สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลม

A MONOPOLE ANTENNA SURROUNDED BY THE SPHERICAL STRIP

โดย

นายพลวรรธน์ เชื้อดี

นายภูวนาจ ราชนิยม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42194
วัน, เดือน, ปี 15 พ.ค. 2545

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลม

A MONOPOLE ANTENNA SURROUNDED BY THE SPHERICAL STRIP

โดย

นายพลวรรธน์ เชื้อดี 40010496

นายภูวนาจ ราชนิยม 40010571

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.สมผล โกศัลวิตร์

อาจารย์ชูวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **สายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลม**

A MONOPOLE ANTENNA SURROUNDED BY THE SPHERICAL STRIP

ผู้จัดทำ

1. นายพลวรรธน์ เชื้อดี 40010496

2. นายภูวนาจ ราชนิยม 40010571

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.สมผล โกศัลวิตร์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ชูวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลม

A monopole antenna surrounded by the spherical strip

โดย นายพลวรรธน์ เชื้อดี 40010496

นายภูวนาจ ราชนิยม 40010571

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สมผล โกศัลวิตร์

อาจารย์ชูวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอสายอากาศโมโนโพลที่ล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลม ที่สามารถแพร่กระจายคลื่นที่ให้ลำคลื่นแบบ 4ทิศทาง สามารถประยุกต์ใช้งานในการสื่อสารไร้สาย ในการวิเคราะห์จะใช้โปรแกรมแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงเลขและได้ทำการสร้างและวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ตลอดจนอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเพื่อยืนยันหลักการเพื่อนำไปใช้จริงต่อไป

ABSTRACT

This project proposes the antenna using a monopole antenn surrounded by the spherical strip.This antenna is designed to radiate 4 direction.This antenna is proposed to use in wireless communication .Numerical Electromagnetic Code is utilized to analize the antenna characteristics. The antenna is construced and tested the radiation and impedance.It is apparent that the experimental results confirms the proposed principle.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 สายอากาศ	2
2.2 คุณสมบัติของสายอากาศ	2
2.3 โหมดของการแพร่กระจายคลื่น	4
2.4 หลักการพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่น	5
2.5 การรีโซแนนซ์ในวงจรลิเนียร์	7
2.6 การพิจารณาสายอากาศเป็นวงจร	8
2.7 สายอากาศแบบโมโนโพล	9
2.8 การอาร์เรย์	11
2.9 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ	14
2.10 บริเวณต่างๆ ของสนามจากสายอากาศ	16
2.11 เรเดียน และสเตอเรเดียน	17
2.12 ไดเรคติวิตี	17
2.13 ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์	18
2.14 เกน	18
2.15 ประสิทธิภาพของสายอากาศ	19
2.16 อินพุทอิมพีแดนซ์	20
2.17 สมการการแพร่กระจายคลื่น	21
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	29
3.1 โครงสร้างสายอากาศ	29
3.2 การสร้างสายอากาศ	30
3.3 การวิเคราะห์หาสนามไฟฟ้าของสายอากาศ	30
3.4 โปรแกรม Supernec	32
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	37
4.1 การวัดอิมพีแดนซ์,VSWR, Log Mag	37
4.2 การวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	42
บทที่ 5บทวิจารณ์และบทสรุป	49
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงภาคตัดขวางของท่อนำคลื่นในโหมด TE_{01} และ TE_{02} 5

รูปที่ 2.2 เงื่อนไขขอบเขตของความเข้มสนามแม่เหล็ก 7

รูปที่ 2.3 แสดงกระแสในสภาวะรีโซแนนซ์และไม่รีโซแนนซ์ 8

รูปที่ 2.4 แสดงการแพร่คลื่นของสายอากาศแบบโมโนโพล 10

รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของกระแส-แรงดันไฟฟ้าบนไดโพลแบบ$\lambda/2$ 10

รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของกระแสบนสายอากาศแบบสั้นทางไฟฟ้า 11

รูปที่ 2.7 รูปของอาร์เรย์2เอเลเมนท์ที่วางตามแนวแกนZ 13

รูปที่ 2.8 การคูณแพทเทอร์นของเอเลเมนท์และอาร์เรย์แฟคเตอร์ 13

รูปที่ 2.9 ระบบโคออดิเนท สำหรับการวิเคราะห์อากาศ 14

รูปที่ 2.10 a) โลบต่างๆ และบีมวิลด์ของแพทเทอร์นสายอากาศ b) แพทเทอร์นในแบบลิเนียร์ 15

รูปที่ 2.11 แสดงการแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ 16

รูปที่ 2.12 สายอากาศส่งและวงจรสมมูลย์ 21

รูปที่ 2.13 ท่อนำคลื่นแบบปากสี่เหลี่ยมที่วางในระนาบต่างๆ 3 ระนาบ 23

รูปที่ 2.14 ท่อนำคลื่นแบบปากวงกลม 24

รูปที่ 2.15 การแพร่กระจายคลื่นในสนามที่คงที่โดยคำนวณจากท่อนำคลื่น แบบปากรูปวงกลมที่มีค่า a= 1.5λ 26

รูปที่ 2.16 การแพร่กระจายคลื่นในโหมด TE11 โดยคำนวณจากท่อนำคลื่น แบบปากรูปวงกลมที่มีค่า a= 1.5λ 27

รูปที่ 2.17 ค่าบีมวิดท์และโหลบด้านข้างในระนาบมุมยก 28

รูปที่ 2.18 ค่าบีมวิดท์และโหลบด้านข้างในระนาบมุมกวาด 28

รูปที่ 3.1 สายอากาศแบบ bidirectional 29

รูปที่ 3.2 สายอากาศจริง 30

รูปที่ 3.3 หน้าจอโปรแกรมSupernecที่ใช้งาน 33

รูปที่ 3.4 แพทเทอร์นในระนาบAzimuth 33

รูปที่ 3.5 แพทเทอร์นในระนาบElevation(ϕ=0) 34

รูปที่ 3.6 แพทเทอร์นในระนาบElevation(ϕ=90) 34

รูปที่ 3.7 แพทเทอร์นสามมิติ 35

รูปที่ 3.8 เปรียบเทียบแพทเทอร์นในระนาบAzimuthเมื่อเปลี่ยนความกว้างวงแหวน 35

รูปที่ 3.9 เปรียบเทียบแพทเทอร์นในระนาบElevation(ϕ=0)เมื่อเปลี่ยนความกว้างวงแหวน 36

รูปที่ 3.10 เปรียบเทียบแพทเทอร์นในระนาบElevation(ϕ=90)เมื่อเปลี่ยนความกว้างวงแหวน 36

รูปที่ 4.1 ภาพแสดงการติดตั้งเพื่อวัดค่าคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 Smith chart แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศตัวที่ 1 38
รูปที่ 4.3 ค่า VSWR ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Network analyzerของสายอากาศตัวที่ 1 39
รูปที่ 4.4 ค่า log mag ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Network analyzerของสายอากาศตัวที่ 1 39
รูปที่ 4.5 Smith chart แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศตัวที่ 2 40
รูปที่ 4.6 ค่า VSWR ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Network analyzerของสายอากาศตัวที่ 2 40
รูปที่ 4.7 ค่า log mag ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Network analyzerของสายอากาศตัวที่ 2 41
รูปที่ 4.8 แสดงการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น 42
รูปที่ 4.9 การแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดเมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นโมโนโพล และสายอากาศรับเป็นสายอากาศตัวที่ 1 43
รูปที่ 4.10 การแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกเมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นโมโนโพล และสายอากาศรับเป็นสายอากาศตัวที่ 1 43
รูปที่ 4.11 การแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดเมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นโมโนโพล และสายอากาศรับเป็นสายอากาศตัวที่ 2 44
รูปที่ 4.12 การแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกเมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นโมโนโพล และสายอากาศรับเป็นสายอากาศตัวที่ 2 44
รูปที่ 4.13 การแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดเมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นสายอากาศตัวที่ 1 และสายอากาศรับเป็นสายอากาศตัวที่ 2 45
รูปที่ 4.14 การแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกเมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นสายอากาศตัวที่ 1 และสายอากาศรับเป็นสายอากาศตัวที่ 2 45
รูปที่ 4.15 การแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกเมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นสายอากาศตัวที่ 2 และสายอากาศรับเป็นสายอากาศตัวที่ 1 46
รูปที่ 4.16 การแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกเมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นสายอากาศตัวที่ 2 และสายอากาศรับเป็นสายอากาศตัวที่ 1 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

สายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลม(A monopole antenna Surrounded by the Spherical Strip)เป็นสายอากาศที่ทำการสร้างขึ้นมาใหม่เพื่อศึกษาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นว่ามีลักษณะใกล้เคียงกับที่ต้องการตามที่ออกแบบ ซึ่งทางผู้จัดทำต้องการสายอากาศที่มีลักษณะโลบชี้ไปที่ทิศทางที่ต้องการ โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลมจะมีลักษณะคล้ายกับสายอากาศไดโพล ต่างกันที่สายอากาศไดโพลจะมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัว (Omnidirectional)สามารถกวาดได้รอบโดยมีค่าใกล้เคียงกันทุกมุม ส่วนสายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลมมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นคือจะมีมุมที่ต้องการใช้งานที่เฉพาะเจาะจงที่มีค่าแบบรูปการแพร่กระจายสูงกว่ามุมอื่นๆ แต่ในขณะเดียวกันที่มุมอื่นๆยังคงรักษาสภาพแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัว สามารถนำไปประยุกต์ใช้บริเวณที่มีปริมาณผู้ใช้กระจายไม่สม่ำเสมอเช่น ตั้งให้มุมของสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสูงหันไปอาคารพานิชย์ ใช้งานบริเวณสี่แยกนอก

เพื่อศึกษาคุณลักษณะและคุณสมบัติของสายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลม โดยออกแบบที่ความถี่2.4GHz ต้องศึกษาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น, ค่า VSWR, ค่าLog Mag, ค่าอิมพีแดนซ์ที่แสดงโดยSmith Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สายอากาศ(Antenna)

สายอากาศคือจัดเป็นวงจรไฟฟ้าแบบพิเศษได้ ในวงจรไฟฟ้าธรรมดาขนาดของขดลวด ตัวเก็บประจุไฟฟ้าและอุปกรณ์อื่นๆจะมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้ และพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนใหญ่ก็ยังคงอยู่ภายในวงจรเพื่อนำไปใช้งานที่มีประสิทธิภาพหรือแปลงออกมาในรูปของความร้อน

แต่ถ้าขนาดของตัวนำหรืออุปกรณ์มีขนาดพอเหมาะเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น พบว่ามีพลังงานบางส่วนออกไปจากวงจรในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และถ้าวงจรนั้นถูกออกแบบให้พลังงายส่วนใหญ่ของวงจรถูกแพร่ออกไป เราแทนวงจรชนิดนี้ว่าสายอากาศ(Antenna)โดยทั่วไปสายอากาศประกอบด้วยตัวนำในหลายรูปแบบ ส่วนใหญ่มักใช้ลวดตัวนำ(Wire)มีบางแบบที่ใช้แท่งตัวนำ(Rod)หรือท่อตัวนำ(Tube)

ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่แพร่ออกจากลวดตัวนำมีค่าขึ้นอยู่กับความยาวของลวดตัวนำกับขนาดของกระแสที่ไหลอยู่ภายใน นอกจากนี้ยังขึ้นกับแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมลวดตัวนำด้วย แต่จะเป็นการสะดวกมากกว่าถ้าเราวัดในรูปกระแส อาจกล่าวได้ว่าความเข้มของสนามไฟฟ้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดกระแส ดังนั้นจึงต้องให้มีกระแสในขนาดมากเท่าที่เป็นไปได้ผ่านลวดตัวนำเพื่อให้เกิดกำลังส่งปริมาณมากขึ้น

ในวงจรทั่วไปประกอบด้วยพารามิเตอร์สองตัวคือ ค่าความต้านทาน(Impedance)และค่ารีแอกแตนซ์(Reactance)ซึ่งเป็นค่าเชิงซ้อนของความต้านทานในวงจรกระแสสลับ พบว่าถ้าค่ารีแอกแตนซ์มีน้อยลงจนหมดไปทำให้ให้ปริมาณกระแสในวงจรมีค่ามากที่สุดหรือในอีกแง่หนึ่งเรียกว่า วงจรรีโซแนนซ์(Resonant)ที่ความถี่ที่ใช้งาน เช่นเดียวกับกรณีของสายอากาศเมื่อกระแสที่ไหลผ่านมีค่ามากที่สุดทำให้มีการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุดนั่นคือสายอากาศถูกรีโซแนนซ์ สำหรับวงจรธรรมดาแล้ว ค่าความเหนี่ยวนำมักมีอยู่ในขดลวดหรือคอยล์ ค่าประจุไฟฟ้ามีอยู่ในตัวเก็บประจุ และค่าความต้านทานมีอยู่ในตัวต้านทาน เราเรียกวงจรนี้งาสมีค่าคงที่แบบเอกเทศ(Lump Constant) แต่ในสายอากาศค่าความเหนี่ยวนำ ค่าประจุไฟฟ้า ค่าความต้านทานมีอยู่กระจายผสมไปทั่วลวดตัวนำ เราเรียกวงจรลักษณะนี้ว่ามีค่าคงที่แบบกระจาย(Distributed Constant) ซึ่งวงจรที่มีค่าคงที่แบบนี้มักใช้ลวดตัวนำที่เป็นเส้นลวดตรงและมักนิยมเรียกกันว่าวงจรลิเนียร์(Linear Circuit)

2.2คุณสมบัติของสายอากาศ

การเลือกใช้สายอากาศ จะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณที่จะใช้ ยิ่งสัญญาณมีความถี่สูงมากเท่าใดก็จะทำให้ต้องใช้ตัวนำของสายอากาศสั้นมากเท่านั้น สายอากาศที่เป็นแบบเรโซแนนซ์ดังเช่น สายอากาศที่ใช้ในย่านความถี่ 30 ถึง 300 เมกะเฮิรตซ์ มักจะมีความยาวครึ่งลูกคลื่น สายอากาศที่ยิ่งมีความยาวเท่าใดก็จะสามารถส่งหรือรับสัญญาณได้มากเท่านั้น ที่ความยาวเรโซแนนซ์ของสายอากาศ จะทำให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด สำหรับคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศมีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การต่อสายอากาศกับดิน (Grounded)

สายอากาศที่ทำงานโดยไม่มีการเชื่อมต่อกับดิน (Ungrounded) จะถูกเรียกว่ามีสองขั้วหรือที่เรียกว่า ไดโพล (Dipole) ในแต่ละขั้วจะมีกระแสไหล โดยมีแหล่งกำเนิดสัญญาณเดียวกันอยู่ที่ตรงกลาง การต่อเทียบกับดินไม่มีความจำเป็น เพราะตัวคาปาซิเตอร์ของสายอากาศจะอยู่ระหว่างขั้วทั้งสอง ส่วนสายอากาศที่มีการเชื่อมต่อกับดิน จะมีการต่อขั้วหนึ่งของสายอากาศลงดิน ส่วนอีกข้างหนึ่งจะทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กระแสในอากาศจะไหลเข้าที่ตัวนำข้างเดียว สายอากาศดังกล่าวถูกเรียกว่าชนิดตัวแอลหัวกลับ (Inverted-L type)

2.2.2 การกระจายของตัวนำ (Inductance) และตัวเก็บประจุ (Capacitance)

บนสายอากาศที่เป็นสายตัวนำหรือแท่งตัวนำนั้น ที่ความถี่สูงในทางไฟฟ้าจะเป็นตัวนำกระจายอยู่บนสายอากาศจากข้างหนึ่งไปอีกข้างหนึ่งอย่างอนุกรม (L) และในขณะเดียวกันจะมีตัวเก็บประจุต่ออยู่อย่างขนานตลอดสายตัวนำ (C) สำหรับสายอากาศแบบไดโพลจะมีค่าคาปาซิแตนซ์ระหว่างขั้วทั้งสอง แต่สายอากาศแบบต่อลงดินจะมีค่าคาปาซิแตนซ์เทียบกับดิน

2.2.3 สายอากาศแบบเรโซแนนซ์ (Resonant Antennas)

ค่าของตัวนำ (L) และคาปาซิแตนซ์ (C) ทำให้สายอากาศเสมือนเป็นวงจรเรโซแนนซ์ที่ต่ออย่างอนุกรม ถึงแม้จะไม่มีตัวนำและตัวเก็บประจุต่ออยู่จริง สายอากาศก็จะมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับวงจร LC ความยาวของอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นจะเป็นตัวกำหนดความถี่เรโซแนนท์ โดยทั่วไปความยาวครึ่งลูกคลื่นของความถี่ที่ต้องการ มักจะใช้เป็นความยาวของสายอากาศ ความยาวดังกล่าวจะใช้กับสายอากาศแบบไม่ต่อลงดิน หรือที่เรียกว่า ไดโพลครึ่งคลื่น สำหรับสัญญาณความถี่ต่ำสายอากาศแบบเรโซแนนซ์ที่ความยาวหนึ่งในสี่ของคลื่นจะเหมาะสม และมักจะใช้กับสายอากาศแบบต่อลงดิน

2.2.4 โพลาไรเซชั่น (Polarization)

โพลาไรเซชันของคลื่นที่แพร่กระจายนั้น เป็นรูปแสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่แพร่กระจายออกไป ที่อธิบายทิศทาง และขนาดของเวคเตอร์สนามไฟฟ้าซึ่งแปรผันตามเวลา รูปแสดงโพลาไรเซชันจะแสดงการกวาดของยอดเวคเตอร์สนามไฟฟ้า ที่เวลาต่างๆ ณ ตำแหน่งที่ทำการสังเกตซึ่งคงที่และการสังเกตนี้จะทำโดยมองตามหลังคลื่นที่เดินทางไป

สำหรับโพลาไรเซชันของอากาศ ในทิศทางหนึ่งทิศทางใด จะเป็นโพลาไรเซชันของคลื่นที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศนั้น (เมื่อเป็นสายส่ง) หรือเป็นโพลาไรเซชันของคลื่นที่มาตกกระทบสายอากาศนั้น จากทิศทางที่กำหนดให้ ซึ่งเมื่อสายอากาศรับคลื่นแล้ว จะมีกำลังงานที่ขั้วของสายอากาศมากที่สุด ถ้าไม่ได้กำหนดทิศทางมาให้จะหมายถึง ทิศทางที่สายอากาศมีแกนมากที่สุด ดังนั้น โพลาไรเซชันของสายอากาศในทิศทางที่ต่างกันจะแตกต่างกัน

ตัวนำสายอากาศสามารถติดตั้งในแนวตั้งหรือในแนวนอนก็ได้ ไม่ว่าจะเป็นแบบใด สนามไฟฟ้าก็จะมีทิศทางเดียวกับแนวการตั้งสายอากาศ ทิศทางโพลาไรเซชัน ของคลื่นวิทยุจะขึ้นอยู่กับทิศทางของสนามไฟฟ้า (E) สำหรับสายอากาศในแนวตั้งคลื่นวิทยุที่ส่งออกมาก็จะมีทิศทางเป็นโพลาไรเซชันในแนวตั้ง (Vertical Polarization) เช่นกัน หากสายอากาศด้านส่งเป็นโพลาไรเซชันในแนวนอน (Horizon Polarization) เช่นเดียวกัน เพื่อที่จะรับสัญญาณได้ดีที่สุด ตัวอย่างเช่น ในระบบโทรทัศน์นั้นคลื่นที่ส่งออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มา จะเป็นโพลาไรเซชันในแนวนอน นอกเหนือจากสายอากาศที่มีการโพลาไรเซชันในแต่ละแนว ก็ได้มีการพัฒนาสายอากาศ ทีมีทั้งโพลาไรเซชันในแนวตั้ง และแนวนอนอยู่ในต้นเดียวกัน เรียกว่าโพลาไรเซชันเชิงวงกลม (Circular Polarization) ข้อดีของแบบนี้คือ สามารถรับสัญญาณได้ทั้งสองทิศทาง

การแบ่งชนิดของโพลาไรเซชัน อาจแบ่งออกได้เป็น แบบลิเนียร์โพลาไรเซชัน (Linearly Polarization) โพลาไรเซชันแบบวงกลม (Circularly Polarization) และโพลาไรเซชันแบบวงรี (Elliptically Polarization) ขึ้นอยู่กับลักษณะของการหมุนของยอดของเวคเตอร์ของสนามไฟฟ้า ถ้าเวคเตอร์ที่แสดงสนามไฟฟ้าที่แปรผันกับเวลา ณ จุดใดๆ ในสเปสซี เป็นเส้นตรงเสมอ จะเรียกว่าเป็นโพลาไรเซชันแบบเส้นตรง หรือลิเนียร์โพลาไรเซชัน แต่ถ้าสนามไฟฟ้ามีการหมุนรูปวงรี จะเรียกสนามแบบนั้นว่าเป็นโพลาไรเซชันแบบวงรี

ถ้าสนามไฟฟ้าหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (คือเมื่อมองตามหลังคลื่นแล้ว จะเห็นมีการหมุนตามเข็มนาฬิกา) จะเรียกว่าเป็นโพลาไรเซชันมือขวาในขณะที่หากสนามไฟฟ้าหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา จะเรียกว่าเป็นโพลาไรเซชันมือซ้าย

2.3โหมดของการแพร่คลื่น

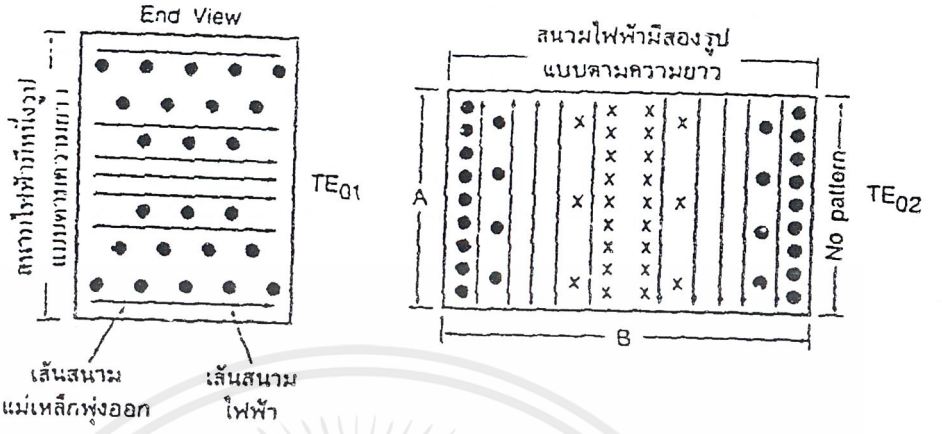
สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะมีรูปแบบและทิศทางได้หลายแบบในท่อนำคลื่น จากรูปแบบดังกล่าวทำให้มีการกำหนดโหมดของการงานขึ้น สนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าตัวใดตัวหนึ่งจะต้องตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น รูปแบบดังกล่าวได้ถูกแบ่งออกเป็นสองชนิดใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

2.3.1 ทีอีโหมด หรือทรานสเวิร์สอิเล็กทริก (TE: Transverse Electric) สนามไฟฟ้าจะมีอยู่เฉพาะในแนวของท่อนำคลื่นตั้งฉาก กับผนังตัวนำเท่านั้น จะไม่มีสนามไฟฟ้าอยู่ตามแนวยาว หรือทิศการแพร่ของคลื่นเลย พลังงานจะเคลื่อนที่ โดยสนามแม่เหล็กในกรณีนี้

2.3.2 ทีเอ็มโหมด หรือทรานสเวิร์สแมกเนติก (TM: Transverse Magnetic) สนามแม่เหล็กจะเกิดเป็นลูปในระนาบที่ตั้งฉาก กับผนังท่อของคลื่น และไม่มีสนามแม่เหล็กใดอยู่ตามความยาวคลื่น ส่วนพลังงานจะเคลื่อนที่ด้วยคลื่นไฟฟ้า

สำหรับสายส่งธรรมดาที่มีตัวนำคู่จะมีสนามแม่เหล็กทั้งในแบบทรานสเวิร์สอิเล็ก ทริก และในแบบทรานเวิร์สแมกเนติกไปด้วยกัน จะถูกเรียกว่าทีอีเอ็ม (TEM: Transverse Electric and Magnetic) และในตัวอักษรของทั้งสองโหมด จะมีตัวเลขกำกับ สำหรับบอกโดมิแนนท์โหมด และเป็นการแสดงให้ทราบถึงรูปแบบของสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้า ตัวเลขตัวแรก เป็นตัวแสดงให้ทราบว่า มีจำนวนชุดของการเปลี่ยนแปลงสนามรูปแบบครึ่งคลื่นตามแนวด้านสั้นของท่อนำคลื่นเมื่อพิจารณา ในภาคตัดขวางของท่อนำคลื่น ส่วนตัวเลขตัวที่สองจะเป็นตัวบอกจำนวนชุดของการเปลี่ยนแปลงสนามรูปแบบครึ่งคลื่นตามแนวด้านยาวของท่อนำคลื่น ตัวอย่างเช่น ทีอีโหมดที่มีสัญลักษณ์เป็น TE_{01} ตัวเลขกำกับตัวแรกเป็นศูนย์แสดงให้ทราบว่า ด้านสั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของสนามใดๆ ส่วนในด้านยาว จะมีการกระจายความหนาแน่นของสนามไฟฟ้า เป็นชุดครึ่งคลื่นหนึ่งชุด ดังรูปที่ 2.1 แสดงภาคตัดขวางของท่อนำคลื่นชนิดสี่เหลี่ยม ที่มีโหมดการทำงานดังต่อไปนี้ TE_{01} และ TE_{02} จากรูป ทีอีโหมดจะมีสนามไฟฟ้าตามแนวตัดขวางของท่อนำคลื่น และมีสนามแม่เหล็กในแนวการส่งของคลื่นตามท่อนำคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.1 แสดงภาคตัดขวางของท่อนำคลื่นในโหมด TE_{01} และ TE_{02}

2.4 หลักการพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่น

สายอากาศเป็นโครงสร้างซึ่งมักจะถูกสร้างจากวัสดุที่เป็นตัวนำที่ดี ที่ถูกออกแบบเพื่อให้มีรูปร่างและขนาดที่แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นที่ทราบกันดีว่า กระแสซึ่งมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นสายอากาศจึงมีโครงสร้างซึ่งถูกกระตุ้นด้วยกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งมักจะทำได้โดยใช้สายส่งกำลังหรือท่อนำคลื่น อาจมีรูปร่างแตกต่างกันไปมากมาย อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติโครงสร้าง ซึ่งมีรูปร่างที่ทำได้ง่ายประหยัดจะได้รับความนิยมในการใช้งาน ในการที่แพร่กระจายคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างน้อยที่สุดสายอากาศต้องมี จะต้องขนาดเปรียบเทียบได้กับความยาวคลื่นที่แพร่จะกระจาย

ถ้ารู้ความหนาแน่นของกระแส $\nabla x\vec{E} = -j\omega\vec{B}$ ที่ป้อนให้กับสายอากาศ เราจะสามารถคำนวณหาสนามที่แพร่กระจายได้แต่ความยุ่งยากอยู่ที่การคำนวณหาความหนาแน่นของกระแสบนสายอากาศที่จะทำให้สนามที่ได้เป็นไปตามเงื่อนไขขอบเขตบนสายอากาศนั้นไม่ใช่เรื่องง่าย

เนื่องจากสมการแมกซ์เวลล์ (Maxwell's Equations) เป็นสมการเชิงเส้น ดังนั้นถ้ารู้การแพร่กระจายคลื่นจากฟีลาเมนท์ขนาดจิ๋ว คือ IdL แล้ว เราสามารถใช้หลักการซูเปอร์โพซิชัน เพื่อหาสนามที่แพร่กระจาย จากกระแสซึ่งมีการแจงรูปเป็นรูปร่างใดๆ ได้โดยรวมสนามที่ถูกสร้างแต่ละเอเลเมนท์ของกระแสเข้าด้วยกัน วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ใช้ทั่วไปในการคำนวณหาสนามที่แพร่กระจายจากสายอากาศสมการแมกซ์เวลล์และเงื่อนไขขอบเขต

โดยจะเกี่ยวพันโดยพื้นฐานกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นแบบไซนูซอยดอล (Sinusoidal) ดังนั้น จะวิเคราะห์ตามแบบเฟสเซอร์ทั่วๆ ไป ซึ่งจะไม่แสดงแฟคเตอร์ที่แสดงความแปรผันกับเวลา จะแสดงกระแสและสนามเป็นเวกเตอร์ฟังก์ชันของตำแหน่งโคออดิเนท และโดยทั่วไปแต่ละส่วนประกอบจะเป็นฟังก์ชันเชิงซ้อนซึ่งประกอบด้วยส่วนของค่าจริงและค่าจินตภาพ ตัวอย่างจะเขียนสนามไฟฟ้าอยู่ในรูปต่อไปนี้

$$\vec{E}(\vec{r}) = E_x(\vec{r})\vec{a}_x + E_y(\vec{r})\vec{a}_y + E_z(\vec{r})\vec{a}_z \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโคออดิเนททรงสี่เหลี่ยม แต่ละส่วนประกอบ เช่น E_x เป็นฟังก์ชันเชิงซ้อนอยู่ในรูป $E_{xr} + jE_{xi}$ ซึ่ง E_{zr} ซึ่งเป็นค่าจริง และ E_{xi} เป็นค่าจินตภาพ ถ้าต้องการรู้สนามไฟฟ้าทางกายภาพจริงๆ จะหาได้โดยคูณ $\bar{E}(\bar{r})$ ด้วย $e^{j\omega t}$ แล้วหาค่าจริงของผลคูณนี้ออกมา นั่นคือ

$$E(\vec{r},t) = \mathrm{Re}\,\vec{E}(\vec{r})e^{j\omega t} \tag{2.2}$$

ซึ่งจะได้

$$\vec{E}_x(\vec{r},t) = E_{xy}(\vec{r})\cos\omega t - \vec{E}_{xi}(\vec{r})\sin\omega t \tag{2.3}$$

สำหรับส่วนประกอบของ x ของสนามทางกายภาพ

ปริมาณของสนาม 4 ปริมาณ ที่เราสนใจได้แก่ ความเข้มสนามไฟฟ้า $\bar{E}(\bar{r})$, ความเข้มสนามแม่เหล็ก $\bar{H}(\bar{r})$, ความหนาแน่นเส้นแรงไฟฟ้า $\bar{D}(\bar{r})$ และความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก $\bar{B}(\bar{r})$ สนามเหล่านี้ตลอดจนต้นกำเนิดของสนามคือ ความหนาแน่นของกระแส $\bar{J}(\bar{r})$ และความหนาแน่นของประจุ $\rho(\bar{r})$ สัมพันธ์กันด้วยสมการแมกซ์เวลล์ ดังนี้คือ

$$\nabla x\vec{E} = -j\omega\vec{B} \tag{2.4}$$

$$\nabla x\vec{H} = j\omega\vec{D} + \vec{J} \tag{2.5}$$

$$\nabla\cdot\vec{D} = \rho \tag{2.6}$$

$$\nabla\cdot\vec{B} = 0 \tag{2.7}$$

$$\nabla\cdot\vec{J} = -j\omega\rho \tag{2.8}$$

ในฟรีสเปส (Free Space) มีความสัมพันธ์ว่า

$$\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} \tag{2.9}$$

$$\vec{B} = \mu_0\vec{H} \tag{2.10}$$

เมื่อ $\varepsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$ ฟารัดต่อเมตร เป็นค่าเพอร์มิตติวิตี (Permittivity) ของฟรีเบส และ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ เฮนรีต่อเมตร เป็นค่าเพอร์มีอะบิลิตี (Permeability) ของฟรีสเปส ในตัวกลางไดอิเลคตริคที่มีการสูญเสียพลังงาน ซึ่งมีค่าเพอร์มิตติวิตี ε และค่าความนำ σ จะมีกระแสนำ (Conduction Current) $\bar{J}_c$ ไหลมีค่าเท่ากับ $\sigma\bar{E}$ ถ้ารวมกระแสนำ $\bar{J}_c$ นี้เข้ากับกระแสที่เราป้อนเข้าไป $\bar{J}$ (2.5) จะกลายเป็นดังนี้คือ

$$\nabla x\vec{H} = (j\omega\varepsilon + \sigma)\vec{E} + \vec{J}$$

$$\nabla x\vec{H} = j\omega(\varepsilon + \frac{\sigma}{j\omega})\vec{E} + \vec{J} \tag{2.11}$$

อาจเรียก $\varepsilon + \frac{\sigma}{j\omega}$ ว่าเป็นเพอร์มิตติวิตีเชิงซ้อน โดยทั่วไปสารไดอิเลคตริค จะมีค่าสูญเสียพลังงานรวมอยู่นอกเหนือจากค่าความนำ ดังนั้นแม้ว่า σ จะเป็นศูนย์ แต่ก็ยังเป็นค่าเชิงซ้อนอยู่ในรูป $\varepsilon' - j\varepsilon''$ เมื่อไรก็ตามที่เราต้องเกี่ยวข้องกับสารไดอิเลคตริคที่มีการสูญเสียพลังงาน เราจะใช้เพอร์มิตติวิตีเชิงซ้อน และคิดการสูญเสียจากการนำกระแสว่าเป็นส่วนของค่าจินตภาพ ε''

คำตอบของสมการแมกซ์เวลล์จะยังไม่สมบูรณ์จนกว่าจะได้ใส่เงื่อนไขขอบเขตที่เหมาะสมเข้าไป สำหรับในกรณีสนามที่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลา เงื่อนไขขอบเขตที่เหมาะสมได้แก่

$$\vec{n}x(\vec{H}_2 - \vec{H}_1) = \vec{J}_s \tag{2.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(\vec{E}_2 - \vec{E}_1)x\vec{n} = \vec{M}_s \quad (2.13)$$

$H_{\tan 2} = H_{\tan 1} + J_s$ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ผิว J_s และกระแสแม่เหล็กที่ผิว M_s ไหลอยู่ในบริเวณรอยต่อของตัวกลางที่เป็นแบบโฮโมจีเนียส (Homogeneous) 2 ชนิด ซึ่งมีพารามิเตอร์เป็น ε_1, μ_1, σ_1 และ ε_2, μ_2, σ_2 ตามลำดับ Ms จะเป็นศูนย์ นอกเสียจากจะใช้แผ่นกระแสแม่เหล็กสมบูรณ์ และหน่วยตั้งฉากที่ผิว $\bar{n}$ จะชี้จากตัวกลางที่ 1 ไปยังตัวกลางที่ 2 การคูณแบบครอส (Cross Product) ของเวกเตอร์กับหน่วยตั้งฉากจะทำให้เกิดเป็นส่วนประกอบของสนามในแนวสัมผัสรอยต่อ และสมการข้างต้นสามารถเขียนได้ใหม่เป็นดังนี้

$$H_{\tan 2} = H_{\tan 1} + J_s \quad (2.14)$$

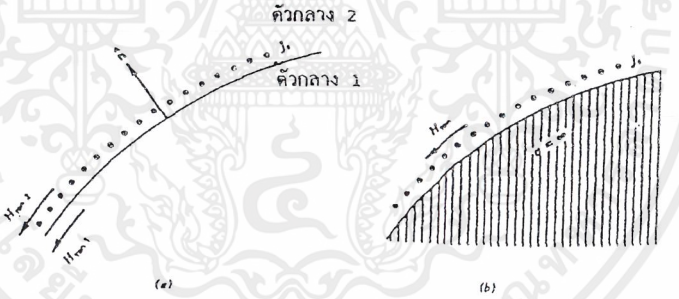
$$E_{\tan 2} = E_{\tan 1} + M_s \quad (2.15)$$

ถ้าด้านหนึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าสมบูรณ์ เงื่อนไขขอบเขตจะกลายเป็นดังต่อไปนี้

$$H_{\tan} = J_s \quad (2.16)$$

$$E_{\tan} = 0 \quad (2.17)$$

เงื่อนไขขอบเขตของสนามแม่เหล็กในแนวสัมผัส สำหรับกรณีทั่วไปแสดงไว้ในรูป 2.2 (a) สำหรับในกรณีที่ตัวนำข้างหนึ่งเป็นตัวนำสมบูรณ์ได้แสดงไว้ในรูป 2.2 (b) พึงสังเกตว่าสนามทั้งหมดในสมการของขอบเขตถูกคำนวณที่รอยต่อ และสมการนี้ใช้ได้ตลอดทุกจุดตลอดแนวรอยต่อ



รูปที่ 2.2 เงื่อนไขขอบเขตของความเข้มสนามแม่เหล็ก
(a) กรณีทั่วไป (b) กรณีที่ตัวกลางหนึ่งเป็นตัวนำสมบูรณ์

ปรากฏการณ์เกี่ยวกับการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เกิดจากต้นกำเนิดของสนามที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งได้รวบรวมกฎต่างๆ เขียนเป็นสมการทั่วไป เรียกว่าสมการแมกซ์เวลล์ หากแก้สมการเหล่านี้ให้เป็นตามเงื่อนไขของต้นกำเนิดสนามอย่างเหมาะสมแล้ว จะสามารถทำนายปรากฏการณ์เกี่ยวกับสายอากาศได้ สำหรับในการศึกษาเกี่ยวกับสายอากาศ สิ่งแรกที่จะต้องหาได้คือ สนามไฟฟ้า เพราะจะนำไปสู่การคำนวณหาคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ

2.5การรีโซแนนซ์ในวงจรลิเนียร์

ขนาดลวดตัวนำที่สั้นที่สุดที่เกิดการรีโซแนนซ์ที่ความถี่ที่ใช้งานมีค่าเท่ากับความยาวที่เพียงพอให้สนามไฟฟ้าเดินทางจากปลายด้านหนึ่งไปปลายอีกด้านและกลับมาที่จุดเดิมในเวลาหนึ่งไซเคิล ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วที่เดินทางมีค่าเท่ากับความเร็วแสงคือ$3*10^8$เมตร/วินาที จะได้ว่าระยะการเดินทางไปภายในหนึ่งไซเคิลเท่ากับความเร็วหารด้วยความถี่ ได้สูตรคำนวณดังนี้

$$\lambda=3*10^8/f \quad \text{(เมตร)} \qquad (2.18)$$

λ คือ ความยาวคลื่น

เนื่องจากคลื่นเดินทางไปในลวดตัวนำทั้งไปและกลับ ดังนั้นขนาดความยาวลวดตัวนำจะมีค่าเท่ากับ$\lambda/2$หรือครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าลวดตัวนำรีโซแนนซ์ที่มีขนาดสั้นที่สุดมีความยาวเท่ากับ$\lambda/2$ ในกรณีของสายอากาศพบว่าความเร็วแสงมีค่าคงที่แน่นอน ดังนั้นจึงมีทางเลือกสองวิธีคือ

-ปรับค่าความถี่ให้เข้ากับความยาวของลวดตัวนำที่กำหนดมา

-ปรับค่าความยาวของลวดตัวนำให้เข้ากับความถี่ที่ใช้งานในทางปฏิบัติ

ส่วนมากจะนิยมใช้การปรับค่าความยาวของลวดตัวนำมากกว่า

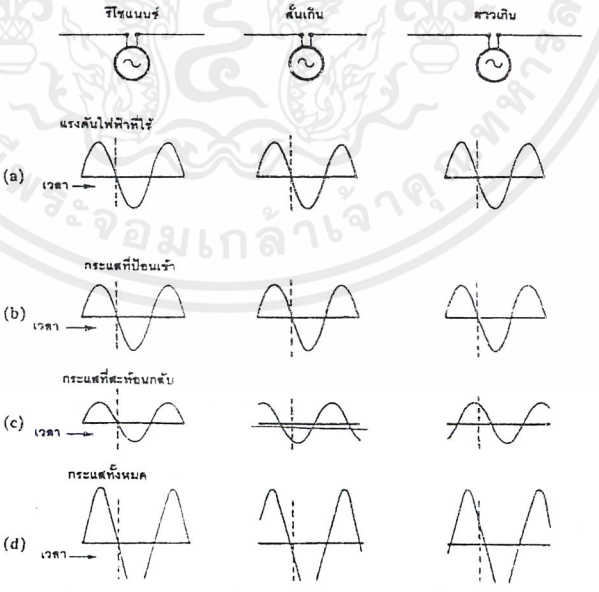
2.6การพิจารณาสายอากาศเป็นวงจร

ถ้าความถี่ที่ป้อนให้จุดตรงกลางของสายอากาศแบบครึ่งความยาวคลื่นมีค่ามากหรือน้อยกว่าความยาวคลื่นที่ความถี่รีโซแนนซ์มีผลให้คุณสมบัติของสายอากาศมีลักษณะไม่เหมือนกัน

-กรณีเกิดรีโซแนนซ์ พบว่ากระแสมีเฟสเท่ากับแรงดัน

-กรณีใช้ความถี่ต่ำกว่าค่ารีโซแนนซ์ พบว่าเฟสของกระแสนำหน้าเฟสของแรงดันไฟฟ้าทำให้ค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศเป็นค่าความจุไฟฟ้า(Capacitance)

-กรณีใช้ความถี่ต่ำกว่าค่ารีโซแนนซ์ พบว่าเฟสของกระแสตามหลังเฟสของแรงดันไฟฟ้าทำให้ค่ารีแอกแตนซ์ของสายเป็นค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้า(Inductance)



รูปที่2.3แสดงกระแสในสภาวะรีโซแนนซ์และไม่รีโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปแต่ละกรณีป้อนแรงดันไฟฟ้าเหมือนกันหมดดังรูป(a)และกระแสที่ป้อนให้สายอากาศมีลักษณะดังรูป(b)โดยที่แรงดันไฟฟ้ามีเฟสเหมือนกัน

พิจารณาแต่ละกรณีได้ดังนี้

2.6.1กรณีสายอากาศรีโซแนนซ์

พบว่าเฟสของกระแสมีที่เดินทางจากปลายด้านหนึ่งไปปลายอีกด้านหนึ่งเฟสเปลี่ยนไป90^0 กระแสที่สะท้อนกลับจากปลายอีกด้านกลับมาที่เดิมเฟสจะเปลี่ยนไป90^0(คิดเฉพาะตอนกลับ) ผลรวมทางเฟสของกระแสที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากเดินทางไป-กลับภายในสายอากาศเท่ากับ180^0 และยังมีการเปลี่ยนเฟสไปอีก180^0เนื่องจากทิศทางของกระแสเปลี่ยนกลับตรงกันข้ามที่ปลายสายอากาศทำให้ผลรวมทางเฟสทั้งหมดที่เปลี่ยนไปของกระแสในการเดินทางไป-กลับคือ360^0 แสดงว่ากระแสส่วนที่สะท้อนกลับกับกระแสอินพุทมีเฟสเหมือนกันดังรูป(c)ที่แสดงกระแสที่สะท้อนกลับ ผลรวมทั้งหมดของกระแสภายในสายอากาศแสดงดังรูป(d) ดังนั้น**กรณีที่สายอากาศรีโซแนนซ์เป็นการที่รูปของสัญญาณของผลรวมกระแสทั้งหมดกับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามีเฟสเหมือนกันทุกประการและโหลดของสายอากาศถูกพิจารณาจากแหล่งป้อนพลังงานว่าเป็นค่าความต้านทานอย่างเดียว**

2.6.2กรณีสายอากาศสั้นเกินไป(ที่จะเกิดรีโซแนนซ์)

เฟสที่เปลี่ยนแปลงต่างจากกรณีแรก เพราะว่ารูปของสัญญาณของกระแสที่สะท้อนมาถึงจุดเดิมเร็วกว่าเดิมเนื่องจากระยะเฟสน้อยกว่า90^0 ทำให้การเดินทางไป-กลับจะมีค่าเฟสที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่า180^0แสดงถึงค่าสูงสุดของกระแสที่สะท้อนมาเกิดก่อนค่าสูงสุดของกระแสที่เดินทางไปและเมื่อรวมกับการกลับเฟสเนื่องจากเปลี่ยนทิศทางอีก180^0 พบว่าผลรวมทั้งหมดของเฟสที่เปลี่ยนไปมีค่าน้อยกว่า360^0ดังรูป(c)และให้ผลรวมทั้งหมดของกระแสดังรูป(d) สรุปได้ว่าผลรวมของกระแสมีรูปสัญญาณนำหน้าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อน ทำให้โหลด(สายอากาศ)ถูกพิจารณาเป็นค่าความต้านทานต่ออนุกรมกับค่าประจะไฟฟ้า

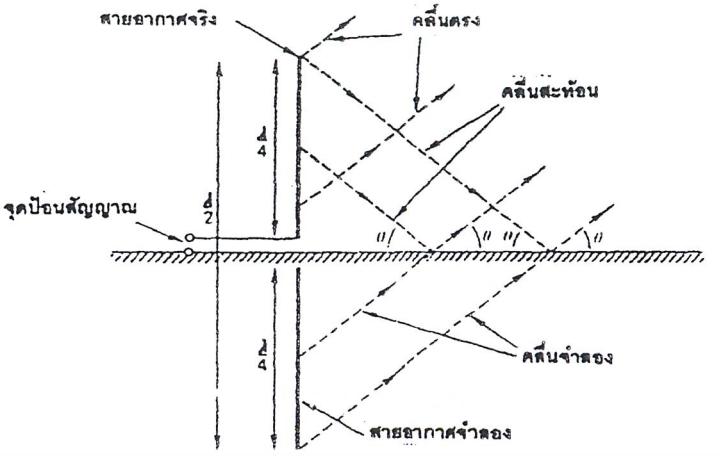
2.6.3กรณีสายอากาศยาวเกินไป(ที่จะเกิดรีโซแนนซ์)

กระแสที่สะท้อนกลับมาถึงจุดเดิมช้ากว่ากรณีปกติเพราะว่าระยะเฟสมากกว่า180^0 ทำให้ค่ามากที่สุดของกระแสสะท้อนเกิดหลังค่ามากที่สุดของกระแสอินพุทดังรูป(c) ผลรวมทั้งหมดของกระแสมีรูปสัญญาณตามหลังแรงดันไฟฟ้าทำให้โหลด(สายอากาศ)ถูกพิจารณาเป็นค่าความต้านทานต่อขนานกับค่าเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า

2.7 สายอากาศแบบโมโนโพล(Monopole Antenna)

การส่งคลื่นโดยใช้สายอากาศในย่านความถี่ตั้งแต่ต่ำมาก(VHF) ต่ำ(UHF) และปานกลาง(MF) จะต้องให้ความสนใจในแง่ความสูงของสายอากาศและการติดตั้งในแนวตั้งจากพื้นโลก เนื่องจากที่ความถี่ระดับนี้ค่าความยาวคลื่นมีค่ามาก จึงมีการคิดค้นวิธีใช้สายอากาศที่มีความยาวเพียง$\lambda/4$แทน ดังในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



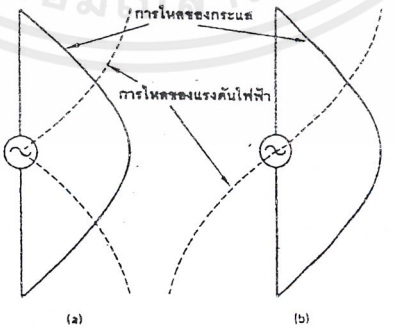
รูปที่2.4แสดงการแพร่คลื่นของสายอากาศแบบโมโนโพล

จากรูปเป็นภาพของสายอากาศขนาดλ/4 ในแนวตั้งจากพื้นโลก โดยมีจุดฟีดที่บริเวณด้านล่างระหว่างสายอากาศกับพื้นดิน เราเรียกสายอากาศชนิดนี้ว่า โมโนโพล (Monapole) ซึ่งมีคุณสมบัติแพร่กระจายคลื่นเท่ากันทุกทิศทางในระนาบแนวนอน ส่วนระนาบแนวตั้งมีพลังงานบางส่วนพุ่งสู่ฟ้าและอีกบางส่วนพุ่งหาพื้นดินดังรูป

คลื่นที่มีทิศทางลงจะกระทบพื้นดินและสะท้อนกลับขึ้นมาโดยมีค่ามุมตกกระทบเท่ากับค่ามุมสะท้อนณ.จุดหนึ่งที่ห่างจากสายอากาศ พลังงานที่รับได้เกิดจากคลื่นตรงและคลื่นสะท้อนกับพื้นโลก ค่าความเข้มสนามที่จุดนี้อาจคิดได้ว่าคลื่นสะท้อนนั้นสามารถแพร่ออกจากสายอากาศส่วนที่อยู่ใต้พื้นดิน (ความจริงไม่มีส่วนนี้)

จากรูปเราเรียกสายอากาศในความคิดนี้ว่า สายอากาศจำลอง(Image Antenna)ก็ได้ ซึ่งจะแสดงว่าสายอากาศถูกใช้งานที่ความยาว2เท่าของความยาวจริง ความสูงทั้งหมดของสายอากาศ(รวมส่วนจำลอง)มีค่าλ/2 ดังนั้นการไหลของกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะเหมือนกับสายอากาศไดโพลขนาดλ/2ทุกประการ

ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศนี้มีค่าความต้านทานค่าเดียวคือ37โอห์ม รูปที่2.5จะแสดงการกระจายของกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศไดโพลแบบλ/2



รูปที่2.5แสดงลักษณะของกระแส-แรงดันไฟฟ้าบนไดโพลแบบλ/2

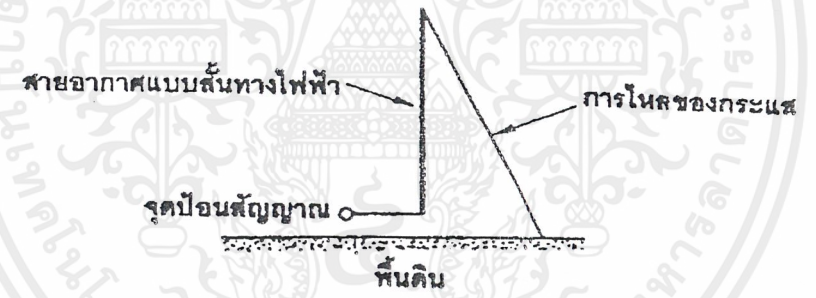
(a)คิดจากค่าr.m.s (b)คิดจากค่าpeak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป2.5ที่แสดงลักษณะของกระแส สามารถนำมาวิเคราะห์กับสายอากาศแบบโมโนโพลหรือไดโพลแบบ$\lambda/2$ได้ว่า คลื่นนิ่ง(Standing Wave) จะมีค่ากระแสมากที่สุดที่จุดปลายสายอากาศ อาจมีผลให้ค่ากระแสปริมาณมากไหลจากสายอากาศลงสู่พื้นดินและสูญเสียพลังงานส่วนนี้ไป

การแก้ไขให้สูญเสียพลังงานส่วนนี้น้อยที่สุดเพื่อรักษาประสิทธิภาพสายอากาศให้สูงสุดเท่าที่ทำได้มีแนวทางคือพื้นดินต้องมีสภาพตัวนำสูงโดยการนำลวดตัวนำต่อออกจากฐานรอบสายอากาศเป็นระยะทางเท่ากับความสูงของเสาและฝังลงดินด้วยความลึก1/3เมตร ซึ่งเส้นลวดนี้ทำหน้าที่คล้ายกราวด์(Ground)ให้กับสายอากาศทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นอย่างสมบูรณ์

บางกรณีการใช้สายอากาศลักษณะแนวตั้งไม่จำเป็นต้องเป็นโมโนโพลเสมอไปอย่างเช่นที่ค่าความถี่ต่ำมาก ค่าความยาวขนาด$\lambda/4$จัดว่าสูงมากได้เช่นที่ความถี่300KHzมีค่า$\lambda/2$ =5000เมตร,ค่า$\lambda/4$ =2500เมตร เห็นได้ว่าการสร้างสายอากาศโมโนโพลในย่านความถี่ต่ำขนาดนี้ไม่คุ้มค่าเลยจึงแก้ไขโดยสร้างสายอากาศให้มีขนาดสั้นลงและไม่จำเป็นต้องมีขนาด$\lambda/4$เสมอไป อาจจะสร้างสายอากาศที่ขนาด$\lambda/16$หรือน้อยกว่านี้ เราเรียกสายอากาศประเภทนี้ว่า สายอากาศอย่างสั้นทางการ(Electrically Short) ซึ่งมีการติดตั้งเสาในแนวดิ่งและมีจุดฟีดที่ฐานของสายอากาศกับพื้นดิน ส่วนการไหลของกระแสที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง(Linear)ดังแสดงในรูปที่2.6



รูปที่2.6แสดงลักษณะของกระแสบนสายอากาศแบบสั้นทางไฟฟ้า

การสร้างสายอากาศที่มีขนาดน้อยกว่า$\lambda/4$จะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆดังนี้

- ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์มีองค์ประกอบทางประจุทางไฟฟ้าเพิ่มเข้ามา
- ลดค่าความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ
- ลดค่ากระแสในสายอากาศ

2.8การอาร์เรย์

เป็นวิธีเพิ่มเกน(Gain)ของสายอากาศโดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของสายอากาศ ซึ่งสามารถทำได้โดยจัดแต่ละเอเลเมนท์ที่แพร่กระจายคลื่นให้เหมาะสมทั้งทางไฟฟ้าและรูปทรง ซึ่งเรียกว่าอาร์เรย์ ปกติแล้วจะเลือกให้แต่ละเอเลเมนท์ของอาร์เรย์เหมือนกัน เมื่อตัดการคัปปลิ้งระหว่างเอเลเมนท์ทิ้ง จะหาสนามลัพธ์ของอาร์เรย์ได้โดยบวกเวคเตอร์ของสนามที่แพร่กระจายจากแต่ละเอเลเมนท์

วิธีควมคุมแพทเทอร์นของสายอากาศ

-การจัดเรียงเอเลเมนท์ของของอาร์เรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ระยะห่างระหว่างเอเลเมนท์

-ขนาดของกระแสที่ป้อนให้แต่ละเอเลเมนท์

-เฟสของกระแสที่ป้อนให้แต่ละเอเลเมนท์

-แพทเทอร์นของแต่ละเอเลเมนท์

อาเรย์สองเอเลเมนท์

ไดโพลจิ๋ว2ตัว(ไดโพลจิ๋วคือไดโพลที่มีความยาวน้อยมาก เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น)วางตามแนวนอนและเรียงจามแกนZดังแสดงในรูปที่*และสมมุติว่าไม่มีการคัปปลิ้งระหว่างเอเลเมนท์ทั้งสอง ดังนั้นสนามที่แพร่กระจายสายอากาศจิ๋วทั้งสองจะเป็นผลรวมของสนามจากสายอากาศทั้งสองนั้นเมื่อคิดในระนาบYZจะได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$E_t = E_1 + E_2 = \vec{a}_\theta j\eta \frac{kI_0 l}{4\pi}\{\frac{e^{-j\{kr_1-(\beta/2)\}}}{r_1}\cos\theta_1 + \frac{e^{-j\{kr_2-(\beta/2)\}}}{r_2}\cos\theta_2) \quad (2.19)$$

เมื่อβเป็นความต่างเฟสของกระแสที่ป้อนให้แก่เอเลเมนท์ทั้งสอง โดยที่ป้อนให้มีขนาดกระแสเท่ากัน ถ้าทำการสังเกตุหาสนามที่ระยะทางไกลๆจะสามารถประมาณค่าได้ดังนี้

$$\theta_1 \approx \theta_2 \approx \theta \quad (2.20)$$

$$r_1 \approx r_2 - \frac{d}{2}\cos\theta \quad (2.21)$$

$$r_1 \approx r_2 \approx r \quad (2.22)$$

จะทำให้ได้สมการใหม่ดังนี้

$$E_t = \vec{a}_\theta j\eta \frac{kI_0 l}{4\pi}\frac{e^{-jkr_1}}{r}\cos\theta_1 e^{j(kd\cos\theta+\beta)/2} + e^{-j(kd\cos\theta+\beta)/2}\} \quad (2.23)$$

$$E_t = \vec{a}_\theta j\eta \frac{kI_0 l}{4\pi}\frac{e^{-jkr_1}}{r}\cos\theta_1 2\cos[\frac{1}{2}(kd\cos\theta+\beta)\} \quad (2.24)$$

จะเห็นว่าสนามลัพธ์ของอาเรย์มีค่าเท่ากับสนามเอเลเมนท์เดี่ยวที่วางอยู่ที่จุดออริจินคูณด้วยอาร์เรย์แฟคเตอร์(Array Factor) ดังนั้น อาร์เรย์แฟคเตอร์ของอาร์เรย์2เอเลเมนท์ที่มีขนาดของกระแสที่ป้อนให้เท่ากันในแต่ละเอเลเมนท์มีค่าดังนี้

$$AF = 2\cos[(kd\cos\theta+\beta)/2] \quad (2.25)$$

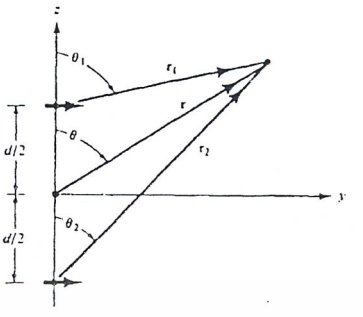
ทำการนอร์มอไลซ์อาร์เรย์แฟคเตอร์จะมีค่าดังนี้

$$AF = \cos[(kd\cos\theta+\beta)/2] \quad (2.26)$$

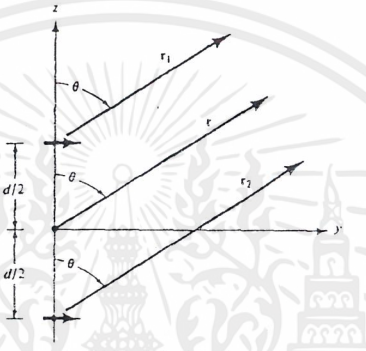
อาร์เรย์แฟคเตอร์เป็นฟังชั่นของรูปทรงอาร์เรย์และเฟสของการป้อนกระแสให้แก่เอเลเมนท์ ซึ่งสามารถควมคุมสนามลัพธ์ของอาเรย์ได้ โดยเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างเอเลเมนท์(d),เฟส(β) ดังนั้นสนามไฟฟ้าลัพธ์จะมีค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E(ลัพธ์) = [E(เอเลเมนท์เดี่ยวอยู่ที่ออริจิน)*[อาร์เรย์แฟคเตอร์ (2.27)

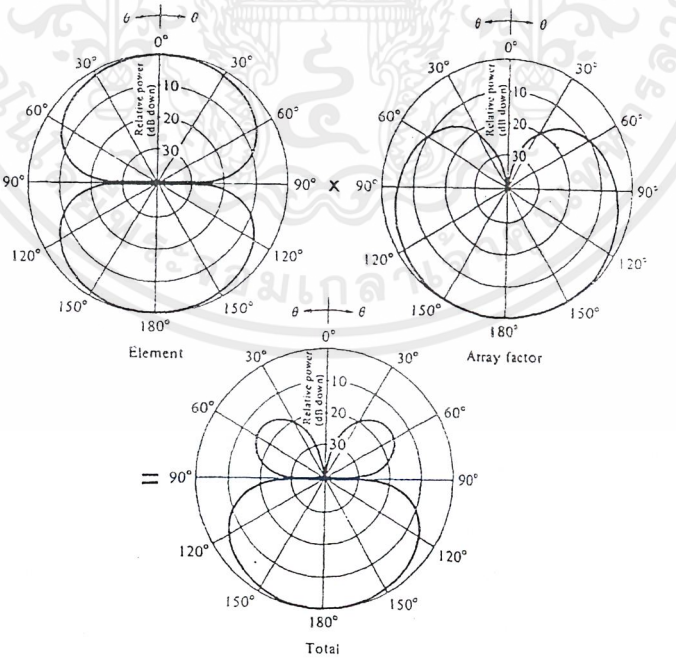


(a) Two infinitesimal dipoles



(b) Far-field observations

รูปที่2.7รูปของอาร์เรย์2เอเลเมนท์ที่วางตามแนวแกนZ



รูปที่2.8การคูณแพทเทอร์นของเอเลเมนท์และอาร์เรย์แฟคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ

2.9.1 แพทเทอร์นการแพร่กระจายคลื่น

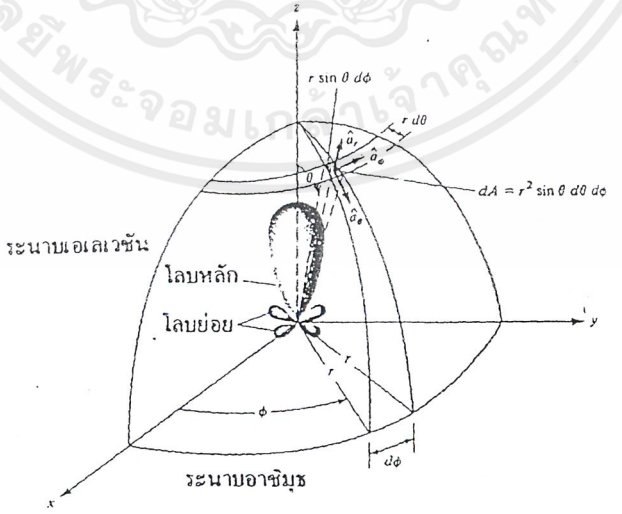
แพทเทอร์นการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) คือรูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของสเปสโคออดิเนท (Space Coordinate) ส่วนใหญ่แพทเทอร์นการแพร่กระจายคลื่นนี้ มักจะติดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far Field)

การอธิบายคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น จะอาศัยคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้คือ ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) ความเข้มของสนาม (Field Strength) เฟส (Phase) หรือโพลาไรเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจงรูปของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกต ที่มีรัศมีคงที่

รูปที่ 2.9 แสดงระบบโคออดิเนทที่ใช้ แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น สำหรับการใช้เส้น เพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ มีชื่อเรียกว่า แพทเทอร์นกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศ และกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก หรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆ ที่มีรัศมีคงที่ มีชื่อเรียกว่า แพทเทอร์นสนาม (Field Pattern) ของสายอากาศนั้น

ตัวแพร่คลื่นไอโซโทรปิค (Isotropic Radiator) คือสายอากาศที่ถูกสมมติขึ้น โดยมีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นเท่ากันในทุกทิศทาง ยกตัวอย่างเช่น พอยท์ซอร์ส (Point Source) เป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่ไม่สามารถสร้างได้จริง แต่มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติแสดงทิศทางของสายอากาศ

สายอากาศชี้ทิศทาง (Directional Antenna) เป็นสายอากาศ ซึ่งมีคุณสมบัติของการส่ง หรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี ในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น ตัวอย่างหนึ่งของสายอากาศที่มีคุณสมบัติดังกล่าวคือ สายอากาศแบบออมนิไดเรคชันแนล (Omnidirectional Antenna)



รูปที่ 2.9 ระบบโคออดิเนท สำหรับการวิเคราะห์อากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2แพทเทอร์นหลัก

โดยส่วนใหญ่ มักจะอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศ ในเทอมของแพทเทอร์นหลัก (Principal Pattern) ของสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก E สำหรับ สายอากาศลิเนียร์โพลาไรเซชัน (Linearly Polarization) แพทเทอร์นในระนาบ E จะเป็นระนาบที่บรรจุเวคเตอร์สนามไฟฟ้า และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ส่วนแพทเทอร์น ในระนาบ H จะเป็นระนาบที่ บรรจุเวคเตอร์สนามแม่เหล็กและทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด

2.9.3 โลบของแพทเทอร์นการแพร่กระจายคลื่น

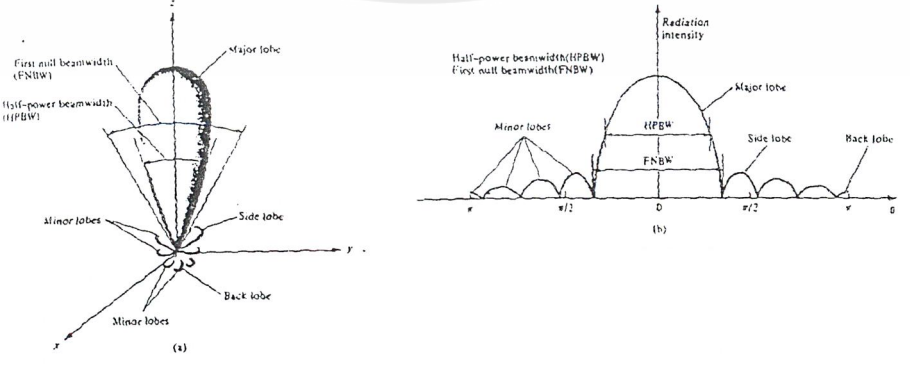
โลบของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของแพทเทอร์น การแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่ำ รูปที่ 2.10 แสดงโพลาร์แพทเทอร์น (Polar Pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งเป็นโลบแบบต่างๆ ได้ดังนี้

โลบหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นโลบของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ตามรูปที่ 2.10 มีโลบหลักอยู่ในทิศทาง สายอากาศบางชนิดอาจมีโลบหลักมากกว่าหนึ่งโลบ เช่น สายอากาศแยกบีม (Split-Beam Antenna)

โลบย่อย (Minor Lobe) ได้แก่โลบอื่นๆ นอกเหนือไปจากโลบหลัก

โลบข้างหรือไซด์โลบ (Side Lobe) เป็นโลบย่อยที่อยู่ติดกับโลบหลัก และอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโลบหลัก

โลบหลัก (Back Lobe) เป็นโลบย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโลบหลัก ปกติแล้วโลบย่อยจะเกิดจาก การแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสำหรับสายอากาศที่ดี ต้องกำจัดโลบเหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุด ระดับของโลบย่อย มักแสดงเป็น อัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในโลบที่กำลังคิด ต่อความหนาแน่นของพลังงานในโลบหลัก ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนของไซด์โลบ (Side Lobe Ratio) หรือระดับของไซด์โลบ (Side Lobe Level: SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของไซด์โลบน้อยกว่า –20dB



รูปที่ 2.10 a) โลบต่างๆ และบีมวิดธ์ของแพทเทอร์นสายอากาศ b) แพทเทอร์นในแบบลิเนียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 บริเวณต่างๆ ของสนามจากสายอากาศ

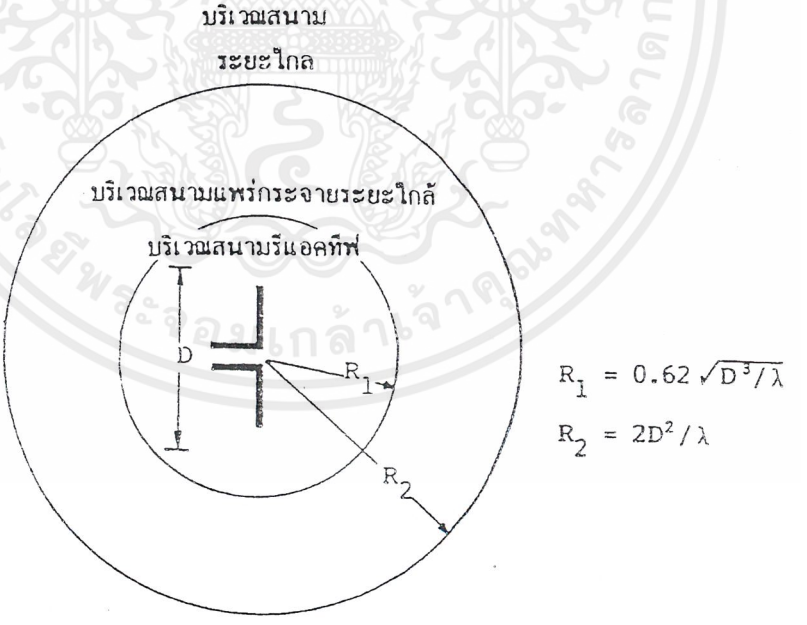
โดยทั่วไปมักจะแบ่งบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศออกเป็น 3 ส่วน คือ สนามรีแอคทีฟระยะใกล้ (Radiating-Near Field) และสนามระยะไกล (Far Field) ดังแสดงในรูปที่ 2.11

บริเวณสนามรีแอคทีฟระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุด และมีสนามเป็นชนิดรีแอคทีฟเป็นส่วนใหญ่ บริเวณนี้จะมีระยะทาง $R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ จากผิวของสายอากาศ เมื่อ λ เป็นความยาวคลื่น และ D เป็นมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ

บริเวณสนามกระจายระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามของสายอากาศ ที่อยู่ระหว่างบริเวณของสนามรีแอคทีฟระยะใกล้กับ บริเวณสนามระยะไกล โดยมีสนามที่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ และการกระจายของสนามตามมุมต่างๆ นั้น แปรผันตามระยะทางจากสายอากาศ เมื่อสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น สนามในบริเวณนี้อาจไม่เกิดขึ้น ในบริเวณนี้จะมีระยะทาง $2D^2/\lambda \geq R \geq 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$

บริเวณสนามระยะไกล เป็นบริเวณสนามของสายอากาศ ซึ่งการแพร่ของสนามของสายอากาศตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีมิติใหญ่ที่สุดเท่ากับ D บริเวณสนามระยะไกลจะเกิดขึ้นที่ระยะทาง R มากกว่า $2D^2/\lambda$ จากสายอากาศ

ในบริเวณนี้สนามมีลักษณะ เป็นสนามตัดขวาง (Transverse Field) และการแพร่กระจายของสนามตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทาง ขอบในของบริเวณดังกล่าวมีค่า R เท่ากับ $2D^2/\lambda$ และขอบนอกเป็นอนันต์



รูปที่ 2.11 แสดงการแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.11 เรเดียน และสเตอเรเดียน

การวัดมุมบนระนาบจะมีหน่วยเป็นเรเดียน หนึ่งเรเดียนเป็นมุมบนระนาบ ซึ่งยอดของมันอยู่ที่จุดศูนย์กลางของวงกลมที่มีรัศมี r และถูกปิดด้วยส่วนของเส้นรอบวง ซึ่งยาว r เนื่องจากเส้นรอบวงที่มีรัศมี r มีความยาว $c = 2\pi r$ ดังนั้นบนหนึ่งรอบของวงกลม จะมี 2π เรเดียน

การวัดมุมมีหน่วยเป็นสเตอเรดียน (sr) หนึ่ง สเตอเรเดียนเป็นมุมตันที่มียอดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมี r เนื่องจากพื้นที่ของทรงกลมรัศมี r มีค่าเท่ากับ $4\pi r^2$ ดังนั้นตลอดทรงกลมจะมี $4\pi r$ 2.10 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

คือ กำลังงานที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศ ต่อหน่วยมุมตัน ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่ง ในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศ เกี่ยวกับสนามระยะไกล ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น สามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่นและผลจากกำลังสองของระยะทาง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$U = r^2 W_{rad} \qquad (2.28)$$

เมื่อ U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

และ W_{rad} = ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น (W/m^2)

ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น สามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศระยะไกลได้คือ

$$U_{(\theta,\phi)} = (r^2/2\eta)[E(r,\theta,\phi)]^2 \qquad (2.29)$$

$$= (r^2/2\eta)\{[E_\theta(r,\theta,\phi)]^2 + [E_\phi(r,\theta,\phi)]^2\}$$

$$= (1/2\eta)\{[E_\theta(r,\theta,\phi)]^2 + [E_\phi(r,\theta,\phi)]^2\}$$

เมื่อ E = ความเข้มของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

$E\theta$, $E\phi$ = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

η = อินทรินสิคอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง

ดังนั้นแพทเทอร์นของกำลังงานก็ใช้เพื่อแสดงถึงความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นได้เช่นกัน

กำลังงานทั้งหมดนี้หาได้โดย อินทิเกรทความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ตลอดมุมตัน ทั้งหมด ซึ่งจะได้

$$P_{r\,ad} = \oiint_{\Omega} U d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} U \sin\theta d\theta d\varphi \qquad (2.30)$$

2.12ไดเรคติวิตี

ไดเรคทีฟเกนในทิศทางที่กำหนด คือ อัตราส่วนของ ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อความเข้ม ของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ซึ่งใช้สำหรับอ้างอิง ซึ่งปกติสายอากาศสำหรับใช้ อ้างอิงนี้จะใช้ไอโซโทรปิคพอยท์ซอร์ส (Isotropic Point Source)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42194

ไดเรคติวิตี คือ ค่าของไดเรคทีฟเกน ในทิศทางที่มีค่ามากที่สุด หรือ ไดเรคติวิตีของต้นกำเนิดที่ไม่เป็นไอโซโทรปิค คือ อัตราส่วนของความเข้ม ของการแพร่กระจายคลื่นที่มากที่สุด ต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของไอโซโทรปิคพอยท์ซอร์ส เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$D_g=U/U_0=4\pi U/P_{rad} \quad (2.31)$$

$$D_0=U_{max}/U=4\pi U_{max}/P_{rad} \quad (2.32)$$

D_g = ไดเรคทีฟแกน (ไม่มีหน่วย)

D_o = ไดเรคติวิตี (ไม่มีหน่วย)

U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

U_{max} = ค่าสูงสุดของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

U_o = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของไอโซโทรปิคพอยท์ซอร์ส (W/หน่วยมุมตัน)

P_{rad} = กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด (W)

จากสมการที่ (2.31) และ (2.32) จะทราบไดเรคทีฟเกน และไดเรคติวิตี ของไอโซโทรปิคพอยท์ซอร์สที่มีค่าเป็นหนึ่ง เพราะว่ามันมีการแพร่กระจายกำลังงาน ออกไปทุกทิศทางด้วยค่าที่เท่ากันคือ U, U_{max} และ U_o ต่างมีค่าเท่ากัน แต่ต้นกำหนด (สายอากาศ) แบบอื่นๆ นั้นย่อมมีไดเรคติวิตีมากกว่าหนึ่งเสมอ

สายอากาศที่มีโลบหลักแคบๆ เพียงโลบเดียว และมีโลบย่อยที่มีขนาดเล็กจนสามารถตัดทิ้งได้มุมตันของบีมจะมีค่าประมาณเท่ากับผลคูณของ HPBW ในระนาบซึ่งตั้งฉากกัน

$$D_0=4\pi/\Omega_A=4\pi/\Theta_{1r}\Theta_{2r} \quad (2.33)$$

มุมตันของบีม Ω_A ประมาณได้จาก

$$\Omega_A=\Theta_{1r}=\Theta_{2r} \quad (2.34)$$

Θ_{1r}=HPBWในระนาบใดๆ(เรเดียน)

Θ_{2r}=HPBWในระนาบซึ่งตั้งฉากกับระนาบแรก(เรเดียน)

2.13 ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์

ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์ เป็นมุมที่วัดระหว่าง จุดที่ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในโลบหลักมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดสองจุด

เมื่อทราบถึงบีมวิดท์เป็นองศา จากสมการที่ (2.33) จะดัดแปลงให้เหมาะสมที่จะแทนค่าบีมวิดท์นั้นโดยตรงได้เป็น

$$D_0=4\pi(180/\pi)^2/\Theta_{1d}\Theta_{2d}=41253/\Theta_{1d}\Theta_{2d} \quad (2.35)$$

Θ_{1r}=HPBWในระนาบใดๆ(องศา)

Θ_{2r}=HPBWในระนาบซึ่งตั้งฉากกับระนาบแรก(องศา)

2.14 เกน(Gain)

เกนเป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากไดเรคติวิตี โดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วย ในขณะที่ไดเรคติวิตี อธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาเวอร์เกน (Power Gain) ของสายอากาศ ในทิศทางที่กำหนดให้นั้น มีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ในทิศทางนั้นต่อกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่ง เมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้ โดยเฉพาะโดยทั่วไปแล้ว จะคิดเพาเวอร์เกนในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ดังนั้น

เกน = 4π (ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น) / (กำลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้สายอากาศ)

$$=4\pi U(\theta,\phi)/P_{in} \quad (2.36)$$

โดยทั่วไปแล้ว มักจะพูดถึงเกนสัมพันธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของเพาเวอร์เกน ในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อเพาเวอร์เกน ของสายอากาศ ที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศนั้นต้องเท่ากัน สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบ อาจจะเป็นสายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร แต่โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็น ไอโซโทรปิคพอยท์ซอร์ส ที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้น

$$G_g=4\pi U(\theta,\phi)/P_{in} \text{(ไอโซโทรปิคที่ไม่มีการสูญเสีย)} \quad (2.37)$$

กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด (P_{rad}) สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ P_{in} ดังนี้

$$P_{rad}= e_t P_{in} \quad (2.38)$$

เมื่อ e_t เป็นประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) ทำให้จะได้

$$G_g(\theta,\phi)=e_t[4\pi U(\theta,\phi)/P_{rad} \quad (2.39)$$

ซึ่งสัมพันธ์กับไดเรคทีฟเกนดังนี้

$$G_g(\theta,\phi)=e_t D_g(\theta,\phi) \quad (2.40)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าสูงสุดของเกนจะสัมพันธ์กับไดเรคติวิตี โดย

$$G_0=G_g(\theta,\phi)_{max}=e_t D_g(\theta,\phi)_{max} \quad (2.41)$$

ดังนั้น ค่าประมาณของเกนจะได้

$$G_0=30000/\Theta_{1d}\Theta_{2d} \quad (2.42)$$

Θ_{1r}=HPBWในระนาบใดๆ(องศา)

Θ_{2r}=HPBWในระนาบซึ่งตั้งฉากกับระนาบแรก(องศา)

2.15 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ จะใช้เมื่อคำนึงถึงการสูญเสียต่างๆ ที่ขั้วและภายในโครงสร้างของสายอากาศด้วย โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพทั้งหมด คำนวณได้จาก

$$e_t=e_r e_c e_d \quad (2.43)$$

เมื่อ e_t=ประสิทธิภาพทั้งหมด(ไม่มีหน่วย)

e_r=ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับของคลื่น(ไม่มีหน่วย)

e_c=ประสิทธิภาพของตัวนำ(ไม่มีหน่วย)

e_d=ประสิทธิภาพของฉนวน(ไม่มีหน่วย)

Γ=สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของศักดาไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศ

$=(Z_{in}-Z_0)/(Z_{in}+Z_0)$ เมื่อ Z_{in}=อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Z_0=อิมพีแดนซ์คุณสมบัติ(Characteristic Impedance)ของสายส่ง

ปกติ e_cและ e_dคำนวณหาได้ลำบาก ส่วนมากมักหาได้จากการทดลอง ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงมักจะเขียนได้เป็น

$$e_t=e_r e_{cd} \tag{2.44}$$

เมื่อ $e_{cd}=e_c e_d$=ประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

2.16 อินพุทอิมพีแดนซ์

อินพุทอิมพีแดนซ์(Input Impedance)ของสายอากาศใดๆจะเป็นอิมพีแดนซ์ที่ขั้วของสายอากาศนั้นๆอาจเป็นอัตตราส่วนของศักดาไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศนั้นหรือเป็นอัตราส่วนของสนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็กที่จุดใดๆในรูปที่2.12a) a-bเป็นขั้วของสายอากาศอัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้าที่ขั้วนี้เมื่อไม่ได้ต่อโหลด(Load)จะเป็นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศซึ่งมีค่า

$$Z_A=R_A+jX_A \tag{2.45}$$

เมื่อ Z_A=อิมพีแดนซ์ที่ขั้วa-bของสายอากาศ(โอห์ม)

R_A=ความต้านทานที่ขั้วa-bของสายอากาศ(โอห์ม)

X_A=รีแอคแตนซ์ที่ขั้วa-bของสายอากาศ(โอห์ม)

โดยทั่วไปค่าความต้านทานจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนดังนี้

$$R_A=R_r+R_L \tag{2.46}$$

เมื่อ R_r=ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

R_L=ความต้านทานการสูญเสียของสายอากาศ

ถ้าสมมติว่าสายอากาศถูกต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์ภายในเป็นดังนี้

$$Z_g=R_g+jX_g \tag{2.47}$$

เมื่อ R_g=ความต้นทานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ(โอห์ม)

X_g=รีแอคแตนซ์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ(โอห์ม)

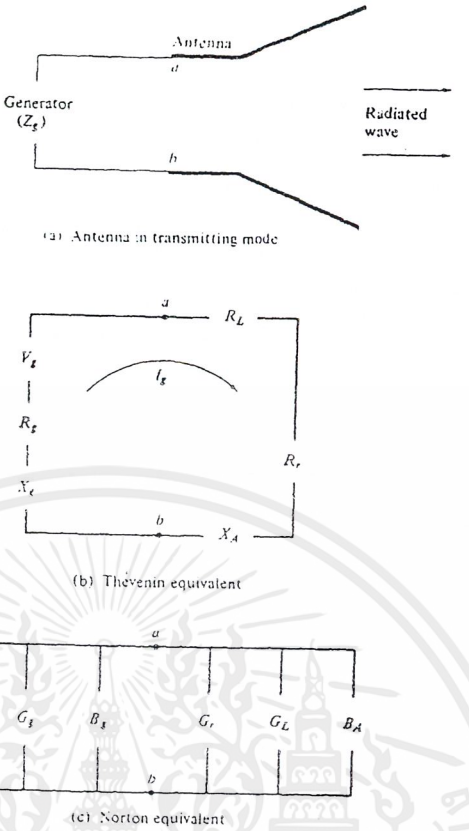
ในการหาปริมาณกำลังงานที่ถูกนำมาสู่ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นเพื่อแพร่กระจายออกกับกำลังงานที่สูญเสียในความต้านทานการสูญเสียR_Lที่กลายเป็นความร้อน($I^2R_L/2$)นั้น จะหากระแสที่ไหลภายในลูป(Loop)ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} I_g &= V_g/Z_t=V_g/(Z_A+Z_g) \\ &= V_g/(R_r+R_L+R_g)+j(X_A+X_g) \end{aligned} \tag{2.48}$$

และขนาดของกระแสจะมีค่าดังนี้คือ

$$I_g=V_g/[(R_r+R_L+R_g)^2 j(X_A+X_g)^2]^{1/2} \tag{2.49}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.12 สายอากาศส่งและวงจรสมมูลย์

2.17สมการการแพร่กระจายคลื่น

จากการศึกษาในสนามระยะไกล

$$R \approx r - r'\cos\psi \qquad \text{เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางเฟส} \qquad (2.50)$$

$$R \approx r \qquad \text{เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางขนาด} \qquad (2.51)$$

โดย ψ คือมุมระหว่าง r และ r′

และจากสมการข้างต้นสามารถสรุปได้ ดังนี้

$$\mathbf{A} = (\mu/4\pi)\iint \mathbf{J}_s(e^{-jkR}/R)ds' \approx (\mu e^{-jkr}/4\pi r)\mathbf{N} \qquad (2.52)$$

$$\mathbf{N} = \iint \mathbf{J}_s e^{jkr'\cos\psi} ds' \qquad (2.53)$$

$$\mathbf{F} = (\varepsilon/4\pi)\iint \mathbf{M}_s(e^{-jkR}/R)ds' \approx \varepsilon(e^{-jkr}/4\pi r)\mathbf{L} \qquad (2.54)$$

$$\mathbf{L} = \iint \mathbf{M}_s e^{jkr'\cos\psi} ds' \qquad (2.55)$$

บริเวณสนามระยะไกลค่า θ และ ϕ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะพิจารณาแค่ 2 ตัวแปรโดยค่าระยะทาง (r) ไม่จำเป็นต้องเป็น 0 ซึ่งเปรียบเทียบค่าที่มีองค์ประกอบของ θ และ ϕ จะได้ว่า

$$(E_A)_\theta \approx -j\omega A_\theta \qquad (2.56)$$

$$(E_A)_\phi \approx -j\omega A_\phi \qquad (2.57)$$

$$(H_A)_\theta \approx -j\omega F_\theta \qquad (2.58)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(H_A)_\phi \approx -j\omega F_\phi \tag{2.59}$$

$$(E_F)_\theta \approx +\eta(H_F)_\phi = -j\omega\eta F_\phi \tag{2.60}$$

$$(E_F)_\phi \approx -\eta(H_F)_\theta = +j\omega\eta F_\theta \tag{2.61}$$

$$(H_A)_\theta \approx -((E_A)_\phi / \eta) = +j\omega(A_\phi / \eta) \tag{2.62}$$

$$(H_A)_\phi \approx +((E_A)_\theta / \eta) = -j\omega(A_\theta / \eta) \tag{2.63}$$

เมื่อรวมสมการ (2.52) ถึง (2.63) ทั้ง 12 สมการ จะเขียนสมการสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กได้เป็น

$$E_r \approx 0 \tag{2.64}$$

$$E_\theta \approx -(jke^{-jkr}/4\pi r)(L_\phi+\eta N_\theta) \tag{2.65}$$

$$E_\phi \approx +(jke^{-jkr}/4\pi r)(L_\theta-\eta N_\phi) \tag{2.66}$$

$$E_r \approx 0 \tag{2.67}$$

$$H_\theta \approx (jke^{-jkr}/4\pi r)(N_\phi-(L_\theta/\eta)) \tag{2.68}$$

$$H_\phi \approx -(jke^{-jkr}/4\pi r)(N_\theta+(L_\phi/\eta)) \tag{2.69}$$

ซึ่งค่า N_θ , N_ϕ , L_θ , L_ϕ สามารถหาได้จากสมการ (2.52) และ (2.54) คือ

$$\mathbf{N} = \iint \mathbf{J}_S e^{+jkr'\cos\Psi} ds' = \iint (a_x J_x + a_y J_y + a_z J_z) e^{+jkr'\cos\Psi} ds' \tag{2.70}$$

$$\mathbf{L} = \iint M_S e^{+jkr'\cos\Psi} ds' = \iint (a_x M_x + a_y M_y + a_z M_z) e^{+jkr'\cos\Psi} ds' \tag{2.71}$$

ใช้สูตรการแปลงจากพิกัดมุมฉากเป็นพิกัดทรงกระบอก จะได้ว่า

$$N_\theta = \iint (J_x\cos\theta\cos\phi + J_y\cos\theta\sin\phi - J_z\sin\theta) e^{+jkr'\cos\Psi} ds' \tag{2.72}$$

$$N_\phi = \iint (-J_x\sin\phi + J_y\cos\phi) e^{+jkr'\cos\Psi} ds' \tag{2.73}$$

$$L_\theta = \iint (M_x\cos\theta\cos\phi + M_y\cos\theta\sin\phi - M_z\sin\theta) e^{+jkr'\cos\Psi} ds' \tag{2.74}$$

$$L_\phi = \iint (-M_x\sin\phi + M_y\cos\phi) e^{+jkr'\cos\Psi} ds' \tag{2.75}$$

ค่าการชี้ทิศทาง ค่าการชี้ทิศทางสามารถหาได้ด้วยวิธีที่เหมือนกับสายอากาศอื่น โดยจากสมการความแรงของการแพร่กระจาย $U(\theta,\phi)$ และใช้ค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่บริเวณสนามระยะไกล

$$U(\theta,\phi) = (1/2)\mathrm{Re}[(a_\theta E_\theta + a_\phi E_\phi) \times (a_\theta E_\theta + a_\phi E_\phi)^*] = (1/2\eta)(|E_\theta|^2 + |E_\theta|^2) \tag{2.76}$$

ซึ่งทำการลดรูป (normalized) ได้เป็น

$$U_n(\theta,\phi) = (|E_\theta(\theta,\phi)|^2 + |E_\theta(\theta,\phi)|^2) = B_0 F(\theta,\phi) \tag{2.77}$$

ท่อนำคลื่น

เราจะทำการพิจารณาคุณสมบัติของท่อนำคลื่นปลายปากสี่เหลี่ยมก่อนแล้วทำการเปลี่ยนพิกัดเป็นพิกัดทรงกระบอกตามคุณสมบัติของท่อนำคลื่นปลายปากวงกลมต่อไป

ท่อนำคลื่นทรงสี่เหลี่ยม

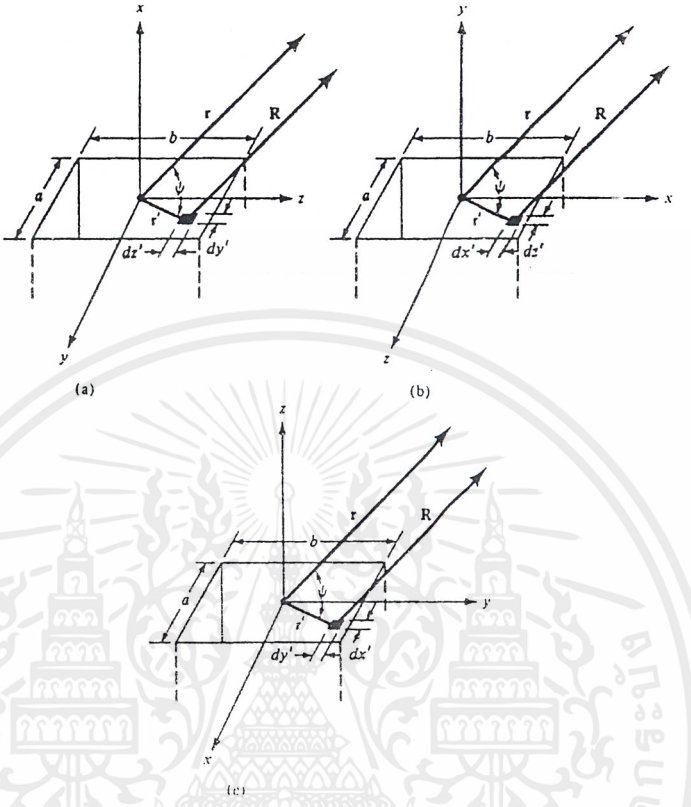
เป็นรูปแบบที่พบได้มาก เพราะลักษณะโครงสร้างแบบพิกัดมุมฉากสะดวกที่สุดในการอธิบายค่าสนาม และการอินทิเกรต ซึ่งรูปที่ 1 ทั้ง 3 รูป เป็นรูปแบบปกติบนระนาบที่ต่างกัน 3 ระนาบ ซึ่งรูปแบบการวิเคราะห์จะเหมือนกันทั้ง 3 แบบ โดยจะแตกต่างกันบางตัวแปรในสมการ คือ

1. องค์ของค่ากระแส J และ M $(J_x, J_y, J_z, J_x, J_y, J_z)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงจุดที่สังเกต ($r'\cos\Psi$)

3. พื้นที่ในการหาค่าอนุพันธ์ (differential ; ds')



รูปที่ 2.13ท่อนำคลื่นแบบปากสี่เหลี่ยมที่วางในระนาบต่างๆ 3 ระนาบ

โดยทั่วไปองค์ประกอบที่ไม่เป็นศูนย์ของ J_s และ M_s คือ

J_y, J_z, M_y, M_z (รูป 2.13-a) (2.78)

J_x, J_z, M_x, M_z (รูป 2.13-b) (2.79)

J_x, J_y, M_x, M_y (รูป 2.13-c) (2.80)

ค่าของสมการที่นำมาหาค่าอนุพันธ์มีค่าเป็น

$$r'\cos\Psi = \mathbf{r}'\mathbf{a}_r = (a_y y'+a_z z')\times(a_x\sin\theta\cos\phi+a_y\sin\theta\sin\phi+a_z\cos\theta) \quad \text{(รูป 2.13-a)} \quad (2.81)$$
$$= y'\sin\theta\sin\phi+z'\cos\theta$$

$$r'\cos\Psi = \mathbf{r}'\mathbf{a}_r = (a_x x'+a_z z')\times(a_x\sin\theta\cos\phi+a_y\sin\theta\sin\phi+a_z\cos\theta) \quad \text{(รูป 2.13-b)} \quad (2.82)$$
$$= x'\sin\theta\cos\phi+z'\cos\theta$$

$$r'\cos\Psi = \mathbf{r}'\mathbf{a}_r = (a_x x'+a_y y')\times(a_x\sin\theta\cos\phi+a_y\sin\theta\sin\phi+a_z\cos\theta) \quad \text{(รูป 2.13-c)} \quad (2.83)$$
$$= x'\sin\theta\cos\phi+y'\sin\theta\sin\phi$$

และค่าพื้นที่ในการหาอนุพันธ์มีค่า

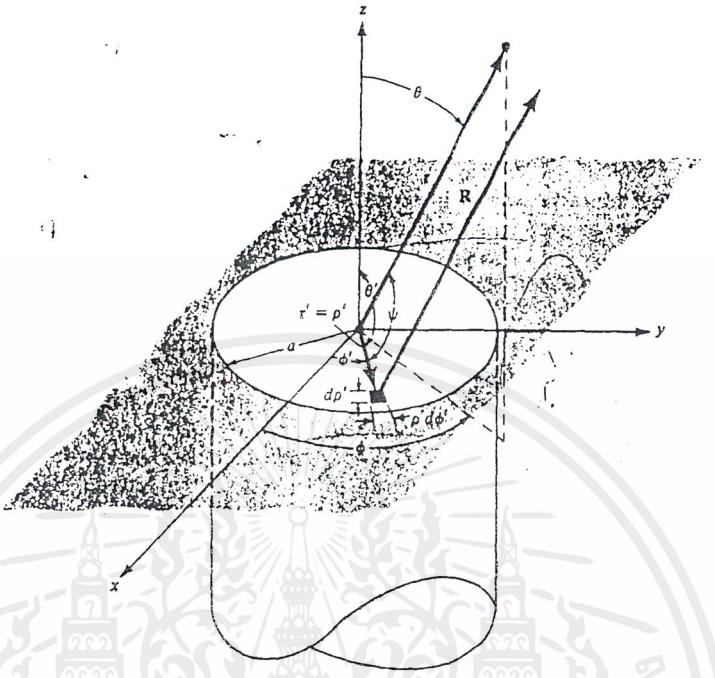
$ds' = dy'dz'$ (รูป 2.13-a) (2.84)

$ds' = dx'dz'$ (รูป 2.14-b) (2.85)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$ds' = dx'dy'$ (รูป 2.15-c) (2.86)

ท่อนำคลื่นแบบปากวงกลม



รูปที่ 2.14 ท่อนำคลื่นแบบปากวงกลม

เป็นสายอากาศที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง สิ่งที่น่าสนใจของท่อนำคลื่นแบบวงกลมคือลักษณะโครงสร้างที่เรียบง่ายและสามารถใช้สมการสนามของทุกโหมดอธิบายได้ เพราะเป็นแบบปากวงกลมจึงสามารถพิจารณาสมการสนามโดยใช้พิกัดทรงกระบอกได้ซึ่งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กบนปากเปิดรูปวงกลมจะใช้พิกัดทรงกระบอก คือ E_ρ , E_ϕ , E_z และ H_ρ , H_ϕ , H_z ซึ่งองค์ประกอบของ M_s และ J_s ก็อธิบายโดยใช้รูปแบบทรงกระบอกเช่นเดียวกัน (M_ρ , M_ϕ , M_z , J_ρ , J_ϕ , J_z) ซึ่งการอินทิเกรทเพื่อหา N_θ , N_ϕ , L_θ , L_ϕซึ่งมีสมการดังนี้

$$N_\theta = \iint (J_x\cos\theta\cos\phi + J_y\cos\theta\sin\phi - J_z\sin\theta)e^{+jkr'\cos\psi}ds' \quad (2.87)$$

$$N_\phi = \iint (-J_x\sin\phi + J_y\cos\phi)e^{+jkr'\cos\psi}ds' \quad (2.88)$$

$$L_\theta = \iint (M_x\cos\theta\cos\phi + M_y\cos\theta\sin\phi - M_z\sin\theta)e^{+jkr'\cos\psi}ds' \quad (2.89)$$

$$L_\phi = \iint (-M_x\sin\phi + M_y\cos\phi)e^{+jkr'\cos\psi}ds' \quad (2.90)$$

แก้สมการโดยใช้พิกัดทรงกระบอก ซึ่งใช้สมการ $R \approx r - r'\cos\psi$ และ $ds' = dx'dy'$ ซึ่งตำแหน่งการวางสายอากาศที่เหมาะสมอยู่ในรูป 2.14 (บนระนาบ x-y)โดยการแปลงองค์ประกอบของ J_s จากพิกัดมุมฉากเป็นพิกัดทรงกระบอกซึ่งองค์ประกอบ M_s ก็ใช้การแปลงเหมือน J_s ซึ่งพิกัดมุมฉากกับพิกัดทรงกระบอก สัมพันธ์กันดังนี้

$$x' = \rho'\cos\phi' \quad (2.91)$$

$$y' = \rho'\sin\phi' \quad (2.92)$$

$$z' = z' \quad (2.93)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการแบบพิกัดมุมฉากของ N_θ , N_ϕ , L_θ , L_ϕ แปลงเป็นสมการแบบทรงกระบอกได้ดังนี้

$$N_\theta = \iint [J_\rho \cos\theta \cos(\phi-\phi') + J_\phi \cos\theta \sin(\phi-\phi') - J_z \sin\theta] e^{+jkr'\cos\Psi} ds' \quad (2.94)$$

$$N_\phi = \iint [-J_\rho \sin(\phi-\phi') + J_\phi \cos(\phi-\phi')] e^{+jkr'\cos\Psi} ds' \quad (2.95)$$

$$L_\theta = \iint [M_\rho \cos\theta \cos(\phi-\phi') + M_\phi \cos\theta \sin(\phi-\phi') - M_z \sin\theta] e^{+jkr'\cos\Psi} ds' \quad (2.96)$$

$$L_\phi = \iint [-M_\rho \sin(\phi-\phi') + M_\phi \cos(\phi-\phi')] e^{+jkr'\cos\Psi} ds' \quad (2.97)$$

และเทียบได้เป็น

$$r'\cos\Psi = x'\sin\cos + y'\sin\theta\sin\phi = \rho'\sin\theta\cos(\phi-\phi') \quad (2.98)$$

$$ds' = dx'dy' = \rho' d\rho' d\phi' \quad (2.99)$$

สนามการแพร่กระจายคลื่นโดยท่อนำคลื่นแบบปากรูปวงกลมบนพื้นตัวนำขนาดอนันต์ เพื่อทำให้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ง่าย สนามบนปากท่อนำคลื่นจะกำหนดให้เป็นดังนี้

$$E_a = a_y E_0 \qquad \rho' \le a \quad (2.100)$$

โดย E_0 เป็นค่าคงที่

จากรูป 2.13-c

$$M_s = -2n \times E_a = a_x 2E_0 \qquad \rho' \le a \quad (2.101)$$

$$0 \qquad \text{elsewhere}$$

$$J_s = 0 \qquad \text{everywhere} \quad (2.102)$$

โดย

$$N_\theta = N_\phi = 0 \quad (2.103)$$

$$L_\theta = 2E_0 \cos\cos \int_0^a \rho' \left[\int_0^{2\pi} e^{+jk\rho'\sin\theta\cos(\phi-\phi')} d\phi' \right] d\rho' \quad (2.104)$$

เพราะว่า

$$\int_0^{2\pi} e^{+jk\rho'\sin\theta\cos(\phi-\phi')} d\phi' = 2\pi J_0(k\rho'\sin\theta) \quad (2.105)$$

สามารถเขียนได้เป็น

$$L_\theta = 4\pi E_0 \cos\theta \cos\phi \int_0^a J_0(k\rho'\sin\theta)\rho' d\rho' \quad (2.106)$$

ซึ่ง $J_0(t)$ คือ bessel function ของ first kind of order zero ซึ่งยกสมการมาได้ คือ

$$t = k\rho'\sin\theta \quad (2.107)$$

$$dt = k\sin\theta \, d\rho' \quad (2.108)$$

ลดรูปสมการของ L_θ จะได้

$$L_\theta = (4\pi E_0 \cos\theta \cos\phi / (k\sin\theta)^2) \int_0^{ka\sin\theta} t J_0(t) dt \quad (2.109)$$

และ

$$\int_0^\beta z J_0(z) dz = \beta J_1(\beta) \quad (2.110)$$

ซึ่ง $J_1(\beta)$ คือเช่นเดียวกัน bessel function of order one คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_\theta = 4\pi a^2 E_0 \{\cos\theta \cos\phi [J_1 (ka\sin\theta) / (ka\sin\theta)]\} \quad (2.111)$$

และ

$$L_\phi = -4\pi a^2 E_0 \sin\phi [J_1 (ka\sin\theta) / (ka\sin\theta)] \quad (2.112)$$

ใช้สมการ (2.103),(2.111)และ (2.112) องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าของสมการ สามารถเขียนได้เป็น ในระนาบมุมยกและระนาบมุมกวาด องค์ประกอบของสนามไฟฟ้า มีค่าเป็น

$$E_r = 0 \quad (2.113)$$

$$E_\theta = (jka^2 E_0 e^{-jkr} / r)\{\sin\phi [J_1 (ka\sin\theta) / (ka\sin\theta)]\} \quad (2.114)$$

$$E_\phi = (jka^2 E_0 e^{-jkr} / r) \{\cos\theta \cos\phi [J_1 (ka\sin\theta) / \{ka\sin\theta)]\} \quad (2.115)$$

ในระนาบมุมยก

$$E_r = E_\phi = 0 \quad (2.116)$$

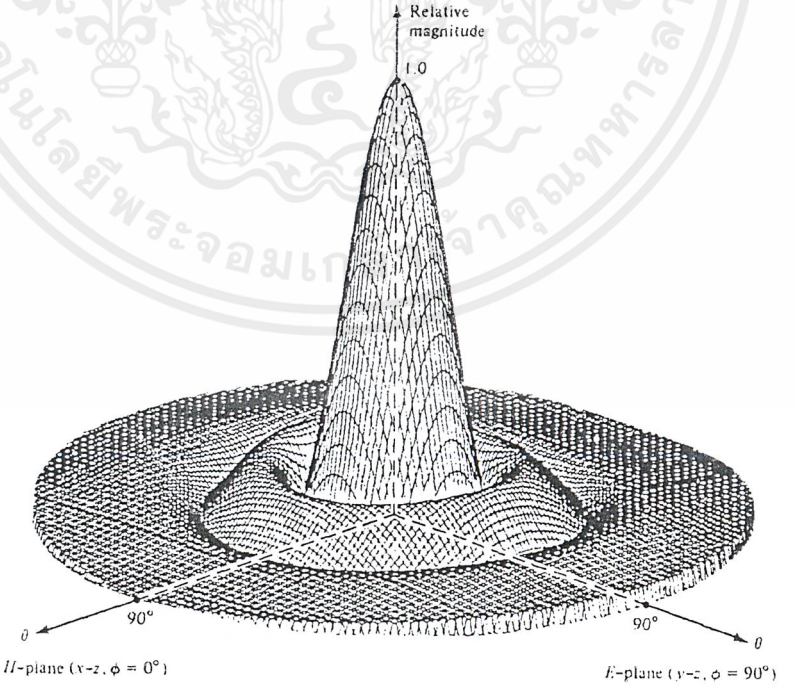
$$E_\theta = (jka^2 E_0 e^{-jkr} / r)[J_1 (ka\sin\theta) / (ka\sin\theta)] \quad (2.117)$$

ในระนาบมุมกวาด

$$E_r = E_\theta = 0 \quad (2.118)$$

$$E_\phi = (jka^2 E_0 e^{-jkr} / r) \{\cos\theta [J_1 (ka\sin\theta) / (ka\sin\theta)]\} \quad (2.119)$$

ซึ่งในรูปที่ 2.15 เป็นรูปของการแพร่กระจายคลื่นแบบ 3 มิติ โดยคำนวณจากท่อนำคลื่นแบบปากรูปวงกลมที่มีค่า a= 1.5λ ซึ่งรูปแบบมีลักษณะสมมาตร



รูปที่ 2.15 การแพร่กระจายคลื่นในสนามที่คงที่
โดยคำนวณจากท่อนำคลื่นแบบปากรูปวงกลมที่มีค่า a= 1.5λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าการแพร่กระจายของสนามเหนือท่อนำคลื่นมีค่าคงที่ ค่าการชี้ทิศทางจะมีค่าเท่ากับ

$$D_0 = (4\pi / \lambda^2)A_{em} = (4\pi / \lambda^2)A_\rho = (4\pi / \lambda^2)(\pi a^2) = (2\pi a / \lambda)^2 = (c / \lambda)^2 \qquad (2.120)$$

ซึ่งจะได้ค่าสูงสุดของพื้นที่ประสิทธิผล (Effective Area ; A_{em}) มีค่าเท่ากับพื้นที่ทางกายภาพ (Physical Area ; A_ρ) ของท่อนำคลื่น

TE11-Mode

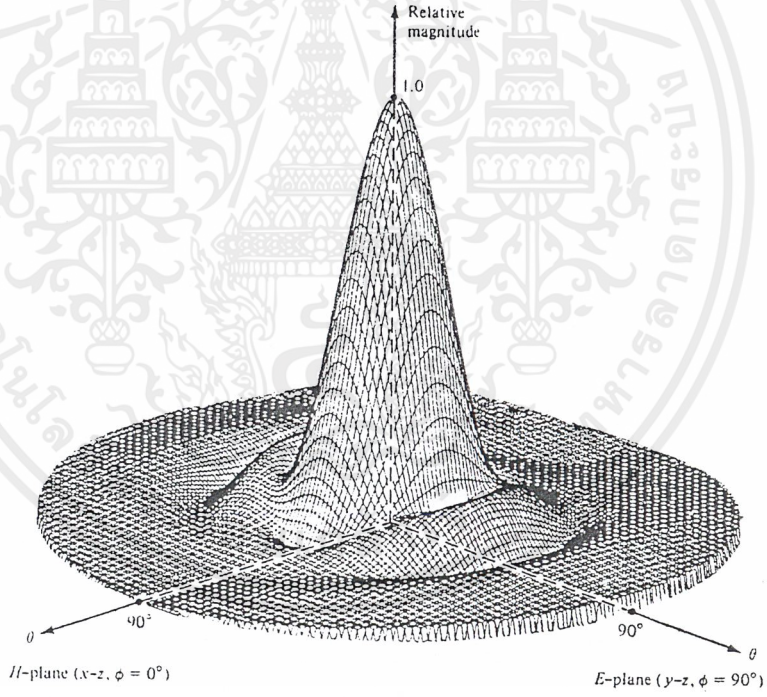
จากรูปของท่อนำคลื่นปากวงกลมที่ตั้งอยู่บนพื้นตัวนำขนาดอนันต์ในรูป 11.16 การแฟร่กระจายสนามเป็นแบบโหมด TE11 คือ

$$E_\rho = (E_0 / \rho)J_1 (x_{11'}\rho' / a)\sin\phi' \qquad (2.121)$$

$$E_\phi = E_0\{\partial [J_1 (x_{11'}\rho' / a) / \rho)] / \partial\rho'\}\cos\phi' \qquad (2.122)$$

$$E_z = 0 \qquad (2.123)$$

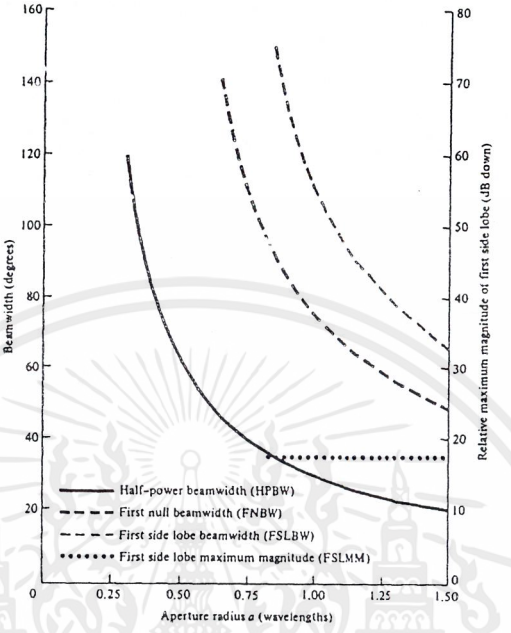
$$x_{11'} = 1.841 \qquad (2.124)$$



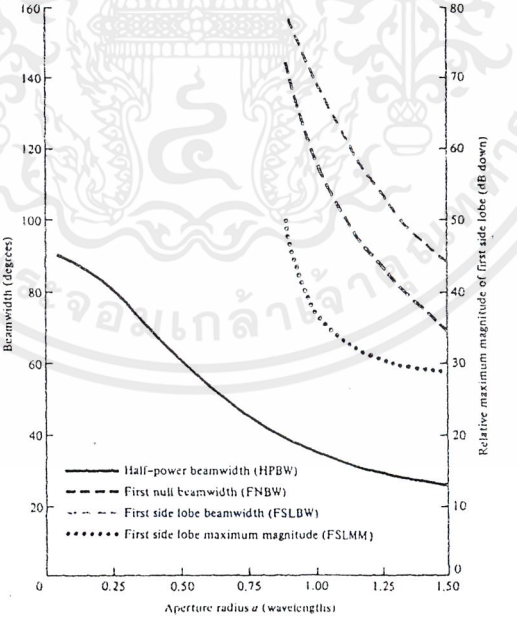
รูปที่ 2.16 การแพร่กระจายคลื่นในโหมด TE11
โดยคำนวณจากท่อนำคลื่นแบบปากรูปวงกลมที่มีค่า a= 1.5λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแสดงเป็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ 3 มิติ ดังรูป 2.16 สำหรับ a= 1.5λ ซึ่งนำไปเปรียบเทียบกับรูป 2.15 ซึ่งบีมวิดท์ (Beamwidth)และโหลบด้านข้าง (SLL)ในระนาบมุมยกและระนาบมุมกวาดจะต่างกัน เราจะคำนวณได้จาก Interative Methods โดยข้อมูลได้แสดงไว้ในรูป2.17 และ 2.18 ทั้ง 2 ระนาบ



รูปที่ 2.17 ค่าบีมวิดท์และโหลบด้านข้างในระนาบมุมยก



รูปที่ 2.18 ค่าบีมวิดท์และโหลบด้านข้างในระนาบมุมกวาด

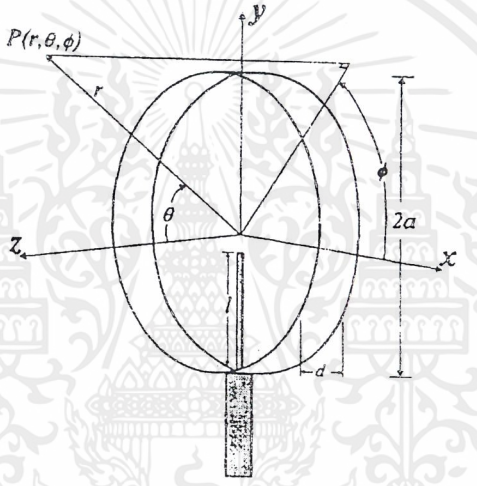
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3

การคำนวณและการสร้าง

3.1โครงสร้างสายอากาศ

จากทฤษฎีการรีโซแนนซ์ที่ได้กล่าวในบทที่2 เราสามารถนำทฤษฎีการรีโซแนนซ์มากำหนดโครงสร้างเบื้องต้นของสายอากาศ สายอากาศที่มีการรีโซแนนซ์จะมีอิมพีแดนซ์ที่มีแต่ค่าความต้านทาน ไม่มีค่ารีแอกแตนซ์ ทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุด การออกแบบสายอากาศสามารถนำทฤษฎีการรีโซแนนซ์มาประยุกต์ใช้ได้ ดังเช่นสายอากาศไดโพลที่มีความยาว$\lambda/2$ ซึ่งเป็นค่าความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดที่เกิดการรีโซแนนซ์ พื้นฐานการออกแบบสายอากาศจะกำหนดให้พารามิเตอร์ต่างๆอยู่ในรูปของค่าความยาวคลื่น(λ)ในโครงงานนี้ออกแบบสายอากาศเป็นลักษณะวงกลมจึงพารามิเตอร์เส้นรอบวงของวงกลม



รูปที่ 3.1 สายอากาศแบบ bidirectional

จากสมการเส้นรอบวงของวงกลมและทฤษฎีการรีโซแนนซ์

$$2\pi r = \frac{N\lambda}{2} \tag{3.1}$$

เมื่อค่าNเปลี่ยน ขนาดของรัศมี(r)ก็เปลี่ยน จะเห็นได้ว่าสามารถออกแบบสายอากาศได้หลายขนาดที่ค่าNต่างๆ แต่จะมีค่าNเพียงค่าเดียวที่สายอากาศสามารถทำงานได้ที่ความถี่ที่ออกแบบได้ดีที่สุด ในการทดลองทำสายอากาศอย่างคร่าวๆและทดลองในโปรแกรมSupernec พบว่าค่าNที่ได้มีค่าที่เหมาะสมเท่ากับ5 สมการที่(3.1)จะมีค่าดังนี้

$$2\pi r = 2.5\lambda \tag{3.2}$$

$$r = \frac{2.5\lambda}{2\pi} \tag{3.3}$$

ส่วนค่าความหนาของสายอากาศ(d) ได้ใช้โปรแกรมSupernecทำการทดลอง พบว่าค่า0.15λจะได้บีมวิท(Beamwidth)ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2การสร้างสายอากาศ

ใช้แผ่นทองเหลืองที่มีความหนา0.7มิลลิเมตร ตัดแบ่งทองเหลืองให้เป็นเส้นตรงที่มีขนาดความหนา1.9เซนติเมตร(d=0.15λ)ยาว31.23เซนติเมตร(รัศมี=2πr/2.5λ)จำนวน2แผ่น นำมาประกอบเป็นสายอากาศโดยมีขั้นตอนดังนี้

-นำทองเหลืองแผ่นที่หนึ่งมาทำการเชื่อมด้วยก๊าซให้มีลักษณะเป็นวงกลม

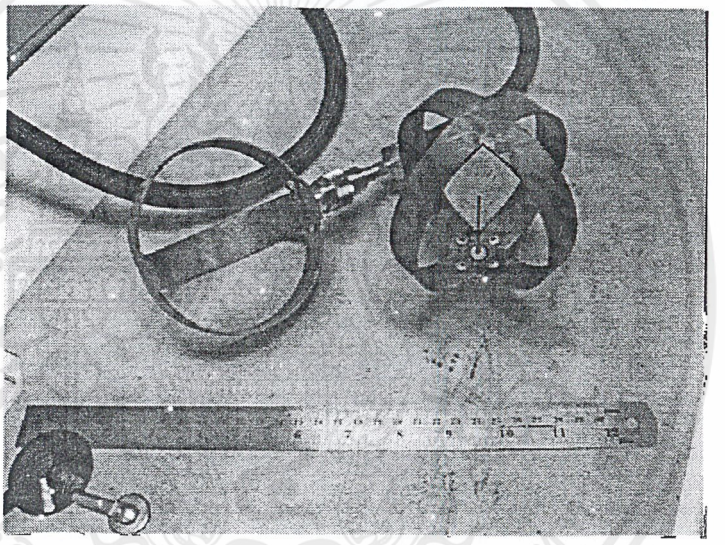
-ทองเหลืองแผ่นที่2นำมาตัดความยาวออก3.8เซนติเมตร(0.3λ)

-ตัดแบ่งครึ่งทองเหลืองแผ่นที่2ออกเป็นสองส่วน นำมาดัดให้เป็นวงกลม

-นำแผ่นทองเหลืองที่ตัดแบ่งมาเชื่อมกับแผ่นที่1ที่เป็นวงกลมโดยให้ทำมุมกัน90^0 โดยเชื่อมทั้งสองด้านของวงกลม

-เจาะรูให้มีขนาดใกล้เคียงกับหัวของคอนเนคเตอร์(Connecter)

-นำคอนเนคเตอร์มายึดกับทองเหลืองที่เชื่อมไว้แล้วให้แน่น



รูปที่ 3.2 ภาพสายอากาศ

3.3การวิเคราะห์หาสนามไฟฟ้าของสายอากาศ

จากการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของท่อนำคลื่นทรงกระบอกกลวงในบทที่2 พบว่าเมื่อระนาบทรงกระบอกของท่อนำคลื่นปากเดียวที่วางตามแนวแกนZ สมการสนามไฟฟ้าคือ

$$E_\theta = j\frac{ka^2E_0e^{-jkr}}{r}\{\sin\varphi[\frac{J_1(ka\sin\theta)}{ka\sin\theta}]\} \tag{3.4}$$

$$E_\varphi = j\frac{ka^2E_0e^{-jkr}}{r}\{\cos\theta\cos\varphi[\frac{J_1(ka\sin\theta)}{ka\sin\theta}]\} \tag{3.5}$$

อาร์เรย์แฟคเตอร์ของสองเอเลเมนท์คือ

$$AF = 2\cos[kd\ \cos\theta + \beta/2] \tag{3.6}$$

ดังนั้นสมการสนามไฟฟ้าของท่อนำคลื่นทรงกระบอกสองปากที่วางตามแนวแกนZคือ

$$E_\theta = j\frac{ka^2E_0e^{-jkr}}{r}\{\sin\phi[\frac{J_1(ka\ \sin\theta)}{ka\ \sin\theta}]\}\ [2\cos(kd\ \cos\theta + \beta/2)] \tag{3.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_\phi = j\,\frac{ka^{\,2}E_0 e^{\,-jkr}}{r}\{\cos\theta\cos\phi[\frac{J_1(ka\,\sin\theta)}{ka\,\sin\theta}]\}\;[2\cos(kd\;\cos\theta+\beta/2)] \qquad (3.8)$$

จากโครงสร้างของสายอากาศที่ทำการสร้างพบว่ามีองค์ประกอบของท่อนำคลื่นทรงกระบอกกลวงสองปากทั้งตามแนวแกนZและตามแนวแกนY ดังนั้นจำเป็นต้องหาสนามไฟฟ้าตามแนวแกนYของสายอากาศ จากสมการที่(2.98) ,(2.99)ในบทที่2 หาสนามไฟฟ้าตามแนวแกนYเมื่อเทียบกับแกนZ

$$r'\cos\Psi = x'\sin\theta\cos\phi + z'\cos\theta \qquad (3.9)$$

$$= \cos\phi'\sin\theta\cos\phi + z'\cos\theta \qquad (3.10)$$

$$ds' = \rho d\varphi' dz' \qquad (3.11)$$

จากสมการที่ (2.100)

$$E_a = \vec{a}_x E_0 \qquad \text{เมื่อ} \qquad \rho \le a \qquad (3.12)$$

จากสมการที่(2.101), (2.102) จะได้สมการ

$$M_s = -2\vec{n}x\vec{E}_a = -2\vec{a}_y x\vec{a}_x E_0 = 2E_0\vec{a}_z \qquad \text{เมื่อ } \rho \le a \qquad (3.13)$$

$$= 0$$

$$J_s = 0 \qquad (3.14)$$

จากสมการที่(2.103), (2.104) จะได้สมการ

$$N_\theta = N_\phi = 0 \qquad (3.15)$$

$$L_\theta = \iint_s [M_\rho\cos\theta\cos(\varphi-\varphi') + M_\varphi\cos\theta\sin(\varphi-\varphi') - Mz\sin\theta]e^{jkr'\cos\Psi}ds' \qquad (3.16)$$

ทำการแปลงจากพิกัดทรงกระบอกเป็นพิกัดx-yจะได้สมการที่(2.89)

$$L_\theta = \iint_s [M_x\cos\theta\cos\varphi + M_y\cos\theta\sin\varphi - Mz\sin\theta]e^{jkr'\cos\Psi}ds' \qquad (3.17)$$

จากสมการที่(3.7),(3.8)นำมาแทนใน(3.14)

$$L_\theta = -2E_0\sin\theta\iint_s e^{jk(\rho\cos\varphi'\sin\theta\cos\varphi + z'\cos\theta)}\rho d\varphi' dz' \qquad (3.18)$$

$$L_\theta = -2E_0\rho\sin\theta\int_0^{2\pi} e^{jk\rho\cos\varphi'\sin\theta\cos\varphi}[\int_0^{0.05} e^{jkz'\cos\theta}dz]d\varphi' \qquad (3.19)$$

จากสมการที่(2.97)

$$L_\varphi = \iint_s [-M_\rho\sin(\varphi-\varphi') + M_\varphi\cos(\varphi-\varphi')]e^{jkr'\cos\Psi}ds' \qquad (3.20)$$

ทำการแปลงจากพิกัดทรงกระบอกเป็นพิกัดx-yจะได้สมการที่(2.90)

$$L_\varphi = \iint_s [-M_x\sin(\varphi) + M_y\cos(\varphi)]e^{jkr'\cos\Psi}ds' \qquad (3.21)$$

จากสมการที่(3.7),(3.8)นำมาแทนใน(3.18) พบว่า

$$L_\varphi = 0 \qquad (3.22)$$

จากสมการที่(2.65),(2.66) จะได้

$$E_\theta = \vec{0} \qquad (3.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_\varphi = j\frac{ka^2E_0e^{-jkr}}{r}\{-2E_0\rho\sin\theta\int_0^{2\pi}e^{jk\rho\cos\varphi'\sin\theta\cos\varphi}[\int_0^{0.05}e^{jkz'\cos\theta}dz]d\varphi'\} \quad (3.24)$$

สมการที่(3.20),(3.21)คือสมการสนามไฟฟ้าของสายอากาศทรงกระบอกที่วางตามแนวแกนyเมื่อเทียบกับแกนz จากสมการที่(3.1) –(3.5)และสมการ(3.20).(3.21) ดังนั้นสมการสนามไฟฟ้ารวมของทั้งสองแกนคือ

$$E_\theta = j\frac{ka^2E_0e^{-jkr}}{r}\{\sin\phi[\frac{J_1(ka\sin\theta)}{ka\sin\theta}]\}[2\cos(kd\cos\theta+\beta/2)] \quad (3.25)$$

พบว่า E_θ จะมีค่าเหมือนเดิม เนื่องจาก E_θ ของสนามจากสายอากาศตามแกนyมีค่า=0

$$E_\varphi = \{j\frac{ka^2E_0e^{-jkr}}{r}\{\cos\theta\cos\varphi[\frac{J_1(ka\sin\theta)}{ka\sin\theta}]\}\text{x}$$
$$j\frac{ka^2E_0e^{-jkr}}{r}\{-2E_0\rho\sin\theta\int_0^{2\pi}e^{jk\rho\cos\varphi'\sin\theta\cos\varphi}[\int_0^{0.05}e^{jkz'\cos\theta}dz]d\varphi'\}[2\cos(kd\cos\theta+\beta/2)] \quad (3.26)$$

3.4โปรแกรมSupernec

โปรแกรมSupernecเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศโดยโปรแกรมสามารถวิเคราห์การแพร่กระจายคลื่น(Radiation Pattern)ของสายอากาศ หลักการคำนวณหาการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในโปรแกรมSupernecคือจะสร้างสายอากาศโดยใช้เซกเมนต์(Segment)ย่อยๆมาประกอบเป็นสายอากาศและคำนวณทีละเซกเมนต์ย่อยๆจนครบตามลักษณะของสายอากาศที่เราสร้างขึ้นมาคล้ายกับการอินทิเกรตส่วนย่อยทีละส่วน โปรแกรมSupernecจึงสามารถวิเคราะห์โครงสร้างที่มีความซับซ้อนซึ่งเกิดจากการประกอบโครงสร้างพื้นฐานเข้าด้วยกัน คุณสมบัติพิเศษของSupernecคือสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ การใช้งานSupernecต้องใช้บนMatlab โดยที่Matlabจะทำการคำนวณแพทเทอร์นของสายอากาศ Suprenecจะใช้สร้างสายอากาศจากส่วนประกอบพื้นฐานต่างๆที่มีอยู่ในโปรแกรม

ขั้นตอนการใช้งานมีดังนี้

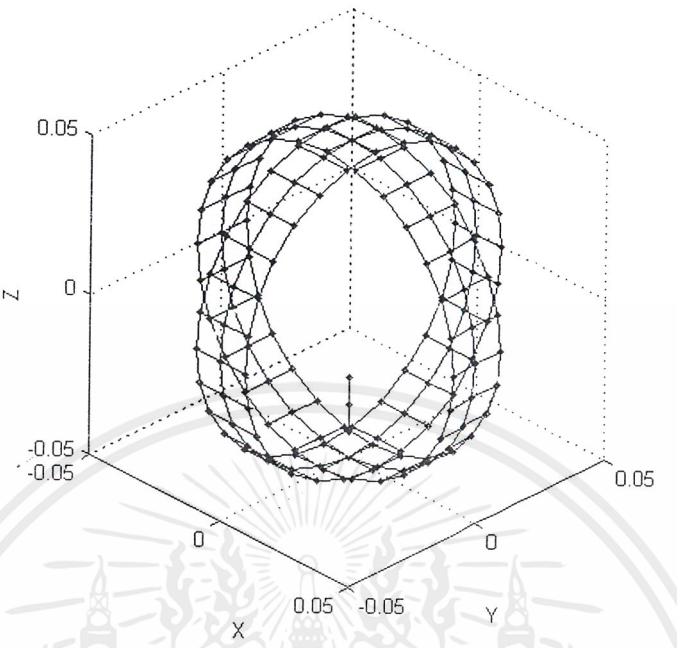
-เลือกส่วนประกอบพื้นฐาน ในโครงงานนี้เลือกที่Add → Assembly → Structure → Sncylinder

-ระบุตำแหน่ง(Co-ordinate)ลงบนแกน → กำหนดมุมที่ต้องการให้สายอากาศทำกับแกนต่างๆ → กำหนดขนาดของสายอากาศ → เซ็ทค่าพารามิเตอร์(Parameter)ที่ต้องการเช่นความถี่,เอาร์พุท (Output)ที่ต้องการดู

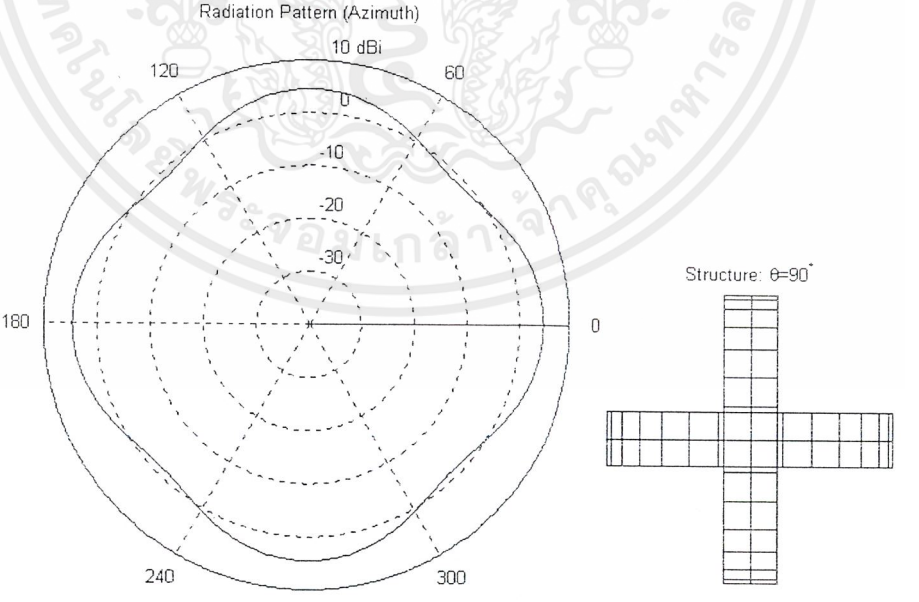
-เลือกที่Simulate สังเกตุข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นบนหน้าจอ ถ้าโปรแกรมSimulateผ่านจะมีฟังชั่น(Function) View Outputเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-เลือกView Output เพื่อดูผลการทดลอง

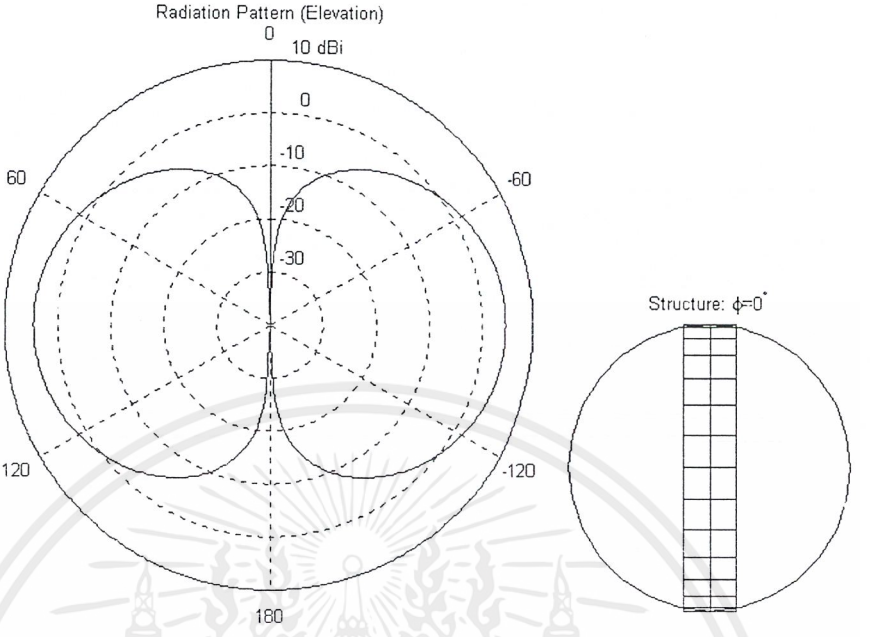


รูปที่ 3.3 หน้าจอโปรแกรมSupernecที่ใช้งาน

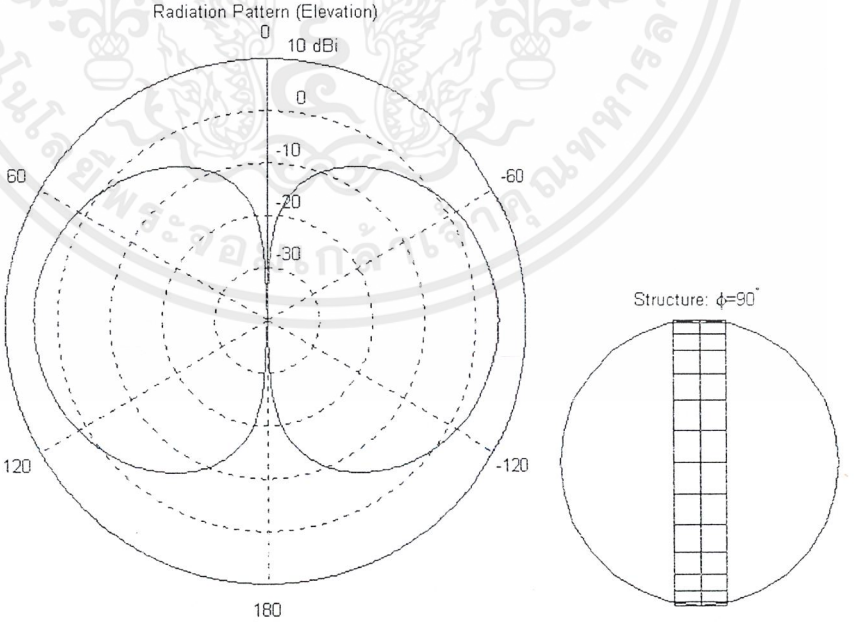


รูปที่ 3.4 แพทเทอร์นในระนาบAzimuth

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

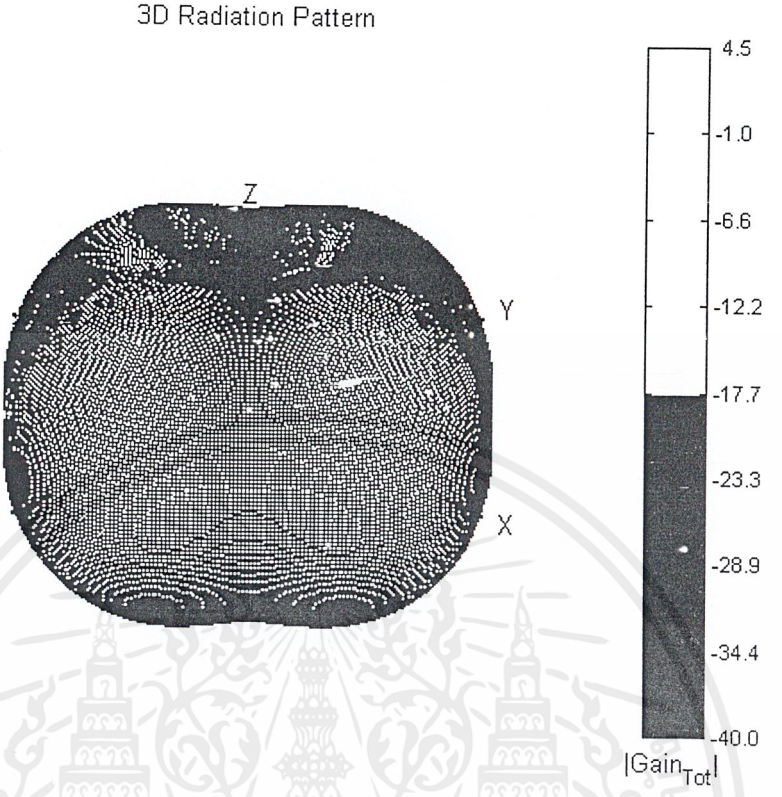


รูปที่ 3.5 แพทเทอร์นในระนาบElevation(ϕ=0)

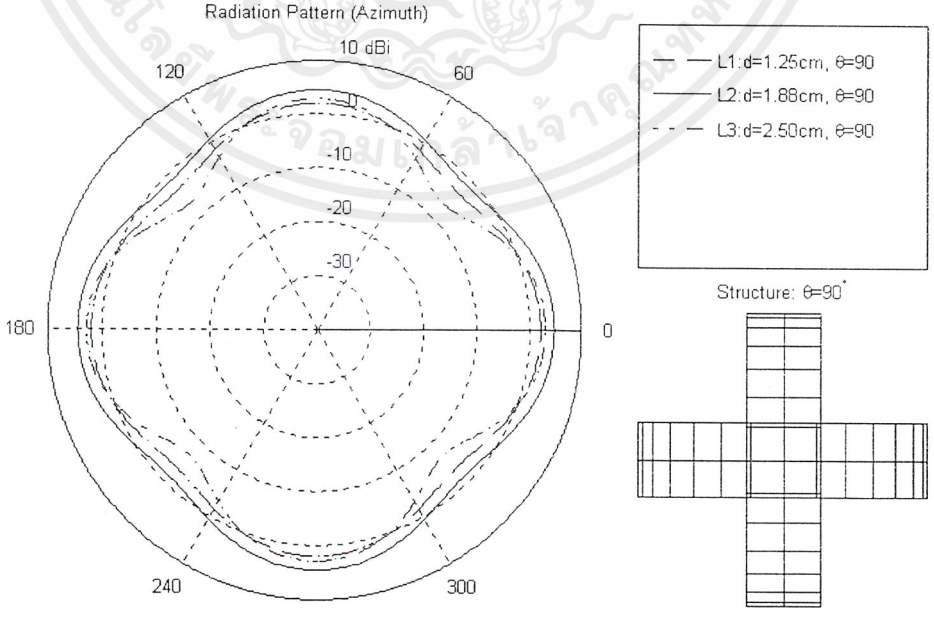


รูปที่ 3.6 แพทเทอร์นในระนาบElevation(ϕ=90)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

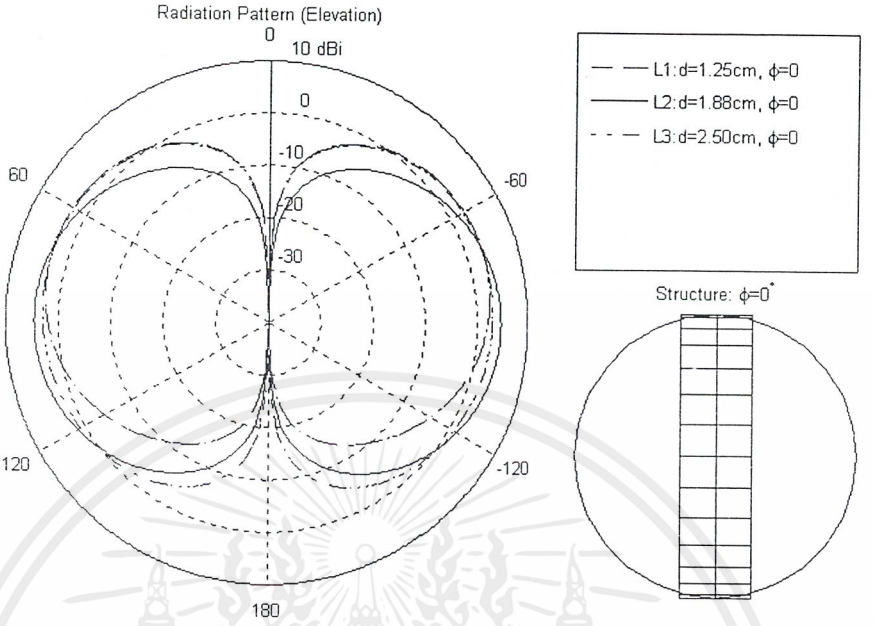


รูปที่ 3.7 แพทเทอร์นสามมิติ

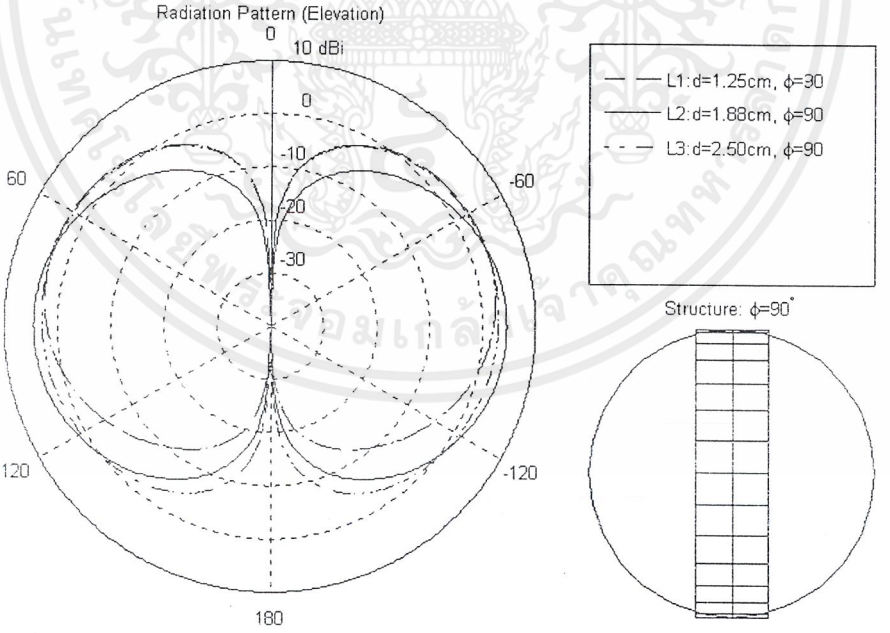


รูปที่ 3.8 เปรียบเทียบแพทเทอร์นในระนาบAzimuthเมื่อเปลี่ยนความกว้างวงแหวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9เปรียบเทียบแพทเทอร์นในระนาบElevation(ϕ=0)เมื่อเปลี่ยนความกว้างวงแหวน



รูปที่ 3.10 เปรียบเทียบแพทเทอร์นในระนาบElevation(ϕ=90)เมื่อเปลี่ยนความกว้างวงแหวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4

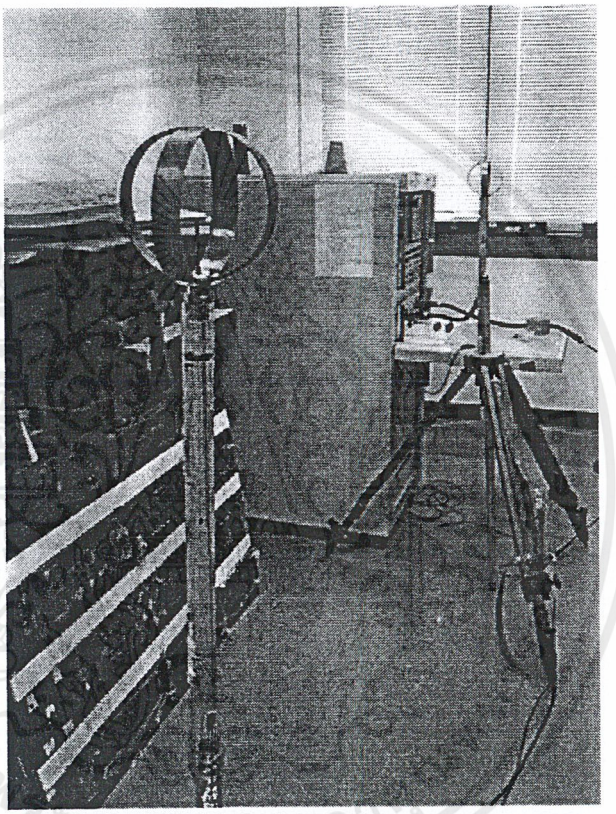
การทดลองและผลการทดลอง

4.1การวัดอิมพีแดนซ์,VSWR, Log Mag

4.1.1อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

-เครื่องวัดNetwork Analyzer พร้อมชุดCalibrate

-สายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลม



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงการติดตั้งเพื่อวัดค่าคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ

4.1.2ขั้นตอนการวัด

-ทำการปรับสภาวะเครื่องNetwork Analyzer แบบone port

-ทำการป้อนความถี่กลางและช่วงความถี่ที่แสดงผลบนหน้าจอ

-เลือกสภาวะคอนเนคเตอร์ ในโครงงานนี้ใช้แบบN-type

-ทำการCalibrate โดยเลือกใช้งานที่S-11 port หรือS-22port

-นำตัวcalibrateแบบopenมาต่อกับportที่เลือกใช้งาน กดปุ่มopen → female → done open แล้วถอดตัวcalibrate ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

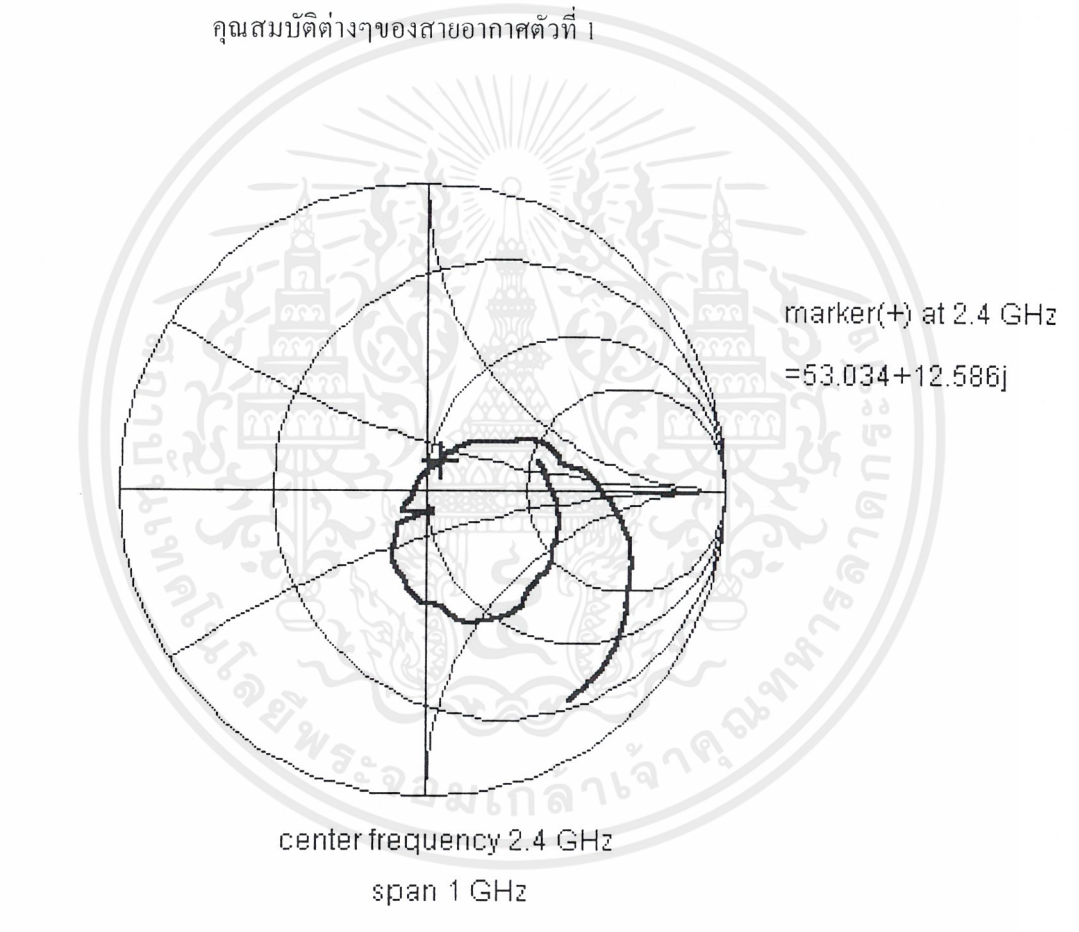
-นำตัวcalibrateแบบshortมาต่อกับportที่เลือกใช้งาน กดปุ่มshort → female → done shortแล้วถอดตัวcalibrate ออก

-นำตัวcalibrateแบบloadมาต่อกับportที่เลือกใช้งาน กดปุ่มload → broadband → done load รอให้เครื่อง Network Analyzerคำนวณค่าแล้วถอดตัว calibrateออก

-นำตัวcalibrateแบบshortมาต่อกับportที่เลือกใช้งาน กดปุ่มelectircal delay → smith chart ทำการปรับค่า electrical delayให้อยู่ด้านซ้ายสุดตรงกับแกนกลาง

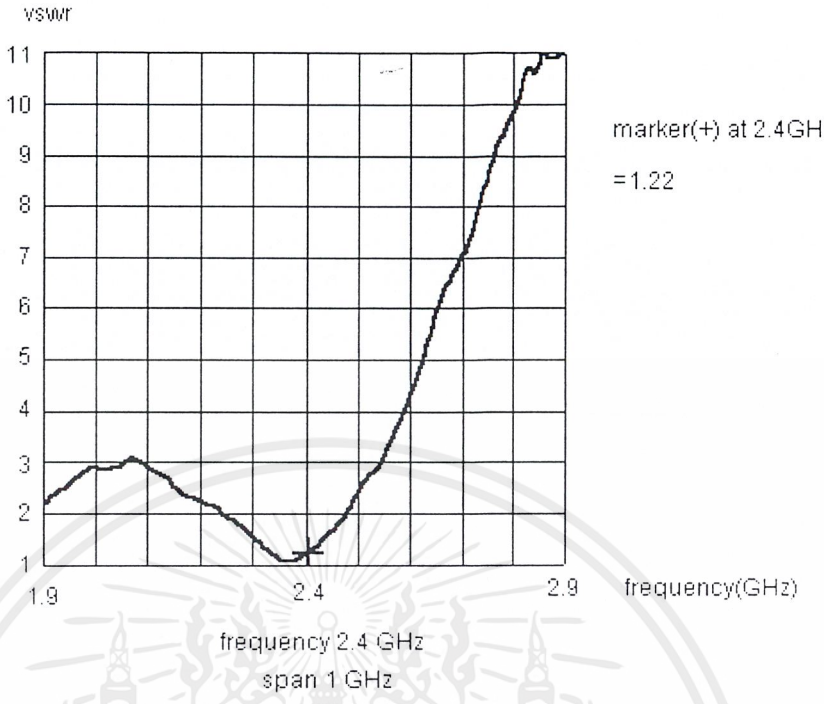
-นำสายอากาศมาต่อที่พอร์ทที่ใช้งาน

-กดปุ่มformatเพื่อสังเกตค่าVSWR, Log Mag, อิมพีแดนซ์(Impedance)ที่แสดงโดยSmith Chart

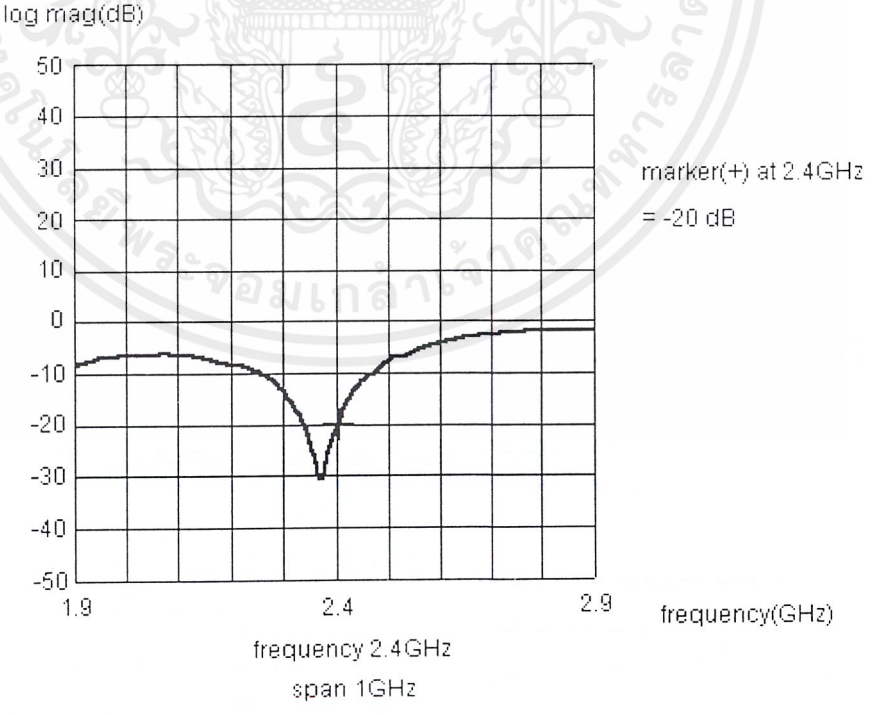


รูปที่ 4.2 Smith chart แสดงค่าอิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



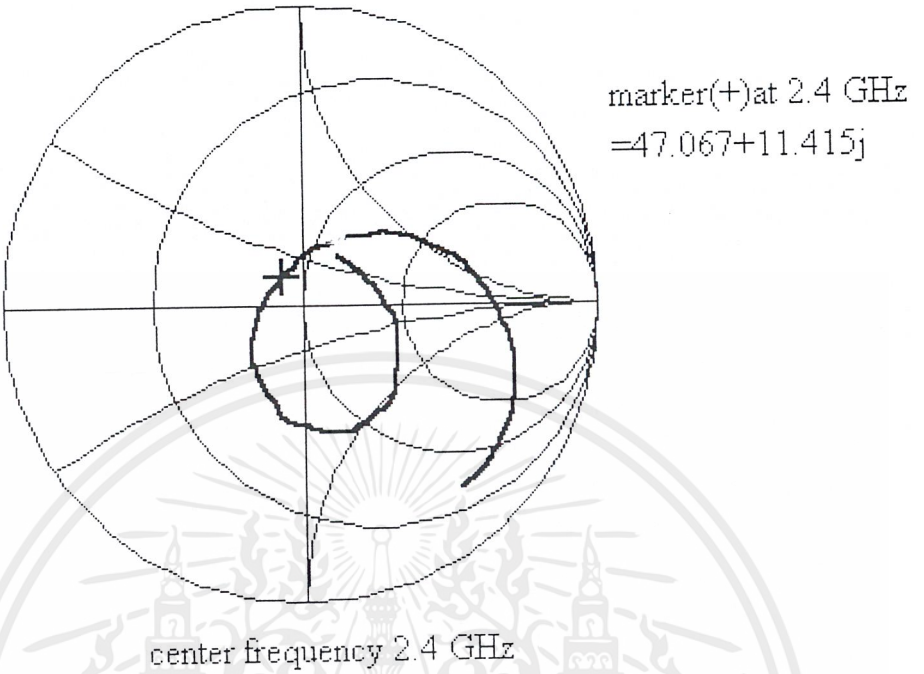
รูปที่ 4.3 ค่า VSWR ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Network analyzer



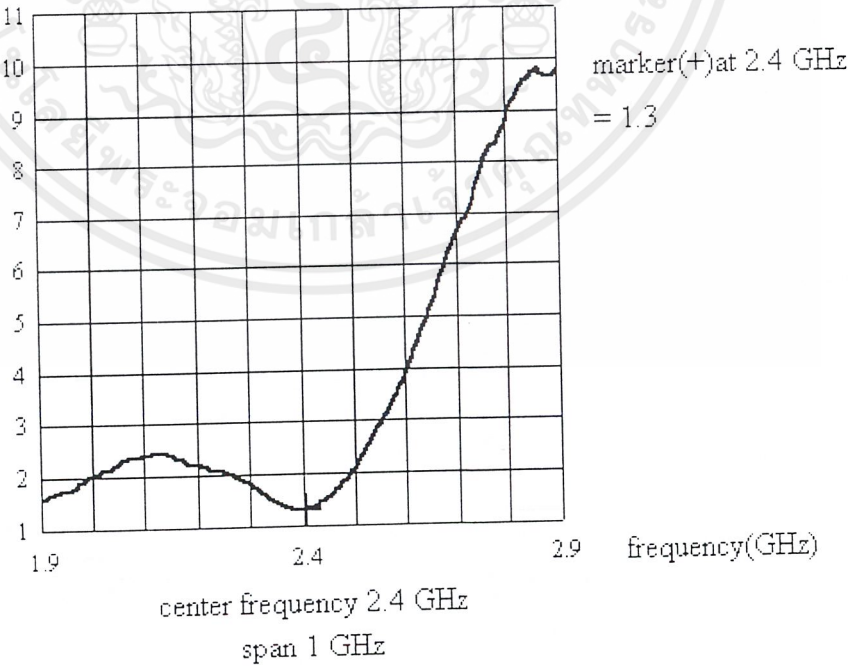
รูปที่ 4.4 ค่า log mag ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Network analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติต่างๆของสายอากาศตัวที่ 2

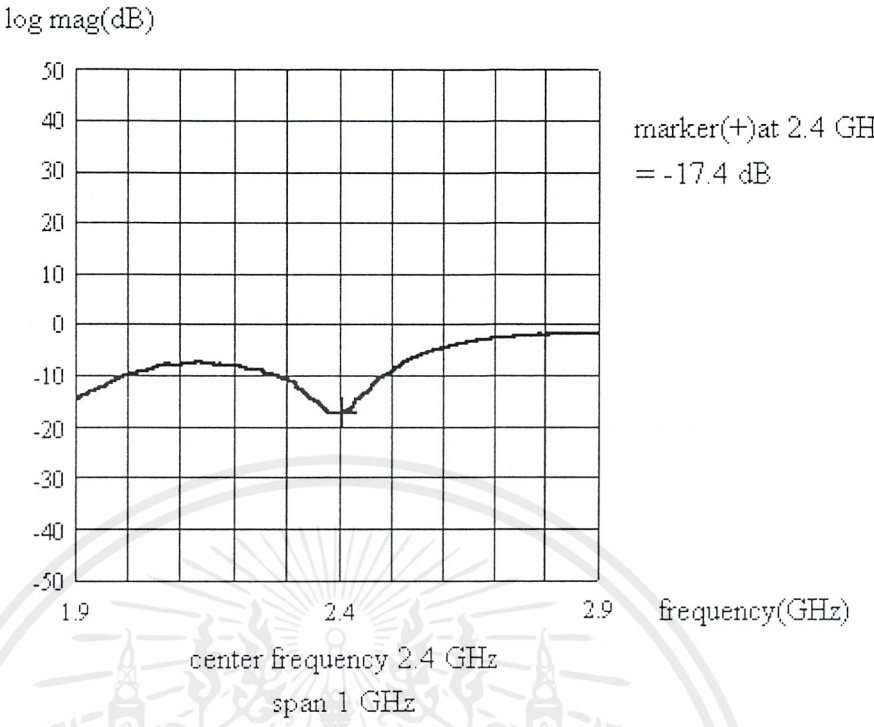


รูปที่ 4.5 Smith chart แสดงค่าอิมพีแดนซ์



รูปที่ 4.6 ค่า VSWR ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Network analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ค่า log mag ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Network analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2การวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น(Radiation Pattern)

4.2.1อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

-เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย(8350 Hewlett Packard)

-สายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลม2ตัว

-จานหมุน(Turn Table)

-สายโคแอกเชี่ยน(Coaxcial Cable)

4.2.1ขั้นตอนการทดลองวัดRadiation Pattern

1.จัดให้สายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลมทั้ง2ตัวให้ตรงกัน

2. จัดตั้งอุปกรณ์ตามรูป

3.ทำการเซ็ทอัพ(Setup)เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย(8350 Hewlett Packard)ดังนี้

-ทำการโหลดไฟล์(File)ที่ใช้งานจากแผ่นดิสท์(Disk)

-เลือกพอร์ท(Port)ที่ใช้งาน โดยเลือกใช้งานที่พอร์ทS_{21}

-ตั้งค่าความถี่ศูนย์กลางที่2.4GHz ช่วงความถี่ที่แสดงผลบนเครื่อง1GHz

-ทำการต่อสายอากาศเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย

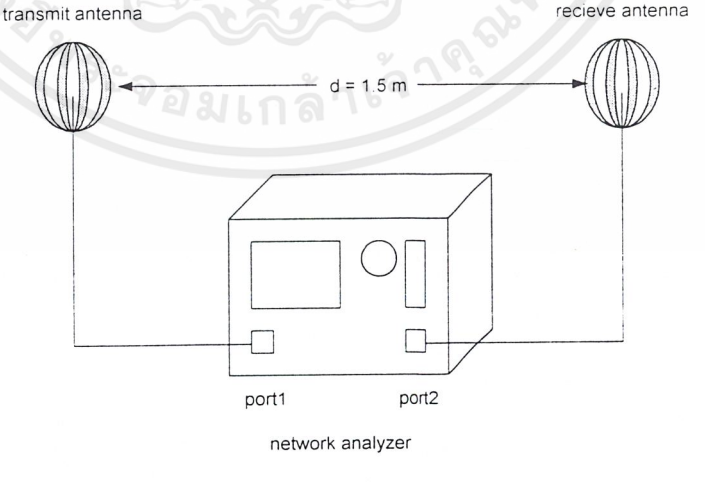
-เลือกกำลังที่ป้อนให้แก่สายอากาศ15dBm

- เซ็ทอัพเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายให้รับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกโดยกดปุ่มTrigger Mode เลือกที่External

4.ทำการหมุนสายอากาศโดยรอบเป็นมุม360^{0}ในการทดลองนี้เซ็ทอัพจานหมุนให้หมุนทีละ2^0

5.ทำการเซฟ(Safe)ไฟล์ข้อมูลลงบนดิสท์โดยไฟล์ที่เซฟจะเป็นText File ที่เก็บค่าซึ่งเป็นตัวเลข

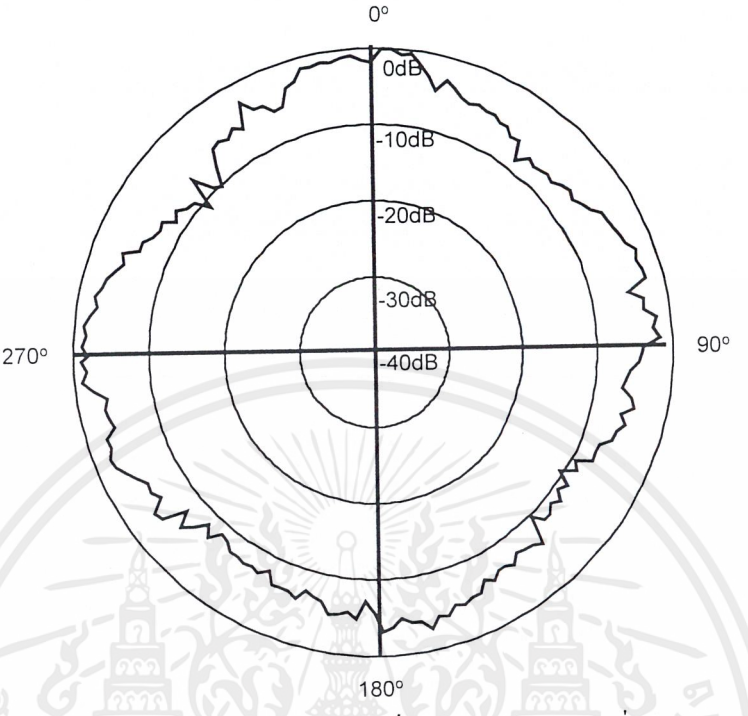
6.นำไฟล์ที่เซฟมาใช้งานบนExcelเพื่อที่จะพล็อต(Plot)กราฟ(Graph)ดูแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ



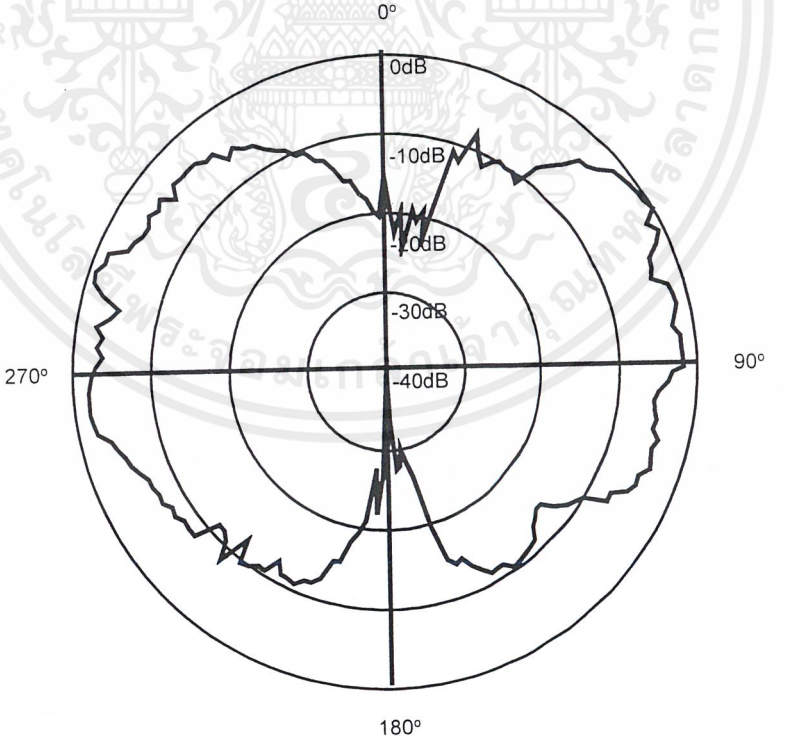
รูปที่ 4.8 แสดงการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นไดโพลและสายอากาศรับเป็นสายอากาศตัวที่ 1



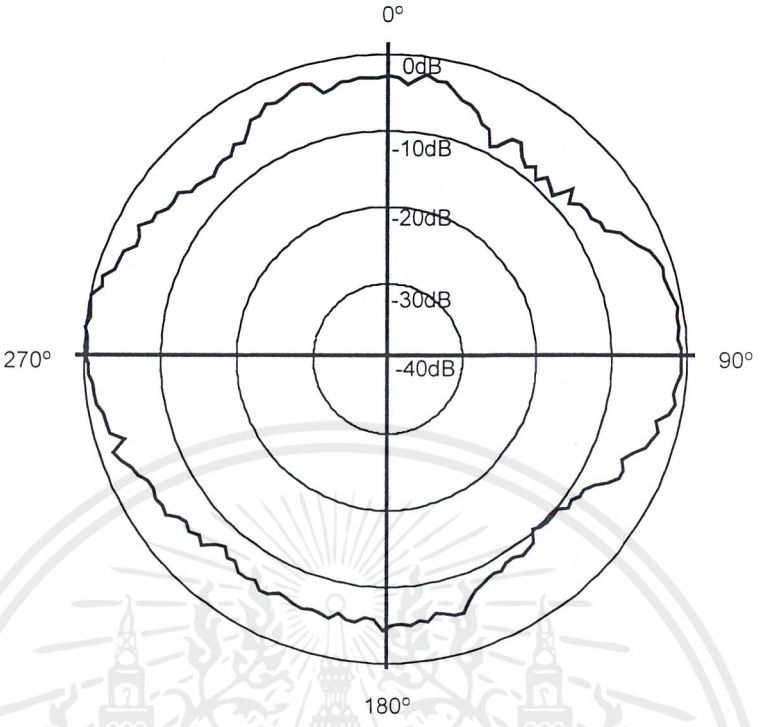
รูปที่ 4.9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดที่ได้จากการวัดจริง.



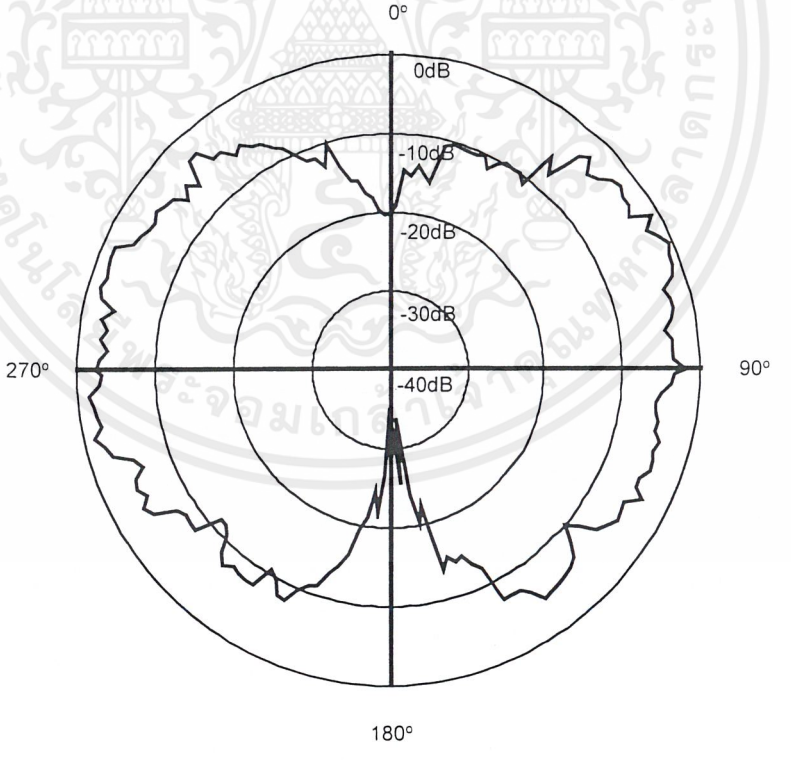
รูปที่ 4.10 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกที่ได้จากการวัดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นไดโพลและสายอากาศรับเป็นสายอากาศตัวที่ 2



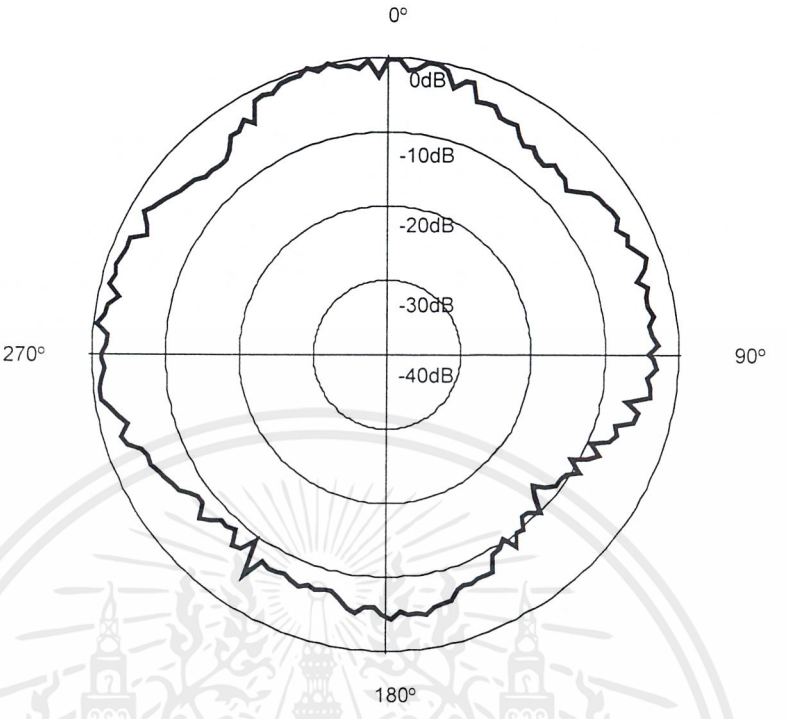
รูปที่ 4.11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดที่ได้จากการวัดจริง



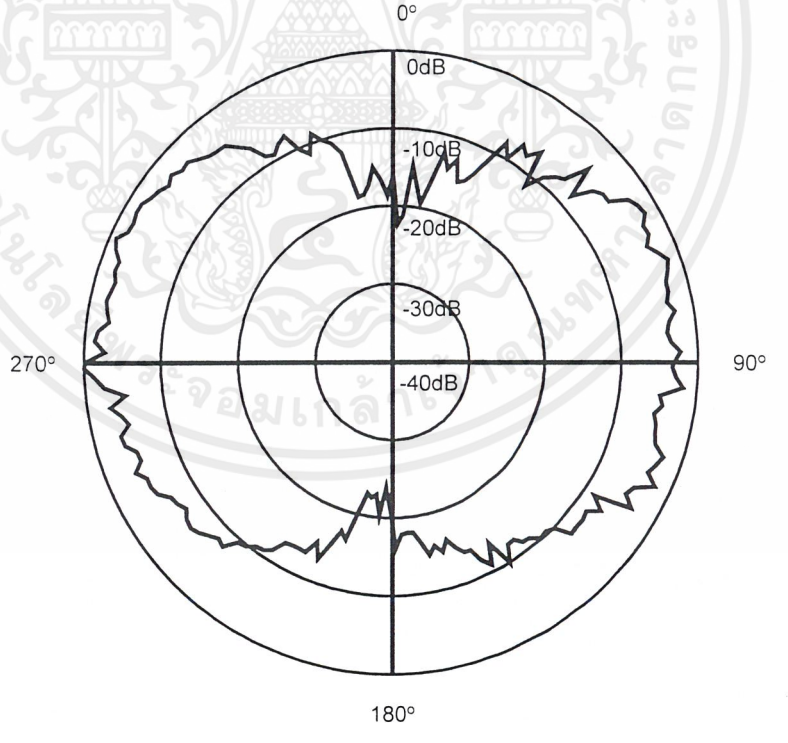
รูปที่ 4.12 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกที่ได้จากการวัดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นสายอากาศตัวที่ 1และสายอากาศรับเป็นสายอากาศตัวที่ 2



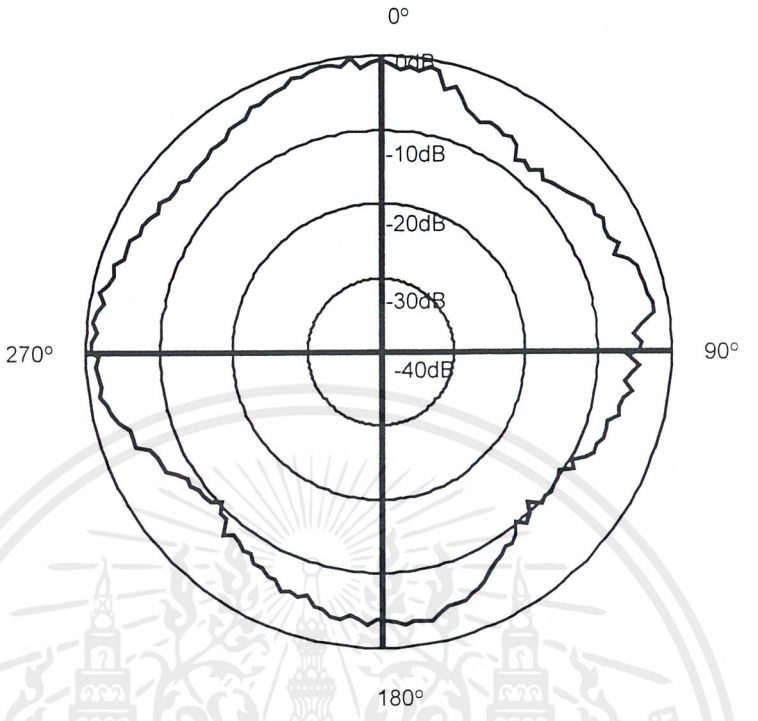
รูปที่ 4.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดที่ได้จากการวัดจริง



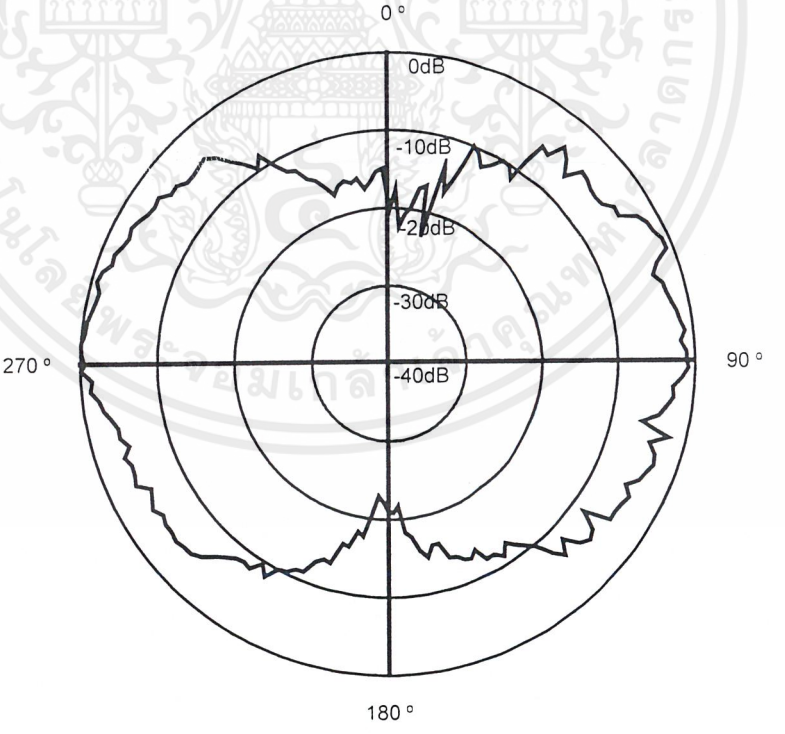
รูปที่ 4.14 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกที่ได้จากการวัดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้สายอากาศส่งเป็นสายอากาศตัวที่ 2และสายอากาศรับเป็นสายอากาศตัวที่ 1



รูปที่ 4.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดที่ได้จากการวัดจริง



รูปที่ 4.16 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกที่ได้จากการวัดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3ผลการทดลอง

จากการทดลองวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น โดยใช้สายอากาศส่งและสายอากาศรับจำนวน 4 คู่นั้นผลที่ได้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน คือจะได้แพทเทอร์นในระนาบมุมกวาด(Azimuth) ณ มุมที่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสูงสุดจะเป็นมุมเดียวกับตำแหน่งที่สตริปทรงกลมวางตัวโดยเป็นโลบหลักที่ยื่นออกมา ส่วนแพทเทอร์นในระนาบมุมยก(Elevation)จะมีลักษณะคล้ายวงกลมตามรูปร่างสายอากาศ แต่หัวและท้ายจะเว้าลงไป

4.2.4คุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ

-Impedance

จากค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้อยู่ด้านบนของ Smithchart แสดงว่าค่าReactanceที่ได้เป็นค่าบวก คือเป็นค่าInductance โดยคำนวณหาจาก

สายอากาศตัวที่ 1 $L = \omega X_L = 2\pi f X_L = 0.835nH$

สายอากาศตัวที่ 2 $L = \omega X_L = 2\pi f X_L = 0.757nH$

-สัมประสิทธิ์การสะท้อน(Reflection Coefficiency)

สายอากาศตัวที่ 1 $\Gamma = \frac{z_{in} - z_o}{z_{in} + z_o} = \frac{54.507 - 50}{54.507 + 50} = 0.043$

สายอากาศตัวที่ 2 $\Gamma = \frac{z_{in} - z_o}{z_{in} + z_o} = \frac{48.431 - 50}{48.431 + 50} = -0.016$

-ประสิทธิภาพการสะท้อน(Reflection Efficiency)

สายอากาศตัวที่ 1 $e_r = 1 - |\Gamma| = 1 - 0.043 = 0.957$

สายอากาศตัวที่ 2 $e_r = 1 - |\Gamma| = 1 - (-0.016) = 0.984$

-ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ(Total Antenna Efficiency)

สายอากาศตัวที่ 1 $e_o = e_r e_c e_d = 0.957(1)(1) = 0.957$

สายอากาศตัวที่ 2 $e_o = e_r e_c e_d = 0.984(1)(1) = 0.984$

โดย e_c คือสภาพความเป็นตัวนำ(ทองเหลือง=1)

e_d คือสภาพความเป็นไดอิเล็กตริก(ทองเหลือง=1)

-HPBW(Half-Power Beamwidth)

สายอากาศตัวที่ 1 HPBW ในระนาบมุมกวาด(Azimuth plane) = 62°

HPBW ในระนาบมุมยก(Elevation plane) = 26°

สายอากาศตัวที่ 2 HPBW ในระนาบมุมกวาด(Azimuth plane) = 65°

HPBW ในระนาบมุมยก(Elevation plane) = 30°

-Bandwidth

สายอากาศตัวที่ 1 105 MHz

สายอากาศตัวที่ 2 100 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Gain

จากสูตรในการคำนวณ

$$Pr - Pt = 20\log(\frac{\lambda}{4\pi d}) + Gr + Gt$$

เมื่อ d = ระยะในการตั้งสายอากาศ (มากกว่าระยะสนามระยะไกล) = 1.8 เมตร

$P_r - P_t$ คือค่าที่ได้จากการต่อสายอากาศทั้ง 2 ตัวแล้วอ่านค่าจากค่า return loss จาก network analyzer ซึ่งมีค่าเท่ากับ –39.02 dB

จากที่เราใช้สายอากาศชนิดเดียวกัน Gr+Gt จึงมีค่าเท่ากับ 2G คือ 6.132 dBi

ดังนั้น Gain ของสายอากาศแต่ละตัวเท่ากับ 3.066 dBi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
บทวิจารณ์และบทสรุป

ปริญญานิพนธ์เรื่องสายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลมนี้ เป็นการศึกษาออกแบบ การคำนวณ การสร้าง การศึกษาคุณลักษณะและการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลม โดยออกแบบจากทฤษฎีการรีโซแนนซ์และโปรแกรมSupernec ใช้งานที่ความถี่ 2.4 GHzในปริญญานิพนธ์นี้ใช้โมโนโพลเป็นสายอากาศหลักโดยมีสตริปทรงกลมล้อมรอบเป็นตัวแปรที่ทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของสายอากาศทำมาจากทองเหลืองที่ขดเป็นวงกลม2ส่วน โดยนำมาเชื่อมกันให้ทำมุมระหว่างกัน90^0 มีสายอากาศโมโนโพลบัดกรีติดกับคอนเนกเตอร์อยู่ที่ฐานตรงกลางของวงกลม ทำการคำนวณหาสมการสนามไฟฟ้าได้จากสมการสนามไฟฟ้าของท่อนำคลื่นกลวงกระบอกโดยสตริปทรงกลมที่ล้อมรอบถูกพิจารณาเป็นท่อนำคลื่นทรงกระบอกกลวงที่เป็นองค์ประกอบทั้งสองแกน ทำการแปลงพิกัดโดยเลือกสตริปทรงกลมวงหนึ่งเป็นแกนหลัก อีกวงทำการอิงพิกัดจากวงแรก คำนวณหาสมการสนามไฟฟ้า สมการสนามไฟฟ้าที่ได้ไม่ใช่สมการสนามไฟฟ้าจริงของสายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลม เป็นเพียงสนามไฟฟ้าที่ใกล้เคียงที่สุดที่ประมาณได้เนื่องจากไม่มีสมการสนามไฟฟ้าที่สามารถคำนวณส่วนประกอบพื้นฐานทั้ง2อย่างคือโมโนโพลและสตริปทรงกลมพร้อมกัน แต่สามารถหาสนามไฟฟ้าที่เป็นไปได้โดยการมองสายอากาศเป็นส่วนย่อยๆที่มีขนาดเล็กมาก ทำการอินทิเกรตส่วนย่อยๆทั้งหมดที่ประกอบเป็นสายอากาศ ดังนั้นจึงใช้โปรแกรมSupernecช่วยในการหาสนามไฟฟ้า

ในการศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลมนี้ได้ศึกษาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ค่าVSWR ค่าLog Mag ค่าอิมพีแดนซ์ที่แสดงโดยSmith Chart และจากการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลมพบว่า

-สายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลมสามารถทำงานได้ ณ ความถี่ที่ออกแบบ

-แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีลักษณะตามที่ต้องการและใกล้เคียงโปรแกรมที่ออกแบบแต่ยังมีบริเวณที่โลบต่ำค่อนข้างลึก

-สายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลมที่สร้างยังมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ไม่เที่ยงตรง สังเกตได้จากแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ค่ามุมบางมุม มีค่าต่ำกว่ามุมข้างเคียงค่อนข้างมากหรืออาจเป็นผลเนื่องมาจากสถานที่ที่ใช้วัด

-สายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลมที่ได้ทำการสร้างยังมีข้อบกพร่องอยู่บ้างในเรื่องของบริเวณที่มีโลบต่ำค่อนข้างลึก ความเที่ยงตรงของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ซึ่งคุณสมบัติที่กล่าวมานี้เป็นประโยชน์อย่างมากในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของสายอากาศ การศึกษาและวิเคราะห์เพิ่มเติมสามารถพัฒนาสายอากาศโมโนโพลล้อมรอบด้วยสตริปทรงกลมให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ถ้าหากเราไม่ได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการดำเนินงานจากผู้มีพระคุณหลายๆท่านดังนี้

ผศ.สมผล	โกศัลวิตศ์	อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ชูวงศ์	พงศ์เจริญพาณิชย์	อาจารย์ที่ปรึกษา
นายคมศักดิ์	เมฆสมุทร	
นายชัยวัฒน์	หลีกภัย	

คณะผู้จัดทำ
นายพลวรรธน์ เชื้อดี
นายภูวนาจ ราชนิยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

[1] C.A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, Harper &Row Publishers, New York, 1982

[2] C.A. Balanis, *Advance Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons Inc, 1989

[3] บัณฑิต โรจน์อารยานนท์, วิศวกรรมไมโครเวฟ, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้