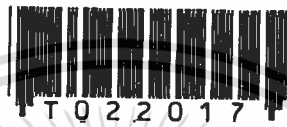


หนังสืออ้างอิง
ห้ามนำออกนอกห้องสมุด

ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์
บนผิวของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน
RADIATION CHARACTERISTICS OF A SLOT ARRAY
ON A CONCENTRIC CONDUCTING SPHERICAL CAVITY



นายพงศ์พัชร น้อยแรม
MR. PHONGPHAT NOIRAM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2537
ISBN 974-621-162-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

37
7

เลขที่.....
เลขทะเบียน.....22017.....
วัน, เดือน, ปี...1.5.S.A...2537

**RADIATION CHARACTERISTICS OF A SLOT ARRAY
ON A CONCENTRIC CONDUCTING SPHERICAL CAVITY**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
GRADUATED SCHOOL
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1994
ISBN 974-621-162-5**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของ

สายอากาศสลีตอาร์เรย์บนผิวของควาวิตี้ตัว
นำทรงกลมซ้อนกัน**นักศึกษา**

นายพงศ์พัชร น้อยแรม

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ.สมผล โกศลวิตร

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

ผศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์

ระดับการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชา

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

วิศวกรรมโทรคมนาคม

2537

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษา ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสลีตอาร์เรย์บนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน โครงสร้างของสายอากาศชนิดนี้จะเป็นสายอากาศสลีตอาร์เรย์ที่เจาะบนผิวนอกของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกันและใช้สนามภายในควาวิตี้เป็นตัวบ่งชี้คลื่นให้แก่สลีตแต่ละตัว การศึกษาเริ่มจากการคำนวณสนามภายในควาวิตี้แล้วจากนั้นจะอาศัยหลักการสนามสมมูลย์ เพื่อที่จะหากระแสที่กระจายบนปากสายอากาศสลีต การคำนวณลักษณะการแพร่กระจายคลื่น จะทำโดยการคำนวณหาศักดาเวกเตอร์ก่อนแล้วจึงคำนวณความเข้มสนามไฟฟ้าและหาไดเรคตีวิตี้ต่อไป หลังจากที่ทราบสนามภายในควาวิตี้และสนามที่แพร่กระจายจากสายอากาศสลีตตัวเดียวๆแล้ว ก็จะสามารถคำนวณสนามที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศอาร์เรย์ของสลีตบนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกันได้ ผลการทดลองสามารถยืนยันผลการคำนวณได้เป็นอย่างดี

Thesis Title	Radiation Characteristics of A Slot Array on a Concentric Conducting Spherical Cavity
Student	Mr. Phongphat Noiram
Thesis Advisor	Asst. Prof. Sompole Kosalvit
Thesis Co-advisor	Asst. Prof. Dr. Monai Krairiksh
Level of Study	Master of Engineering in Electrical Engineering
Department	Department of Telecommunications Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1994

ABSTRACT

Radiation characteristics of a Slot Array Antenna on a Concentric Conducting Spherical Cavity are presented in this thesis. The configuration of the antenna is an array of slots cut on an outer surface of a concentric conducting spherical cavity. These slots are excited by the field inside the cavity. Investigations are performed by evaluating the field inside the cavity first, next the field equivalent principle is employed to calculate the current density that distributes across the slot aperture. Then, the radiated fields and directivity can be calculated via the vector potentials. As the field inside the cavity and the field radiated from the slot are known, the radiation characteristics of a slot array antenna are finally evaluated. Experimental results confirmed the analytical once.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาจากอาจารย์
ไมโนย ไกรฤกษ์ และอาจารย์สมผล โกศลวิตร ที่ท่านได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้และได้ให้
คำแนะนำตลอดมาทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์

ขอขอบคุณคุณวิรัช เลิศบุษราคาม ที่ช่วยตรวจทานและแก้ไขโปรแกรมและขอ
ขอบคุณคุณฉัตรดาว จุฑาคุปต์ ที่ช่วยพิมพ์งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเป็นรูปเล่มขึ้นมาได้
สุดท้ายนี้ขอขอบคุณมูลนิธิเพื่อการศึกษาคอมพิวเตอร์และการสื่อสารที่ได้มอบ
ทุนเพื่อการศึกษาตลอดระยะเวลาระหว่างการศึกษาระดับปริญญาโทและขอขอบคุณบัณฑิต
วิทยาลัยที่ได้มอบทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vi
สารบัญรูปภาพ	vii
คำอธิบายสัญลักษณ์	x
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์	2
1.3 โครงประกอบของวิทยานิพนธ์	2
บทที่ 2 คาวีตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน	4
2.1 บทนำ	4
2.2 การวิเคราะห์สนามภายในคาวีตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน	4
2.3 การออกแบบคาวีตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน	9
2.4 สรุป	11
บทที่ 3 ลักษณะการกระจายคลื่นของสายอากาศสลิตตัวเดียว	12
3.1 บทนำ	12
3.2 ทฤษฎี	12
3.3 สายอากาศสลิตที่วางนอนบนผิวของคาวีตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน	23
3.3.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบอะซิมุท	23
3.3.2 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบอีลีเวชัน	26
3.4 สายอากาศสลิตที่วางตั้งบนผิวของคาวีตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน	28
3.4.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบอะซิมุท	28
3.4.2 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบอีลีเวชัน	29
3.5 สายอากาศสลิตที่วางตามแนวโคจรบนผิวของคาวีตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน	30
3.5.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบอะซิมุท	31
3.5.2 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบอีลีเวชัน	40
3.6 สรุป	48

บทที่ 4	คุณสมบัติของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์บนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน	49
4.1	บทนำ	49
4.2	สนามลัพท์ที่แพร่กระจายจากสายอากาศสล็อตอาร์เรย์บนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน	49
4.3	สรุป	74
บทที่ 5	การคำนวณและการออกแบบสร้างสายอากาศสล็อตอาร์เรย์บนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน	75
5.1	บทนำ	75
5.2	การคำนวณและการออกแบบสายอากาศสล็อตตัวเดียวบนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน	75
5.3	การคำนวณและการออกแบบสายอากาศสล็อตอาร์เรย์บนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน	77
5.4	สรุป	83
บทที่ 6	การทดสอบและผลการทดสอบคุณสมบัติของระบบสายอากาศสล็อตอาร์เรย์บนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน	84
6.1	บทนำ	84
6.2	การวัดความถี่กำลังของควาวิตี้	84
6.3	การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น	85
6.3.1	รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสล็อตตัวเดียวบนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน	86
6.3.2	รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสล็อต 10 อีลีเมนต์จัดเรียงเป็นวงบนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน	87
6.4	สรุป	89
บทที่ 7	บทสรุปและวิจารณ์	90
	เอกสารอ้างอิง	93
	ภาคผนวก	95

สารบัญตาราง

- ตารางที่ 2.1 แสดงค่ามุม θ_c
- ตารางที่ 4.1 แสดงตำแหน่งและเฟสที่กำหนดให้แต่ละอีลีเมนต์ในแต่ละโหมด
- ตารางที่ 4.2 แสดงตำแหน่งและเฟสที่กำหนดให้แต่ละอีลีเมนต์ที่วางเรียงกันที่มุม $\alpha=30^\circ$ ในแต่ละโหมด
- ตารางที่ 4.3 แสดงตำแหน่งและเฟสที่กำหนดให้แต่ละอีลีเมนต์ในแต่ละวง
- ตารางที่ 5.1 แสดงจำนวนของอีลีเมนต์ที่ใช้



สารบัญรูปภาพ

- รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน
- รูปที่ 2.2 แสดงค่า $-\frac{B}{A}$ ที่เกิดจากค่า βr ต่างๆ
- รูปที่ 2.3 แสดงขนาดของสนามที่กระตุ้นสล็อตที่ตำแหน่งมุม θ ต่างๆ บนผิวภายนอกของควาวิตี
- รูปที่ 3.1 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ
- รูปที่ 3.2 แสดงองค์ประกอบของคิกดาเวคเตอร์ A
- รูปที่ 3.3 แสดงโคออร์ดิเนตแบบทรงกลม
- รูปที่ 3.4 แสดงองค์ประกอบของคิกดาเวคเตอร์ F
- รูปที่ 3.5 แสดงค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าเมื่อสล็อตวางเอียงทำมุมต่างๆ ระหว่าง E_0 ซึ่งอยู่ในทิศ a_θ และ E_ϕ ซึ่งอยู่ในทิศ a_ϕ
- รูปที่ 3.6 แสดงค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าเมื่อสล็อตเอียงทำมุมค่าๆ ระหว่าง E_0 ซึ่งอยู่ในทิศ a_θ และ E_ϕ ซึ่งอยู่ในทิศ a_ϕ
- รูปที่ 3.7 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสล็อตอยู่ที่ $\theta' = 30^\circ$
- รูปที่ 3.8 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสล็อตอยู่ที่ $\theta' = 45^\circ$
- รูปที่ 3.9 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสล็อตอยู่ที่ $\theta' = 60^\circ$
- รูปที่ 3.10 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ สล็อตยาว $\frac{\lambda}{2}$
- รูปที่ 3.11 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจากสล็อตตัวเดียวกับฟังก์ชัน $(\cos\theta)^8$
- รูปที่ 3.12 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสล็อตอยู่ที่ $\theta' = 30^\circ, 45^\circ$ และ 60°
- รูปที่ 3.13 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ เมื่อสล็อตยาว $\frac{\lambda}{2}$
- รูปที่ 3.14 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสล็อตอยู่ที่ $\theta' = 30^\circ$
- รูปที่ 3.15 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสล็อตอยู่ที่ $\theta' = 45^\circ$
- รูปที่ 3.16 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสล็อตอยู่ที่ $\theta' = 60^\circ$
- รูปที่ 3.17 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสล็อตอยู่ที่ $\theta' = 30^\circ$
- รูปที่ 3.18 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสล็อตอยู่ที่ $\theta' = 45^\circ$
- รูปที่ 3.19 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสล็อตอยู่ที่ $\theta' = 60^\circ$
- รูปที่ 3.20 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสล็อตอยู่ที่ $\theta' = 30^\circ$
- รูปที่ 3.21 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสล็อตอยู่ที่ $\theta' = 45^\circ$

- รูปที่ 3.22 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสลิตอยู่ที่ $\theta'=60^\circ$
- รูปที่ 3.23 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสลิตอยู่ที่ $\theta'=30^\circ$
- รูปที่ 3.24 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสลิตอยู่ที่ $\theta'=45^\circ$
- รูปที่ 3.25 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสลิตอยู่ที่ $\theta'=60^\circ$
- รูปที่ 3.26 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสลิตอยู่ที่ $\theta'=30^\circ$
- รูปที่ 3.27 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสลิตอยู่ที่ $\theta'=45^\circ$
- รูปที่ 3.28 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสลิตอยู่ที่ $\theta'=60^\circ$
- รูปที่ 3.29 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ เมื่อสลิตยาว $\frac{\lambda}{2}$
- รูปที่ 3.30 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ
- รูปที่ 3.31 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ
- รูปที่ 3.32 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ
- รูปที่ 3.33 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ
- รูปที่ 3.34 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ
- รูปที่ 3.35 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ
- รูปที่ 3.36 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ
- รูปที่ 4.1 แสดงระบบพิกัดของอาร์เรย์ทรงกลม
- รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ของสายอากาศอาร์เรย์ 5 อีลีเมนต์
- รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ระนาบ $\phi=0^\circ$
- รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ระนาบ $\phi=90^\circ$
- รูปที่ 4.5 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ของสายอากาศอาร์เรย์ 10 อีลีเมนต์ ระนาบ $\phi=0^\circ$ เมินิมอยู่ที่มุม -20°
- รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ของสายอากาศอาร์เรย์ 10 อีลีเมนต์ ระนาบ $\phi=0^\circ$ เมินิมอยู่ที่มุม -10°
- รูปที่ 4.7 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ของสายอากาศอาร์เรย์ 10 อีลีเมนต์ ระนาบ $\phi=0^\circ$ เมินิมอยู่ที่มุม 0°
- รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ของสายอากาศอาร์เรย์ 10 อีลีเมนต์ ระนาบ $\phi=0^\circ$ เมินิมอยู่ที่มุม 10°
- รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ของสายอากาศอาร์เรย์ 10 อีลีเมนต์ ระนาบ $\phi=0^\circ$ เมินิมอยู่ที่มุม 20°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ของสายอากาศอาร์เรย์ 10 อีลีเมนต์ ระบาย $\phi=0^\circ$ เมื่อเมนปิมอยู่ที่มุม $-20^\circ, -10^\circ, 0^\circ, 10^\circ$ และ 20° ตามลำดับ
- รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ของสายอากาศสลิตอาร์เรย์จำนวน 10 อีลีเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุม θ ระบาย $\phi=0^\circ$ เมนปิมอยู่ที่มุม -20°
- รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ของสายอากาศสลิตอาร์เรย์จำนวน 10 อีลีเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุม θ ระบาย $\phi=0^\circ$ เมนปิมอยู่ที่มุม -10°
- รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ของสายอากาศสลิตอาร์เรย์จำนวน 10 อีลีเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุม θ ระบาย $\phi=0^\circ$ เมนปิมอยู่ที่มุม 0°
- รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ของสายอากาศสลิตอาร์เรย์จำนวน 10 อีลีเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุม θ ระบาย $\phi=0^\circ$ เมนปิมอยู่ที่มุม 10°
- รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ของสายอากาศสลิตอาร์เรย์จำนวน 10 อีลีเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุม θ ระบาย $\phi=0^\circ$ เมนปิมอยู่ที่มุม 20°
- รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ของสายอากาศสลิตอาร์เรย์จำนวน 16 อีลีเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุม θ ระบาย $\phi=0^\circ$ เมนปิมอยู่ที่มุม 0°
- รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ของสายอากาศสลิตอาร์เรย์จำนวน 16 อีลีเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุม θ ระบาย $\phi=90^\circ$ เมนปิมอยู่ที่มุม 0°
- รูปที่ 5.1 แสดงค่า $\frac{\hat{J}'_n(\beta r)}{\hat{N}'_n(\beta r)}$ ที่เกิดจากค่า $\beta r'$ ต่างๆ ที่เกิดจากโหมด $TM_{0,18}, TM_{0,19}$ และ $TM_{0,20}$
- รูปที่ 5.2 แสดงรูปทรงเรขาคณิตไอโคสะฮีดรอน
- รูปที่ 5.3 แสดงการกระจายของอีลีเมนต์จำนวน 16 อีลีเมนต์
- รูปที่ 5.4 แสดงโครงสร้างของอาร์เรย์ทรงกลม

รูปที่ 5.5 แสดงสายอากาศสล็อตอาร์เรย์จำนวน 10 อีลีเมนต์ที่อยู่บนผิวของ
ควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันที่ได้ทำการสร้างขึ้นมา

(ก) ด้านบน (ข) ด้านข้าง (ค) ข้างใต้

รูปที่ 6.1 แสดงผังภูมิของการวัดควาวิตีที่สร้างขึ้น

รูปที่ 6.2 แสดงผลของการกวาดความถี่

รูปที่ 6.3 แสดงผังภูมิของการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

รูปที่ 6.4 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสล็อตเดี่ยวบนผิวของ
ควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน

(ก). ในระนาบอีลีเวชัน (ข). ในระนาบอะซิมุท

รูปที่ 6.5 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสล็อต 10 อีลีเมนต์

จัดเรียงเป็นวงบนผิวของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันบนระนาบ $\phi=0^\circ$

รูปที่ 6.6 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสล็อต 10 อีลีเมนต์

จัดเรียงเป็นวงบนผิวของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันบนระนาบ $\phi=90^\circ$

คำอธิบายสัญลักษณ์

- d : ระยะห่างแต่ละอีลีเมนต์ของอาร์เรย์ (Displacement)
- ϵ : ค่าสภาพไฟฟ้าเปอรมิตติวิตี้ของอากาศ (Permittivity of free space)
- μ : ค่าสภาพแม่เหล็กหรือเปอร์มิบิลิตี้อากาศ (Permeability of free space)
- k : เวฟนัมเบอร์ (Wave number)
- L : ความยาวของสายอากาศสล็อต (Length)
- η : ความผิวนสัมบูรณ์หรืออินทรินสิคิมพีแดนซ์ของอากาศ (Intrinsic Impedance)
- λ : ความยาวคลื่น (Wavelength)
- c : ความเร็วแสง (Velocity of light)



บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในเรื่องเกี่ยวกับสายอากาศสลิตบนผิวทรงกลม Mushiake and Webster [1] ได้ทำการศึกษาไว้แต่ในกรณีนั้นคิดว่ามีผิวตัวนำทรงกลมแล้วเจาะสลิต โดยที่มีการป้อนสนามโดยใช้วงจรถ่ายทอดสัญญาณต่อตรงที่รูสลิตเลย แต่ในกรณีที่ศึกษานี้สลิตจะถูกป้อนด้วยสนามที่อยู่ภายในคาวิตีที่อยู่ข้างหลังสลิต ได้ทำการวิเคราะห์สนามเมื่อเจาะสลิตทำมุมเอียงมีขนาดต่างๆ กันบนผิวของคาวิตี จนในที่สุดก็ได้ทำการวิเคราะห์สนามจากอาร์เรย์ของสลิต

สายอากาศอาร์เรย์ทรงกลมมีคุณลักษณะเด่นที่สำคัญอย่างหนึ่งคือมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นและค่าทวีกำลัง (Gain) ที่ค่อนข้างคงที่ไม่ว่าจะให้เมนโกลบ (Main Lobe) ซึ่งในทิศทางใดก็ตาม [2] คุณลักษณะนี้เป็นสิ่งที่ต้องการในการใช้งานติดต่อสื่อสารหลายทิศทางเช่นในระบบสื่อสารเคลื่อนที่และระบบค้นหาเป้า ตัวอย่างสายอากาศชนิดนี้ที่มีมา มักจะทำเป็นสายอากาศขดที่กระตุ้นแต่ละอีลีเมนต์แยกกัน [3] เนื่องจากสายอากาศสลิตอาร์เรย์บนท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมมีข้อดีในแง่ที่สามารถสร้างได้ง่าย เมื่อทราบสนามภายในท่อนำคลื่น [4] ทำให้การสร้างสายอากาศสลิตอาร์เรย์บนผิวทรงกลมจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ จึงได้ศึกษานี้ในคาวิตีตัวนำซ้อนกันและได้แสดงไว้ใน [5] อย่างไรก็ตามก่อนที่จะทำการศึกษาคูสมบัติของสายอากาศอาร์เรย์ เราจำเป็นต้องทราบลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของแต่ละอีลีเมนต์ของอาร์เรย์เสียก่อนนั่นคือสายอากาศสลิตที่เจาะอยู่บนผิวคาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน ถึงแม้ว่า Mushiake และ Webster [1] จะได้ศึกษาลักษณะการกระจายคลื่นจากสายอากาศสลิตบนผิวทรงกลมมาแล้วแต่เนื่องจากมีลักษณะการกระตุ้นสลิตที่แตกต่างกันจากวัตถุประสงค์ที่ต้องการจะศึกษาทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ในการสร้างอาร์เรย์ของสลิตบนผิวของคาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันได้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาคาวิตีที่มีลักษณะเป็นตัวนำทรงกลมสองชั้นซ้อนกัน ซึ่งตัวนำทรงกลมสองลูกนี้มีลักษณะไม่เต็มลูกและจะปิดช่องโหว่ระหว่างทรงกลมทั้งสองด้วยส่วนของกรวยตัวนำ เมื่อทราบลักษณะการกระจายคลื่นภายในคาวิตีนี้แล้วจะทำการเจาะรูสลิตบนผิวภายนอกของคาวิตีนี้ เพื่อให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นอย่างไรก็ตามก่อนที่จะเจาะรูสลิตนี้ เราจำเป็นต้องทราบลักษณะการกระจายคลื่นของสายอากาศสลิตบนผนังท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมเสียก่อนจึงจะตัดสินใจได้ว่าจะเจาะสลิตที่ตำแหน่งใดและจะเจาะสลิตนี้ให้มีขนาดของมุมเอียงกี่องศา ดังนั้นในการศึกษาได้ทำการคำนวณสนามภายในคาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน หลังจากทราบสนามภายในคาวิตีแล้วจึงคำนวณลักษณะการกระจายคลื่นจากสายอากาศสลิตตัวเดียวซึ่งจะเจาะทำมุมเอียงมีขนาดต่างๆ กันบนผิวภายนอกของคาวิตีตัวนำทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซ้อนกัน ในการคำนวณจะเริ่มจากศักดาเวกเตอร์แม่เหล็กและศักดาเวกเตอร์ไฟฟ้าซึ่งใช้ความหนาแน่นกระแสเชิงผิวบนปากอะเพอร์เจอร์ของสลิตที่คำนวณจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าบนปากสลิต เมื่อได้ศักดาเวกเตอร์ทั้งสองแล้วจึงคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าต่อไป วิธีการคำนวณเช่นนี้เป็นวิธีการพื้นฐานที่ใช้กันโดยทั่วไป หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเหล่านี้ให้เข้าใจดีแล้ว จึงจะคำนวณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นจากอาร์เรย์ของสลิตบนผนังควาวิตี้ เพื่อทำการศึกษาคูณสมบัติของอาร์เรย์ที่มีอีลีเมนต์ชนิดนี้อยู่

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์

จากที่กล่าวมาข้างต้นในหัวข้อที่แล้วเป็นการแนะนำเกี่ยวกับหลักการและข้อดีของสายอากาศสลิตอาร์เรย์บนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน ซึ่งสาระในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาการออกแบบ เพื่อวิจัยหลักการเบื้องต้นถึงคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศสลิตอาร์เรย์บนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีสายอากาศที่สามารถประยุกต์ใช้งานได้ต่อไป

1.3 โครงประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงทฤษฎี การออกแบบและผลการทดลองซึ่งเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 7 บท โดยบทที่ 1 เป็นบทนำมีการกล่าวแนะนำข้อดีของสายอากาศที่ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติเบื้องต้นที่นำมาใช้ในการคำนวณและการออกแบบและวัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์ ส่วนรายละเอียดของบทต่างๆ อีก 6 บทมีดังต่อไปนี้คือ

บทที่ 2 จะแสดงวิธีการวิเคราะห์สนามภายในควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกันและวิธีการคำนวณหาระดับภายในและระดับภายนอกของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน เพื่อที่จะหาคุณสมบัติที่เหมาะสมเพื่อเจาะสลิตบนผิวของควาวิตี้

บทที่ 3 จะได้อธิบายถึงทฤษฎีและคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของสายอากาศสลิตตัวเดียวคือลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสลิตที่เจาะทำมุมเอียงมีขนาดต่างๆ กันและมีความยาวไม่เท่ากันบนผิวภายนอกของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน ทั้งในระนาบอะซิมุทและระนาบอีลีเวชัน ทำการเปรียบเทียบระหว่างกราฟของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจากสลิตเมื่อขนาดของควาวิตี้เปลี่ยนแปลงไปซึ่งขึ้นอยู่กับมุมของการเปลี่ยนแปลง

บทที่ 4 จะได้แสดงวิธีการวิเคราะห์หาสนามลัพท์ที่แพร่กระจายจากสายอากาศสลิตอาร์เรย์บนผิวควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกันและแสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสลิตอาร์เรย์ เมื่อสายอากาศสลิตอาร์เรย์มีอีลีเมนต์จำนวนหนึ่งอยู่บนผิวควาวิตี้ตัวนำ

ทรงกลมซ้อนกัน รวมทั้งแสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจากสลีตอาร์เรย์ในระนาบ $\phi=0^\circ$ และระนาบ $\phi=90^\circ$ และได้เปรียบเทียบค่าบีบอัดและค่าไดเรกทิวิตีระหว่างโหมดด้วย

บทที่ 5 อธิบายถึงวิธีการคำนวณและการออกแบบสร้างสายอากาศสลีตตัวเดียวบนผิวควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันมีรัศมีอื่นในเท่ากับ 6.5 ซม. และรัศมีอื่นนอกเท่ากับ 7.5 ซม. ได้อธิบายถึงวิธีการคำนวณและการออกแบบสร้างสายอากาศสลีตอาร์เรย์บนผิวนอกของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อน โดยคำนวณออกแบบทั้งจำนวนอีลีเมนต์และตำแหน่งมุมที่ทำการเจาะสายอากาศสลีตด้วย

บทที่ 6 แสดงให้เห็นถึงวิธีการทดลองวัดคุณสมบัติต่างๆ ที่ควรสนใจของสายอากาศสลีตอาร์เรย์บนผิวควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน ได้แก่รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นและแสดงการวัดความถี่ก้ำกรของควาวิตีและแสดงผลของการกวาดความถี่ ผลการทดลองได้แสดงไว้ในรูปของกราฟ

บทที่ 7 บทนี้เป็นการสรุปและวิจารณ์ผลการทดลองของวิทยานิพนธ์ทั้งหมด 6 บทด้วยกัน

บทที่ 2

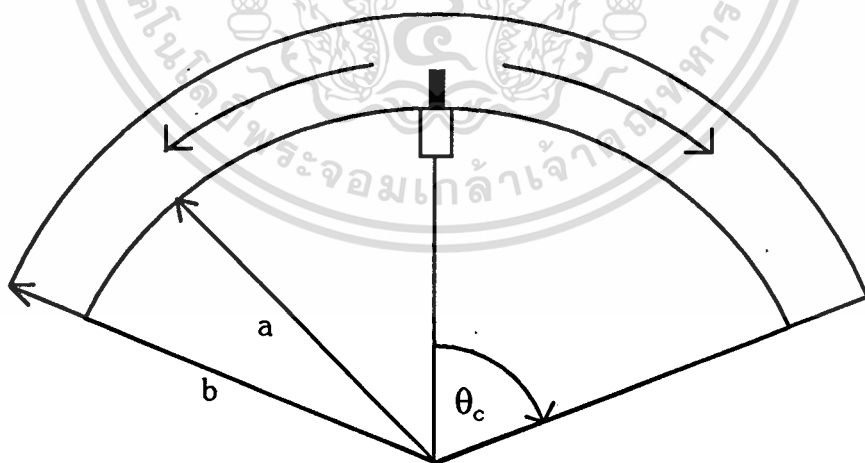
คาวีตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะได้อธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างของคาวีตีซึ่งมีลักษณะเป็นตัวนำทรงกลมซ้อนกันโดยมีจุดศูนย์กลางร่วมกันสองลูก ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกเอาผิวเพียงบางส่วนของคาวีตีมาใช้เท่านั้น ดังนั้นแต่ละลูกทรงกลมที่มาประกอบกันเข้าเป็นคาวีตีจึงมีลักษณะไม่เต็มลูกทรงกลม พิจารณาส່วนปลายของตัวนำทรงกลมทั้งสองก็จะถูกเชื่อมปิดด้วยส่วนของกรวยตัวนำเป็นมุม θ_c จะได้แสดงวิธีการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในคาวีตี เพื่อที่จะหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการจะเป็นสายอากาศสล็อตบนผิวภายนอกของคาวีตีต่อไป

2.2 การวิเคราะห์สนามภายในคาวีตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน

คาวีตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันมีลักษณะเป็นท่อนำคลื่นแบบทรงกลม 2 ชั้นซ้อนกัน มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน โดยที่มีระยะห่างระหว่างผนังของคาวีตีตัวนำทรงกลมทั้งสองจะต้องน้อยกว่ารัศมีของคาวีตีตัวนำทรงกลมทั้งสองมากๆ ในรูปที่ 2.1 ได้แสดงรูปแบบของคาวีตีซึ่งเป็นคาวีตีแบบทรงกลม 2 ชั้นซ้อนกัน



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของคาวีตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน

จากรูปทรงของคาวีตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันในรูปที่ 2.1 นั้นจะมีรัศมีของตัวนำอันในเท่ากับ a และรัศมีของตัวนำอันนอกเท่ากับ b จะเห็นว่าตัวนำทรงกลมทั้งสองนี้ต่างก็มีจุดศูนย์กลางร่วมกันเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลางอยู่ที่จุดกำเนิด ช่องโหว่ที่ส่วนปลายระหว่างของตัวนำทรงกลมทั้งสองก็ถูกเชื่อมปิดด้วย ส่วนของกรวยตัวนำเป็นมุม θ_0 คาวิตีนี้จะถูกกระตุ้นด้วยโพลที่ตำแหน่ง $\theta=0^\circ$ เพื่อทำให้เกิด สนาม $TM_{m,n}$ ภายในคาวิตี ส่วนการกำหนดขนาดของคาวิตีเพื่อทำให้เกิดรีโซแนนซ์ที่ความถี่ ตามที่กำหนดสามารถหาได้จาก [5]

พิจารณา Spherical Wave แบบ TM (Transverse Magnetic Spherical Wave) [6] ซึ่งมีส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1. เป็นสนามไฟฟ้าในทิศ a_r คือ

$$E_r = \frac{n(n+1)\tau}{j\omega\epsilon r^2} \quad (2.1)$$

ส่วนที่ 2. เป็นสนามไฟฟ้าในทิศ a_θ คือ

$$E_\theta = \left(\frac{1}{j\omega\epsilon r} \right) \left(\frac{d\hat{T}(r)}{dr} \right) \left(\frac{dT(\theta, \phi)}{d\theta} \right) \quad (2.2)$$

ส่วนที่ 3. เป็นสนามแม่เหล็กในทิศ a_ϕ คือ

$$H_\phi = \left(\frac{-1}{j\omega\epsilon r} \right) \left(\frac{d\hat{T}(r)}{dr} \right) \left(\frac{dT(\theta, \phi)}{d\theta} \right) \quad (2.3)$$

เมื่อฟังก์ชันคลื่น $\tau(r, \theta, \phi) = T(\theta, \phi) \hat{T}(r)$

โดยที่ $\hat{T}(r) = A \hat{J}_n(\beta r) + B \hat{N}_n(\beta r)$ (2.4)

เมื่อ $\hat{J}_n(\beta r)$ และ $\hat{N}_n(\beta r)$ เป็น Spherical Bessel's Function ชนิดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยมีอาร์กิวเมนต์เป็น βr (β คือค่าคงที่ของเฟส) ส่วน A, B เป็นค่าคงที่หาได้จาก เงื่อนไขขอบเขต ดังนั้นสามารถหา $\hat{J}_n(\beta r)$ และ $\hat{N}_n(\beta r)$ ได้จากสมการ (2.5) และสมการ (2.6) ตามลำดับคือ

Spherical Bessel's Function ชนิดที่ 1 คือ

$$\begin{aligned} \hat{J}_n(\beta r) &= \left(\cos \frac{n\pi}{2} \sin \beta r - \sin \frac{n\pi}{2} \cos \beta r \right) \times \\ &\sum_{m=0}^{2m \leq n} \frac{(-1)^m (n+2m)!}{(2m)!(n-2m)!(2\beta r)^{2m}} + \\ &\left(\cos \frac{n\pi}{2} \cos \beta r + \sin \frac{n\pi}{2} \sin \beta r \right) \times \\ &\sum_{m=0}^{2m \leq n-1} \frac{(-1)^m (n+2m+1)!}{(2m+1)!(n-2m-1)!(2\beta r)^{2m+1}} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Spherical Bessel's Function ชนิดที่ 2 คือ

$$\begin{aligned} \hat{N}_n(\beta r) &= -\left(\cos \frac{n\pi}{2} \cos \beta r + \sin \frac{n\pi}{2} \sin \beta r \right) \times \\ &\sum_{m=0}^{2m \leq n} \frac{(-1)^m (n+2m)!}{(2m)!(n-2m)!(2\beta r)^{2m}} + \\ &\left(\cos \frac{n\pi}{2} \sin \beta r - \sin \frac{n\pi}{2} \cos \beta r \right) \times \\ &\sum_{m=0}^{2m \leq n-1} \frac{(-1)^m (n+2m+1)!}{(2m+1)!(n-2m-1)!(2\beta r)^{2m+1}} \end{aligned} \quad (2.6)$$

จากสมการฟังก์ชันคลื่น $\tau(r, \theta, \phi) = T(\theta, \phi) \hat{T}(r)$

เมื่อ $T(\theta, \phi) = P_n^m(\cos \theta) (\cos m\phi + \sin m\phi)$ (2.7)

โดยที่ $P_n^m(\cos \theta)$ เป็น Associated Legendre Function สามารถคำนวณหา $P_n^m(\cos \theta)$ ได้จากสมการ (2.8) คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
P_n^m(\cos \theta) &= 2^m \cos \frac{(n+m)\pi}{2} \frac{\left(\frac{n+m-1}{2}\right)!}{\left(\frac{n-m}{2}\right)! \left(\frac{-1}{2}\right)!} \sin^m \phi \times \\
&F\left(\left(\frac{m+n+1}{2}\right); \left(\frac{m-n}{2}\right); \left(\frac{1}{2}\right) (\cos^2 \theta)\right) + \\
&+ 2^{m+1} \sin \frac{(n+m)\pi}{2} \frac{\left(\frac{n+m}{2}\right)!}{\left(\frac{n-m-1}{2}\right)! \left(-\frac{1}{2}\right)!} \sin^m \theta \cos \theta \times \\
&F\left(\left(\frac{m+n+2}{2}\right); \left(\frac{m-n+1}{2}\right); \left(\frac{3}{2}\right) (\cos^2 \theta)\right) \quad (2.8)
\end{aligned}$$

โดยที่

$$F(\alpha; \beta; \gamma; x) = 1 + \frac{\alpha \cdot \beta}{1 \cdot \gamma} x + \frac{\alpha(\alpha+1)\beta(\beta+1)}{1 \cdot 2\gamma(\gamma+1)} x^2 + \dots \quad (2.9)$$

จาก Spherical Wave ในสมการ (2.7) จะเห็นว่ามี การเปลี่ยนแปลงตามมุม ϕ เป็นลักษณะฟังก์ชันตรีโกณมิติขึ้นอยู่กับค่า m ดังนั้นถ้าต้องการให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าไม่ขึ้นกับค่าของมุม ϕ จะทำได้โดยการเลือกให้ค่า $m=0$ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของ Assosicated Legendre Function จะพบว่าหาก n ไม่เป็นเลขจำนวนเต็มแล้วจะมีค่าเป็นอนันต์ที่ $\theta=0$ และ π เรเดียน เพื่อให้สนามมีความสอดคล้องกับโครงสร้างของควาวิตี้จำเป็นจะต้องกำหนดให้ค่า n ที่เป็นเลขจำนวนเต็ม ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ (2.7) จะเป็นดังนี้คือ

$$T(\theta, \phi) = T(\theta) = P_n^0(\cos \theta) \quad (2.10)$$

พิจารณา Spherical Wave ที่ถูกปิดล้อมด้วยตัวนำที่ประกอบเป็นควาวิตี้ซึ่งมีลักษณะเหมือนรูปที่ 2.1 จากเงื่อนไขขอบเขตของสนามไฟฟ้าที่ว่าสนามไฟฟ้าส่วนที่สัมผัสกับผิวตัวนำเป็นศูนย์เมื่อพิจารณากรวยตัวนำที่มีมุม $\theta=\theta_c$ สนามไฟฟ้าที่สัมผัสกับพื้นผิวนี้คือ E_r จะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะได้เงื่อนไขว่าควรเลือกค่า θ ที่ทำให้ θ_c ในสมการ (2.1) เป็นศูนย์ นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_n^0(\cos\theta)\Big|_{\theta=\theta_c} = 0 \quad (2.11)$$

จะพบว่าค่า θ_c มีค่ามุมเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวน n สำหรับบนผิวตัวนำทรงกลม 2 ชั้นที่มีรัศมีชั้นในเท่ากับ a และรัศมีชั้นนอกเท่ากับ b สนามไฟฟ้าที่สัมผัสกับผิวดังกล่าวนี้ได้แก่ E_θ ซึ่งต่างจะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นสามารถแสดงด้วยสมการดังต่อไปนี้คือ

$$E_\theta\Big|_{r=a} = E_\theta\Big|_{r=b} = 0 \quad (2.12)$$

สมการ (2.12) จะเป็นจริงได้เมื่อค่าอนุพันธ์ของสมการ (2.4) เท่ากับศูนย์คือ

$$-\frac{B}{A} = \frac{\hat{J}'_n(\beta a)}{\hat{N}'_n(\beta a)} = \frac{\hat{J}'_n(\beta b)}{\hat{N}'_n(\beta b)} \quad (2.13)$$

วิธีการแก้สมการที่สะดวกวิธีหนึ่งก็คือคำนวณค่า $\frac{\hat{J}'_n(\beta r)}{\hat{N}'_n(\beta r)}$ ที่ βr ต่างๆ แล้ววาดกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\hat{J}'_n(\beta r)}{\hat{N}'_n(\beta r)}$ เป็นแกนตั้ง (แกน Y) และค่า βr เป็นแกนนอน (แกน X) จากนั้นจึงหาค่า βr สองค่าที่มีค่า $-\frac{B}{A}$ เท่ากัน ค่า βr ทั้งสองจะเป็นค่า βa และ βb ที่ต้องการ โดยที่ βa มีค่าน้อยกว่า βb และ $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ (โดยที่ λ เป็นความยาวคลื่นของคลื่นที่ต้องการให้เกิดการกำธรในควาวิตี้) เมื่อได้ค่า $-\frac{B}{A}$ ตามต้องการแล้วจึงนำไปแทนในสมการ (2.4) เพื่อคำนวณหาสนามภายในควาวิตี้ต่อไป ดังนั้นเมื่อเขียนสมการสำหรับ E_r , E_θ และ H_ϕ ใหม่คือ

$$E_r = \frac{n(n+1)\tau}{j\omega\epsilon r^2} \quad (2.14)$$

$$E_\theta = \left(\frac{1}{j\omega\epsilon r}\right) \left(\frac{d\hat{T}(r)}{dr}\right) \left(\frac{dP_n^0(\cos\theta)}{d\theta}\right) \quad (2.15)$$

$$H_\phi = \left(\frac{-1}{r}\hat{T}(r)\right) \left(\frac{dP_n^0(-\cos\theta)}{d\theta}\right) \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

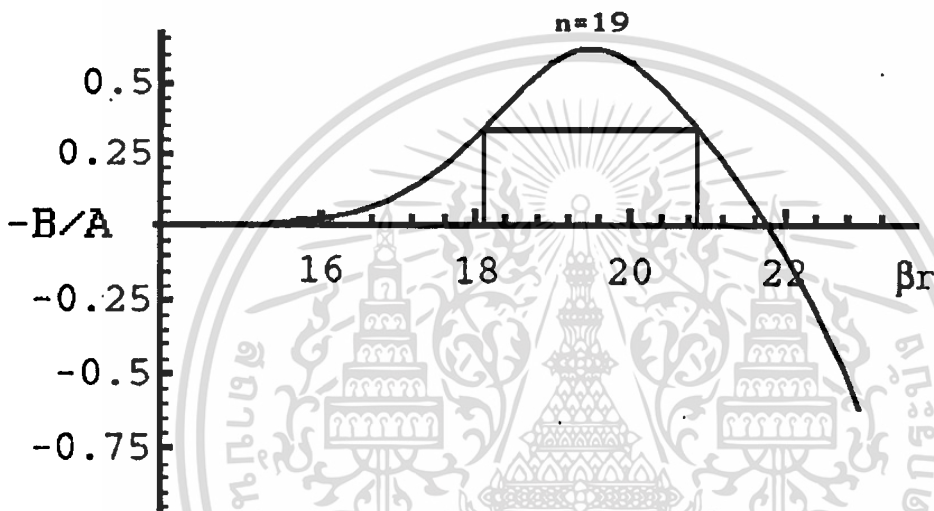
2.3 การออกแบบควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน

จากหลักการที่กล่าวมาได้ทำการออกแบบควาวิตีให้ทำงานที่ความถี่ 13.30 GHz

อาศัยสมการ (2.13) ทำการคำนวณค่า $\frac{\hat{J}'_n(\beta r)}{\hat{N}'_n(\beta r)}$ หรือ ค่า $-\frac{B}{A}$ ที่ βr ต่างๆ แล้ววาดกราฟที่

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\hat{J}'_n(\beta r)}{\hat{N}'_n(\beta r)}$ เป็นแกนตั้ง (แกน Y) และค่า βr เป็นแกนนอน (แกน X)

ในรูปที่ 2.2 จากนั้นจะทำการหา 2 สองค่าซึ่งจะเป็นรัศมีของตัวนำอันในและรัศมีของตัวนำอันนอกซึ่งในที่สุดก็คือค่า a และค่า b ตามลำดับ



รูปที่ 2.2 แสดงค่า $-\frac{B}{A}$ ที่เกิดจากค่า βr ต่างๆ

เนื่องจากมีความต้องการให้เฟสเท่ากันดังนั้นค่า βr สองค่าที่หามาได้จะต้องมีค่า $-\frac{B}{A}$ เท่ากันโดยค่า $-\frac{B}{A}$ จะมีค่าเป็นเท่าไรก็ได้ไม่สำคัญ ในที่นี้ได้เลือกให้มีค่า $-\frac{B}{A}=0.35$ นำค่า βr สองค่าที่เลือกเอาไว้มาคำนวณเพื่อที่จะหารัศมีโดย βr ที่มีค่าน้อยกว่า เมื่อนำไปคำนวณค่ารัศมีจะเป็นรัศมีของตัวนำอันใน a ได้เท่ากับ 6.5 ซม. และรัศมีของตัวนำอันนอก b เท่ากับ 7.5 ซม. พิจารณาจากขนาดของรัศมีตัวนำทั้งสองพบว่าอยู่ในโหมด $TM_{0,19}$ ตัวนำทรงกลมทั้งสองนี้ต่างก็มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดกำเนิด. ส่วนปลายของตัวนำทรงกลมทั้งสองซึ่งเป็นช่องโหว่ถูกเชื่อมปิดด้วยส่วนของกรวยตัวนำเป็นมุม θ_c . จากหลักการที่ว่าเมื่อคลื่นทรงกลมที่ถูกปิดล้อมด้วยตัวนำที่ประกอบเป็นควาวิตีแล้ว จากเงื่อนไขขอบเขตของสนามไฟฟ้าในสมการ (2.11) ที่ว่าเมื่อ Spherical Wave ที่ถูกปิดล้อมด้วยตัวนำที่ประกอบเป็นควาวิตี สนามไฟฟ้าส่วนที่สัมผัสกับผิวตัวนำจะเป็นศูนย์นั่นคือหากพิจารณากรวยตัวนำที่มีมุม $\theta=\theta_c$. สนามไฟฟ้าที่สัมผัสกับพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

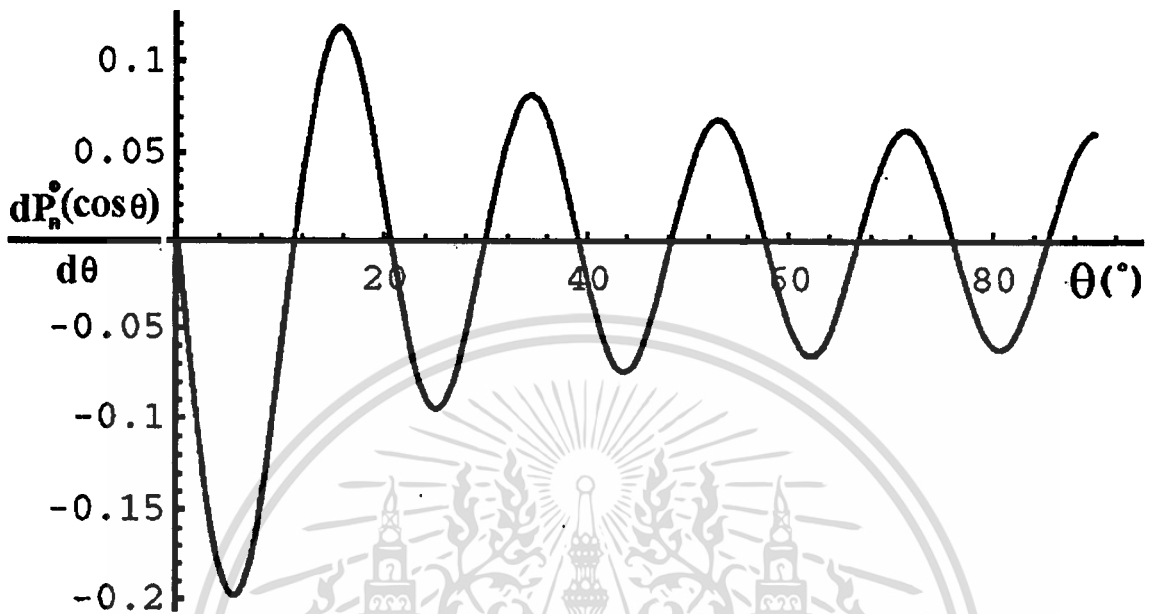
นี่คือ E_r จะต้องมามีค่าเท่ากับศูนย์ จากการพิจารณาเงื่อนไขขอบเขตในสมการ (2.7) แล้วในการคำนวณจะทำให้ค่า θ_c มีค่ามุมต่างๆ กันไปซึ่งได้แสดงเอาไว้ในตารางที่ 2.1 ในวิทยานิพนธ์นี้ต้องการออกแบบให้เป็นรูปครึ่งทรงกลมจึงได้เลือกค่ามุม $\theta_c=90^\circ$ ที่ทำให้ค่าในสมการ (2.7) มีค่าเท่ากับศูนย์

ตารางที่ 2.1 แสดงค่ามุม θ_c

เมื่อ $n = 19$
7.06519 °
16.2176 °
25.424 °
34.6425 °
43.8657 °
53.091 °
62.3176 °
71.5447 °
80.7723 °
90 °
99.2277 °
108.455 °
117.682 °
126.909 °
136.134 °
145.357 °
154.576 °
163.782 °
172.935 °

จากสนามไฟฟ้า E_0 ในสมการ (2.15) เป็นสนามไฟฟ้าที่ปากสลีตในทิศ α_0 และสนามแม่เหล็ก H_0 ในสมการ (2.16) เป็นสนามแม่เหล็กที่ปากสลีตในทิศ α_0 ซึ่งต่อไปจะใช้เป็นเส้นมีอนตัวกระตุ้นสายอากาศสลีตซึ่งมีลักษณะการกระจายเป็นอนุพันธ์ของฟังก์ชันการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Legendre จึงสามารถวาดกราฟเพื่อแสดงขนาดของสนามที่กระตุ้นสล็อตที่ตำแหน่ง θ ต่างๆ กันได้ เพื่อที่จะทำการเจาะสล็อตที่เหมาะสมต่อไปแสดงได้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงขนาดของสนามที่กระตุ้นสล็อตที่ตำแหน่งมุม θ ต่างๆ

2.4 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงรูปทรงเรขาคณิตของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน ตลอดจนการวิเคราะห์สนามภายในควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน จะได้สนามไฟฟ้า E_0 และสนามแม่เหล็ก H_0 ที่เป็นเสมือนตัวกระตุ้นที่ปากสล็อตและแสดงการออกแบบขนาดของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน ในหัวข้อที่ 2.3 ได้ทำการคำนวณหาขนาดของรัศมีภายในเท่ากับ 6.5 ซม. และขนาดของรัศมีภายนอกซึ่งใดเท่ากับ 7.5 ซม. และเนื่องจากว่าต้องการออกแบบรูปร่างของควาวิตีให้เป็นรูปครึ่งทรงกลม ดังนั้นจึงเลือกมุมรวม θ_c ที่เชื่อมเปิดส่วนปลายของตัวนำทรงกลมทั้งสองมีค่าเป็นมุม $\theta_c=90^\circ$ ในรูปที่ 2.3 เป็นกราฟที่แสดงตำแหน่งของสนามภายในควาวิตีที่มีขนาดของสนามที่มีความแรงต่างๆ กันตามค่าของมุม θ อาศัยความสัมพันธ์ของค่าในกราฟนี้สามารถเลือกหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการเลือกเจาะสล็อตบนผิวภายนอกของควาวิตี

บทที่ 3

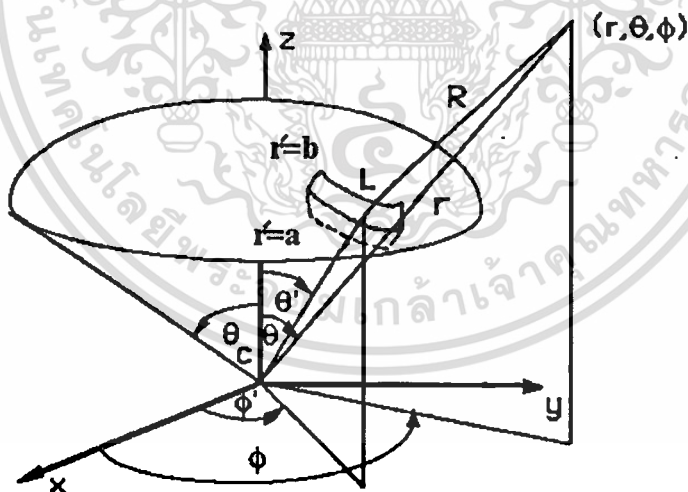
ลักษณะการกระจายคลื่นของสายอากาศสลีตตัวเดียว

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะได้อธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีและสมการตลอดจนรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นทั้งในระนาบอะซิมุทและระนาบอีลีเวชันของสายอากาศซึ่งถูกเจาะเป็นสลีตตัวเดียวมีความยาว $\frac{\lambda}{4}$, $\frac{\lambda}{2}$, λ และ 2λ บนผิวของควาติตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกันและได้แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อควาติตี้มีขนาดที่เปลี่ยนไปซึ่งทำได้โดยการเปลี่ยนโหมดของควาติตี้

3.2 ทฤษฎี

บนผิวตัวนำทรงกลมอันนอกที่รัศมีเท่ากับ b มีการเจาะสลีตยาว L บนผิวทรงกลมในตำแหน่งที่ต้องการ สมมติว่ากึ่งกลางของสลีตอยู่ที่ตำแหน่ง (b, θ', ϕ') สลีสจะถูกกระตุ้นด้วยสนามที่สัมผัสกับปากสลีตซึ่งได้แก่สนามไฟฟ้า E_0 และสนามแม่เหล็ก H_0 ดังแสดงใน [5]



รูปที่ 3.1 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ

จากหลักการสนามสมมูลย์สามารถหาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเชิงผิว J_s และความหนาแน่นกระแสแม่เหล็กเชิงผิว M_s ได้จาก [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J_s = n \times H_\phi \quad (3.1)$$

โดยที่ n คือยูนิตเวกเตอร์เป็นทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นในที่นี้คือทิศ α , ซึ่งเป็นทิศทางที่ตั้งฉากกับผิวของค่าวิถีทรงกลม ดังนั้นสามารถหาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเชิงผิว J_s ได้คือ

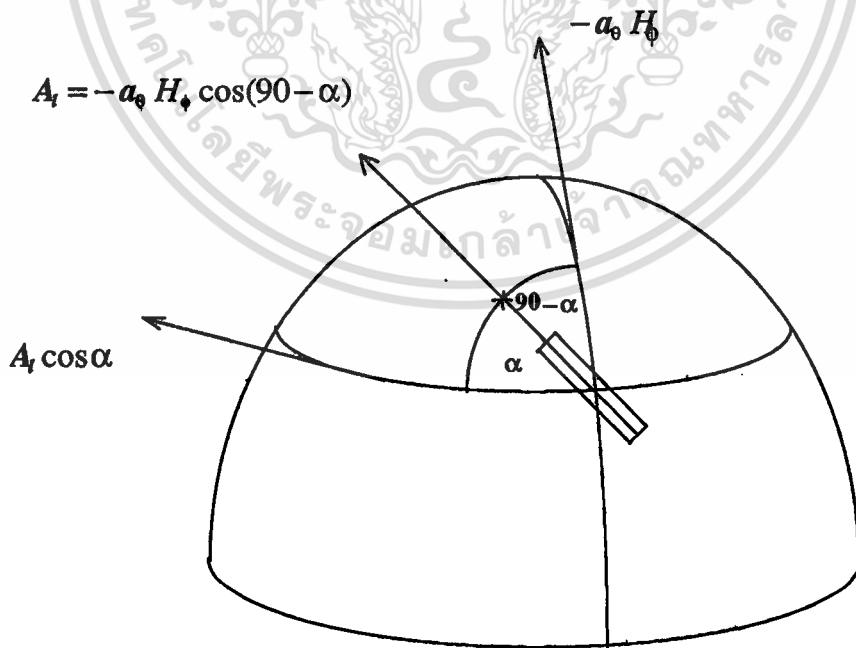
$$J_s = a_r \times H_\phi a_\phi = -a_\theta H_\phi \quad (3.2)$$

ซึ่งทำให้สามารถคำนวณศักดาเวกเตอร์ A ที่ตำแหน่ง (b, θ', ϕ') ได้จาก

$$A = \frac{\mu}{4\pi} \int J_s \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \quad (3.3)$$

แทนสมการ (3.2) ในสมการ (3.3) ก็จะได้ศักดาเวกเตอร์ A มีทิศทางในแนว $-a_\theta$

$$A_\theta = \frac{\mu}{4\pi} \int H_\phi \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \quad (3.4)$$



รูปที่ 3.2 แสดงองค์ประกอบของศักดาเวกเตอร์ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.2 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเชิงผิว J_s ในทิศ $-a_\phi$ ($J_s = -a_\phi H_\phi$) ทำการแตกศักดาเวกเตอร์ J_s มาอยู่ในแนวตามความยาวของสลีตก็จะได้ $-a_\phi H_\phi \cos(90-\alpha)$ ให้เท่ากับ A_I เมื่อแตกศักดาเวกเตอร์ A_I กลับไปในทิศ $-a_\phi$ ใหม่อีกครั้งได้ $-a_\phi H_\phi \cos(90-\alpha)\sin\alpha$ นำไปแทนในสมการ (3.4) ผลลัพธ์แสดงในสมการ (3.5) และเมื่อแตกศักดาเวกเตอร์ A_I ไปในทิศ $-a_\phi$ ผลจากการแตกเวกเตอร์คือ $-a_\phi H_\phi \cos(90-\alpha)\cos\alpha$ นำไปแทนในสมการ (3.4) ได้ผลลัพธ์ในสมการ (3.6) ดังนั้นจะมีศักดาเวกเตอร์ A ใน 2 ทิศทางคือ

$$A_\theta = \cos(90-\alpha)\sin\alpha \left[\frac{\mu}{4\pi} \int H_\phi \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \right] \quad (3.5)$$

$$A_\phi = \cos(90-\alpha)\cos\alpha \left[\frac{\mu}{4\pi} \int H_\phi \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \right] \quad (3.6)$$

โดยที่สนามแม่เหล็ก H_ϕ จะเป็นเสมือนตัวกระตุ้นที่ปากสลีตซึ่งได้อธิบายไปแล้วในบทที่ 2 คือ

$$H_\phi = \left(-\frac{1}{r'} \hat{T}(r') \right) \left(\frac{dP^0}{d\theta'} n (-\cos\theta') \right) \quad (3.7)$$

เมื่อได้ศักดาเวกเตอร์ A ที่เกิดจากความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเชิงผิว J_s ในทิศต่างๆ แล้วตั้งในสมการ (3.5) และสมการ (3.6) ต่อไปก็จะหาศักดาเวกเตอร์ F ที่เกิดจากความหนาแน่นกระแสแม่เหล็กเชิงผิว M_s ในทิศทางต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้คือ
เมื่อความหนาแน่นกระแสแม่เหล็กเชิงผิว M_s

$$M_s = -n \times E_\theta a_\theta \quad (3.8)$$

โดยที่ n คือยูนิตเวกเตอร์เป็นทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นในที่นี้คือทิศ a_r ซึ่งเป็นทิศทางที่ตั้งฉากกับผิวของควาวิดี ดังนั้นจะสามารถหาความหนาแน่นกระแสแม่เหล็กเชิงผิว M_s ได้จาก

$$M_s = -a_r \times E_\theta a_\theta \quad (3.9)$$

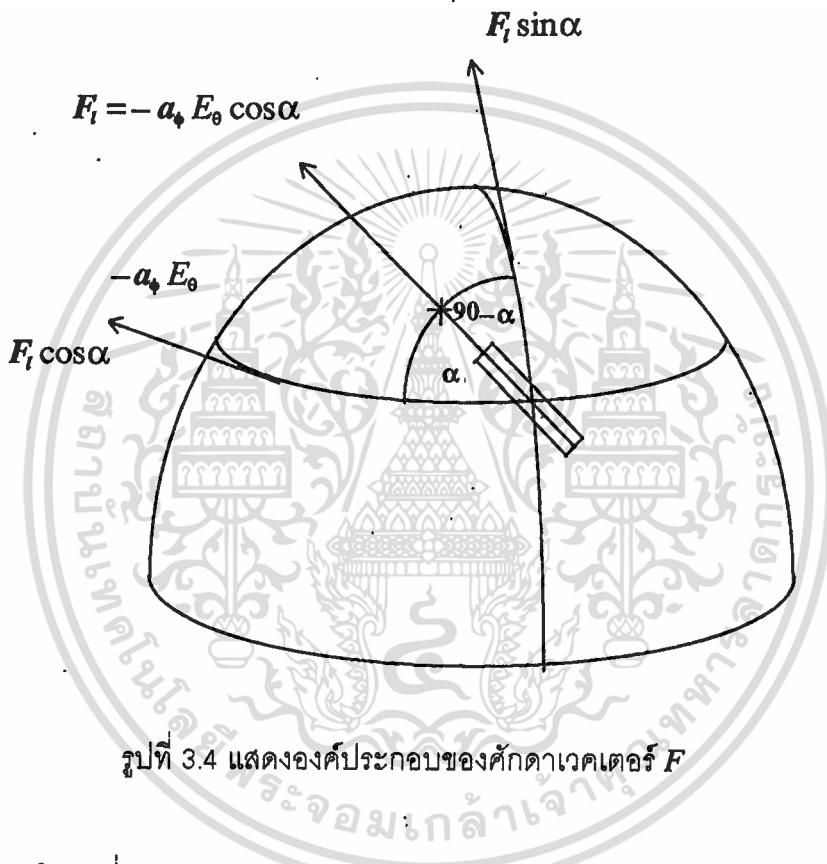
ซึ่งทำให้สามารถคำนวณศักดาเวกเตอร์ที่ตำแหน่ง (b, θ', ϕ') ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = \frac{\epsilon}{4\pi} \int M_s \frac{e^{-j\mu R}}{R} dl' \quad (3.10)$$

แทนสมการ (3.9) ในสมการ (3.10) ก็จะได้ค้ำกดาเวคเตอร์ F มีทิศทงในแนว $-a_\phi$

$$F_\phi = \frac{\epsilon}{4\pi} \int E_0 \frac{e^{-j\mu R}}{R} dl' \quad (3.11)$$



รูปที่ 3.4 แสดงองค์ประกอบของค้ำกดาเวคเตอร์ F

ในรูปที่ 3.4 ความหนาแน่นกระแสแม่เหล็กเชิงผิว M_s ในทิศ $-a_\phi (M_s = -a_\phi E_0)$ เมื่อทำแตกค้ำกดาเวคเตอร์ M_s มาอยู่ในแนวตามความยาวของสล้อตก็จะได้ $-a_\phi E_0 \cos \alpha$ ให้เท่ากับ F_l เมื่อแตกค้ำกดาเวคเตอร์ F_l กลับไปในทิศ $-a_\phi$ ใหม่อีกครั้งได้ $-a_\phi E_0 \cos \alpha \sin \alpha$ นำไปแทนในสมการ (3.11) ได้ค้ำตอบจากการแทนค่าในสมการ (3.12) และเมื่อแตกค้ำกดาเวคเตอร์ F_l ไปในทิศ $-a_\phi$ ผลจากการแตกเวคเตอร์คือ $-a_\phi E_0 \cos^2 \alpha$ นำไปแทนในสมการ (3.11) ได้ผลลัพธ์ในสมการ (3.13) ดังนั้นจะมีค้ำกดาเวคเตอร์ F ใน 2 ทิศทงคือ

$$F_\theta = \cos \alpha \sin \alpha \left[\frac{\epsilon}{4\pi} \int E_0 \frac{e^{-j\mu R}}{R} dl' \right] \quad (3.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_\phi = \cos^2 \alpha \left[\frac{\epsilon}{4\pi} \int E_0 \frac{e^{-\mu R}}{R} dl' \right] \quad (3.13)$$

โดยที่สนามไฟฟ้า E_0 จะเป็นเสมือนตัวกระตุ้นที่ปากสล็อตซึ่งได้อธิบายไปแล้วในบทที่ 2 คือ

$$E_0 = \left(\frac{1}{j\omega\epsilon r'} \right) \left(\frac{d\hat{T}(r)}{dr'} \right) \left(\frac{d\Gamma'(\theta')}{d\theta'} \right) \quad (3.14)$$

$$\text{โดยที่ } \frac{d\Gamma'(\theta')}{d\theta'} = \frac{dP_n^0(\cos\theta')}{d\theta'} \quad (3.15)$$

$$\frac{d\hat{T}(r')}{dr'} = \frac{-B}{A} = \frac{\hat{J}'_n(\beta a)}{\hat{N}'_n(\beta a)} = \frac{\hat{J}'_n(\beta b)}{\hat{N}'_n(\beta b)} \quad (3.16)$$

ในการหาค่าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในบริเวณสนามระยะไกล (Far Field Region) สามารถที่จะหาได้จาก [7] แบ่งออกได้เป็นสนามไฟฟ้าที่เกิดจากคักดาเวคเตอร์ A และ F และสนามไฟฟ้าที่เกิดจากคักดาเวคเตอร์ A และ F ดังต่อไปนี้คือ

ในการคำนวณสนามไฟฟ้าที่เกิดจากคักดาเวคเตอร์ A ที่แพร่กระจายจากสายอากาศสล็อตที่บริเวณสนามระยะไกลแสดงผลการคำนวณสนามไฟฟ้าในทิศต่างๆ ได้ดังนี้คือ

$$\text{ได้สนามไฟฟ้าในทิศ } r \text{ คือ } E_r \approx 0$$

$$\text{ได้สนามไฟฟ้าในทิศ } \theta \text{ คือ } E_\theta \approx -j\omega A_\theta$$

$$\text{ได้สนามไฟฟ้าในทิศ } \phi \text{ คือ } E_\phi \approx -j\omega A_\phi \quad (3.17)$$

จากสมการ (3.17) ในบริเวณสนามระยะไกลจะได้สนามไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันของ (θ, ϕ) เท่านั้นดังนั้นจะได้ผลรวมสนามไฟฟ้าที่เกิดจากคักดาเวคเตอร์ A ดังในสมการ (3.18) คือ

$$E_A \approx -j\omega A \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณสนามแม่เหล็กที่เกิดจากศักดาเวกเตอร์ F ที่แพร่กระจายจากสายอากาศสล็อตที่บริเวณสนามระยะไกลแสดงผลการคำนวณสนามแม่เหล็กในทิศต่างๆ ได้ดังนี้คือ

ได้สนามแม่เหล็กในทิศ r คือ $H_r \approx 0$

ได้สนามแม่เหล็กในทิศ θ คือ $H_\theta \approx j\frac{\omega}{\eta} A_\phi = -\frac{E_\phi}{\eta}$

ได้สนามแม่เหล็กในทิศ ϕ คือ $H_\phi \approx -j\frac{\omega}{\eta} A_\theta = \frac{E_\theta}{\eta}$ (3.19)

จากสมการ (3.19) ที่บริเวณสนามระยะไกลจะได้สนามแม่เหล็กเป็นฟังก์ชันของ (θ, ϕ) เท่านั้น ดังนั้นจะได้ผลรวมสนามแม่เหล็กที่เกิดจากศักดาเวกเตอร์ A ดังในสมการ (3.20) คือ

$$H_A \approx a_r \frac{1}{\eta} \times E_A = -j\frac{\omega}{\eta} a_r \times A \quad (3.20)$$

ในการคำนวณสนามแม่เหล็กที่เกิดจากศักดาเวกเตอร์ F ที่แพร่กระจายจากสายอากาศสล็อตที่บริเวณสนามระยะไกลแสดงผลการคำนวณสนามแม่เหล็กในทิศต่างๆ ได้ดังนี้คือ

ได้สนามแม่เหล็กในทิศ r คือ $H_r \approx 0$

ได้สนามแม่เหล็กในทิศ θ คือ $H_\theta \approx -j\omega F_\phi$

ได้สนามแม่เหล็กในทิศ ϕ คือ $H_\phi \approx -j\omega F_\theta$ (3.21)

จากสมการ (3.21) ที่บริเวณสนามระยะไกลจะได้สนามแม่เหล็กเป็นฟังก์ชันของ (θ, ϕ) เท่านั้น ดังนั้นจะได้ผลรวมสนามแม่เหล็กที่เกิดจากศักดาเวกเตอร์ F ดังในสมการ (3.22) คือ

$$H_F \approx -j\omega F \quad (3.22)$$

ในการคำนวณสนามไฟฟ้าที่เกิดจากศักดาเวกเตอร์ F ที่แพร่กระจายจากสายอากาศสล็อตที่บริเวณสนามระยะไกลแสดงผลจากการคำนวณสนามไฟฟ้าในทิศต่างๆ ได้ดังนี้คือ

ได้สนามแม่เหล็กในทิศ r คือ $E_r \approx 0$

ได้สนามแม่เหล็กในทิศ θ คือ $E_\theta \approx -j\omega\eta F_\phi = \eta H_\phi$

ได้สนามแม่เหล็กในทิศ ϕ คือ $E_\phi \approx j\omega\eta F_\theta = -\eta H_\theta$ (3.23)

จากสมการ (3.23) ที่บริเวณสนามระยะไกลจะได้สนามไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันของ (θ, ϕ) เท่านั้น ดังนั้นจะได้ผลรวมสนามไฟฟ้าที่เกิดจากศักดาเวกเตอร์ F ดังในสมการ (3.24) คือ

$$E_F \approx -\eta \mathbf{a}_r \times H_F = j\omega\eta \mathbf{a}_r \times F \quad (3.24)$$

เมื่อ $\eta = \sqrt{\mu/\epsilon}$ (3.25)

โดยที่

η คือความผืนลัมบ์หรืออินทรินสิคิมพีแดนซ์ของอากาศ (Intrinsic impedance)

ϵ คือค่าสภาพไฟฟ้าเปอร์มิตติวิตีของอากาศ (Permittivity of free space)

μ คือค่าสภาพแม่เหล็กหรือเปอร์มิอะบิลิตีของอากาศ (Permeability of free space)

จากสมการ (3.5) และสมการ (3.6) จะได้ความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากศักดาเวกเตอร์ A ในทิศ $-\mathbf{a}_\theta$ และ $-\mathbf{a}_\phi$ ตามลำดับคือ

$$A_\theta = \cos(90 - \alpha) \sin \alpha \left[\frac{\mu}{4\pi} \int H_\phi \cos \frac{\pi(\phi' - \phi)}{d\phi'} \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \right] \quad (3.26)$$

$$A_\phi = \cos(90 - \alpha) \cos \alpha \left[\frac{\mu}{4\pi} \int H_\theta \cos \frac{\pi(\phi' - \phi)}{d\phi'} \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \right] \quad (3.27)$$

จากสมการ (3.12) และสมการ (3.13) จะได้ความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากศักดาเวกเตอร์ F ในทิศ \mathbf{a}_θ และ $-\mathbf{a}_\phi$ ตามลำดับคือ

$$F_\theta = \cos^2 \alpha \left[\frac{\epsilon}{4\pi} \int E_\theta \cos \frac{\pi(\phi' - \phi)}{d\phi'} \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \right] \quad (3.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_{\phi} = \cos\alpha \sin\alpha \left[\frac{\epsilon}{4\pi} \int E_0 \cos \frac{\pi(\phi' - \phi)}{d\phi'} \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \right] \quad (3.29)$$

ดังนั้นจะสามารถหาความเข้มสนามไฟฟ้าในทิศ a_0 ซึ่งเกิดจากคักดาเวคเตอร์ A คือสมการ (3.26) รวมกับที่เกิดจากคักดาเวคเตอร์ F คือสมการ (3.28) สามารถเขียนสมการใหม่ได้คือ

$$E_0 = \cos(90 - \alpha) \sin\alpha \left[\frac{\mu}{4\pi} \int H_{\phi} \cos \frac{\pi(\phi' - \phi)}{d\phi'} \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \right] + \cos^2\alpha \left[\frac{\epsilon}{4\pi} \int E_0 \cos \frac{\pi(\phi' - \phi)}{d\phi'} \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \right] \quad (3.30)$$

สามารถหาความเข้มสนามไฟฟ้าในทิศ a_{ϕ} ซึ่งเกิดจากคักดาเวคเตอร์ A คือสมการ (3.27) รวมกับที่เกิดจากคักดาเวคเตอร์ F คือสมการ (3.29) เขียนสมการรวมได้คือ

$$E_{\phi} = \cos(90 - \alpha) \cos\alpha \left[\frac{\mu}{4\pi} \int H_{\phi} \cos \frac{\pi(\phi' - \phi)}{d\phi'} \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \right] + \cos\alpha \sin\alpha \left[\frac{\epsilon}{4\pi} \int E_0 \cos \frac{\pi(\phi' - \phi)}{d\phi'} \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \right] \quad (3.31)$$

การคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าตามขั้นตอนในสมการ (3.1) ถึงสมการ (3.31) แม้ว่าจะเป็นขั้นตอนที่ตรงไปตรงมาแต่ในทางปฏิบัติมีความยุ่งยากมาก เนื่องจากสนามภายในควาวิตีมีลักษณะการกระจายเป็นฟังก์ชัน Bessel และฟังก์ชัน Legendre ซึ่งการทำอินทิเกรตและหาอนุพันธ์ทำได้ลำบาก การคำนวณจำเป็นต้องอาศัยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขเข้ามาช่วย สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศสล็อตอาร์เรย์บนผิวควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันจะมุ่งเน้นรูปแบบการกระจายคลื่นโดยเฉพาะในระนาบอะซิมุทซึ่งได้กำหนดให้มีการกวาดทิศทางของบีมหลัก ส่วนในระนาบอีลีเวชันจะได้กล่าวสรุปประกอบไว้พอสังเขป

ในการหาระยะทางระหว่างตำแหน่งที่ทำการเจาะสล็อต $P'(r, \theta, \phi)$ กับตำแหน่งที่ระยะไกลใดๆ $P(r, \theta, \phi)$ นั้นให้พิจารณาจากรูปที่ 3.3 และอาศัยการแปลงโคออร์ดิเนตช่วยด้วย [8]

$$\text{เมื่อ } R = r - r' \cos \phi \quad (3.32)$$

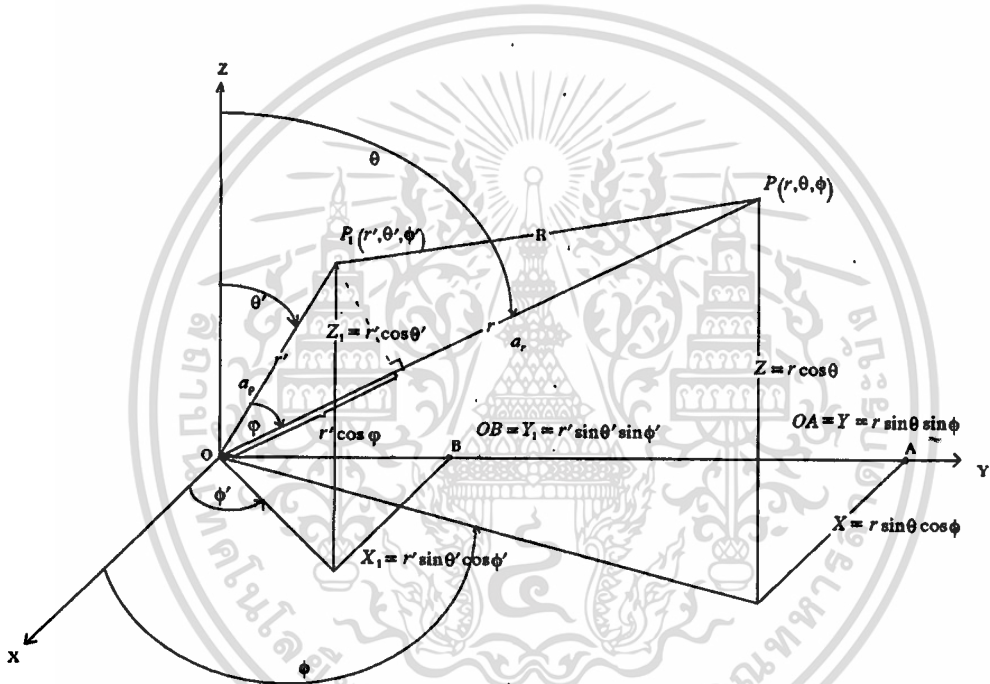
โดยที่

R คือระยะทางระหว่างตำแหน่งที่ทำการเจาะสลีต $P'(r, \theta, \phi)$ กับตำแหน่งที่ระยะไกลใดๆ $P(r, \theta, \phi)$

r คือระยะทางระหว่างจุดกำเนิดกับตำแหน่งที่ระยะไกลใดๆ $P(r, \theta, \phi)$

r' คือระยะทางระหว่างจุดกำเนิดกับตำแหน่งที่ทำการเจาะสลีต $P'(r, \theta, \phi)$

ϕ คือมุมระหว่างแนวทิศทางของระยะไกลใดๆ กับแนวทิศทางของตำแหน่งที่ทำการเจาะสลีต $P'(r, \theta, \phi)$



รูปที่ 3.3 แสดงโคออร์ดิเนตแบบทรงกลม

จะอาศัยการแปลงโคออร์ดิเนตดังนี้คือ

$$a_p = a_x \sin \theta' \cos \phi' + a_y \sin \theta' \sin \phi' + a_z \cos \theta'$$

$$a_r = a_x \sin \theta \cos \phi + a_y \sin \theta \sin \phi + a_z \cos \theta \quad (3.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $\cos\varphi = a_p \cdot a_r$ (3.34)

$$\begin{aligned}
 &= \sin\theta \sin\theta' \cos\phi \cos\phi' + \sin\theta \sin\theta' \sin\phi \sin\phi' + \cos\theta \cos\theta' \\
 &= \cos\theta \cos\theta' + \sin\theta \sin\theta' [\cos\phi \cos\phi' + \sin\phi \sin\phi'] \\
 &= \cos\theta \cos\theta' + \sin\theta \sin\theta' \cos(\phi - \phi')
 \end{aligned}
 \tag{3.35}$$

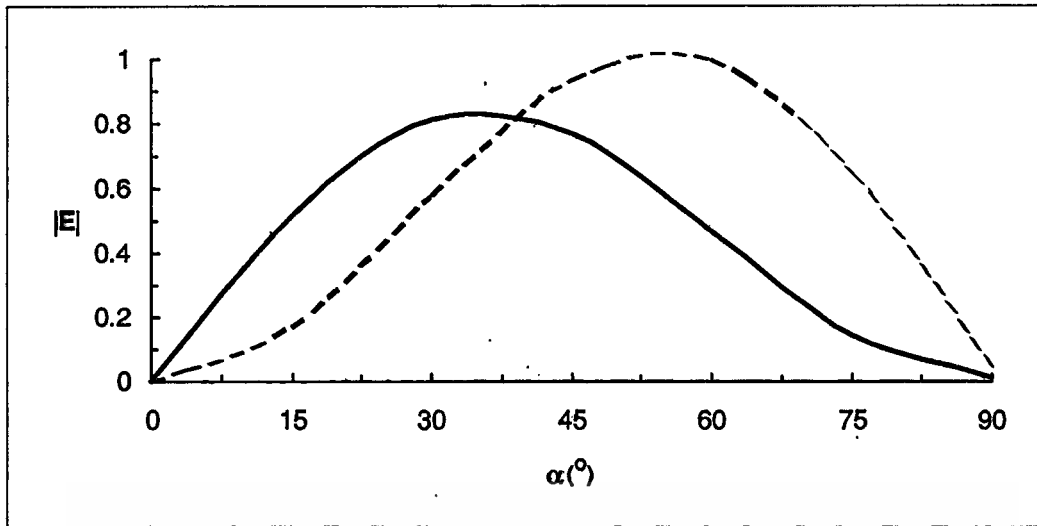
นำสมการ (3.35) แทนในสมการ (3.32) ก็จะได้ระยะทางระหว่างตำแหน่งที่ทำการเจาะสลีต $P'(r, \theta, \phi)$ กับตำแหน่งที่ระยะไกลใดๆ $P(r, \theta, \phi)$ ดังนี้คือ

$$R = r - r'(\cos\theta' \cos\theta + \sin\theta \sin\theta' \cos(\phi - \phi')) \tag{3.36}$$

ตามที่ได้กำหนดให้ L คือความยาวของสายอากาศสลีตบนผิวภายนอกของดาวิตี ในตอนต้นนั้น เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.3 แสดงโคออร์ดิเนตแบบทรงกลมจะเห็นว่าความยาว L นั้นเป็นฟังก์ชันของ (r, θ, ϕ) ในที่นี้กำหนดให้ความยาวใหม่เป็น dl' มีค่าดังต่อไปนี้คือ

$$dl' = \sqrt{(r'dr')^2 + (r'd\theta')^2 + (r'\sin\theta'd\phi')^2} \tag{3.37}$$

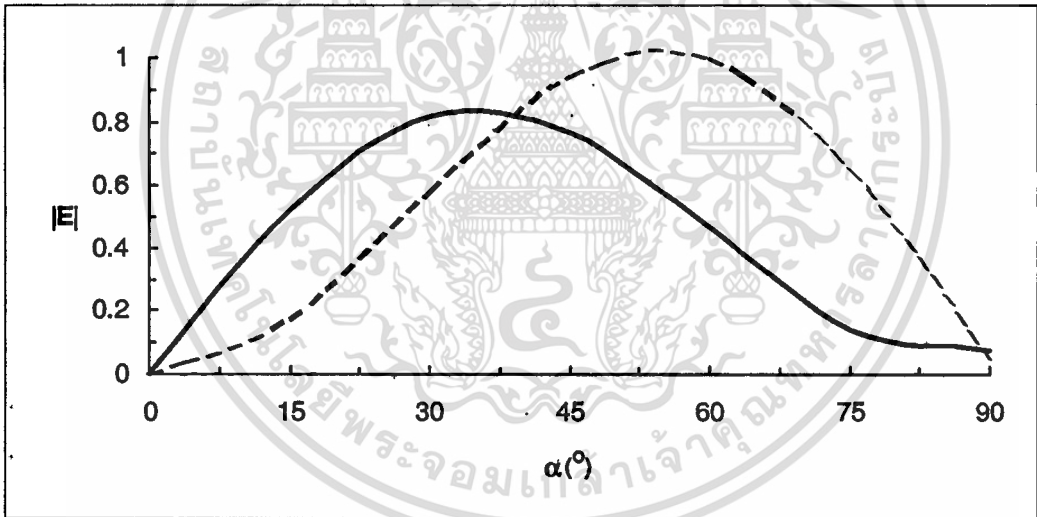
จากการคำนวณในสมการ (3.30) และ (3.31) พบว่าความเข้มสนามไฟฟ้า E_p มีค่าน้อยกว่าความเข้มสนามไฟฟ้า E_0 เมื่อเจาะสลีตทำมุมเอียง α มีขนาดต่างๆ ซึ่งจะได้ทำการเปรียบเทียบกราฟคือในรูปที่ 3.5 แสดงค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า E_0 ในทิศ α_0 เปรียบเทียบกับความเข้มของสนามไฟฟ้า E_p ในทิศ α_p และในรูปที่ 3.6 แสดงค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า E_0 ในทิศ α_p เปรียบเทียบกับความเข้มของสนามไฟฟ้า E_p ในทิศ α_p



..... E_0 ในทิศ a_0

———— E_0 ในทิศ a_1

รูปที่ 3.5 แสดงค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า เมื่อสลิตเอียงทำมุมต่างๆ



..... E_0 ในทิศ a_0

———— E_0 ในทิศ a_1

รูปที่ 3.6 แสดงค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า เมื่อสลิตเอียงทำมุมต่างๆ

3.3 สายอากาศสลีตที่วางนอนบนผิวควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน

รูปแบบโครงสร้างของสายอากาศสลีตที่วางนอนบนผิวควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน [9] ได้แสดงเอาไว้แล้วในรูปที่ 3.1 นั่นคือจะเจาะสายอากาศสลีตเฉียงทำมุม $\alpha=0^\circ$ กับแนวนอนของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันและความเข้มสนามไฟฟ้าสามารถหาได้จากสมการ (3.30) และสมการ (3.31) ซึ่งความยาวของสายอากาศในสมการทั้งสองก็จะมีเปลี่ยนแปลง เมื่อพิจารณาจากสมการ (3.37) แสดงค่าความยาวของสลีตคือ

$$dl' = \sqrt{(r'dr)^2 + (r'd\theta)^2 + (r'\sin\theta'd\phi)^2}$$

ในสมการข้างบนจะเห็นว่าเป็นฟังก์ชันของ r, θ, ϕ แต่ลักษณะการเจาะสลีตทำมุมจากกับแนวนอนของควาวิตี จากตัวแปรทั้งสามจะพบว่ารัศมี r, θ ของควาวิตีมีค่าคงที่ ดังนั้นในสมการที่แสดงถึงค่าความยาวของสลีตเมื่อเจาะสลีตทำมุม $\alpha=90^\circ$ หรือทำมุมจากกับแนวนอนของควาวิตี จึงเป็นฟังก์ชันของมุม ϕ เพียงตัวแปรเดียวเท่านั้น ก็จะได้สมการที่แสดงถึงความยาวคือ

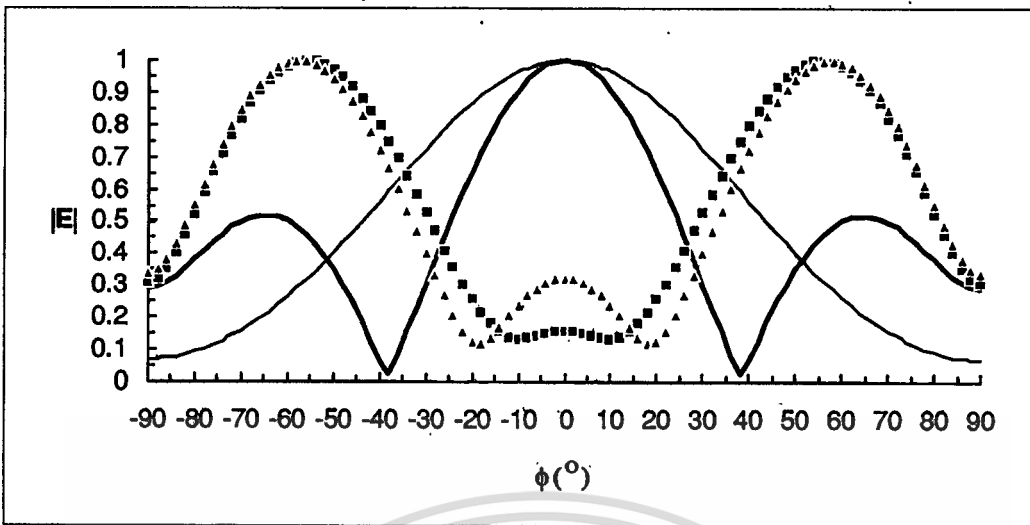
$$dl' = \sqrt{(r'\sin\theta'd\phi)^2} = r'\sin\theta'd\phi' \quad (3.38)$$

จากการคำนวณพบว่าค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า E_0 มีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มของสนามไฟฟ้า E_0 ดังนั้นก็จะแสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสลีตเฉพาะ E_0 ในทิศ α_0 (ระนาบอีลีเวชัน) และในทิศ α_0 (ระนาบอะซิมุท)

3.3.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบอะซิมุท

เป็นการคำนวณเพื่อหาค่าความเข้มสนามไฟฟ้าโดยการกวาดปัดจากมุม $\phi=90^\circ$ จนถึงมุม $\phi=90^\circ$ เป็นมุมทั้งสิ้น 180° โดยการเปลี่ยนมุมครั้งละ 2° ซึ่งเป็นค่าการกวาดมุมที่ค่อนข้างละเอียดสำหรับการวิเคราะห์โดยกำหนดให้สายอากาศสลีตมีความยาว $\frac{\lambda}{4}, \frac{\lambda}{2}, \lambda$ และ 2λ เริ่มวางจากมุม $\theta'=30^\circ, 45^\circ$ และ 60° ตามลำดับ

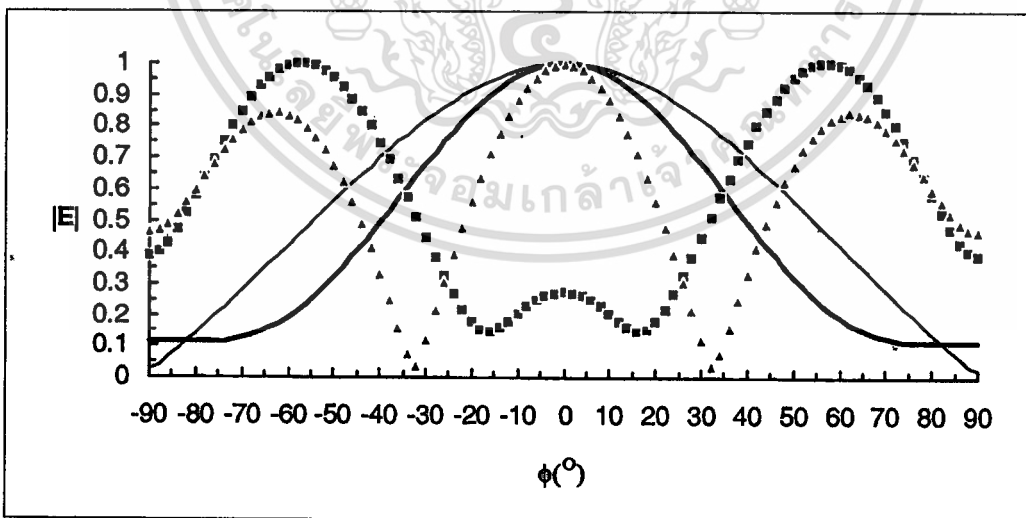
เมื่อ $\alpha=0^\circ$



$\text{---} L = \frac{\lambda}{4}$ $\text{---} L = \frac{\lambda}{2}$
 $\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle L = \lambda$ $\blacksquare\blacksquare\blacksquare\blacksquare L = 2\lambda$

รูปที่ 3.7 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ เมื่อสลิตอยู่ที่ $\theta'=30^\circ$

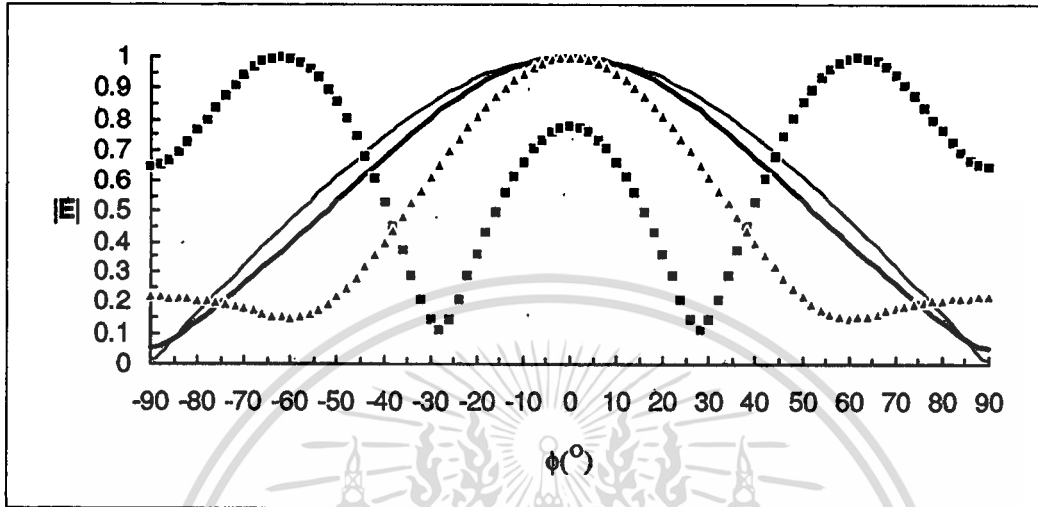
รูปที่ 3.7 ความยาว $\frac{\lambda}{4}$ จะมีเพียงlobeเดียว ขณะที่ความยาว $\frac{\lambda}{2}$ มีเมนlobeที่มีแอมพลิจูดเท่ากับที่ความยาว $\frac{\lambda}{4}$ แต่มีปมมืดที่แคบกว่าและเกิดไซด์lobeขึ้นด้วย เมื่อมีความยาวมากกว่าหรือเท่ากับ λ จะพบว่าเกิดเมนlobeที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทั้งสองข้าง



$\text{---} L = \frac{\lambda}{4}$ $\text{---} L = \frac{\lambda}{2}$
 $\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle L = \lambda$ $\blacksquare\blacksquare\blacksquare\blacksquare L = 2\lambda$

รูปที่ 3.8 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ สลิตอยู่ที่ $\theta'=45^\circ$

รูปที่ 3.8 ความยาวน้อยกว่าหรือเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$ จะเกิดเพียงlob เดียวเท่านั้นแต่ที่ความยาว $\frac{\lambda}{2}$ มีบีมวิดท์แคบกว่าเมื่อมีความยาวเท่ากับ $\frac{\lambda}{4}$ ขณะที่ความยาวเป็น λ เกิดไซด์lob ขนาดใหญ่ที่มีขนาดใกล้เคียงกับเมนlob เมื่อความยาวเพิ่มขึ้นเป็น 2λ จะเกิดเมนlob ที่มีขนาดใหญ่มาก



รูปที่ 3.9 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ สลิตอยู่ที่ $\theta' = 60^\circ$

รูปที่ 3.9 เมื่อมีความยาวเป็น $\frac{\lambda}{4}$, $\frac{\lambda}{2}$ และ λ เกิดlob เดียวและมีความกว้างของบีมวิดท์ลดลงตามลำดับ ขณะที่ความยาวเป็น 2λ เกิดสองเมนlob ที่มีขนาดใหญ่มาก

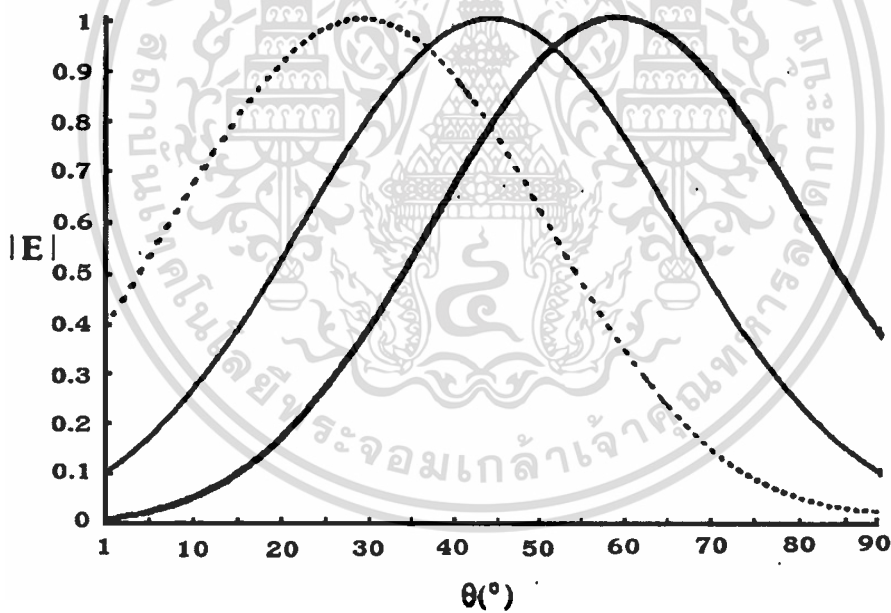
ดังนั้นจะพบว่าที่ตำแหน่ง $\theta' = 30^\circ$ และ $\phi = 0^\circ$ ความยาวเป็น $\frac{\lambda}{4}$ จากรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจะพบว่าเกิดเพียงlob เดียวเท่านั้น เมื่อมีความยาวเป็น $\frac{\lambda}{2}$ จะมีบีมวิดท์ที่แคบกว่าและเกิดไซด์lob ขึ้นทั้งสองข้างของเมนlob อย่างไรก็ตามขณะที่ความยาวมากกว่าหรือเท่ากับ λ เกิดสองเมนlob ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทั้งสองข้างของบีม ขณะที่ความยาวเป็น 2λ ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับเมื่อมีความยาว λ

เมื่อตำแหน่งของสลิตเลื่อนต่ำลงมาเป็น $\theta' = 45^\circ$ เปรียบเทียบกับที่ตำแหน่ง $\theta' = 30^\circ$ เมื่อพิจารณาที่ความยาวน้อยกว่าหรือเท่ากับ λ พบว่าที่ความยาวเดียวกันเมื่อตำแหน่งอยู่ที่ $\theta' = 45^\circ$ จะมีบีมวิดท์ของสลิตกว้างกว่า

ขณะที่สล๊อตอยู่ที่ตำแหน่ง $\theta' = 60^\circ$ เมื่อความยาวน้อยกว่าหรือเท่ากับ λ จะเกิดโลบขึ้นเพียงแคโลบเดียวเท่านั้น และขนาดของบีบวิตท์ก็แปรผกผันกับความยาวของสล๊อตด้วย เมื่อความยาวสล๊อตเพิ่มขึ้นบีบวิตท์ก็จะแคบลง เช่นกันเมื่อความยาวสล๊อตลดลงบีบวิตท์จะกว้างมากขึ้น ซึ่งจะเห็นว่ามี การเปลี่ยนแปลงที่ตรงข้ามกัน นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความยาวเดียวกันเมื่อมุม θ' เพิ่มมากขึ้นจาก 30° เป็น 45° และ เป็น 60° มีหมายความว่าเมื่อตำแหน่งของสล๊อตเลื่อนต่ำลงมาจากจุดยอดของทรงกลมมากขึ้นขนาดของบีบวิตท์ก็จะกว้างมากขึ้นด้วย

3.3.2 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบฮิลิเวชัน

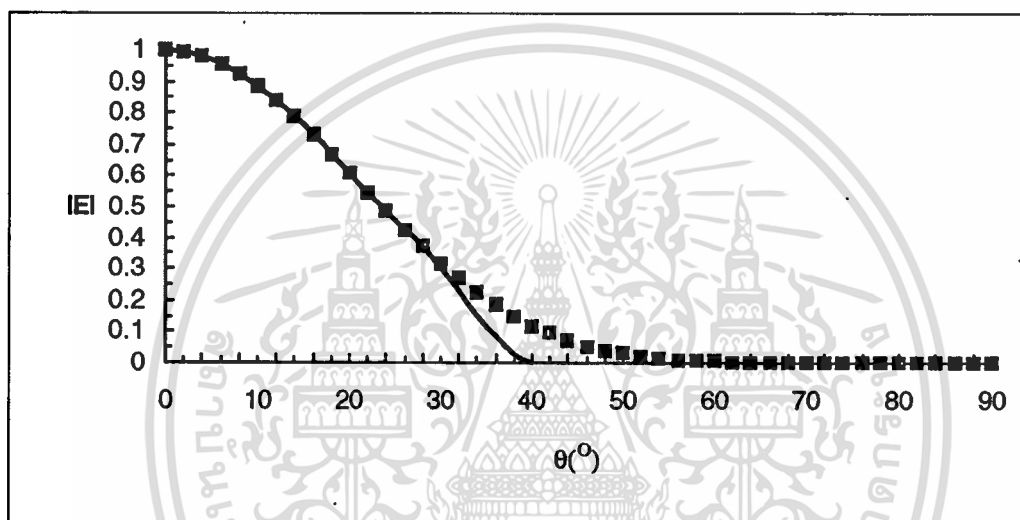
ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบฮิลิเวชัน โดยทำการกวาดมุมจากจุดยอดของควาวิต์ลงมาจนถึงขอบล่างของควาวิต์เป็นมุมทั้งสิ้น 90° เพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงขนาดแอมพลิจูดจึงเปลี่ยนมุมครั้งละ 1° ส่วนความยาวของสล๊อตเป็น $\frac{\lambda}{2}$ ทุกตำแหน่งที่เจาะคือ $\theta' = 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° บนผิวนอกของควาวิต์และแสดงกราฟที่ได้ในรูปที่ 3.10



- เมื่อสล๊อตอยู่ที่ $\theta' = 30^\circ$
- เมื่อสล๊อตอยู่ที่ $\theta' = 45^\circ$
- เมื่อสล๊อตอยู่ที่ $\theta' = 60^\circ$

รูปที่ 3.10 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ สล๊อตยาว $\frac{\lambda}{2}$

ในรูปที่ 3.10 แสดงที่ได้จากผลการคำนวณความเข้มสนามไฟฟ้าของสลีต เมื่อกำหนดให้สลีต ถูกเจาะอยู่ที่ตำแหน่งมุม θ' ต่างๆ กัน ความยาวของสลีตมีค่าเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$ พิจารณาจากรูปที่ 3.1 จะพบว่าสำหรับสลีตตัวหนึ่งๆ แล้ว ทิศทางของสนามมีค่าแรงที่สุดอยู่ในแนวรัศมีตั้งฉากกับรูสลีต นอกจากนี้ยังพบว่าสลีตที่ตำแหน่งมุม $\theta'=30^\circ$ จะเป็นตำแหน่งที่สนามมีค่าแรงที่สุดซึ่งจะมีความกว้างของปริมประมาณ 54° หากพิจารณารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสลีตตัวเดียวแล้วก็จะพบว่ามีลักษณะคล้ายกับฟังก์ชัน $(\cos\theta)^8$ มาก ได้ทำการเปรียบเทียบให้เห็นในรูปที่ 3.11 ข้างล่างนี้



■ ■ ■ ■ ■ ฟังก์ชัน $(\cos\theta)^8$
 ————— รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจากสลีตตัวเดียว

รูปที่ 3.11 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจากสลีตตัวเดียวกับฟังก์ชัน $(\cos\theta)^8$

ในรูปที่ 3.11 ได้แสดงการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสลีตตัวเดียวกับฟังก์ชัน $(\cos\theta)^8$ เอาไว้ พิจารณาจากเส้นกราฟทั้งสองจะเห็นว่าซ้อนกันสนิทและเมื่อสังเกตดูจะพบว่าแทบจะมองไม่เห็นความแตกต่างกันเลยในช่วงแรกๆ ค่าของมุมกราฟทั้งสองที่เส้นกราฟเริ่มซ้อนกันสนิทเริ่มจากมุม θ เท่ากับ 0° ไปจนถึงมุม θ ประมาณ 30° ดังนั้นในการคำนวณรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสลีตตัวเดียวต่อไปนี้นั้นจะประมาณได้ด้วยฟังก์ชัน $(\cos\theta)^8$

3.4 สายอากาศสล็อตที่วางตั้งบนผิวควาติตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน

สายอากาศสล็อตที่วางตั้งบนผิวควาติตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันมีลักษณะทำมุมฉากกับแนวอนของควาติตีซึ่งมีมุมเอียง $\alpha=90^\circ$ พบว่าสามารถคำนวณเพื่อที่จะหาค่าของความเข้มสนามไฟฟ้าได้จากสมการ (3.30) และสมการ (3.31) ซึ่งได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อที่ 3.2 ขณะที่ค่าความยาวของสล็อตซึ่งเดิมที่มาจากสมการ (3.47) แสดงได้ดังสมการข้างล่างนี้คือ

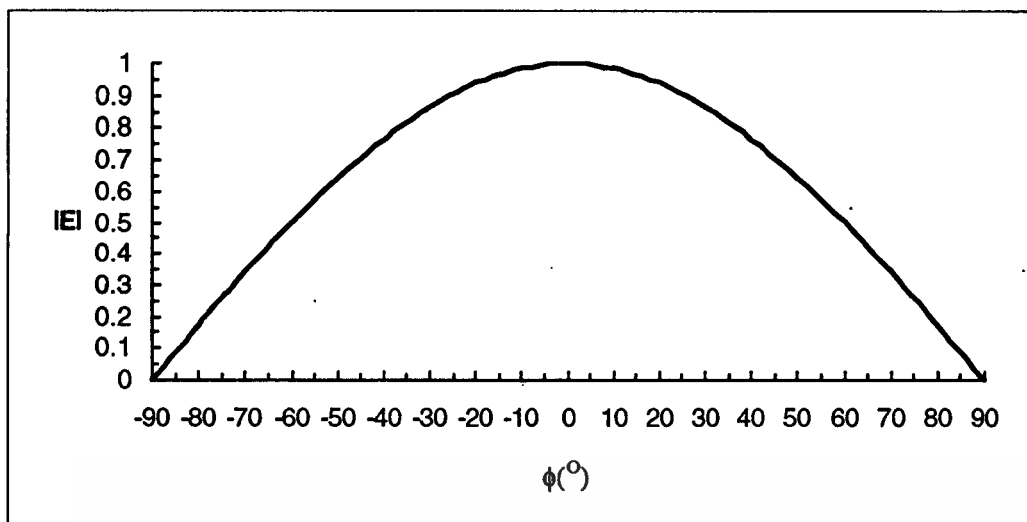
$$dl' = \sqrt{(r'dr')^2 + (r'd\theta')^2 + (r'\sin\theta'd\phi')^2}$$

จากสมการความยาวของสล็อตจะเห็นว่าเป็นฟังก์ชันของ r, θ, ϕ เมื่อพิจารณาลักษณะการเจาะสล็อตซึ่งทำมุมฉากกับแนวอนของควาติตี ในตัวแปรทั้งสามจะพบว่ารัศมี r, ϕ ของควาติตีมีค่าคงที่ ดังนั้นในสมการที่แสดงถึงค่าความยาวของสล็อต เมื่อเจาะสล็อตเอียงทำมุม $\alpha=90^\circ$ หรือทำมุมฉากกับแนวอนของควาติตีจึงเป็นฟังก์ชันของมุม θ เพียงตัวแปรเดียวเท่านั้นคือ

$$dl' = \sqrt{(r'dr')^2} = r'dr' \quad (3.39)$$

3.4.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบอะซิมูท

ต่อไปในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากการคำนวณหาค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าในระนาบอะซิมูทซึ่งมีทิศทางในตามแนว ϕ ทำการกวาดมุม ϕ โดยเริ่มจากมุม $\phi=90^\circ$ ไปจนถึงมุม $\phi=90^\circ$ กำหนดให้มีการเปลี่ยนมุม ϕ ไปครั้งละ 2° เพื่อต้องการความละเอียดของกราฟรวมเป็นมุมทั้งสิ้น 180° ในการคำนวณกำหนดให้สล็อตมีขนาดของความยาวแตกต่างกัน 4 ค่าด้วยกันคือ $\frac{\lambda}{4}, \frac{\lambda}{2}, \lambda$ และ 2λ ขนาดความยาวของสล็อตทั้ง 4 นี้จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณ โดยอยู่ที่ตำแหน่งมุม θ' ต่างๆ กันไปคือ $\theta'=30^\circ, 45^\circ$ และ 60° แสดงในรูปที่ 3.12



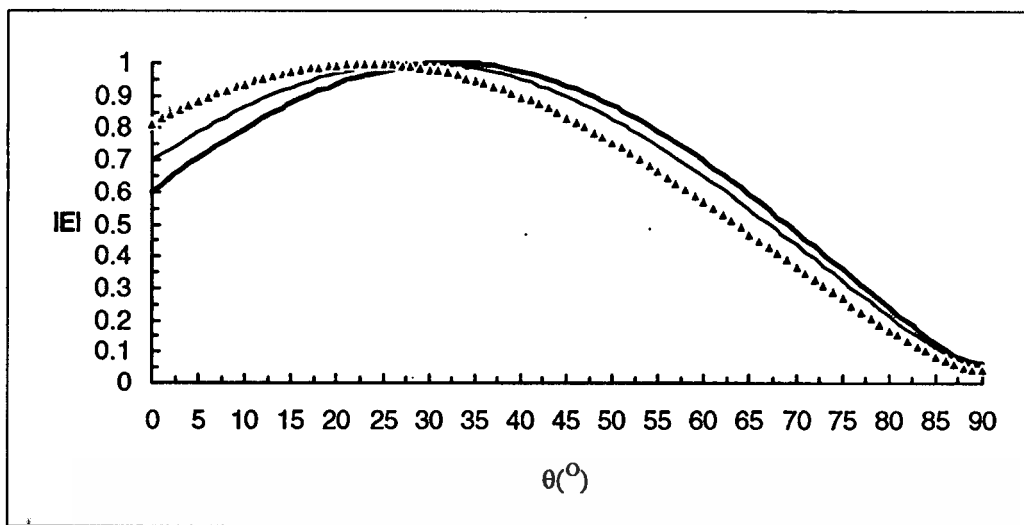
$$\begin{array}{cc} \text{---} & L = \frac{\lambda}{4} & \text{---} & L = \frac{\lambda}{2} \\ \blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle & L = \lambda & \blacksquare\blacksquare\blacksquare\blacksquare & L = 2\lambda \end{array}$$

รูปที่ 3.12 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ
เมื่อสลิตอยู่ที่ $\theta' = 30^\circ$, 45° และ 60°

ในรูปที่ 3.12 จะเห็นว่ามีเพียงกราฟเส้นเดียวเท่านั้นหมายความว่าสลิตที่ถูกเจาะอยู่ที่ตำแหน่งมุม $\theta' = 30^\circ$, 45° และ 60° สลิตทุกความยาวจะมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเหมือนกันทุกประการ

3.4.2 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบอีลีเวชัน

ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ที่ได้จากการคำนวณในระนาบอีลีเวชัน โดยทำการกวาดมุมจากจุดยอดของควาวิตี้ลงมาจนถึงขอบล่างของควาวิตี้เป็นมุมทั้งสิ้น 90° เพื่อต้องการรูปภาพที่ค่อนข้างละเอียดเพื่อที่จะสามารถพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงขนาดของแอมพลิจูด จึงกำหนดให้ขยับมุมไปครั้งละ 1° เริ่มแรกกำหนดให้ความยาวของสลิตเป็น $\frac{\lambda}{2}$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับหมดตลอดการคำนวณในต่อไปนี้ ต่อจากนั้นทำการเจาะสลิตซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง $\theta' = 30^\circ$, 45° และ 60° บนผิวภายนอกของควาวิตี้ ในรูปที่ 3.13 เป็นกราฟที่ได้จากการคำนวณ



▲▲▲▲▲ เมื่อสลิตอยู่ที่ $\theta' = 30^\circ$
 ————— เมื่อสลิตอยู่ที่ $\theta' = 45^\circ$
 - - - - - เมื่อสลิตอยู่ที่ $\theta' = 60^\circ$

รูปที่ 3.13 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ สลิตยาว $\frac{\lambda}{2}$

ในรูปที่ 3.13 จะเห็นว่าตำแหน่งของสนามที่มีค่ามากที่สุดอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับตำแหน่งของรูสลิตตมมาก

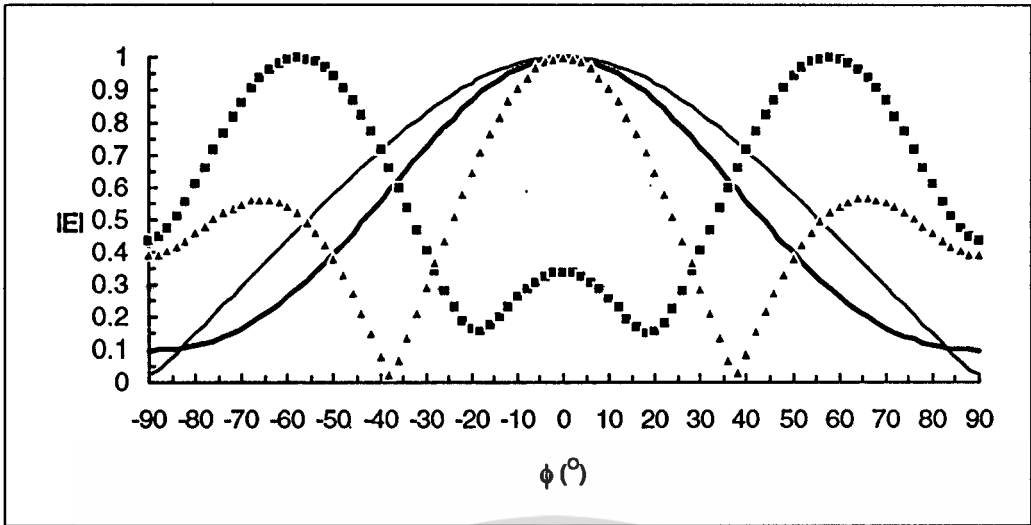
3.5 สายอากาศสลิตที่วางตามแนวใดๆ บนผิวควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน

ในการคำนวณกำหนดให้เจาะสลิตทำมุม $\alpha = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ และ 75° บนผิวควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันนั้น พบว่าสามารถคำนวณเพื่อที่จะหาค่าของความเข้มสนามไฟฟ้าได้จากสมการ (3.30) และสมการ (3.31) ซึ่งได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อที่ 3.2 ขณะที่ค่าความยาวของสลิตซึ่งเดิมที่อาศัยสมการ (3.37) แสดงได้ดังสมการข้างล่างนี้

$$dl' = \sqrt{(r' dr')^2 + (r' d\theta')^2 + (r' \sin\theta' d\phi')^2}$$

พิจารณาในสมการข้างบนจะเห็นว่าเป็นฟังก์ชันของ r, θ, ϕ แต่ลักษณะการเจาะสลิตเฉียงทำมุม α ซึ่งมีขนาดต่างๆ กัน พิจารณาจากตัวแปรทั้งสามจะพบว่ารัศมี r ของควาวิตีมีค่าคงที่เท่านั้นส่วนตัวแปร θ, ϕ จะแปรเปลี่ยนไป ดังนั้นในสมการที่ใช้แสดงถึงค่าความยาวของสลิตเมื่อสลิตทำมุมเฉียง α ขนาดต่างๆ จึงเป็นฟังก์ชันของมุม θ, ϕ เท่านั้นคือ

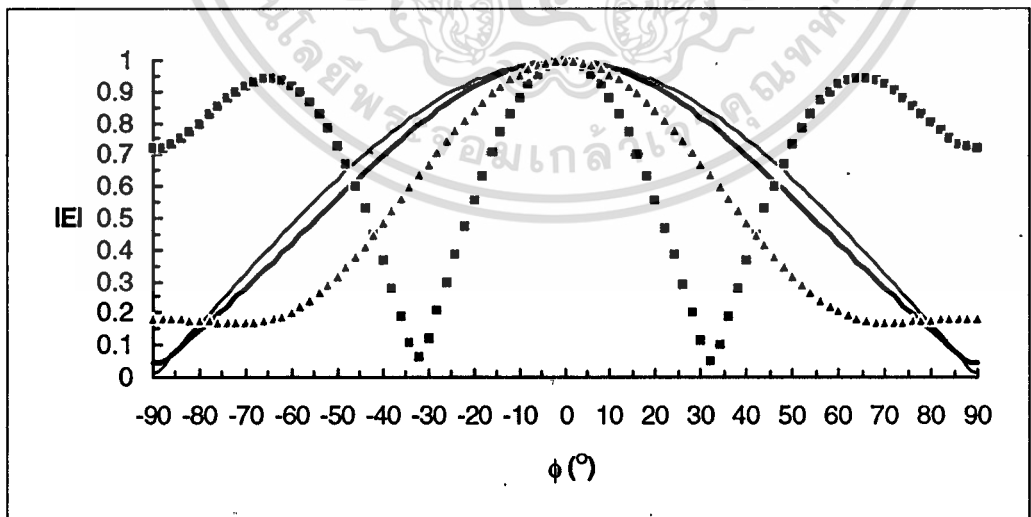
เอกสารนี้ให้ $dl' = \sqrt{(r' d\theta')^2 + (r' \sin\theta' d\phi')^2}$ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ (3.40) ยืนยันการคำนวณไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$\text{---} L = \frac{\lambda}{4}$ $\text{---} L = \frac{\lambda}{2}$
 $\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle L = \lambda$ $\blacksquare\blacksquare\blacksquare\blacksquare L = 2\lambda$

รูปที่ 3.15 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ สถิตย์อยู่ที่ $\theta' = 45^\circ$

รูปที่ 3.15 ความยาว $\frac{\lambda}{4}$ และ $\frac{\lambda}{2}$ มีเพียงโลบเดียวแต่มีบีมวิดท์แคบกว่าความยาว $\frac{\lambda}{4}$ ขณะที่ความยาวตั้งแต่ λ มีเมนโลบที่มีขนาดของบีมวิดท์แคบกว่าที่ความยาว $\frac{\lambda}{2}$ ส่วนความยาว 2λ จะมีไซด์โลบด้านข้างมีขนาดแอมพลิจูดสูงเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.8 พบว่ามีลักษณะที่คล้ายกันแต่บีมวิดท์ที่กว้างกว่าระดับไซด์โลบที่ความยาว λ ต่ำกว่าและระดับของเมนบีมที่ความยาว 2λ สูงกว่า

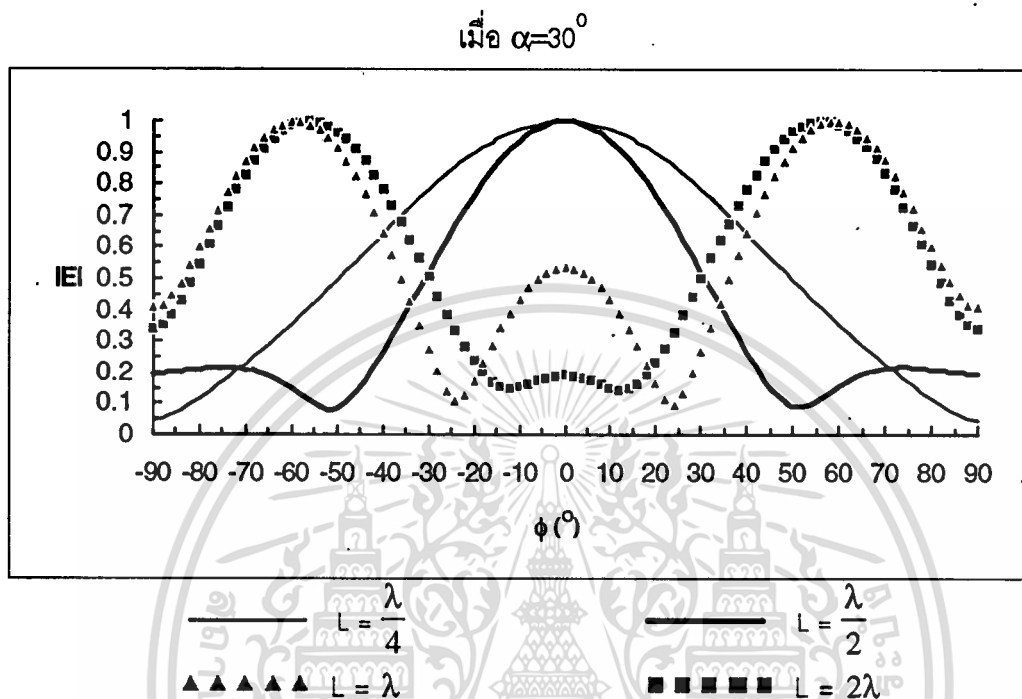


$\text{---} L = \frac{\lambda}{4}$ $\text{---} L = \frac{\lambda}{2}$
 $\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle L = \lambda$ $\blacksquare\blacksquare\blacksquare\blacksquare L = 2\lambda$

รูปที่ 3.16 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ สถิตย์อยู่ที่ $\theta' = 60^\circ$

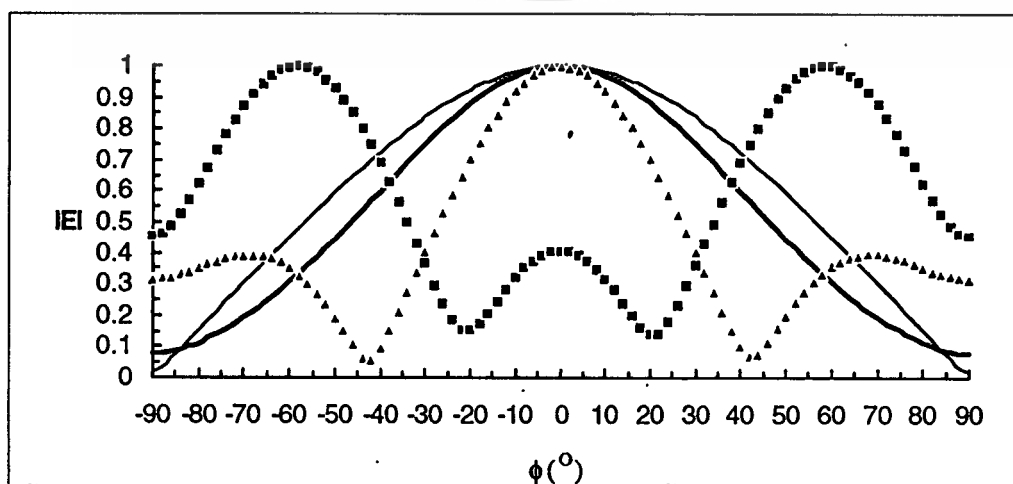
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.16 ความยาวที่น้อยกว่า 2λ จะมีเพียงโลบเดียวและที่ความยาว 2λ เกิดไซด์โลบที่มีขนาดค่อนข้างสูงมากเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.9 พบว่าจะมีความกว้างของบีมวิดท์มากกว่าและที่ความยาวเป็น 2λ ระดับเมนบีมจะสูงกว่า



รูปที่ 3.17 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ สถิตย์อยู่ที่ $\theta'=30^\circ$

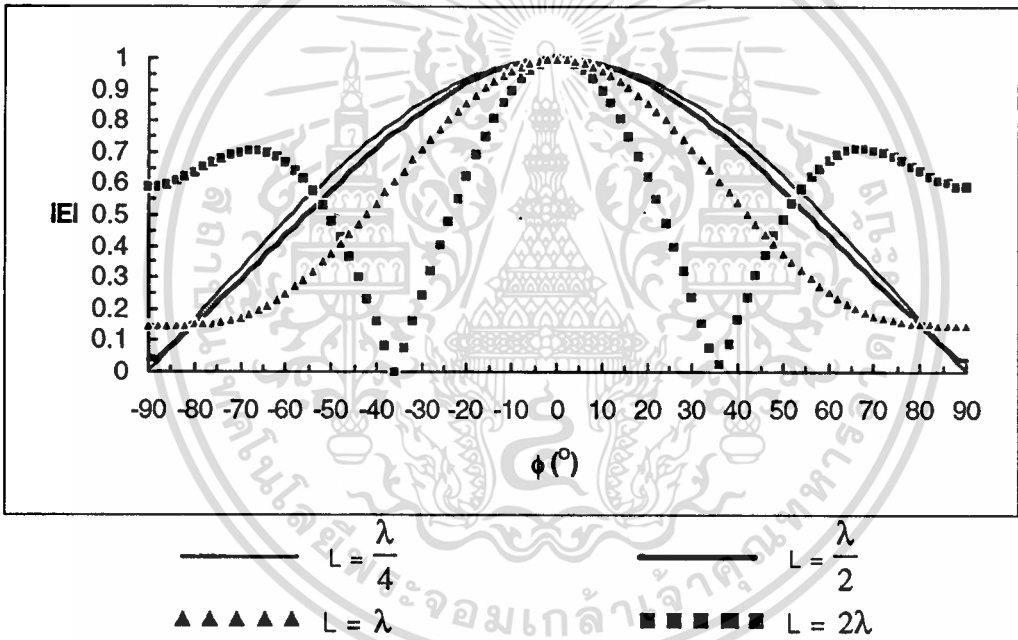
รูปที่ 3.17 ความยาวที่น้อยกว่า $\frac{\lambda}{2}$ มีเพียงโลบเดียว เมื่อความยาวมากกว่า $\frac{\lambda}{2}$ เกิดเมนโลบขึ้นสองโลบซึ่งมีขนาดเท่ากันเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.7 ที่ความยาวน้อยกว่า $\frac{\lambda}{2}$ จะมีบีมวิดท์กว้างกว่า ส่วนที่ความยาว λ จะเหมือนกับรูปที่ 3.7 ที่ความยาว 2λ มีลักษณะเหมือนกันกับรูปที่ 3.7





รูปที่ 3.18 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ สลัดอยู่ที่ $\theta' = 45^\circ$

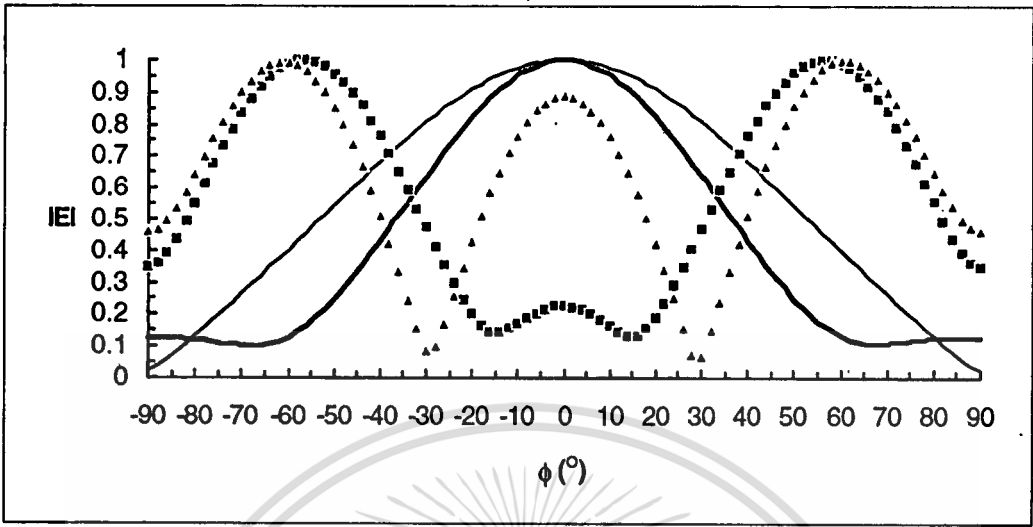
รูปที่ 3.18 ความยาวน้อยกว่า $\frac{\lambda}{2}$ มีเพียงลอบเดียวและที่ความยาว λ เกิดเมนลอบขึ้นทั้งสองข้างที่มีขนาดใหญ่ เมื่อความยาวมากขึ้นจะมีบีมวิดท์แคบลงเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.8 พบว่าที่ความยาวน้อยกว่า λ จะมีบีมวิดท์กว้างกว่าแต่ที่ความยาว λ จะมีระดับไซด์ลอบที่ต่ำกว่า ส่วนที่ 2λ แม้ว่าระดับของบีมตรงกลางจะเพิ่มขึ้นแต่ระดับของไซด์ลอบก็ยังคงสูงอยู่



รูปที่ 3.19 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ สลัดอยู่ที่ $\theta' = 60^\circ$

รูปที่ 3.19 เมื่อความยาวน้อยกว่า 2λ มีเพียงเมนลอบเดียวซึ่งมีขนาดใหญ่ แต่ที่ความยาว 2λ จะมีเมนลอบซึ่งมีบีมวิดท์แคบกว่าที่ความยาว λ มาก และเกิดไซด์ลอบขนาดใหญ่ใกล้เคียงเมนลอบเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.9 พบว่าทุกความยาวจะมีบีมวิดท์ที่กว้างกว่า ขณะที่ความยาวเป็น 2λ ระดับของไซด์ลอบจะต่ำกว่ามาก

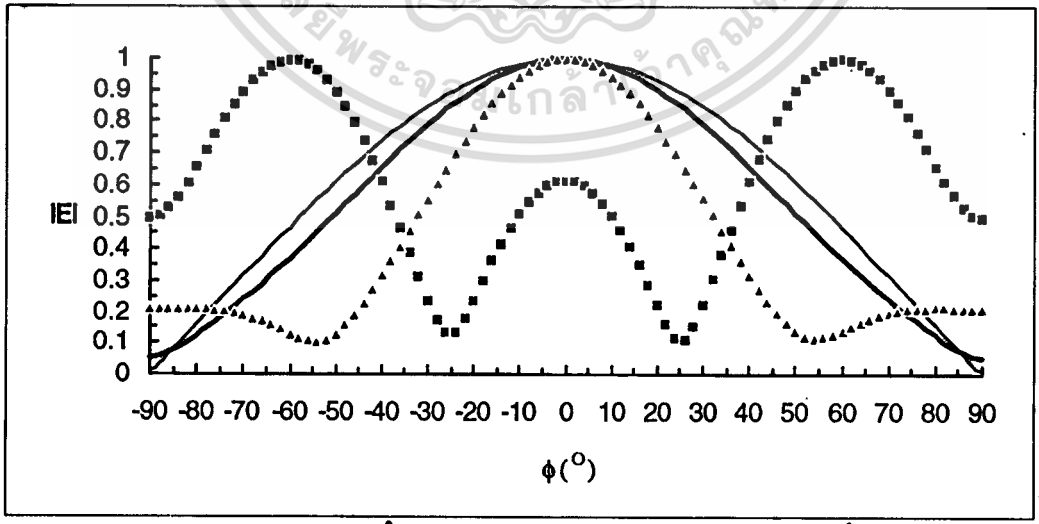
เมื่อ $\alpha=45^\circ$



$\text{---} L = \frac{\lambda}{4}$ $\text{---} L = \frac{\lambda}{2}$
 $\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle L = \lambda$ $\blacksquare\blacksquare\blacksquare\blacksquare L = 2\lambda$

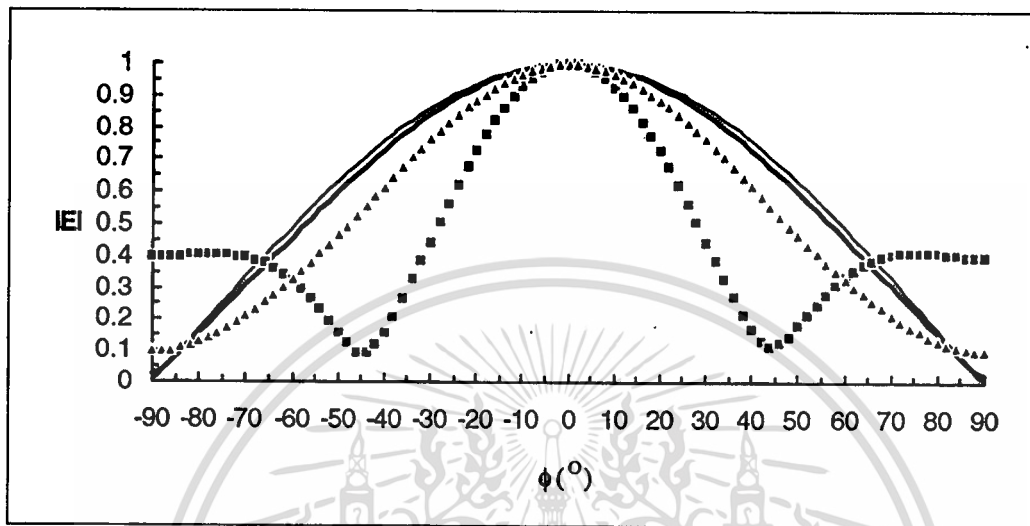
รูปที่ 3.20 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ สลิตอยู่ที่ $\theta'=30^\circ$

รูปที่ 3.20 ความยาวที่น้อยกว่า $\frac{\lambda}{2}$ มีเพียงโลบเดียว เมื่อความยาวมากกว่า $\frac{\lambda}{2}$ เกิดเมนโลบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสองโลบและระดับของไซด์โลบมีขนาดสูงมากเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.7 พบว่าทุกความยาวของสลิตจะมีมุมที่กว้างกว่า ขณะที่ความยาว λ ระดับไซด์โลบมีขนาดเล็กกว่า



$\text{---} L = \frac{\lambda}{4}$ $\text{---} L = \frac{\lambda}{2}$
 $\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle L = \lambda$ $\blacksquare\blacksquare\blacksquare\blacksquare L = 2\lambda$

รูปที่ 3.21 ความยาวน้อยกว่า λ มีเพียงโลบเดียวและที่ความยาว 2λ เกิดเมนโลบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสองโลบเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.8 พบว่าทุกความยาวมีบีบอัดที่ที่กว้างกว่าและที่ความยาว λ ระดับไซด์โลบต่ำกว่ามาก

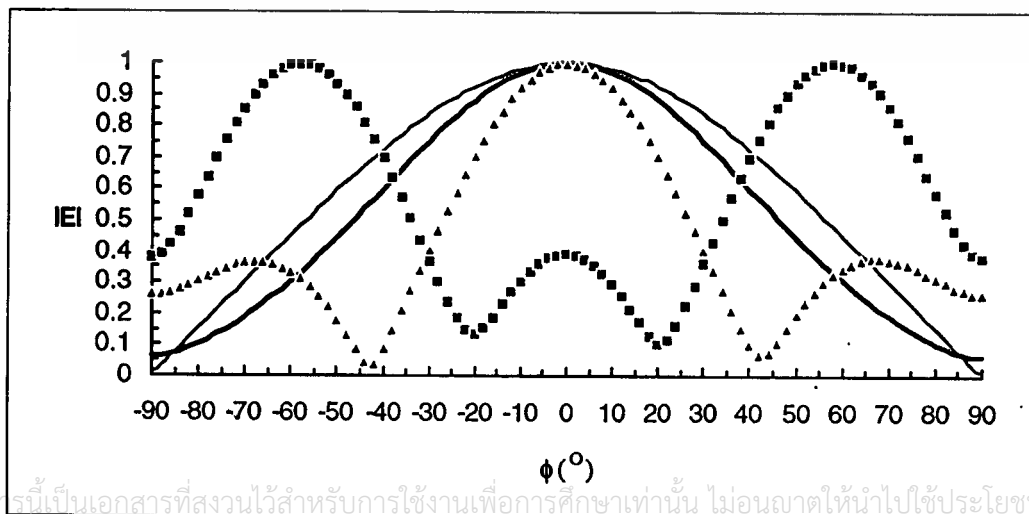


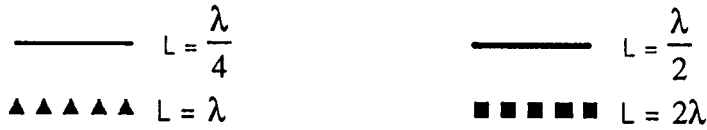
$\text{---} \quad L = \frac{\lambda}{4}$
 $\text{---} \quad L = \frac{\lambda}{2}$
 $\blacktriangle \blacktriangle \blacktriangle \blacktriangle \quad L = \lambda$
 $\blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \quad L = 2\lambda$

รูปที่ 3.22 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ สลิตอยู่ที่ $\theta' = 60^\circ$

รูปที่ 3.22 เมื่อความยาวน้อยกว่า 2λ มีเพียงเมนโลบเดียวซึ่งมีขนาดใหญ่ ที่ความยาวเป็น 2λ จะมีเมนโลบซึ่งมีบีบอัดที่แคบกว่าที่ λ มาก เปรียบเทียบกับรูปที่ 3.9 พบว่าทุกความยาวของสลิตจะมีบีบอัดที่ที่กว้างกว่า ส่วนที่ความยาว 2λ มีระดับของไซด์โลบจะต่ำกว่ามากเมื่อเทียบกับรูปที่ 3.9

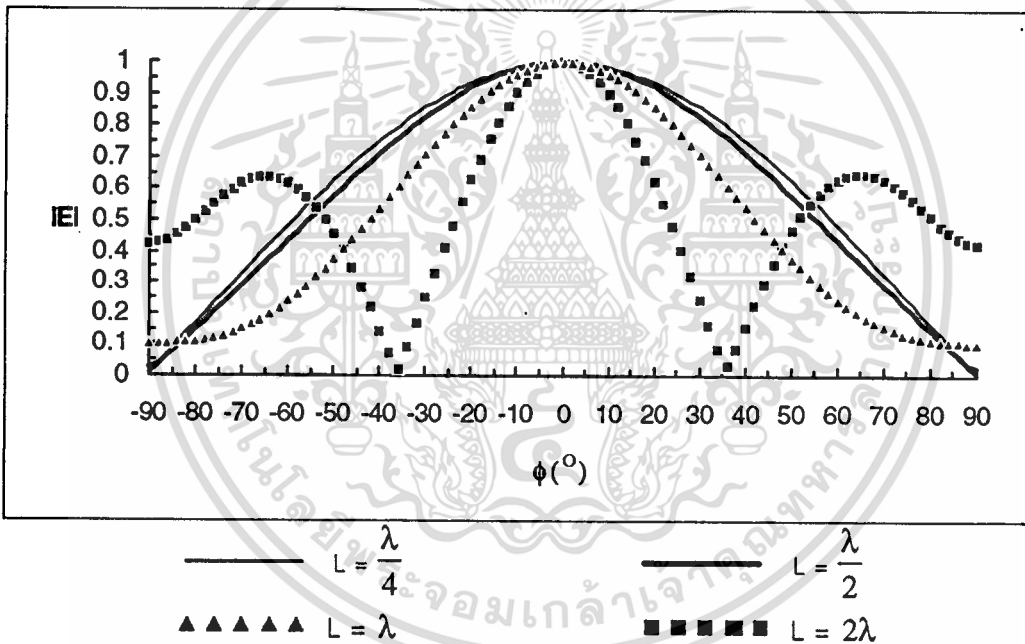
เมื่อ $\alpha = 60^\circ$





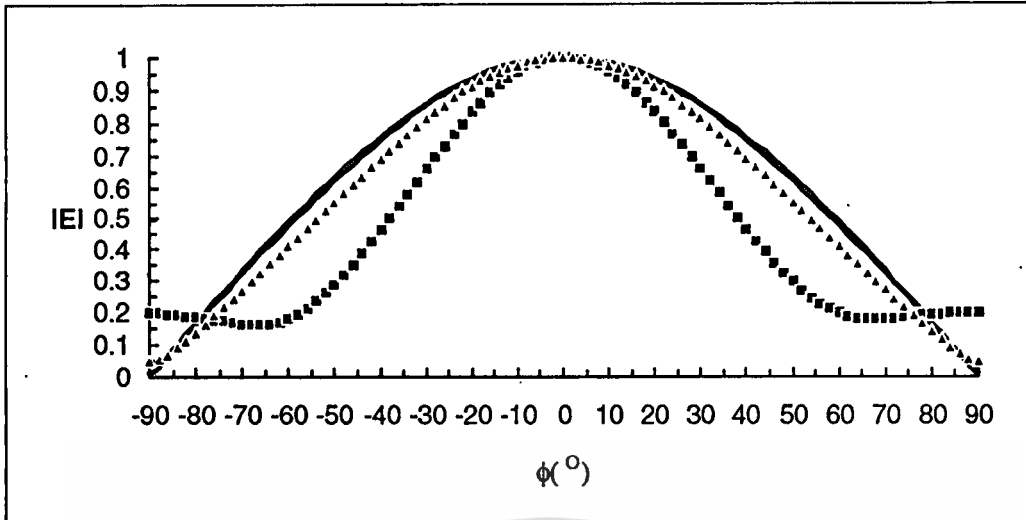
รูปที่ 3.23 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ สลิตอยู่ที่ $\theta' = 30^\circ$

รูปที่ 3.23 เมื่อความยาวมากกว่า $\frac{\lambda}{4}$ บีมวิดท์จะแคบลงเรื่อยๆ และที่ความยาว λ มีไซด์โลบเกิดขึ้นแต่มีค่าน้อยมาก เมื่อความยาวเป็น 2λ เกิดเมนโลบที่มีขนาดใหญ่สองโลบด้านข้างเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.7 พบว่าทุกความยาวของสลิตมีบีมวิดท์ที่กว้างกว่าและที่ความยาว $\frac{\lambda}{2}$ ไม่เกิดไซด์โลบขณะที่ความยาวเป็น λ ระดับของไซด์โลบมีค่าน้อยมาก ส่วนที่ความยาว 2λ มีเมนโลบที่มีลักษณะคล้ายกัน



รูปที่ 3.24 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ สลิตอยู่ที่ $\theta' = 45^\circ$

รูปที่ 3.24 เมื่อความยาวมากกว่า $\frac{\lambda}{4}$ จะมีเพียงโลบเดียวและมีขนาดบีมวิดท์ที่ใกล้เคียงกันยกเว้นที่ความยาว 2λ เกิดไซด์โลบที่มีขนาดค่อนข้างสูงเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.8 พบว่าทุกความยาวของสลิตมีบีมวิดท์ที่กว้างกว่า เมื่อความยาวน้อยกว่าหรือเท่ากับที่ความยาว $\frac{\lambda}{2}$ จะมีเพียงโลบเดียวแต่ที่ความยาวเป็น λ ไม่เกิดไซด์โลบ ขณะที่ความยาว 2λ ระดับของเมนโลบมีค่ามาก ส่วนระดับของไซด์โลบมีค่าน้อย

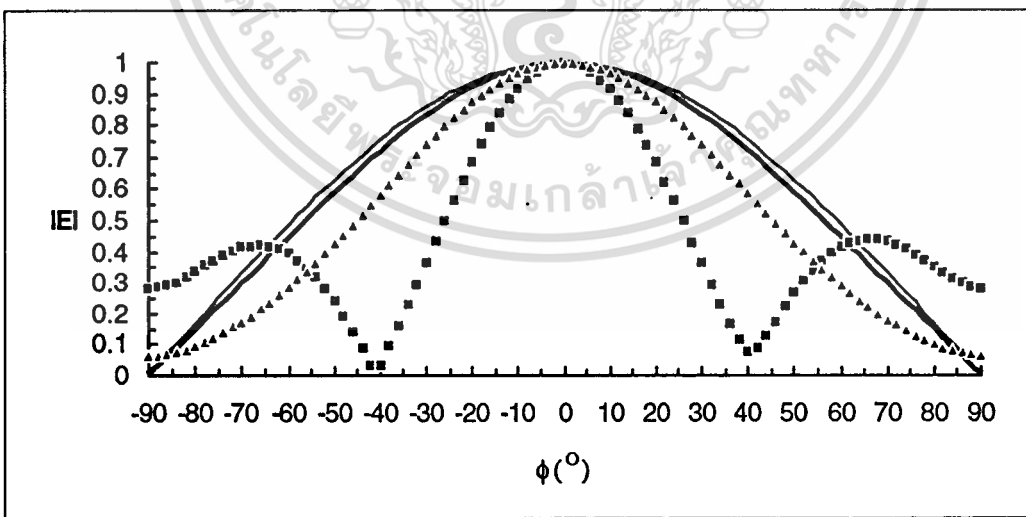


$\text{---} L = \frac{\lambda}{4}$ $\text{---} L = \frac{\lambda}{2}$
 $\blacktriangle \blacktriangle \blacktriangle \blacktriangle L = \lambda$ $\blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare L = 2\lambda$

รูปที่ 3.25 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ สลิตอยู่ที่ $\theta' = 60^\circ$

รูปที่ 3.25 ที่ความยาว 2λ เห็นความแตกต่างชัดเจนเพราะมีบีบรัดที่ที่แคบกว่าที่ความยาวอื่นๆ เปรียบเทียบกับรูปที่ 3.9 พบว่าทุกความยาวของสลิตจะมีบีบรัดที่ที่กว้างกว่าแต่ที่ความยาว 2λ จะไม่เกิดไซด์โลบ

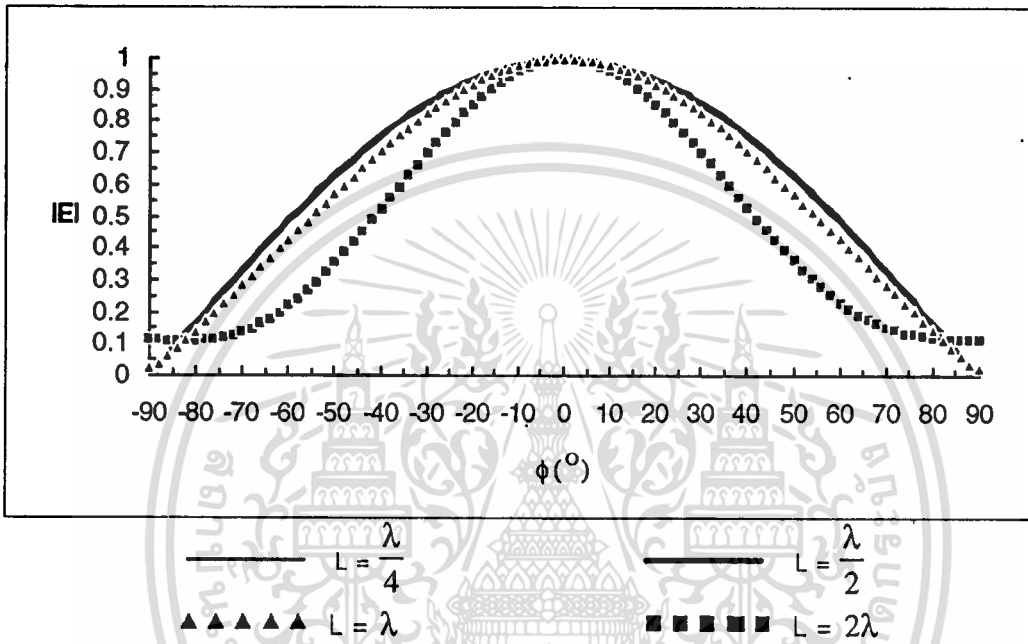
เมื่อ $\alpha = 75^\circ$



$\text{---} L = \frac{\lambda}{4}$ $\text{---} L = \frac{\lambda}{2}$
 $\blacktriangle \blacktriangle \blacktriangle \blacktriangle L = \lambda$ $\blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare L = 2\lambda$

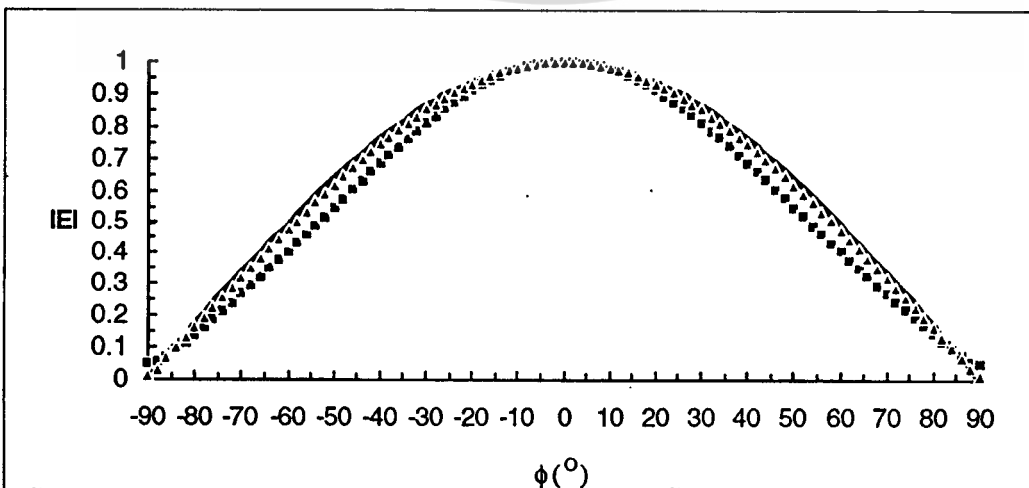
รูปที่ 3.26 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ สลิตอยู่ที่ $\theta' = 30^\circ$

รูปที่ 3.26 ความยาวที่น้อยกว่า 2λ จะมีเพียงlobเดียวและจะเห็นว่าที่ความยาว λ ขนาดของบีมวิดท์แคบกว่าที่ $\frac{\lambda}{2}$ แต่มีไซด์โลบเกิดขึ้นเล็กน้อยส่วนที่ 2λ จะมีเมนโลบที่มีขนาดของบีมวิดท์แคบกว่าที่ λ และมีไซด์โลบเกิดขึ้นซึ่งมีขนาดแอมพลิจูดไม่สูงมากนักเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.7 พบว่าทุกความยาวสล็อตมีบีมวิดท์ที่กว้างกว่า เมื่อความยาวน้อยกว่า 2λ จะมีเพียงlobเดียว ยกเว้นที่ความยาว 2λ จะเกิดไซด์โลบขึ้นทั้งสองข้าง



รูปที่ 3.27 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ สล็อตอยู่ที่ $\theta' = 45^\circ$

รูปที่ 3.27 ที่ความยาว 2λ มีบีมวิดท์แคบกว่าที่ความยาวอื่นๆ เปรียบเทียบกับรูปที่ 3.8 พบว่าทุกความยาวของสล็อตมีบีมวิดท์ที่กว้างกว่าและมีเพียงlobเดียวเท่านั้น



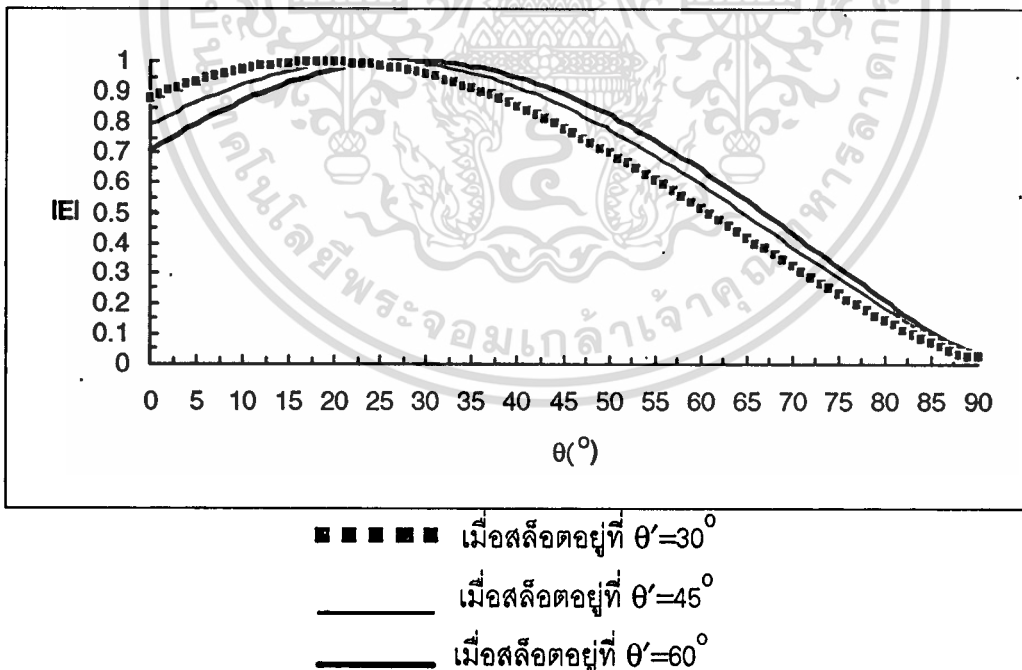


รูปที่ 3.28 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ สล๊อตอยู่ที่ $\theta' = 60^\circ$

รูปที่ 3.28 ทุกความยาวมีขนาดไม่แตกต่างกันเลยโดยจะมีเพียงโลบเดียวเท่านั้น แต่ที่ความยาว 2λ มีบีมวิดท์แคบกว่าเล็กน้อยแต่ก็ไม่เห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.9 จะพบว่าทุกความยาวของสล๊อตจะมีบีมวิดท์ที่กว้างกว่าและมีเพียงโลบเดียวเท่านั้น

3.5.2 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบฮอริซัน

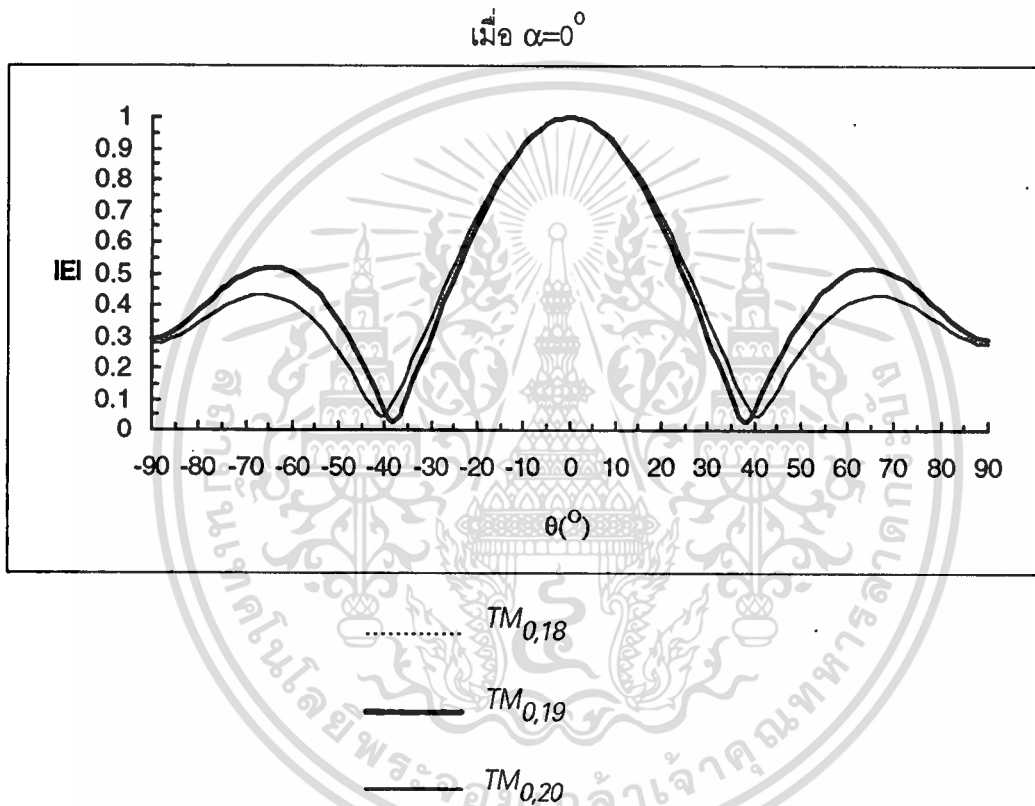
เป็นการคำนวณเพื่อหาค่าความเข้มสนามไฟฟ้า โดยการกวาดบีมจากจุดยอดของควาวิตีตัวนำทรงกลมชั้นกันลงมาจนถึงฐานของควาวิตีเป็นมุมทั้งสิ้น 90° โดยในการกวาดของบีมให้กวาดไปครั้งละ 1° ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงของมุมค่อนข้างละเอียดสำหรับการวิเคราะห์รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นได้ดี กำหนดให้สายอากาศสล๊อตมีความยาวเดียวกันยาว $\frac{\lambda}{2}$ และเจาะสล๊อตที่ตำแหน่ง $\theta' = 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° บนผิวนอกของควาวิตีแสดงดังในรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ สล๊อตยาว $\frac{\lambda}{2}$

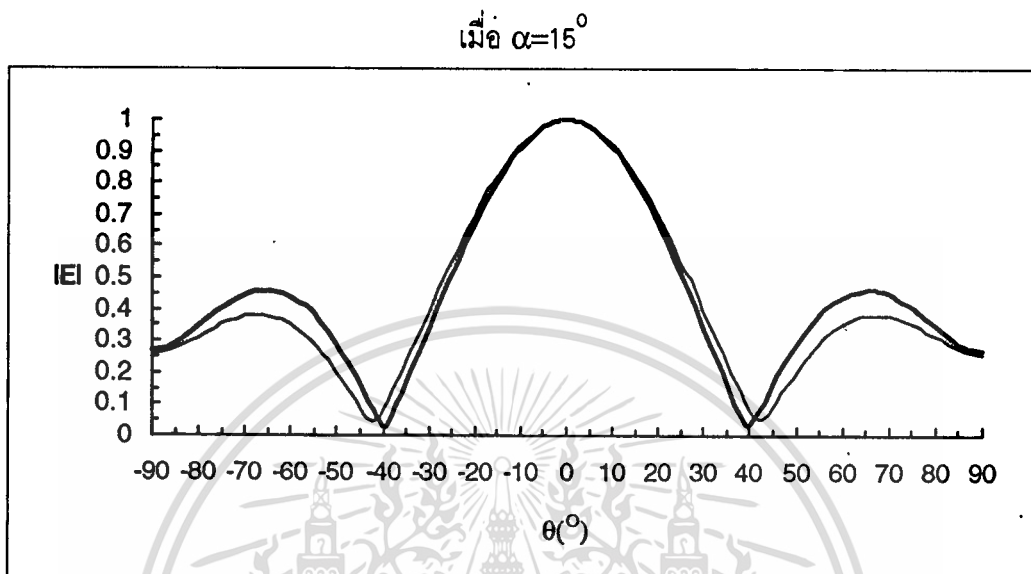
รูปที่ 3.29 จะเห็นว่าตำแหน่งที่บีมมีค่ามากที่สุดมีตำแหน่งใกล้เคียงกับปากสล๊อตและมีบีมวิดท์เท่ากันทุกๆ มุม $\alpha (30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ)$ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ทำการเปลี่ยนโหมดเป็น $TM_{0,18}$ และ $TM_{0,19}$ และทำการคำนวณเพื่อที่จะหารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศอิลิมินต์เดี่ยว โดยกำหนดให้ความยาวของสายอากาศสลีตเป็น $\frac{\lambda}{2}$ เจาะสลีตอยู่ที่ตำแหน่งมุม $\alpha=30^\circ$ บนผิวภายนอกของควาติตี้เมื่อสายอากาศสลีตมีมุมเอียงต่างๆ กันตั้งแต่มุม $\alpha=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ และ 90° ทำการแสดงกราฟในรูปแบบของการนอร์มอลไรซ์รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบอะซิมูทและได้แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างโหมดทั้งสามอยู่ในรูปกราฟเดียวกันโดยเริ่มแสดงจากมุม $\alpha=0^\circ$



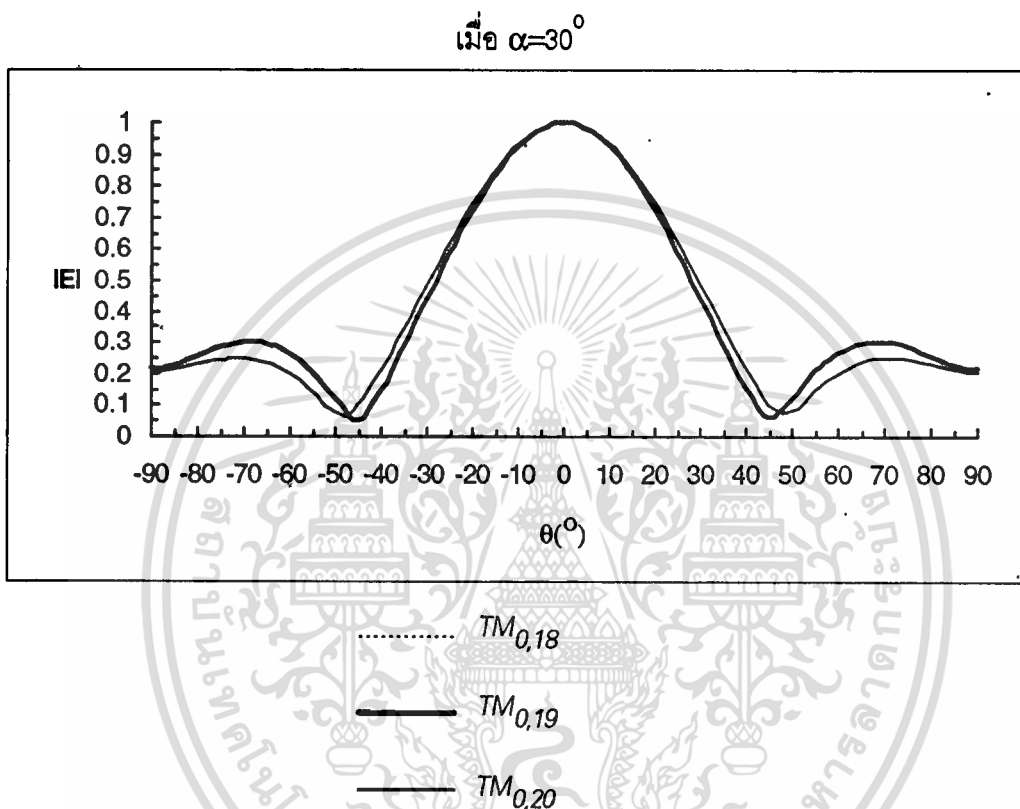
รูปที่ 3.30 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ

รูปที่ 3.30 ทุกโหมดมีเมนโลบใกล้เคียงกันโดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของโหมด $TM_{0,18}$ และโหมด $TM_{0,20}$ มีขนาดเดียวกันเส้นของกราฟจึงซ้อนกันสนิท โหมด $TM_{0,19}$ มีเมนโลบกว้างกว่าทำให้มีค่าไดเรกทิวิตี้ต่ำกว่าโหมด $TM_{0,18}$ และ โหมด $TM_{0,20}$ ระดับไซด์โลบโหมด $TM_{0,19}$ สูงกว่าโหมด $TM_{0,18}$ และ $TM_{0,20}$



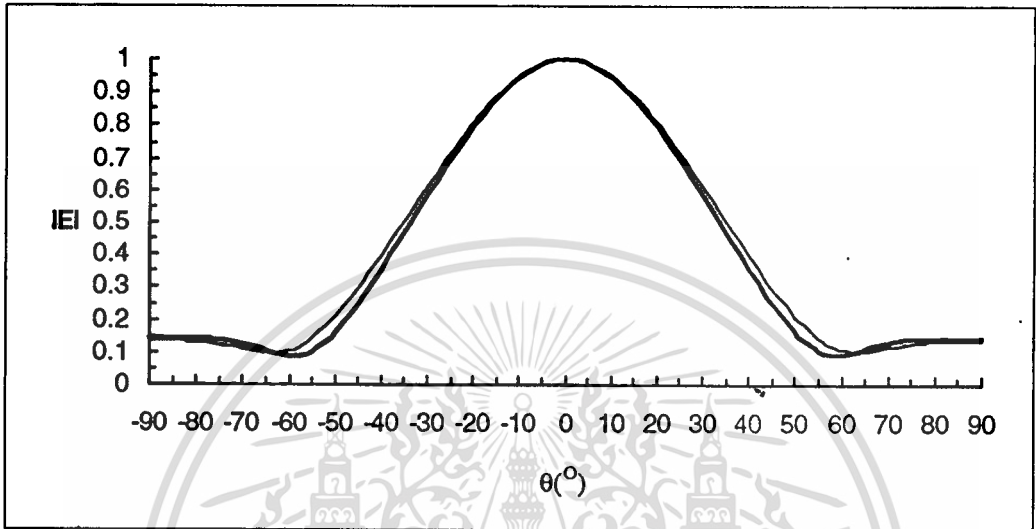
รูปที่ 3.31 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ

รูปที่ 3.31 ทุกโหมดมีเมนโลบใกล้เคียงกันโดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของโหมด $TM_{0,18}$ และโหมด $TM_{0,20}$ มีขนาดเดียวกันเส้นของกราฟจึงซ้อนกันสนิท โหมด $TM_{0,19}$ มีเมนโลบกว้างกว่าทำให้มีค่าไดเรกทิวิตีต่ำกว่าโหมด $TM_{0,18}$ และ โหมด $TM_{0,20}$ ระดับไซด์โลบโหมด $TM_{0,19}$ สูงกว่าโหมด $TM_{0,18}$ และ $TM_{0,20}$ เปรียบเทียบกับเมื่อเจาะสลิตเฉียงทำมุม $\alpha=0^\circ$ พบว่าค่าปริมิตที่มีค่าสูงขึ้นส่วนระดับไซด์โลบของทุกโหมดมีค่าต่ำลง

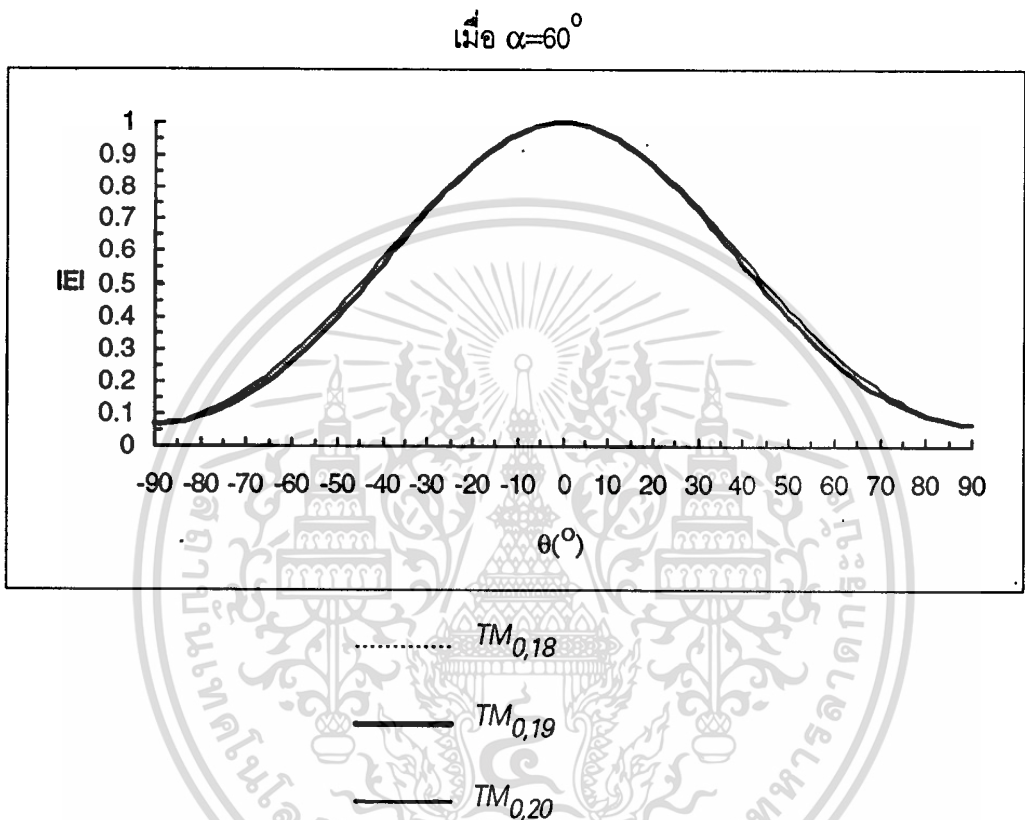


รูปที่ 3.32 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ

รูปที่ 3.32 ทุกโหมดมีเมนโลบใกล้เคียงกันโดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของโหมด $TM_{0,18}$ และโหมด $TM_{0,20}$ มีขนาดเดียวกันเส้นของกราฟจึงซ้อนกันสนิท โหมด $TM_{0,19}$ มีเมนโลบกว้างกว่าทำให้มีค่าไดเรกทิวิตีต่ำกว่าโหมด $TM_{0,18}$ และ โหมด $TM_{0,20}$ ระดับไซด์โลบโหมด $TM_{0,19}$ สูงกว่าโหมด $TM_{0,18}$ และ $TM_{0,20}$ เปรียบเทียบกับเมื่อเจาะสลิตเอียงทำมุม $\alpha=15^\circ$ พบว่าค่าบีบอัดที่มีค่าสูงขึ้นส่วนระดับไซด์โลบของทุกโหมดมีค่าต่ำลง

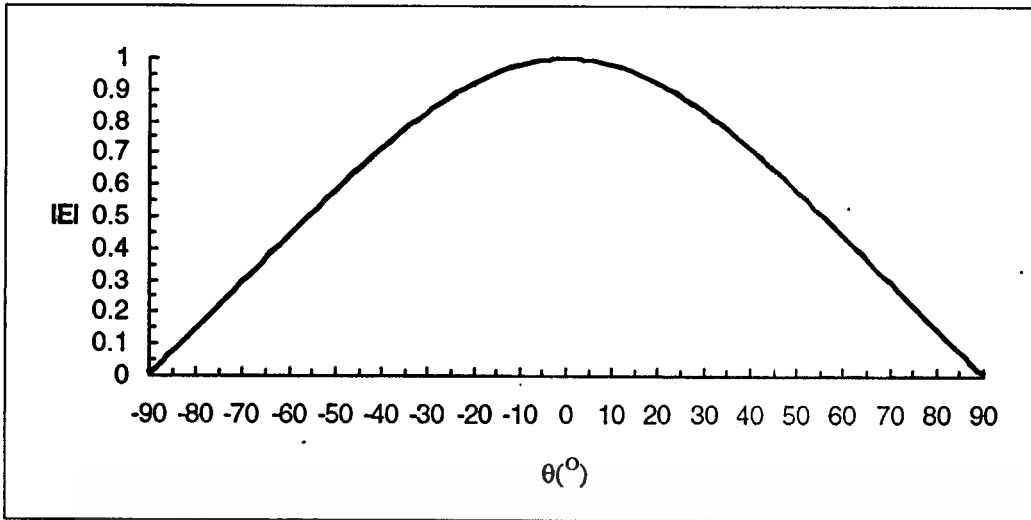
เมื่อ $\alpha=45^\circ$ รูปที่ 3.33 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ

รูปที่ 3.33 ทุกโหมดมีเมนโลบใกล้เคียงกันโดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของโหมด $TM_{0,18}$ และโหมด $TM_{0,20}$ มีขนาดเดียวกันเส้นของกราฟจึงซ้อนกันสนิท โหมด $TM_{0,19}$ มีเมนโลบกว้างกว่าทำให้มีค่าไดเรกตีวิตีต่ำกว่าโหมด $TM_{0,18}$ และ โหมด $TM_{0,20}$ ระดับไซด์โลบโหมด $TM_{0,19}$ สูงกว่าโหมด $TM_{0,18}$ และ $TM_{0,20}$ เปรียบเทียบกับเมื่อเจาะสลีตเฉียงทำมุม $\alpha=30^\circ$ พบว่าค่าบีมวิดท์มีค่าสูงขึ้นส่วนระดับไซด์โลบของทุกโหมดมีค่าต่ำลง



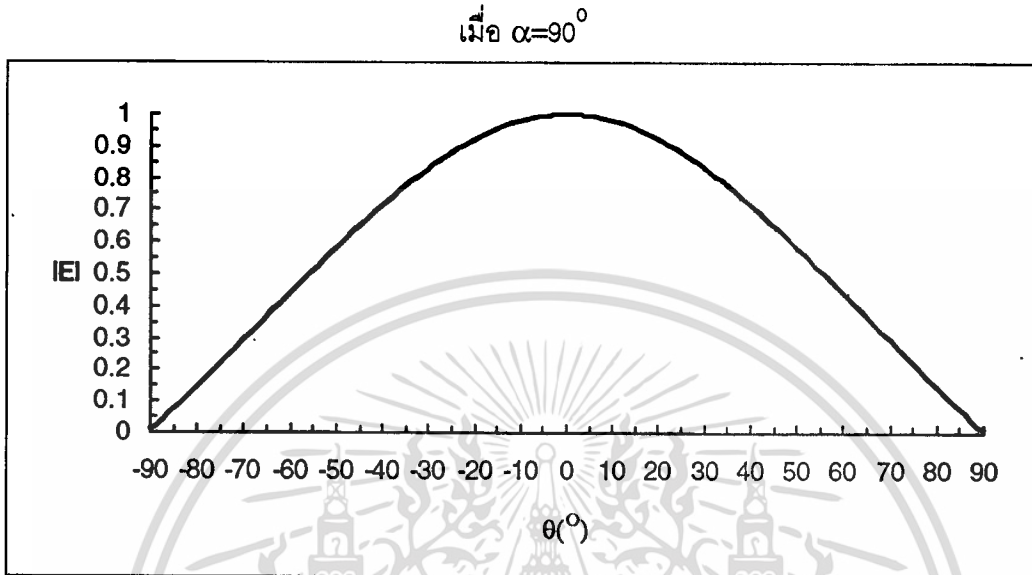
รูปที่ 3.34 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ

รูปที่ 3.34 ทุกโหมดมีเมนโลบเพียงโลบเดียวเท่านั้นและกราฟซ้อนกันเกือบสนิทซึ่งทุกโหมดมีบีมวิดท์กว้างเกือบเท่ากันเมื่อเปรียบเทียบกับ $\alpha=45^\circ$ พบว่ามีเมนโลบที่มีบีมวิดท์มากกว่า

เมื่อ $\alpha=75^\circ$ ..... $TM_{0,18}$ ——— $TM_{0,19}$ ——— $TM_{0,20}$ รูปที่ 3.35 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ

รูปที่ 3.35 ทุกโหมดมีเมนโลบเพียงโลบเดียวเท่านั้นและกราฟซ้อนกันเกือบสนิทซึ่งทุกโหมดมีบีมวิดิทท์กว้างเท่ากันเมื่อเปรียบเทียบกับ $\alpha=60^\circ$ พบว่ามีเมนโลบที่มีบีมวิดิทท์มากกว่า

รูปที่ 3.36 ทุกโหมดมีเมนโลบเพียงโลบเดียวเท่านั้นและกราฟซ้อนกันสนิทเมื่อเปรียบเทียบกับที่เอมูมเซียง $\alpha=75^\circ$ พบว่ามีเมนโลบที่มีบีมวิดิทท์มากกว่าศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$TM_{0,18}$
 $TM_{0,19}$
 $TM_{0,20}$

รูปที่ 3.36 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ

รูปที่ 3.36 ทุกโหมดมีเมนโลบเพียงโลบเดียวเท่านั้นและกราฟซ้อนกันสนิทเมื่อเปรียบเทียบกับที่มุมเฉียง $\alpha=75^\circ$ พบว่ามีเมนโลบที่มีบีบอัดมากกว่า

3.6 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงสมการและลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสลีตตัวเดี่ยวที่เจาะทำมุมเอียงมีขนาดต่างๆ กันบนผิวภายนอกควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน อีกทั้งยังได้แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจากสลีตในระนาบอะซิมุท พบว่าสลีตที่มีความยาวเดียวกัน เมื่อตำแหน่งที่เจาะสลีตเลื่อนต่ำลงมาจากจุดยอดของควาวิตีก็จะมีบีมวิทท์กว้างมากขึ้นด้วย ส่วนในระนาบอีลีเวชันพบว่าสนามจะมีทิศทางของสนามแรงที่สุดในแนวรัศมีตั้งฉากกับรูสลีตผลจากการคำนวณสลีตเดี่ยวนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการที่จะทำการศึกษาต่อไปถึงเรื่องของสายอากาศสลีตอาร์เรย์ และได้แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจากสลีตตัวเดี่ยวเมื่อทำการเปลี่ยนโหนดพบว่าในแต่ละโหนดเมื่อสลีตเปลี่ยนค่ามุมเอียง โดยเริ่มจากแนวนอนซึ่งทำมุม $\alpha=0^\circ$ กับผิวนอกของควาวิตีไปครั้งละ 15° ในการคำนวณพบว่ารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นทุกโหนดมีเมเนบีมวิทท์กว้างมากขึ้น ทำให้มีค่าบีมวิทท์มากขึ้นและระดับไซดโบลลดต่ำลงทุกโหนด โดยโหนด $TM_{0,18}$ และโหนด $TM_{0,20}$ มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเดียวกันและมีระดับไซดโบลที่ต่ำกว่าโหนด $TM_{0,19}$ ทุกมุมเอียง α

บทที่ 4

คุณสมบัติของสายอากาศสล็อดอาร์เรย์ บนผิวควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน

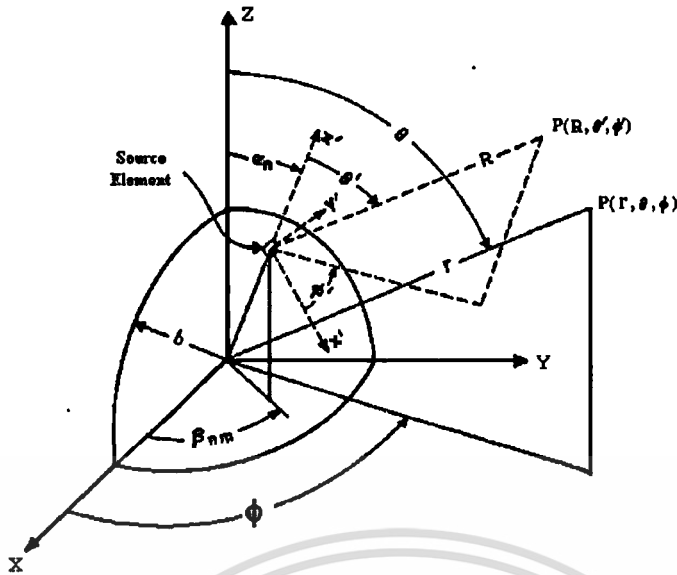
4.1 บทนำ

ในบทนี้จะแสดงการคำนวณรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจากสายอากาศสล็อดอาร์เรย์บนผิวควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน โดยกำหนดให้ความยาวสล็อดยาว $\frac{\lambda}{2}$ เจาะตามแนวนอนมาเป็นอีลีเมนต์ของอาร์เรย์ที่วางเรียงเป็นวงกลมหนึ่งวง ในการคำนวณนี้จะประมาณรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสล็อดได้ด้วยฟังก์ชัน $(\cos\theta)^8$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มีลักษณะใกล้เคียงกับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสล็อดดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

4.2 สนามลัพธ์ที่แพร่กระจายจากสายอากาศสล็อดอาร์เรย์บนผิวควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน

ในการหาสนามลัพธ์ของสายอากาศสล็อดอาร์เรย์ทำได้โดยการรวมสนามที่แพร่กระจายจากแต่ละอีลีเมนต์แบบเวกเตอร์ จำนวนสนามจากแต่ละอีลีเมนต์มาเสริมกันในทิศทางที่ต้องการให้สนามลัพธ์มีค่าสูงและมาหักล้างกันในทิศทางที่ต้องการให้สนามลัพธ์มีค่าต่ำ ในการศึกษาครั้งนี้ได้แสดงถึงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสล็อดอาร์เรย์ทรงกลมโดยไม่คิดผลจากการคัปปลิงระหว่างอีลีเมนต์ สมมติว่าแต่ละอีลีเมนต์มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสนามเป็นแบบ $(\cos\theta)^8$ และมีค่ามากที่สุดอยู่ในแนวรัศมี เมื่อสมมติว่าแต่ละอีลีเมนต์มีโพลาริเซชันเป็นแบบเส้นตรง ส่วนการจัดเรียงอีลีเมนต์จะเริ่มต้นพิจารณาจากการสมมาตรของไอโคซะฮีดรอน (Icosahedron Geometry) และรูปทรงเรขาคณิตของทรงกลม เมื่อแต่ละอีลีเมนต์จะมีเฟสเดียวกันด้วยเมื่ออยู่ในวงแหวนเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ทิศทางของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่มีค่ามากที่สุดอยู่ในทิศที่ต้องการ

รูปที่ 4.1 แสดงระบบพิกัดที่ใช้และตำแหน่งที่เจาะสายอากาศสล็อด โดยมีรัศมีของทรงกลม ($r'=b$) กำหนดให้พิกัดของแต่ละอีลีเมนต์คือ $(b, \alpha_n, \beta_{nm})$ ให้ตำแหน่งของสนามระยะไกลอยู่ที่ $P(r, \theta, \phi)$ เมื่อแกน Z' ถูกจัดวางให้อยู่ในทิศของการแพร่กระจายคลื่นที่มีค่ามากที่สุดของแต่ละอีลีเมนต์และแกน X' อยู่ในระนาบ $Z-Z'$



รูปที่ 4.1 แสดงระบบพิกัดของอาร์เรย์ทรงกลม

ดังนั้นค่าสนามลัพธ์ที่แพร่กระจายจากสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ทรงกลมหลายๆ อีลีเมนต์ จะเกิดจากผลรวมทางเวกเตอร์ที่เกิดจากสนามของสายอากาศแต่ละอีลีเมนต์ที่กำหนดไว้ในสมการข้างล่างนี้ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้คือ [10]

$$E(\theta, \phi) = \sum_n \sum_m \frac{d P_n^0(\cos\theta')}{d\theta'} E_{nm}(\theta', \phi') e^{j(kr' \cos\theta' - \psi'_{nm})} \frac{e^{j(\omega t - kr)}}{r} \quad (4.1)$$

โดยที่

$\frac{d P_n^0(\cos\theta')}{d\theta'}$ แสดงสนามภายในควาวิตีที่มีลักษณะการกระจายเป็นอนุพันธ์ของฟังก์ชัน Legendre ซึ่งจะทำให้เกิดสนามกระตุ้นที่ปากสล็อต

$E_{nm}(\theta', \phi')$ คือรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของอีลีเมนต์ของสายอากาศสล็อต แต่ละอีลีเมนต์ที่ประมาณด้วยฟังก์ชัน $(\cos\theta)^8$

ψ'_{nm} คือเฟสที่ใช้ในการเปลี่ยนทิศทางของบีม

$k = 2\pi / \lambda$ คือค่าคงที่ของการแพร่กระจายคลื่น

r คือระยะทางจากจุดกำเนิดไปยังตำแหน่งใดๆ นอกผิวของควาวิตี

ถ้าสมการทั่วไปซึ่งแสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของแต่ละอีลีเมนต์คือ

$$E_{nm}(\theta', \phi') = a_{\theta} \cdot f(\theta', \phi') \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$a_{\theta'}$ คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศ θ'

ในการคำนวณนี้จะประมาณรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของแต่ละอีลีเมนต์ซึ่ง
เป็นได้ด้วย $(\cos\theta)^8$ เป็นฟังก์ชันที่มีลักษณะใกล้เคียงกับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสล็อต
ดังนั้นเมื่อแทนฟังก์ชัน $f(\theta',\phi')$ ในสมการ (4.2) ด้วย $(\cos\theta)^8$ ก็จะได้ดังนี้คือ

$$f(\theta',\phi') = (\cos\theta')^8 e^{-j\phi'} \quad \text{โดยที่ } -\pi/2 \leq \theta' \leq \pi/2$$

$$= 0 \quad \text{เมื่อ } \theta' \text{ เป็นค่าอื่นๆ} \quad (4.3)$$

ในสมการที่กล่าวมาแล้วข้างต้นค่าที่ติดอยู่ในเครื่องหมาย primed สามารถขจัดออกไปเพื่อให้อยู่ในเทอมที่ไม่มีเครื่องหมาย primed โดยอาศัยความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้ช่วยในการ
แปลงรูปแบบคือ

$$\cos\theta' = \sin\alpha_n \sin\theta \cos(\phi - \beta_{nm}) + \cos\alpha_n \cos\theta \quad (4.4)$$

$$\cot\phi' = \frac{\cos\alpha_n \sin\theta \cos(\phi - \beta_{nm}) - \sin\alpha_n \cos\theta}{\sin\theta \sin(\phi - \beta_{nm})} \quad (4.5)$$

$$\alpha_{\theta'} = \frac{-\cos\theta \sin\alpha_n \cos(\phi - \beta_{nm}) - \sin\theta \cos\alpha_n}{\sin\theta'} a_{\theta} + \frac{\sin\alpha_n \sin(\phi - \beta_{nm})}{\sin\theta'} a_{\phi} \quad (4.6)$$

เมื่อทำการแทนค่าสมการ (4.3) ลงในสมการ (4.1) และมีการจัดลำดับทางคณิต
ศาสตร์โดยอาศัยค่าความสัมพันธ์ต่างๆ จากสมการ (4.4) ถึงสมการ (4.6) สามารถแสดงผลรวม
ของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากอาร์เรย์ทรงกลมที่มีโพลาริเซชันแบบเส้นตรงที่ตำแหน่งระยะไกลได้คือ

$$E(\theta, \phi) = -a_{\theta} A(\theta, \phi) \frac{e^{j(\omega t - kr)}}{r} \quad (4.7)$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A(\theta, \phi) = \sum_n \sum_m \frac{d P_n^0(\cos\theta')}{d\theta'} (\cos\theta)^8 e^{j[ka(\psi_{nm} - \Delta_{nm}) - (\xi_{nm} - \eta_{nm})]} \quad (4.8)$$

$$\tan \xi_{nm} = \frac{(\cos \alpha_n + \cos \theta) \sin(\phi - \beta_{nm})}{\sin \alpha_n \sin \theta + (\cos \theta \cos \alpha_n + 1) \cos(\phi - \beta_{nm})} \quad (4.9)$$

$$\eta_{nm} = \xi_{nm} \quad \text{เมื่อ} \quad \theta = \theta_0 \quad \text{และ} \quad \phi = \phi_0 \quad (4.10)$$

$$\psi_{nm} = \cos \theta \cos \alpha_n + \sin \theta \sin \alpha_n \cos(\phi - \beta_{nm}) \quad (4.11)$$

$$\Delta_{nm} = \psi_{nm} \quad \text{เมื่อ} \quad \theta = \theta_0 \quad \text{และ} \quad \phi = \phi_0 \quad (4.12)$$

ในการจัดเรียงอีลีเมนต์ (Element Distribution) ได้อาศัยคุณสมบัติการสมมาตรของรูปทรงเรขาคณิตไอโคสะฮีดรอนมาใช้ในการกระจายอีลีเมนต์ที่ใช้ในอาร์เรย์ทรงกลมคือ

$$\alpha_n = 90^\circ - n15^\circ \quad \text{โดยที่ } n \text{ คือจำนวนเต็ม} \quad -6 \leq n \leq 6 \quad (4.13)$$

$$\beta_{nm} = \frac{72^\circ m}{6 - |n|} \quad \text{โดย} \quad n = 5, 4, 3, 2$$

$$\beta_{nm} = 180^\circ + \frac{72^\circ m}{6 - |n|} \quad \text{โดย} \quad n = -5, -4, -3, -2$$

$$\beta_{\pm 6m} = 0, \quad \beta_{\pm 1m} = \beta_{2m} + 9^\circ \quad \text{และ} \quad \beta_{0m} = \beta_{2m} \quad (4.14)$$

โดย m คือจำนวนเต็มบวกมีค่าจาก 0 ถึง $M(n)$ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า n โดยอาศัยสมการ (4.13) และสมการ (4.14) สามารถที่จะหาค่า $M(n)$ ได้ดังต่อไปนี้คือ

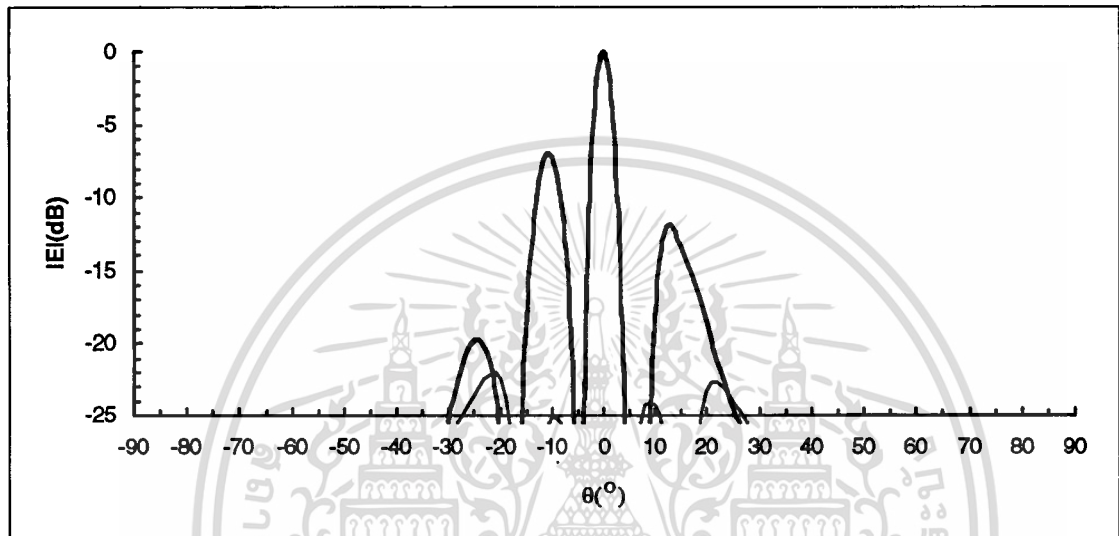
$$M(n) = 5(6 - |n|) - 1 \quad \text{โดย} \quad n = \pm 5, \pm 4, \pm 3, \pm 2$$

$$M(6) = 0$$

$$M(0) = M(1) = M(2) \quad (4.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

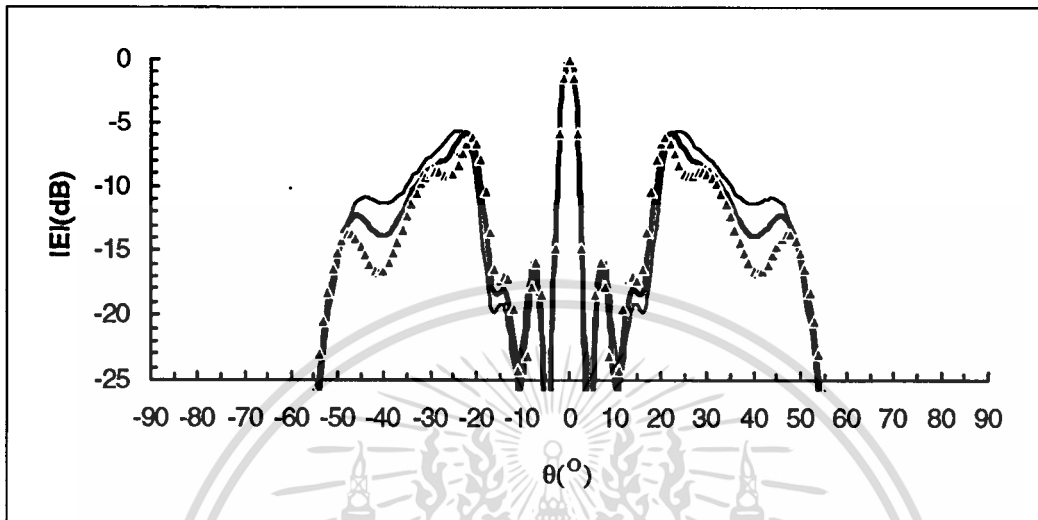
จากการคำนวณรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของอีลีเมนต์ที่แสดงในสมการ (4.7) โดยแสดงในรูปการนอร์มอลไรซ์รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ บนผิวของคาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันและแสดงผลจากการคำนวณใน 2 ระนาบที่ตั้งฉากกัน



— ระนาบ $\phi = 0^\circ$
 - - - ระนาบ $\phi = 90^\circ$

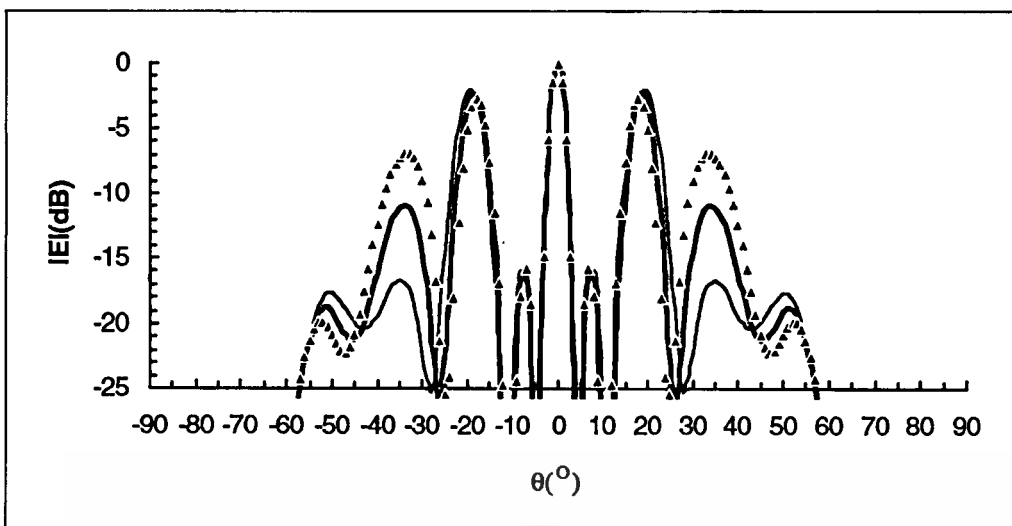
รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ของสายอากาศอาร์เรย์ 5 อีลีเมนต์

รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ทรงกลม ซึ่งมีอีลีเมนต์ของสายอากาศจำนวน 5 อีลีเมนต์จะเรียงกันที่มุม $\alpha = 15^\circ$ พบว่ามีบีมวิดท์ไม่กว้างมากนักมีฮาร์ฟพาวเวอร์บีมวิดท์ (half-power beamwidth) ทั้งสองระนาบเท่ากับ 6° ซึ่งประมาณค่าไดเรกทิวิตีได้ว่ามีค่าประมาณ 30.59 dB ซึ่งสูงกว่าสายอากาศสล็อตเดี่ยวที่มีไดเรกทิวิตี 14.57 dB อยู่ 16.02 dB และมีระดับไซด์โลบต่ำกว่า -7 dB แต่เนื่องจากว่ามีระดับของไซด์โลบที่ค่อนข้างสูงอาจจะทำให้มีการประมาณค่าผิดพลาดได้



รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ของสายอากาศสลิตอาร์เรย์จำนวน 10 อีลีเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุม θ ระบาย $\phi=0^\circ$ เมินมีมุมอยู่ที่มุม 0°

รูปที่ 4.3 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสลิตอาร์เรย์ทรงกลม ซึ่งมี อีลีเมนต์ของสายอากาศจำนวน 10 อีลีเมนต์เจาะเรียงกันอยู่ที่มุม $\alpha=30^\circ$ มีค่าไดเรกทิวิตี ประมาณ 31.19 dB เมื่อทำการเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อมีจำนวนอีลีเมนต์มากกว่า เมินมีก็จะแคบกว่าทำให้มีค่าไดเรกทิวิตีสูงขึ้น แต่ว่ามีระดับของไซด์โลบสูงกว่าคือมีค่า ประมาณ -6 dB



— $TM_{0,18}$
 - - - $TM_{0,19}$
 ▲▲▲▲ $TM_{0,20}$

รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น
 ระหว่างโหมดต่างๆ ระบุ $\phi=90^\circ$

รูปที่ 4.4 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสี่อาร์ทเรย์ทรงกลม ซึ่งมี
 อีลีเมนต์ของสายอากาศจำนวน 10 อีลีเมนต์เจาะเรียงกันที่มุม $\alpha=30^\circ$ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่
 4.3 พบว่าเมเนิมของทั้ง 2 ระบุไม่ได้มีความแตกต่างกันจนสามารถที่จะเห็นได้ชัดเจนและแอมพลี
 จูดของไซดิลอบมีค่าเท่ากันประมาณ -16 dB และแอมพลีจูดของไมเนอริลอบที่สองในระบุนี้มี
 ค่าประมาณ -2 dB ซึ่งมีค่าสูงกว่า เมื่อทำการเปลี่ยนโหมดให้สูงขึ้นพบว่าเมเนิมวิดท์ที่กว้างมาก
 ขึ้นและระดับไซดิลอบต่ำลงจะทำให้ได้ค่าไดเรคตีวิตีและอัตราขยายต่ำ เมื่อโหมดต่ำลงจะมีเมเนิม
 วิดท์ที่แคบกว่าแต่มีระดับไซดิลอบสูงขึ้นจะทำให้ได้ค่าไดเรคตีวิตีและอัตราขยายสูงขึ้น

ในการศึกษาลักษณะของการกวาดเมเนิมได้กำหนดให้ตำแหน่งมุมของเมเนิมมีการ
 เปลี่ยนไปในทิศทางที่ต้องการคือมุม -20° , -10° , 0° , 10° และ 20° นั้นมีความจำเป็นที่จะ
 ต้องกำหนดเฟสให้กับแต่ละอีลีเมนต์ของสายอากาศสี่อาร์ทเรย์ เพื่อให้สนามจากแต่ละ
 อีลีเมนต์มาเสริมกันในทิศของมุมที่ต้องการให้สนามลัพท์มีค่าสูงสุด อาศัยสมการ (4.16) และ
 สมการ (4.17) ช่วยในการคำนวณหาเฟสมีหน่วยเป็นเรเดียนแสดงผลลัพท์ที่ได้ในตารางที่ 4.1

$$\psi'_{nm} = ka \cos \theta' \quad (4.16)$$

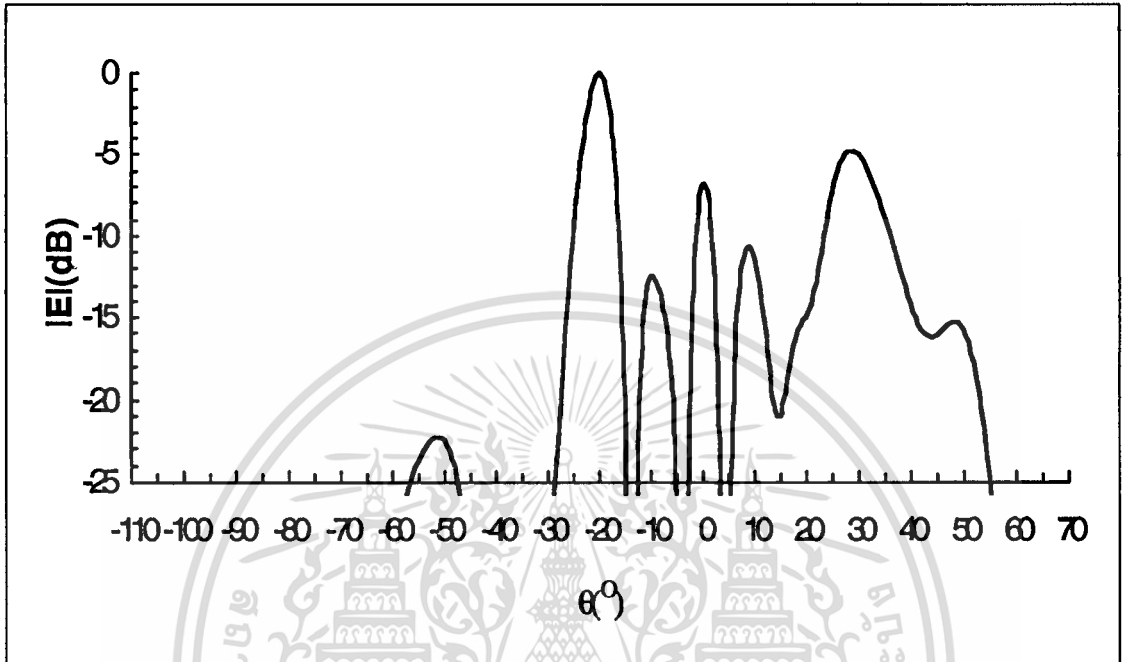
$$\cos \theta' = \sin \alpha_n \sin \theta_0 \cos(\phi - \beta_{nm}) + \cos \alpha_n \cos \theta_0 \quad (4.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงตำแหน่งและเฟสที่กำหนดไว้แต่ละฮิลล์เมทริกซ์ในแต่ละโหมด

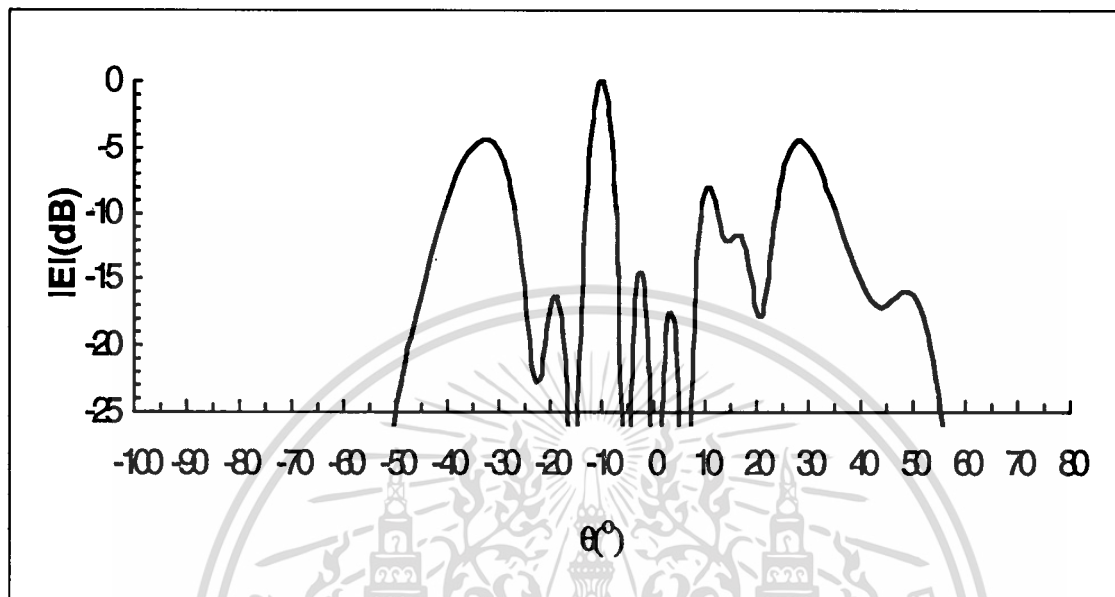
element	ตัวที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
β_{nm}	0°	4.27π	0°	72°	108°	144°	180°	216°	252°	288°	324°
	-20°	4.49π	4.49π	5.05π	5.76π	6.32π	6.54π	6.32π	5.76π	5.05π	4.49π
	-10°	5.09π	5.20π	5.49π	5.84π	6.13π	6.24π	6.13π	5.84π	5.49π	5.20π
	0°	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π
	10°	6.24π	6.15π	5.84π	5.49π	5.20π	5.09π	5.20π	5.49π	5.84π	6.15π
	20°	6.54π	6.32π	5.76π	5.05π	4.49π	4.27π	4.49π	5.05π	5.76π	6.32π

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ของสายอากาศอาร์เรย์ 10 อีลีเมนต์ ระยะเวลา $\phi=0^\circ$ เมนเบีมอยู่ที่มุม -20°

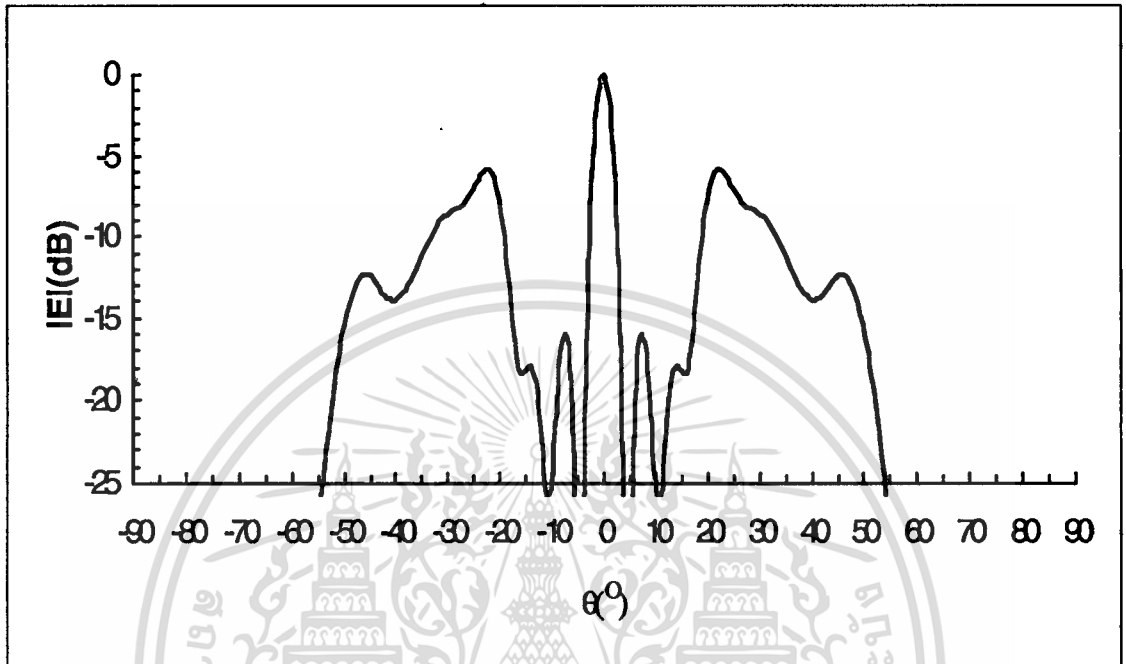
รูปที่ 4.5 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสลิตอาร์เรย์ทรงกลม ซึ่งมีอีลีเมนต์ของสายอากาศจำนวน 10 อีลีเมนต์เจาะเรียงกันที่มุม $\alpha=30^\circ$ โดยกำหนดให้ตำแหน่งของเมนเบีมเปลี่ยนไปอยู่ที่มุม -20° จากรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นพบว่า มีฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์ทั้งสองระนาบเท่ากับ 6° ดังนั้นสามารถที่จะประมาณค่าของโคเรคทีวิตี้ได้ประมาณ 30.59 dB และแอมพลิจูดของไซด์โลบมีค่าประมาณ -12 dB และแอมพลิจูดของไมเนอร์โลบที่สองมีค่าประมาณ -7 dB แอมพลิจูดของไมเนอร์โลบที่สามมีค่าประมาณ -10 dB เกิดโลบที่มีขนาดใหญ่เกิดขึ้นเรียกว่าซูดเกรตติงโลบ (pseudo-grating Lobes) มีค่าแอมพลิจูดของโลบประมาณ -5 dB



รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ของสายอากาศ

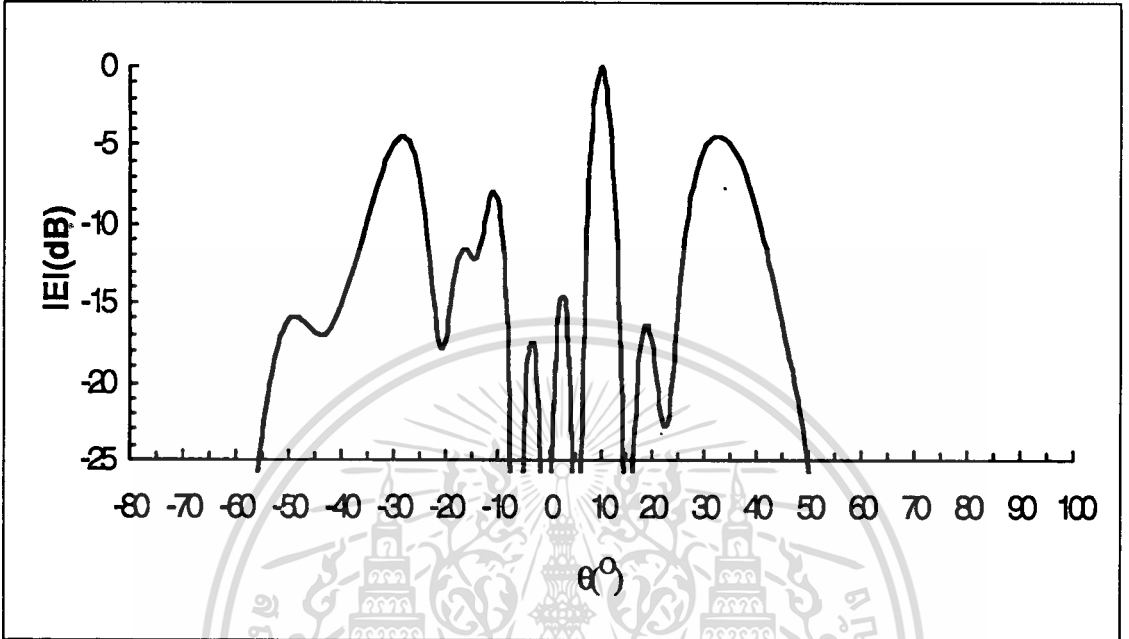
อาร์เรย์ 10 อีลีเมนต์ ระบาย $\phi=0^\circ$ เมนบีมอยู่ที่มุม -10°

รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสลิตอาร์เรย์ทรงกลม ซึ่งมีอีลีเมนต์ของสายอากาศจำนวน 10 อีลีเมนต์เจาะเรียงกันอยู่ที่มุม $\alpha=30^\circ$ โดยกำหนดให้ตำแหน่งของเมนบีมเปลี่ยนไปอยู่ที่มุม -10° จากรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นพบว่า มีฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์ทั้งสองระบายเท่า 5.8° จะประมาณค่าไดเรกทิวิตี้ได้ว่ามีค่าประมาณ 30.88 dB แอมพลิจูดของไซด์โลบแรกมีค่าประมาณ -17 dB และ -15 dB และแอมพลิจูดของซูดเกรตติ้งโลบมีค่าประมาณ -5 dB



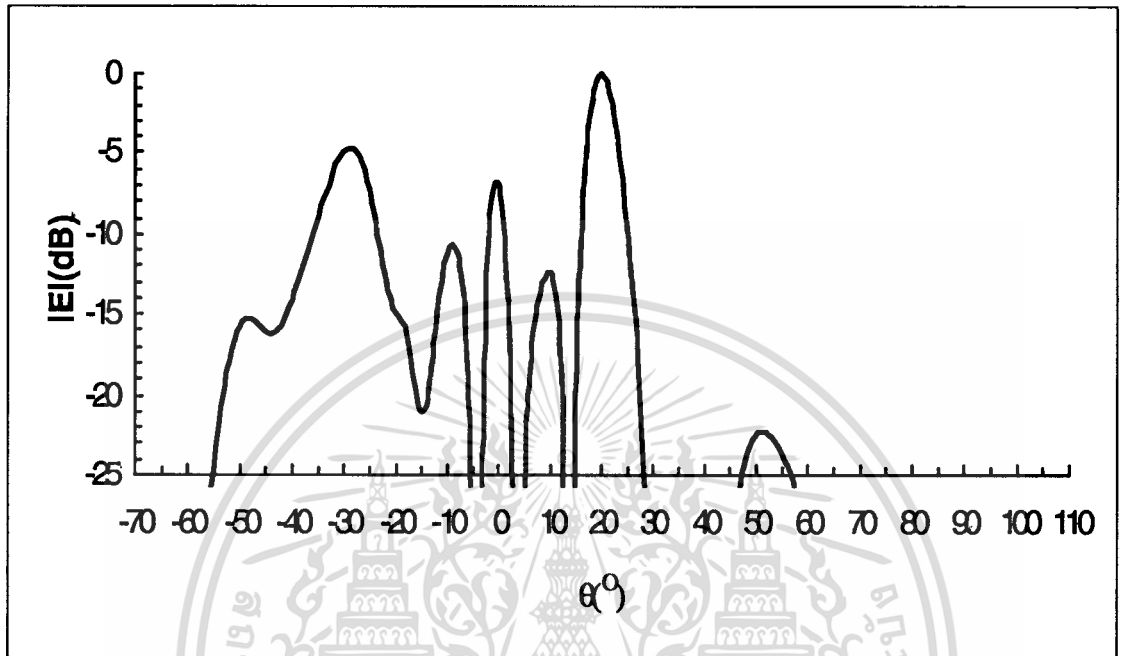
รูปที่ 4.7 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ของสายอากาศอาร์เรย์ 10 อีลีเมนต์ รัศนา $\phi=0^\circ$ เมนีมมีอยู่ที่มุม 0°

รูปที่ 4.7 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสลิตอาร์เรย์ทรงกลม ซึ่งมีอีลีเมนต์ของสายอากาศจำนวน 10 อีลีเมนต์เจาะเรียงกันอยู่ที่มุม $\alpha=30^\circ$ โดยกำหนดให้ตำแหน่งของเมนีมเปลี่ยนไปอยู่ที่มุม 0° จากรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นพบว่ามีการเกิดซาร์ฟเฟาเวอร์บีมวิดท์ทั้งสองระนาบเท่ากับ 5.6° ซึ่งประมาณค่าไดเรกทิวิตีได้ว่ามี ค่าประมาณ 31.19 dB แอมพลิจูดของไซด์โลบมีค่าประมาณ -16 dB ทั้งสองข้าง ทั้งนี้เกิดซูดเกรตติ้งโลบมีค่าแอมพลิจูดของโลบประมาณ -5 dB



รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ของสายอากาศอาร์เรย์ 10 อีลีเมนต์ ระยะเวลา $\phi=0^\circ$ เมนบีมอยู่ที่มุม 10°

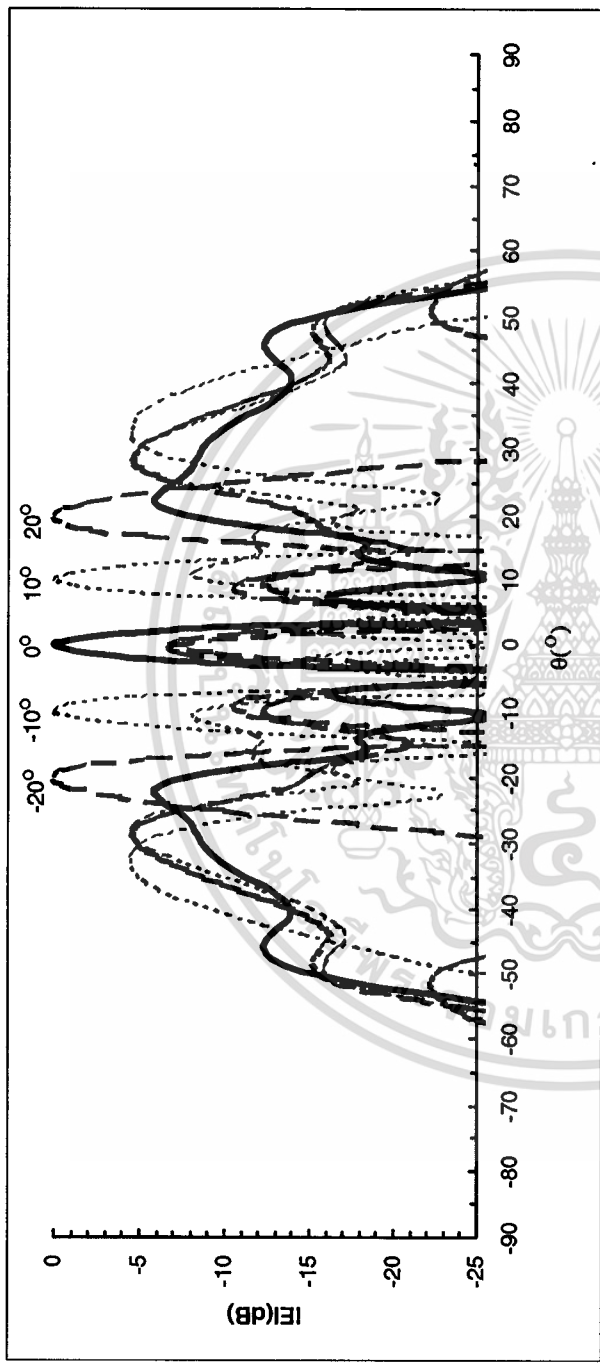
รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสลีตอาร์เรย์ทรงกลม ซึ่งมีอีลีเมนต์ของสายอากาศจำนวน 10 อีลีเมนต์เจาะเรียงกันอยู่ที่มุม $\alpha=30^\circ$ โดยกำหนดให้ตำแหน่งของเมนบีมเปลี่ยนไปอยู่ที่มุม 10° จากรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นมีฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์ทั้งสองระนาบเท่ากับ 6° ซึ่งประมาณค่าโดเรคตริวิตี้ได้ว่ามีค่าประมาณ 30.88 dB แอมพลิจูดของไซดโลบมีค่าประมาณ -15 dB และ -17 dB และแอมพลิจูดของซูโดเกรตติงโลบมีค่าประมาณ -5 dB เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.6 ซึ่งมีเงื่อนไขตำแหน่งของมุมเมนบีมตรงข้ามกันพบว่าทั้งสองกรณีมีเมนบีมที่มีบีมวิดท์กว้างเท่ากัน เมื่อพิจารณารูปแบบของไซดโลบพบว่าแตกต่างกันที่ตำแหน่งมุมของไซดโลบ ได้เปลี่ยนทิศทางโดยย้ายมาอยู่ในทิศมุมตรงข้ามกัน อย่างไรก็ตามรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของทั้งสองซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกันมีจำนวนของไซดโลบและระดับแอมพลิจูดของแต่ละโลบมีค่าเท่ากัน



รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ของสายอากาศอาร์เรย์ 10 อีลีเมนต์ รัศนา $\phi=0^\circ$ เมินบีมอยู่ที่มุม 20°

รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ทรงกลม ซึ่งมีอีลีเมนต์ของสายอากาศจำนวน 10 อีลีเมนต์เจาะเรียงกันอยู่ที่มุม $\alpha=30^\circ$ โดยกำหนดให้ตำแหน่งของเมินบีมเปลี่ยนไปอยู่ที่มุม 20° จากรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นพบว่ามีฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์ทั้งสองระนาบเท่ากับ 6° ซึ่งจะสามารถที่จะประมาณค่าไดเรกทิวิตี้ได้ว่ามีค่าประมาณ 30.59 dB แอมพลิจูดของไฮโดโลบมีค่าประมาณ -12 dB และแอมพลิจูดของไมเนอริโลบที่สองมีค่าประมาณ -7 dB แอมพลิจูดของไมเนอริโลบที่สามมีค่าประมาณ -10 dB และระดับแอมพลิจูดของซูโดเกรตติงโลบมีค่าประมาณ -5 dB เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.5 ซึ่งมีเงื่อนไขตำแหน่งของมุมเมินบีมตรงข้ามกัน พบว่าทั้งสองกรณีมีเมินบีมที่มีบีมวิดท์กว้างเท่ากัน เมื่อพิจารณารูปแบบของไฮโดโลบพบว่าแตกต่างกันที่ตำแหน่งมุมของไฮโดโลบซึ่งได้เปลี่ยนทิศทางโดยย้ายมาอยู่ในทิศมุมตรงข้ามกัน อย่างไรก็ตามรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นทั้งสองมีจำนวนของไฮโดโลบและระดับแอมพลิจูดของแต่ละโลบมีค่าเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงมุม θ ของสายอากาศอาร์เรย์ 10 อีลีเมนต์
 ระนาบ $\phi=0^\circ$ เมื่อเพิ่มมีอยู่ที่มุม $-20^\circ, -10^\circ, 0^\circ, 10^\circ$, และ 20° ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

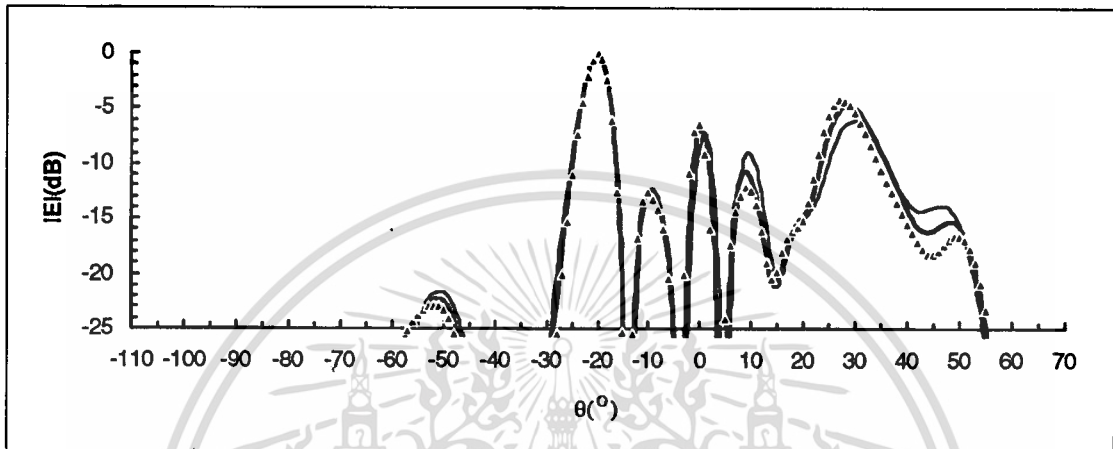
รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสี่อาร์ทาร์เรย์ ทรงกลมซึ่งมีอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจำนวน 10 อิมพีแดนซ์เจาะเรียงกันอยู่ที่ มุม $\alpha=30^\circ$ โดย ตำแหน่งของเมนบีมเปลี่ยนไปครั้งละ 10° เริ่มที่เมนบีมอยู่ที่ตำแหน่งมุม $-20^\circ, -10^\circ, 0^\circ, 10^\circ$, และ 20° ซึ่งประมาณค่าไดเรกทิวิตี้ได้คือ 30.59 dB, 30.88 dB, 31.19 dB, 30.88 และ 30.59 dB ตามลำดับ พิจารณารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่มีตำแหน่งมุมของเมนบีมอยู่ในทิศทางที่ตรงข้ามกัน พบว่าในรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นก็ยังมีควมกว้างของบีมวิดท์เท่ากันเมื่อพิจารณารูปแบบของไซดิลอบ พบว่าแตกต่างกันที่ตำแหน่งมุมของไซดิลอบซึ่งได้เปลี่ยนทิศทางโดยย้ายมาอยู่ในทิศมุมตรงข้ามกัน อย่างไรก็ตามรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นทั้งสองมีจำนวนของไซดิลอบ และระดับแอมพลิจูดของแต่ละลอบมีค่าเท่ากัน

ในการเปลี่ยนแปลงรัศมีหรือขนาดของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกันนั้นขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนโหมด เพื่อศึกษาถึงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นว่ามีลักษณะรูปแบบการแพร่กระจาย คลื่นเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรบ้าง คำนวณจากการเปลี่ยนให้โหมดสูงขึ้นและต่ำลงอย่างละหนึ่ง โหมดคือ $TM_{0,18}$ และ $TM_{0,20}$ ส่วนในการคำนวณหาเฟสของแต่ละอิมพีแดนซ์ในแต่ละโหมดนั้น อาศัยสมการ (4.16) และสมการ (4.17) แสดงค่าเฟสที่ได้จากการคำนวณไว้ในตารางที่ 4.2 และ ได้ทำการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น เมื่อโหมดต่างกันไว้ในกราฟเดียวกันให้เห็น อย่างชัดเจนถึงลักษณะที่เปลี่ยนไปของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นทั้ง 3 โหมด

ตารางที่ 4.2 แสดงตำแหน่งและเฟสที่กำหนดให้แต่ละฮิลิเมนต์ที่วางเรียงกันที่มุม $\alpha=30^\circ$ ในแต่ละโหมด

element ตัวที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
β_{nm}	0°	36°	72°	108°	144°	180°	216°	252°	288°	324°
$TM_{0,18}$	5.47π	5.47π	5.47π	5.47π	5.47π	5.47π	5.47π	5.47π	5.47π	5.47π
$TM_{0,19}$	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π
$TM_{0,20}$	6.03π	6.03π	6.03π	6.03π	6.03π	6.03π	6.03π	6.03π	6.03π	6.03π

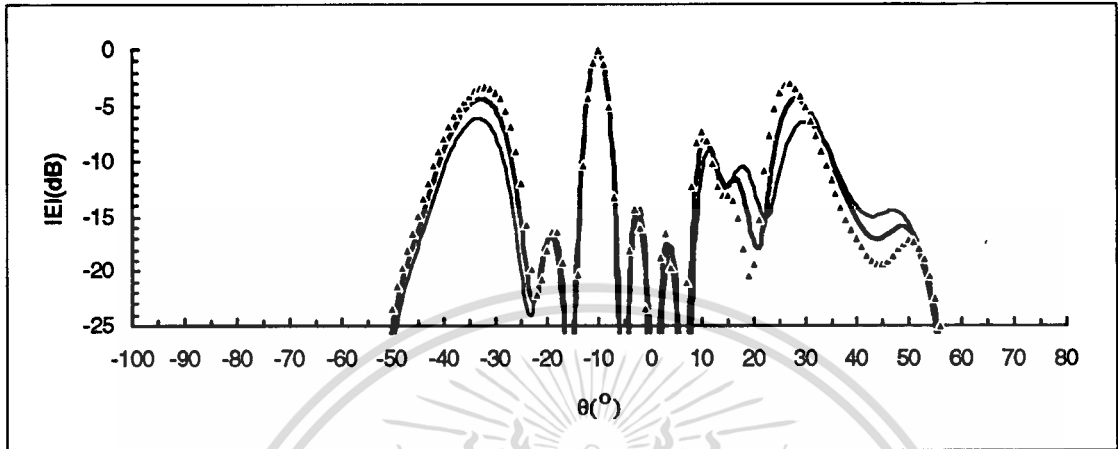
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



————— $TM_{0,18}$
 - - - - - $TM_{0,19}$
 ▲▲▲▲▲ $TM_{0,20}$

รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์จำนวน 10 อีลีเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุม θ ระบาย $\phi=0^\circ$ เมนปิมอยู่ที่มุม -20°

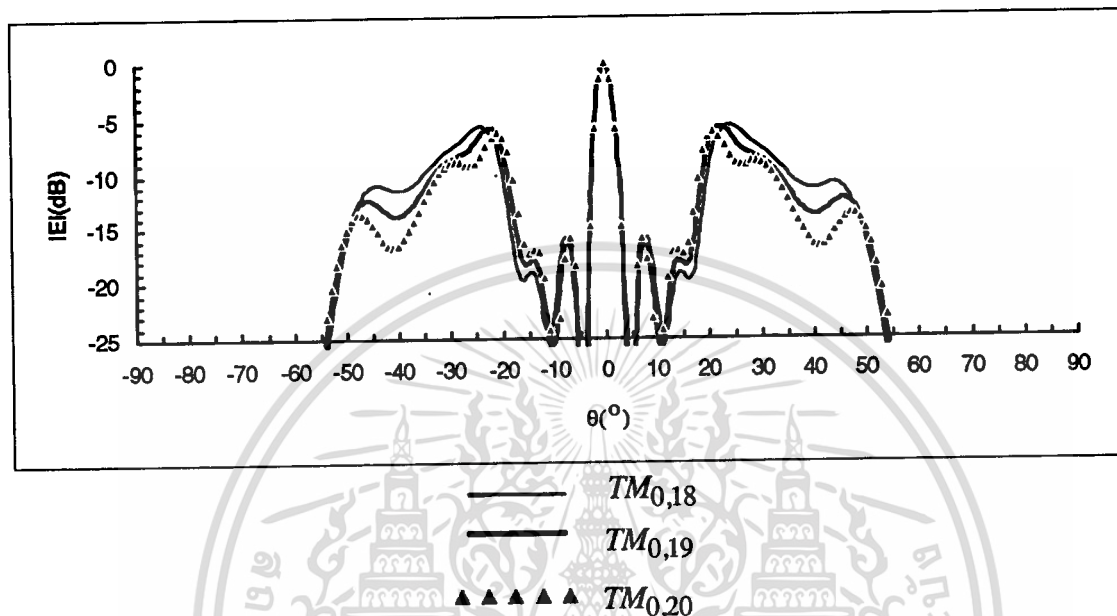
รูปที่ 4.11 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ทรงกลม ซึ่งมีอีลีเมนต์ของสายอากาศจำนวน 10 อีลีเมนต์เจาะเรียงกันอยู่ที่มุม $\alpha=30^\circ$ เมื่อทำการเปลี่ยนโหมดให้สูงขึ้นและต่ำลง พบว่าเมื่อโหมดสูงขึ้นมีปมวิดิทที่แคบและระดับไซด์โลบลดต่ำลงจะทำให้ได้ค่าไดเรกทิวิตีและอัตราขยายสูงขึ้น เมื่อโหมดต่ำลงจะมีปมวิดิทที่กว้างมากขึ้นแต่มีระดับไซด์โลบสูงจะทำให้ได้ค่าไดเรกทิวิตีและอัตราขยายต่ำลงด้วย



————— $TM_{0,18}$
 - - - - - $TM_{0,19}$
 ▲▲▲▲▲ $TM_{0,20}$

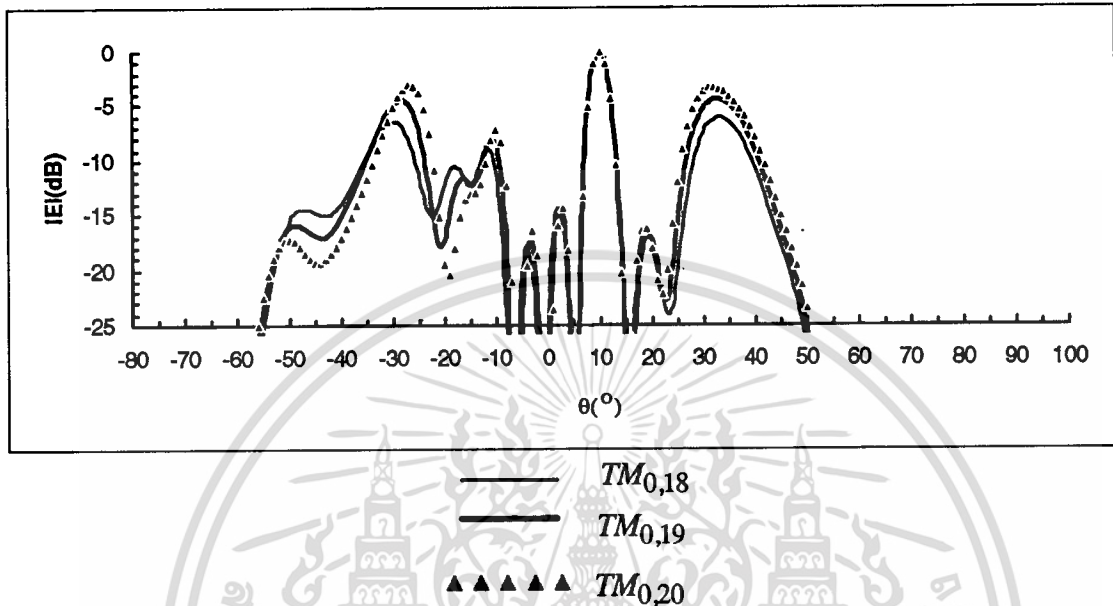
รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์จำนวน 10 อีลีเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุม θ ระนาบ $\phi=0^\circ$ เมเน็มีอยู่ที่มุม -10°

รูปที่ 4.12 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ทรงกลม ซึ่งมีอีลีเมนต์ของสายอากาศจำนวน 10 อีลีเมนต์จะเรียงกันอยู่ที่มุม $\alpha=30^\circ$ เมื่อทำการเปลี่ยนโหมดให้สูงขึ้นและต่ำลง พบว่าเมื่อโหมดสูงขึ้นมีบีบวิตที่แคบและระดับไซตโอบต่ำลงจะทำให้ได้ค่าไดเรคตีวิตีและอัตราขยายสูงขึ้น เมื่อโหมดต่ำลงจะมีบีบวิตที่กว้างมากขึ้นแต่มีระดับไซตโอบสูงจะทำให้ได้ค่าไดเรคตีวิตีและอัตราขยายต่ำลงด้วย



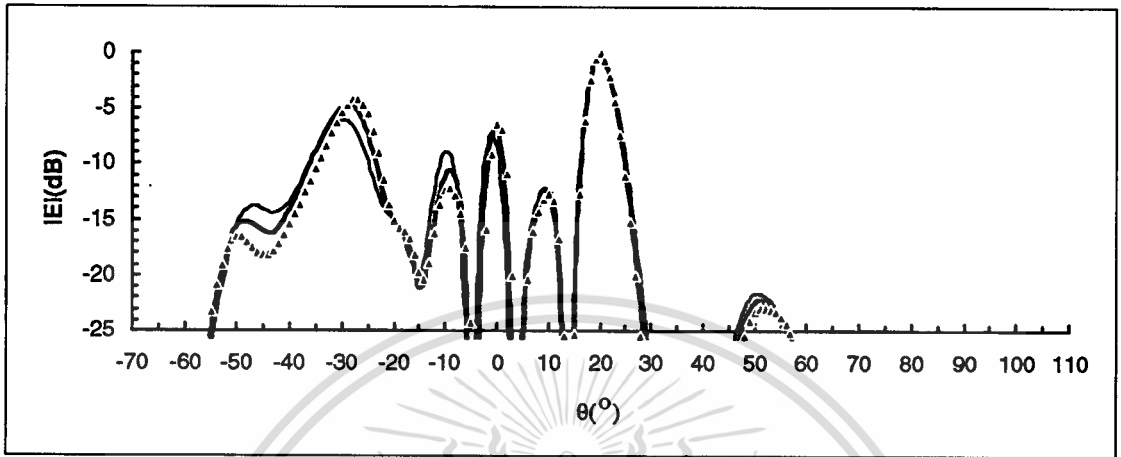
รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์จำนวน 10 อีลีเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุม θ ระบาย $\phi=0^\circ$ เหนือมีอยู่ที่มุม 0°

รูปที่ 4.13 แสดงรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ทรงกลม ซึ่งมี อีลีเมนต์ของสายอากาศจำนวน 10 อีลีเมนต์เจาะเรียงกันอยู่ที่มุม $\alpha=30^\circ$ เมื่อทำการเปลี่ยน โหมดให้สูงขึ้นและต่ำลง พบว่าเมื่อโหมดสูงขึ้นมีมุมวิดิที่แคบกว่าและระดับไซดโบลต่ำลงจะทำให้ได้ค่าไดเรกทิวิตีและอัตราขยายสูงขึ้น เมื่อโหมดต่ำลงจะมีมุมวิดิที่กว้างขึ้นแต่มีระดับ ไซดโบลต่ำลงจะทำให้ได้ค่าไดเรกทิวิตีและอัตราขยายต่ำลง



รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์จำนวน 10 อีลีเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุม θ ระบาย $\phi=0^\circ$ เมินิมอยู่ที่มุม 10°

รูปที่ 4.14 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ทรงกลม ซึ่งมี อีลีเมนต์ของสายอากาศจำนวน 10 อีลีเมนต์จะเรียงกันอยู่ที่มุม $\alpha=30^\circ$ เมื่อทำการเปลี่ยน โหมดให้สูงขึ้นและต่ำลง พบว่าเมื่อโหมดสูงขึ้นมีบีมวิดท์ที่แคบกว่าและระดับไซด์โลบต่ำลงจะทำให้ได้ค่าไดเรกทิวิตีและอัตราสูงขึ้น เมื่อโหมดต่ำลงจะมีบีมวิดท์ที่กว้างขึ้นแต่มีระดับไซด์โลบสูง ขึ้นจะทำให้ได้ค่าไดเรกทิวิตีและอัตราขยายต่ำลง



รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์จำนวน 10 อีลีเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุม θ ระบาย $\phi=0^\circ$ เมนับมีอยู่ที่มุม 20°

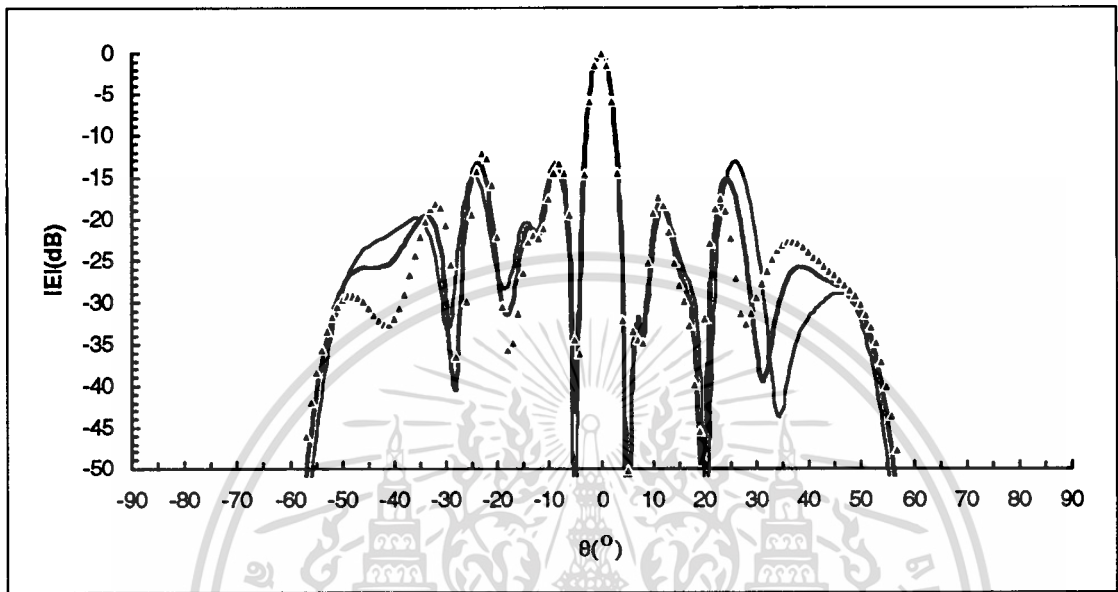
รูปที่ 4.15 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ทรงกลม ซึ่งมี อีลีเมนต์ของสายอากาศจำนวน 10 อีลีเมนต์เจาะเรียงกันที่มุม $\alpha=30^\circ$ เมื่อทำการเปลี่ยน โหมดให้สูงขึ้นและต่ำลง พบว่าเมื่อโหมดสูงขึ้นมีบีมวิดท์ที่แคบและมีระดับไซด์โลบต่ำลงจะทำให้ ได้ค่าไดเรกทิวิตีและอัตราขยายสูง เมื่อโหมดต่ำลงจะมีบีมวิดท์ที่กว้างและมีระดับไซด์โลบสูง จะทำให้ได้ค่าไดเรกทิวิตีและอัตราขยายต่ำ

ในการเจาะสลีตเพื่อสร้างสายอากาศสลีต ให้เป็นไปตามหลักการของการวาง อีลีเมนต์แบบไอโคสะฮีดรอน พบว่าเมื่อเลือกให้อีลีเมนต์ของสายอากาศถูกเจาะเรียงกันอยู่ภายในมุม $\alpha=30^\circ$ สามารถคำนวณหาจำนวนแถวซึ่งเป็นวงได้จากสมการ (4.13) จะทำได้ค่า $n = 6, 5$ และ 4 จะเห็นว่ามีทั้งหมด 3 วงด้วยกัน ต่อไปก็จะทำการหาจำนวนของอีลีเมนต์ในแต่ละวงได้จากสมการ (4.15) จากการคำนวณพบว่า วงที่ $n=6$ มีสายอากาศสลีต 1 อีลีเมนต์ วงที่ $n=5$ มีสายอากาศสลีต 5 อีลีเมนต์และวงที่ $n=4$ มีสายอากาศสลีต 10 อีลีเมนต์

ดังนั้นจะต้องใช้อีลีเมนต์สายอากาศสลีตจำนวน 16 อีลีเมนต์ โดยการเจาะสลีตเป็น 3 วงบนผิวของควาติตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน ส่วนการคำนวณหาตำแหน่งมุมที่จะเจาะแต่ละสลีตอาศัยสมการ (4.14) เพื่อหาตำแหน่งมุมของแต่ละสลีตในหน่วยขององศาแสดงในตารางที่ 4.3 ข้างล่างนี้และต้องการให้สมมุติ อีลีเมนต์มาเสริมกันในทิศทางที่ต้องการในที่นี้ได้ทำการคำนวณเพื่อให้เกิดสนามลัพธ์ในทิศที่เมาน์มีมุม 0° ดังนั้นจะต้องกำหนดเฟสให้กับแต่ละอีลีเมนต์ของสายอากาศสลีต สามารถคำนวณค่าเฟสได้จากสมการ (4.16) และสมการ (4.17) มีหน่วยเป็นเรเดียน พิจารณาเฟสได้ในตารางที่ 4.3

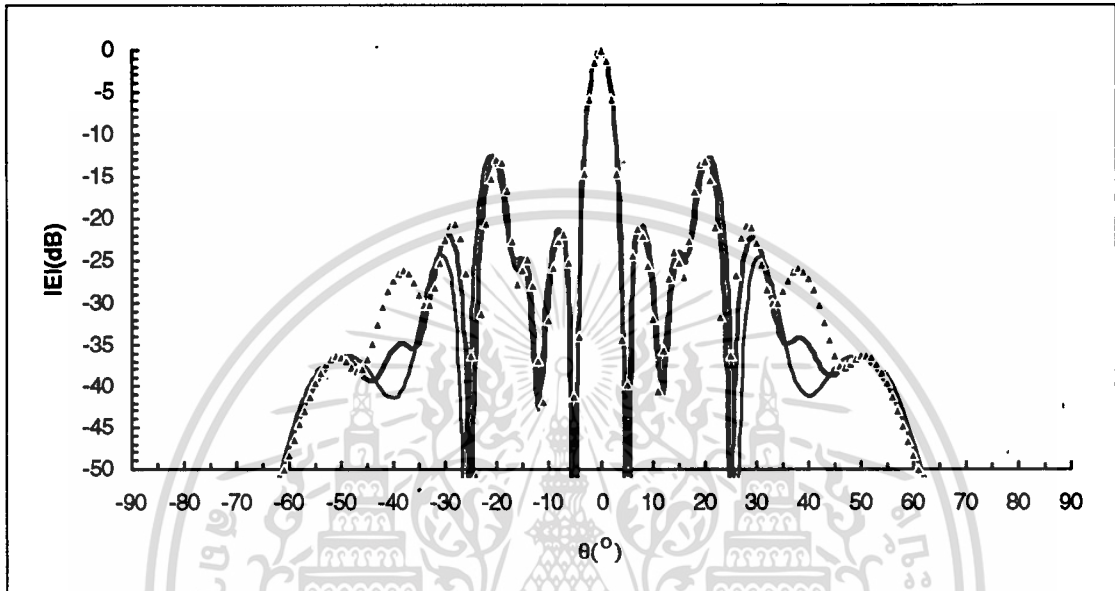
ตารางที่ 4.3 แสดงตำแหน่งและเฟสที่กำหนดให้แต่ละฮิลเมนทรีในแต่ละวง

element ตัวที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
β_{nm}	0°									
$n=6$	6.64π									
β_{nm}	0°	72°	144°	216°	288°					
$n=5$	6.41π	6.41π	6.41π	6.41π	6.41π					
β_{nm}	0°	$36^\circ\pi$	72°	108°	144°	180°	216°	252°	288°	324°
$n=4$	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π	5.75π



รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหนดต่างๆ ของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์จำนวน 16 อีลีเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุม θ ระบาย $\phi=0^\circ$ เหนือมีอยู่ที่มุม 0°

รูปที่ 4.16 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ทรงกลม ซึ่งมี อีลีเมนต์ของสายอากาศจำนวน 16 อีลีเมนต์เจาะเรียงกันที่มุม $\alpha=30^\circ$ เมื่อทำการเปลี่ยน โหนดให้สูงขึ้นและต่ำลง พบว่าเมื่อโหนดสูงขึ้นมีมุมวิดิที่แคบและระดับไซตโลบต่ำจะทำให้ได้ ค่าไดเรคตีวิตี้และอัตราขยายสูง เมื่อโหนดต่ำลงจะมีมุมวิดิที่กว้างและมีระดับไซตโลบสูงจะทำให้ได้ค่าไดเรคตีวิตี้และอัตราขยายต่ำ



————— $TM_{0,18}$
 - - - - - $TM_{0,19}$
 ▲▲▲▲▲ $TM_{0,20}$

รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างโหมดต่างๆ ของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์จำนวน 16 อีลีเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุม θ ระบาย $\phi=90^\circ$ เมินิมอยู่ที่มุม 0°

รูปที่ 4.17 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ทรงกลม ซึ่งมี อีลีเมนต์ของสายอากาศจำนวน 16 อีลีเมนต์จะเรียงกันที่มุม $\alpha=30^\circ$ เมื่อทำการเปลี่ยน โหมดให้สูงขึ้นและต่ำลง พบว่าเมื่อโหมดสูงขึ้นไปมีมุมวิดท์ที่แคบและระดับไซด์โลบต่ำจะทำให้ได้ ค่าไดเรกทิวิตีและอัตราขยายสูง เมื่อโหมดต่ำลงจะมีมุมวิดท์ที่กว้างและมีระดับไซด์โลบสูงจะทำให้ได้ค่าไดเรกทิวิตีและอัตราขยายต่ำ

4.3 สรุป

ในบทนี้แสดงการหาสนามลัพธ์ที่แพร่กระจายออกมาจากสายอากาศสลีตอาร์เรย์และจากข้อมูลในหัวข้อที่ 4.3 ได้แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากสายอากาศสลีตอาร์เรย์ที่อยู่บนผิวของตัวนำทรงกลมซ้อนกัน เมื่อมีจำนวนของสายอากาศอาร์เรย์ 5 อีลีเมนต์มีค่าไดเรกทิวิตีประมาณ 30.59 dB เมื่อมีจำนวนของสายอากาศอาร์เรย์ 10 อีลีเมนต์มีฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์ทั้งสองระนาบเท่ากับ 5.6° มีค่าไดเรกทิวิตีประมาณ 31.19 dB และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างโหมด $TM_{0,18}$ มีฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์ทั้งสองระนาบเท่ากับ 5.56° มีค่าไดเรกทิวิตีประมาณ 31.25 dB และในโหมด $TM_{0,20}$ มีฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์ทั้งสองระนาบเท่ากับ 5.64° มีค่าไดเรกทิวิตีประมาณ 31.13 dB ดังนั้นสรุปได้ว่าเมื่อสายอากาศสลีตอาร์เรย์มีจำนวนอีลีเมนต์มากขึ้นจะมีบีมวิดท์แคบลงและระดับไซด์โลบสูงขึ้น เมื่อจำนวนอีลีเมนต์เท่ากันโหมดที่สูงกว่าจะมีบีมวิดท์แคบกว่าแต่มีค่าไดเรกทิวิตีที่สูงกว่า และเมื่อเมนบีมเปลี่ยนตำแหน่งไปไม่ได้ชี้ที่มุม 0° แล้วค่าไดเรกทิวิตีก็จะลดลงโดยตำแหน่งของมุมที่เปลี่ยนไปซึ่งมีเครื่องหมายทิศทางตรงกันข้ามกันจะมีความกว้างของบีมวิดท์เท่ากันซึ่งจะคำนวณค่าไดเรกทิวิตีเท่ากันและมีจำนวนของไซด์โลบและมีระดับแอมพลิจูดของไซด์โลบเหมือนกัน เพียงแต่ทุกไซด์โลบยกเว้นเมนบีมจะย้ายตำแหน่งมาอยู่อีกทิศทางหนึ่ง พิจารณาได้จากกราฟจะเห็นว่าย้ายมาอยู่กันคนละฝั่งกัน

บทที่ 5

การคำนวณและการออกแบบสร้างสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ บนผิวควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน

5.1 บทนำ

จากหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในบทก่อนๆ ในบทนี้จะได้นำมาใช้ในการคำนวณและการออกแบบสร้างสายอากาศอาร์เรย์อากาศสล็อตอาร์เรย์บนผิวของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันแต่ก่อนอื่นจะเป็นการคำนวณและการออกแบบสร้างสายอากาศสล็อตตัวเดียวบนผิวของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันก่อน หลังจากนั้นจะได้ทำการคำนวณและออกแบบสร้างสายอากาศสล็อตอาร์เรย์บนผิวของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันต่อไป

5.2 การคำนวณและการออกแบบสายอากาศสล็อตตัวเดียวบนผิวของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน

สำหรับในหัวข้อนี้จะได้แสดงวิธีการคำนวณและการออกแบบสร้างควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันจากรูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันที่จะใช้ในการออกแบบสายอากาศอาร์เรย์ทรงกลม ซึ่งเป็นลักษณะของท่อควาวิตีแบบทรงกลม ในการเลือกหาตำแหน่งของสล็อต [5] เพื่อให้สามารถ Coupling กับสนามภายในท่อควาวิตีและสามารถรับส่งคลื่นแบบ Vertical Polarization ได้ จะต้องออกแบบท่อควาวิตีเป็น Spherical Waveguide 2 ชั้นซ้อนกันโดยมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน (Concentric Sphere) โดยที่มีระยะห่างระหว่างทรงกลมจะต้องน้อยกว่ารัศมีของทรงกลมทั้งสองมากๆ จากนั้นก็จะทำการเจาะสล็อตบนผิวของทรงกลมภายนอกเพื่อทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่น ในรูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศสล็อตตัวเดียวเมื่อเจาะสล็อตเฉียงทำมุม α ซึ่งมีขนาดต่างๆ กันบนผิวของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน

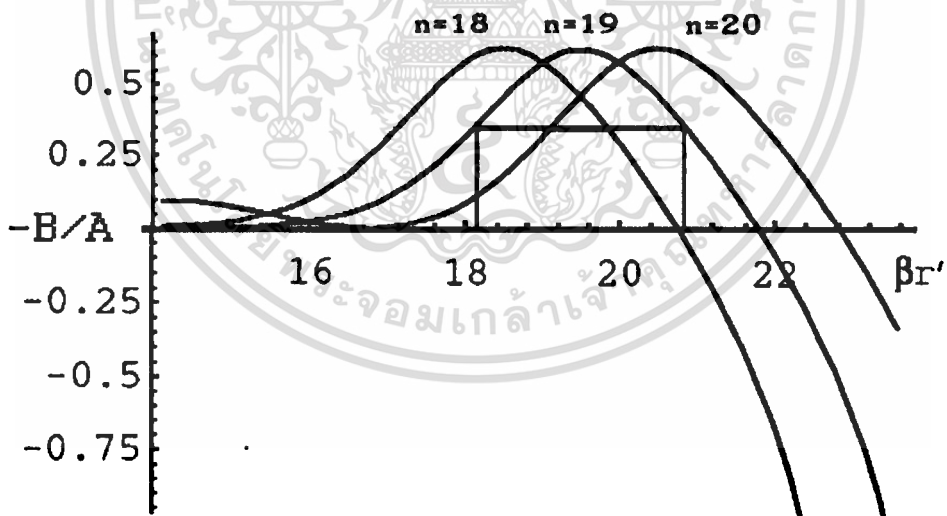
ควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันนี้ถูกกระตุ้นด้วยโพรมที่ตำแหน่ง $\theta' = 0^\circ$ บนผิวตัวนำทรงกลมอันนอกที่รัศมีเท่ากับ b เจาะสล็อตมีความยาว L บนผิวของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน โดยจุดกึ่งกลางของสล็อตอยู่ที่ตำแหน่ง (b, θ', ϕ') สล็อตนี้จะถูกกระตุ้นด้วยสนามที่สัมผัสกับปากสล็อตซึ่งได้แก่สนามไฟฟ้า E_θ และสนามแม่เหล็ก H_ϕ ซึ่งได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2

จากหลักการที่กล่าวมาได้ทำการออกแบบควาวิตี [12] ให้ทำงานที่โหมด 19 เพื่อทำให้เกิดสนาม $TM_{0,19}$ ภายในควาวิตีนี้และเพื่อให้กำธรที่ความถี่ 13.30 GHz ด้วย

ทำการคำนวณค่า $\frac{J'_n(\beta r')}{\hat{N}'_n(\beta r')}$ ที่ $\beta r'$ ต่างๆ แล้ววาดกราฟเพื่อที่จะหารัศมีของตัวนำอินในและอัน

นอกเท่ากับ a และ b ตามลำดับ แสดงผลที่ได้จากการคำนวณดังรูปที่ 5.1

จากนั้นจึงหาค่า $\beta r'$ สองค่าที่มีค่า $-B/A$ เท่ากันสำหรับโหมด 19 จะได้ค่าประมาณ 0.35 นำไปแทนค่าใน $\beta r'$ (โดยที่ $\beta = 2\pi/\lambda$) โดยที่ค่าน้อยจะเป็นรัศมีอินในและค่ามากจะเป็นรัศมีอันนอก ดังนั้นจะทำให้ได้รัศมีอินใน a เท่ากับ 6.5 ซม. และรัศมีอันนอก b เท่ากับ 7.5 ซม. กรณีเปลี่ยนเป็นโหมด 18 ก็ใช้วิธีคำนวณแบบเดียวกันโดยเมื่อลากเส้นตรงต่อจากโหมด 19 ขนานกับแกน $\beta r'$ มาตัดกราฟของโหมด 18 ก็จะได้ค่า $-B/A$ ประมาณ 0.35 เช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อคำนวณโดยวิธีเดียวกันก็จะได้รัศมีอินใน a เท่ากับ 6.15 ซม. และรัศมีอันนอก b เท่ากับ 7.13 ซม. จะเห็นว่ารัศมีจะมีขนาดเล็กลงและเมื่อเปลี่ยนเป็นโหมด 20 ก็จะได้รัศมีอินใน a เท่ากับ 6.86 ซม. และรัศมีอันนอก b เท่ากับ 7.87 ซม. ซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นจะเห็นว่าเมื่อเปลี่ยนโหมดสูงขึ้นรัศมีอินในและรัศมีอันนอกจะมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยโหมดที่สูงกว่าจะมีรัศมีอินในและรัศมีอันนอกเพิ่มขึ้นประมาณ 0.36 ซม. ทำนองเดียวกันเมื่อโหมดที่ต่ำกว่าจะมีรัศมีอินในและรัศมีอันนอกลดลงประมาณ 0.36 ซม. เช่นกัน



รูปที่ 5.1 แสดงค่า $\frac{J'_n(\beta r')}{\hat{N}'_n(\beta r')}$ ที่เกิดจากค่า $\beta r'$ ต่างๆ

ที่เกิดจากโหมด $TM_{0,18}$, $TM_{0,19}$ และ $TM_{0,20}$

ตัวนำทรงกลมทั้งสองนี้ต่างก็มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดกำเนิด ส่วนปลายของตัวนำทรงกลมทั้งสองถูกเชื่อมปิดด้วยส่วนของกรวยตัวนำที่มุม θ_c จากหลักการเมื่อคลื่นทรงกลมที่ถูกปิดล้อมด้วยตัวนำที่ประกอบเป็นควิตีมีลักษณะดังรูปที่ 2.1 พิจารณาเงื่อนไขขอบเขตของสนามไฟฟ้าที่ว่าส่วนที่สัมผัสกับผิวตัวนำเป็นศูนย์ พิจารณากรวยตัวนำที่มีมุม $\theta' = \theta_c$ สนามไฟฟ้าที่สัมผัสกับพื้นผิวนี้คือ E_r จะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ จะทำให้ได้เงื่อนไขว่าควรเลือกค่า θ' ที่ทำให้ θ_c ในสมการ (2.11) เป็นศูนย์จากสมการ

$$P_n(\cos\theta')\Big|_{\theta'=\theta_c} = 0 \quad (2.11)$$

ซึ่งพบว่าค่า θ_c มีค่ามุมต่างๆ กันไปซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ซึ่งในที่นี้ต้องการให้เป็นรูปครึ่งทรงกลมจึงเลือกค่าที่มุม θ_c เป็น 90°

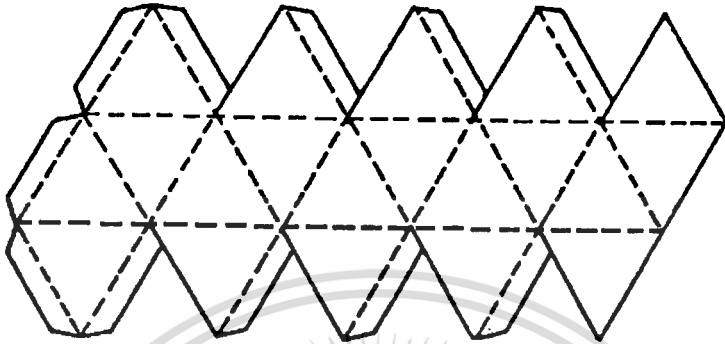
แต่เนื่องจากสนามภายในควิตีมีลักษณะการกระจายเป็นฟังก์ชัน Bessel และฟังก์ชัน Legendre และจากการคำนวณความเข้มของสนามไฟฟ้าในบทที่ 3 พบว่าสนามส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากสนามไฟฟ้า E_0 ซึ่งถูกกระตุ้นโดยฟังก์ชัน Legendre ซึ่งสามารถที่จะวาดกราฟเพื่อที่จะหาตำแหน่งที่สนามมีค่าสูงที่สุด เพราะในการใช้งานการนำพลังงานเข้าหรือออกจากควิตีมักจะทำที่ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด เพื่อที่จะทำการเจาะสลอตในตำแหน่งที่เหมาะสมซึ่งได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.3

5.3 การคำนวณและการออกแบบสายอากาศสลอตอาร์เรย์บนผิวของควิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบแบบสายอากาศสลอตตัวเดี่ยวๆ ที่เจาะอยู่บนผิวของควิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันไปแล้ว ในหัวข้อนี้จะได้อาศัยแนวทางจาก [13] ในการเจาะสลอตที่สมมาตรกันบนทรงกลมในที่นี้จะได้ทำการคำนวณและออกแบบจำนวนสายอากาศสลอตอาร์เรย์และลักษณะการเจาะสายอากาศสลอตอาร์เรย์บนผิวของควิตี [14] เพื่อให้ได้รูปแบบการกระจายคลื่นที่ดีกว่าสายอากาศเดี่ยวอีลีเมนต์เดียว ซึ่งในการออกแบบสายอากาศสลอตอาร์เรย์นั้นสายอากาศสลอตเดี่ยวมีความยาวจำกัด เพื่อให้ได้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ดีขึ้น ดังนั้นจะต้องทำการจัดเรียงอีลีเมนต์บนผิวทรงกลมให้มีความสมมาตรกันและเป็นรูปแบบเดียวกันไม่ว่าจะมองจากระยะทางไกลๆ ทิศทางไหนก็ตามเพื่อที่จะบอกตำแหน่งของสายอากาศสลอตแต่ละตัวบนผิวของควิตีซึ่งมีรูปร่างเป็นทรงกลม จะต้องอาศัยหลักการของรูปทรงเรขาคณิตมาช่วยจัดวางอีลีเมนต์ของสายอากาศให้มีรูปแบบเหมือนกันและมีจำนวนของอีลีเมนต์

มากที่สุดด้วย โดยอาศัยการใช้คุณสมบัติการสมมาตรของรูปทรงเรขาคณิตไอโคเซฮีดรอน (Icosahedron Geometry) [15] แสดงในรูปที่ 5.2 มาใช้ให้เป็นประโยชน์

Icosahedron



รูปที่ 5.2 รูปทรงเรขาคณิตไอโคเซฮีดรอน

รูปทรงเรขาคณิตไอโคเซฮีดรอนเป็นรูป 3 มิติ ที่มี 20 หน้า และมีมุมแหลม 12 มุมซึ่งแต่ละหน้าเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า เมื่อทำการวางอีลีเมนต์ของสายอากาศในตำแหน่งที่มีระยะห่างเท่ากันบนผิวของไอโคเซฮีดรอนแล้ว ก็ทำการย้ายอีลีเมนต์ทั้งหมดมาวางไว้บนผิวของควาตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน ซึ่งรายละเอียดของรูปแบบการกระจายอีลีเมนต์หาได้จาก [10] สมการรูปแบบของไอโคเซฮีดรอนของการกระจายอีลีเมนต์ที่นำมาใช้ในอารเรย์ทรงกลมคือ

$$\alpha_n = 90^\circ - n15^\circ \quad (5.14)$$

โดย n คือ จำนวนเต็มเมื่อ $(-6 \leq n \leq 6)$

$$\beta_{nm} = \frac{72^\circ m}{6 - |n|} \quad \text{โดย } n = 5, 4, 3, 2$$

$$\beta_{nm} = 180^\circ + \frac{72^\circ m}{6 - |n|} \quad \text{โดย } n = -5, -4, -3, -2$$

$$\beta_{\pm 6m} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta_{\pm 1m} = \beta_{2m} + 9^\circ$$

$$\beta_{0m} = \beta_{2m} \quad (5.15)$$

โดย m คือจำนวนเต็มบวกมีค่าจาก 0 ถึง $M(n)$ ขึ้นอยู่กับค่า n อาศัยสมการ (5.14) และสมการ (5.15) สามารถหาค่า $M(n)$ ได้ดังต่อไปนี้คือ

$$M(n) = 5(6 - |n|) - 1 \quad \text{โดย } n = \pm 5, \pm 4, \pm 3, \pm 2$$

$$M(6) = 0$$

$$M(0) = M(1) = M(2) \quad (5.16)$$

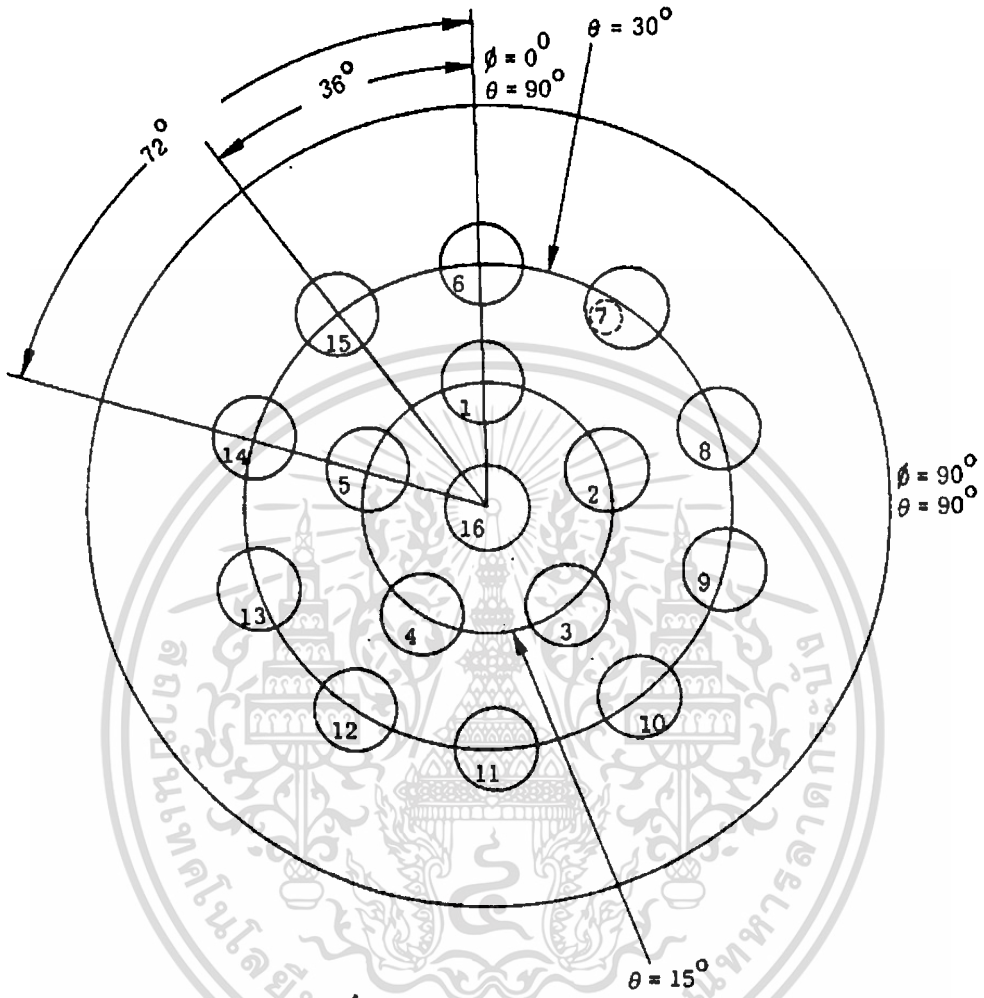
ตารางที่ 5.1 แสดงจำนวนของอีลีเมนต์ที่ใช้

α	จำนวนของอีลีเมนต์ที่ถูกกระตุ้น
90°	91
75°	71
60°	51
45°	31
30°	16
15°	6

การจัดเรียงอีลีเมนต์ที่แตกต่างกันจะเป็นตัวกำหนดจำนวนของอีลีเมนต์ที่ใช้การจัดเรียงของอีลีเมนต์ส่วนใหญ่จะห่างกันประมาณ 15° ถึง 18° และค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ (element spacing) โดยประมาณคือ $0.3b$ (b คือรัศมีภายนอกของทรงกลม) เพราะว่าถ้าเลือกให้ระยะห่างน้อยกว่านี้ก็จะทำให้สายอากาศอยู่ชิดกันมาก แต่ถ้าเลือกให้ระยะห่างมากกว่านี้ก็มีค่ามากกว่าหนึ่งความยาวคลื่นจะทำให้เกิดเกรตติ้งโลบ (Grating Lobe) สูงมาก โดยวิธีการนี้ก็จะได้อีลีเมนต์ 162 อีลีเมนต์กระจายตลอดทั่วผิวทรงกลม ในการศึกษาต้องการออกแบบเป็นผิวครึ่งทรงกลมซึ่ง $0 \leq n \leq 6$ ดังนั้นจำนวนอีลีเมนต์ทั้งหมดที่ใช้คือ 91 อีลีเมนต์ ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1

บอกจำนวนอีลีเมนต์ที่ใช้ จะมีความแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าของมุม α ที่ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

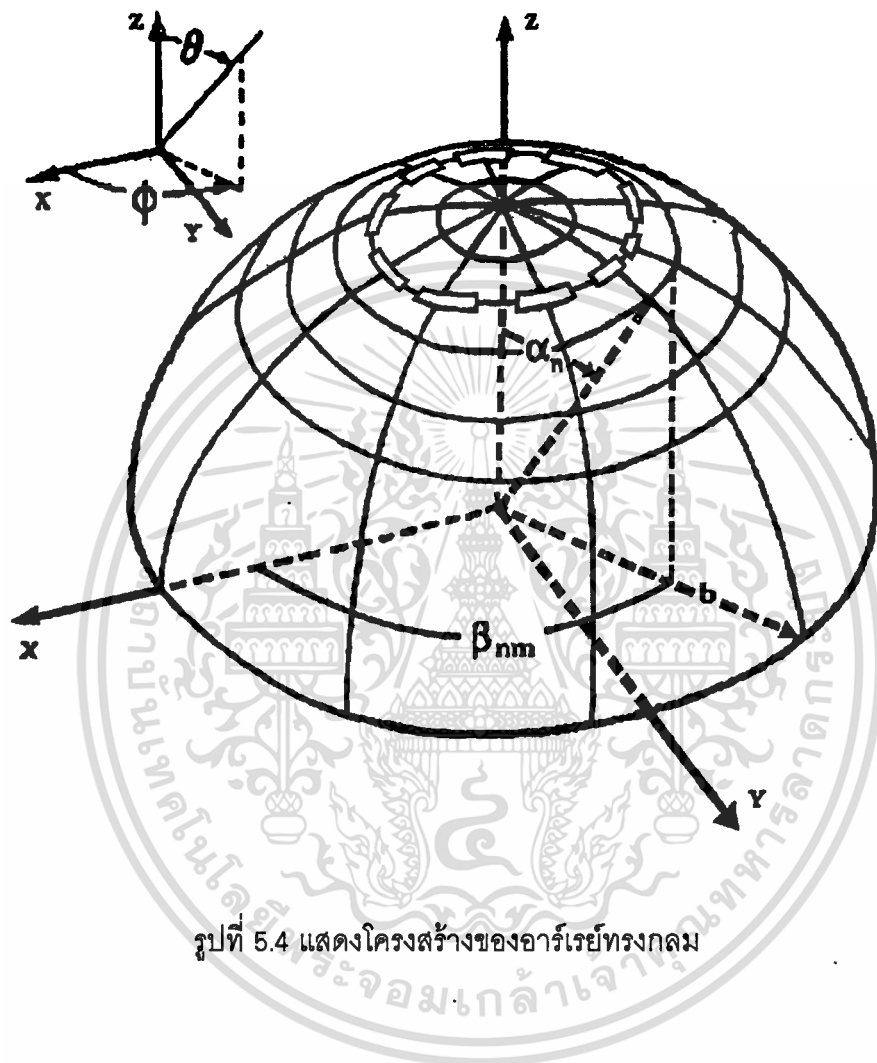
เปลี่ยนไปในรูปที่ 5.3 อธิบายรูปแบบการกระจายของอีลีเมนต์จำนวน 16 อีลีเมนต์เมื่อพิจารณาจากด้านบน



รูปที่ 5.3 แสดงการกระจายของอีลีเมนต์จำนวน 16 อีลีเมนต์

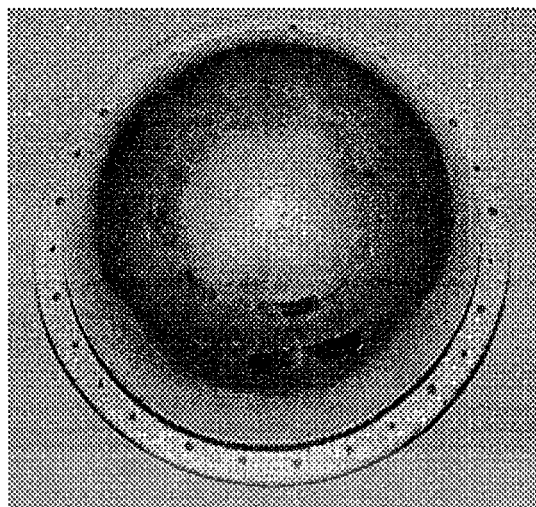
จากการเลือกรูปแบบการกระจายของอีลีเมนต์บนผิวของทรงกลมเป็นแบบไอโค
 ตะฮีดรอน เมื่อมองมาจากจุดระยะไกลๆ จะสามารถที่จะเห็นได้อย่างชัดเจนแต่ในที่นี้ได้เลือก
 ออกแบบและทดลองสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ทรงกลมที่มีจำนวนอีลีเมนต์ทั้งหมด 10 อีลีเมนต์
 เจาะเรียงกันอยู่ที่มุม $\alpha=30^\circ$ วงเดียวและในรูปที่ 5.4 แสดงถึงโครงสร้างของอาร์เรย์ทรงกลมที่ได้
 ผ่านขั้นตอนการออกแบบมาแล้ว ต่อไปจะใช้เป็นรูปร่างของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ที่อยู่บน
 ผิวของควาตีตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน จะมีจำนวนของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ 10 อีลีเมนต์ส่วน
 ในรูปที่ 5.5 เป็นสายอากาศสล็อตอาร์เรย์จำนวน 10 อีลีเมนต์ที่อยู่บนผิวควาตีตี้ตัวนำทรงกลมซ้อน
 กันที่ได้ทำการสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

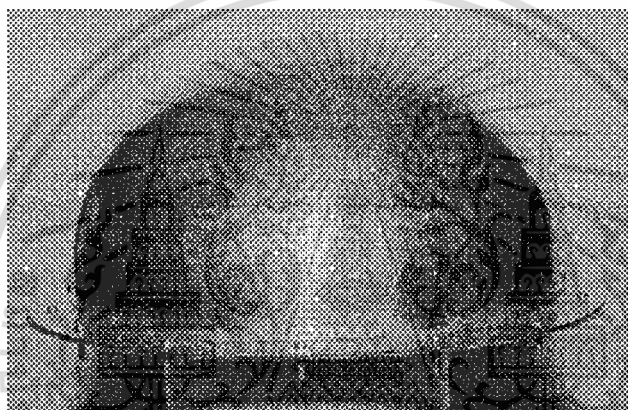


รูปที่ 5.4 แสดงโครงสร้างของอาร์เรย์ทรงกลม

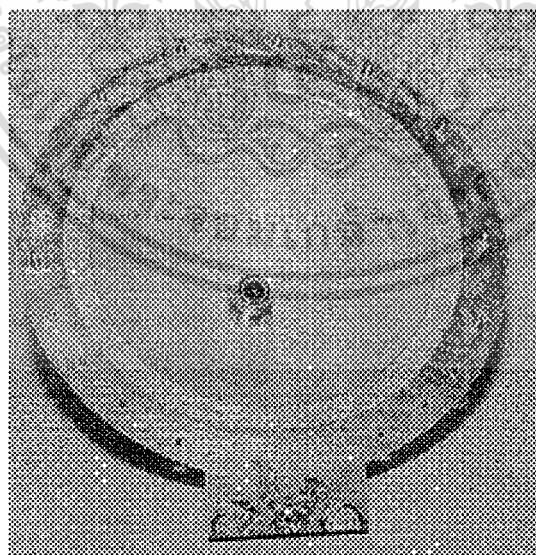
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.5 แสดงสายอากาศสล็อตอาร์เรย์จำนวน 10 อีลีเมนต์ที่อยู่บนผิวควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันที่ได้ทำการสร้างขึ้นมา

(ก) ด้านบน (ข) ด้านข้าง (ค) ข้างใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงวิธีการคำนวณและออกแบบสร้างควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน พบว่าเมื่อมีความถี่เดียวกัน กำหนดโหมดให้สูงขึ้นแล้วจะทำให้ได้ควาวิตี้ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วยและทำการออกแบบสายอากาศสล็อตตัวเดียวและสายอากาศสล็อตอาร์เรย์บนผิวภายนอกของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกันและได้แสดงวิธีการออกแบบจำนวนอีลีเมนต์ของสายอากาศ โดยเลือกรูปทรงเรขาคณิตไอโคสเฮ็ดรอนมาเป็นแบบในการหาตำแหน่งของสายอากาศสล็อต หลังจากนั้นให้ทำการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์มาวางไว้บนควาวิตี้ แล้วทำการเจาะสล็อตมีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นบนผิวนอกของควาวิตี้ก็จะได้สายอากาศสล็อตอาร์เรย์ทรงกลมเพื่อใช้ในการทดสอบ ในการทดลองนี้ใช้อีลีเมนต์จำนวน 10 อีลีเมนต์เพื่อให้สอดคล้องกับการคำนวณ



บทที่ 6

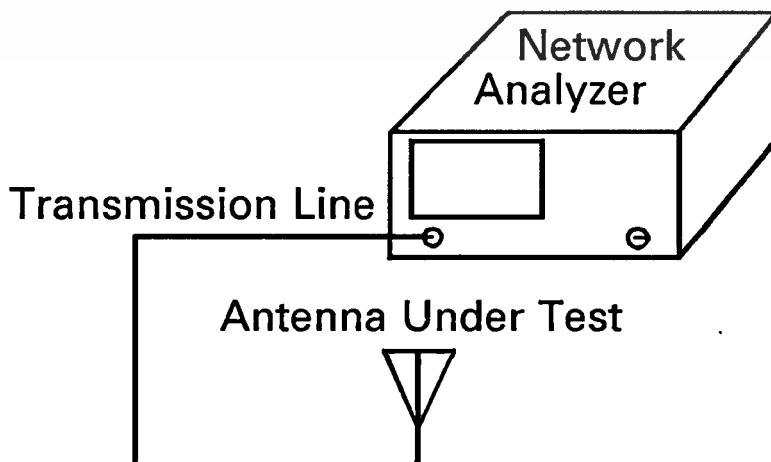
ผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศสลีตอาร์เรย์ บนผิวควาวิตี้ตัวนำทรงกลม

6.1 บทนำ

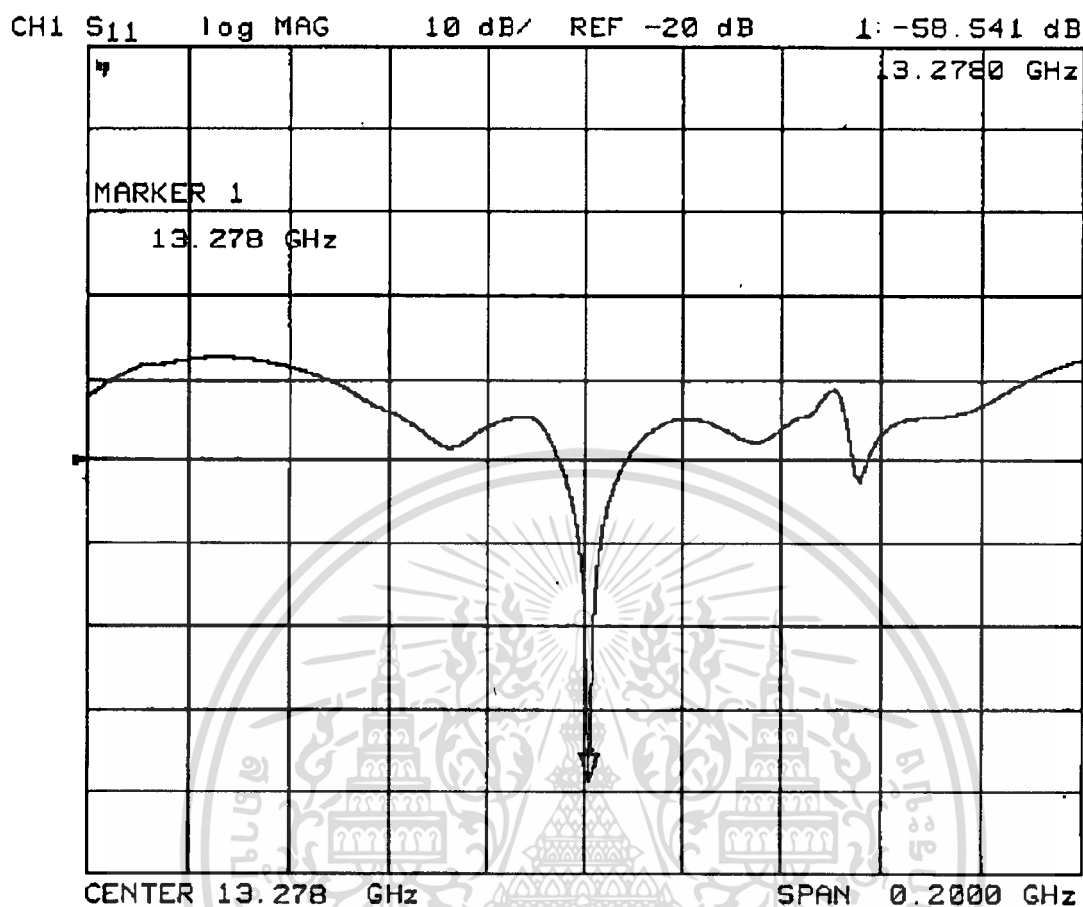
จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงมาตั้งแต่บทที่ 2 จนถึงบทที่ 4 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน ผลการวิเคราะห์สายอากาศตัวเดียวบนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกันและผลการวิเคราะห์สายอากาศอาร์เรย์ของสลีตดังกล่าวตามลำดับตลอดจนการคำนวณออกแบบที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 5 ในบทนี้จะแสดงผลการทดสอบควาวิตี้ รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสลีตเดี่ยว รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสลีตอาร์เรย์ตามลำดับ

6.2 การวัดความถี่ก้ำกรของควาวิตี้

จากหลักการที่กล่าวมาได้ออกแบบควาวิตี้ให้ทำงานที่โหมด $TM_{0,19}$ เพื่อให้ก้ำกรที่ความถี่ 13.30 GHz โดยมีรัศมี $a = 6.5$ ซม. และมีรัศมี $b = 7.5$ ซม. และมีมุม $\theta_c = 90^\circ$ ได้จัดการวัดความถี่ก้ำกร โดยใช้ HP8720C Network Analyzer วัด S_{11} เพื่อพิจารณาค่า (Reflection Coefficient) ของควาวิตี้ ในรูปที่ 6.1 เป็นผังภูมิของการวัด ส่วนในรูปที่ 6.2 เป็นผลของการวัดความถี่ เพื่อหาความถี่ก้ำกรของควาวิตี้พบว่าเกิดก้ำกรที่ความถี่ 13.278 GHz จะพบว่ามีค่าความผิดพลาดไปจากความถี่ที่ได้ทำการออกแบบไว้ 0.15 % สามารถที่จะแสดงให้เห็นได้ว่าหลักการที่เสนอไปสามารถที่จะใช้งานได้จริง



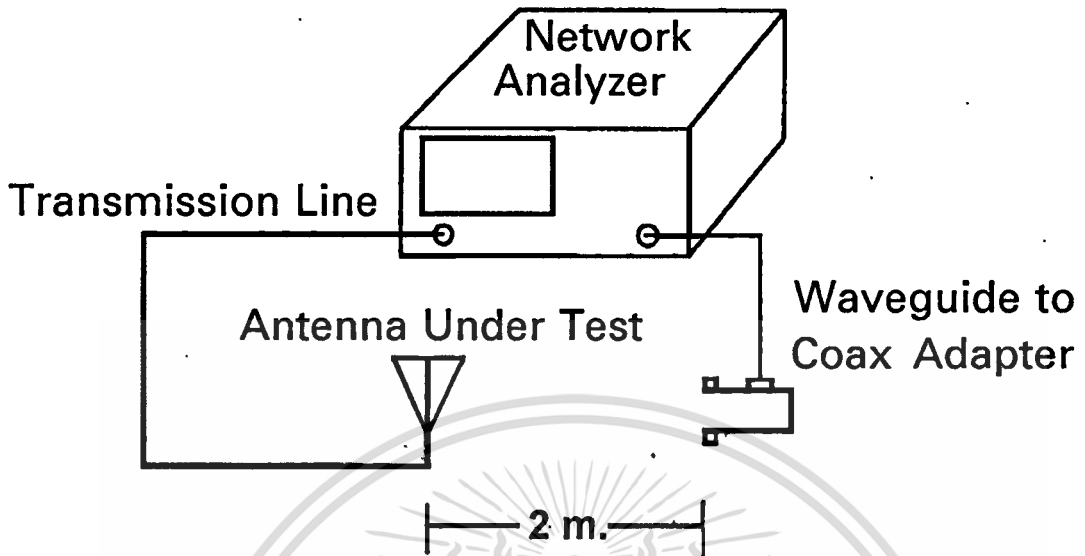
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 6.1 แสดงผังภูมิของการวัดควาวิตี้ที่สร้างขึ้นให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 แสดงผลของการกวาดความถี่

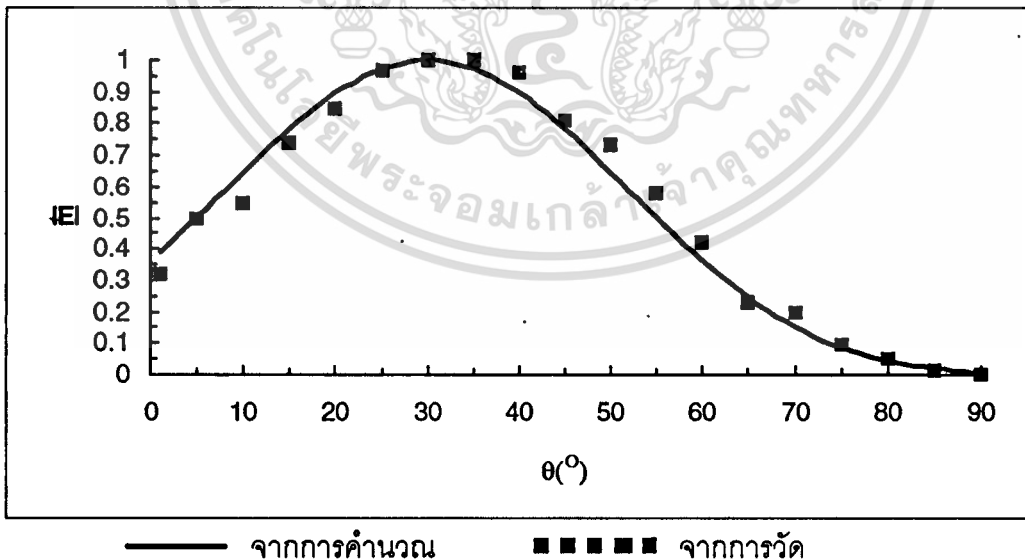
6.3 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

ได้จัดระบบการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแสดงในรูปที่ 6.3 โดยใช้ HP8720C Network Analyzer เป็นตัวส่งสัญญาณและรับสัญญาณความถี่ 13.30 GHz จากการจัดระบบการวัดดังกล่าวได้ทำการวัด S_{12} ซึ่งเป็นอัตราการส่งกำลังงานจากสายอากาศส่ง (Waveguide to coax adapter) ไปยังสายอากาศรับในที่นี้คือสายอากาศอาร์เรย์ทรงกลม ดังนั้นในการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณต้องแปลงให้อยู่ในรูปของสนามไฟฟ้า ในการวัดได้จัดให้ระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองเป็นระยะทาง 2 ม. เพื่อให้อยู่ในระยะสนามระยะไกลแล้วทำการหมุนสายอากาศที่ต้องการทดสอบเปลี่ยนไปครั้งละ 5°



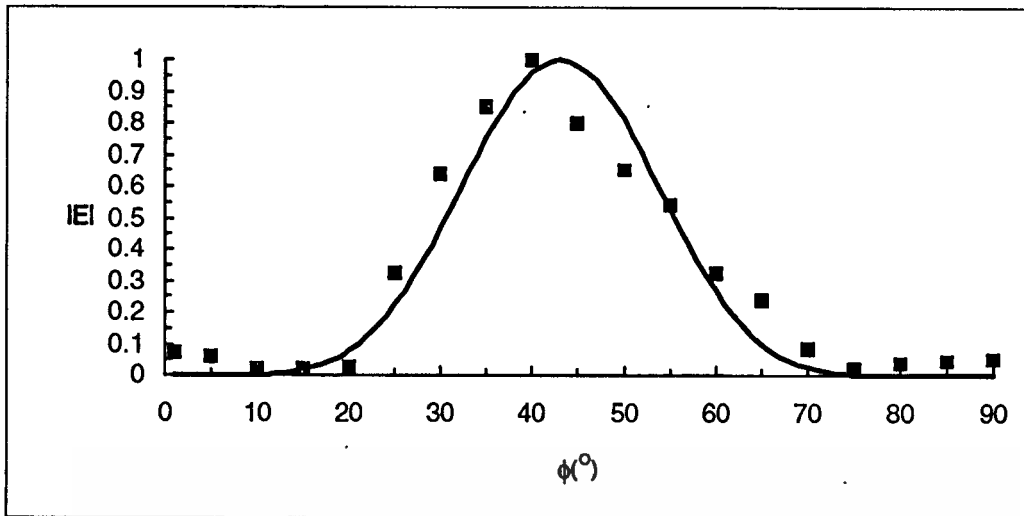
รูปที่ 6.3 แสดงผังภูมิของการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

6.3.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสล็อตเดี่ยวบน ผิวควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



— จากการคำนวณ ■■■■■ จากการวัด

(ข)

รูป 6.4 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ
สลีตตัวเดียวบนผิวควาดีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน
(ก). ในระนาบฮิลีเวชัน
(ข). ในระนาบอะซิมูธ

ได้ทำการสร้างเจาะสายอากาศสลีตเดี่ยวยาว 1.2 ซม. ซึ่งเป็นความยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นส่วนต่ำแห่งสายอากาศนั้นจะถูกเจาะตามแนวนอนที่ตำแหน่ง $\theta' = 30^\circ$ บนผิวนอกของควาดีตัวนำทรงกลมซ้อนกันซึ่งมีรัศมี 7.5 ซม. ซึ่งควาดีนี้ถูกออกแบบให้ทำงานในโหมด $TM_{0,19}$ รูปที่ 6.4 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสลีตเดี่ยวนี้ส่วนในรูปที่ 6.4 (ก) เป็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบฮิลีเวชันและรูปที่ 6.4 (ข) แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบอะซิมูธ ผลการทดลองในทั้งสองระนาบใกล้เคียงกับผลการคำนวณหากแต่ตำแหน่งของบีบสูงสุดบนเมเนโลบในระนาบฮิลีเวชันแตกต่างไปจากการคำนวณเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากความผิดพลาดในการจัดการวัดมุม

6.3.2 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสลีต 10 อีลีเมนต์ จัดเรียงเป็นวงบนผิวควาดีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสลีตอาร์เรย์ 10 อีลีเมนต์เจาะเรียงกันเป็นวง พิจารณาจากรูปที่ 4.1 แต่ละอีลีเมนต์เป็นสลีตยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเจาะตามแนวนอนที่ตำแหน่ง $\alpha_n = 30^\circ$ ซึ่งมีตำแหน่งแต่ละอีลีเมนต์ดัง

ต่อไปนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลีออตตัวที่ 1 อยู่ที่มุม $\beta_{nm}=36^\circ$

สลีออตตัวที่ 2 อยู่ที่มุม $\beta_{nm}=72^\circ$

สลีออตตัวที่ 3 อยู่ที่มุม $\beta_{nm}=108^\circ$

สลีออตตัวที่ 4 อยู่ที่มุม $\beta_{nm}=144^\circ$

สลีออตตัวที่ 5 อยู่ที่มุม $\beta_{nm}=180^\circ$

สลีออตตัวที่ 6 อยู่ที่มุม $\beta_{nm}=216^\circ$

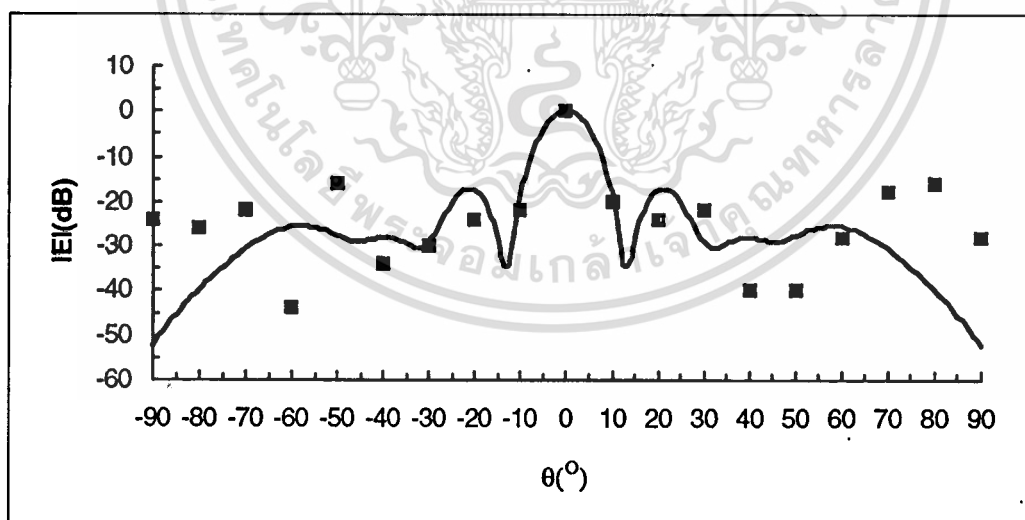
สลีออตตัวที่ 7 อยู่ที่มุม $\beta_{nm}=252^\circ$

สลีออตตัวที่ 8 อยู่ที่มุม $\beta_{nm}=288^\circ$

สลีออตตัวที่ 9 อยู่ที่มุม $\beta_{nm}=324^\circ$

สลีออตตัวที่ 10 อยู่ที่มุม $\beta_{nm}=360^\circ$

ได้แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ $\phi = 0^\circ$ เอาไว้ในรูปที่ 6.5

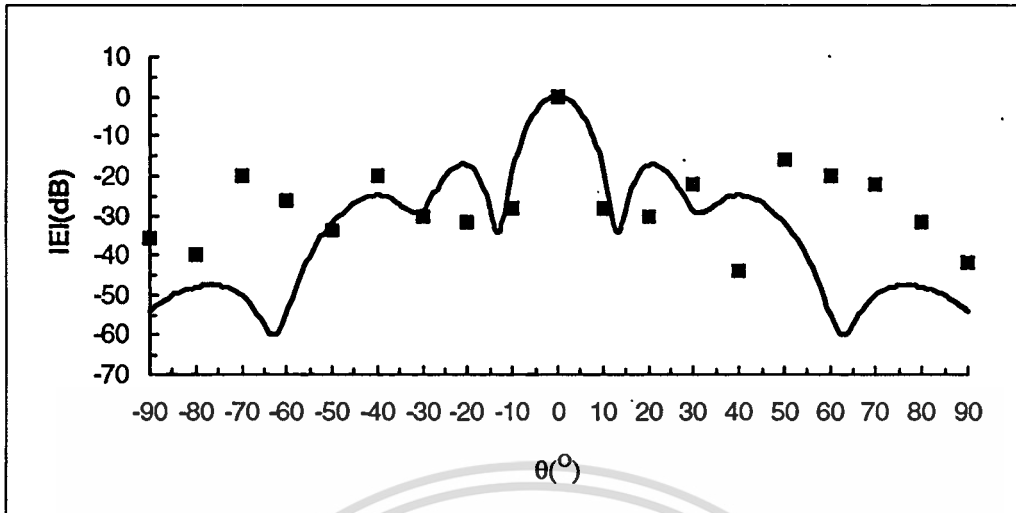


— จากการคำนวณ

■ ■ ■ ■ ■ จากการวัด

รูปที่ 6.5 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสลีออต 10 อีลีเมนต์

จัดเรียงเป็นวงบนผิวของคาวีตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกันบนระนาบ $\phi = 0^\circ$



————— จากการคำนวณ ■■■■■ จากการวัด

รูปที่ 6.6 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสลีต 10 ซีซีเมนต์
จัดเรียงเป็นวงบนผิวของดาวิตต์ตัวนำทรงกลมซ้อนกันบนระนาบ $\phi = 90^\circ$

ส่วนรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ $\phi=90^\circ$ ได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 6.6 ในรูปทั้งสองได้แสดงการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ จะเห็นว่าในบริเวณเมนโลบมีการกระจายคลื่นที่ใกล้เคียงกันแต่ในบริเวณโลบย่อย จะมีขนาดสูงกว่าผลจากการคำนวณเป็นส่วนใหญ่ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในการคำนวณเป็นการใช้การคำนวณโดยประมาณว่าเป็นสนามระยะไกลมากๆ และไม่คิดการแตกกระจายที่ขอบของดาวิตต์ซึ่งในทางปฏิบัติอาจมีผลเหล่านั้นเกิดขึ้น

6.4 สรุป

จากผลการทดสอบที่แสดงในบทนี้ จะเห็นว่ามีความสอดคล้องกับหลักการคำนวณที่ได้เสนอไว้ ในบทนี้ได้แสดงผลการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นทั้งของสลีตเดี่ยวและที่เป็นสายอากาศสลีตอาร์เรย์ที่ความถี่ 13.30 GHz ซึ่งพบว่ารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสลีตเดี่ยวที่มีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ก็จะมีเมนโลบเพียงอันเดียวเมื่อวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสลีตอาร์เรย์ ก็พบว่าเกิดไซด์โลบขึ้นมาแต่ค่าแอมพลิจูดของไซด์โลบก็ยังต่ำอยู่เมื่อเทียบกับเมนโลบ ซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นค่อนข้างจะคงที่ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากระนาบใดๆ ก็ตาม

บทที่ 7

บทสรุปและวิจารณ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอผลการศึกษาลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสลิตอาร์เรย์บนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกันส่วนในรายละเอียดต่างๆ ได้แบ่งออกเป็น 6 บท ซึ่งในบทที่ 1 จะเป็นบทนำกล่าวถึงวัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์และโครงประกอบของการทำวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ในบทนี้ได้แสดงวิธีการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน ทำให้ได้สนามที่กระตุ้นที่ปากสลิตคือสนามไฟฟ้า E_0 และสนามแม่เหล็ก H_0 อธิบายสิ่งที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของตัวนำทรงกลมแบบเต็มลูกมีลักษณะเป็นตัวนำทรงกลมซ้อนกัน โดยมีจุดศูนย์กลางร่วมกันสองลูก ในหัวข้อต่อมาก็จะเป็นพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้ในบทที่ 3 ต่อไปวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะได้เลือกเอารูปทรงกลมเพียงบางส่วนของควาวิตี้มาใช้เท่านั้น และเนื่องจากมีความต้องการให้ได้สายอากาศสลิตอาร์เรย์เป็นรูปครึ่งทรงกลม จึงได้เลือกมุมกรวยที่เชื่อมปิดส่วนปลายของตัวนำทรงกลมทั้งสองมีค่าเป็นมุม $\theta_c=90^\circ$ เพราะฉะนั้นก็ได้รูปร่างของควาวิตี้เป็นรูปครึ่งทรงกลมและได้รัศมีตัวนำอันในเท่ากับ 6.5 ซม. และรัศมีตัวนำอันนอกเท่ากับ 7.5 ซม. ได้ตำแหน่งของสนามภายในควาวิตี้ที่มีค่าของสนามที่แรงต่างๆ กันที่มุม θ ตามรูปที่ 2.3 สำหรับหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการเลือกเจาะสลิตบนผิวภายนอกของควาวิตี้ต่อไป

บทที่ 3 แสดงโครงสร้างควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซึ่งได้ออกแบบไว้แล้วในบทที่ 2 ซึ่งบนผิวตัวนำทรงกลมอันนอกที่รัศมีเท่ากับ b ทำการเจาะสลิตมีความยาว L บนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมซ้อนกัน มีจุดกึ่งกลางของสลิตอยู่ที่ตำแหน่ง (b, θ', ϕ') สลิตนี้จะถูกกระตุ้นด้วยสนามที่สัมผัสกับปากสลิตได้แก่สนามไฟฟ้า E_0 และสนามแม่เหล็ก H_0 จากการคำนวณสมการของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสลิตตัวเดียว พบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกับฟังก์ชัน $(\cos\theta)^8$ มากซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษาเรื่องของสายอากาศสลิตอาร์เรย์ต่อไปและจากการคำนวณพบว่า

1. เมื่อสลิตยาวเท่ากันอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันแต่เปลี่ยนค่าของมุมเอียง α ไปโดยเริ่มจากมุมที่เจาะสลิตตามแนวนอน ($\alpha=0^\circ$) กับผิวควาวิตี้แล้วเพิ่มมุมเอียง α ครั้งละ 15° จนถึงมุมเอียง $\alpha=90^\circ$ พิจารณาจากรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจะพบว่าเมื่อมุมเอียง α เพิ่มขึ้นก็จะมีบริเวณที่กว้างขึ้นส่วนระดับไซดโลบต่ำลงส่งผลให้มีค่าไดเรกทิวิตี้และอัตราขยายต่ำลง

2. เมื่อสลีตมีความยาวไม่เท่ากันเมื่อให้ยาวเพิ่มขึ้นแต่สลีตอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันและมีค่าของมุมเอียง α เท่ากัน พิจารณาจากรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจะพบว่ามิมิมิตท์แคบลงส่วนระดับไซดิลอเบเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้มีค่าไดเรคตีวิตีเพิ่มขึ้น

3. เมื่อสลีตยาวเท่ากันและมีค่าของมุมเอียง α เท่ากันแต่อยู่ที่ตำแหน่งลดต่ำลงมาจากจุดยอดของควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน พิจารณาจากรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจะพบว่าเมื่อตำแหน่งต่ำลงมากจะมีมิมิตท์กว้างขึ้นส่วนระดับของไซดิลอเบลดลงทำให้มีค่าไดเรคตีวิตีต่ำลงด้วย อีกทั้งยังได้แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจากสลีตตัวเดียว เมื่อทำการเปลี่ยนใหม่โดยกำหนดให้สลีตมีความยาวเท่ากันและอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันแต่มุมเอียง α ต่างกัน

บทที่ 4 ในบทนี้จะแสดงการหาสนามลัพธ์ที่แพร่กระจายออกมาจากสายอากาศสลีตอาร์เรย์ จากการคำนวณรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจากสายอากาศสลีตอาร์เรย์บนผิวควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน โดยเจาะสลีตมีความยาว $\frac{\lambda}{2}$ ตามแนวนอนกับผิวควาวิตีมาเป็นอีลีเมนต์ของอาร์เรย์ที่เจาะเรียงกันเป็นวงกลมหนึ่งวง ในการคำนวณนี้จะประมาณรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสลีตได้ด้วยฟังก์ชัน $(\cos\theta)^8$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มีลักษณะใกล้เคียงกับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสลีตมากซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น เมื่อใช้ควาวิตีในโหมดต่างๆ ด้วยและแสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น เมื่อมีจำนวนของสายอากาศสลีตอาร์เรย์จำนวน 5 อีลีเมนต์ซึ่งจะมีค่าไดเรคตีวิตีประมาณ 30.59 dB เมื่อมีสายอากาศอาร์เรย์จำนวน 10 อีลีเมนต์ซึ่งมีอาร์ฟเพาเวอร์มิมิตท์ทั้งสองระนาบเท่ากับ 5.6° ทำให้มีค่าไดเรคตีวิตีประมาณ 31.19 dB ดังนั้นจะสรุปได้ว่าเมื่อสายอากาศสลีตอาร์เรย์มีจำนวนอีลีเมนต์มากขึ้นจะมีมิมิตท์แคบลงและระดับไซดิลอเบต่ำก็จะมีค่าไดเรคตีวิตีและอัตราขยายสูง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างโหมดพบว่าเมื่อจำนวนอีลีเมนต์เท่ากันโหมดที่สูงกว่าจะมีมิมิตท์แคบกว่าและมีระดับไซดิลอเบต่ำทำให้มีค่าไดเรคตีวิตีและอัตราขยายที่สูงกว่า

บทที่ 5 จากหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในบทก่อนๆ ในบทนี้จะได้นำมาใช้ในการคำนวณและการออกแบบสร้างสายอากาศสลีตอาร์เรย์บนผิวควาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันเริ่มจากการคำนวณและออกแบบสร้างควาวิตี เมื่ออยู่ในโหมด $TM_{0,19}$ พบว่ารัศมีตัวนำอันในเท่ากับ 6.5 ซม. และรัศมีตัวนำอันนอกเท่ากับ 7.5 ซม. และทำการคำนวณในโหมด $TM_{0,18}$ พบว่ารัศมีตัวนำอันในเท่ากับ 6.14 ซม. และรัศมีตัวนำอันนอกเท่ากับ 7.13 ซม. ส่วนในโหมด $TM_{0,20}$ พบว่ารัศมีตัวนำอันในเท่ากับ 6.86 ซม. และรัศมีตัวนำอันนอกเท่ากับ 7.87 ซม. สรุปได้ว่าเมื่อมีความถี่เดียวกันแล้วโหมดที่สูงขึ้นจะทำให้ได้ควาวิตีที่มีขนาดใหญ่ขึ้น หลังจากนั้นจะได้ทำการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณและออกแบบสร้างสายอากาศสล็อตอาร์เรย์บนผิวควิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกันต่อไป ได้แสดงวิธีการออกแบบจำนวนอีลีเมนต์ของสายอากาศ โดยอาศัยหลักการของรูปทรงเรขาคณิตไอโคสะฮีดรอนมาเป็นแบบในการหาตำแหน่งเพื่อที่จะเจาะสล็อต หลังจากนั้นก็ให้ทำการเคลื่อนย้ายตำแหน่งที่จะเจาะสายอากาศสล็อตอาร์เรย์มาวางไว้บนควิตีต่อไปก็จะได้ตำแหน่งของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ที่จะทำการเจาะอาร์เรย์

บทที่ 6 จากผลการวัดความถี่กำรของควิตีพบว่าเกิดกำรที่ควมถี่ 13.278 GHz ซึ่งมีค่าควมผิดพลาดไปจากควมถี่ที่ได้ทำการออกแบบไว้เท่ากับ 0.15 % จะเห็นว่ามีควมสอดคล้องกับหลักการคำนวณที่ได้เสนอไว้ ในบทนี้ได้แสดงผลการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นทั้งของสล็อตเดี่ยวและที่เป็นสายอากาศสล็อต ซึ่งพบว่ารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสล็อตเดี่ยวที่มีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของควมยาวคลื่นในระนาบอะซิมุทจะมีเมนโลบเพียงอันเดียว ส่วนในระนาบอีลีเวชันเมนโลบจะมีค่าสนามแรงที่สุดตรงตำแหน่งที่เจาะสล็อต เมื่อวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์ก็จะพบว่าเกิดไซด์โลบขึ้นมาแต่ค่าแอมพลิจูดของไซด์โลบก็ยังต่ำอยู่ เมื่อเทียบกับเมนโลบซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นค่อนข้างจะคงที่ไม่่ว่าจะเป็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากระนาบใดๆ ก็ตาม จากผลการทดลองวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบอะซิมุท ตามรูปที่ได้แสดงไว้ในกราฟรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Graph) ที่มีสเกลเดียวกันซึ่งมี 2 ส่วนคือส่วนที่ได้จากการทดลองและส่วนที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีด้วยโปรแกรมภาษา C และโปรแกรม Mathematica 2.21 ซึ่งใช้ในการคำนวณทางด้านคณิตศาสตร์จะเห็นว่าผลที่ได้จากการทดลองมีแนวโน้มของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี กล่าวคือมีความผิดพลาดมุมของเมนโลบน้อยมากและการที่คุณสมบัติของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นไม่เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ที่เป็นเช่นนั้นอาจเป็นเพราะว่าในการวัดรูปแบบการกระจายคลื่นที่ต้องใช้ระยะทางในการวัดและสถานที่ใช้ในการทดลอง ต้องไม่มีสิ่งที่จะทำให้คลื่นที่เดินทางไปในอากาศเกิดการสแคทเทอริงได้ซึ่งจะทำให้ผลการวัดออกมาผิดพลาดจากที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Mushiake and R.E. Webster , “ Radiation Characteristics with Power Gain for Slots on a Sphere,” IRE Trans. on Antennas and Propagation, vol. AP-16, pp. 47-55 , Jan., 1957.
- [2] D.L. Sengupta, T.M. Smith and R.W. Larson, “ Radiation Characteristics of a Spherical Array of Circularly Polarized Element, ” IEEE .Trans. on Antennas and Propagation, vol. AP-16, No.1 , pp. 3-7 , Jan., 1968.
- [3] D.L. Sengupta, J.E. Ferris, T.M. Smith and R.W. Larson, “ Experimental Study of a Spherical Array of Circularly Polarized Element, ” Proc of IEEE, pp. 2048- 2051 , Nov, 1968.
- [4] R.S. Elliott , “ Antenna Theory and Design, ” Prentice Hall, chapter 3, 1985.
- [5] ไม่น้อย ไกรฤกษ์, สมผล โกศลวิตร, กิตติศักดิ์ วายุกักตร์ และ พงศ์พัชร น้อยแรม , “ คาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน, ” , การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 14 หน้า 4-22 ถึง 4-25, พฤศจิกายน 2534.
- [6] S.A. Schelkunoff, “ Electromagnetic Waves” D. VanNostrand, 1943.
- [7] C.A. Balanis, “ Antenna Theory, ” Harper and Row , ch. 11, 1982.
- [8] A. Hund, “ Short-wave Radiation Phenomena, ”vol 1 , McGraw-Hill Book Co., Inc., New York (Ch VI), 1952.
- [9] พงศ์พัชร น้อยแรม, ไม่น้อย ไกรฤกษ์, สมผล โกศลวิตร, “ สายอากาศสลีตที่วางนอนบนผิวคาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน, ” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 16 หน้า 134-137 , พฤศจิกายน 2536.
- [10] D.L. Sengupta, J.E. Ferris, T.M. Smith and R.W. Larson, “Azimuth and Elevation Direction Finder Study,” Radiation Lab., University of Michigan, Ann Arbor , Rept. 7577-1-Q, AD 479635L , 1965; Rept. 7577-2-q , 1966.
- [11] J.D. Kraus, Antennas, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York (Ch II), 1950.
- [12] ไม่น้อย ไกรฤกษ์, วิวัฒน์ กิรานนท์, “ สายอากาศสลีตอาร์เรย์ที่ถูกบ่อนด้วยคาวิตีตัวนำทรงกลมซ้อนกัน, ” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 15 หน้า 2-39 ถึง 2-44 , พฤศจิกายน 2535.
- [13] L.J. Du and C.T. Tai, “ Radiation Patterns of Four Symmetrically Located Sources on a Perfectly Conducting Sphere, ” Ohio State Research foundation , Rept. 1691-10,1964.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] G.H. Knittei, "Choosing the Number of Faces of a Phased-Array Antenna for Hemispherical Scan Coverage," IEEE Trans. Antenna and Propagation, vol. AP-13, pp. 878-882, November 1965.
- [15] R.B. Fuller, Comprehensive Thinking : World Design Science Decade 1965-1975. Carbondale , Ill : Southern Illinois University , pp. 14-22. 1965.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ไดเรกทิวิตี้ของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์บนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมชั้นกัน

การคำนวณหาไดเรกทิวิตี้ของสายอากาศสล็อตอาร์เรย์บนผิวของควาวิตี้ตัวนำทรงกลมชั้นกันบนโคออร์ดิเนตทรงกลม (r, θ, ϕ) จาก Kraus (1950) [11] ค่าไดเรกทิวิตี้ D ของสายอากาศถูกกำหนดเป็น

$$D = \frac{4\pi A_{\max}(\theta, \phi)^2}{\int_0^\pi \int_0^{2\pi} |A(\theta, \phi)|^2 \sin\theta d\theta d\phi}$$

อาร์เรย์แพคเตอร์ (ตัวประกอบอาร์เรย์) $A(\theta)$ ค่อนข้างซับซ้อนในการอินทิเกรตดังนั้นสามารถประมาณค่าได้เป็น

$$D = \frac{2|A_{\max}(\theta)|^2}{\Delta\theta \sum_{\theta=0^\circ}^{180^\circ} |A(\theta)|^2 \sin\theta}$$

โดยที่ค่า $\Delta\theta$ เป็นค่าที่มีค่าน้อยๆ และควรเป็นค่าที่น้อยกว่าความกว้างของมุมบี้มที่ขยับขึ้นๆ ลงๆ ถ้ากำลังงานส่วนใหญ่อยู่ในเมนบี้มดังนั้นสามารถประมาณให้เป็นสมการอย่างง่ายๆ ได้คือ

$$D = \frac{41253}{\theta_B \phi_B}$$

โดยที่

θ_B เป็นความกว้างของมุมเมนบี้มที่ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์

ϕ_B เป็นความกว้างของมุมเมนบี้มที่ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์ในระนาบที่ตรงข้าม

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายพงศ์พัชร น้อยแรม
วันเดือนปี	วันที่ 25 เมษายน 2511
สถานที่เกิด	จังหวัดนราธิวาส
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาฟิสิกส์
สถานที่สำเร็จการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2533
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	สายอากาศสล็อตที่วางนอนบนผิวควาวิตีตัวนำ ทรงกลมซ้อนกัน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 16 มูลนิธิเพื่อการศึกษาคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร ผู้ช่วยนักวิจัยโครงการการออกแบบสายอากาศ สถานีสื่อสารดาวเทียมภาคพื้นดิน จากกระทรวงวิทยาศาสตร์
รางวัลหรือทุนที่เคยได้รับ	
ประสบการณ์การทำงาน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้