

การออกแบบสายอากาศแถวลำดับแบบเกลียวสำหรับการสื่อสารไร้สาย

Design of Helical Array for Wireless Communications



โดย
นายพัฐวร ผ่องแผ้ว
นายสุพจน์ อร่ามเอกถาก

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42215
วัน, เดือน, ปี 15 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

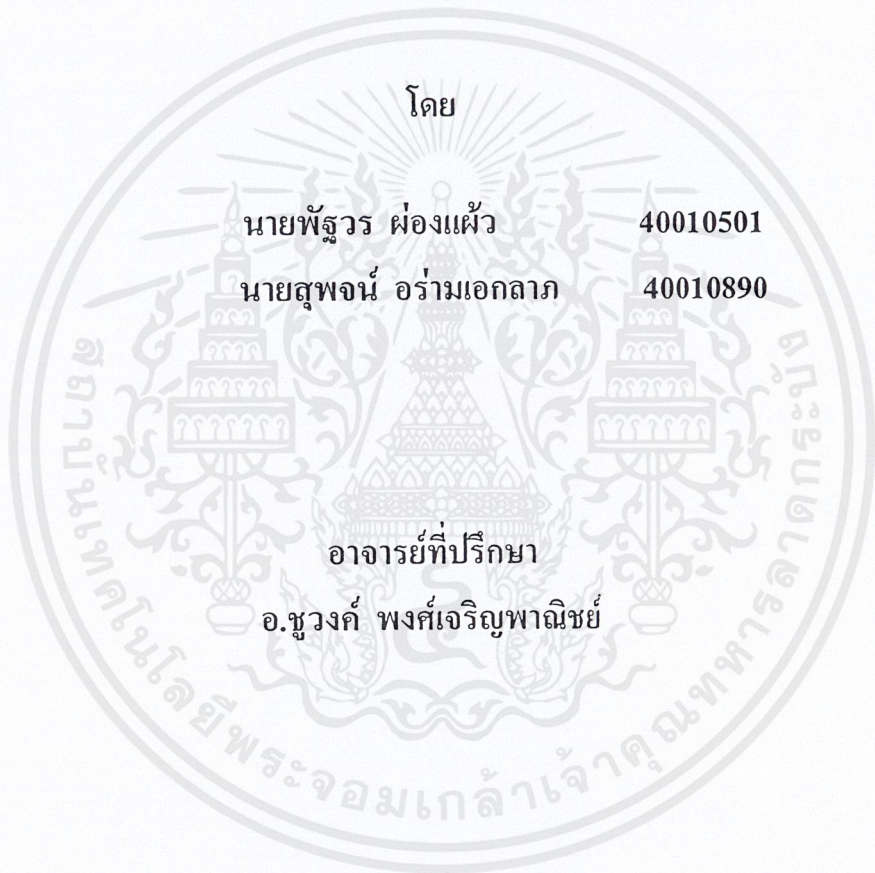
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบสายอากาศแถวลำดับแบบเกลียวสำหรับการสื่อสารไร้สาย

Design of Helical Array for Wireless Communications



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบสายอากาศแฉกลำดับแบบเกลียวสำหรับการสื่อสารไร้สาย

Design of Helical Array for Wireless Communications

ผู้จัดทำ

1. นายพัชรวร ผ่องแผ้ว 40010501

2. นายสุพจน์ อร่ามเอกलग 40010890



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบสายอากาศแฉวลำดับแบบเกลียวสำหรับการสื่อสารไร้สาย
Design of Helical Array for Wireless Communications

โดย 1: นายพัฐวร ผ่องแผ้ว 40010501
2: นายสุพจน์ อร่ามเอกกลาง 40010890

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

การติดต่อสื่อสารถือเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินชีวิต วิทยาการของรูปแบบการสื่อสารได้เป็นไปอย่างรวดเร็ว จากการติดต่อสื่อสารโดยใช้สายเคเบิลมาสู่การสื่อสารแบบไร้สาย โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพาหะในการส่งสัญญาณ และใช้สายอากาศเป็นตัวรับส่งสัญญาณ

โครงการนี้เป็นการออกแบบสายอากาศชนิดแฉวลำดับแบบเกลียวที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม โดยจะได้ศึกษาถึงพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณสมบัติการกระจายคลื่น การโพลาไรซ์และอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ และทำการปรับปรุงจนได้สภาวะที่ดีที่สุด เพื่อทำการออกแบบ สร้างทดสอบและนำไปใช้งานต่อไป

Abstract

The communication is the important thing in your life. Development of communication pattern has been changed quickly from cable or wire to be wireless communication. Electromagnetic wave has been used as transmission carrier. And use the antenna to transmit-receive that waves.

This project presents the design of the array of helical antenna for radiating wireless circular polarization. The antenna parameters are varied to investigate the radiation characteristic, polarization and impedance. These characteristics are adjusted to find the optimum condition. The results of this characterization are used to design, fabricate and measure for further applications.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 เรขาคณิตของสายอากาศแบบเกลียว	2
2.2 โหมดการส่งผ่านและการแพร่กระจายคลื่นของเฮลิคซ์	3
2.3 หลักพิจารณาในการออกแบบเบื้องต้นของสายอากาศเฮลิคซ์	5
2.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในโหมดแนวแกนและความเร็วเฟสของเฮลิคซ์	9
2.5 ลักษณะสมบัติที่ความถี่กว้างของเฮลิคซ์ที่แพร่กระจายคลื่นในโหมดแนวแกน	15
2.6 แถวลำดับแบบวงกลม	16
2.7 อินพุตอิมพีแดนซ์ที่ตำแหน่งต่างๆ บนสายนำสัญญาณ	20
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	24
3.1 การคำนวณพารามิเตอร์เบื้องต้นของสายอากาศ	24
3.2 โปรแกรม SuperNEC	25
3.3 การจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	26
3.4 การออกแบบสายส่งไมโครสตริป	29
3.5 การออกแบบอาร์เรย์แบบวงกลมของสายอากาศเฮลิคซ์	31
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	35
4.1 วิธีการทดลอง	35
4.2 ผลการทดลอง	37
บทที่ 5 สรุปและบทวิจารณ์	52
5.1 สรุป	52
5.2 ข้อจำกัดในการสร้างสายอากาศ	52
บรรณานุกรม	

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงรูปร่างของเฮลิคซ์	2
รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบวง ช่องว่าง ความยาวรอบ และมุมพิตซ์	3
รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบวงและช่องว่างระหว่างขดในความแตกต่างของ โหมดการส่ง	3
รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบของสนามบนตัวเฮลิคซ์ที่โหมดการส่งต่างๆ	4
รูปที่ 2.5 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นตามความสัมพันธ์ต่างๆ	5
รูปที่ 2.6 แสดงสายอากาศบนแผ่นตัวนำในลักษณะต่างๆ	6
รูปที่ 2.7 แสดงรายละเอียดลักษณะของการป้อนสัญญาณ	7
รูปที่ 2.8 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ที่แตกต่างกัน	8
รูปที่ 2.9 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่จำนวนขดลวดที่ต่างกัน	9
รูปที่ 2.10 แสดงค่าการวัดสายอากาศเฮลิคซ์ที่ 6ขด และมุมพิตซ์ 14°	9
รูปที่ 2.11 แสดงรูปแฉวลำดับของแหล่งกำเนิดแบบจุด	10
รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วเฟสสำหรับมุมพิตซ์ที่แตกต่างกัน	11
รูปที่ 2.13 แสดงแบบรูปตัวประกอบอาร์เรย์สำหรับมุมพิตซ์ 12° และ 7ขด	12
รูปที่ 2.14 แสดงสนามไฟฟ้าตามแกนของเฮลิคซ์	12
รูปที่ 2.15 แสดงเรขาคณิตสำหรับการคำนวณในทิศทาง z	12
รูปที่ 2.16 แสดงภาพมุมมองตามแกน z	13
รูปที่ 2.17 แสดงอัตราส่วนโพลาริเซชันแกนหลักตามเส้นรอบวงของเฮลิคซ์มุมพิตซ์ 13° และ 7 ขด	15
รูปที่ 2.18 แผนภูมิระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางและระยะห่างของเฮลิคซ์ในโหมดแนวแกน	16
รูปที่ 2.19 แสดงเรขาคณิตของอาร์เรย์แบบวงกลมจำนวน N เอเลเมนต์	17
รูปที่ 2.20 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสามมิติของอาร์เรย์ 10 เอเลเมนต์	19
รูปที่ 2.21 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบหลักของอาร์เรย์ 10 เอเลเมนต์	20
รูปที่ 2.22 แสดงการแมตซ์อิมพีแดนซ์โดยใช้ทรานสฟอร์มเมอร์แบบ $\frac{1}{4}$ ความยาวคลื่น	22
รูปที่ 2.23 แสดงค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ในกรณีปลายสายปิดและเปิดวงจร	23
รูปที่ 3.1 แสดงการจำลองรูปแบบของสายอากาศเฮลิคซ์	26
รูปที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อความยาวเส้นรอบวงเปลี่ยนไปในระนาบมุมยก	27
รูปที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อความยาวเส้นรอบวงเปลี่ยนไปในระนาบมุมกวาด	27
รูปที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อจำนวนรอบเปลี่ยนแปลงในระนาบมุมยก	28
รูปที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อจำนวนรอบเปลี่ยนแปลงในระนาบมุมกวาด	28
รูปที่ 3.6 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ $C_\lambda=1$ และ $n=10$	29
รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างของสายส่งไมโครสตริป	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 แสดงสนามไฟฟ้า E_{ϕ_T} และ E_{θ_T} ตามลำดับของเฮลิคซ์แบบรอบเดี่ยวที่มีมุมพิชช์ 13°	31
รูปที่ 3.9 แสดงสนามไฟฟ้า E_{ϕ_T} และ E_{θ_T} ตามลำดับของเฮลิคซ์ 5 รอบที่มีมุมพิชช์ 13°	32
รูปที่ 3.10 แสดงแบบรูปของอาร์เรย์แฟคเตอร์ 5 เอลเมนต์ที่ระนาบ xz และ yz ตามลำดับ	32
รูปที่ 3.11 แสดงการเชื่อมต่อเฮลิคซ์ทั้ง 5 เอลเมนต์ บนไมโครสตริป	33
รูปที่ 3.12 แสดงรูปจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบมุมกวาด	33
รูปที่ 3.13 แสดงรูปจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบมุมยก	34
รูปที่ 4.1 แสดงสายอากาศอาร์เรย์ของเฮลิคซ์ที่สร้างขึ้นมา	35
รูปที่ 4.2 แสดงแผนผังการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาด	36
รูปที่ 4.3 แสดงแผนผังการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยก	36
รูปที่ 4.4 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ที่แสดงบนสมิทชาร์ตของสายอากาศ 1 เอลเมนต์	37
รูปที่ 4.5 แสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศที่ใช้เป็นตัวส่ง	37
รูปที่ 4.6 แสดงลอการิทึมของแมกนิจูดของสายอากาศที่ใช้เป็นตัวส่ง	38
รูปที่ 4.7 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ที่แสดงบนสมิทชาร์ตของสายอากาศที่ใช้เป็นตัวส่ง	38
รูปที่ 4.8 แสดงอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์	39
รูปที่ 4.9 แสดงลอการิทึมของแมกนิจูดของสายอากาศอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์	39
รูปที่ 4.10 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์	39
รูปที่ 4.11 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 2.5 GHz	40
รูปที่ 4.12 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 2.5 GHz	40
รูปที่ 4.13 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 2.6 GHz	41
รูปที่ 4.14 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 2.6 GHz	41
รูปที่ 4.15 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 2.7 GHz	42
รูปที่ 4.16 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 2.7 GHz	42
รูปที่ 4.17 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 2.8 GHz	43
รูปที่ 4.18 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 2.8 GHz	43
รูปที่ 4.19 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 2.9 GHz	44
รูปที่ 4.20 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 2.9 GHz	44
รูปที่ 4.21 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 3.0 GHz	45
รูปที่ 4.22 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 3.0 GHz	45
รูปที่ 4.23 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 3.1 GHz	46
รูปที่ 4.24 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 3.1 GHz	46
รูปที่ 4.25 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 3.2 GHz	47
รูปที่ 4.26 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 3.2 GHz	47
รูปที่ 4.27 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 3.3 GHz	48
รูปที่ 4.28 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เอลเมนต์ที่ความถี่ 3.3 GHz	48

รูปที่ 4.29 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เlemenต์ที่ความถี่ 3.4 GHz	49
รูปที่ 4.30 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เlemenต์ที่ความถี่ 3.4 GHz	49
รูปที่ 4.31 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เlemenต์ที่ความถี่ 3.5 GHz	50
รูปที่ 4.32 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เlemenต์ที่ความถี่ 3.5 GHz	50
รูปที่ 4.33 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระนาบมุมยกในพิกัดเชิงเส้นที่ 3 GHz	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปริญญาบัตรนี้เป็นการวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศเกลาลำดับแบบเกลียว (Helical Antenna Array) ซึ่งมีคุณสมบัติการโพลาไรเซชันเป็นวงกลม มีการแพร่กระจายของลำคลื่นเป็นแบบทิศทางเดียว (Uni-Directional) ในระนาบมุมยก และแบบรอบทิศทาง (Omni-Directional) ในระนาบมุมกวาด โดยในภาคการศึกษานี้จะทำการออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศเกลาลำดับแบบเกลียว โดยเลือกเกลาลำดับชนิดวงกลม เนื่องจากเป็นเกลาลำดับที่สามารถสร้างได้ง่าย และสามารถเพิ่มกำลังของการแพร่กระจายคลื่นได้ดี โดยใช้ไมโครสตริปเป็นสายส่งสัญญาณ ซึ่งนำไปใช้ที่ความถี่ 3000 MHz ที่สามารถประยุกต์ไปใช้งานในรูปแบบการสื่อสารไร้สายต่างๆ ที่ต้องการสายอากาศที่มีความกว้างลำคลื่นที่แคบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 เรขาคณิตของสายอากาศแบบเกลียว

สายอากาศเฮลิคซ์มีรูปแบบที่เกิดมาจากการนำเอาเส้นลวดตรง นำมาพันบนทรงกระบอกผิวเรียบ ซึ่งถ้ามองภาพฉายในแนวแกนจะเห็นเป็นรูปวงกลม ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า เฮลิคซ์มีส่วนประกอบของเส้นตรง วงกลม และทรงกระบอกด้วยกัน ซึ่งมีทั้งแบบวนซ้ายและแบบวนขวา

สัญลักษณ์ดังต่อไปนี้ใช้อธิบายส่วนต่างๆของเฮลิคซ์ดังรูป 2.1

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเฮลิคซ์

C = เส้นรอบวงของเฮลิคซ์ $=\pi D$

S = ระยะระหว่างรอบ

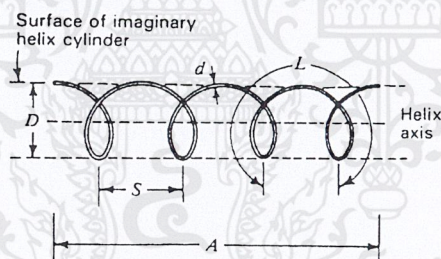
α = มุมพิตช์ $= \arctan S/\pi D$

L = ความยาวใน 1 รอบ

n = จำนวนของรอบทั้งหมด

A = ความยาวของแกน $= nS$

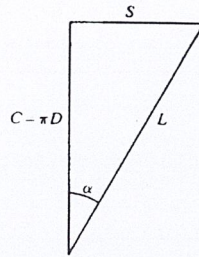
d = เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำ



รูปที่ 2.1 แสดงรูปร่างของเฮลิคซ์

นอกจากนี้ตัวห้อย λ ยังหมายถึงขนาดเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น ตัวอย่างเช่น $D\lambda$ หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางของเฮลิคซ์เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น

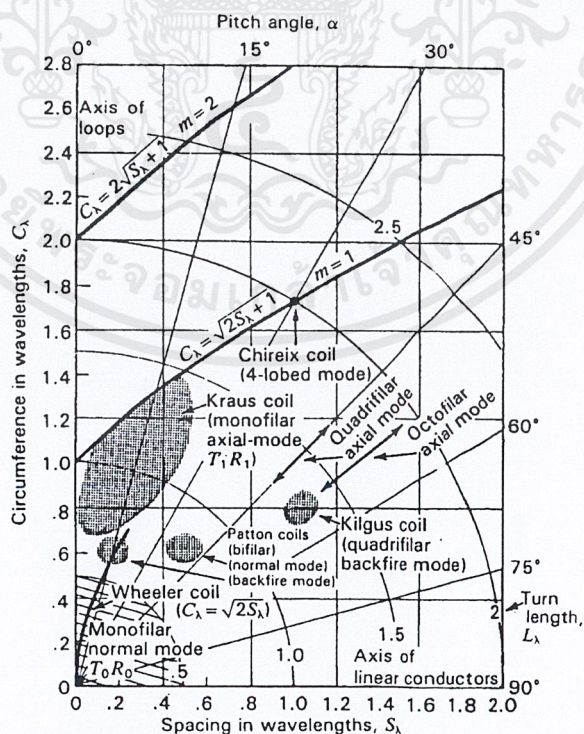
ถ้า 1 รอบของเฮลิคซ์ถูกดึงออกเป็นเส้นตรงวางบนระนาบจะได้รับความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่าง S เส้นรอบวง C ความยาวรอบ L และมุมพิตช์ α ดังแสดงในรูป 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบวง ช่องว่าง ความยาวรอบ และมุมพิตช์

แผนภูมิของความสัมพันธ์ของเส้นรอบวงและระยะระหว่างรอบของเฮลิคซ์เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น ดังในรูป 2.3 เมื่อระยะห่างเป็นศูนย์ มุมพิตช์จะเท่ากับศูนย์ด้วย ทำให้เฮลิคซ์จะกลายเป็นลูปวงกลม ในทางตรงกันข้ามถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นศูนย์ มุมพิตช์จะเท่ากับ 90 องศาและเฮลิคซ์จะกลายเป็นลวดตัวนำเส้นตรง

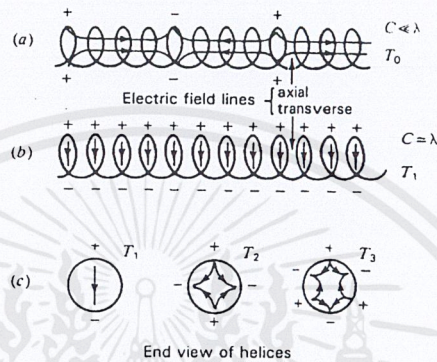
สมมติว่ามีเฮลิคซ์อยู่ 1 รอบซึ่งมีความยาวรอบเป็น 1λ เมื่อมุม α เท่ากับศูนย์เฮลิคซ์จะกลายเป็นลูปเส้นรอบวง 1λ หรือมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ $1 \lambda / \pi$ แต่ถ้าเพิ่มขนาดมุมพิตช์ ลดขนาดเส้นรอบวงลดลง มิตติของเฮลิคซ์จะเคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้ง L_λ เท่ากับ 1 ดังในรูป 2.3 จนกระทั่งเมื่อมุม α เท่ากับ 90 องศา เฮลิคซ์จะกลายเป็นเส้นตรงยาว 1λ



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบวงและช่องว่างระหว่างขดในความแตกต่างของโหมดการส่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 โหมดการส่งผ่านและการแพร่กระจายคลื่นของเฮลิคซ์

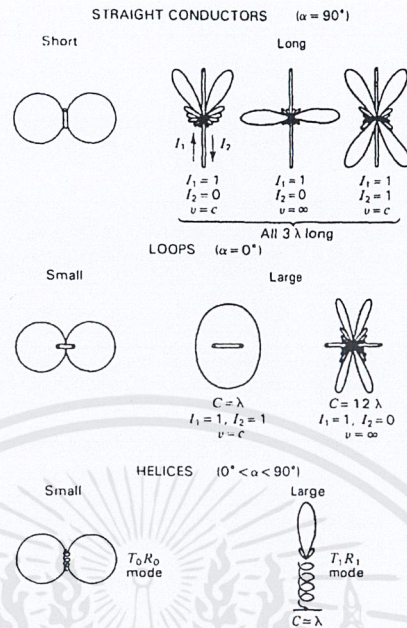
ในเทอมของโหมดการส่งผ่านจะใช้พิจารณาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายตลอดเฮลิคซ์ ความยาวไม่จำกัด ซึ่งเป็นไปได้หลายโหมดด้วยกัน ส่วนเทอมของโหมดการแพร่กระจายคลื่นจะถูกใช้พิจารณาในรูปทั่วไปของสนามระยะไกลของเฮลิคซ์ความยาวจำกัด ถึงแม้ว่าจะมีรูปแบบที่เป็นไปได้มากมาย แต่มีเพียงแค่ 2 รูปแบบที่น่าสนใจคือ แบบโหมดการแพร่กระจายคลื่นตามแกน (โหมด R_1) และอีกโหมดคือโหมดตั้งฉากกับแนวแกนหรือ Normal Mode (R_0)



รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบของสนามบนตัวเฮลิคซ์ที่โหมดการส่งต่างๆ

โหมดการส่งผ่านที่ต่ำที่สุดของเฮลิคซ์ มีอาณาบริเวณที่ใกล้เคียงของประจวบและลบแยกห่างกันหลายรอบ ดังรูป 2.4a โหมด T_0 นี้มีความยาว รอบมีขนาดเล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น ($L \ll \lambda$) เป็นโหมดที่เกิดในความถี่ต่ำ และถ้า $L \lambda < 1/3$ อาณาบริเวณของเฮลิคซ์จะอยู่ในพื้นที่ $T_0 R_0$ ในแผนภูมิ 2.3

เมื่อเฮลิคซ์ถูกกระตุ้นในโหมดการส่ง T_0 อาจแพร่กระจายคลื่นได้ พิจารณาในกรณีที่เฮลิคซ์สั้นมากๆ ($nL \ll \lambda$) จะได้ว่ากระแสมีขนาดเป็นรูปแบบแน่นอนและมีเฟสตรงกันตลอดเฮลิคซ์ อย่างไรก็ตาม ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นของมันจะมีค่าน้อย สนามสูงสุดจากเฮลิคซ์จะตั้งฉากกับแกนของเฮลิคซ์เอง เรียกสภาวะนี้ว่า โหมดการแพร่กระจายคลื่นแบบปกติ (Normal mode; R_0) ดังในรูป 2.5 ซึ่งสามารถเรียกเฮลิคซ์ที่มีขนาดเล็กนี้รวมได้ว่า อยู่ในโหมด $T_0 R_0$



รูปที่ 2.5 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นตามความสัมพันธ์ต่างๆ

ในโหมดการส่งผ่านอันดับที่ 1 ของเฮลิคซ์ (T_1) จะเกิดได้เมื่อเส้นรอบวง C เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นมีค่าใกล้เคียง 1λ สำหรับมุมพิชท์ที่มีขนาดเล็ก โหมดนี้จะมีบริเวณที่ใกล้เคียงของประจุบวกและลบอยู่ห่างกันประมาณครึ่งรอบของเฮลิคซ์ ดังในรูป 2.4b และ 2.4c รูปแรกสุดด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเส้นรอบวงของเฮลิคซ์มีค่าประมาณ 1λ และจำนวนของรอบเพิ่มขึ้น ($n > 1$) จะมีลำคลื่นที่ออกมาที่มีขนาดสูงสุดในแนวแกนของเฮลิคซ์ ซึ่งเรียกโหมดการส่งผ่านและแพร่กระจายคลื่นนี้ว่า $T_1 R_1$ ส่วนในโหมดอื่นๆที่สูงขึ้นไปเกิดจากค่า C_λ มีค่ามากๆ การกระจายของประจุจะเป็นดังรูป 2.4c

2.3 หลักพิจารณาในการออกแบบเบื้องต้นของสายอากาศเฮลิคซ์

ในการวิเคราะห์ภาพรวมของสายอากาศเฮลิคซ์ในแนวแกน จะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญดังนี้

- ความกว้างของลำคลื่น (Beam width)
- อัตราขยาย (Gain)
- ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance)
- อัตราส่วนของโพลาริเซชันแกนหลัก (Axial ratio)

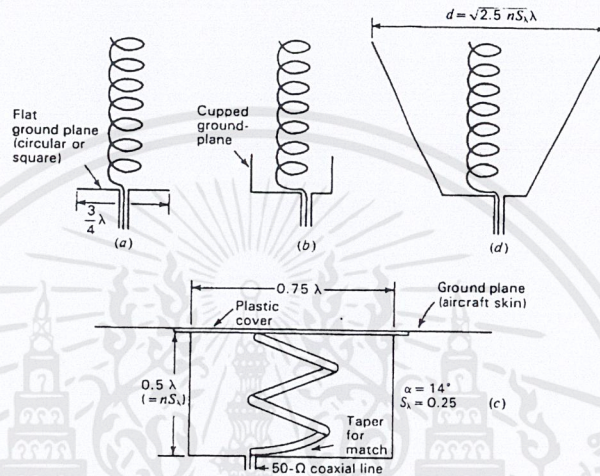
เกนและบีมวิดท์จะเป็นอัตราส่วนสัมพันธ์กัน [$G \propto (1 / \text{HPBW}^2)$] และพารามิเตอร์อื่นๆจะเป็นฟังก์ชันของจำนวนรอบ ระยะระหว่างรอบหรือมุมพิชท์ และความถี่ การเพิ่มจำนวนรอบจะมีผลต่อความกว้างของลำคลื่น เกน อิมพีแดนซ์ และอัตราส่วนของแกนหลักจะบอกถึงแบนด์วิดท์ที่ใช้ได้ดี นอกจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่กลางยังเป็นตัวกำหนดขนาดของเส้นรอบวงเฮลิคซ์ซึ่งมีค่าประมาณ 1λ ($C_\lambda = 1$) ถ้าต้องการใช้งานแบนด์วิดท์อย่างเต็มที่ พารามิเตอร์ทั้ง 4 จะต้องสอดคล้องกับแบนด์วิดท์ทั้งหมด

พารามิเตอร์นี้ยังเป็นฟังก์ชันของขนาดและรูปร่างของกราวด์เพลน (Ground plane) อีกด้วย กราวด์เพลนนี้อาจจะเป็นแผ่นวงกลมหรือจัตุรัสก็ได้ ซึ่งมีขนาดอย่างน้อยเป็น $3\lambda/4$ หรือบางทีอาจจะเป็นรูปถ้วย หรือรูปร่างต่างๆ ดังรูปที่ 2.6

ขนาดของลวดตัวนำไม่ค่อยมีผลต่างกันมากนัก โดยมักมีขนาดอยู่ในช่วงจาก 0.005λ ถึง 0.05λ



รูปที่ 2.6 แสดงสายอากาศบนแผ่นตัวนำในลักษณะต่างๆ

เราอาจป้อนกระแสให้เฮลิคซ์ในแนวแกนเส้นรอบวง หรือลูปที่อยู่บนกราวด์เพลนผ่านโครงสร้าง ซึ่งมีลวดตัวนำในของสายโคแอกเซียลต่อกับเฮลิคซ์ ส่วนตัวนำนอกจะต่อกับกราวด์เพลน

ถ้าป้อนกระแสตามแกน อิมพีแดนซ์จะอยู่ในช่วง 20 % ของ

$$R = 140C_\lambda \quad (\Omega) \quad (2.1)$$

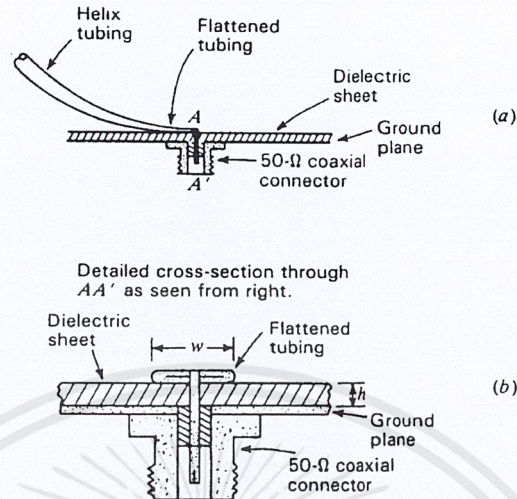
แต่ถ้าป้อนกระแสตามเส้นรอบวง จะให้ค่าอิมพีแดนซ์อยู่ในช่วง 10 % ของ

$$R = \frac{150}{\sqrt{C_\lambda}} \quad (\Omega) \quad (2.2)$$

โดยที่ความสัมพันธ์เหล่านี้จะต้องมีเงื่อนไขคือ $0.8 \leq C_\lambda \leq 1.2$, $12^\circ \leq \alpha \leq 14^\circ$ และ $n \geq 4$

ในส่วนของแมตซ์กันของอิมพีแดนซ์ในการต่อสามารถเลือกได้ตามความพอใจตั้งแต่น้อยกว่า 50Ω ไปจนถึง 150Ω ดังนั้นโดยการนำปลายเฮลิคซ์ $1/4$ รอบขนานกับกราวด์เพลน โดยมีปลายที่เรียวย่กกลงเรื่อยๆ ซึ่งจะสามารถเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ระหว่าง $140 - 150 \Omega$ และสามารถต่อสายโคแอกเซียล 50Ω ได้เลย การทำแบบนี้จะมีผลกับทั้งการป้อนตามแนวแกน และการป้อนแบบตามเส้นรอบวงแต่จะมีสะดวกกว่า ถ้าป้อนแบบตามเส้นรอบวง ดังแสดงในรูปที่ 2.7a และ b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงรายละเอียดลักษณะของการป้อนสัญญาณ

เมื่อนำปลายเฮลิคซ์ไปวางใกล้กราวด์เพลน และค่อยๆ เรียวลงจนกระทั่งราบเรียบที่จุดต่อซึ่งช่องจากกราวด์เพลน จะมีแผ่นไดอิเล็กตริก (Dielectric sheet) ซึ่งมีระยะห่างที่เหมาะสม h เป็นดังสมการ

$$h = \frac{w}{[377/(\sqrt{E_r} Z_0)] - 2} \quad (2.3)$$

ซึ่ง w = ความกว้างของลวดตัวนำที่จุดต่อ

h = ความสูงของลวดตัวนำเหนือกราวด์เพลน (หรือความหนาของไดอิเล็กตริก) ในหน่วยเดียวกับ w

E_r = เพอร์มิททิวิตีสัมพัทธ์ (Relative permittivity) ของไดอิเล็กตริก

Z_0 = อิมพีแดนซ์ลักษณะ (Characteristic impedance) ของสายโคแอกเซียล

ในตัวอย่างการวัดแบบรูปการกระจายคลื่นของเฮลิคซ์ขนาด 6 รอบเป็นฟังก์ชันของความถี่ ถูกแสดงในรูป 2.8 และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่กลาง ($C_\lambda = 1$) จะเป็นฟังก์ชันของความยาว (จำนวนรอบ) ดังในรูปที่ 2.9 โดยค่าประมาณของฮาล์ฟพาวเวอร์บีมวิดท์ (Half Power Beam Width; HPBW) และบีมวิดท์ระหว่างนัลคู่แรก (Beam Width between first nulls; BWFN) จะเป็นดังนี้

$$HPBW \approx \frac{52}{C_\lambda \sqrt{nS_\lambda}} \quad (\text{deg}) \quad (2.4)$$

$$BWFN \approx \frac{115}{C_\lambda \sqrt{nS_\lambda}} \quad (\text{deg}) \quad (2.5)$$

และค่าประมาณของค่าการชี้ทิศทาง (Directivity) จะเป็นดังนี้

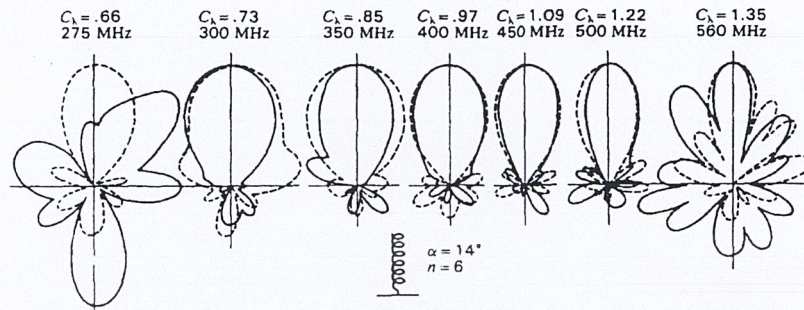
$$D \approx 15C_\lambda^2 nS_\lambda \quad (2.6)$$

แต่ถ้าไม่สนใจผลกระทบที่เกิดจากโลบย่อย (Minor lobe) จะได้สมการเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D \approx 12C_\lambda^2 n S_\lambda \quad (2.7)$$

โดยที่สมการที่กล่าวมานี้ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขว่า $0.8 \leq C_\lambda \leq 1.2$, $12^\circ \leq \alpha \leq 14^\circ$ และ $n \geq 4$

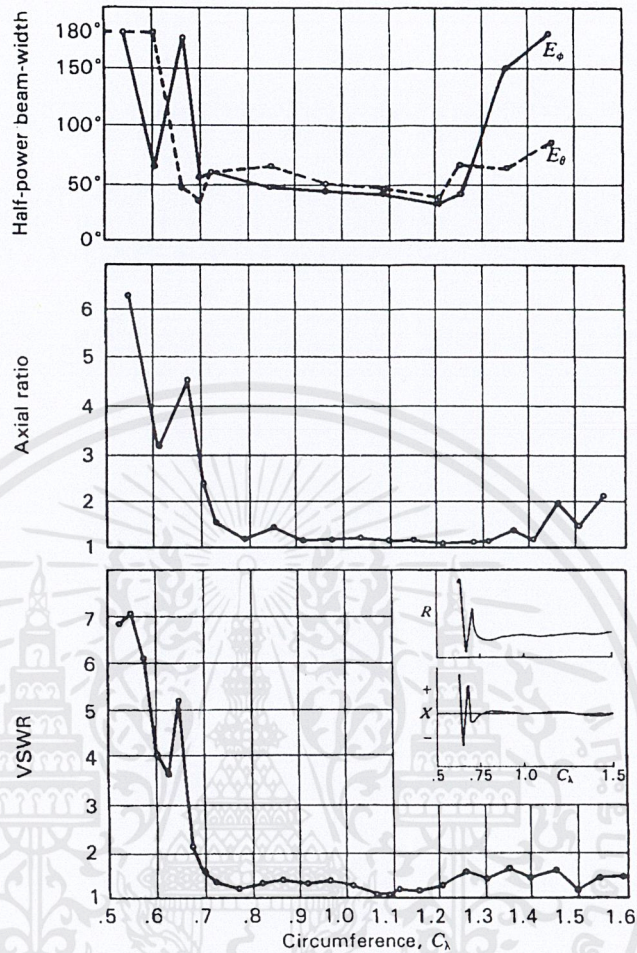


รูปที่ 2.8 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.9 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่จำนวนขดลวดที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



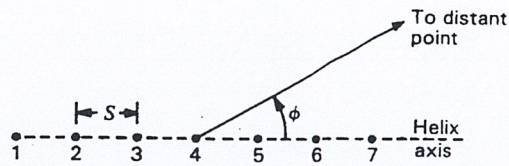
รูปที่ 2.10 แสดงค่าการวัดสายอากาศเฮลิคซ์ที่ 6 ขด และมุมพิตช์ 14°

กลับไปดูที่พารามิเตอร์อื่นๆคือ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราส่วนแกนหลักและอิมพีแดนซ์ (VSWR) แสดงในรูปฟังก์ชันของความถี่สำหรับเฮลิคซ์โหมดแนวแกนขนาด 6 รอบ มุมพิตช์ 14° สรุปในรูปที่ 2.10

2.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในโหมดแนวแกนและความเร็วเฟสของเฮลิคซ์

ในการคำนวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระจายออกไปจากสายอากาศเฮลิคซ์โหมดแนวแกนนี้ จำเป็นที่จะต้องรู้ความเร็วเฟสของกระแสที่ไหลบนสายอากาศ เพื่อให้การพิจารณาทำได้ง่ายจะใช้วิธีการประมาณค่าอันดับหนึ่ง กล่าวคือ สมมติให้กระแสที่ไหลบนสายอากาศอยู่ในรูปคลื่นเคลื่อนที่มีค่าสม่ำเสมอ การพิจารณาค่าความเร็วเฟสของกระแสที่ต้องการเพื่อให้สายอากาศทำงานในโหมดแนวแกนนั้น อาจพิจารณาได้โดยใช้หลักการของสายอากาศอาร์เรย์ (Array Antenna) ดังนี้คือ ให้เส้นลวดแต่ละขดเป็นตัวประกอบของอาร์เรย์ของแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิก (Isotropic source) ดังรูปที่ 2.11 ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงรูปแฉวลำดับของแหล่งกำเนิดแบบจุด

$$E = \frac{\sin(n\psi/2)}{\sin(\psi/2)} \quad (2.8)$$

ซึ่ง n = จำนวนของแหล่งกำเนิดและ

$$\psi = S_r \cos \phi + \delta \quad (2.9)$$

โดยที่ $S_r = 2\pi S / \lambda$

ในกรณีนี้สมการที่ (2.2) จะกลายเป็น

$$\psi = 2\pi \left(S_\lambda \cos \phi - \frac{L_\lambda}{p} \right) \quad (2.10)$$

ซึ่ง $p = v/c$ = ความเร็วเฟสสัมพัทธ์ของการแพร่กระจายคลื่นตลอดความยาวของตัวนำเฮลิคซ์ เป็นความเร็วเฟสตลอดตัวนำเฮลิคซ์ และ c เป็นความเร็วแสงในสุญญากาศ

ถ้าสนามจากทุกๆ แหล่งกำเนิดมีเฟสเดียวกันที่จุดๆหนึ่งบนแกนของเฮลิคซ์ ($\phi = 0$), การแพร่กระจายคลื่นจะเป็นไปในโหมดตามแนวแกน สำหรับสนามที่มีเฟสเดียวกัน จะต้องมีความสัมพันธ์

$$\psi = -2\pi m \quad (2.11)$$

ซึ่ง $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

สัญลักษณ์ลบในสมการที่ (2.11) เป็นผลมาจากเฟสของแหล่งกำเนิดที่จุด 2 ถูกหน่วงเป็นเวลา $2\pi L_\lambda/p$ ซึ่งเกี่ยวข้องกับจุดที่ 1 และจุดที่ 3 ก็จะถูกหน่วงเวลาซึ่งเกี่ยวข้องกับจุดที่ 2 เป็นต้น

แทนค่า $\phi = 0$ และจับสมการที่ (2.10) เท่ากับสมการที่ (2.11) จะได้ว่า

$$\frac{L_\lambda}{p} = S_\lambda + m \quad (2.12)$$

เมื่อ $m = 1$ และ $p = 1$ จะได้ความสัมพันธ์

$$L_\lambda - S_\lambda = 1 \quad \text{และ} \quad L - S = \lambda \quad (2.13)$$

ซึ่งคือการประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรอบและระยะระหว่างรอบสำหรับเฮลิคซ์ที่แพร่กระจายคลื่นในโหมดแนวแกน เพราะว่า $L^2 = \pi^2 D^2 + S^2$, สมการที่ (2.13) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$D_\lambda = \frac{\sqrt{2S_\lambda + 1}}{\pi} \quad \text{หรือ} \quad S_\lambda = \sqrt{2S_\lambda + 1} \quad (2.14)$$

สมการที่ (2.14) แสดงเป็นเส้นโค้งในรูปที่ 2.3 และเมื่อ $m=1$ สมการที่ (2.12) จะเหมาะสมสำหรับการควบคุมเฮลิคซ์ในโหมดการส่งผ่านอันดับที่หนึ่ง เมื่อ $m=2$ ดังในเส้นโค้งในรูปที่ 2.3 จากนั้นไป m จะมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวข้องกับอันดับของโหมดในการส่งผ่านของเฮลิคซ์ที่มีสนามสูงสุดอยู่ในทิศทางเดียวกับแนวแกน ในที่นี้กรณีที่น่าสนใจคือ $m=1$

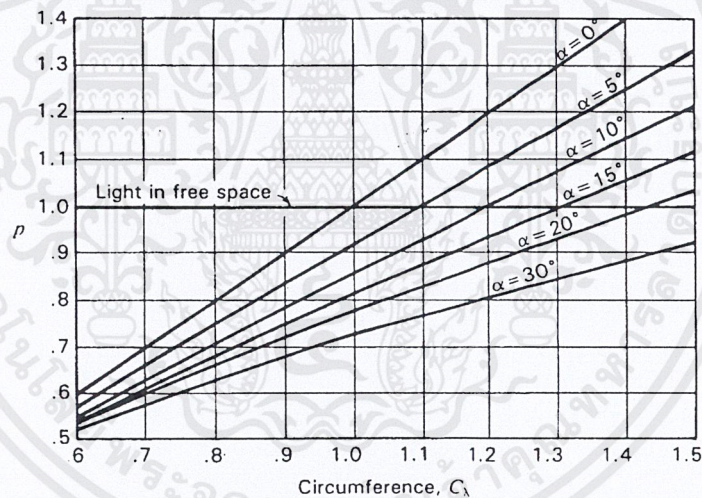
ในกรณีที่ $m=0$ จะไม่สามารถแทนค่าในสถานะที่เป็นจริงได้ เพราะว่าเมื่อ $m=0$ และ $p=1$ ในสมการที่(2.5) จะได้ $L=S$ ในสถานะนี้คืออาร์เรย์แบบเอนด์ไฟร์ของแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิก (End-fire array of isotropic source) ที่ถูกระตุ้นโดยการต่อแบบเส้นตรง ($\alpha=90^\circ$) อย่างไรก็ตามสนามในทิศทางแนวแกนของเส้นลวดตรงจะเป็นศูนย์ ดังนั้นจะไม่สามารถทำให้มีการแพร่กระจายคลื่นในโหมดแนวแกนได้ ย้อนกลับไปพิจารณาในกรณีที่ $m=1$ จะได้ค่า p ดังนี้

$$p = \frac{L_\lambda}{S_\lambda + 1} \quad (2.15)$$

จากความสัมพันธ์ของมุมในรูปที่ 2.2 จัดรูปใหม่ได้เป็น

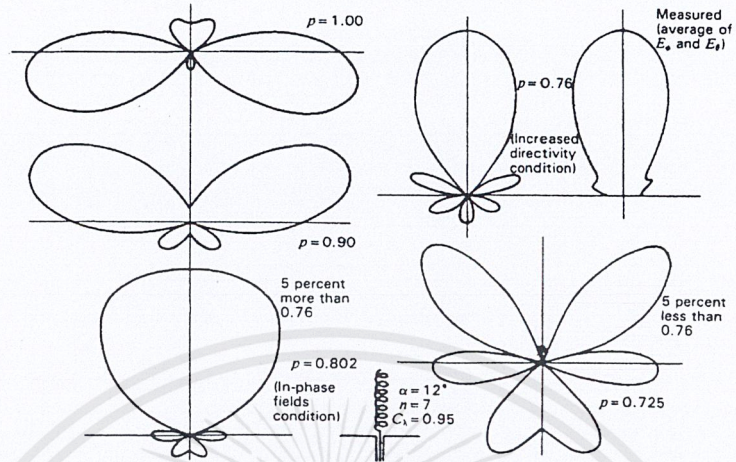
$$p = \frac{1}{\sin \alpha + [(\cos \alpha)/C_\lambda]} \quad (2.16)$$

สมการที่ (2.16) จะได้อยู่ในรูปที่มีตัวแปรที่ต้องการสำหรับความเร็วเฟสสัมพันธ์นี้คือความยาวเส้นรอบวง C_λ ความแตกต่างของขนาดมุมต่างๆจะแสดงอยู่ในรูปที่ 2.12

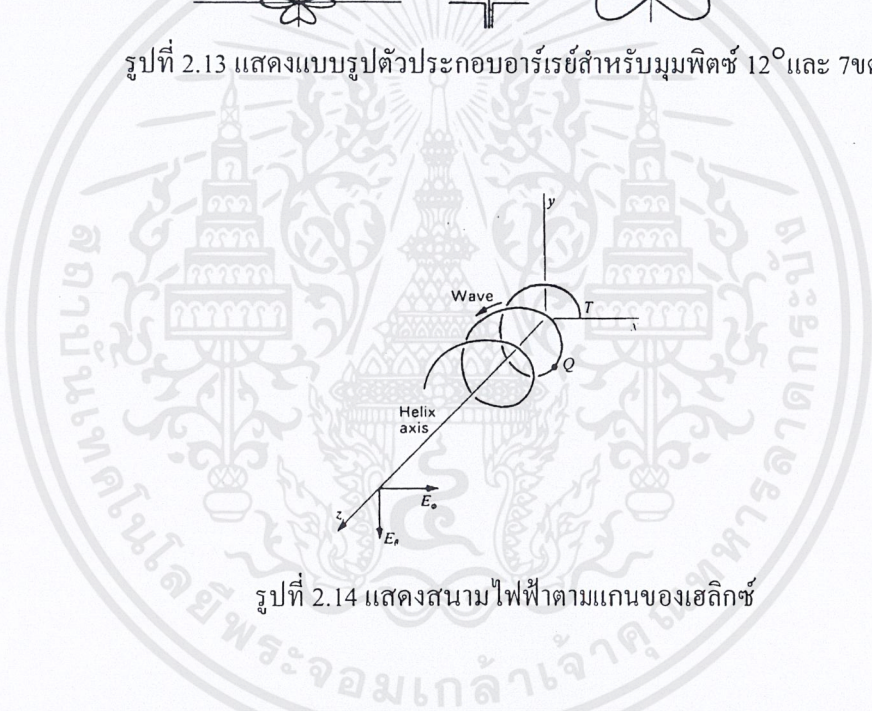


รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วเฟสสำหรับมุมพิชชีที่แตกต่างกัน

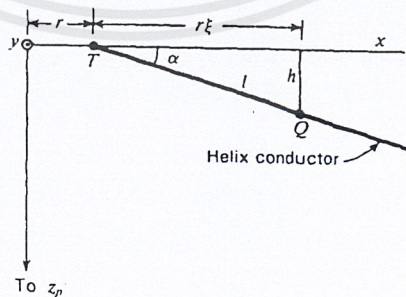
และรูปที่ 2.13 จะแสดงผลการคำนวณค่า p โดยมี C_λ เป็นตัวแปร จะเห็นได้ว่าที่บริเวณ $\frac{1}{4} \leq C_\lambda \leq \frac{4}{3}$ และ $12^\circ \leq \alpha \leq 18^\circ$ ค่า p จะต่ำกว่า 1



รูปที่ 2.13 แสดงแบบรูปตัวประกอบอาร์เรย์สำหรับมุมพิตซ์ 12° และ 7ชุด

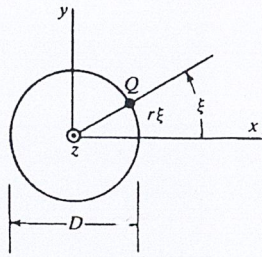


รูปที่ 2.14 แสดงสนามไฟฟ้าตามแกนของเฮลิคซ์



รูปที่ 2.15 แสดงเรขาคณิตสำหรับการคำนวณในทิศทาง z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงภาพมุมมองตามแกน z

การคิดการแพร่กระจายคลื่นจากเฮลิคซ์โหมดแนวแกนนั้นจะทำได้โดยใช้วิธีประมาณค่ากระแสให้อยู่ในรูปคลื่นที่เคลื่อนที่ (Traveling wave) และใช้สมการความเร็วเฟสของกระแส ถ้าให้สายอากาศเฮลิคซ์วางตัวอยู่ในรูปที่ 2.14 เมื่อกระแสลวดออกไปในระนาบ X-Z จะได้เป็นรูปที่ 2.15 ส่วนรูปที่ 2.16 แสดงรูปสายอากาศที่มองจากแกน Z ตรงจุด Q บนเส้นลวดอาจจะแสดงได้โดยใช้ระบบแกนประสานบนทรงกระบอกเป็น (r, ζ, z) ถ้าให้ I เป็นระยะทางตามเส้นลวดจากจุดต้นทาง T ถึงจุด Q จะได้ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตของตัวแปรต่างๆในรูปต่อไปนี้

$$\begin{aligned} h &= l \sin \alpha \\ \alpha &= \arctan \frac{S}{\pi D} = \arccos \frac{r\zeta}{l} \\ r\zeta &= l \cos \alpha \end{aligned} \quad (2.17)$$

เพื่อความสะดวกในการคำนวณจะพิจารณาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเฉพาะจุดที่ห่างไกลบนแกน Z และให้ระยะทางจากจุดอ้างอิงถึงจุดสังเกตเป็น Z_p จะพบว่าระยะทางจากจุด Q ถึงจุดสังเกตเป็นดังนี้คือ

$$z_p - h = z_p - l \sin \alpha \quad (2.18)$$

และที่จุด P สนามไฟฟ้า E_ϕ ของเฮลิคซ์จำนวน n รอบ จะเป็น

$$E_\phi = E_0 \int_0^{2\pi} \sin \zeta \exp \left[j\omega \left(t - \frac{Z_p}{c} + \frac{l \sin \alpha}{c} - \frac{1}{pc} \right) \right] d\zeta \quad (2.19)$$

เมื่อ E_0 เป็นค่าคงที่ของเมกนิจูดของกระแสของเฮลิคซ์

จากสมการที่ (2.19) สามารถเขียนทอมในวงเล็บใหม่โดยใช้สมการที่ (2.17) 2 เทอมสุดท้ายได้เป็น

$$\frac{l \sin \alpha}{c} - \frac{1}{pc} = \frac{r\zeta}{c} \left(\tan \alpha - \frac{1}{p \cos \alpha} \right) = \frac{r\zeta q}{c} \quad (2.20)$$

ซึ่ง

$$q = \tan \alpha - \frac{1}{p \cos \alpha} \quad (2.21)$$

เมื่อ $\alpha = 0$, เฮลิคซ์จะกลายเป็นลวดและ $q = -1/p$ สมการที่ (2.19) จะลดรูปเหลือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_\phi = E_0 e^{j(\omega t - \beta S_p)} \int_0^{2\pi} \sin \zeta e^{jk\zeta} d\zeta \quad (2.22)$$

เมื่ออินทิเกรตสมการที่ (2.22) จะได้เป็น

$$E_\phi = \frac{E_1}{k^2 - 1} (e^{j2\pi k} - 1) \quad (2.23)$$

ซึ่ง $E_1 = E_0 e^{j(\omega t - \beta Z_p)}$

ในกรณีเดียวกัน สำหรับสนามไฟฟ้า E_θ ที่จุด P จะเป็น

$$E_\theta = E_0 \int_0^{2\pi} \cos \zeta \exp \left[j\omega \left(t - \frac{Z_p}{c} + \frac{l \sin \alpha}{c} - \frac{1}{pc} \right) \right] d\zeta \quad (2.24)$$

ทำเหมือนกับสมการที่ (2.23) จะได้เป็น

$$E_\theta = \frac{jE_1 k}{k^2 - 1} (e^{j2\pi k} - 1) \quad (2.25)$$

เมื่อนำสมการที่ (2.23) หาคด้วยสมการที่ (2.25) เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างโพลาไรเซชันในแกนหลัก (Axial ratio; AR) จะได้ผลดังนี้คือ

$$AR = \frac{|E_\phi|}{|E_\theta|} = \left| \frac{1}{jk} \right| = \frac{1}{k} \quad (2.26)$$

จากสมการข้างบนจะเห็นได้ว่าถ้า $|k| = 1$ จะได้โพลาไรเซชันแบบวงกลม ซึ่งจะเป็นแบบวนซ้ายหรือขวา ขึ้นอยู่กับเครื่องหมายของ k จากสมการที่ (2.26) เมื่อพิจารณาในช่วงที่ $\frac{1}{4} \leq C_\lambda \leq \frac{4}{3}$ จะได้ว่าค่า p น้อยกว่า 1 ดังนั้นค่า k ก็ควรจะมีเครื่องหมายลบซึ่งจะได้โพลาไรเซชันวงกลมแบบหมุนขวา เงื่อนไขของโพลาไรเซชันแบบวงกลมนี้จะแสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่าง p กับ L และ S ได้โดยใช้สมการที่ (2.27) คือ

$$L_\lambda \left(\sin \alpha - \frac{1}{p} \right) = -1 \quad (2.27)$$

จัดรูปใหม่จะได้เป็น

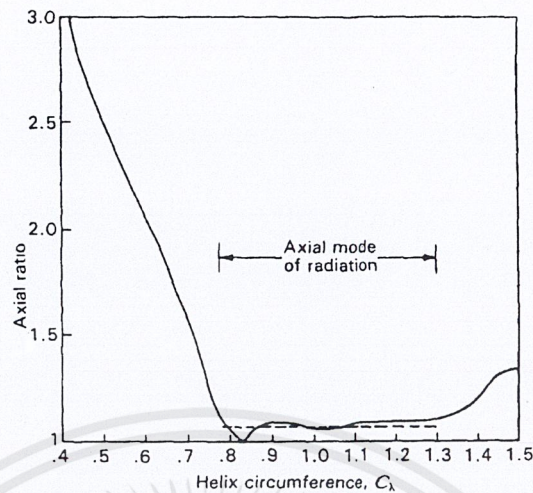
$$p = \frac{L_\lambda}{S_\lambda + 1}$$

เพราะฉะนั้นสายอากาศเฮลิคซ์ที่มี C_λ ประมาณ 1 จึงสร้างคลื่นในแนวแกนที่มีโพลาไรเซชันเป็นวงกลมหรือใกล้เคียงกับวงกลม รูปที่ 2.17 จะแสดงผลการคำนวณสมการที่ (2.10) โดยให้ค่า AR อยู่ระหว่าง 1 ถึง อนันต์ กล่าวคือถ้า $|E_\theta| > |E_\phi|$ ก็จะเป็นผลการคำนวณของ AR ในรูปต่อไปนี้

$$AR = \frac{|E_\theta|}{|E_\phi|} = |k| \quad (2.28)$$

ผลการคำนวณที่ได้ในรูปที่ 2.17 เป็นกรณีที่สายอากาศมีโครงสร้างเป็น $\alpha = 13^\circ$ และ $n=7$ รอบและใช้ค่า p ที่ได้จากการวัดในการคำนวณ จากรูปจะเห็นได้ว่าที่ค่า $C_\lambda = 0.83$ จะได้ค่า $AR=1$ และในช่วง C_λ มีค่าอยู่ระหว่าง $\frac{1}{4}$ ถึง $\frac{4}{3}$ ค่า AR จะต่ำกว่า $\frac{1}{2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงอัตราส่วนโพลาไรเซชันแกนหลักตามเส้นรอบวงของเฮลิคซ์มุมพิชต์ 13° และ 7 ขด

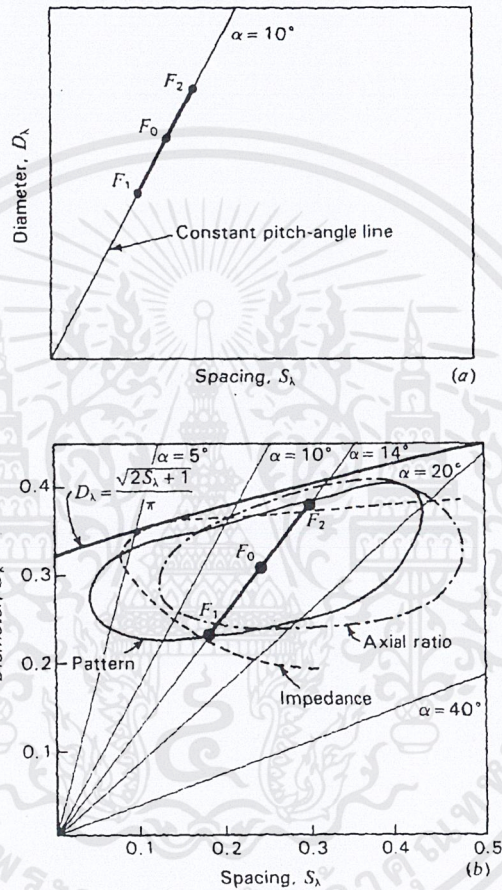
2.5 ลักษณะสมบัติที่ความถี่กว้างของเฮลิคซ์ที่แพร่กระจายคลื่นในโหมดแนวแกน

ค่าคลื่นของเฮลิคซ์มีคุณสมบัติช่วงความถี่ที่กว้าง การเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติของความเร็วเฟส จะเป็นผลให้สนามจากแต่ละขดเพิ่มอย่างใกล้เคียงกันตามทิศทางแกน ถ้าความเร็วเฟสคงที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ แบบรูปในโหมดแนวแกนอาจจะได้เป็นเพียงแค่วงความถี่แคบ อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อจะคงที่อย่างสัมพันธ์กันที่ช่วงความถี่เดียวกัน เพราะมีการลดทอนอย่างมากของคลื่นที่สะท้อนจากปลายเปิดของเฮลิคซ์ โพลาริเซชันจะค่อนข้างเป็นวงกลมที่ช่วงความถี่เดียวกัน เพราะว่าสภาพของสนามในเฟสนั้นเป็นสภาพของโพลาริเซชันแบบวงกลมด้วย

ดังรูปที่ 2.18a มิตติของเฮลิคซ์ในความยาวคลื่นในพื้นที่ว่างเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางของมุมพิชต์เป็นฟังก์ชันของความถี่ ถ้า F_1 เป็นขีดจำกัดของความถี่ต่ำของการแพร่กระจายคลื่นในโหมดแนวแกน และ F_2 เป็นความถี่สูงของโหมดนี้เช่นกัน ดังนั้นช่วงในมิตติสำหรับ เฮลิคซ์ที่มีมุมพิชต์ 10° อาจจะเป็นไปตามเส้นหนานบนแผนภูมิของเส้นผ่านศูนย์กลางและระยะห่างรูป 2.18a ความถี่กลาง F_0 เกิดจาก $F_0 = (F_1 + F_2)/2$

คุณสมบัติของสายอากาศเฮลิคซ์คือฟังก์ชันของมุมพิชต์ มุมที่เป็นผลในช่วงความถี่สูงสุด $F_2 - F_1$ ของการแพร่กระจายคลื่นในโหมดแนวแกนจะถูกเรียกว่ามุมพิชต์ที่ดีที่สุด เพื่อที่จะหามุมพิชต์ที่ดีที่สุด ลักษณะสมบัติของแบบรูป อิมพีแดนซ์และโพลาริเซชันสายอากาศเฮลิคซ์อาจจะเปรียบเทียบได้ตามแผนภูมิจากรูป 2.18b เส้นประทั้งสามเส้นจะบ่งบอกเกี่ยวกับอาณาบริเวณของแบบรูป อิมพีแดนซ์และโพลาริเซชันที่น่าพอใจ ความยาวของแกนของเฮลิคซ์ที่ทดสอบประมาณ 1.6λ ที่ความถี่กลาง ซึ่งแบบรูปที่น่าพอใจจะพิจารณาได้จากค่าคลื่นหลักที่มีเพียงหนึ่งอันในทิศทางแนวแกนและมีขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าคลื่นย่อยอื่นๆ ในบริเวณเส้นของแบบรูปตามแผนภูมิ แบบรูปที่ได้นี้นั้นจะมีฮาร์ฟพาวเวอร์บีมวิดท์น้อยกว่า 60° และเล็กเท่ากับ 30° ส่วนภายในบริเวณเส้นของอิมพีแดนซ์ตามแผนภูมิ อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อจะค่อนข้างคงที่อย่างสัมพันธ์กันและใกล้เคียงกับความต้านทาน 100Ω ถึง 150Ω ในขณะที่ภายในบริเวณของเส้น

ของอัตราส่วนแกนหลัก จะมีอัตราส่วนแกนหลักในทิศทางของเฮลิคซ์จะน้อยกว่า 1.25 สังเกตว่าทุกบริเวณของแต่ละเส้นจะวางตัวอยู่ภายใต้เส้นตรง $D_\lambda = \sqrt{2S_\lambda + 1} / \pi$ เส้นนี้อาจจะถูกพิจารณาเป็นขีดจำกัดที่สูงขึ้นสำหรับโหมคของลาค็อน มันจะปรากฏเมื่อช่วงความถี่ F_2-F_1 นั้นเล็กถ้ามุมพิตซ์นั้นเล็กมาก ๆ หรือใหญ่มาก ๆ มุมพิตซ์ที่ดีที่สุดจะอยู่ประมาณ $12^\circ-14^\circ$ ของเฮลิคซ์ขนาด 1.6λ ที่ความถี่กลาง เพราะว่าคุณภาพของเฮลิคซ์นั้นเปลี่ยนแปลงช้าในมุมที่ใกล้เคียงมุมพิตซ์ที่ดีที่สุดซึ่งไม่มีจุดวิกฤตสำหรับค่านี้



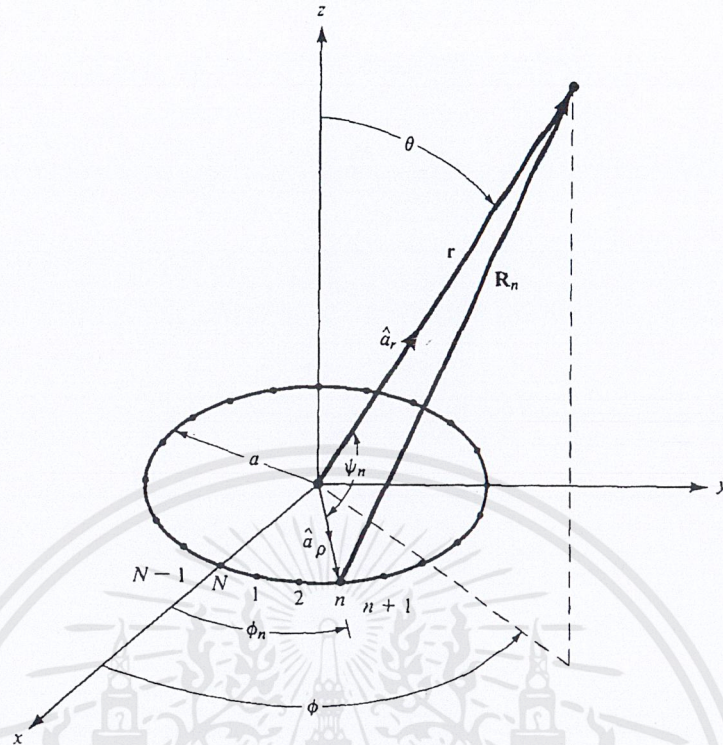
รูปที่ 2.18 แผนภูมิระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางและระยะห่างของเฮลิคซ์ในโหมคแนวแกน

2.6 แถวลำดับแบบวงกลม

แถวลำดับแบบวงกลม (Circular Array) เกิดขึ้นจากการประกอบด้วยแต่ละเอเลเมนต์ที่มาวางเป็นวงกลม เป็นรูปแบบอาร์เรย์แบบง่ายที่น่าสนใจแบบหนึ่ง มันสามารถประยุกต์ใช้ในการนำร่องในอากาศและอวกาศ การแพร่กระจายคลื่นใต้พื้นดิน เรดาร์ โซนาร์ และระบบอื่นอีกมากมาย

- ตัวประกอบอาร์เรย์ (Array Factor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงเรขาคณิตของอาร์เรย์แบบวงกลมจำนวน N เอlemenต์

จากรูป 2.19 สมมติให้มีเอเลเมนต์แบบไอโซโทรปิกจำนวน N วางห่างเป็นวงกลมรัศมี a โดยมีระยะห่างเท่ากันบนระนาบ xy สนามของอาร์เรย์ที่นอร์มอลไลซ์แล้วจะได้เป็น

$$E_n(r, \theta, \phi) = \sum_{n=1}^N a \frac{e^{-jkR_n}}{R_n} \quad (2.29)$$

โดยที่ R_n เป็นระยะทางจากเอเลเมนต์ที่ n ไปยังจุดสังเกต

$$R_n = (r^2 + a^2 - 2ar \cos \psi)^{\frac{1}{2}} \quad (2.30)$$

ในกรณี $r \gg a$ จะลดรูปได้เป็น

$$R_n \approx r - a \cos \psi_n = r - a(\hat{\mathbf{a}}_\rho \cdot \hat{\mathbf{a}}_r) = r - a \sin \theta \cos(\phi - \phi_n) \quad (2.31)$$

ซึ่ง

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{a}}_\rho \cdot \hat{\mathbf{a}}_r &= (\hat{\mathbf{a}}_x \cos \phi_n + \hat{\mathbf{a}}_y \sin \phi_n) \cdot (\hat{\mathbf{a}}_x \sin \theta \cos \phi + \hat{\mathbf{a}}_y \sin \theta \sin \phi + \hat{\mathbf{a}}_z \cos \theta) \\ &= \sin \theta \cos(\phi - \phi_n) \end{aligned} \quad (2.32)$$

ดังนั้นสมการที่ (2.29) ลดรูป สมมติให้ $R_n = r$ จะได้

$$E_n(r, \theta, \phi) = \frac{e^{-jkr}}{r} \sum_{n=1}^N a_n e^{+jka \sin \theta \cos(\phi - \phi_n)} \quad (2.33)$$

ซึ่ง

a_n = สัมประสิทธิ์การกระตุ้นแอมพลิจูดและเฟสของเอเลเมนต์ที่ n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\phi_n = 2\pi(n/N) =$ ตำแหน่งมุมของเอเลเมนต์ที่ n บนระนาบ xy
โดยทั่วไป สัมประสิทธิ์การกระตุ้นของเอเลเมนต์สามารถเขียนได้เป็น

$$a_n = I_n e^{j\alpha_n} \quad (2.34)$$

ซึ่ง

$I_n =$ การกระตุ้นแอมพลิจูดของเอเลเมนต์ที่ n

$\alpha_n =$ การกระตุ้นเฟส (สัมพันธ์กับศูนย์กลางของอาร์เรย์)

ด้วยสมการที่ (2.33), (2.34) สามารถแสดงได้เป็น

$$E_n(r, \theta, \phi) = \frac{e^{-jkr}}{r} [AF(\theta, \phi)] \quad (2.35)$$

เมื่อ

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N I_n e^{j[ka \sin \theta \cos(\phi - \phi_n) + \alpha_n]} \quad (2.36)$$

สมการ (2.36) แทนเป็นอาร์เรย์แฟลคเตอร์ของอาร์เรย์วงกลมที่ประกอบด้วย N เอเลเมนต์ เพื่อที่จะควบคุมค่าสูงสุดของลำคลื่นหลักในทิศทาง (θ_0, ϕ_0) การกระตุ้นเฟสของเอเลเมนต์ที่ N สามารถเลือกให้เป็น

$$\alpha_n = -ka \sin \theta_0 \cos(\phi_0 - \phi_n) \quad (2.37)$$

ดังนั้นตัวประกอบอาร์เรย์ของสมการที่ (2.36) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} AF(\theta, \phi) &= \sum_{n=1}^N I_n e^{jka[\sin \theta \cos(\phi - \phi_n) - \sin \theta_0 \cos(\phi_0 - \phi_n)]} \\ &= \sum_{n=1}^N I_n e^{jka[\cos \psi - \cos \psi_0]} \end{aligned} \quad (2.38)$$

เพื่อที่จะลดสมการที่ (2.38) ให้เป็นรูปที่ง่าย เราจะกำหนดให้ ρ_0 เป็น

$$\rho_0 = a \left[(\sin \theta \cos \phi - \sin \theta_0 \cos \phi_0)^2 + (\sin \theta \sin \phi - \sin \theta_0 \sin \phi_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.39)$$

ดังนั้นในส่วนของกำลังในสมการ (2.38) จะถูกแทนด้วย

$$\begin{aligned} ka(\cos \psi - \cos \psi_0) &= \frac{k\rho_0 [\sin \theta \cos(\phi - \phi_n) - \sin \theta_0 \cos(\phi_0 - \phi_n)]}{\left[(\sin \theta \cos \phi - \sin \theta_0 \cos \phi_0)^2 + (\sin \theta \sin \phi - \sin \theta_0 \sin \phi_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \end{aligned} \quad (2.40)$$

ซึ่งเมื่อทำการแตกสมการจะเป็น

$$\begin{aligned} ka(\cos \psi - \cos \psi_0) &= k\rho_0 \left\{ \frac{\cos \phi_n (\sin \theta \cos \phi - \sin \theta_0 \cos \phi_0) + \sin \phi_n (\sin \theta \sin \phi - \sin \theta_0 \sin \phi_0)}{\left[(\sin \theta \cos \phi - \sin \theta_0 \cos \phi_0)^2 + (\sin \theta \sin \phi - \sin \theta_0 \sin \phi_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \right\} \end{aligned} \quad (2.41)$$

กำหนดให้

$$\cos \xi = \frac{\sin \theta \cos \phi - \sin \theta_0 \cos \phi_0}{\left[(\sin \theta \cos \phi - \sin \theta_0 \cos \phi_0)^2 + (\sin \theta \sin \phi - \sin \theta_0 \sin \phi_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (2.42)$$

แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sin \xi = \left[1 - \cos^2 \xi\right]^{\frac{1}{2}} \frac{\sin \theta \cos \phi - \sin \theta_0 \cos \phi_0}{\left[(\sin \theta \cos \phi - \sin \theta_0 \cos \phi_0)^2 + (\sin \theta \sin \phi - \sin \theta_0 \sin \phi_0)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \quad (2.43)$$

ดังนั้นสมการที่ (2.38) และ (2.40) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$ka(\cos \psi - \cos \psi_0) = k\rho_0(\cos \phi_n \cos \xi + \sin \phi_n \sin \xi) = k\rho_0 \cos(\phi_n - \xi) \quad (2.44)$$

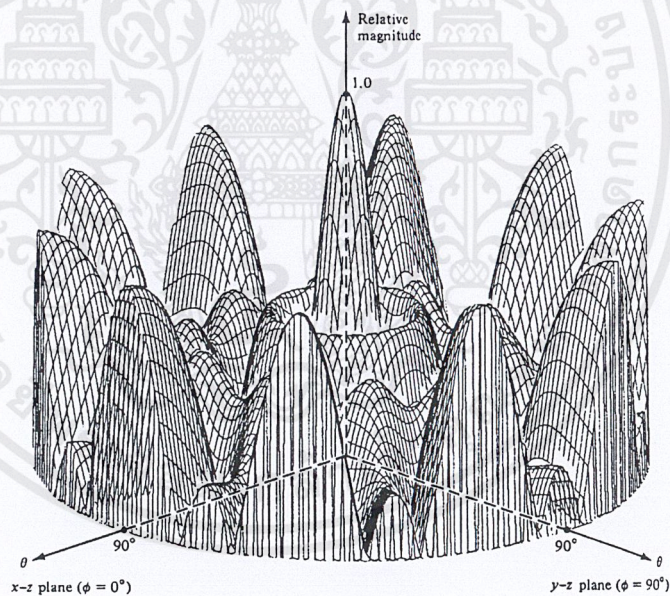
$$AF(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N I_n e^{jka(\cos \psi - \cos \psi_0)} = \sum_{n=1}^N I_n e^{jk\rho_0(\cos \phi_n - \xi)} \quad (2.45)$$

ซึ่ง

$$\xi = \tan^{-1} \left[\frac{\sin \theta \sin \phi - \sin \theta_0 \sin \phi_0}{\sin \theta \cos \phi - \sin \theta_0 \cos \phi_0} \right] \quad (2.46)$$

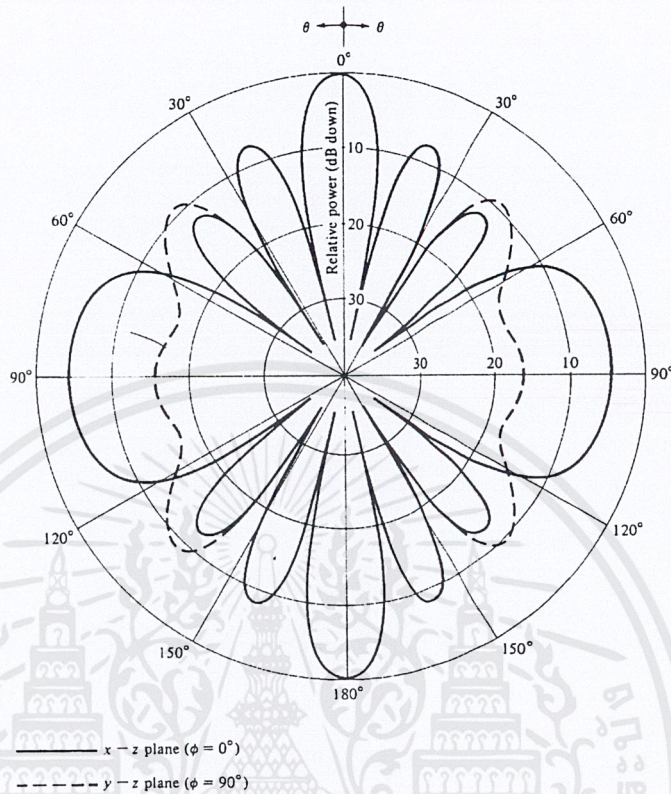
และ ρ_0 กำหนดโดยสมการ (2.39)

สมการที่ (2.45), (2.39) และ (2.46) สามารถใช้คำนวณหาค่าประกอบอาร์เรย์ โดยการกำหนดค่าต่างๆลงไป แบบรูปการกระจายคลื่นสามมิติและระนาบหลักของอาร์เรย์แบบวงกลมที่มี 10 เอลิเมนต์ขนาดเดียวกัน แสดงดังรูป 2.20 และ 2.21 ตามลำดับ



รูปที่ 2.20 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสามมิติของอาร์เรย์ 10 เอลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบหลักของอาร์เรย์ 10 เอลเมนต์

2.7 อินพุตอิมพีแดนซ์ที่ตำแหน่งต่างๆ บนสายนำสัญญาณ

การนิยามอิมพีแดนซ์ในทฤษฎีวงจรทั่วไปนั้นเราจะนิยามจากค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่จุดสังเกตและในกรณีของสายนำสัญญาณนั้น ถ้าเราแยกคลื่นออกเป็น 2 ทิศคือ V^+, I^+ กับ V^-, I^- เมื่ออิมพีแดนซ์จากคลื่นในแต่ละทิศจะได้ค่าเท่ากันและเท่ากับ Z_c อย่างไรก็ตามถ้าเรานิยามอิมพีแดนซ์โดยพิจารณาจากค่า $V(z)$ และ $I(z)$ ซึ่งเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าผลรวมและกระแสไฟฟ้าผลรวมที่เกิดอยู่ตรงตำแหน่ง z ผลที่ได้จะแตกต่างกันออกไป และจะมีความสัมพันธ์กับอิมพีแดนซ์ของโหลดที่ปลายสายดังรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไปนี้ ก่อนอื่นจากสมการ จะหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่มองเข้าไปจากจุด z ได้ในรูปต่อไปนี้

$$\begin{aligned} Z_{in}(z) &= \frac{V(z)}{I(z)} = Z_c \frac{e^{-\gamma z} + \Gamma_L e^{-\gamma \ell} e^{-\gamma(\ell-z)}}{e^{-\gamma z} - \Gamma_L e^{-\gamma \ell} e^{-\gamma(\ell-z)}} \\ &= Z_c \frac{e^{\gamma(\ell-z)} + \Gamma_L e^{-\gamma(\ell-z)}}{e^{\gamma(\ell-z)} - \Gamma_L e^{-\gamma(\ell-z)}} \\ &= Z_c \frac{e^{\gamma z'} + \Gamma_L e^{-\gamma z'}}{e^{\gamma z'} - \Gamma_L e^{-\gamma z'}} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
&= Z_c \frac{(Z_L + Z_c)e^{\gamma z'} + (Z_L - Z_c)e^{-\gamma z'}}{(Z_L + Z_c)e^{\gamma z'} - (Z_L - Z_c)e^{-\gamma z'}} \\
&= Z_c \frac{Z_L \cosh \gamma z' + Z_c \sinh \gamma z'}{Z_L \sinh \gamma z' + Z_c \cosh \gamma z'} \quad (2.47)
\end{aligned}$$

โดยที่ $z' = \ell - z$ และ $\cosh \gamma z' = (e^{\gamma z'} + e^{-\gamma z'})/2$, $\sinh \gamma z' = (e^{\gamma z'} - e^{-\gamma z'})/2$ ในกรณีที่ $\alpha = 0$ นั้น $\gamma = j\beta$ ทำให้สมการ (2.47) ลดรูปเหลือเป็นดังนี้

$$Z_{in} = Z_c \frac{Z_L + jZ_c \tan \beta z'}{Z_c + jZ_L \tan \beta z'} \quad (2.48)$$

ผลที่ได้ตามสมการ(2.47) เป็นการแสดงให้เห็นว่าอิมพีแดนซ์ที่มองไปทางปลายสายจากจุด z ซึ่งห่างจากปลายสายเท่ากับ z' นอกจากจะขึ้นอยู่กับ Z_L และความยาว z แล้วยังขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายนำสัญญาณคือ Z_c และ γ ด้วย เนื่องจากในกรณีที่ α มีค่าต่ำมากและความยาวสายไม่มาก เราสามารถอนุโลมให้ใช้สมการข้างบนในการคำนวณได้ ดังนั้นในการพิจารณากรณีพิเศษดังต่อไปนี้จะใช้สมการข้างบน(2.48) ในการอธิบาย

(1) กรณีที่ $z' = n\lambda_g/2$

ในกรณีนี้เนื่องจาก $\beta z = n\pi$ และ $\tan(n\pi) = 0$ จากสมการ(2.24) จะได้

$$Z_{in} = Z_L \quad (2.49)$$

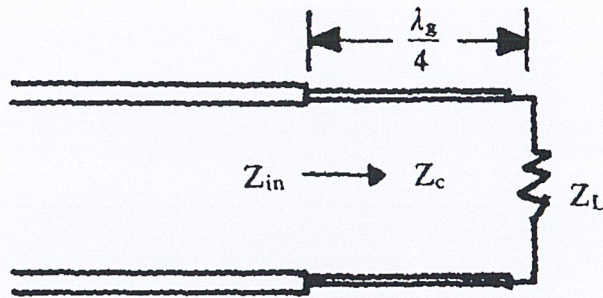
ซึ่งหมายถึงที่ตำแหน่งที่ห่างจากปลายสายเป็นจำนวนเท่าลงตัวของ $\lambda_g/2$ จะมองเห็นอิมพีแดนซ์มีค่าเท่ากับ โหลดที่ปลายสาย

(2) กรณีที่ $z' = \lambda_g/4$

ในกรณีนี้เนื่องจาก $\beta z = \pi/2$ และ $\tan \frac{\pi}{2} = \infty$ จากสมการ (2.48) จะได้

$$Z_{in} = \frac{Z_c^2}{Z_L} \quad (2.50)$$

ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่า เราสามารถแปลงค่า Z_L ซึ่งเป็นโหลดที่ปลายสายให้มีอิมพีแดนซ์เป็น โดยใช้สายนำสัญญาณยาว $\lambda_g/4$ เราเรียกชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ดังกล่าวนี้ว่าทรานสฟอร์มเมอร์แบบเศษหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น (Quarter-wave transformer) ชิ้นส่วนนี้มักจะถูกใช้ประโยชน์ในการแปลงอิมพีแดนซ์ของโหลดให้มีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ เช่น ตามรูป 2.22 ถ้าสายนำสัญญาณช่วงแรกมีค่าเป็น 50Ω ในขณะที่โหลดคือ Z_L มีค่าเป็น 100Ω เราสามารถแมตช์โหลดได้โดยใช้ทรานสฟอร์มเมอร์แบบเศษหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่นนี้โดยเลือกค่า Z_c ให้เท่ากับ $\sqrt{50 \times 100} \approx 71\Omega$ เป็นต้น



รูปที่ 2.22 แสดงการแมตซ์อิมพีแดนซ์โดยใช้ทรานสฟอร์มเมอร์แบบ $\frac{1}{4}$ ความยาวคลื่น

(3) กรณีที่ปลายสายลัดวงจร

กรณีที่ปลายสายลัดวงจรหรือ $Z_L = 0$ นั้น จากสมการ(2.48) ที่ตำแหน่งห่างจากปลายสายเท่ากับ z' จะมีค่าอิมพีแดนซ์เป็นดังนี้

$$Z_{in} = jZ_c \tan \beta z' \quad (2.51)$$

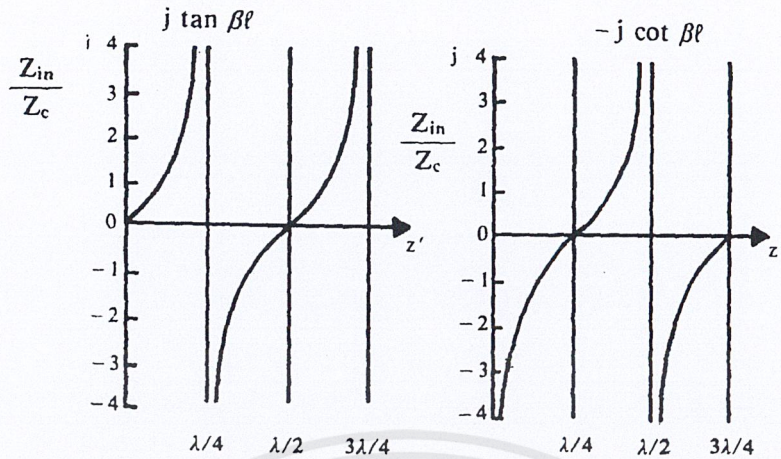
ผลที่ได้นี้จะทำให้เราสามารถสร้างค่ารีเอกแตนซ์ที่มีค่าต่างๆ ได้โดยการเลือกใช้ค่า z' ที่เหมาะสม และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการแมตอิมพีแดนซ์

(4) กรณีที่ปลายสายเปิดวงจร

กรณีที่ปลายสายเปิดวงจรนั้นในกรณีอุดมคติจะได้ $Z_L = \infty$ จากสมการ (2.48) ที่ตำแหน่งห่างจากปลายสาย z' จะมีค่าอิมพีแดนซ์เป็นดังนี้

$$Z_{in} = -jZ_c \cot \beta z' \quad (2.52)$$

ผลที่ได้นี้จะทำให้สามารถสร้างค่ารีเอกแตนซ์ค่าต่างๆ ได้เช่นเดียวกับกรณีของปลายสายลัดวงจรอย่างไรก็ตามในทางปฏิบัตินั้นการเปิดวงจรที่ปลายสายมักจะไม่ได้ค่าอุดมคติ เพราะจะมีกำลังคลื่นบางส่วนแผ่กระจายออกไปจากปลายสายได้ ซึ่งทำให้ $Z_L \neq \infty$



รูปที่ 2.23 แสดงค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ในกรณีปลายสายปิดและเปิดวงจร

รูปที่ 2.23 แสดงค่า Z_{in} ตามสมการ (2.51) และ (2.52) ค่ารีแอกแตนซ์ของกรณีปลายสายลัดวงจรและปลายสายเปิดวงจรจะแตกต่างกัน กล่าวคือในช่วงที่ $z' = 0 - \lambda/4$ กรณีปลายสายลัดวงจรจะมีค่าเป็นอินดักทีฟ ในขณะที่กรณีปลายสายเปิดวงจรจะเป็นค่าคาปาซิทีฟ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกรณีปลายสายเปิดวงจรนั้นกระแสไฟฟ้าที่ปลายสายมีค่าสูงในขณะที่แรงดันมีค่าต่ำ การสะสมของพลังงานก็จะอยู่ในรูปของพลังงานแม่เหล็กมากกว่าพลังงานไฟฟ้าทำให้แสดงค่าเป็นอินดักทีฟ แต่สำหรับกรณีปลายสายเปิดวงจรนั้นกระแสไฟฟ้าที่บริเวณปลายสายมีค่าต่ำในขณะที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าสูง การสะสมพลังงานก็จะอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้ามากกว่าพลังงานแม่เหล็กทำให้แสดงค่าเป็นคาปาซิทีฟ สำหรับในช่วงที่ $z' = \lambda/4 - \lambda/2$ นั้นผลที่ได้ก็จะกลับกัน และสามารถใช้อธิบายเดิมที่กล่าวมานี้ในการอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้น

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

3.1 การคำนวณพารามิเตอร์เบื้องต้นของสายอากาศ

จากคุณสมบัติที่กล่าวมาในบทที่ 2 ดังนั้น เราจะออกแบบสายอากาศเฮลิคซ์ให้มีการแพร่กระจายคลื่นในโหมดแนวแกน จึงกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ไว้ดังต่อไปนี้

-จำนวนรอบของขดลวด $n=10$ รอบ

-ความถี่กลางที่ใช้ = 3000 MHz.

-ขนาดเส้นรอบวงต่อความยาวคลื่น $C_\lambda = 1$

ดังนั้น คำนวณหาเส้นรอบวงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความยาวคลื่น } (\lambda) &= \frac{C}{f} \quad (\text{m}) \\ &= \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^9} \\ &= 10 \quad (\text{cm}) \end{aligned}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางขดลวดของสายอากาศเฮลิคซ์ (D_λ)

$$\begin{aligned} D_\lambda &= C_\lambda / \pi \\ &= 1 / \pi \\ &= 0.318 \end{aligned}$$

กำหนดให้สายอากาศมีมุมพิทช์ $\alpha=13^\circ$ ดังนั้นจะได้

ระยะระหว่างขดลวดแต่ละรอบของสายอากาศ (S_λ)

$$\begin{aligned} S_\lambda &= \pi \times D_\lambda \times \tan \alpha \\ &= \pi \times 0.318 \times \tan 13^\circ \\ &= 0.212 \end{aligned}$$

ความยาวขดลวดหนึ่งรอบ (L_λ)

$$\begin{aligned} L_\lambda &= [S_\lambda^2 + (\pi D_\lambda)^2]^{1/2} \\ &= [0.212^2 + (\pi \times 0.318)^2]^{1/2} \\ &= 1.0213 \end{aligned}$$

จากพารามิเตอร์ที่ได้มานี้สามารถคำนวณคุณสมบัติต่างๆ ในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเฮลิคซ์ได้ดังนี้

เนื่องจากการป้อนกระแสแบบตามเส้นรอบวง ดังนั้น

อินพุทอิมพีแดนซ์

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{150}{\sqrt{C_\lambda}} \\
 &= 150 \quad (\Omega)
 \end{aligned}$$

ฮาล์ฟพาวเวอร์บีมวิคท์

$$\begin{aligned}
 HPBW &= \frac{52^\circ}{C_\lambda \sqrt{nS_\lambda}} \\
 &= \frac{52}{1 \times \sqrt{10 \times 0.212}} \\
 &= 35.63 \quad (\text{degree})
 \end{aligned}$$

บีมวิคท์ระหว่างนัลคู่แรก

$$\begin{aligned}
 FNBW &= \frac{115^\circ}{C_\lambda \sqrt{nS_\lambda}} \\
 &= \frac{115}{1 \times \sqrt{10 \times 0.212}} \\
 &= 78.8 \quad (\text{degree})
 \end{aligned}$$

ความสามารถในการชี้ทิศทาง

$$\begin{aligned}
 D &= 12C_\lambda^2 nS_\lambda \\
 &= 12 \times 1^2 \times 10 \times 0.212 \\
 &= 25.56
 \end{aligned}$$

ความเร็วเฟสของกระแสน

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{1}{\sin \alpha + \left(\frac{\lambda}{C} \cos \alpha \right)} \\
 &= \frac{1}{\sin 13^\circ + (1 \cos 13^\circ)} \\
 &= 0.834
 \end{aligned}$$

อัตราส่วนระหว่างโพลาริเซชันแกนหลัก

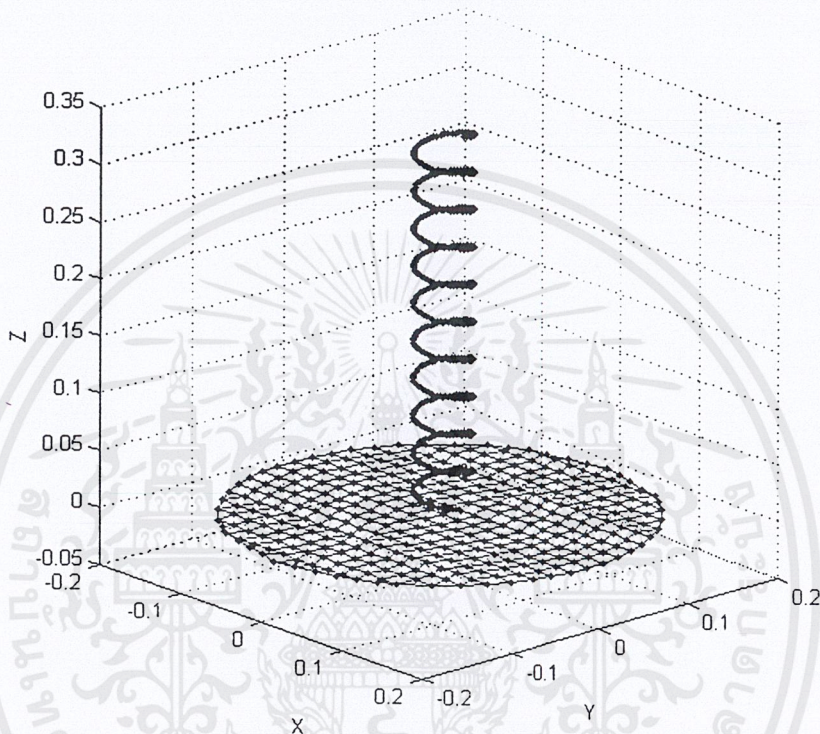
$$\begin{aligned}
 AR &= \left| L_\lambda \left(\sin \alpha - \frac{1}{p} \right) \right| \\
 &= \left| 1.0213 \left(\sin 13^\circ - \frac{1}{0.834} \right) \right| \\
 &= 0.995
 \end{aligned}$$

3.2 โปรแกรม SuperNEC

ในการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเสถิลซ์ โครงการนี้จะใช้โปรแกรม SuperNEC ซึ่งเป็นโปรแกรมในการจำลองสายอากาศและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค Hybrid MoM-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UTD โดยส่วนของ UTD (Uniform Geometric Theory of Diffraction) จะคำนวณกับผิวที่เป็นไดอิเล็กตริก ให้นำแบบแผ่นและทรงกระบอกต่างๆ ในขณะที่ส่วนของ MoM (Method of Moment) จะวิเคราะห์ในเชิงของตาข่ายที่เป็นส่วนๆ นอกจากนี้การแสดงผลยังใช้ Matlab เป็นตัวช่วยคำนวณอีกด้วย นับว่าเป็นโปรแกรมที่ใช้งานค่อนข้างง่าย โดยตัวอย่างการจำลองรูปแบบของสายอากาศเฮลิคัล ก่อนการคำนวณเป็นดังรูปที่ 3.1



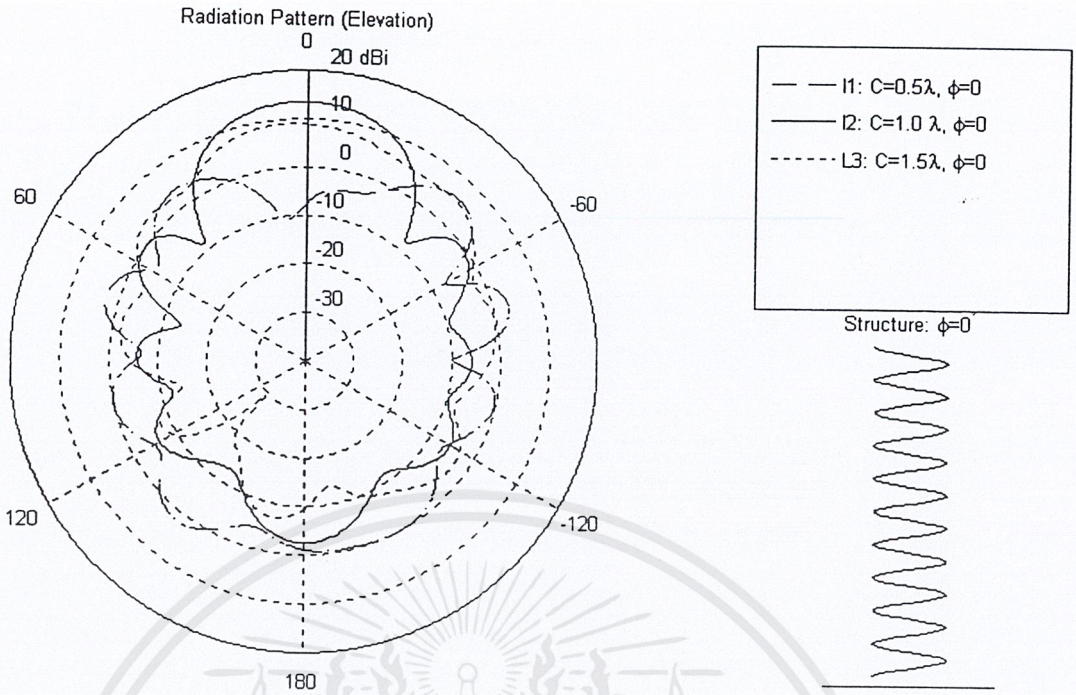
รูปที่ 3.1 แสดงการจำลองรูปแบบของสายอากาศเฮลิคัล

3.3 การจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

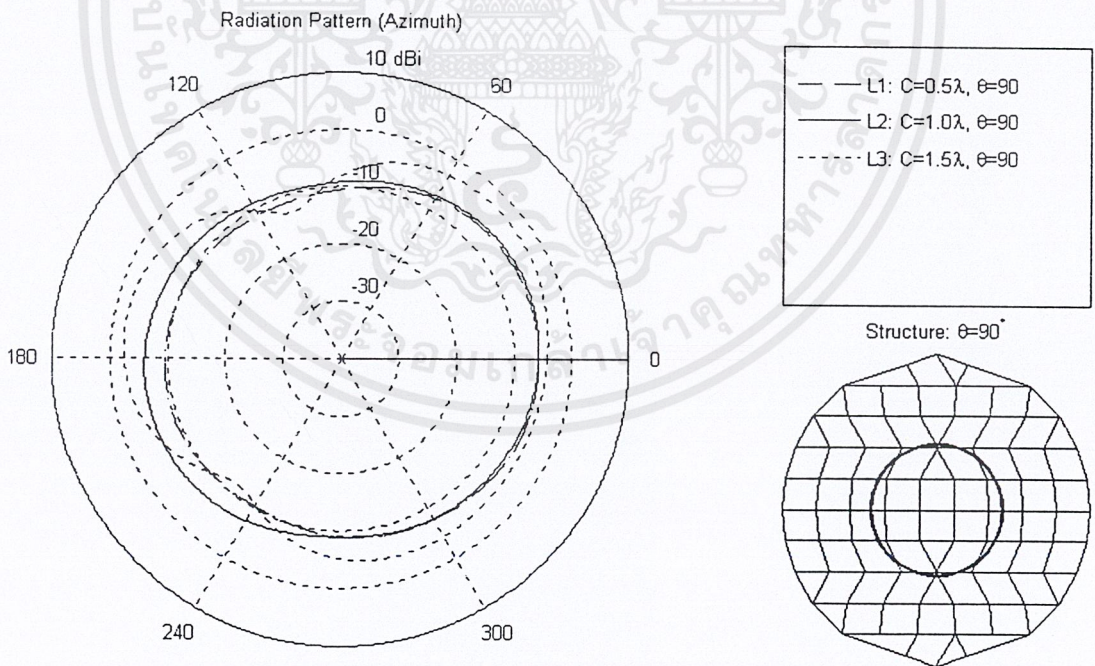
โดยการใช้โปรแกรม SuperNEC ทำการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น แล้วทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วทำการเปรียบเทียบระหว่างแบบรูปที่ได้จากโปรแกรมแต่ละครั้งมา จะได้ผลดังนี้

-การเปลี่ยนแปลงความยาวเส้นรอบวง

โดยการเปลี่ยนแปลงค่า C_λ เป็น 0.5λ , 1.0λ , 1.5λ ได้ผลเป็นดังรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อความยาวเส้นรอบวงเปลี่ยนไปในระนาบมุมยก

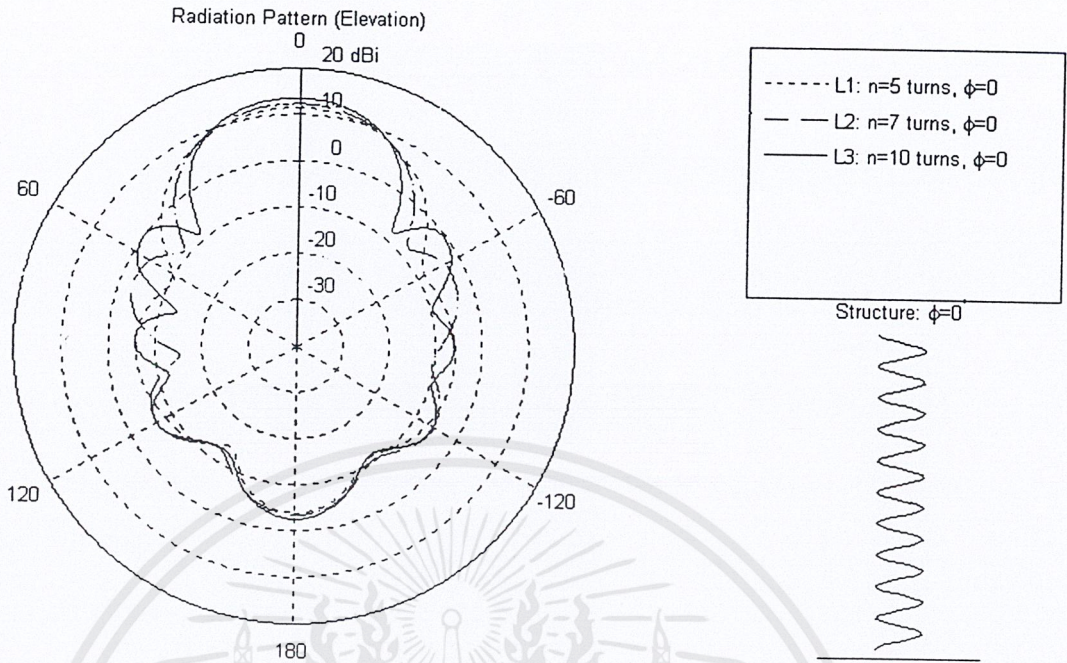


รูปที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อความยาวเส้นรอบวงเปลี่ยนไปในระนาบมุมกวาด

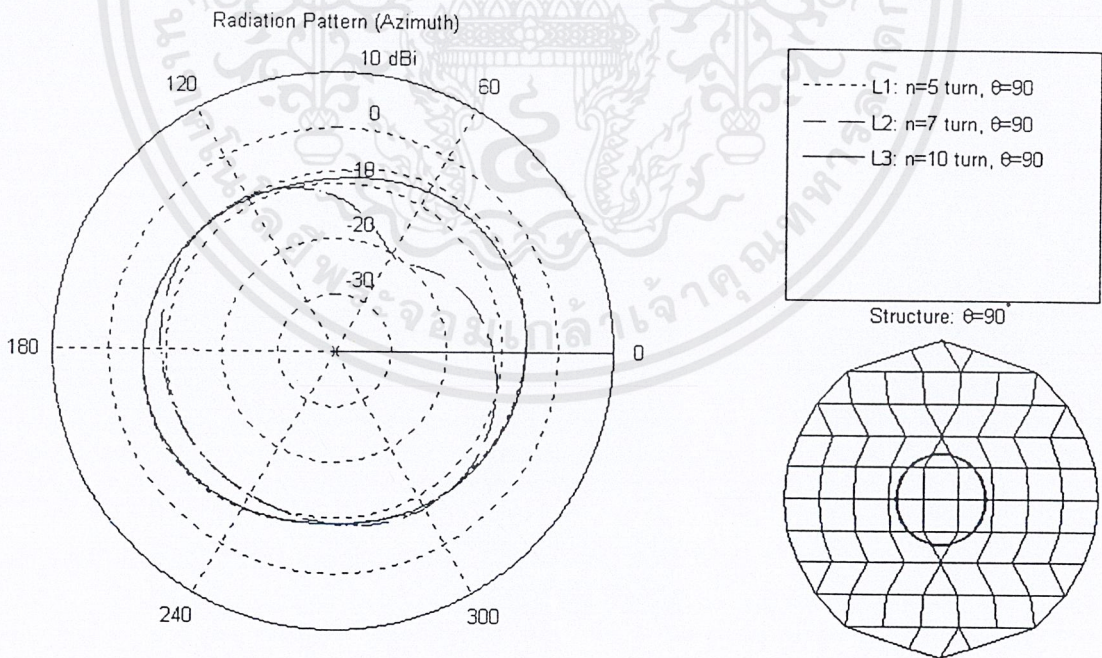
-การเปลี่ยนแปลงจำนวนรอบของขดลวด

โดยการเปลี่ยนแปลงค่า n เป็นดังนี้คือ 5,7,10 รอบ ได้ผลเป็นดังรูปที่ 3.4 และ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



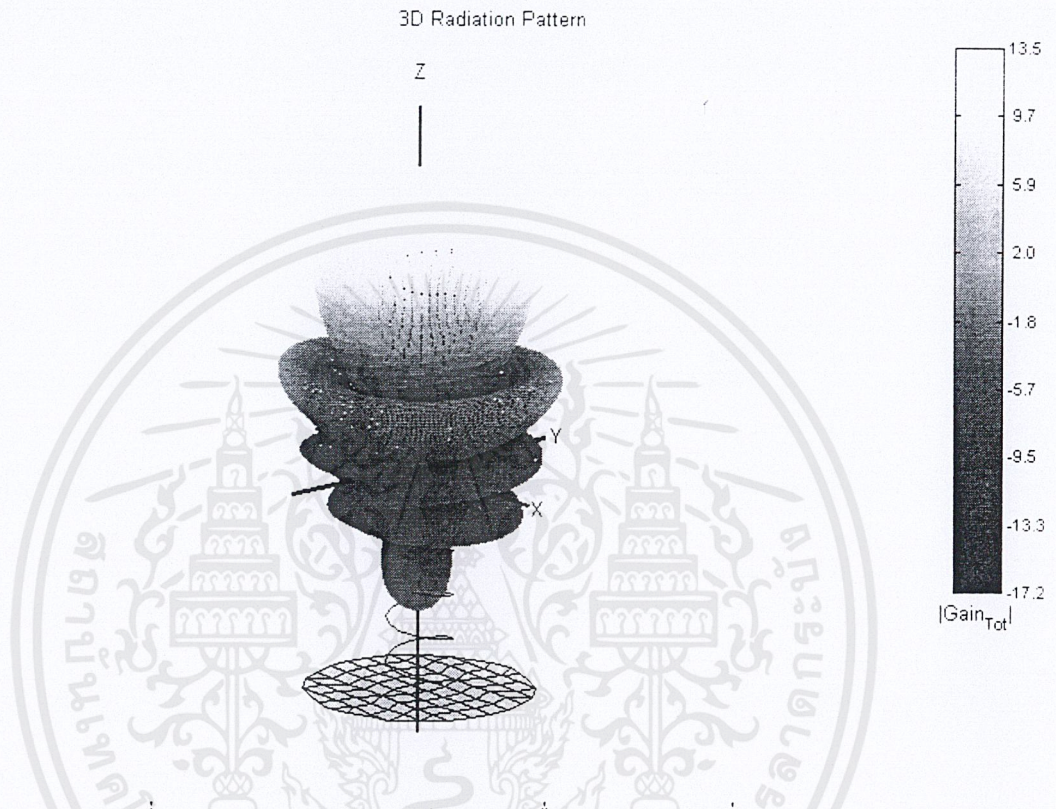
รูปที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อจำนวนรอบเปลี่ยนแปลงในระนาบมุมยก



รูปที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อจำนวนรอบเปลี่ยนแปลงในระนาบมุมกวาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ได้แสดงมานี้จะเห็นได้ว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของเฮลิคซ์ในระนาบมุมยกจะมีค่าคลื่นหลักที่ยาวและแคบเมื่อ ความยาวเส้นรอบวงเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นมีค่าใกล้เคียง 1 ประกอบกับการเพิ่มจำนวนรอบก็มีผลต่อค่าคลื่นที่แคบลง ดังนั้นในโครงงานนี้จึงเลือกใช้ขดลวดที่มี C_λ ประมาณเท่ากับ 1 และมีจำนวนรอบเท่ากับ 10 แล้วใช้โปรแกรม SuperNEC ทำการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบสามมิติ ได้ผลดังรูป 3.6

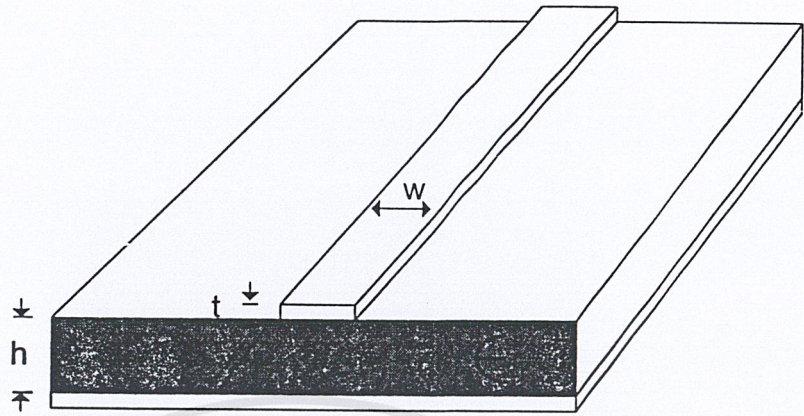


รูปที่ 3.6 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ $C_\lambda=1$ และ $n=10$

3.4 การออกแบบสายส่งไมโครสตริป

การส่งผ่านพลังงานในย่านความถี่สูงหรือในย่านความถี่ไมโครเวฟ สามารถส่งผ่านพลังงานโดยใช้แถบตัวนำที่นิยมใช้โดยทั่วไปเช่น ทองแดงหรือทองคำ ซึ่งจะวางตัวอยู่ในรูปแบบต่างๆที่เห็นกันบ่อยๆ เช่น แถบตัวนำทองแดงที่ใช้ร่วมกับสารไดอิเล็กตริกซัพสเตรท (Substrate) โดยแถบทองแดงที่ใส่จะวางตัวอยู่บนสารไดอิเล็กตริกซัพสเตรท ซึ่งจะทำให้เกิดความสะดวกในการส่งพลังงาน ในการใช้งานสายส่งไมโครสตริปนั้นความกว้างของแถบตัวนำจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้งาน ความหนาของแถบตัวนำ และค่าคงที่สัมพัทธ์ของสารไดอิเล็กตริกซัพสเตรท และมีข้อจำกัดของคุณสมบัติการส่งพลังงานที่น้อยกว่าสายส่งแบบโคแอกเซียล สำหรับสายส่งแบบไมโครสตริปจะมีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดง โครงสร้างของสายส่งไมโครสตริป

อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งหาได้โดย

$$Z_0 = \frac{\eta_0}{2\pi\sqrt{\epsilon_e}} \ln \left[\frac{8h}{w'} + 0.25 \frac{w'}{h} \right] \quad ; \frac{w}{h} \leq 1$$

$$Z_0 = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_e}} \left[\frac{8h}{w'} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{w'}{h} + 1.444 \right) \right]^{-1} \quad ; \frac{w}{h} \geq 1$$

โดยที่ $\eta_0 = 120\pi$

$$\frac{w'}{h} = \frac{w}{h} + \frac{1.25t}{\pi h} \left(1 + \ln \frac{4\pi w}{t} \right) \quad ; \frac{w}{h} \leq \frac{1}{2\pi}$$

$$\frac{w'}{h} = \frac{w}{h} + \frac{1.25t}{\pi h} \left(1 + \ln \frac{2h}{t} \right) \quad ; \frac{w}{h} \geq \frac{1}{2\pi}$$

เมื่อ

$$F\left(\frac{w}{h}\right) = \begin{cases} \left(1 + \frac{12h}{w}\right)^{-\frac{1}{2}} + 0.04 \left(1 - \frac{w}{h}\right)^2 & ; \frac{w}{h} \leq 1 \\ \left(1 + \frac{12h}{w}\right)^{-\frac{1}{2}} & ; \frac{w}{h} \geq 1 \end{cases}$$

$$C = \frac{\epsilon_r - 1}{4.6} \frac{\frac{t}{h}}{\sqrt{\frac{w}{h}}}$$

ซึ่ง

w = ความกว้างของสายส่ง

t = ความหนาของแถบตัวนำ

h = ความหนาของซับสเตรท

ϵ_r = ค่าคงที่สัมพัทธ์ของวัสดุที่นำมาทำซับสเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งมีค่าเท่ากับ 50 โอห์ม เมื่อใช้โปรแกรม MathCAD จำนวน จะได้ค่าความกว้างของสายส่งไมโครสตริป

$$w = 1.33 \text{ มิลลิเมตร}$$

3.5 การออกแบบอาร์เรย์แบบวงกลมของสายอากาศเฮลิคซ์

จากสมการสนามไฟฟ้าของเฮลิคซ์แบบ 1 รอบจำนวน 1 ตัวเป็นดังนี้

$$E_{\phi r} = \frac{\sin \gamma}{A} \sin BA \angle (-BA) + \frac{\sin \gamma'}{A'} \sin BA' \angle [-BA' - 2\sqrt{\pi}B + \pi(S_\lambda \cos \phi + \sqrt{\pi}D_\lambda \sin \phi)]$$

ซึ่ง $\gamma = \frac{3\pi}{2} + \alpha + \phi$ $\gamma' = \frac{\pi}{2} - \alpha + \phi$ $\gamma'' = \arccos(\sin \alpha \cos \phi)$

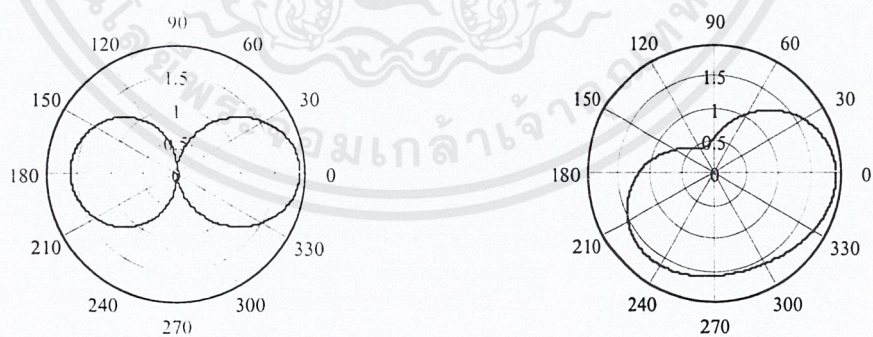
$$A = 1 - p \cos \gamma \quad A' = 1 - p \cos \gamma' \quad A'' = 1 - p \cos \gamma''$$

$$B = \frac{D_\lambda \pi^{\frac{3}{2}}}{2p \cos \alpha}$$

และ

$$|E_{\theta r}| = 2 \frac{\sin \gamma'' \sin BA'' \cos \alpha}{A''(1 - \sin^2 \alpha \cos^2 \phi)^{\frac{1}{2}}} \times \sin \frac{1}{2} [\pi(S_\lambda \cos \phi - \sqrt{\pi}D_\lambda \sin \phi) - 2\sqrt{\pi}B]$$

โดยการใช้โปรแกรม MathCAD 2000 ทำการวิเคราะห์สมการสนามไฟฟ้าของเฮลิคซ์เมื่อมองในทิศแนวแกน ϕ ได้ผลดังรูป



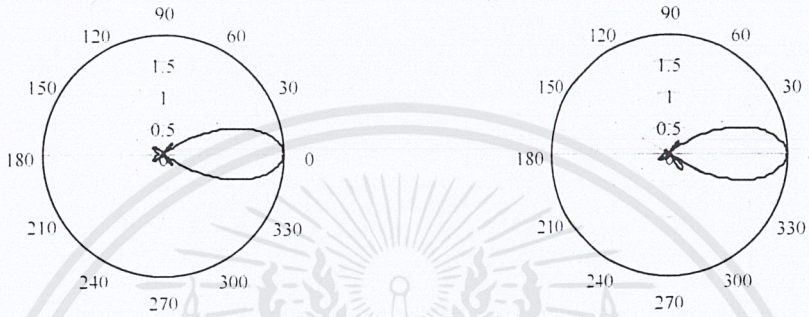
รูปที่ 3.8 แสดงสนามไฟฟ้า $E_{\phi T}$ และ $E_{\theta T}$ ตามลำดับของเฮลิคซ์แบบรอบเดียวที่มีมุมพิตซ์ 13°

เนื่องจากสนามไฟฟ้าของเฮลิคซ์จำนวน n ขดเท่ากับสนามไฟฟ้าของเฮลิคซ์รอบเดียวคูณด้วยอาร์เรย์แฟคเตอร์ E ซึ่งมีค่าดังนี้

$$E = \left(\sin \frac{90^\circ}{n} \right) \frac{\sin \left(\frac{n\psi}{2} \right)}{\sin \left(\frac{\psi}{2} \right)} \cos \phi$$

และ
$$\psi = 360^\circ \left[S_z (1 - \cos \phi) + \left(\frac{1}{2n} \right) \right]$$

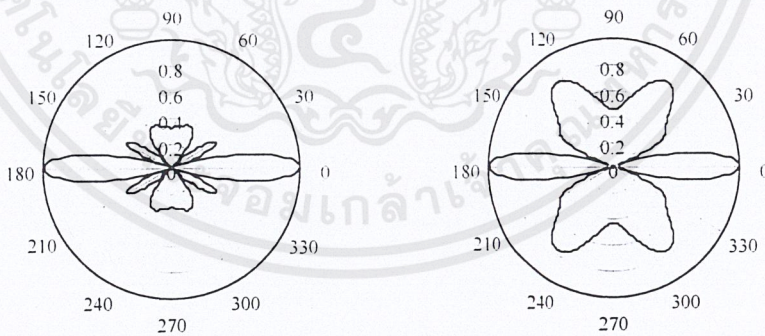
เมื่อใช้โปรแกรม MathCAD 2000 วิเคราะห์จะได้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในทิศแนวแกน ϕ ดังนี้



รูปที่ 3.9 แสดงสนามไฟฟ้า $E_{\theta r}$ และ $E_{\phi r}$ ตามลำดับของเฮลิคซ์ 5 รอบที่มีมุมพิตช์ 13°

นำเฮลิคซ์จำนวน 10 รอบ ที่ได้นำมาทำเป็นอาร์เรย์วงกลมที่มีรัศมีของอาร์เรย์เท่ากับ $\lambda + \frac{\lambda}{4} = 0.125$ เมตร ซึ่งมีอาร์เรย์แฟคเตอร์ AF ตามบทที่ 2 เป็นดังนี้

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N I_n e^{jka(\cos \theta - \cos \theta_n)} = \sum_{n=1}^N I_n e^{jkr_n(\cos \phi_n - \hat{z})}$$

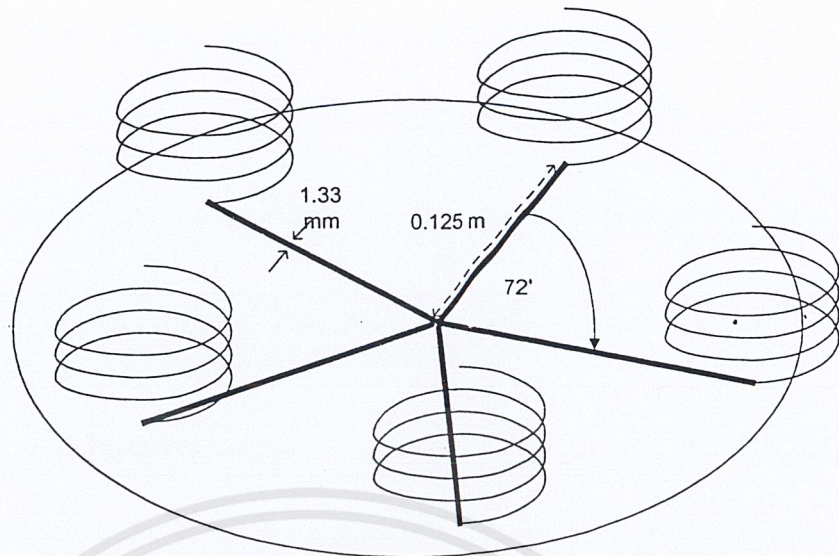


รูปที่ 3.10 แสดงแบบรูปของอาร์เรย์แฟคเตอร์ 5 เlemenที่ที่ระนาบ xz และ yz ตามลำดับ

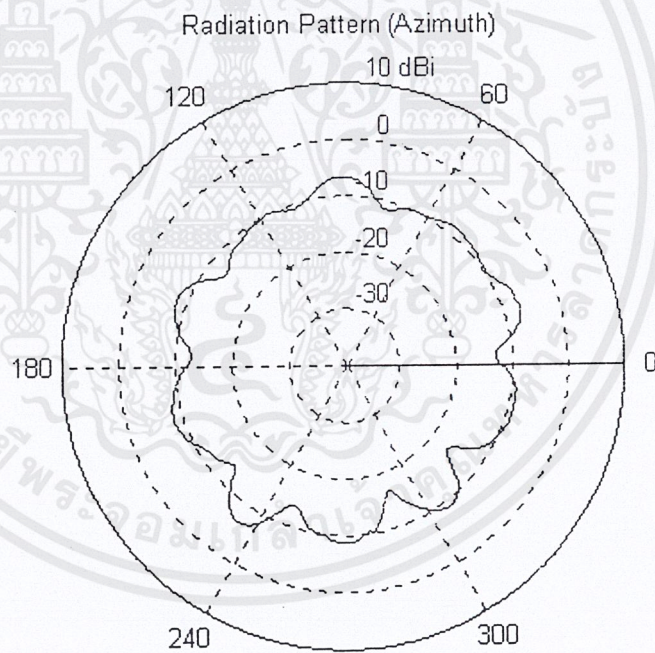
ดังนั้น ผลรวมของสนามไฟฟ้าของอาร์เรย์แบบวงกลมของเฮลิคซ์แบบ 10 ขด จำนวน 5 เlemenที่จะเท่ากับสนามไฟฟ้าของเฮลิคซ์ 10 ขด จำนวน 1 เlemenที่คูณด้วยอาร์เรย์แฟคเตอร์ของอาร์เรย์แบบวงกลม

จากนั้นสร้างเฮลิคซ์แบบ 10 ขดที่มีมุมพิตช์ 13° และมีพารามิเตอร์ต่างๆตามที่กำหนดไว้ข้างต้น มาประกอบกันเป็นอาร์เรย์แบบวงกลม โดยนำมาประกอบเข้ากับสายส่งแบบไมโครสตริป แล้วทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

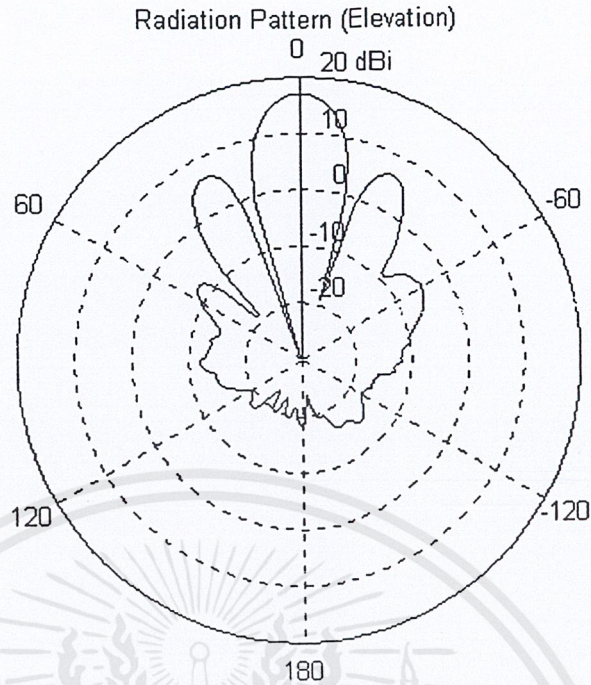


รูปที่ 3.11 แสดงการเชื่อมต่อเฮลิคซ์ทั้ง 5 เอลิเมนต์ บนไมโครสตริป จากนั้นใช้โปรแกรม SuperNEC ทำการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดและระนาบมุมยก จะได้ผลออกมาเป็นดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.12 แสดงรูปจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบมุมกวาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงรูปจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบมุมยก ต่อมาใช้โปรแกรม MathCAD คำนวณหาค่าชี้ทิศทาง เนื่องจากสายอากาศเฮลิคซ์ที่สร้างขึ้นมีโพลาริเซชันแบบวนขวา ดังนั้นจะสามารถหา E_{CO} และ E_{CROSS} ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$E_{Co}(\phi) = \frac{E_{\theta T}(\phi) + E_{\phi T}(\phi)}{\sqrt{2}}$$

$$E_{Cross}(\phi) = \frac{E_{\theta T}(\phi) - E_{\phi T}(\phi)}{\sqrt{2}}$$

และจากสูตรกำลังของการแพร่กระจายคลื่น

$$P_{rad} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} (|E_{Co}(\phi)|^2 + |E_{Cross}(\phi)|^2) \sin\theta \, d\theta \cdot d\phi$$

จะได้

$$P_{rad} = 51.943 \text{ วัตต์}$$

ดังนั้น ค่าการชี้ทิศทางจะเท่ากับ

$$D_{Co} = \frac{4\pi (|E_{Co}(\phi_{max})|)^2}{P_{rad}}$$

ซึ่ง $\phi_{max} = 0$ องศา แทนค่าลงไป จะได้

$$D_{Co} = \frac{4\pi (|E_{Co}(0)|)^2}{P_{rad}} = 43.826$$

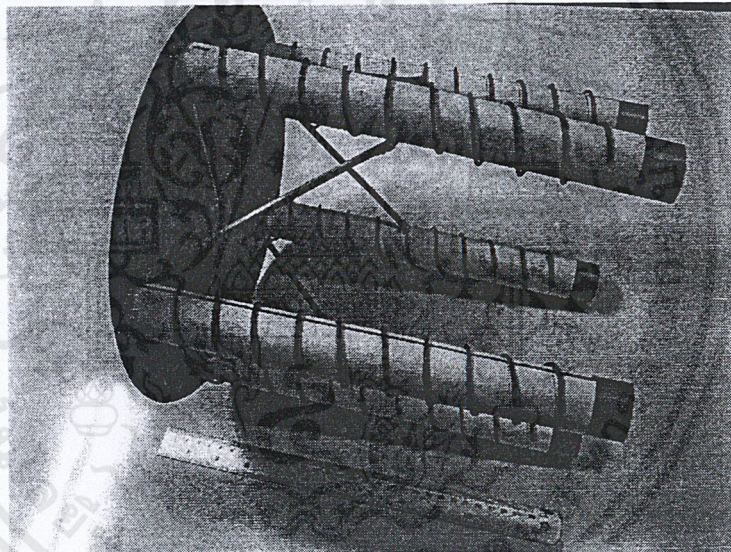
$$10\log(D_{Co}) = 16.417 \text{ dBi}$$

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 วิธีการทดลอง

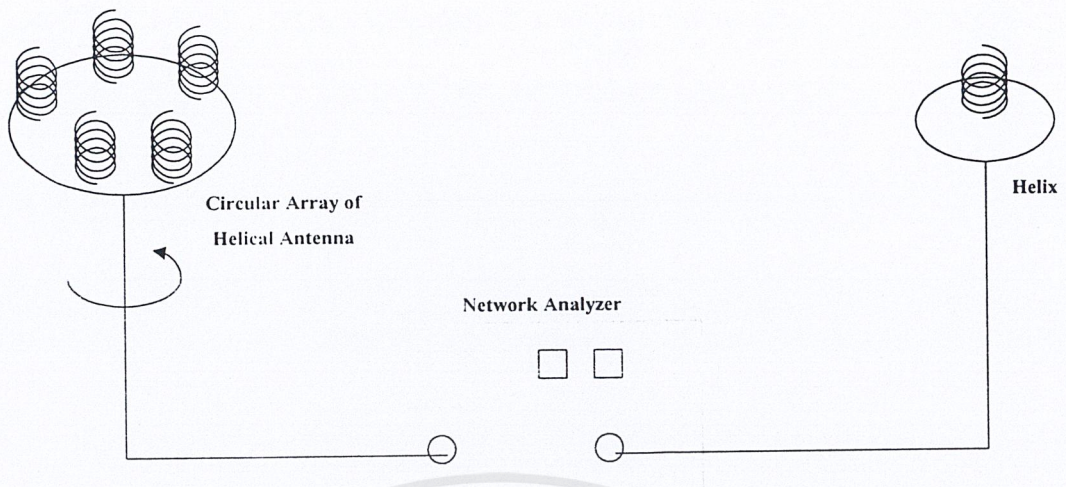
โดยการนำเส้นลวดทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตรมาทำเป็นขดลวดแบบหมูนวนทางขวาที่มีมุมพิทช์ 13° และเส้นรอบวงเท่ากับ 10 เซนติเมตร (เท่ากับความยาวคลื่นของความถี่ 3 GHz) จำนวน 10 รอบทั้งสิ้น 5 อันวางบนปลายของไมโครสตริปห้าแฉกที่ทำมาจากแผ่นพีซีบี (Print Circuit Board) แบบสองหน้าขนาดความกว้างของสตริป 1.33 มิลลิเมตร ยาว 12.5 เซนติเมตร แต่ละเส้นทำมุมกัน 72° และใช้ท่อพีวีซี (Polyvinylchloride Pipe) เป็นแกนยึดเฮลิคซ์เข้ากับแผ่นพีซีบี จากนั้นเชื่อมปลายด้านหนึ่งของเฮลิคซ์เข้ากับไมโครสตริป แล้วติดตัวเชื่อมต่อแบบ N เข้าทางด้านล่างของแผ่นพีซีบี (ด้านที่ทำหน้าที่เป็นกราวด์เพลน) สายอากาศแถวลำดับวงกลมแบบเกลียวที่สร้างขึ้นเสร็จแล้วแสดงดังในรูป



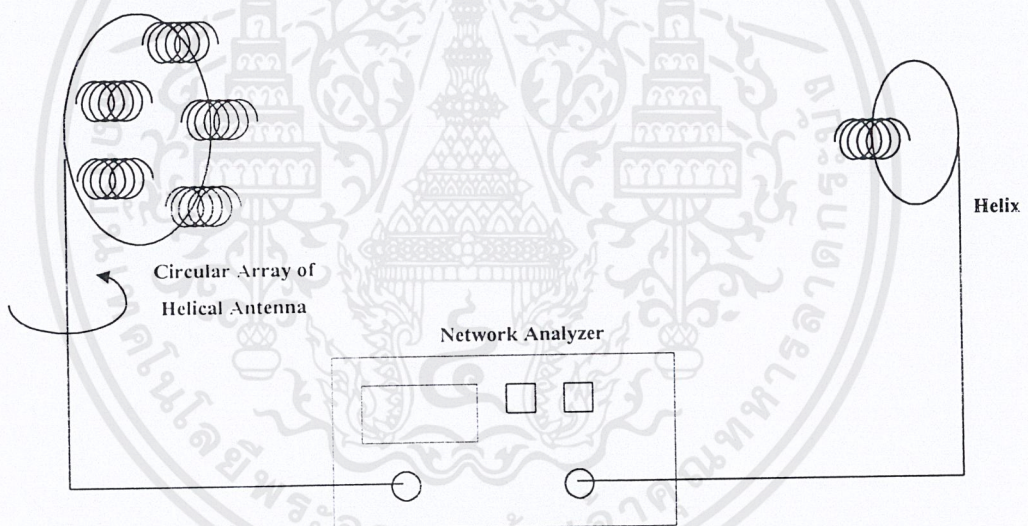
รูปที่ 4.1 แสดงสายอากาศอาร์เรย์ของเฮลิคซ์ที่สร้างขึ้นมา

จากนั้นนำสายอากาศที่ได้ไปวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ลอการิทึมของแมกนิจูด อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) ส่วนการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะวัดโดยใช้สายอากาศเฮลิคซ์เส้นรอบวงขนาด 10 รอบ ที่มีมุมพิทช์ 13° หมุนวนทางขวาเป็นตัวส่งคลื่นต่อเข้ากับพอร์ทของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ในขณะที่ต่อสายอากาศอาร์เรย์ของเฮลิคซ์เข้ากับอีกพอร์ทหนึ่งของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย แล้วทำการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาด และระนาบมุมยก โดยมีแผนผังการวัดแสดงดังในรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงแผนผังการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาด



รูปที่ 4.3 แสดงแผนผังการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยก

โดยที่ระยะห่างของสายอากาศทั้งสองตัวสามารถคำนวณได้จาก สูตรอาณาบริเวณสนามระยะไกล (Far Field Region)

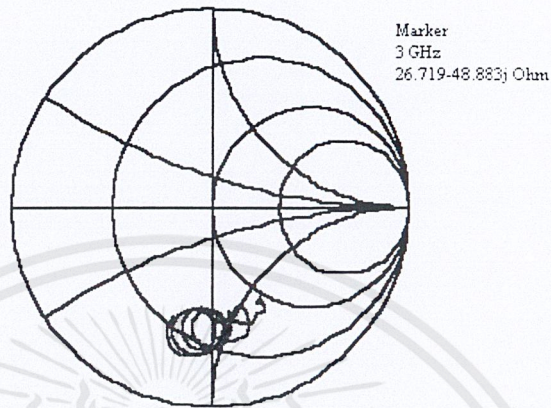
$$R = \frac{2D^2}{\lambda}$$

เมื่อ R เป็นระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสอง และ D เป็นมิติที่ใหญ่ที่สุดของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

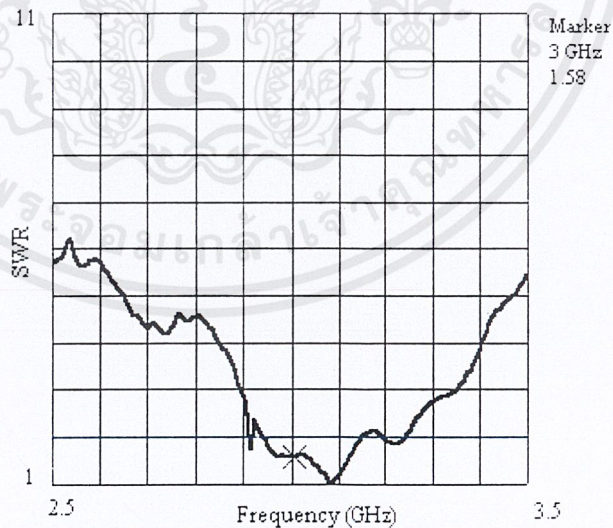
4.2 ผลการทดลอง

หลังจากทำการวัดค่าต่างๆ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ได้ผลออกมาเป็นดังต่อไปนี้
ค่าต่างๆของสายอากาศเฮลิคซ์ 1 เอเลเมนต์



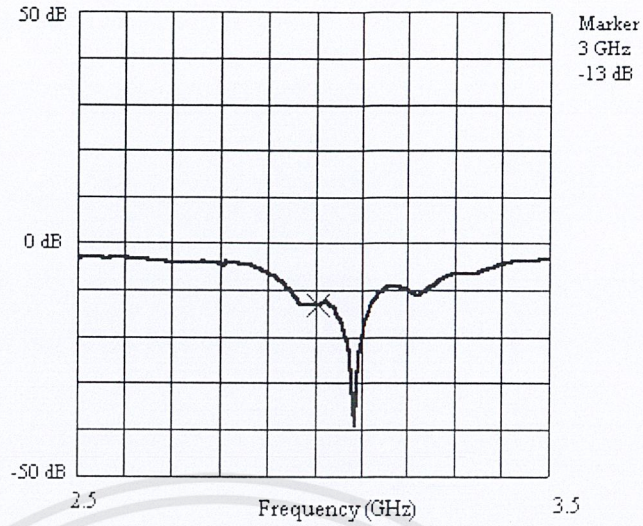
รูปที่ 4.4 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ที่แสดงบนสมิทชาร์ตของสายอากาศ 1 เอเลเมนต์

ค่าต่างๆของสายอากาศเฮลิคซ์ที่ใช้เป็นตัวส่ง

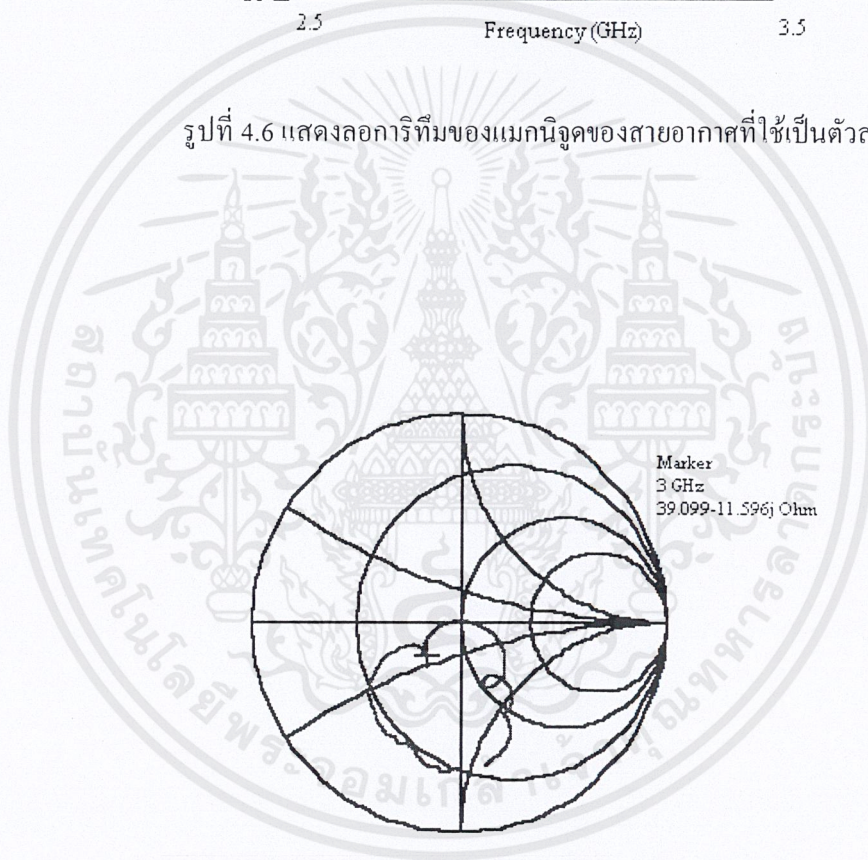


รูปที่ 4.5 แสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศที่ใช้เป็นตัวส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



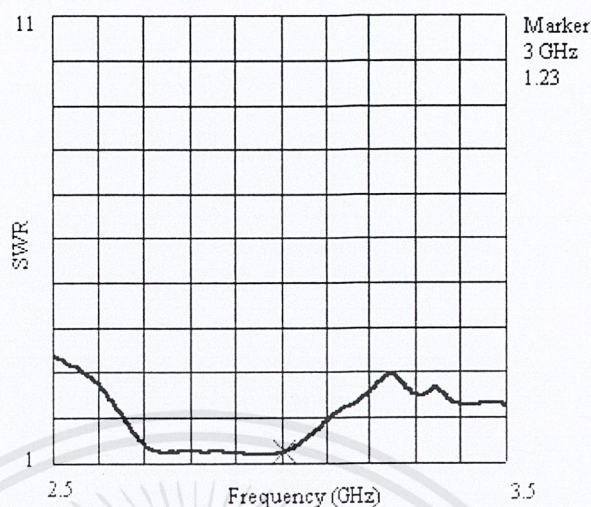
รูปที่ 4.6 แสดงลอการิทึมของแมกนิจูดของสายอากาศที่ใช้เป็นตัวส่ง



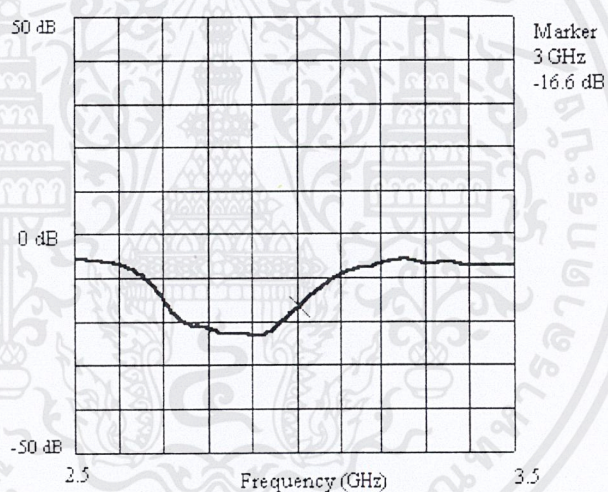
รูปที่ 4.7 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ที่แสดงบนสมิทชาร์ตของสายอากาศที่ใช้เป็นตัวส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

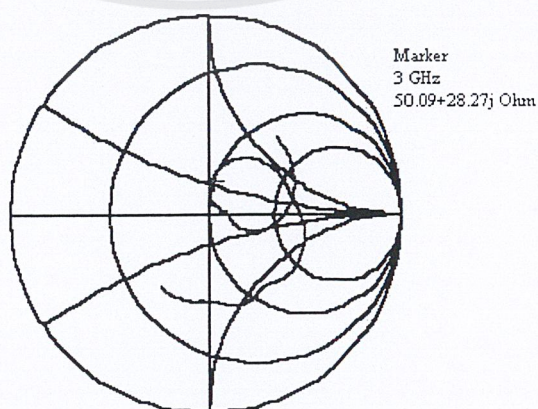
ค่าต่างๆและแบบรูปของสายอากาศอาร์เรย์แบบวงกลม 5 เlemenต์



รูปที่ 4.8 แสดงอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศอาร์เรย์ 5 เlemenต์

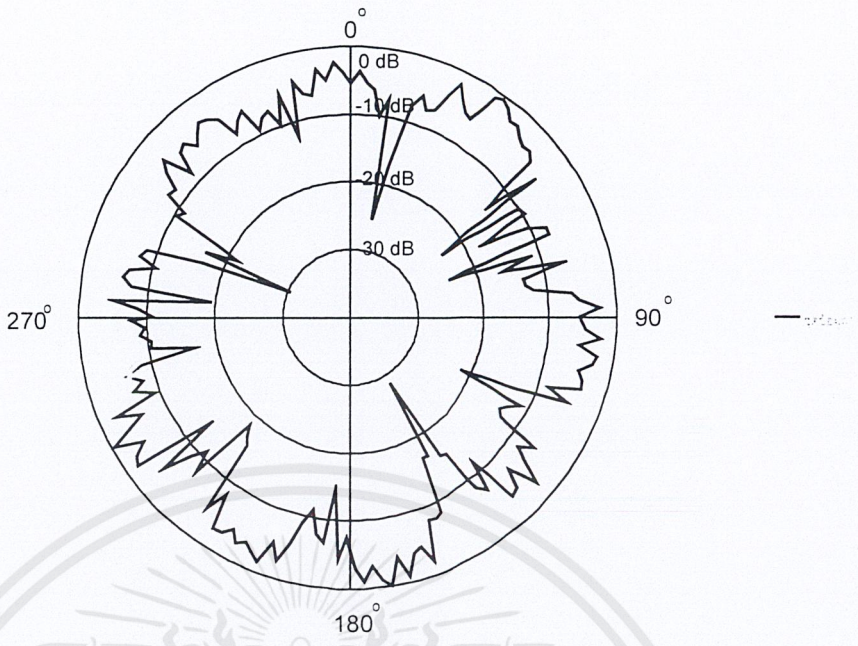


รูปที่ 4.9 แสดงลอการิทึมของแมกนิจูดของสายอากาศอาร์เรย์ 5 เlemenต์

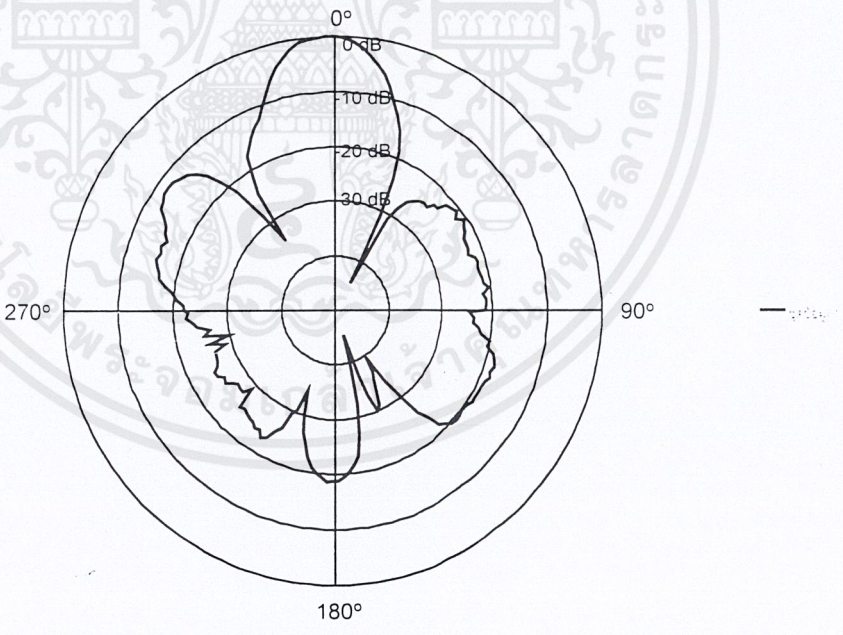


รูปที่ 4.10 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศอาร์เรย์ 5 เlemenต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

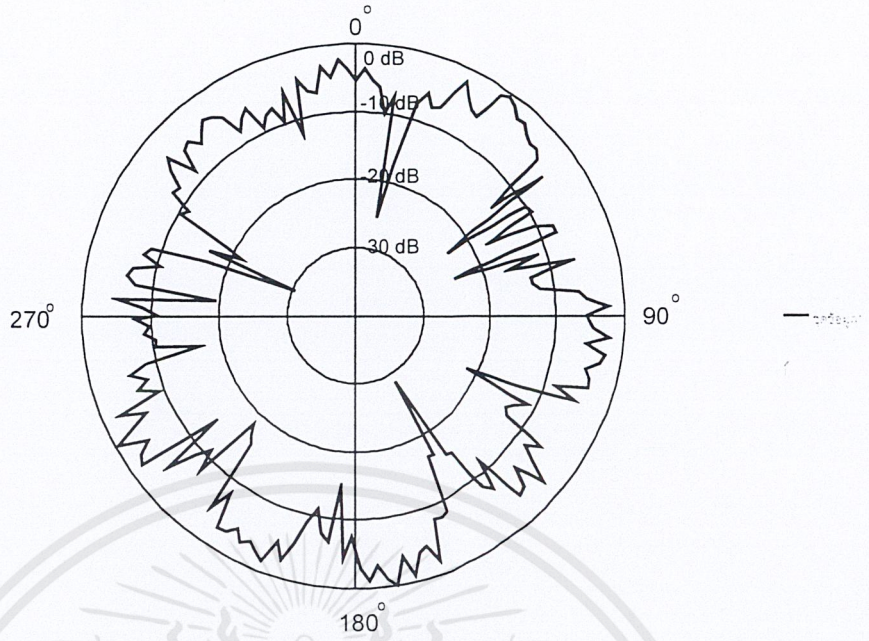


รูปที่ 4.11 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เlemenที่ที่ความถี่ 2.5 GHz

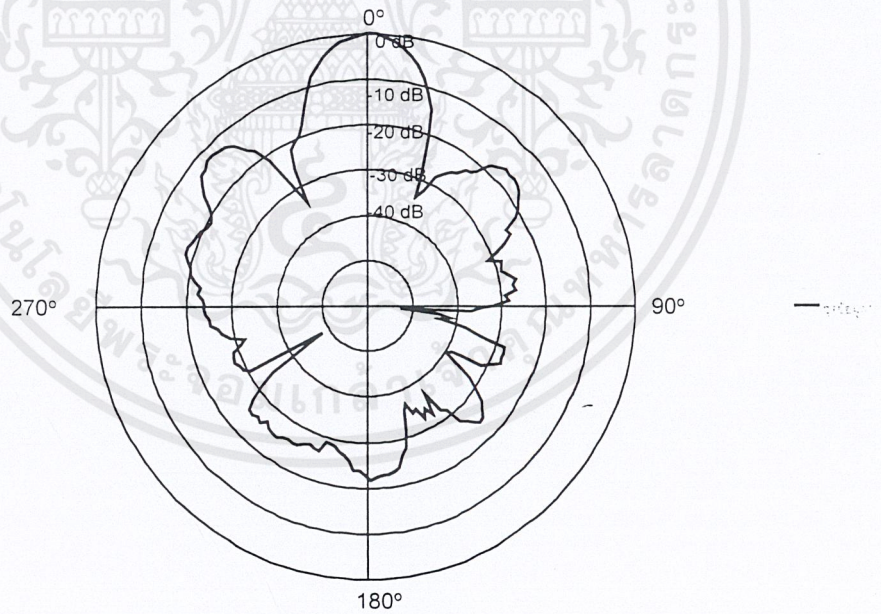


รูปที่ 4.12 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เlemenที่ที่ความถี่ 2.5 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

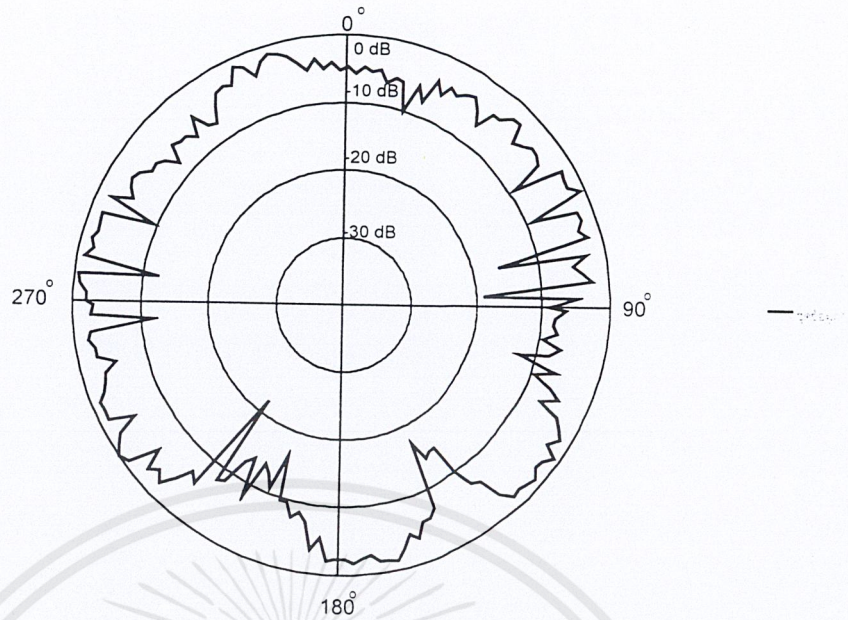


รูปที่ 4.13 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เอลเมนที่ที่ความถี่ 2.6 GHz

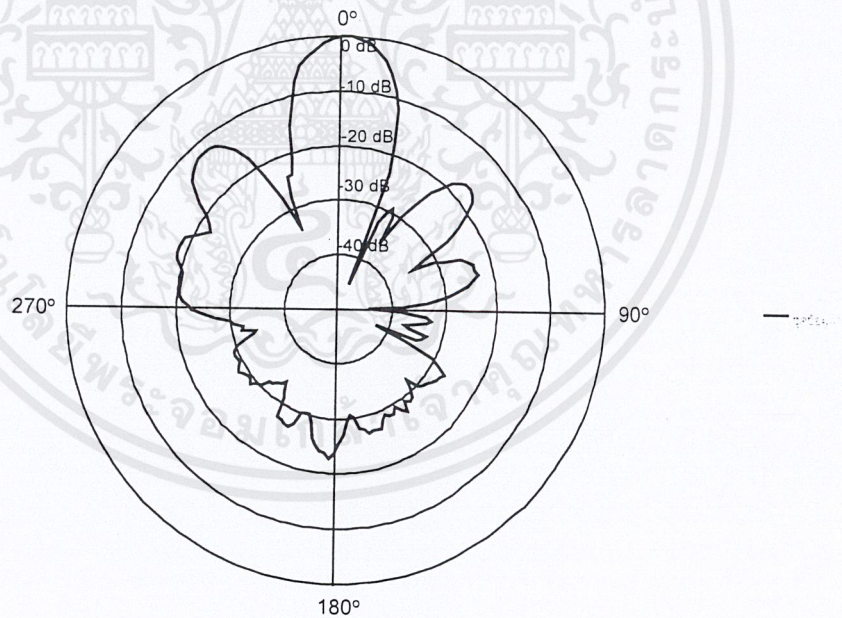


รูปที่ 4.14 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เอลเมนที่ที่ความถี่ 2.6 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

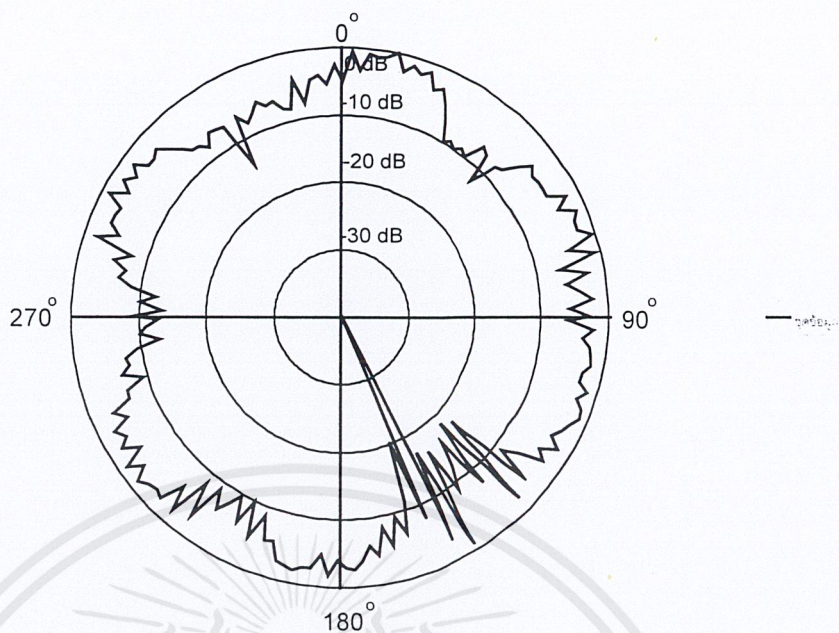


รูปที่ 4.15 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เอlemenท์ที่ความถี่ 2.7 GHz

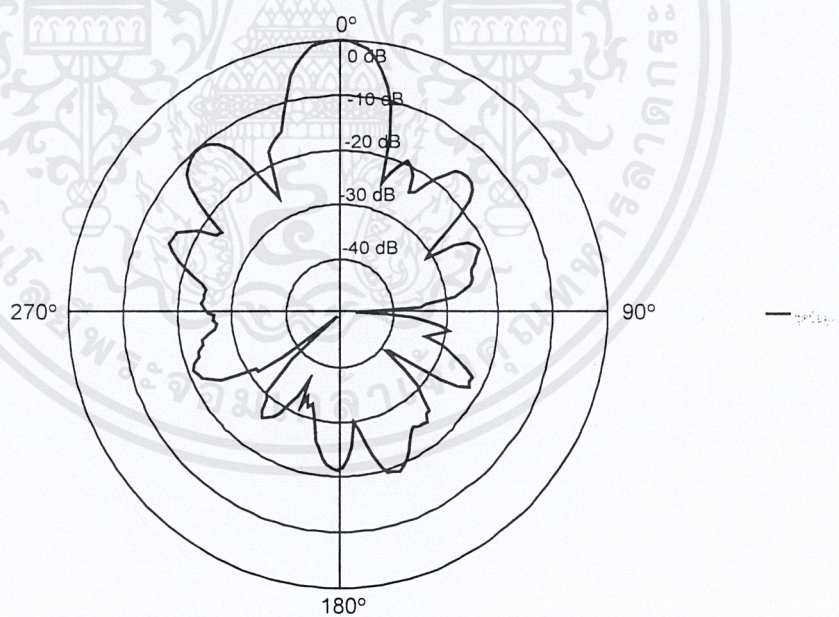


รูปที่ 4.16 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เอlemenท์ที่ความถี่ 2.7 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

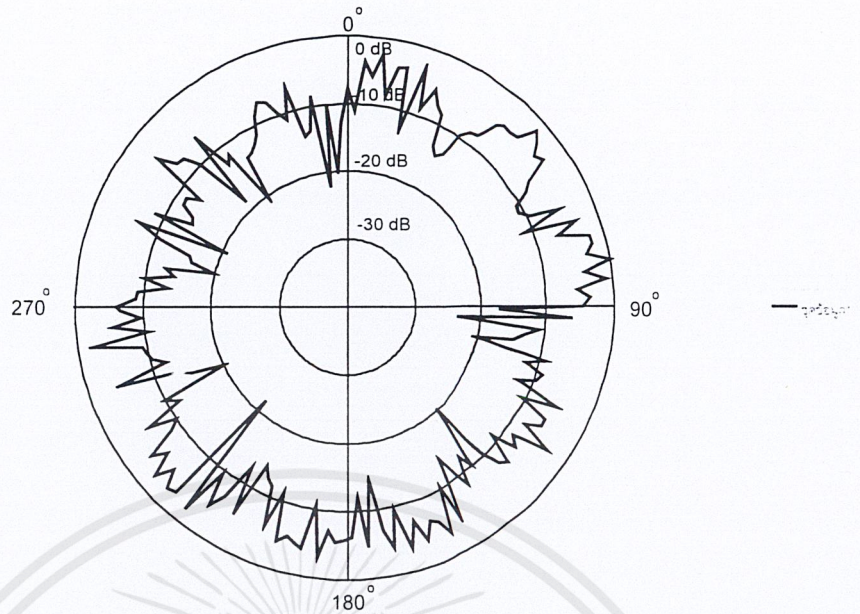


รูปที่ 4.17 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เlemen ที่ที่ความถี่ 2.8 GHz

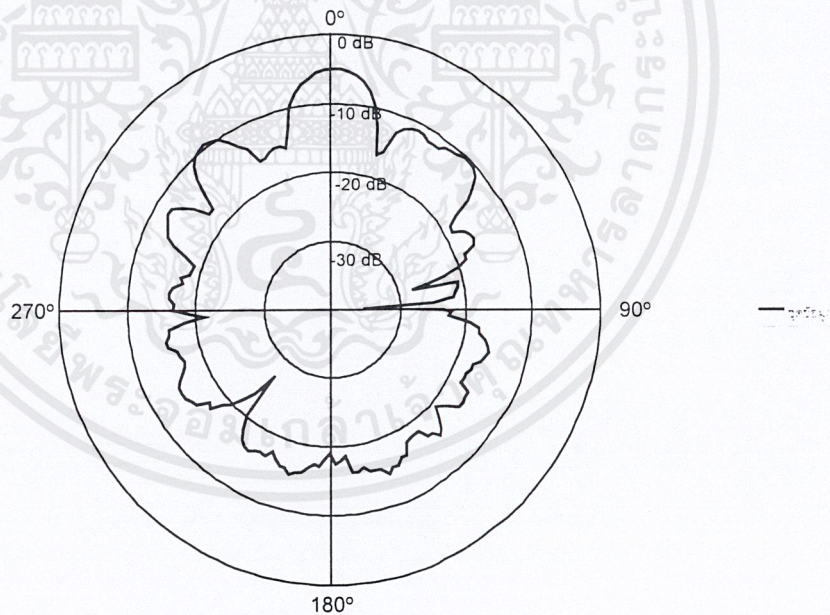


รูปที่ 4.18 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เlemen ที่ที่ความถี่ 2.8 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

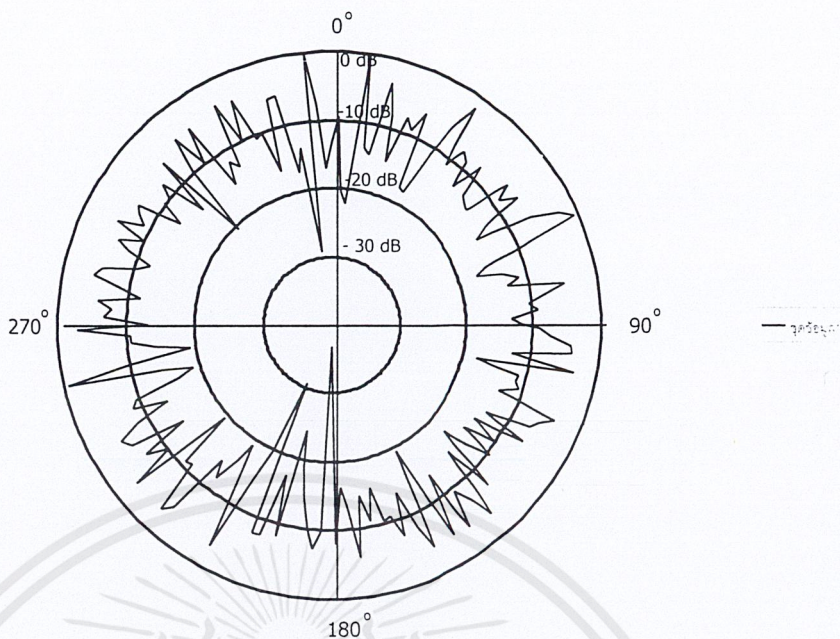


รูปที่ 4.19 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เอลิเมนต์ที่มีความถี่ 2.9 GHz

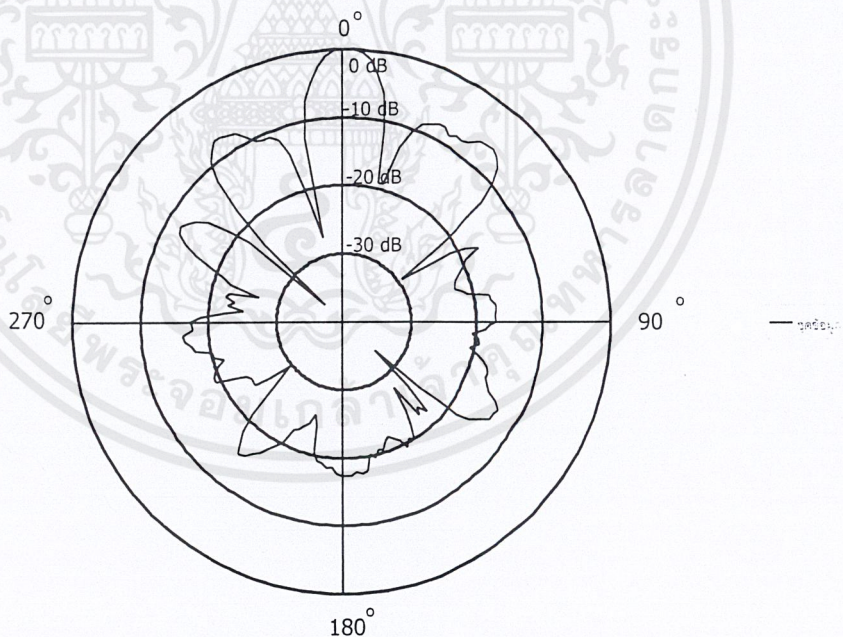


รูปที่ 4.20 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เอลิเมนต์ที่มีความถี่ 2.9 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

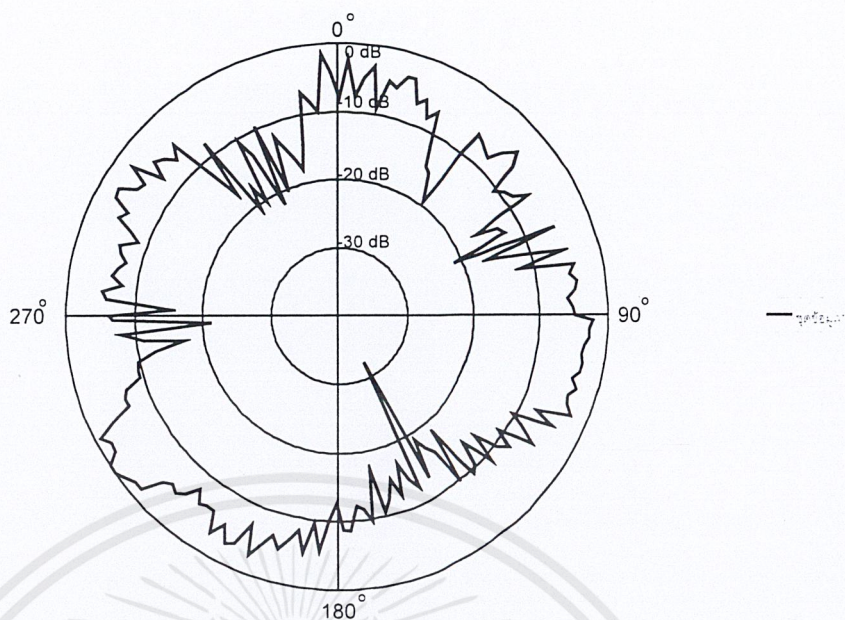


รูปที่ 4.21 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เlemen ที่ที่ความถี่ 3.0 GHz

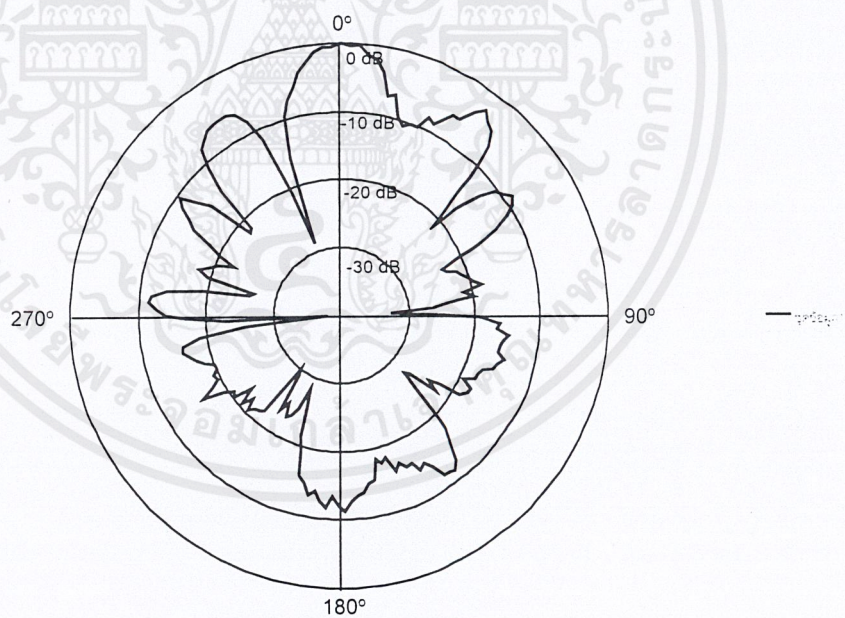


รูปที่ 4.22 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เlemen ที่ที่ความถี่ 3.0 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

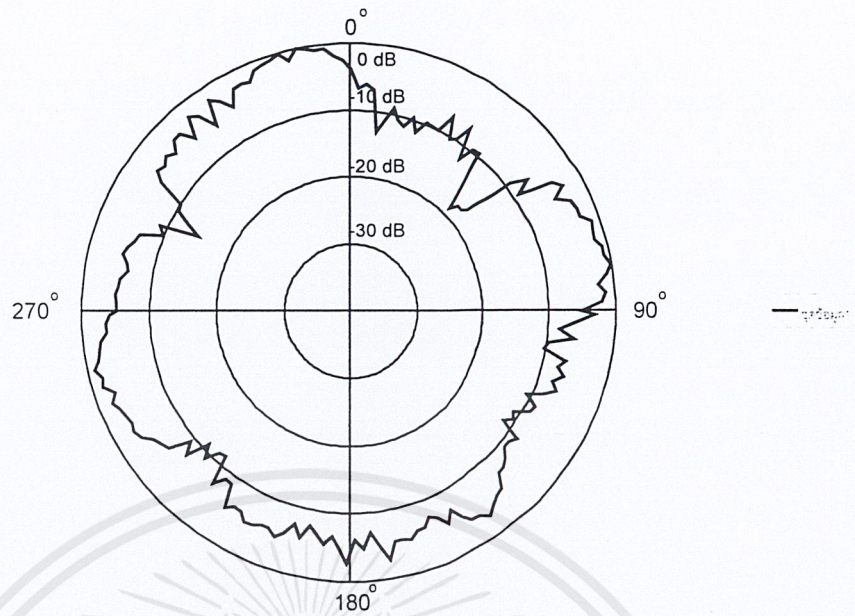


รูปที่ 4.23 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เอlemenต์ที่ความถี่ 3.1 GHz

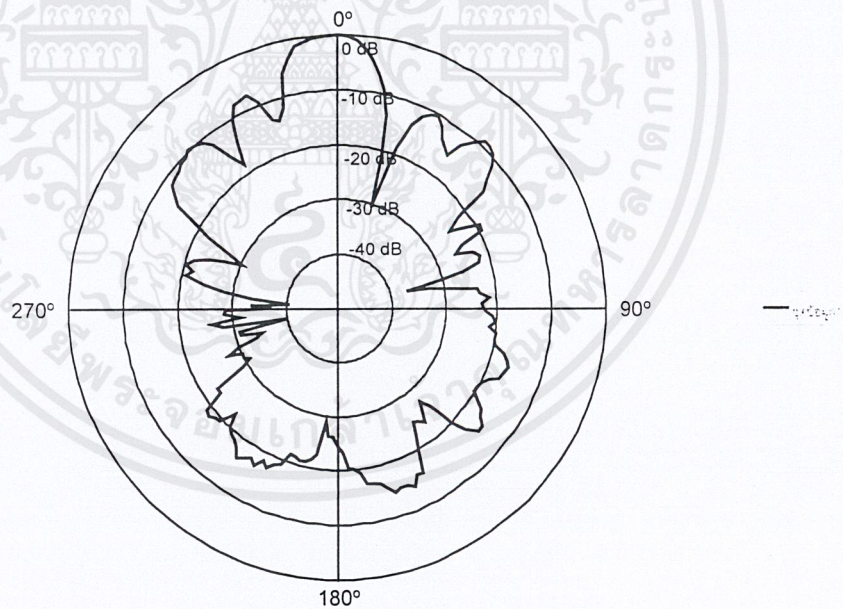


รูปที่ 4.24 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เอlemenต์ที่ความถี่ 3.1 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

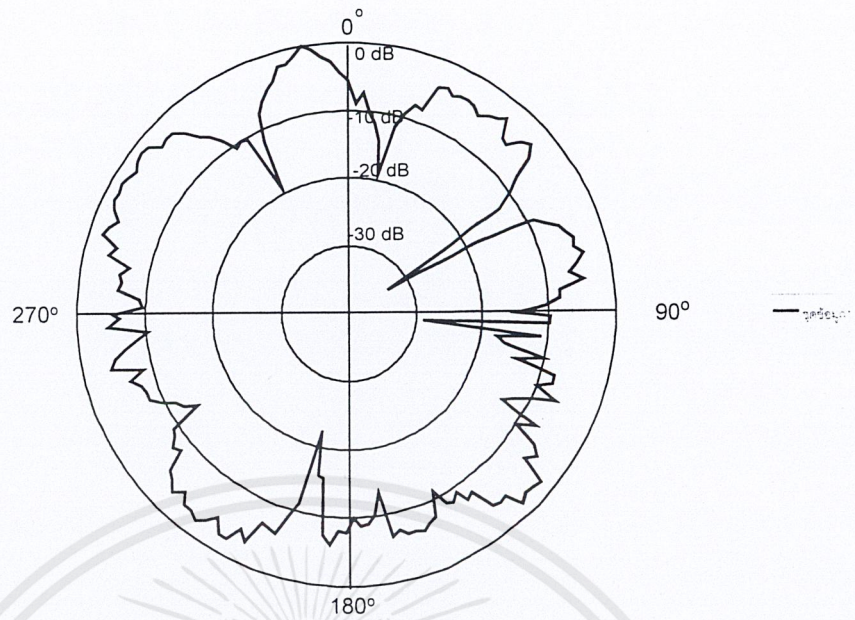


รูปที่ 4.25 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เlemen ที่ที่ความถี่ 3.2 GHz

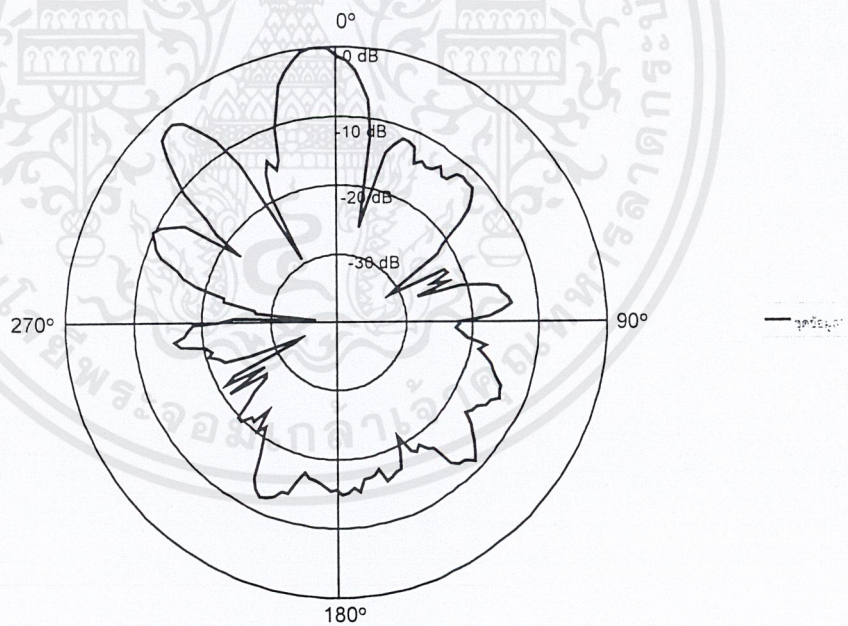


รูปที่ 4.26 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เlemen ที่ที่ความถี่ 3.2 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

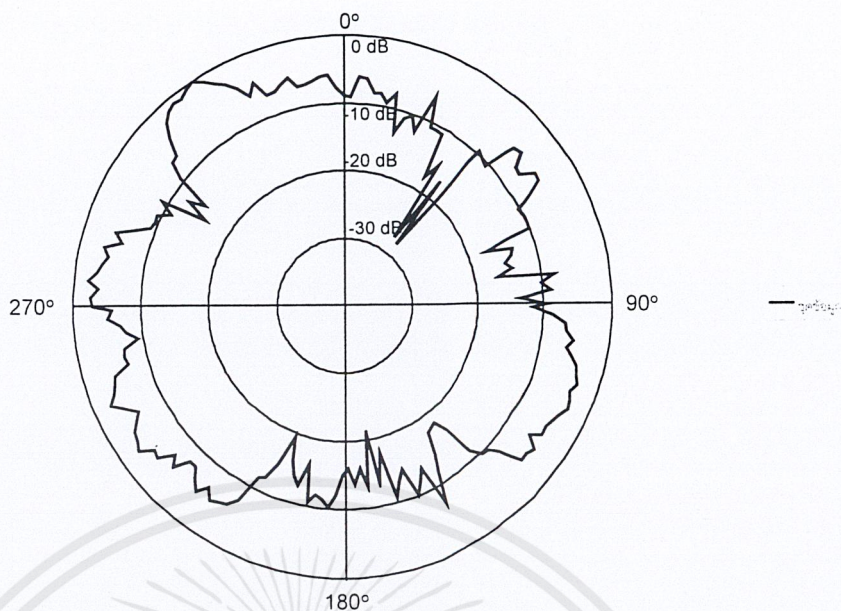


รูปที่ 4.27 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เlemen ที่ที่ความถี่ 3.3 GHz

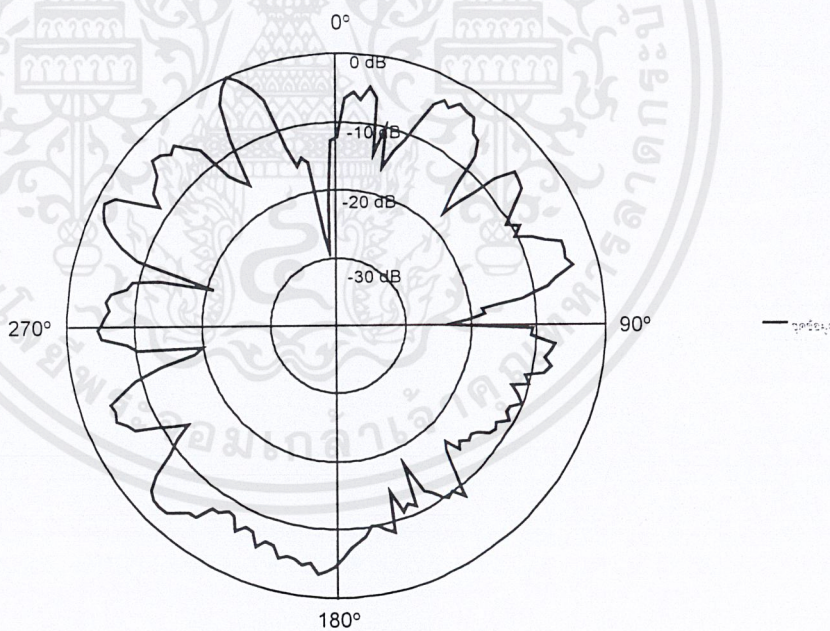


รูปที่ 4.28 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกของอาร์เรย์ 5 เlemen ที่ที่ความถี่ 3.3 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

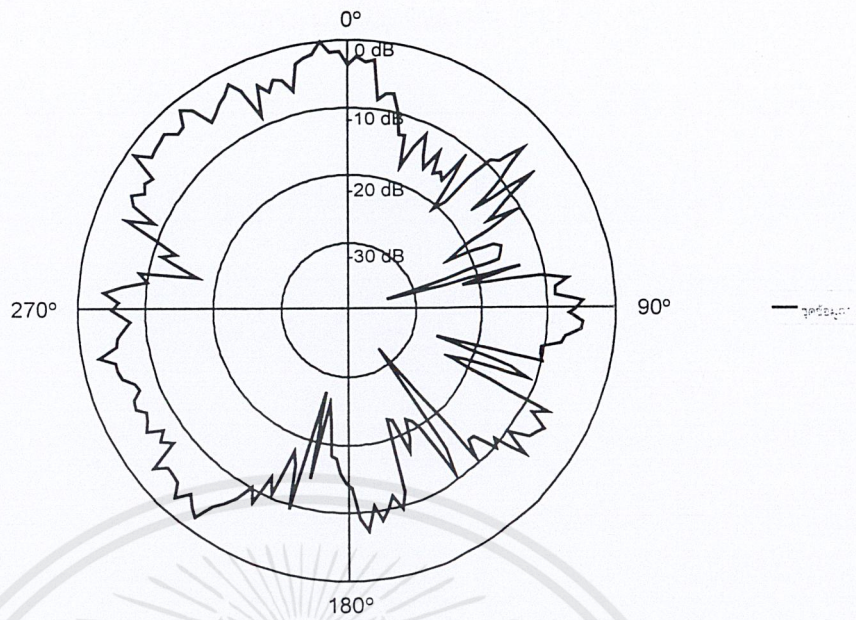


รูปที่ 4.29 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เlemen ที่ความถี่ 3.4 GHz

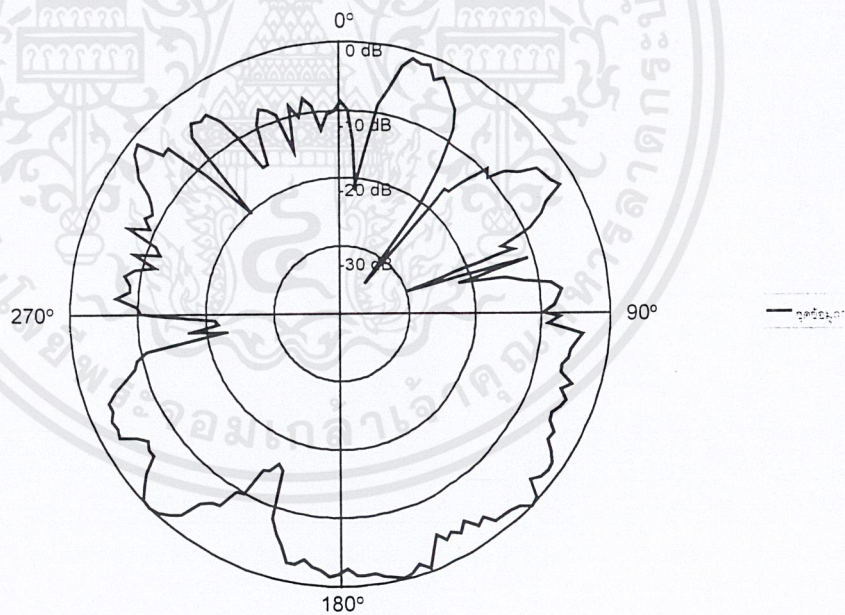


รูปที่ 4.30 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เlemen ที่ความถี่ 3.4 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

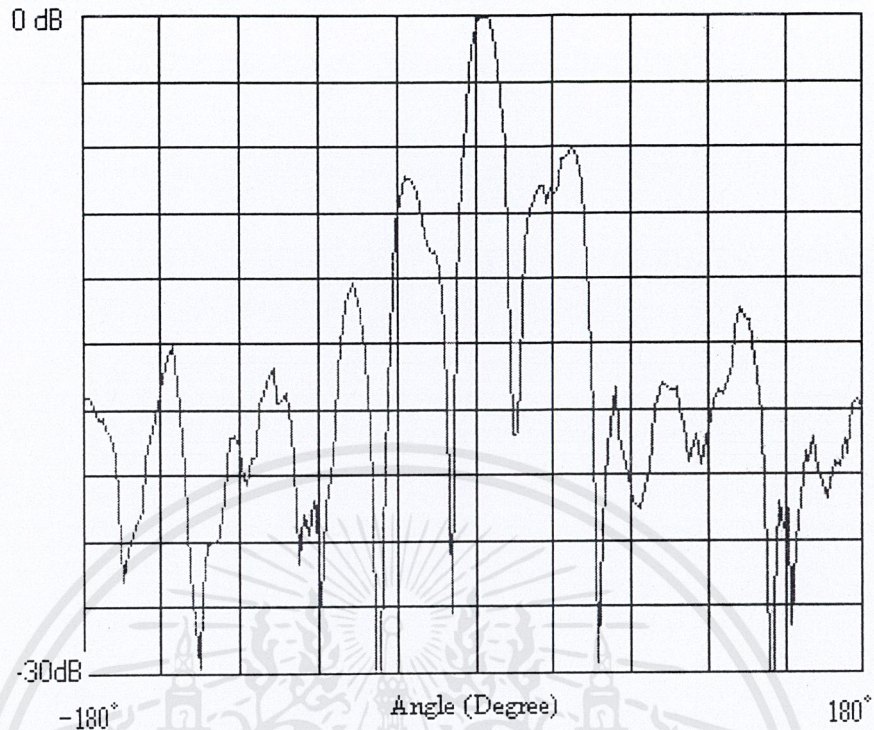


รูปที่ 4.01 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เlemen ที่ที่ความถี่ 3.5 GHz



รูปที่ 4.32 แสดงการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของอาร์เรย์ 5 เlemen ที่ที่ความถี่ 3.5 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นระนาบมุมยกในพิกัดเชิงเส้นที่ 3 GHz

จากรูปที่ 4.33 สามารถหาค่าฮิลฟ์พาวเวอร์บีมวิดท์ ได้เท่ากับ 15 องศาและสามารถหาค่าการขยายได้จากสมการของฟรีส (Friis Transmission Formula) โดยที่นำสายอากาศเฮลิคซ์แบบเดี่ยว 10 ขด ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันนำมาหาค่าการขยายก่อน

$$P_r - P_t = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) + 2G \quad (dB)$$

โดยที่ $P_r - P_t = -35.089 dB$ และ R เป็นระยะทางจากตัวส่งถึงตัวรับเท่ากับ 1.8 เมตร

จะได้ค่าการขยายของเฮลิคซ์เดี่ยวแบบ 10 ขด $G = 6 dBi$ และนำไปหาค่าการขยายของอาร์เรย์เฮลิคซ์ดังนี้

$$P_r - P_t = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) + G_t + G_r \quad (dB)$$

โดยที่ $P_r - P_t = -29.809 dB$ และ $G_t = 6 dBi$

จะได้ว่า $G_r = 11.28 dBi$

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุป

โครงการฉบับนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศแถวลำดับวงกลมแบบเกลียว โดยใช้ทองแดงเป็นเส้นลวดตัวนำ ทำงานที่ความถี่ 3000 MHz มีโพลาริเซชันแบบวงกลมวนทางขวา แล้วทำการวัดพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อคุณสมบัติของสายอากาศ เช่น อิมพีแดนซ์ขาเข้า ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ค่าการรบกวนของแมกนิจูด แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมยกและระนาบมุมกวาด สังเกตได้ว่าเมื่อนำเฮลิคซ์มาประกอบกันเข้าเป็นอาร์เรย์ มีผลทำให้ค่าการชี้ทิศทางสูงขึ้น และทำให้ฮัลฟพาวเวอร์บีมิวิตลดลง ในขณะที่ลำคลื่นของโลบข้างนั้นสูงขึ้นตามไปด้วย และในขณะเดียวกันการเปลี่ยนความเร็วเฟสของสายอากาศ หรือการเปลี่ยนความยาวเส้นรอบวงต่อความยาวคลื่น (C_λ) ก็มีผลทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเปลี่ยนไป โดยที่ความเร็วเฟสที่ทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีโลบข้างต่ำควรอยู่ในช่วง 0.76 ถึง 0.834

5.2 ข้อจำกัดในการสร้างสายอากาศ

หลังจากที่ได้ออกแบบสายอากาศ ในขั้นตอนถัดไปซึ่งมีความสำคัญไม่น้อยกว่าการคำนวณ และการออกแบบก็คือการสร้างชิ้นงาน เพราะถึงแม้ว่าการคำนวณจะทำได้ดีหรือละเอียดเพียงใด ในการสร้างก็ยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ถึงแม้จะพยายามควบคุมค่าต่างๆมาแล้วก็ตาม ซึ่งจะมีตัวอย่างเช่น ระยะจากแผ่นตัวนำถึงขดแรกของเฮลิคซ์ ถ้าคลาดเคลื่อนไปจะมีผลทำให้ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งมีค่าสูงขึ้น และอิมพีแดนซ์ก็จะไม่เข้ากันกับสายโคแอกเชียลจึงต้องใช้วิธีแก้คือ เพิ่มแผ่นตัวนำขนาดเล็กและบางเข้าไปติดกับขดลวดในตำแหน่งที่เหมาะสม จะสามารถลดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งมีค่าต่ำลงได้ แต่เทคนิคนี้มีข้อเสียคืออาจทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีการคลาดเคลื่อนไปบ้างเล็กน้อย ส่วนขั้นตอนของการพันขดลวดบนแกนนั้น ค่อนข้างยากพอสมควรเพราะต้องทำให้มุมพิชมีขนาดคงที่ นอกจากนี้ในขั้นตอนของการวัดค่าต่างๆของสายอากาศ มีอุปสรรคทางด้านการสะท้อนของคลื่นต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ค่าที่วัดได้อาจมีความคลาดเคลื่อนไปบ้างเล็กน้อย

บรรณานุกรม

- [1] John D. Kraus; Antennas 2nd Edition; McGraw-Hill Inc; Singapore; 1988
- [2] Constantine A. Balanis; Antenna Theory 2nd Edition; John Wiley & Sons, Inc; Canada; 1997
- [3] บัณฑิต รัตนอารยานนท์; วิศวกรรมไมโครเวฟ; สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2536



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้