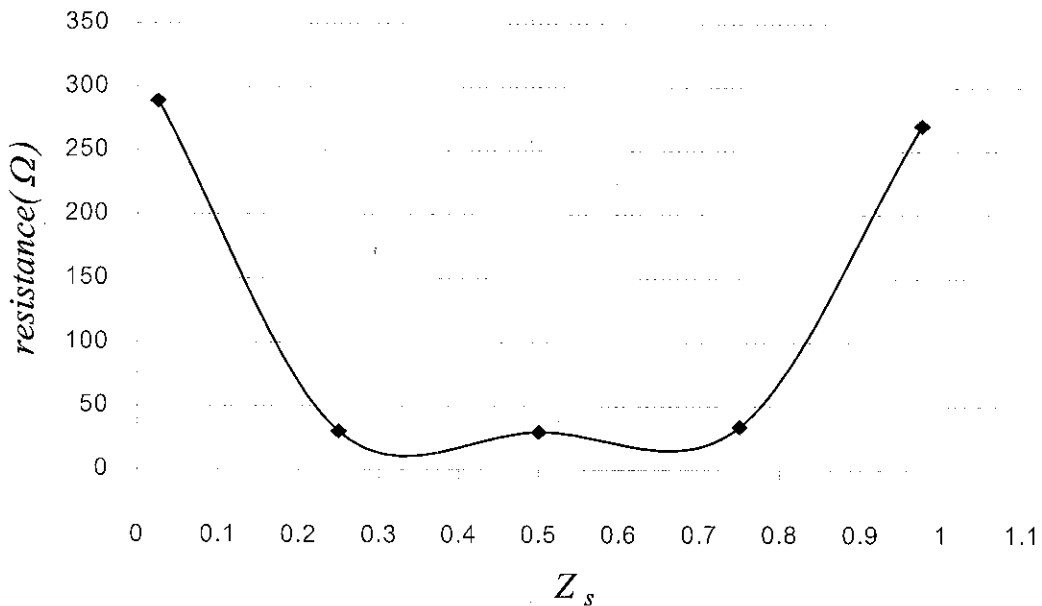
รูปที่ 3.3 แสดงพารามิเตอร์ของสายอากาศ

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดพารามิเตอร์อ้างอิงของสายอากาศ

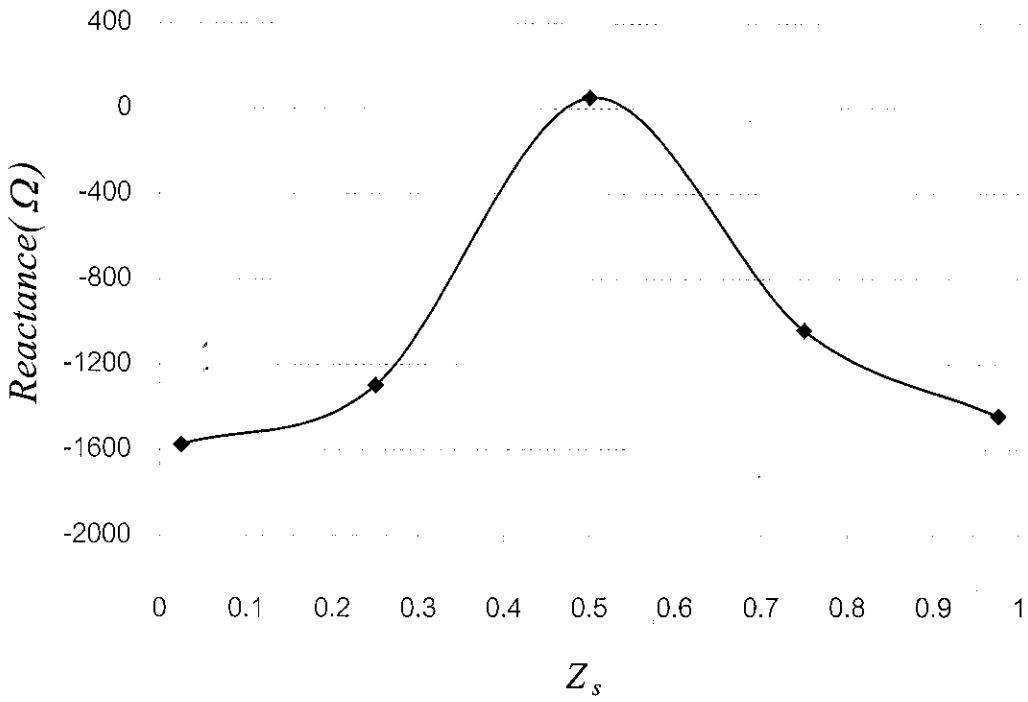
พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพที่ความถี่ (900MHz)
ความยาวสายอากาศ (Z_d)	1λ
ตำแหน่งร่องเดี่ยว (Z_s)	$0.5Z_d$
มุมเซกเตอร์ทรงกระบอก (ϕ_c)	60°
ความยาวโพรบ (L_p)	0.25λ
ตำแหน่งโพรบ (ϕ_p)	30°
ตำแหน่งโพรบ (Z_p)	$0.5Z_d$

3.3.2 ตำแหน่งร่องเดี่ยว (Z_s)

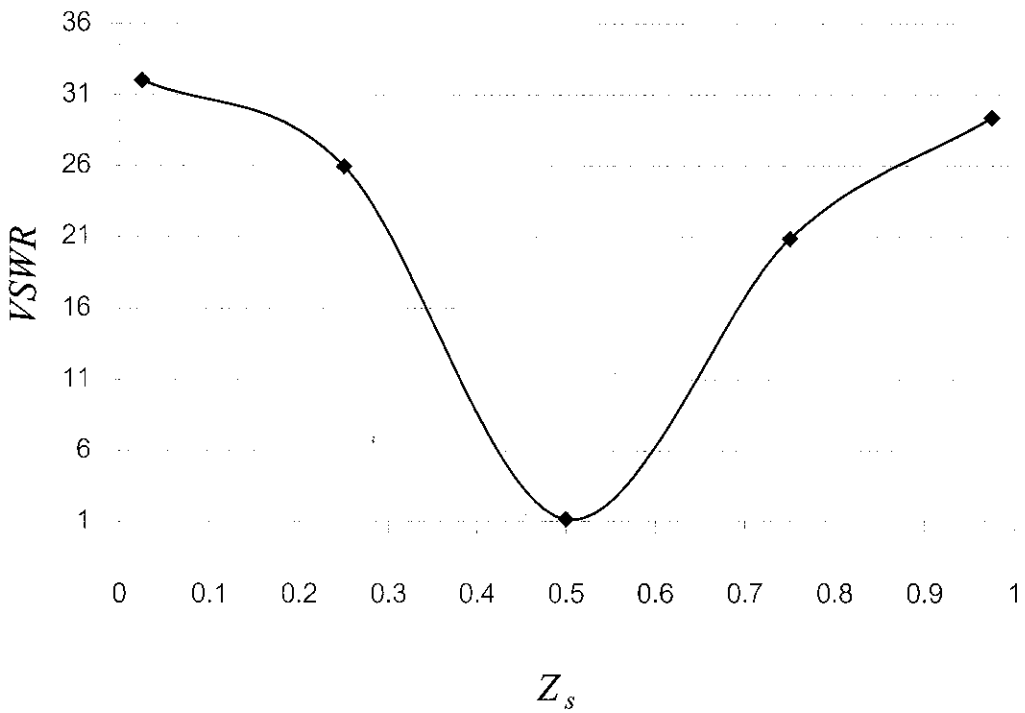
โดยการอ้างอิงขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆ ตามตารางที่ 3.1 เราจะพิจารณาดำแหน่งของการเจาะร่องบนผิวทรงกระบอกตัวนอก (Z_s) จากรูปที่ 3.5 เมื่อตำแหน่งของโพรบอยู่ที่ $Z = 16.665$ เซนติเมตร จะเห็นว่าที่ $Z_s = 0.025Z_d, 0.25Z_d, 0.5Z_d, 0.75Z_d$ และ $0.975Z_d$ จะได้ความต้านทานที่ $0.5Z_d$ มีค่าความต้านทานใกล้เคียง 50Ω และมีค่ารีแอกแตนซ์เข้าใกล้ 0Ω (รีโซแนนซ์) ทำให้ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันมีค่าใกล้ 1 มากที่สุด ที่ $Z_s = 0.5Z_d$ เป็นตำแหน่งที่รีโซแนนซ์ที่ความถี่ 900 MHz



(ก) ความต้านทาน



(ข) รีแอกแตนซ์

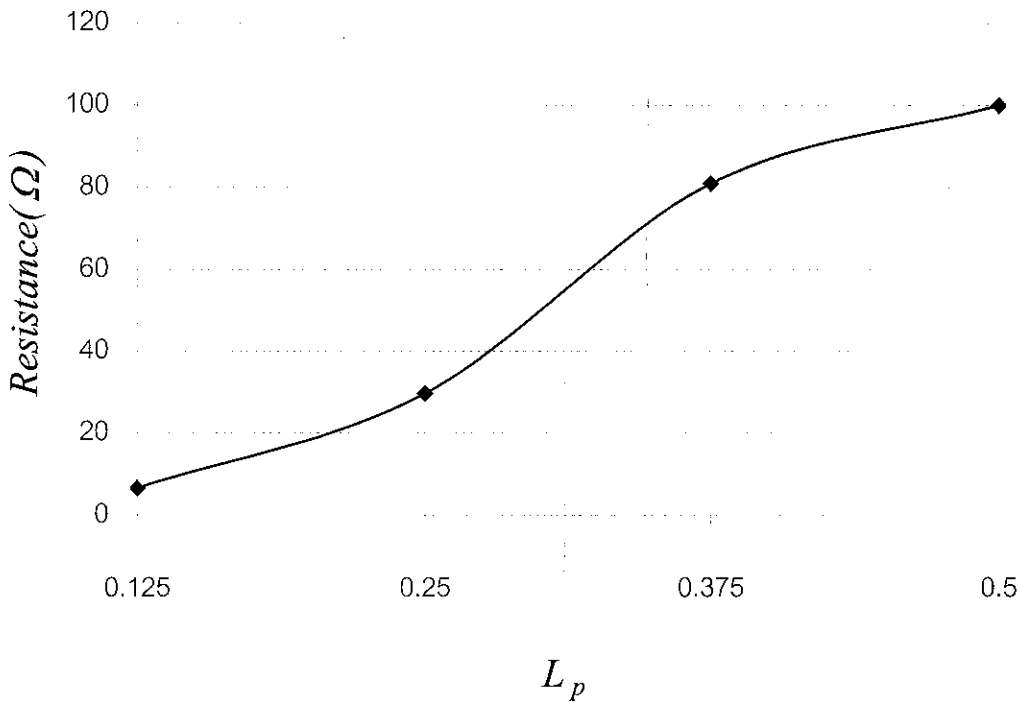


(ค) อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

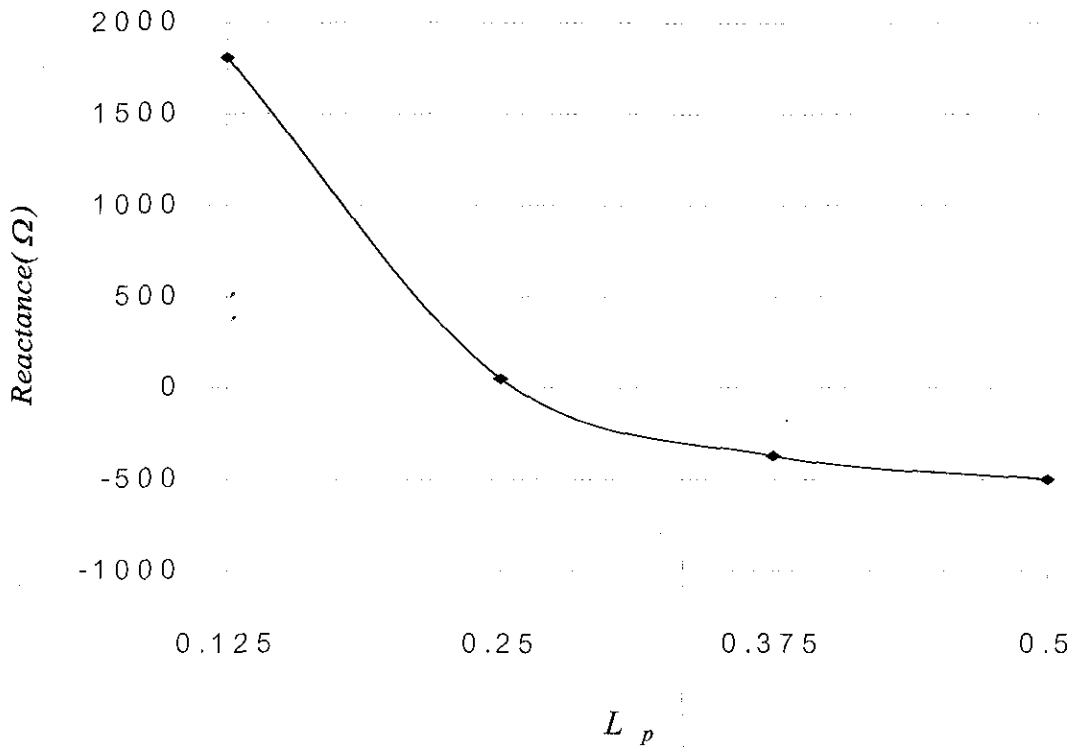
รูปที่ 3.4 แสดงคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้าเมื่อ $Z_s = 0.025Z_d, 0.25Z_d, 0.5Z_d, 0.75Z_d$ และ $0.975Z_d$

3.3.3 ความยาวโพรบ (L_p)

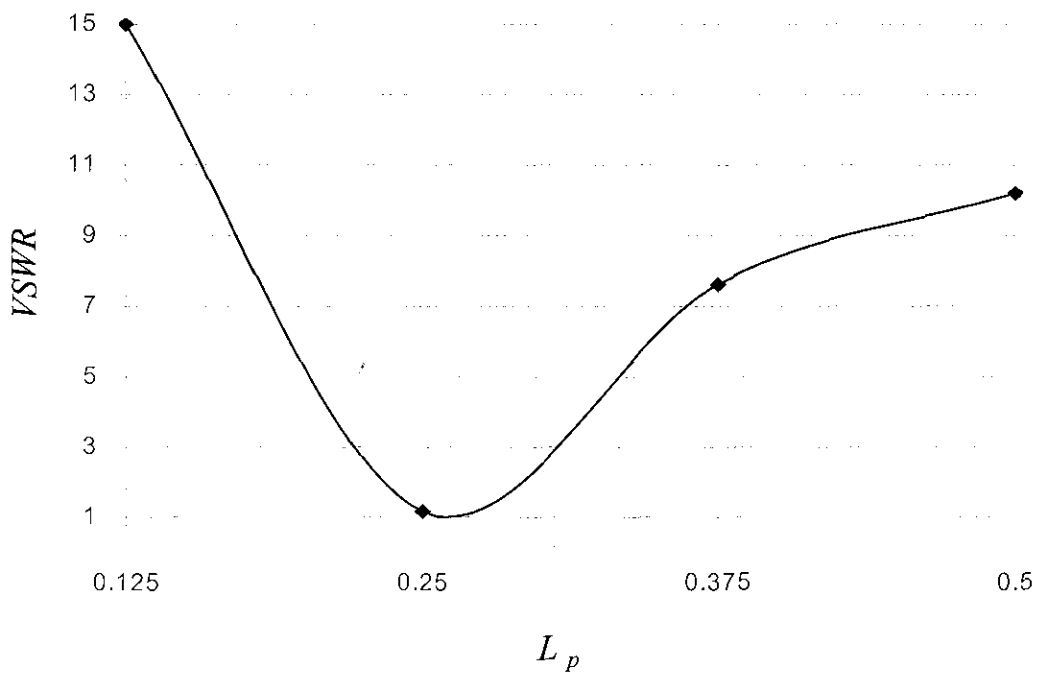
โดยการอ้างอิงขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆ ตามตารางที่ 3.1 เราจะพิจารณาความยาวของโพรบ (L_p) จากรูปที่ 3.6 เมื่อตำแหน่งของโพรบอยู่ที่ $Z = 16.665$ เซนติเมตร จะเห็นว่าที่ $L_p = 0.125\lambda$, 0.25λ , 0.375λ และ 0.5λ จะได้ความต้านทานที่ 0.5λ มีค่าความต้านทานใกล้เคียง 50Ω และมีค่ารีแอกแตนซ์เข้าใกล้ 0Ω (รีโซแนนซ์) ทำให้ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันมีค่าใกล้ 1 มากที่สุด ดังนั้นที่ 0.25λ จึงเป็นตำแหน่งที่รีโซแนนซ์ที่ความถี่ 900MHz



(ก) ความต้านทาน



(ข) รีแอกแตนซ์

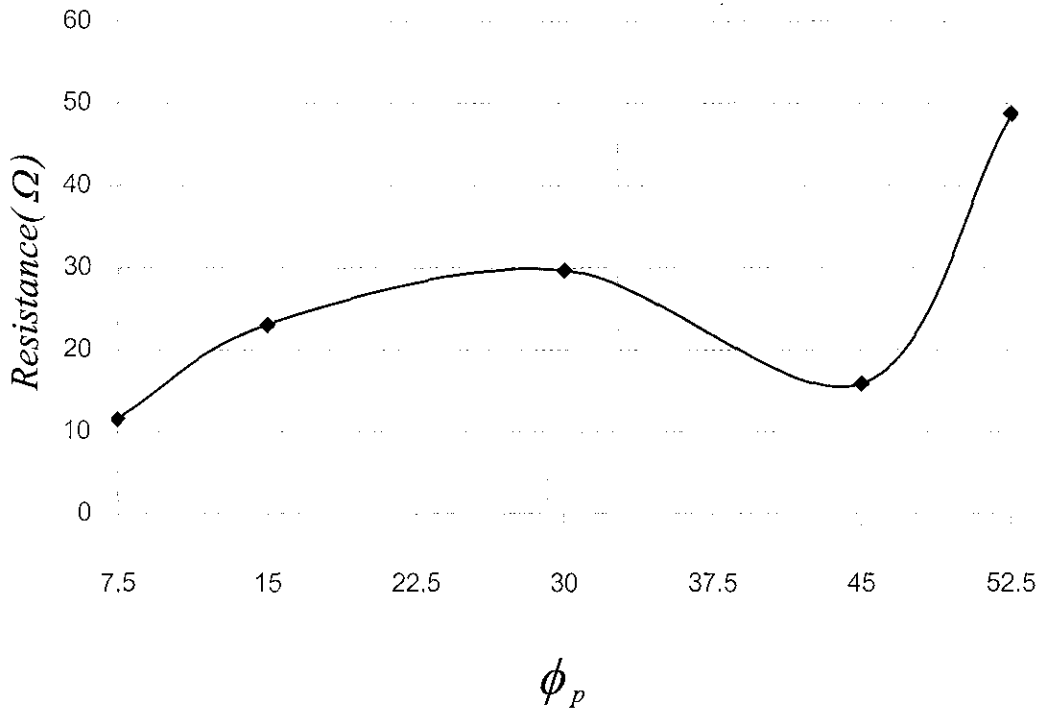


(ค) อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

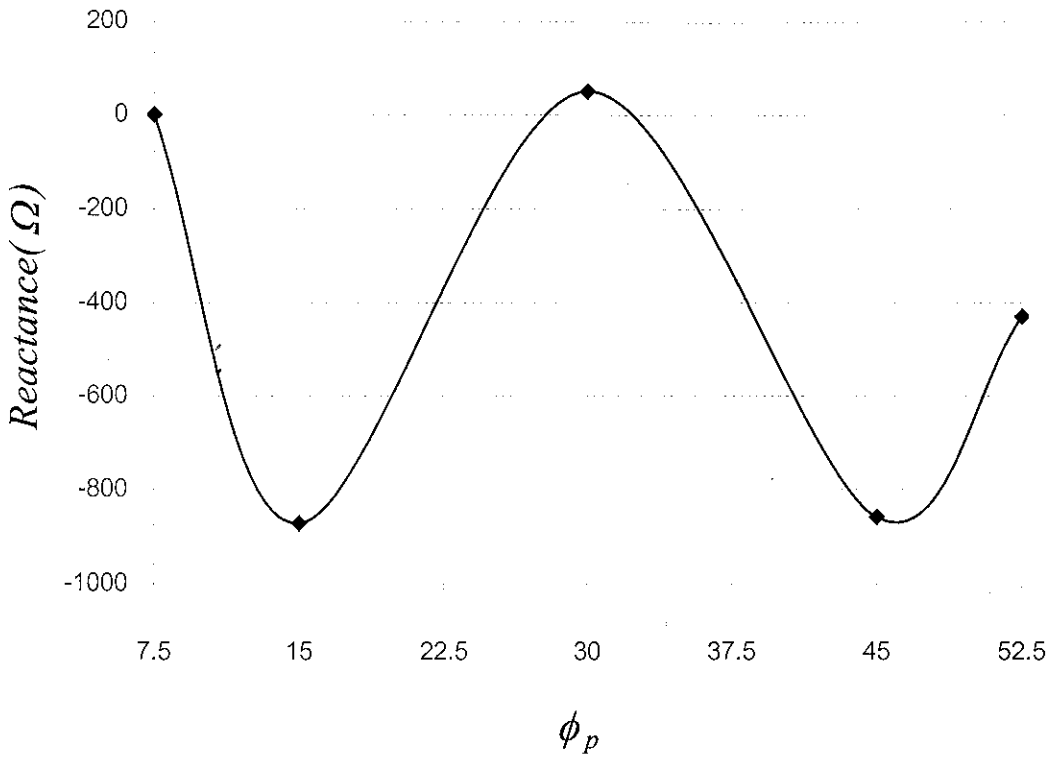
รูปที่ 3.5 แสดงคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เมื่อ $L_p = 0.125\lambda, 0.25\lambda, 0.375\lambda, 0.5\lambda$

3.3.4 ตำแหน่งโพรบ (ϕ_p)

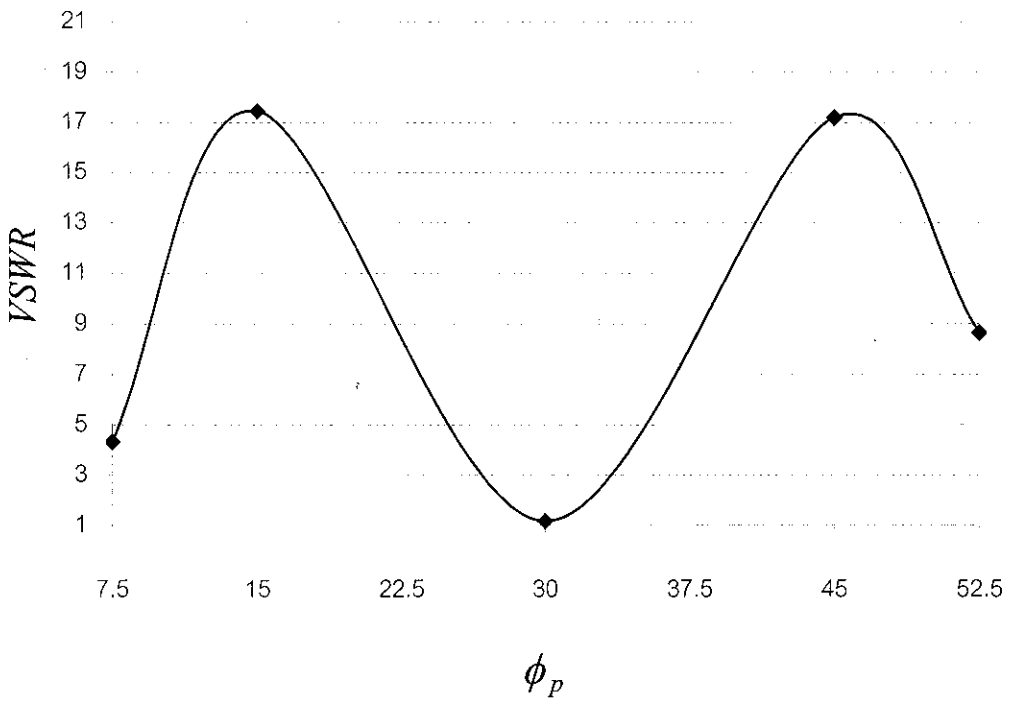
โดยการอ้างอิงขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆ ตามตารางที่ 3.1 เราจะพิจารณาดำแหน่งโพรบ จากรูปที่ 3.6 เมื่อดำแหน่งของโพรบอยู่ที่ ϕ_p จะเห็นว่าที่ $\phi_p = 7.5^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ และ 52.5° ได้ ความต้านทานที่ 30° มีค่าความต้านทานใกล้เคียง 50Ω และมีค่ารีแอกแตนซ์เข้าใกล้ 0Ω (รีโซแนนซ์) ทำให้ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันมีค่าใกล้ 1 มากที่สุดดังนั้นที่ 30° เป็นตำแหน่งที่รีโซแนนซ์ที่ ความถี่ 900MHz



(ก) ความต้านทาน



(ค) รีแอกแตนซ์

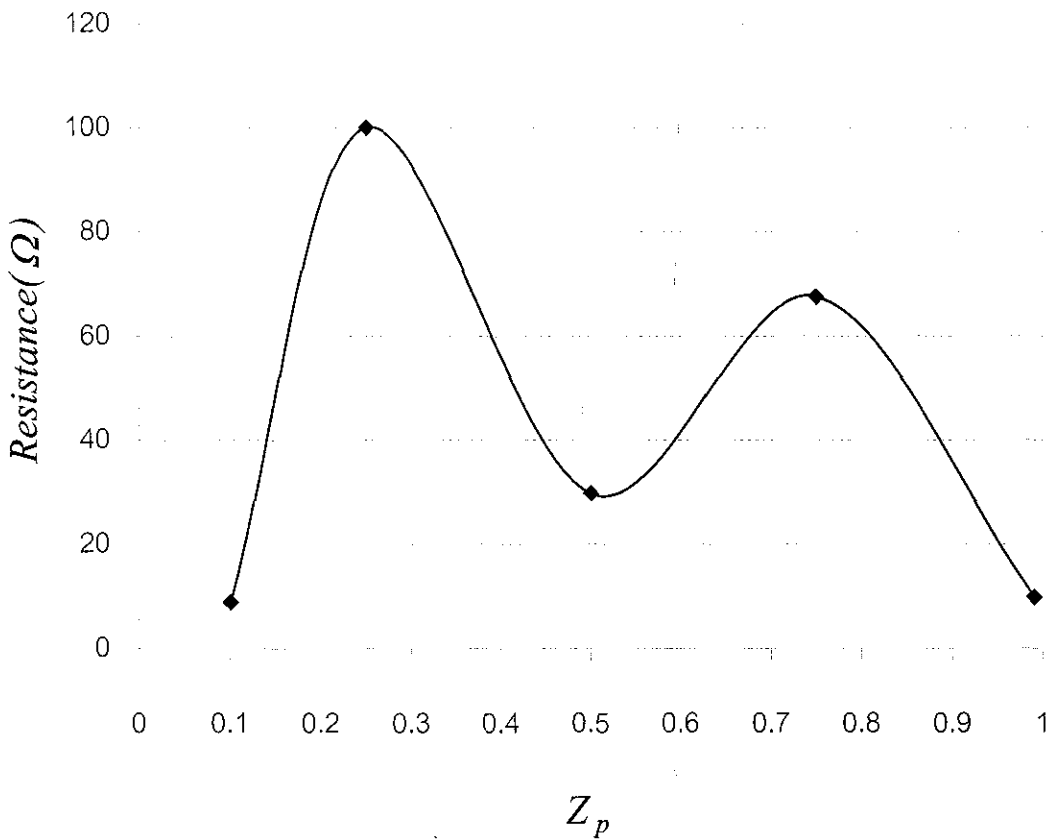


(ค) อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

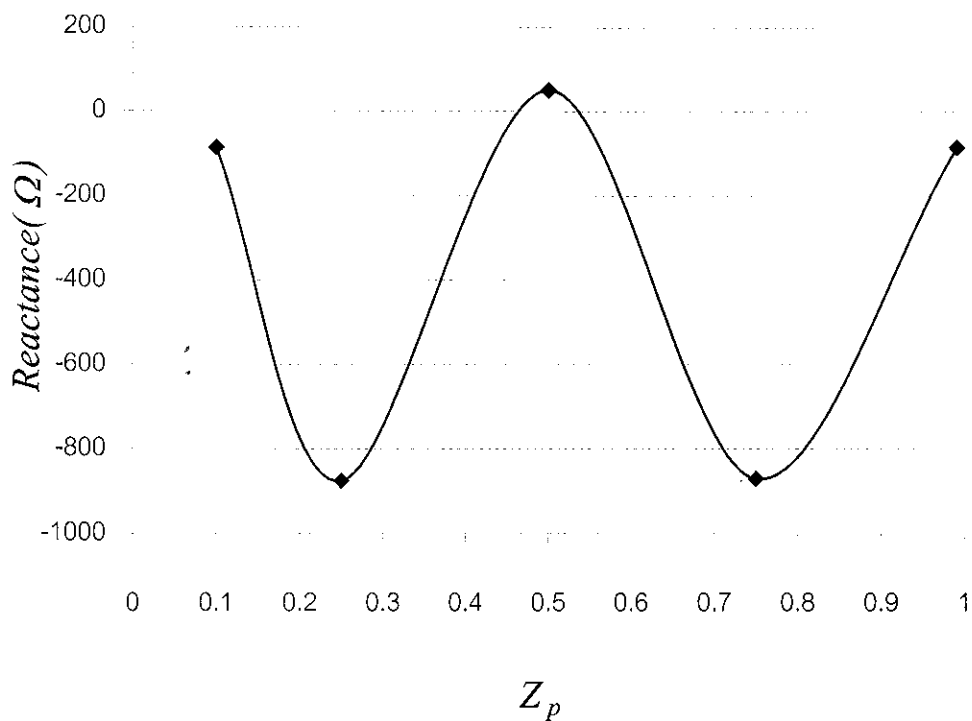
รูปที่ 3.6 แสดงคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เมื่อ $\phi_p = 7.5^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ และ 52.5°

3.3.5 ตำแหน่งโพรบ (Z_p)

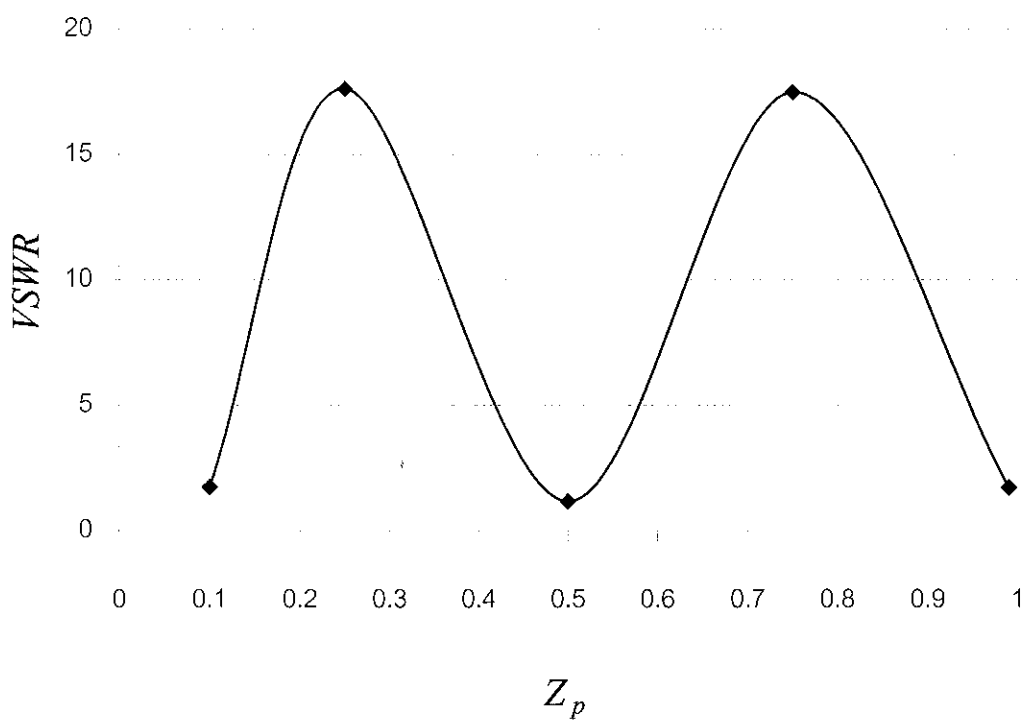
โดยการอ้างอิงขนาดของพารามิเตอร์ต่างๆ ตามตารางที่ 3.1 เราจะพิจารณาตำแหน่งโพรบจากรูปที่ 3.7 เมื่อตำแหน่งของโพรบอยู่ที่ Z_p จะเห็นว่าที่ $Z_p = 0.01Z_d, 0.25Z_d, 0.5Z_d, 0.75Z_d$ และ $0.99Z_d$ จะเห็นว่าความต้านทานที่ $0.5Z_d$ มีค่าความต้านทานมีใกล้ 50Ω มีและค่ารีแอกแตนซ์เข้าใกล้ 0Ω (รีโซแนนซ์) ทำให้ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันมีค่าใกล้ 1 มากที่สุด ที่ $0.5Z_d$ เป็นตำแหน่งที่รีโซแนนซ์ที่ความถี่ 900MHz



(ก) ความต้านทาน



(ข) รีแอกแตนซ์

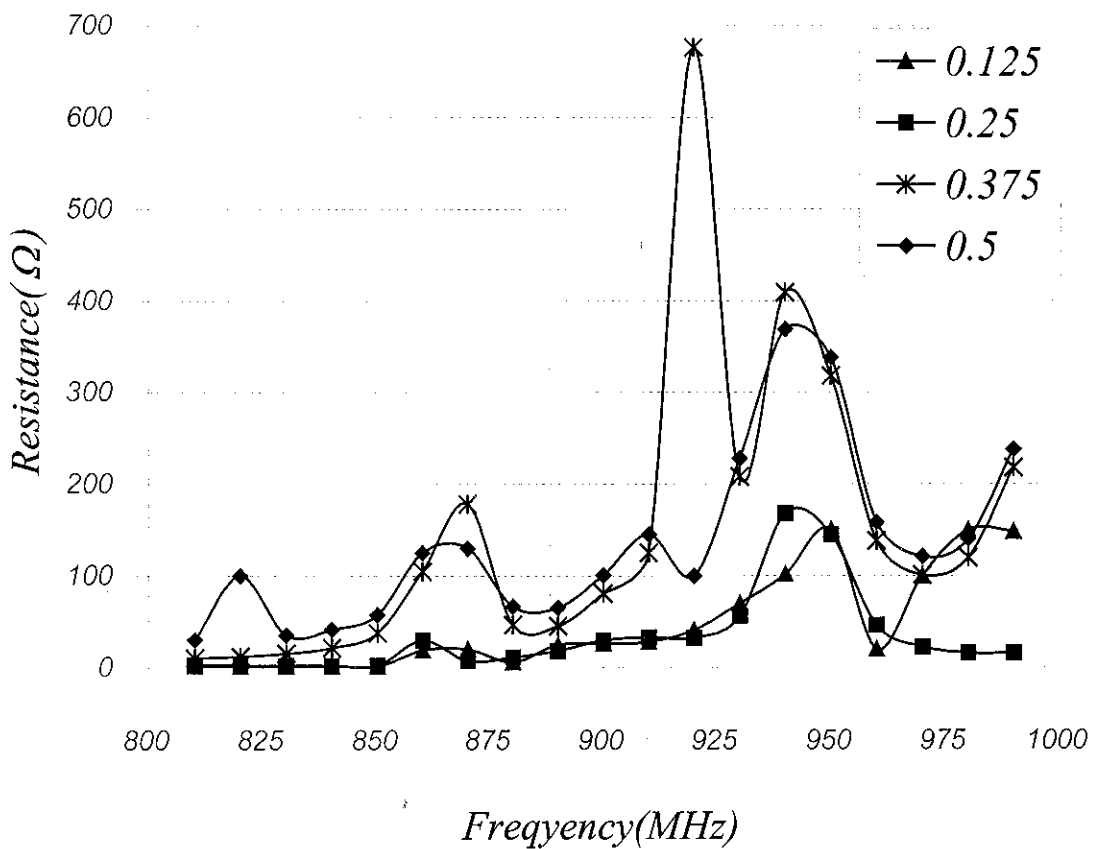


(ค) อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

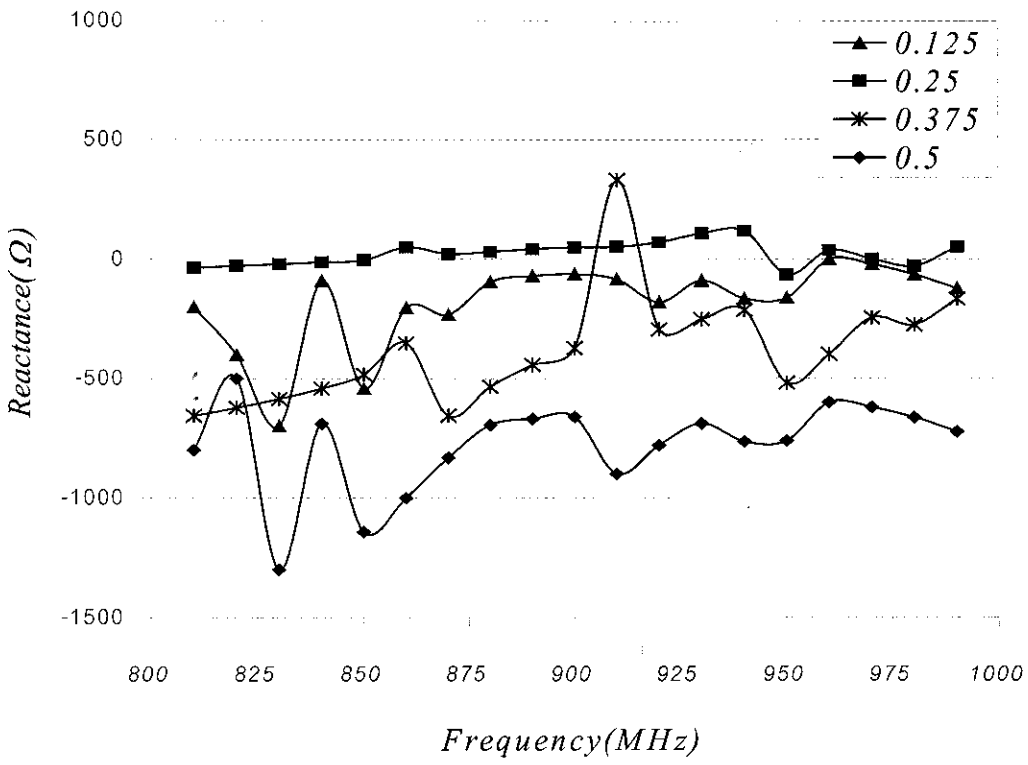
รูปที่ 3.7 แสดงคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เมื่อ $Z_p = 0.01Z_d, 0.25Z_d, 0.5Z_d, 0.75Z_d, 0.99Z_d$

3.3.6 ความถี่ที่ใช้งาน

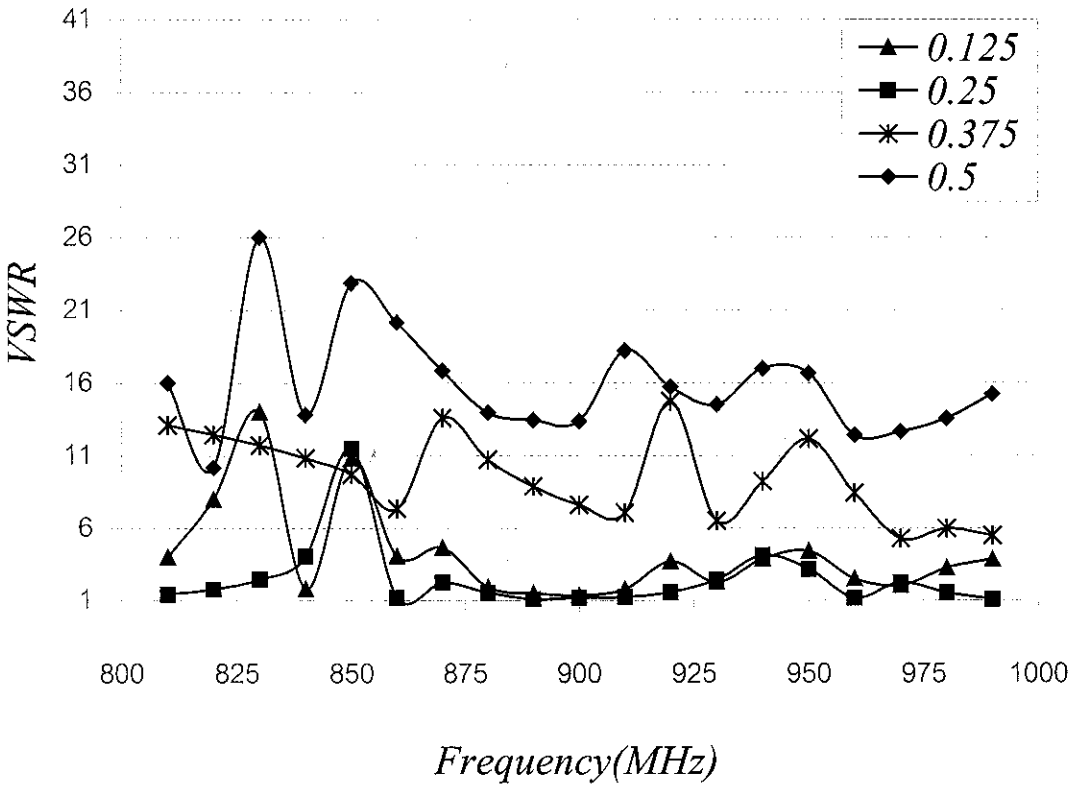
ใช้ค่าอ้างอิงจากหัวข้อ 3.3 เพื่อดูค่าความต้านทาน รีแอกแตนซ์ อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันในช่วงความถี่ 810 MHz ถึง 990 MHz และเปลี่ยนความยาวโพรบ (L_p) ที่ $L_p = 0.125\lambda$, 0.25λ , 0.375λ และ 0.5λ จากกราฟที่ 3.8 ที่ความยาว 0.25λ มีค่าความต้านทาน ที่ 50Ω ที่ความถี่ 900 MHz แนวโน้มของกราฟที่ความต้านทานต่ำกว่า 900 MHz ค่าจะลดลง ที่สูงกว่า 900 MHz ค่าจะเพิ่มขึ้น ค่ารีแอกแตนซ์ที่ 0.25λ และมีค่าใกล้เคียงความถี่รีโซแนนซ์มาก ทำให้อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันที่ 0.25λ มีค่าใกล้ 1 มาก ที่ช่วงความถี่ 880MHz-920 MHz



(ก) ความต้านทาน



(ข) รีแอกแตนซ์

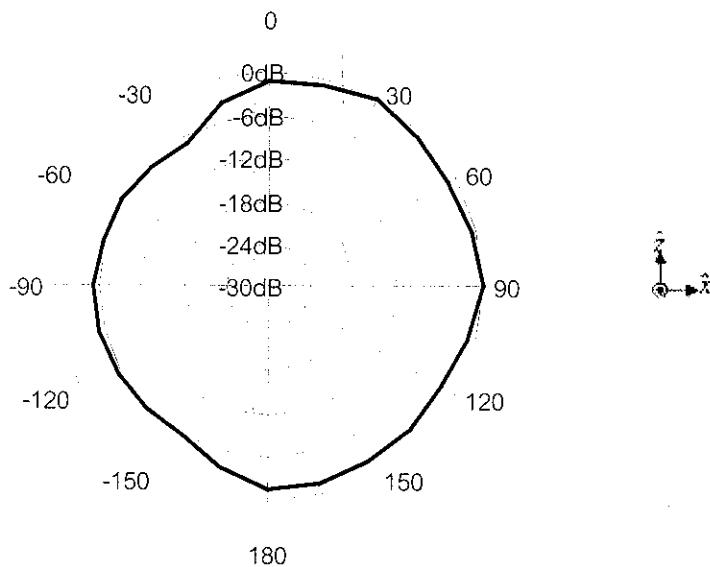


ค) อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

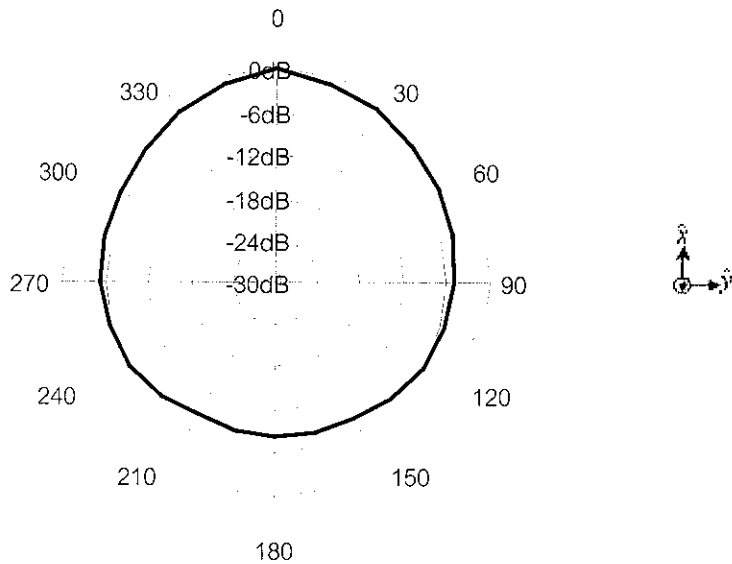
รูปที่ 3.8 แสดงคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ $L_p = 0.125\lambda, 0.25\lambda, 0.375\lambda$ และ 0.5λ ช่วงความถี่ 810 MHz -900MHz

3.4 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศร่องเดี่ยวด้วยโปรแกรมคำนวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงตัวเลขรุ่นที่ 2

แบบรูปการแผ่พลังงานเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการออกแบบสายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของโพรงทรงกระบอก ดังนั้นในหัวข้อนี้จะแสดงถึงคุณลักษณะของแบบรูปการแผ่พลังงานของร่องบนผิวตัวนำทรงกระบอกด้านนอก พารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศอ้างตามตารางที่ 4.1 ในรูปที่ 4.1 จะเป็นการแสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศร่องเดี่ยว พิจารณาแบบรูปการแผ่พลังงานจากการทดลองในรูปที่ 4.1 จะพบว่าในระนาบ XZ และ XY มีความกว้างลำครึ่งกำลัง (Half - power beamwidth) ที่ -3 dB จะได้ประมาณ 180 องศา และ 60 องศา ตามลำดับ



(ก) ระนาบ XZ ($\phi = 0$ องศา)



(ข) ระบาย XY ($\theta = 90$ องศา)

รูปที่ 3.9 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศร่องเดี่ยวด้วยโปรนแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงตัวเลขรุ่นที่ 2

3.5 สรุป

เรามีความรู้และความเข้าใจถึงอิทธิพลอันเนื่องมาจากพารามิเตอร์ต่างๆ ของโครงสร้างสายอากาศที่มีต่อคุณลักษณะของแบบรูปการแผ่พลังงานและอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของทรงรูปทรงกระบอกที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบได้ดังรายละเอียดที่กล่าวในหัวข้อก่อนหน้าทั้งหมด ซึ่งพารามิเตอร์ที่เราได้พิจารณามีดังนี้ คือ ขนาดโพรบ ตำแหน่งร่อง รัศมีภายในทรงกระบอก อัตราส่วนรัศมีภายนอกและรัศมีภายใน และระยะห่างระหว่างร่อง จากการศึกษาที่ได้กล่าวไปแล้วทำให้เราได้รู้แนวทางในการออกแบบสายอากาศเพื่อให้มีคุณสมบัติอยู่ในเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้งาน โดยการปรับพารามิเตอร์ของสายอากาศต่างๆ เพื่อให้การทำได้แบบรูปการแผ่พลังงานและอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่เหมาะสม

บทที่ 4

การทดสอบสายอากาศ

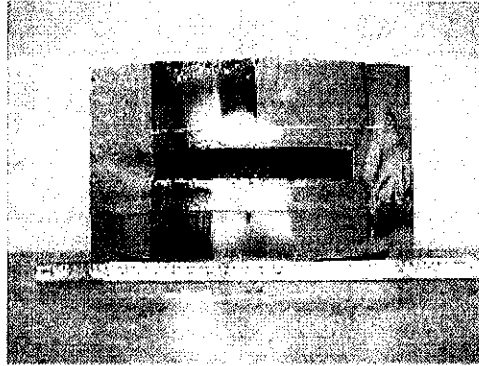
ในบทนี้จะเป็นการสร้างสายอากาศขึ้นมาโดยใช้ขนาดตามที่ได้คำนวณผลลัพธ์ออกมาในบทที่ 3 แต่เพื่อยืนยันความถูกต้องของการคำนวณ จึงต้องมีการทดสอบเพื่อยืนยันผล ซึ่งการทดสอบนี้เป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการโทรคมนาคมโดยมีขั้นตอนการออกแบบและทดสอบพร้อมแสดงผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ

4.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศ

ในการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดของการออกแบบสายอากาศให้มีคุณสมบัติตามต้องการสามารถพิจารณาจากผลการคำนวณที่ได้แสดงและอธิบายในบทที่ 3 ซึ่งจะพบว่า ณ ตำแหน่งที่ให้คุณสมบัติของสายอากาศที่ดีที่สุดได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 แล้วจึงนำมาสร้างสายอากาศต้นแบบขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศ

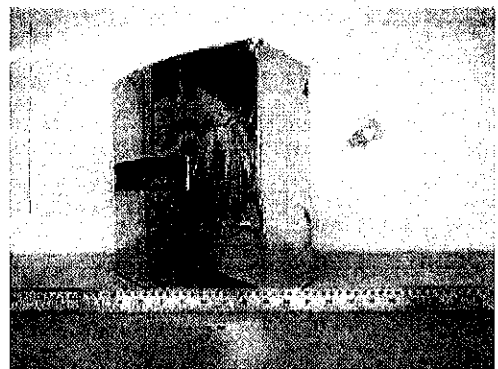
พารามิเตอร์	ขนาด (ที่ความถี่ 900 MHz)
ขนาดโพรง (Z_d)	1λ
ตำแหน่งร่องเดี่ยว (Z_r)	$(30^\circ, 0.5\lambda)$
รัศมีภายในทรงกระบอก (b)	1.575λ
อัตราส่วนรัศมีภายนอกและภายใน (b/a)	1.5
มุมเซกเตอร์ทรงกระบอกแกนร่วม (ϕ)	60°
ความกว้างร่อง (w_r)	0.05λ
ความยาวโพรง (L_p)	0.25λ
ตำแหน่งโพรง (ϕ_p, Z_p)	$(30^\circ, 0.5 Z_d)$



(ก) ด้านหน้าสายอากาศ



(ข) ด้านหลังสายอากาศ



(ค) ด้านข้างสายอากาศ

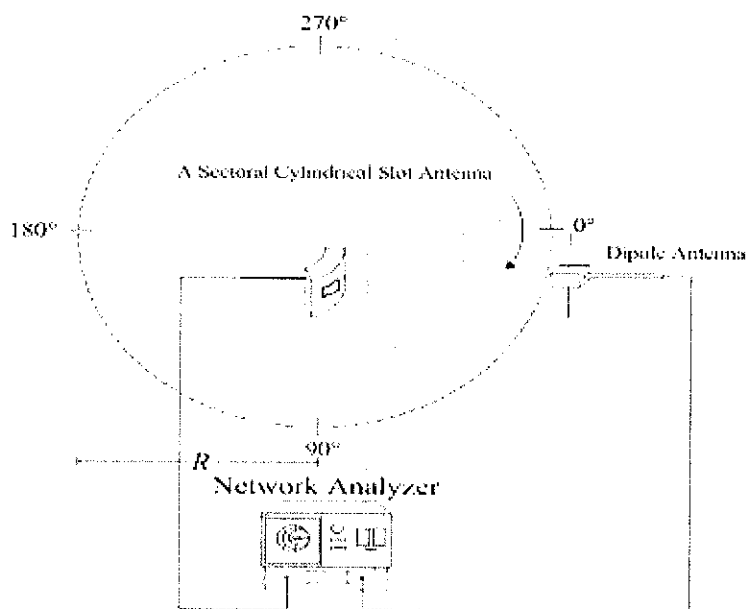
รูปที่ 4.1 แสดงภาพถ่ายสายอากาศในการทดสอบ

เมื่อสร้างสายอากาศต้นแบบเสร็จสิ้นได้นำมาทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติที่จำเป็น เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

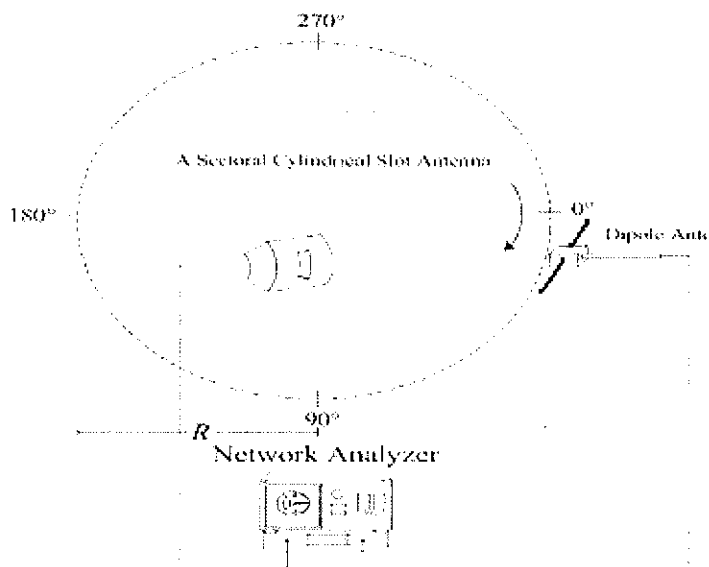
4.2 ขั้นตอนการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานพลังงาน

- 1) กำหนดการวัดที่ความถี่ ตั้งแต่ 810 MHz ถึง 990 MHz
- 2) กำหนดให้สายอากาศไดโพล เป็นสายอากาศรับ
- 3) กำหนดให้สายอากาศร่องในแนวเส้นรอบวงเป็นสายอากาศส่ง
- 4) ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับเท่ากับ 1 เมตร
- 5) วัดค่า S_{12} เพื่อนำมาพล็อตแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโดยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย HP 8722D

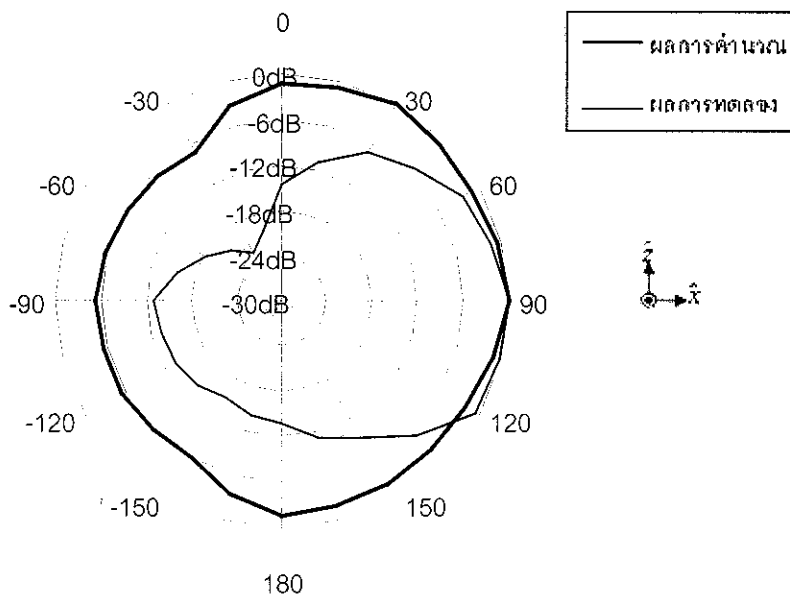
จากรูปที่ 4.5 เป็นการแสดงแบบรูปการแผ่พลังงานซึ่งได้จากการวัดทดสอบจะพบว่าในระนาบ XZ และ XY มีความกว้างลำครึ่งกำลัง (Half – Power Beamwidth: HPBW) ตำแหน่งที่ -3 dB ตำแหน่งแรกอยู่ที่ 40 องศา และ ตำแหน่งที่สองอยู่ที่ 130 องศา จึงทำให้ได้ HPBW = 90 องศา ซึ่งแสดงในรูป ก) และรูป ข) ตำแหน่งที่ -3 dB ตำแหน่งแรกอยู่ที่ 345 องศา และ ตำแหน่งที่สองอยู่ที่ 45 องศา จึงทำให้ได้ HPBW = 60 องศา ซึ่งจะแคบกว่าผลการคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานซึ่งแสดงในบทที่ 3 ผลที่เกิดจากการวัดมีพลูล้าง (black lobe) จำนวนเท่ากันและยังมีค่าน้อยกว่าผลการคำนวณ



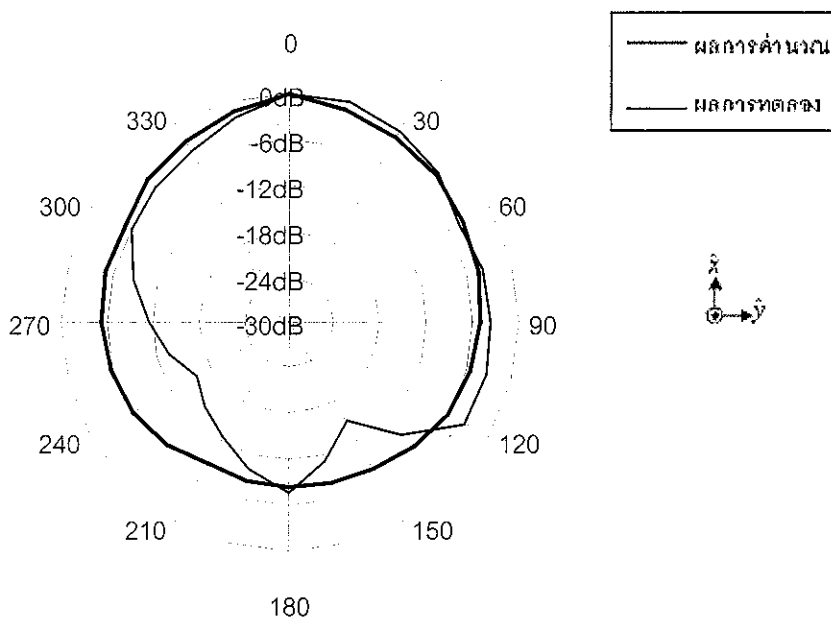
รูปที่ 4.2 การวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ xz



รูปที่ 4.3 การวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ xy

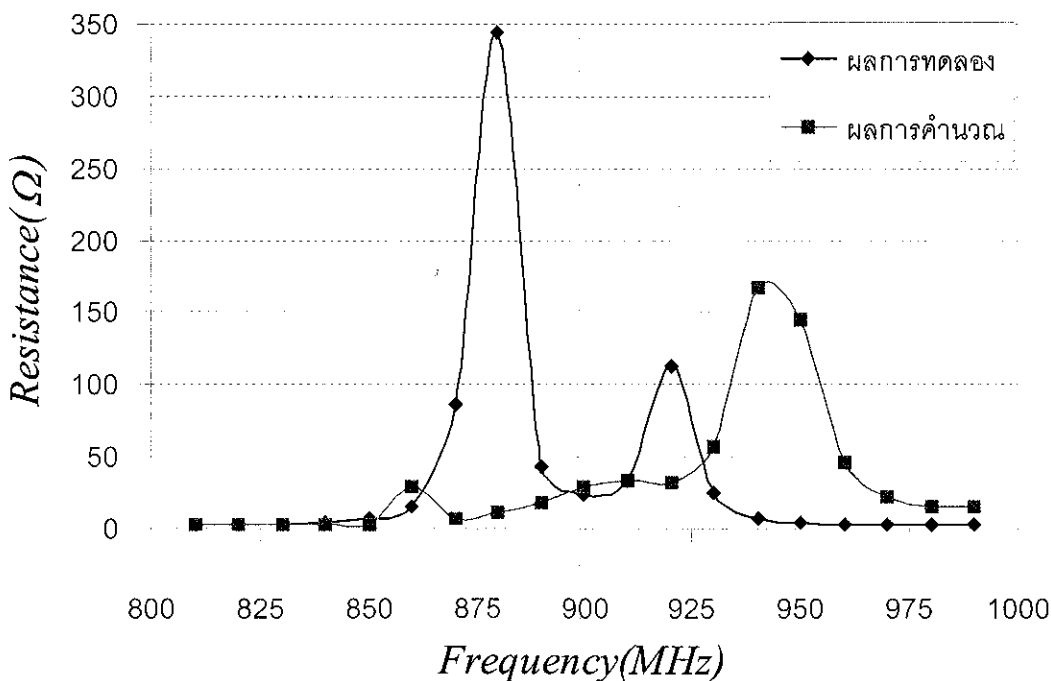


(ก) ระนาบ XZ ($\phi = 0$ องศา)

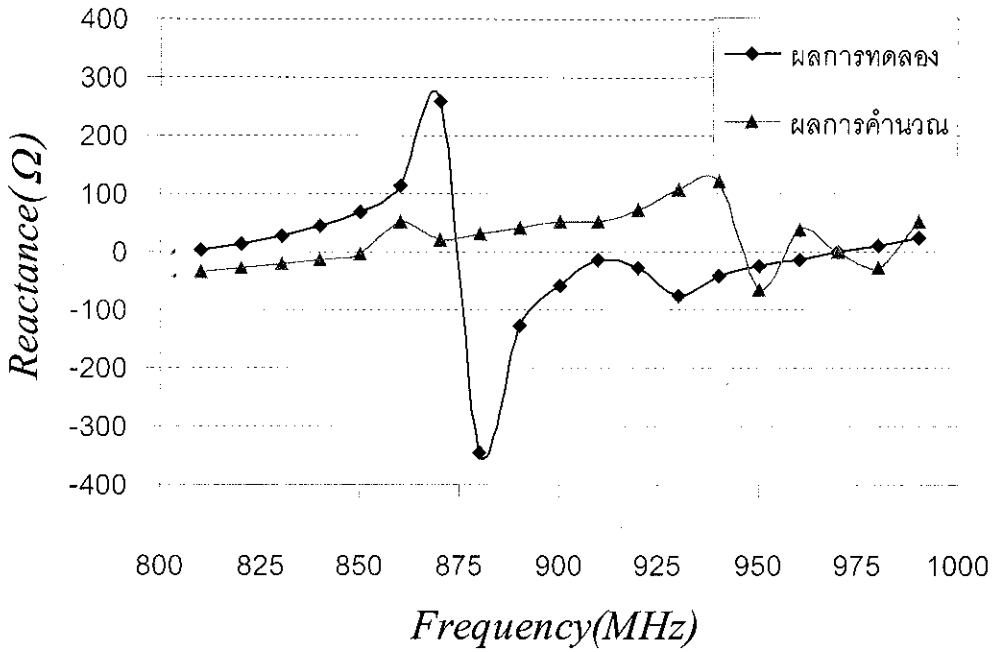


(ข) ระนาบ XY ($\theta = 90$ องศา)

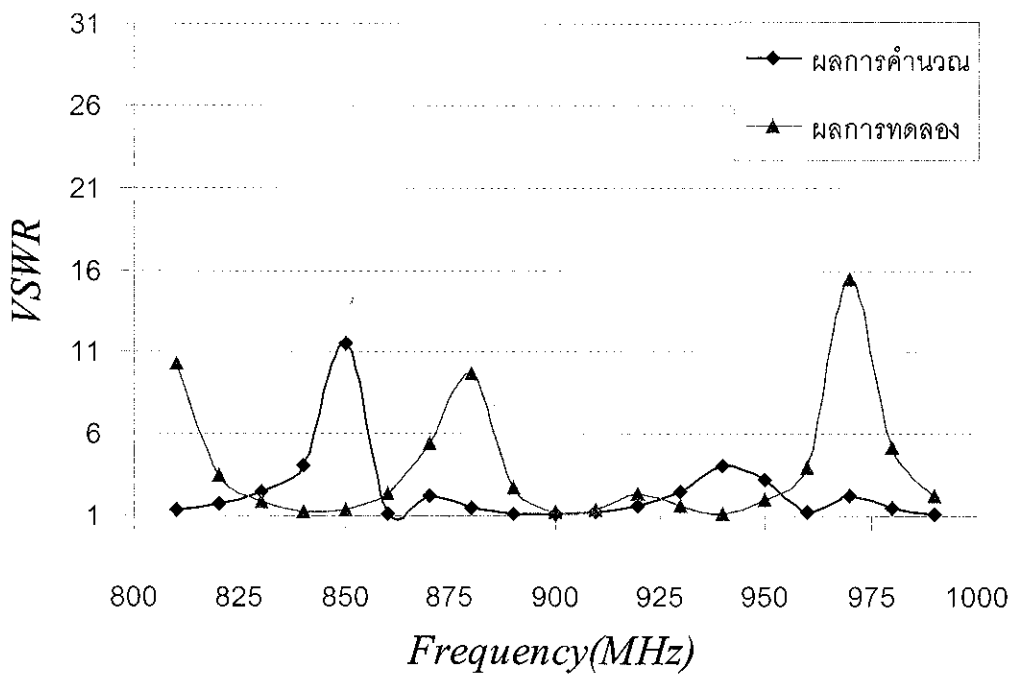
รูปที่ 4.4 แสดงแบบรูปแผ่พลังงานสายอากาศร่องเดี่ยวเมื่อ $Z_d = 33.33$ cm, $L_s = 8.3325$ cm, $Z_s = 16.665$ cm, $b/a = 1.5$, $a = 34.96$ cm



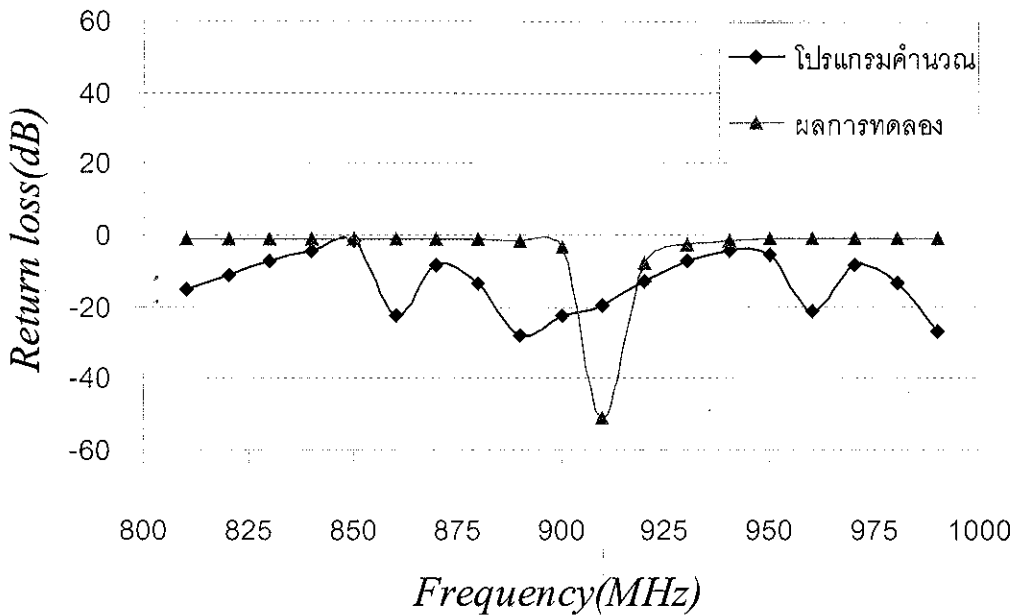
รูปที่ 4.5 ความต้านทานเมื่อ $Z_d = 33.33$ cm, $L_s = 8.3325$ cm, $Z_s = 16.665$ cm, $b/a = 1.5$, $a = 34.96$ cm



รูปที่ 4.6 รีแอกแตนซ์เมื่อ $Z_d = 33.33$ cm, $L_s = 8.3325$ cm, $Z_s = 16.665$ cm, $b/a = 1.5$, $a = 34.96$ cm



รูปที่ 4.7 แสดงอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันเมื่อ $Z_d = 33.33$ cm, $L_s = 8.3325$ cm, $Z_s = 16.665$ cm, $b/a = 1.5$, $a = 34.96$ cm



รูปที่ 4.8 แสดงความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเมื่อ $Z_d = 33.33 \text{ cm}$, $L_s = 8.3325 \text{ cm}$, $Z_s = 16.665 \text{ cm}$, $b/a = 1.5$, $a = 34.96 \text{ cm}$

รูปที่ 4.5 ความต้านทานมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงความถี่ 900 MHz ส่วนค่าอื่นมีค่าแตกต่างกันพอสมควร รูปที่ 4.6 ค่ารีแอกแตนซ์มีค่าค่อนข้างต่างกันพอสมควรและมีบางค่ากระโดดไปที่ค่าลบน้อยมากและค่าบวกมากมาก รูปที่ 4.7 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่ 900 MHz และมีใกล้ 1 ส่วนความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ได้จากรูปที่ 4.8 ความถี่ที่เกิดจากความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ต่ำที่สุดคลาดเคลื่อนจากผลการคำนวณไปอยู่ที่ 935 MHz และค่าที่ต่ำสุดนี้ยังมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ

4.3 ความกว้างแถบของสายอากาศ

ความกว้างแถบของสายอากาศหมายถึง ช่วงความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้ดี ในกรณีของสายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของโพรงทรงกระบอกแกนร่วม คุณลักษณะที่จำเป็นต้องพิจารณาประกอบ คือ ที่อิมพีแดนซ์คุณลักษณะจะต้องแมตช์อย่างดี ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันต้องไม่เกิน 2 หรือค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับต้องไม่สูงกว่า -10 dB เมื่อแถบความถี่จากกราฟในรูปที่ 4.7 จะพบว่าตำแหน่งค่าความสูญเสียสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการคำนวณที่ตำแหน่ง -10 dB จะอยู่ที่ความถี่ 880 MHz และ 920 MHz และในกรณีที่ผลลัพธ์ได้จากการทดสอบ พบว่าค่าความสูญเสียย้อนกลับ ณ ตำแหน่ง -10 dB จะอยู่ที่ความถี่ 909 MHz และ 919 MHz จึงสามารถพิจารณาความกว้างแถบของสายอากาศที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ

40 MHz หรือเท่ากับ 4.44% ส่วนความกว้างแถบที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าเท่ากับ 10 MHz หรือ 1.11 %

4.4 อัตราขยาย

พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมของสายอากาศอีกตัวหนึ่งก็คือ “อัตราขยาย” ถึงแม้ว่าอัตราขยายของสายอากาศจะมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับสภาพเจาะจงทิศทาง แต่เป็นการวัดคุณสมบัติที่ได้คิดรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วย ทำการวัดโดยใช้ HP 8722D Network Analyzer โดยใช้สายอากาศไดโพล ใช้วิธีการเทียบ 3 สายอากาศ (Three-Antenna Method)[3] โดยใช้สมการ

(a - b combination)

$$(G_a)_{dB} + (G_b)_{dB} = 20\log(4R\pi/\lambda) + 10\log(P_{rb}/P_{ta}) \quad (4-1)$$

(a - c combination)

$$(G_a)_{dB} + (G_c)_{dB} = 20\log(4R\pi/\lambda) + 10\log(P_{rc}/P_{ta}) \quad (4-2)$$

(b - c combination)

$$(G_b)_{dB} + (G_c)_{dB} = 20\log(4R\pi/\lambda) + 10\log(P_{rc}/P_{rb}) \quad (4-3)$$

โดยที่

a = สายอากาศตัวที่ 1

b = สายอากาศตัวที่ 2

c = สายอากาศตัวที่ 3

(G_t) = อัตราขยายของสายอากาศตัวส่ง (dB)

(G_r) = อัตราขยายของสายอากาศตัวรับ (dB)

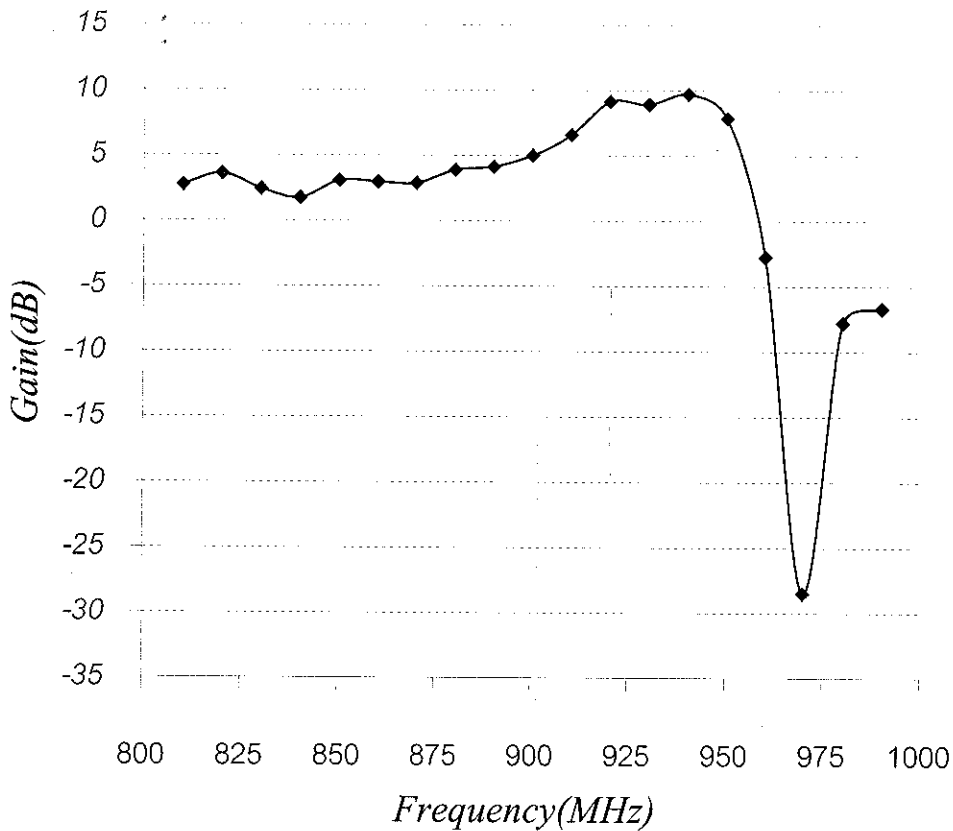
(P_r) = กำลังงานของสายอากาศตัวรับ (W)

(P_t) = กำลังงานของสายอากาศตัวรับ (W)

R = ความห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งและตัวรับ (เมตร)

λ = ความยาวคลื่น (เมตร)

จากการวัดสายอากาศทดสอบพบว่ามีค่าอัตราขยายอยู่ที่ 4.993 dB ที่ 900 MHz แต่จุดที่ดีที่สุดมีค่าอัตราขยายอยู่ที่ 9.7065 dB ที่ 940 MHz และมีบางช่วงที่ลดลงเนื่องจากวัดเทียบเป็นช่วงที่มีอัตราขยายน้อยกว่าสายอากาศเปรียบเทียบ



รูปที่ 4.9 อัตราขยายของสายอากาศทดลอง

4.5 สรุป

จากขนาดของสายอากาศที่เหมาะสมที่ได้พิจารณาออกแบบในบทที่ 3 ในบทนี้ได้ทำการวัดทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศซึ่งก็คือ แบบรูปการแผ่พลังงานของอัตราขยาย และอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศและความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับโดยที่สามารถคำนวณหาคุณสมบัติทั้งสองของสายอากาศโดยใช้ 4NEC2 ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณและทดสอบของคุณสมบัติเหล่านี้ มีผลที่ได้สอดคล้องกันแค่บางจุดเท่านั้น เช่น 900 MHz จากการวัดสายอากาศทดสอบพบว่ามีค่าอัตราขยายอยู่ที่ 4.993 dB ที่ 900 MHz แต่จุดที่ดีที่สุดมีค่าอัตราขยายอยู่ที่ 9.7065 dB ที่ 940 MHz

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปและวิจารณ์

โครงการนี้เป็นกรนำเสนอสายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของโพรงรูปทรงกระบอกแกนร่วมที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบ สายอากาศแบบนี้มีลักษณะเด่นด้วยโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน มีความแข็งแรง รองรับกำลังงานสูงได้ และสามารถที่จะนำเซกเตอร์ของทรงกระบอกมาประกอบเป็นทรงกระบอกเต็มใบ โดยใช้ตัวแบ่งกำลังงานส่งผ่านสัญญาณด้านเข้าให้โพรบในแต่ละจุดป้อนสัญญาณซึ่งสามารถทำได้อย่างสะดวกและง่าย สายอากาศที่นำเสนอจะสร้างด้วยเซกเตอร์ของโพรงรูปทรงกระบอกแกนร่วมซึ่งจะถูกเจาะเป็นร่องแคบๆ ในแนวเส้น รอบวงบนผิวตัวนำชั้นนอกที่ทำหน้าที่เป็นช่องเปิดเชื่อมต่อสัญญาณภายในและภายนอกโพรง ส่วนการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างโพรงและเครื่องรับส่งจะส่งผ่านโพรบเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยที่อยู่ในแนวรัศมีนับจากตัวนำชั้นใน

ออกแบบโครงสร้างสายอากาศของสายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของโพรงทรงกระบอกที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบในแนวรัศมีและทำการสร้างโครงสร้างสายอากาศลงในโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้ารุ่นที่ 2 โดยการสร้างแบบจำลองเส้นลวดสร้างด้านหลัง ด้านหน้า และด้านข้างตามลำดับ และให้โปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้ารุ่นที่ 2 คำนวณค่า แล้วนำค่าเหล่านี้มาเปรียบเทียบเพื่อหาจุดที่ดีที่สุดของสายอากาศ ได้แก่ ตำแหน่งร่องเดี่ยว (Z_0) ความยาวโพรบ (L_p) ตำแหน่งโพรบตามแนวรัศมีวงกลม (ϕ_p) ตำแหน่งโพรบตามแนวแกน Z (Z_p)

การวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศในโครงการเล่มนี้จะเริ่มจากอิมพีแดนซ์ด้านเข้าและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศร่องเดี่ยวบนเซกเตอร์ของโพรงรูปทรงกระบอกแกนร่วมที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบซึ่งทำให้เรามีความรู้และเข้าใจในพื้นฐานของอิทธิพลจากขนาดพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศที่มีต่อแบบรูปการแผ่พลังงานและอิมพีแดนซ์ด้านเข้า ในส่วนของการออกแบบเพื่อจะนำสายอากาศไปใช้งานสิ่งสำคัญนั้นคือจะต้องทำให้สายอากาศมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบนั้นๆ และเงื่อนไขที่ได้นำมาพิจารณาในการออกแบบสายอากาศนั้นก็ คือ ความต้านทาน แบบรูปการแผ่พลังงาน ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

ผลการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานและความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศที่ได้ออกแบบและสร้าง จะพบว่าผลการทดสอบค่อนข้างจะใกล้เคียงกับผลการคำนวณไม่ว่าจะเป็นแบบรูปการแผ่พลังงานและความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ อย่างไรก็ตามยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง อันเนื่องมาจากข้อจำกัดทางการคำนวณ และความไม่พร้อมของเครื่องมือ

ที่ใช้การสร้างและการทดสอบ การคำนวณในโครงการมีบางส่วนที่มีการสมมติเพื่อลดความยุ่งยาก และซับซ้อนแต่ยังคงให้ผลการคำนวณที่ยอมรับได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการนำไปใช้งานในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่สายอากาศร่องเดี่ยวในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของโพรงรูปทรงกระบอกแกนร่วมที่ป้อนสัญญาณด้วยโพรบควรจะถูกพัฒนาต่อไปในด้านจำนวนและตำแหน่งของร่องแถวลำดับที่อยู่บนผิวตัวนำทรงกระบอก เพื่อให้สายอากาศมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่มีการชี้ทิศทางและความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ดีที่สุดต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Miller E. K. "PCs for AP and other em reflections: Wire-grid approximate to solid surface", IEEE Antennas Propagate. Mag, vol. 39, no. 1,1997. Pp. 94-97.
- [2] C.Phongcharoenpanich, p.Wouchoum, S.Kosuvit and M.Krairiksk, "A Horizontally Polarized Omnidirectional Beam Antenna using Array of Axial Slot on Cylindrical Sureface", Proceeding of the 3rd international Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology, Beijing, pp.576-579, Aug. 2002.
- [3] Constantine A. Balanis ,“ Chapter 6 Antenna Measurement” Antenna Theory Analysis And Design Second Editon, John Wiley & Sons INC. pp.867-869 , 1997.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างวิธีการเขียนโปรแกรมคำนวณแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขรุ่นที่ 2

ตัวอย่างการเขียนโปรแกรม 4NEC2 เพื่อสร้างสายอากาศร่องเดี่ยวลำดับในแนวเส้นรอบวงบนเซกเตอร์ของโพรงทรงกระบอกแกนร่วมด้วยเส้นลวดตัวนำเล็กๆ และให้โปรแกรมคำนวณอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศที่ความถี่ 810 MHz จนถึง 990 MHz

```

CM Length L in mtr. = 0.349965
CM Radius R1 in cm. = 52.45
CM Radius R2 in cm. = 52.45
CM Start angle A1 = 0
CM Stop angle A2 = 60
CM Straight sections = 11
CM Circular sections = 17
CM Radial sections = 1
CM Rotate X, Y, Z = 0, 0, 0
CM Move X, Y, Z = 0, 0, 0
CE
GW 1 2 .5245 .0 .0 .5245 .0 .031815 .001
GW 2 2 .5245 .0 .031815 .5245 .0 .06363 .001
GW 3 2 .5245 .0 .06363 .5245 .0 .095445 .001
GW 4 2 .5245 .0 .095445 .5245 .0 .12726 .001
GW 5 2 .5245 .0 .12726 .5245 .0 .159075 .001
GW 6 2 .5245 .0 .159075 .5245 .0 .19089 .001
GW 7 2 .5245 .0 .19089 .5245 .0 .222705 .001
GW 8 2 .5245 .0 .222705 .5245 .0 .25452 .001
GW 9 2 .5245 .0 .25452 .5245 .0 .286335 .001
GW 10 2 .5245 .0 .286335 .5245 .0 .31815 .001
GW 11 2 .5245 .0 .31815 .5245 .0 .349965 .001
GW 12 2 .523505 .032289 .0 .523505 .032289 .031815 .001
GW 13 2 .523505 .032289 .031815 .523505 .032289 .06363 .001
GW 14 2 .523505 .032289 .06363 .523505 .032289 .095445 .001
GW 15 2 .523505 .032289 .095445 .523505 .032289 .12726 .001
GW 16 2 .523505 .032289 .12726 .523505 .032289 .159075 .001
'GW 17 2 .523505 .032289 .159075 .523505 .032289 .19089 .001
GW 18 3 .523505 .032289 .18408 .523505 .032289 .222705 .001
GW 19 2 .523505 .032289 .222705 .523505 .032289 .25452 .001
GW 20 2 .523505 .032289 .25452 .523505 .032289 .286335 .001
GW 21 2 .523505 .032289 .286335 .523505 .032289 .31815 .001
GW 22 2 .523505 .032289 .31815 .523505 .032289 .349965 .001
GW 23 2 .520525 .064455 .0 .520525 .064455 .031815 .001
GW 24 2 .520525 .064455 .031815 .520525 .064455 .06363 .001
GW 25 2 .520525 .064455 .06363 .520525 .064455 .095445 .001
GW 26 2 .520525 .064455 .095445 .520525 .064455 .12726 .001
GW 27 2 .520525 .064455 .12726 .520525 .064455 .159075 .001
'GW 28 2 .520525 .064455 .159075 .520525 .064455 .19089 .001
GW 29 3 .520525 .064455 .18408 .520525 .064455 .222705 .001
GW 30 2 .520525 .064455 .222705 .520525 .064455 .25452 .001
GW 31 2 .520525 .064455 .25452 .520525 .064455 .286335 .001
GW 32 2 .520525 .064455 .286335 .520525 .064455 .31815 .001
GW 33 2 .520525 .064455 .31815 .520525 .064455 .349965 .001
GW 34 2 .515569 .096377 .0 .515569 .096377 .031815 .001

```

GW 35	2	.515569	.096377	.031815	.515569	.096377	.06363	.001
GW 36	2	.515569	.096377	.06363	.515569	.096377	.095445	.001
GW 37	2	.515569	.096377	.095445	.515569	.096377	.12726	.001
GW 38	2	.515569	.096377	.12726	.515569	.096377	.159075	.001
'GW 39	2	.515569	.096377	.159075	.515569	.096377	.19089	.001
GW 40	2	.515569	.096377	.19089	.515569	.096377	.222705	.001
GW 41	2	.515569	.096377	.222705	.515569	.096377	.25452	.001
GW 42	2	.515569	.096377	.25452	.515569	.096377	.286335	.001
GW 43	2	.515569	.096377	.286335	.515569	.096377	.31815	.001
GW 44	2	.515569	.096377	.31815	.515569	.096377	.349965	.001
GW 45	2	.508658	.127933	.0	.508658	.127933	.031815	.001
GW 46	2	.508658	.127933	.031815	.508658	.127933	.06363	.001
GW 47	2	.508658	.127933	.06363	.508658	.127933	.095445	.001
GW 48	2	.508658	.127933	.095445	.508658	.127933	.12726	.001
GW 49	2	.508658	.127933	.12726	.508658	.127933	.159075	.001
'GW 50	2	.508658	.127933	.159075	.508658	.127933	.19089	.001
GW 51	2	.508658	.127933	.19089	.508658	.127933	.222705	.001
GW 52	2	.508658	.127933	.222705	.508658	.127933	.25452	.001
GW 53	2	.508658	.127933	.25452	.508658	.127933	.286335	.001
GW 54	2	.508658	.127933	.286335	.508658	.127933	.31815	.001
GW 55	2	.508658	.127933	.31815	.508658	.127933	.349965	.001
GW 56	2	.499818	.159004	.0	.499818	.159004	.031815	.001
GW 57	2	.499818	.159004	.031815	.499818	.159004	.06363	.001
GW 58	2	.499818	.159004	.06363	.499818	.159004	.095445	.001
GW 59	2	.499818	.159004	.095445	.499818	.159004	.12726	.001
GW 60	2	.499818	.159004	.12726	.499818	.159004	.159075	.001
'GW 61	2	.499818	.159004	.159075	.499818	.159004	.19089	.001
GW 62	2	.499818	.159004	.19089	.499818	.159004	.222705	.001
GW 63	2	.499818	.159004	.222705	.499818	.159004	.25452	.001
GW 64	2	.499818	.159004	.25452	.499818	.159004	.286335	.001
GW 65	2	.499818	.159004	.286335	.499818	.159004	.31815	.001
GW 66	2	.499818	.159004	.31815	.499818	.159004	.349965	.001
GW 67	2	.489082	.189471	.0	.489082	.189471	.031815	.001
GW 68	2	.489082	.189471	.031815	.489082	.189471	.06363	.001
GW 69	2	.489082	.189471	.06363	.489082	.189471	.095445	.001
GW 70	2	.489082	.189471	.095445	.489082	.189471	.12726	.001
GW 71	2	.489082	.189471	.12726	.489082	.189471	.159075	.001
'GW 72	2	.489082	.189471	.159075	.489082	.189471	.19089	.001
GW 73	2	.489082	.189471	.19089	.489082	.189471	.222705	.001
GW 74	2	.489082	.189471	.222705	.489082	.189471	.25452	.001
GW 75	2	.489082	.189471	.25452	.489082	.189471	.286335	.001
GW 76	2	.489082	.189471	.286335	.489082	.189471	.31815	.001
GW 77	2	.489082	.189471	.31815	.489082	.189471	.349965	.001
GW 78	2	.47649	.21922	.0	.47649	.21922	.031815	.001
GW 79	2	.47649	.21922	.031815	.47649	.21922	.06363	.001
GW 80	2	.47649	.21922	.06363	.47649	.21922	.095445	.001
GW 81	2	.47649	.21922	.095445	.47649	.21922	.12726	.001
GW 82	2	.47649	.21922	.12726	.47649	.21922	.159075	.001
'GW 83	2	.47649	.21922	.159075	.47649	.21922	.19089	.001
GW 84	2	.47649	.21922	.19089	.47649	.21922	.222705	.001
GW 85	2	.47649	.21922	.222705	.47649	.21922	.25452	.001
GW 86	2	.47649	.21922	.25452	.47649	.21922	.286335	.001
GW 87	2	.47649	.21922	.286335	.47649	.21922	.31815	.001
GW 88	2	.47649	.21922	.31815	.47649	.21922	.349965	.001
GW 89	2	.462091	.248138	.0	.462091	.248138	.031815	.001
GW 90	2	.462091	.248138	.031815	.462091	.248138	.06363	.001
GW 91	2	.462091	.248138	.06363	.462091	.248138	.095445	.001
GW 92	2	.462091	.248138	.095445	.462091	.248138	.12726	.001
GW 93	2	.462091	.248138	.12726	.462091	.248138	.159075	.001
'GW 94	2	.462091	.248138	.159075	.462091	.248138	.19089	.001