



สายอากาศแบบตัวรับสัญญาณเป็นมุมสะท้อน
CORNER REFLECTOR ANTENNAS

โดย

นาย ธวัชชัย เชิดชูบัณฑิต รหัส 37013068
นาย นิสิต โกศล รหัส 37013072
นาย สุวิทย์ โภคาสัมฤทธิ์ รหัส 37013094

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ. สมผล โภคัลลิตร์

วัน เดือน ปี... 18 ค.ค. 25๓๐
เลขทะเบียน... 037308
เลขเรียกหนังสือ... 3901๓ ๒๖๑๔.๓

ปฏิญานินพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่องสายอากาศแบบตัวรับสัญญาณเป็นมุมสะท้อน

CORNER REFLECTOR ANTENNAS

ผู้จัดทำ

1. นาย ธีรชัชย เชิดชูบัณฑิต รหัสประจำตัว 37013068
2. นาย นิสิต โกศล รหัสประจำตัว 37013072
3. นาย สุวิทย์ โภคาสัมฤทธิ์ รหัสประจำตัว 37013094

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. สมผล โกศลวิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแบบตัวรับสัญญาณเป็นมุมสะท้อน

CORNER REFLECTOR ANTENNAS

- โดย
1. นาย รัชชัย เติตชูบัณฑิต รหัสประจำตัว 37013068
 2. นาย นิสิต โกศล รหัสประจำตัว 37013072
 3. นาย สุวิทย์ โภคาสัมฤทธิ์ รหัสประจำตัว 37013094

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. สมผล โกศลวิตร

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการออกแบบและสร้างสายอากาศ คอเนอร์รีเฟลคเตอร์ ที่ใช้กับโทรศัพท์เซลลูลาร์ ในย่านความถี่ 825-890 MHz ซึ่งต้องการ ประสิทธิภาพในการติดต่อระยะไกล ในพื้นที่มีระดับสัญญาณต่ำ โดยออกแบบให้คอเนอร์รีเฟลคเตอร์มีมุม 90 องศา และเลือกใช้สายอากาศไดโพลเป็นตัวป้อนสัญญาณ ไดโพลจะมีขนาด $1/2$ ของความยาวคลื่น ของความถี่กลาง

ABSTRACT

This article present a design and a construction of a corner reflector antennas for using in the cellular telephone system. The antenna possess the wide band of 825-890 MHz. The corner reflector has 90 degree of an angle. The dipole antenna sends the carrier which includes $1/2$ of wavelength from middle frequency.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากท่านอาจารย์ สมผล โกศลวิตร ซึ่งท่านได้กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และได้ให้คำแนะนำอย่างมาก, ท่านอาจารย์ โมไนย ไกรฤกษ์ ซึ่งท่านให้คำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างมาก ในการติดต่อขออนุญาตใช้เครื่องมือและห้องปฏิบัติการ ทดลองโครงการนี้ จากห้องปฏิบัติการวิจัยและบริการคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ศูนย์เทคโนโลยี อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ซึ่งก็ได้รับความช่วยเหลือจากทางพี่ๆและน้องที่ห้องปฏิบัติการ ๙ อย่างดีเยี่ยม และยังมีทางกองสื่อสารสัญญาณภายในประเทศ การสื่อสารแห่งประเทศไทย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านเครื่องมือและสถานที่ในการทดลองโครงการนี้อย่างมากเช่นกัน นอกเหนือจากนี้แล้ว เพื่อน ๆ ทุกคนที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนให้คำปรึกษาและให้กำลังใจกับทางคณะผู้จัดทำ

คณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณอย่างสูง สำหรับทุก ๆ ท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้นไว้ ณ ที่นี้ด้วย ทางคณะผู้จัดทำหวังว่าโครงการพร้อมกับหนังสือโครงการเล่มนี้ คงจะเป็นประโยชน์ให้กับผู้ที่สนใจโครงการนี้ ไม่มากก็น้อย

คณะผู้จัดทำ

1. นาย รัชชัย เติตชูบัณฑิต
2. นาย นิสิต โกศล
3. นาย สุวิทย์ โภคาสัมฤทธิ์

ปกใน

บทคัดย่อ

กิตติกรรมประกาศบทที่ 1 บทนำ

- | | |
|--|---|
| 1.1 หลักการพื้นฐานของสายอากาศและการแพร่กระจายคลื่น | 1 |
| 1.2 ชนิดของสายอากาศ | 2 |
| 1.3 บทบาทของสายอากาศในงานสื่อสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า | 5 |

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการของสายอากาศ

- | | |
|---|----|
| 2.1 หลักการของสายอากาศ | 6 |
| 2.2 สายอากาศไดโพล (Dipole antennas) | 6 |
| 2.3 การแพร่คลื่นของสายอากาศ | 9 |
| 2.4 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ | 9 |
| 2.5 การหาสนามที่แพร่กระจายจาก $\lambda/2$ ไดโพล | 17 |
| 2.6 ทฤษฎีของอิมเมจ | 18 |
| 2.7 สายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ (Corner reflector antennas) | 19 |
| 2.8 การวิเคราะห์สายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ | 22 |
| 2.9 ผลของระยะห่างระหว่างสายอากาศกับจุด Vertex กับมุมของคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ | 26 |
| 2.10 อัตราการขยาย (Gain) | 28 |
| 2.11 การเลือกขนาดของแผ่นสะท้อนที่ทำให้เป็นมุม | 32 |
| 2.12 การบ่อนสัญญาณให้แก่สายอากาศแบบสาย | 34 |

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง

- | | |
|---|----|
| 3.1 การออกแบบแผ่นสะท้อนมุม 90 องศา | 40 |
| 3.2 การสร้างสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ที่ใช้งานจริง | 43 |
| 3.3 การทดลอง | 44 |

บทที่ 4 ผลการทดลอง

- | | |
|---|----|
| 4.1 ค่า SWR | 50 |
| 4.2 ค่ารูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น | 54 |
| 4.3 อัตราการขยายของสายอากาศ (Gain) | 61 |
| 4.4 ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ (Input Impedance) | 62 |
| 4.5 การหาไดเรกทิวิตี (Directivity) | 66 |

4.6 ค่าอัตราส่วนโหลบหน้าต่อโหลบหลัง (Front to Back Ratio) 66

4.7 ค่าประสิทธิภาพของสายอากาศ (η) 67

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

ภาคผนวก

หนังสืออ้างอิง 77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

รูปที่ 1.1	สายอากาศทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างอากาศกับ guiding wave	1
รูปที่ 1.2	การลู่ออกของคลื่น	2
รูปที่ 1.3	Wire Antennas แบบต่างๆ	3
รูปที่ 1.4	Aperture Antennas แบบต่างๆ	3
รูปที่ 1.5	Array Antennas แบบต่างๆ	4
รูปที่ 1.6	Reflector Antennas แบบต่างๆ	5
รูปที่ 1.7	ระบบสื่อสารด้วยวิทยุระหว่างคู่สถานี	5

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการของสายอากาศ

รูปที่ 2.1	แสดงการไหลของกระแสบน Two wire transmission line	6
รูปที่ 2.2	แสดงการไหลของกระแสและการแพร่สัญญาณของ Flared transmission line	7
รูปที่ 2.3	แสดงการไหลของกระแสและการแพร่ของ Linear dipole	7
รูปที่ 2.4	แสดงการแพร่กระจายสัญญาณของ Linear dipole $\lambda/2$	8
รูปที่ 2.5	แสดงการแพร่กระจายสัญญาณของ Linear dipole $l \ll \lambda$	8
รูปที่ 2.6	แสดงการแพร่กระจายสัญญาณของ Linear dipole $l > \lambda/2$ และ $l > \lambda$	8
รูปที่ 2.7	สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ปรากฏรอบ Half-wave Dipole	9
รูปที่ 2.8	แสดงระบบโคออดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ	10
รูปที่ 2.9	แสดงลักษณะแพทเทิร์นของสายอากาศแบบฮอโมนิไดเรคชันแนล	10
รูปที่ 2.10	แสดงโพลและปมวิดิทแบบ 3 มิติ ของสายอากาศ	11
รูปที่ 2.11	แสดงการแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ	12
รูปที่ 2.12	โพลไรเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	13
รูปที่ 2.13	การวัดความกว้างของลำคลื่นในรูปแบบการแผ่คลื่น	13
รูปที่ 2.14	แสดงอัตราส่วน Front to back ของสายอากาศ	15
รูปที่ 2.15	แสดงสายอากาศในโหมดการส่ง	15
รูปที่ 2.16	(a) ประจุ q วางอยู่บนหน้าแผ่นตัวนำ (b) ศักย์ไฟฟ้าของประจุ q และ (-q)	19
รูปที่ 2.17	แสดงสนามและมิวศักย์ไฟฟ้าเท่า	19
รูปที่ 2.18	รีเฟลคเตอร์แบบต่างๆ	20
รูปที่ 2.19	รูปร่างของรีเฟลคเตอร์บางชนิด	21
รูปที่ 2.20	รีเฟลคเตอร์แบบแผ่นโลหะและแบบตะแกรงลวด	22
รูปที่ 2.21	image ของคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์สำหรับมุม $90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	23
รูปที่ 2.22	image ของคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ 90° และ 4 โพล	23

รูปที่ 2.23	แสดงสายอากาศคอร์เนอร์เฟล็กเตอร์มุม 90° และ image	24
รูปที่ 2.24	แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของการแพร่กระจายคลื่นของคอร์เนอร์เฟล็กเตอร์มุม 90°	25
รูปที่ 2.25	แสดงค่า E/E_0 ต่อระยะ s ของคอร์เนอร์เฟล็กเตอร์ 90°	26
รูปที่ 2.26	แสดงค่ากำลังขยายที่ระยะ s ต่างๆของมุม 180° และ 90° ในทิศทาง $\phi = 0^\circ, \theta = 90^\circ$	27
รูปที่ 2.27	แสดงค่ากำลังขยายที่ระยะ s ต่างๆของมุม 60° และ 45° ในทิศทาง $\phi = 0^\circ, \theta = 90^\circ$	27
รูปที่ 2.28	แสดงค่าความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นของ $\lambda/2$ ไดโพลที่ระยะ s ต่าง ๆ สำหรับมุม 90° และ 180°	28
รูปที่ 2.29	แสดงค่าความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นของ $\lambda/2$ ไดโพลที่ระยะ s ต่าง ๆ สำหรับมุม 45° และ 60°	28
รูปที่ 2.30	image ของคอร์เนอร์เฟล็กเตอร์แบบ 60°	29
รูปที่ 2.31	Gain ของสายอากาศคอร์เนอร์เฟล็กเตอร์ใน free space	30
รูปที่ 2.32	pattern ของ คอร์เนอร์เฟล็กเตอร์ มุม 90° ที่มีระยะ s เท่ากับ (a) 0.5 (b) 1.0 (c) 1.5	31
รูปที่ 2.33	แสดงขนาดของแผ่นสะท้อนและลักษณะการสะท้อนสัญญาณ ของคอร์เนอร์เฟล็กเตอร์ 90°	32
รูปที่ 2.34	แสดงแผ่นสะท้อนที่ทำจากแท่งโลหะ	33
รูปที่ 2.35	แสดงการเปรียบเทียบคอร์เนอร์เฟล็กเตอร์ 2 ตัวที่ใช้ระยะ s ต่างกัน	33
รูปที่ 2.36	แสดง pattern การรับส่งสัญญาณของไดโพลทรงกระบอก	34
รูปที่ 2.37	แสดงสภาพการไหลของกระแสเมื่อนำสายโคแอกเซียลมาต่อโดยตรง กับสายคู่ขนาน	35
รูปที่ 2.38	แสดงบาลันแบบลวดตัวนำขนาน	37
รูปที่ 2.39	แสดงวงจรสมมูลของบาลันแบบลวดตัวนำขนาน	38
รูปที่ 2.40	แสดงการแมทชโดยใช้สตั๊ป	38
รูปที่ 2.41	แสดงการแมทชโดยใช้สตั๊บบนสมิทชาร์ท	39
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง		
รูปที่ 3.1	แสดงค่าอัตราขยายที่ระยะ S ของมุม $180^\circ, 90^\circ$ และ 60°	41
รูปที่ 3.2	แสดงค่า resistance ที่ระยะ S ของมุม $180^\circ, 90^\circ, 60^\circ$ และ 45°	41
รูปที่ 3.3	แสดงขนาดและลักษณะของสายอากาศคอร์เนอร์เฟล็กเตอร์ที่ทำการสร้าง	42
รูปที่ 3.4	แสดงการต่ออุปกรณ์วัดแพทเทิร์นของการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E	46
รูปที่ 3.5	แสดงการต่ออุปกรณ์วัดแพทเทิร์นของการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ H	46

รูปที่ 3.6	แสดงการจัดอุปกรณ์เพื่อวัดอัตราการขยายของไดโพลมาตรฐาน	47
รูปที่ 3.7	แสดงการจัดอุปกรณ์ในการวัดอัตราการขยายสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์	48
รูปที่ 3.8	แสดงค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณยาว l ต่ออยู่กับโหลด Z_R	48

บทที่ 4 ผลการทดลอง

รูปที่ 4.1	แสดงค่า SWR ของคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ที่มุมระหว่างแผ่นสะท้อน = 30°	50
รูปที่ 4.2	แสดงค่า SWR ของคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ที่มุมระหว่างแผ่นสะท้อน = 45°	51
รูปที่ 4.3	แสดงค่า SWR ของคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ที่มุมระหว่างแผ่นสะท้อน = 60°	52
รูปที่ 4.4	แสดงค่า SWR ของคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ที่มุมระหว่างแผ่นสะท้อน = 90°	53
รูปที่ 4.5	แสดง Vertical Radiation Pattern ของความถี่ 825 MHz	55
รูปที่ 4.6	แสดง Vertical Radiation Pattern ของความถี่ 857.5 MHz	56
รูปที่ 4.7	แสดง Vertical Radiation Pattern ของความถี่ 890 MHz	57
รูปที่ 4.8	แสดง Horizontal Radiation Pattern ของความถี่ 825 MHz	58
รูปที่ 4.9	แสดง Horizontal Radiation Pattern ของความถี่ 857.5 MHz	59
รูปที่ 4.10	แสดง Horizontal Radiation Pattern ของความถี่ 890 MHz	60
รูปที่ 4.11	แสดงค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ ที่มุมระหว่างแผ่นสะท้อน = 30°	62
รูปที่ 4.12	แสดงค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ ที่มุมระหว่างแผ่นสะท้อน = 45°	63
รูปที่ 4.13	แสดงค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ ที่มุมระหว่างแผ่นสะท้อน = 60°	64
รูปที่ 4.11	แสดงค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ ที่มุมระหว่างแผ่นสะท้อน = 90°	65

ภาคผนวก

รูปที่ A	ค่าอัตราการขยายระนาบ Vertical ที่ 0° ของความถี่ 825,857.5 และ 890 MHz	69
รูปที่ B	ค่าอัตราการขยายระนาบ Vertical ที่ 90° ของความถี่ 825,857.5 และ 890 MHz	69
รูปที่ C	ค่าอัตราการขยายระนาบ Vertical ที่ 180° ของความถี่ 825,857.5 และ 890 MHz	70
รูปที่ D	ค่าอัตราการขยายระนาบ Vertical ที่ 270° ของความถี่ 825,857.5 และ 890 MHz	70
รูปที่ E	ค่าอัตราการขยายระนาบ Horizontal ที่ 0° ของความถี่ 825,857.5 และ 890 MHz	71
รูปที่ F	ค่าอัตราการขยายระนาบ Horizontal ที่ 90° ของความถี่ 825,857.5 และ 890 MHz	71
รูปที่ G	ค่าอัตราการขยายระนาบ Horizontal ที่ 180° ของความถี่ 825,857.5 และ 890 MHz	72
รูปที่ H	ค่าอัตราการขยายระนาบ Horizontal ที่ 270° ของความถี่ 825,857.5 และ 890 MHz	72

สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการของสายอากาศ

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความแรงของสนามที่ถูกรังโดยคลื่นสั้นแล้ว

สำหรับสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์มุม 90, 60, 45 และ 30 องศา 26

ตารางที่ 2.2 สูตรการหา gain-pattern ของสายอากาศแบบคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ 28

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง

ตารางที่ 3.1 แสดงกราฟการหาค่า K factor 43

ภาคผนวก

ตาราง A-1 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองและคำนวณอิมพีแดนซ์ในระนาบ Vertical 73

ตาราง A-2 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองและคำนวณอิมพีแดนซ์ในระนาบ Vertical 74

ตาราง B-1 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองและคำนวณอิมพีแดนซ์ในระนาบ Horizontal 75

ตาราง B-2 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองและคำนวณอิมพีแดนซ์ในระนาบ Horizontal 76

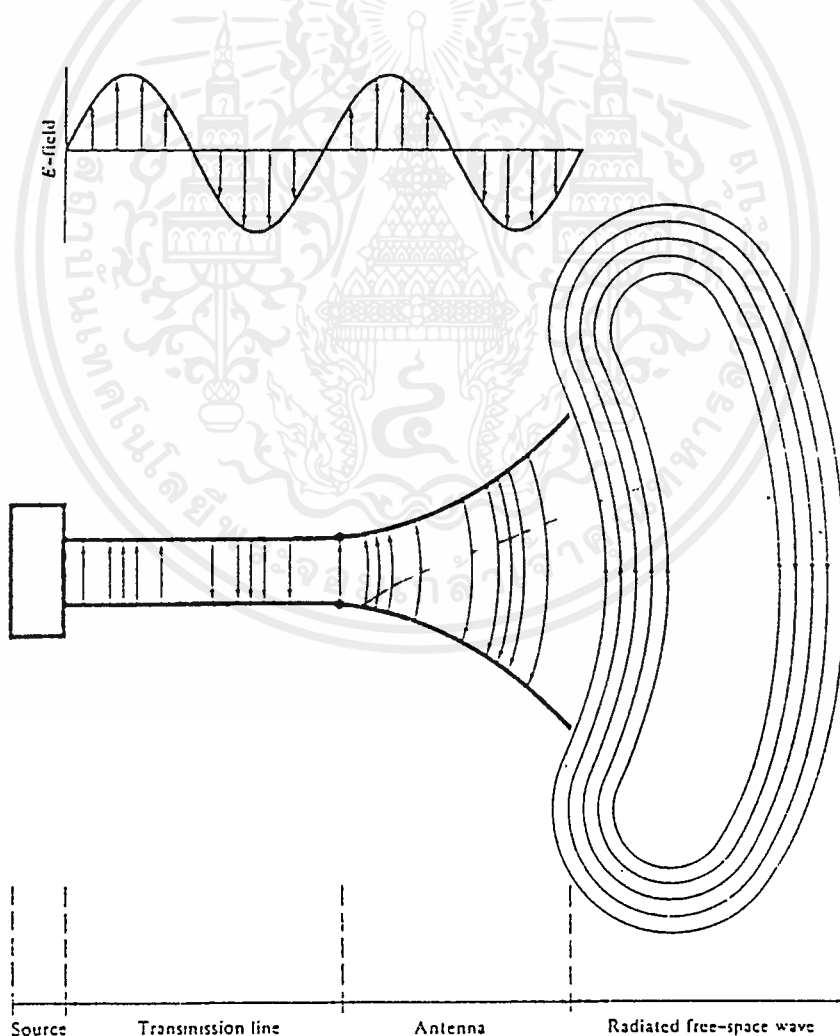
บทที่ 1

บทนำ

ในระบบการสื่อสารใดๆ สิ่งที่เป็นหัวใจหลักก็คือ ความต้องการส่งข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งสามารถปฏิบัติได้ 2 วิธีด้วยกันคือ การส่งข้อมูลไปทางสายส่งวิธีหนึ่ง และการส่งข้อมูลโดยไม่ต้องใช้สายส่ง แต่ใช้สายอากาศเป็นอุปกรณ์ส่งและรับข้อมูลแทนสาย โดยใช้หลักการแพร่กระจายคลื่น ในรูปของแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นอีกวิธีหนึ่ง

1.1 หลักการพื้นฐานของสายอากาศและการแพร่กระจายคลื่น

สายอากาศเป็นโครงสร้างที่จำเป็นจะต้องสร้างจากรัศดูที่เป็นตัวนำที่ดี ออกแบบมาเพื่อให้มีรูปร่าง และขนาดที่จะทำให้สามารถแพร่กระจายคลื่นและสามารถรับคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรืออีกนัยหนึ่ง สายอากาศ คือ อุปกรณ์ที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างอากาศกับ Guiding device ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 1.1 โดย Guiding device หรือ สายส่ง อาจจะใช้สาย Coaxial หรือ Hdlow pipe (wave-guide) ซึ่งใช้ในการส่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากเคลื่อนส่งไปยังสายอากาศ หรือจากสายอากาศไปยังเครื่องรับ

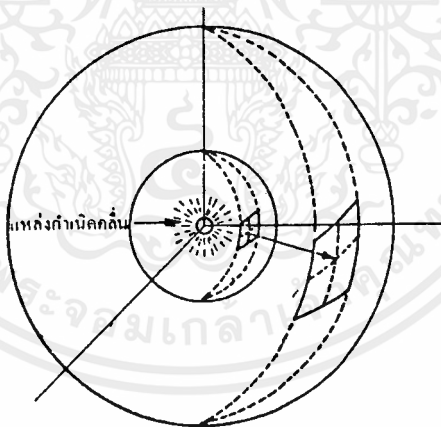


รูปที่ 1.1 สายอากาศทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างอากาศกับ guiding wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแพร่กระจายคลื่นนั้น ความเร็วของการส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเท่ากับความเร็วแสง คือ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3×10^8 เมตร / วินาที การที่การส่งสัญญาณเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขนาดนี้ เป็นประโยชน์อย่างมากกล่าวคือ ทำให้การสื่อสารเป็นไปอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าทางเครื่องส่งและเครื่องรับ จะมีการเคลื่อนที่ขณะใช้งานไปด้วย ก็ยังสามารถสื่อสารได้อย่างต่อเนื่อง

อุปสรรคในการสื่อสารที่ทำให้สัญญาณมีกำลังอ่อนลง ก่อนที่จะไปถึงทางด้านเครื่องรับคือ สัญญาณรบกวนต่างๆ ในตัวกลางที่สัญญาณเดินทางผ่านไปกรณีที่ส่งสัญญาณไปตามสายส่ง สัญญาณส่วนมาก จะสูญเสียไปในรูปของความร้อนในสายส่ง ซึ่งเกิดจากความต้านทานของลวดตัวนำ และฉนวนที่นำมาใช้ผลิตสายส่งไม่ใช่ฉนวนที่สมบูรณ์จริง สำหรับการสูญเสียของสัญญาณที่อยู่ในรูปคลื่น โดยแพร่กระจายออกจากสายอากาศนั้น สัญญาณที่สูญเสียไปนั้นเกิดจากหลาย ๆ สาเหตุ เช่น ความต้านทานของตัวกลางที่คลื่นเดินทางผ่าน ได้แก่ ความต้านทานของ ดิน น้ำ อากาศ เป็นต้น แต่ยังมีการสูญเสียอีกชนิดหนึ่ง ที่ไม่มีในการสื่อสารแบบใช้สายส่ง นั่นก็คือการลดทอนความแรงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากการลู่ออกของคลื่น เนื่องจากโครงสร้างทางเรขาคณิตของคลื่น ทำให้ความเข้มของกำลังของคลื่นที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศแปรผกผัน กับกำลังสองของระยะทาง ($P \propto S^2$) สามารถอธิบายได้ว่าทุก ๆ ครั้งที่ระยะทางเพิ่มเป็น 2 เท่า จะทำให้ความเข้มของกำลังของคลื่นลดลง 4 เท่า แสดงลักษณะการลู่ออกของคลื่น ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 การลู่ออกของคลื่น

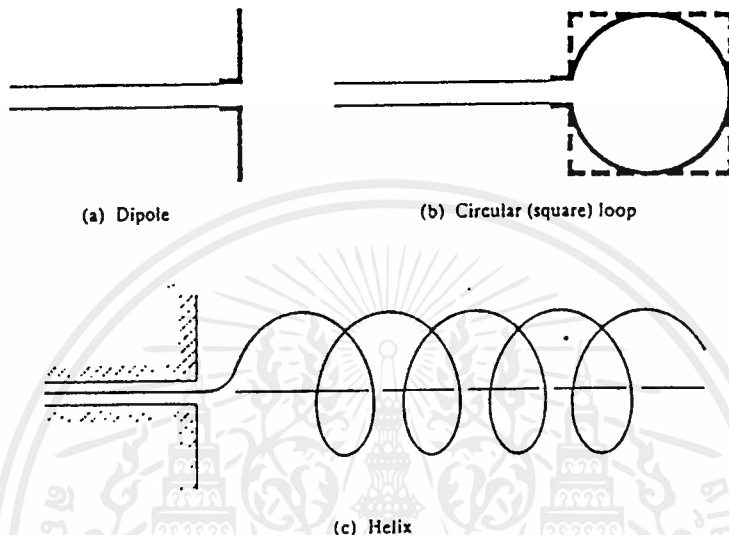
สายอากาศจึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการสื่อสารระบบนี้ เพราะถ้าหากสายอากาศได้รับการออกแบบที่ถูกต้องจะทำให้มีประสิทธิภาพสูง และสามารถติดต่อกันได้ระยะทางไกล จึงเป็นการประหยัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องส่งด้วย

1.2 ชนิดของสายอากาศ

สายอากาศมีมากมายหลายชนิด ในที่นี้จะกล่าวถึงสายอากาศบางชนิดที่ยังคงใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

1.2.1 Wire Antennas

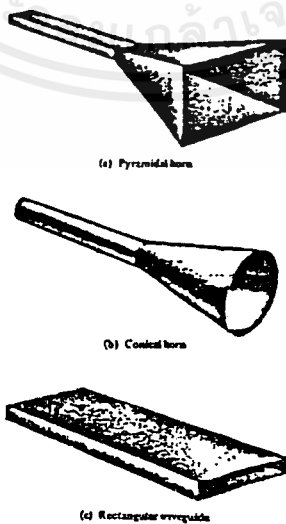
เป็นสายอากาศที่พบเห็นได้โดยทั่วไปตามอาคารบ้านเรือน, เรือเดินทะเล, เครื่องบิน เป็นต้น โดยมีลักษณะรูปร่างต่าง ๆ หลายแบบ เช่น เป็นสายตรง (dipole) , loop และ helix แสดง ๗ ไว้ดังรูปที่ 1.3 สายอากาศแบบ loop นั้นไม่จำเป็นต้องเป็นวงกลมเสมอไป อาจจะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า , สี่เหลี่ยมจัตุรัส , รูปแบบรีอย่างไข่ (ellipse) และรูปร่างอื่น ๆ อีกก็ได้ แต่รูปร่างวงกลมนิยมใช้กันมาก เพราะสามารถสร้างได้ง่าย



รูปที่ 1.3 Wire Antennas แบบต่างๆ

1.2.2 Aperture Antennas

สายอากาศแบบนี้เป็นที่นิยมใช้มากขึ้นเรื่อย ๆ เพราะความต้องการที่จะใช้คลื่นความถี่ที่สูงขึ้นซึ่งสายอากาศแบบนี้มีประโยชน์มาก ในการติดตั้งบนเครื่องบินหรือยานอวกาศ เพราะสามารถที่จะใช้ฉนวนหุ้มเพื่อป้องกันความเสียหายจากสภาพแวดล้อม รูปแบบของ Aperture Antennas แสดงไว้ดังรูปที่ 1.4

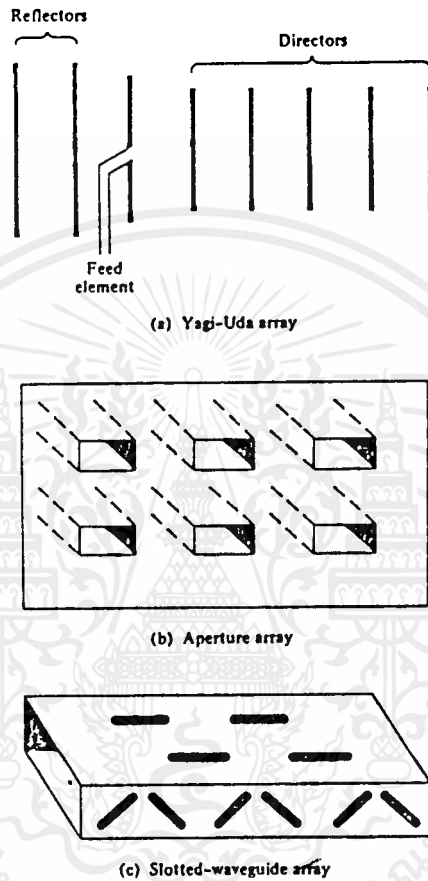


รูปที่ 1.4 Aperture Antennas แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 Array Antennas

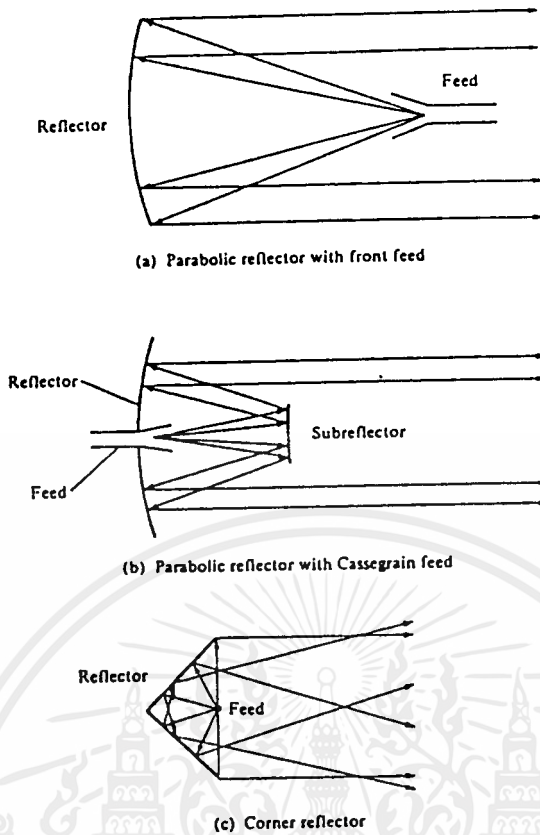
ในบางครั้งต้องการลักษณะการทำงานแบบแพร่กระจายคลื่น ซึ่งไม่สามารถที่จะทำงานได้โดยใช้สายอากาศที่มีส่วนประกอบเพียงตัวเดียว ดังนั้นจึงต้องใช้หลายๆส่วนมาติดตั้งเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการ โดยแพร่กระจายในทิศทางที่ต้องการมากที่สุด และขจัดทิศทางอื่นที่ไม่ต้องการออกไปแสดงได้ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 Array Antennas แบบต่างๆ

1.2.4 Reflector Antennas

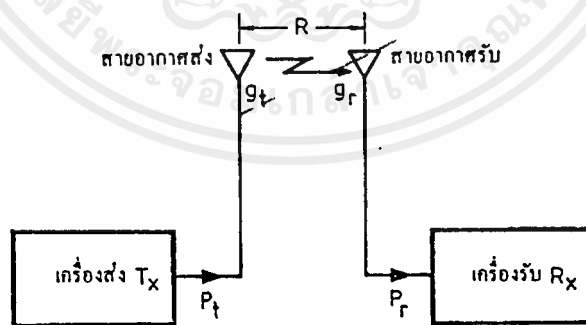
ในปัจจุบันนี้มีความต้องการในการสื่อสารในระยะทางไกลๆ จึงต้องมีสายอากาศที่ใช้ส่งและรับสัญญาณในระยะทางไกล ๆ เป็นล้านไมล์ได้ จึงมีการสร้างสายอากาศแบบ Parabolic reflector ขึ้นมา ดังรูปที่ 1.6 (a) และ (b) สายอากาศประเภทนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 305 เมตร เพื่อต้องการรับ gain สูง ๆ ในการรับหรือส่งในระยะทางไกล ๆ ได้ นอกจากนี้ยังมีสายอากาศแบบ Corner reflector อีกดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.6 (c)



รูปที่ 1.6 Reflector Antennas แบบต่างๆ

1.3 บทบาทของสายอากาศในงานสื่อสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ในระบบสื่อสารแบบที่ใช้การกระจายคลื่นนั้น โดยทั่วไปแล้วจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ คือ เครื่องส่งสายนำสัญญาณ สายอากาศ และเครื่องรับซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 ระบบสื่อสารด้วยวิทยุระหว่างคู่สถานี

โดยที่สายนำสัญญาณ จะทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากเครื่องส่งไปยังสายอากาศ หรือจากสายอากาศ ไปยังเครื่องรับหรืออาจกล่าวได้ว่า สายอากาศทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แปลงกำลังไฟฟ้า จากเครื่องส่งให้เป็น กำลังระงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในขณะที่เดียวกันสายอากาศด้านรับ ก็ทำหน้าที่รับกำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แล้วส่งเข้าสายนำสัญญาณในรูปของกำลังไฟฟ้า เพื่อส่งผ่านเครื่องรับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

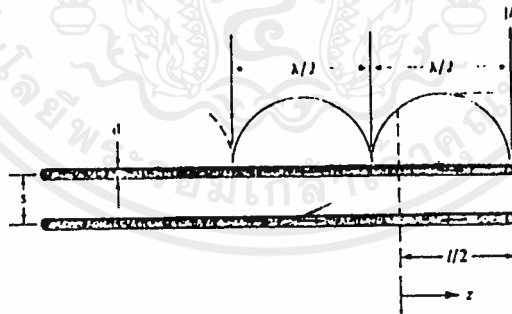
ทฤษฎีและหลักการของสายอากาศ

2.1 หลักการของสายอากาศ

สายอากาศเป็นส่วนสำคัญของเครื่องรับและเครื่องส่งทำหน้าที่แผ่คลื่น จากเครื่องส่งให้ออกอากาศ และรับคลื่นวิทยุเข้าสู่เครื่องรับ สายอากาศก็เหมือนกับวงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ สายอากาศส่วนใหญ่จึงทำด้วยลวดตัวนำเป็นท่อนตันหรือกลวงเป็นเส้นตรงหรือโค้งงอ แล้วแต่ชนิดของสายอากาศ สายอากาศโดยทั่วไปจะมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น เราสามารถให้สายอากาศทำหน้าที่เป็นได้ทั้งสายอากาศส่งหรือสายอากาศรับ เนื่องจากในทางทฤษฎีจะมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน

2.2 สายอากาศไดโพล (Dipole antennas)

สายอากาศไดโพลนั้นเกิดจากการป้อนกระแสเข้าไปในลวดตัวนำ (two wire transmission line) สมมติว่าลวดตัวนำนี้ไม่มีการสูญเสีย เมื่อกระแสไหลมาถึงปลายสาย ก็จะเกิดการสะท้อนกลับ โดยที่กระแสมีขนาดเท่าเดิมแต่จะกลับเฟส 180 องศา เช่นเดียวกับลูกบอลที่ไปกระทบกับกำแพงแล้วด้งกลับมาก เมื่อนำเอาสัญญาณหรือกระแสที่ไหลออกมาจาก source กับสัญญาณที่สะท้อนกลับมารวมกัน เราจะได้ค่าของสัญญาณที่จุดต่าง ๆ บน transmission line ที่ไม่เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งเรียกว่า Standing Wave การไหลของกระแสใน transmission line จะกลับเฟส 180 องศาทุก ๆ ครึ่ง cycle ของสัญญาณ สำหรับสายส่งแบบสมมาตร (symmetrical transmission line) ค่ากระแสในครึ่ง cycle ของสายหนึ่ง จะมีขนาดเท่ากับค่ากระแสของอีกสายหนึ่ง ในช่วงเวลาเดียวกันแต่จะกลับเฟสกัน 180 องศา ดังแสดงด้วยลูกศรบน transmission line ในรูปที่ 2.1

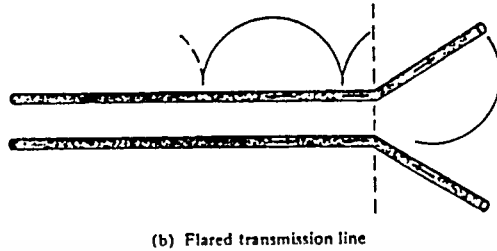


(a) Two-wire transmission line

รูปที่ 2.1 แสดงการไหลของกระแสบน Two wire transmission line

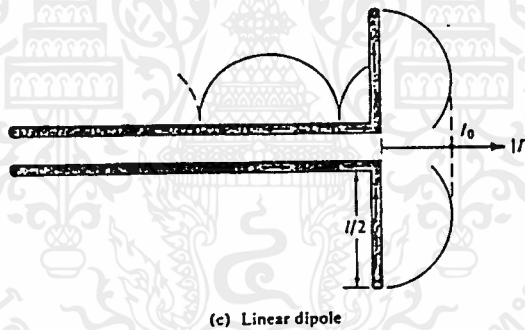
ถ้าหากช่องห่างระหว่าง 2 เส้นของ two wire transmission line (s) น้อยมาก ๆ เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น การแพร่กระจายคลื่นจากสายหนึ่ง จะถูกหักล้างจากคลื่นอีกสายหนึ่งจนหมด ฉะนั้นจึงไม่มีการแพร่กระจายของคลื่นเกิดขึ้นจาก transmission line ที่มีโครงสร้างแบบนี้

เมื่อเราจัดสายส่งให้เป็นดังรูปที่ 2.2 การแพร่กระจายของคลื่นจากทั้งสองสายของ Flared transmission line จะถูกหักล้างกันเพียงบางส่วนเท่านั้น ทำให้มีคลื่นที่แพร่กระจายออกไปจากสายส่งแบบนี้ได้



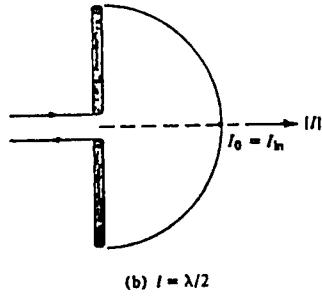
รูปที่ 2.2 แสดงการไหลของกระแสและการแพร่สัญญาณของ Flared transmission line

เมื่อเราจัดสายส่งให้เป็นดังรูปที่ 2.3 ซึ่งพัฒนามาจาก Flared transmission line มาเป็น Linear dipole ซึ่งเป็นรูปแบบทั่วไปของสายอากาศแบบ dipole ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย



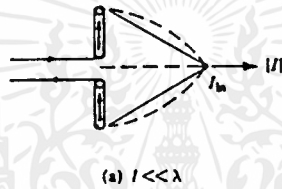
รูปที่ 2.3 แสดงการไหลของกระแสและการแพร่ของ Linear dipole

ปรากฏการณ์การสะท้อนของคลื่นใน linear dipole จะเป็นดังนี้คือ เมื่อคลื่นลูกแรกเดินทางมาถึงปลายสายด้านหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับ ทำให้ทิศทางการไหลของกระแสเปลี่ยนไปในทิศที่ตรงกันข้าม ขณะเดียวกันกับที่คลื่นลูกถัดมาเดินทางมาถึงที่ปลายสายเดียวกันพอดี เนื่องจากกระแสของคลื่นทั้งสองมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกันที่จุดปลายสาย กระแสที่จุดนี้จึงเป็นศูนย์ ถ้าพิจารณาจุดถัดมาจากปลายลวดตัวนำ พบว่าขนาดของคลื่นที่เดินทางไปกับที่สะท้อนกลับมามีค่าไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการเสริมและหักล้างของกระแสขึ้น จนพิจารณาผลลัพธ์ของกระแสได้ว่าที่ระยะ $\lambda/4$ จากปลายลวดตัวนำจะมีขนาดของกระแสมากที่สุด ซึ่งเป็นคุณสมบัติถูกนำมาใช้เป็นสายอากาศไดโพลที่มีความยาวคลื่นเป็น $\lambda/2$ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

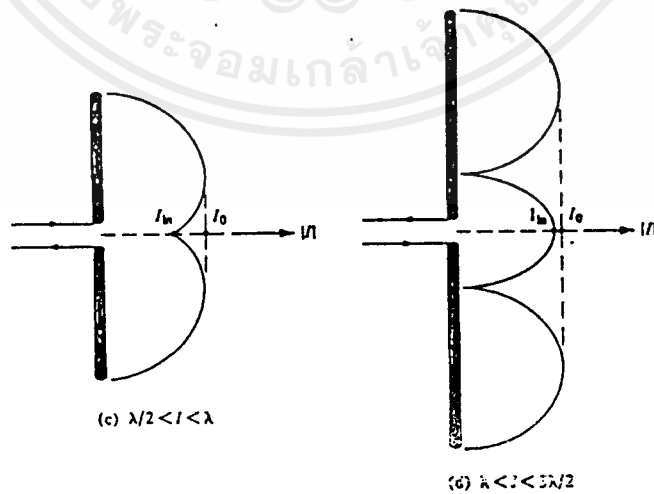


รูปที่ 2.4 แสดงการแพร่กระจายสัญญาณของ Linear dipole $\lambda/2$

ซึ่งถ้าไดโพลมีความยาวน้อยกว่านี้ หรือมากกว่านี้ขนาดของกระแสจะลดต่ำลงดังแสดงในรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 แสดงการแพร่กระจายสัญญาณของ Linear dipole $l \ll \lambda$

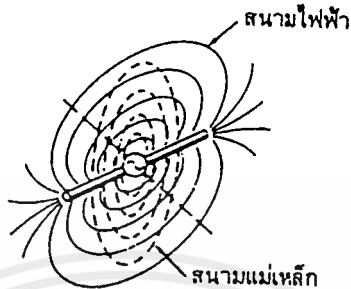


รูปที่ 2.6 แสดงการแพร่กระจายสัญญาณของ Linear dipole $l > \lambda/2$ และ $l > \lambda$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การแพร่คลื่นของสายอากาศ

เนื่องจากปลายสายอากาศไดโพลทั้งสองด้านมีแรงดันสูง จึงทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่ปลายทั้งสอง สนามไฟฟ้านี้ เกิดขึ้นในทำนองเดียวกับสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นประจุของตัวเก็บประจุ แต่สนามไฟฟ้า ในที่นี้ไม่จำกัดอยู่เฉพาะแผ่นประจุ แต่กระจายออกสู่อากาศดังในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ปรากฏรอบ Half-wave Dipole

สังเกตว่าในกรณีเดียวกันนี้จะทำให้สนามแม่เหล็กเกิดขึ้นด้วย เพราะมีกระแสไหลในสายอากาศ เนื่องจากกระแสไหลมากที่สุดบริเวณจุดพืด สนามแม่เหล็กบริเวณจุดพืดจึงแรง ทั้งสนามแม่เหล็กและ สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถแพร่กระจายออกไปได้คลื่นดังกล่าวจะเดินทางไป เรื่อย ๆ แม้ว่ากระแสและแรงดันจะหยุดป้อนให้สายอากาศแล้วก็ตาม

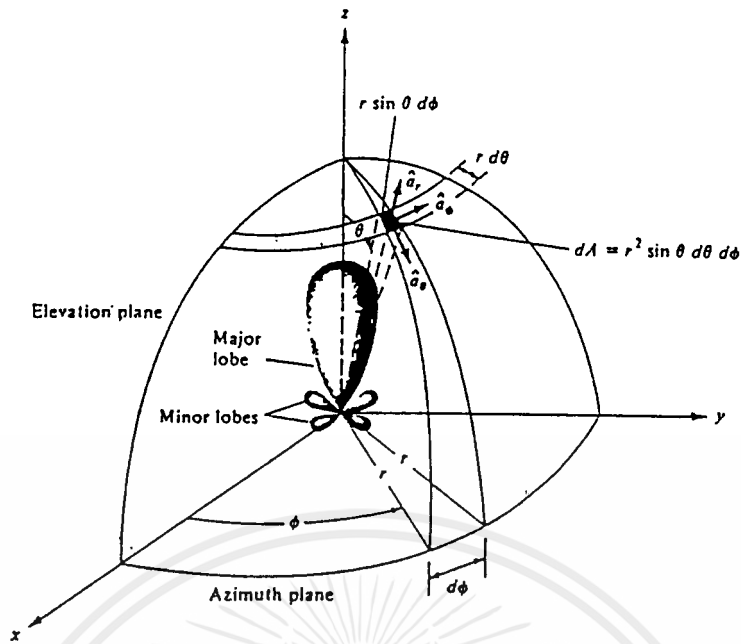
อย่างไรก็ดีเมื่อคลื่นเดินทางยั้งห่างจากสายอากาศเท่าใด พลังงานก็จะอ่อนลง แอมพลิจูดของคลื่น (หรือสนาม) แม่เหล็กไฟฟ้าเรานิยมวัดเป็นแรงดันที่เหนี่ยวนำบนเส้นลวด (สายอากาศ) เราเรียกค่าที่วัด ได้นี้ว่า ความแรงสนาม (field strength)

ความแรงสนามจะขึ้นอยู่กักระยะห่างจากเครื่องส่งและกำลังส่งของเครื่องส่ง ความแรงจะน้อยลง ณ จุดที่ห่างออกไปโดยแปรผกผันกับระยะทาง เช่น เมื่อระยะทางไกลออกไป 2 เท่า ความแรงของ สัญญาณจะลดลงครึ่งหนึ่ง ในทำนองเดียวกันถ้ากำลังส่งของเครื่องมากขึ้น ความแรงสนามก็จะแรงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม ความแรงสนามเป็นค่าแรงดัน (ที่เหนี่ยวนำบนสายอากาศ) แต่เนื่องจากกำลังไฟฟ้าแปรตาม กำลังสองของแรงดัน ฉะนั้นความแรงสนามจะเป็นสัดส่วนกับรากที่สอง (square root) ของกำลังที่เครื่องส่ง นั่นคือ ถ้ากำลังส่งเพิ่มเป็น 2 เท่า ความแรงสนามจะเพิ่มเป็น $\sqrt{2}$ เท่า หรือ 1.414 เท่า

2.4 พหาวมิติเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ

2.4.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นคือ รูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งสามารถแสดงถึงค่าของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น, ความเข้มของสนาม, เฟส หรือ โพลาไรเซชัน ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีการกระจายค่าแบบ 3 มิติ สามารถแสดงได้ด้วย ระบบโคออดิเนท แบบ 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และโดยทั่วไปรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นนี้ มักจะคิดในบริเวณที่เป็น สนามระยะไกล (Far Field)

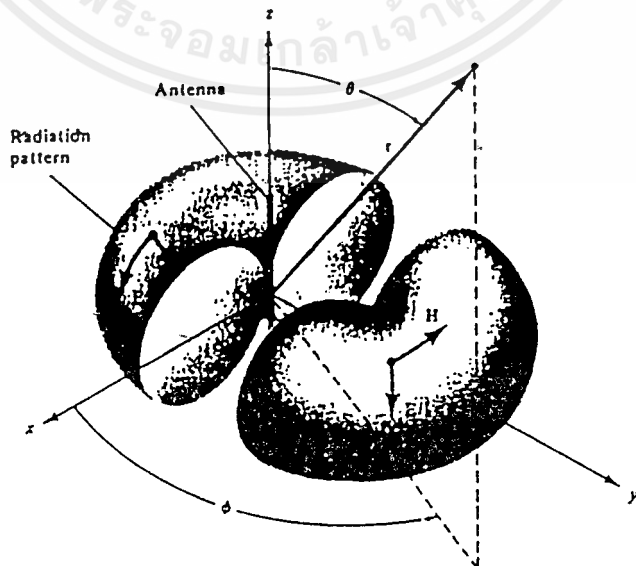


รูปที่ 2.8 แสดงระบบโคออดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ

2.4.1.1 รูปแบบไอโซโทรปิก ไดเรกชันแนล และออมนิไดเรกชันแนล

ตัวแพร่คลื่นไอโซโทรปิก (Isotropic Radiator) คือ สายอากาศในทางทฤษฎีที่ถูกสมมติขึ้น ที่มีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น ในทุกทิศทางด้วยความเข้มสนามที่เท่ากัน เป็นสายอากาศที่ไม่สามารถสร้างได้จริง แต่จะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริง เกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติแสดงทิศทางของสายอากาศ

ไดเรกชันแนล (Directional) คือ คุณสมบัติในการแพร่คลื่น หรือรับคลื่นในทิศทางใดทิศทางหนึ่งได้ดีกว่าทิศทางอื่น ตัวอย่างหนึ่งของสายอากาศที่มีคุณสมบัติดังกล่าวคือ สายอากาศแบบอมนิไดเรกชันแนล (Omnidirectional Antenna) คุณสมบัติของสายอากาศแบบนี้ดังแสดงในรูปที่ 2.9



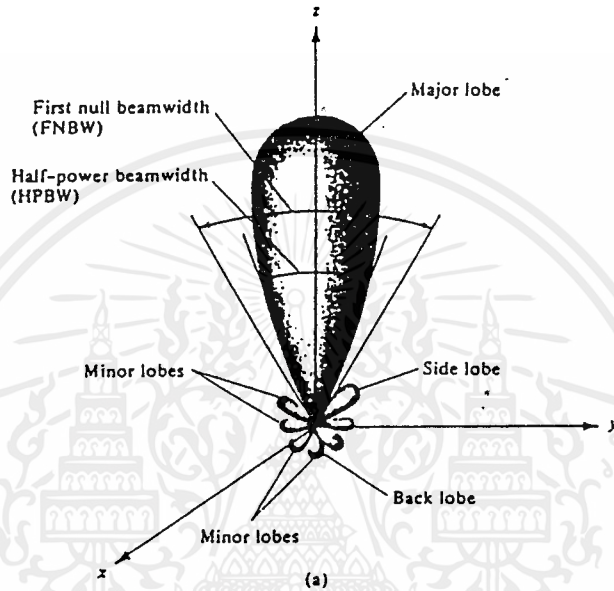
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะแพทเทิร์นของสายอากาศแบบอมนิไดเรกชันแนล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.9 วิเคราะห์ได้ว่าไม่มีการโคเรชันแนลในระนาบแนวตั้ง แต่มีโคเรชันแนลในระนาบแนวนอน เราเรียกรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบนี้ว่าออมนิไดเรชันแนล (Omnidirectional)

2.4.1.2 โหลบของรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น

โหลบของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งแสดงในแกนโพลาไรซ์ 3 มิติ มีโหลบต่าง ๆ ดังนี้คือ



รูปที่ 2.10 แสดงโหลบและบีมวิดท์แบบ 3 มิติ ของสายอากาศ

โหลบหลัก (Major Lobe) เป็นโหลบของการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ในรูปที่ 2.10 โหลบหลักมีทิศตามจุด $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางแบบมีลำคลื่นมากกว่าหนึ่งจะมีโหลบหลักมากกว่าหนึ่งโหลบได้

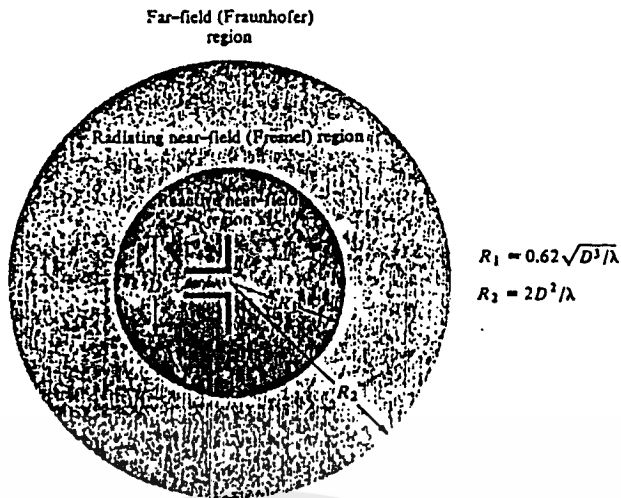
โหลบรอง (Minor Lobe) เป็นโหลบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โหลบหลักและโหลบหลัง

โหลบข้าง (Side Lobe) เป็นโหลบที่ติดอยู่กับโหลบหลักและอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโหลบหลัก

โหลบหลัง (Back Lobe) เป็นโหลบรองที่มีทิศตรงข้ามกับโหลบหลัก

2.4.1.3 บริเวณต่าง ๆ ของสนามจากสายอากาศ

โดยทั่วไปมักจะแบ่งบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศออกเป็น 3 ส่วน คือ สนามรีแอกทีฟระยะใกล้ (Reactive Near Field) , สนามกระจายระยะใกล้ (Radiating Near Field) , แบบสนามระยะไกล (Far Field) ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงการแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ

บริเวณสนามรีแอกทีฟระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุด

บริเวณนี้มีระยะทาง $R < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$ จากผิวของสายอากาศ

บริเวณสนามกระจายระยะใกล้จะมีสนามที่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ และการกระจายของสนามตามมุมต่าง ๆ จะแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับ

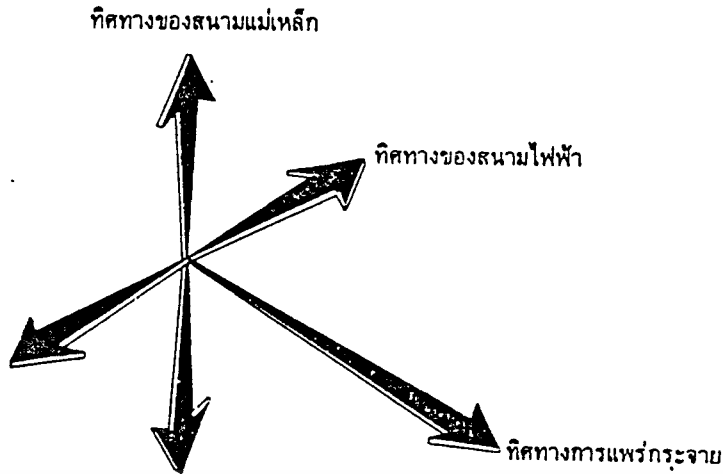
ความยาวคลื่น สนามในบริเวณนี้อาจจะไม่เกิดขึ้น บริเวณนี้จะมียุทธศาสตร์เป็น $0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R \leq \frac{2D^2}{\lambda}$ และขอบเป็นอนันต์

บริเวณสนามระยะไกล เป็นบริเวณสนามของสายอากาศซึ่งการแพร่สนามของสายอากาศตามมุมต่าง ๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศในบริเวณนี้ สนามมีลักษณะเป็นสนามตัดขวาง (Transverse Field) ขอบในของบริเวณดังกล่าวเป็น $R = \frac{2D^2}{\lambda}$ และขอบนอกเป็นอนันต์

2.4.2 โพลาริเซชัน (Polarization)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากสายอากาศ ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก สนามทั้งสองนี้จะตั้งฉากซึ่งกันและกัน ทั้งคู่ก็ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย ตามรูปที่ 2.12 ในที่นี้ สนามไฟฟ้าจะอยู่ในแนวราบ เราเรียกว่าคลื่นนี้มีโพลาริเซชันแนวราบ (ถ้าสนามไฟฟ้าอยู่ในแนวตั้งเราเรียกว่า คลื่นนี้มีโพลาริเซชันแนวตั้ง) ทิศทางของสนามไฟฟ้า เป็นตัวกำหนดทิศทางโพลาริเซชัน (polarization)

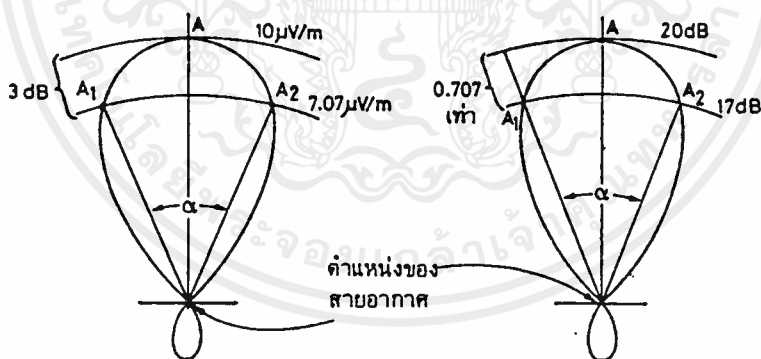
สายอากาศที่วางตัวในแนวราบจะเกิดโพลาริเซชันในแนวราบ และสายอากาศที่วางตัวในแนวตั้งจะเกิดโพลาริเซชันในแนวตั้ง และความสำคัญของโพลาริเซชันนั้น อยู่ตรงที่คลื่นที่ส่งมาแบบโพลาริเซชันแนวตรง จะรับด้วยสายอากาศที่วางตัวในแนวราบได้ดีกว่าสายอากาศที่วางตัวในแนวตั้ง



รูปที่ 2.12 โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.4.3 บีมวิทท์ (Beam width)

สายอากาศชนิดต่าง ๆ นั้นก็มีรูปแบบการแผ่คลื่นต่าง ๆ กัน วิธีหนึ่งที่เราจะเปรียบเทียบรูปแบบของการแผ่คลื่นก็คือ ดูจากลักษณะของรูปแบบว่าทิศทางการแผ่คลื่นออกไปในลักษณะใดแทนที่เราจะต้องเปรียบเทียบรูปแบบการแผ่คลื่นทุก ๆ จุด ความกว้างของลำคลื่นหรือบีมวิทท์ เป็นการวัดความกว้างของลำคลื่น โดยคิดจากมุมของลำคลื่นในทิศทางที่พุ่งไปแรงมากที่สุด ในรูปที่ 2.13 แสดงการวัดความกว้างของลำคลื่น สังเกตว่าเราพิจารณาเฉพาะลำคลื่นในทิศทางที่แรงที่สุด คือ OA แล้วอ่านค่าความกว้างของมุมระหว่างแนว OA₁ และ OA₂ มีความยาวลดลงเหลือ 0.707 เท่าของ OA หรือ OA₁ ส่วน OA₂ สั้นกว่า OA อยู่ 3 เดซิเบล นั่นคือความกว้างลำคลื่นเท่ากับ ∞



รูปที่ 2.13 การวัดความกว้างของลำคลื่นในรูปแบบการแผ่คลื่น

2.4.4 ไดเรกทิวิตี้ (Directivity)

ไดเรกทิวิตี้ คือ อัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นที่มากที่สุด ต่อความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของ Isotropic Point Source เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$D_s = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.1)$$

$$D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$D_g =$ ไดเรกทีฟเกน

$D_0 =$ ไดเรกทีวิตี

$U =$ ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

$U_{\max} =$ ค่าสูงสุดของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

$U_0 =$ ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส (W/หน่วยมุมตัน)

$P_{\text{rad}} =$ กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด (W)

ไดเรกทีวิตีของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส จะมีค่าเท่ากับหนึ่งเสมอเพราะว่า มันแผ่กระจายกำลังงานออกไปในทุกทิศทางด้วยค่าที่เท่าๆกัน แต่สำหรับสายอากาศโดยทั่วไปแล้วย่อมมีไดเรกทีวิตีมากกว่าหนึ่งเสมอ

2.4.5 อัตราการขยาย (Gain)

อัตราการขยายกำลังของสายอากาศในทิศทางที่กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางนั้น ต่อกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่งสามารถเขียนสมการได้ว่า

$$\text{อัตราการขยาย} = 4\pi \times \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.3)$$

โดยทั่วไปแล้วเรามักจะพูดถึงเกนสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของเพาเวอร์เกนในทิศทางที่กำหนดให้ต่อเพาเวอร์เกนของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศทั้งสองต้องเท่ากัน สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจจะเป็นสายอากาศไดโพล หรือสายอากาศอื่น ๆ ซึ่งคำนวณอัตราการขยายได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามโดยส่วนใหญ่แล้ว สายอากาศนำมาที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็น ไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้น

$$G_g = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.4)$$

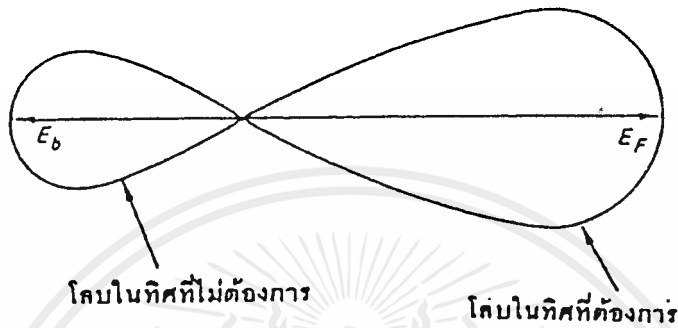
2.4.6 แแถบความถี่ (Bandwidth)

แบนด์วิดท์ของสายอากาศถูกกำหนดให้เป็นช่วงของความถี่ ที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดให้ อาจคิดว่าเป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ อินพุทอิมพีแดนซ์, แพทเทิร์น, บีมวิดท์, โพลารไรเซชัน, ระดับของไซด์โลบ, อัตราการขยาย, ประสิทธิภาพของการแผ่กระจายคลื่น ฯลฯ อยู่ในค่าที่ใช้งานได้คือ ไม่ต่างจากคุณสมบัติที่วัดที่ความถี่ตรงกลางที่ออกแบบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เสียไปจากข้อกำหนดหรือมาตรฐาน ปกติแล้วคุณสมบัติแพทเทิร์นกับอิมพีแดนซ์แบบวิคท์ มักถูกใช้เป็นตัวกำหนดแบนวิคท์ของสายอากาศ

2.4.7 อัตราส่วนโอบหน้าต่อโอบหลัง (Front to Back Ratio)

เป็นอัตราส่วนของความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศ โดยคิดจากทิศที่ต้องการกับทิศที่ไม่ต้องการ (ตรงข้ามกัน) ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงอัตราส่วน Front to back ของสายอากาศ

2.4.8 อิมพีแดนซ์ (Impedance)

อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ คือ ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายผ่านขั้วต่อหารด้วยปริมาณกระแสที่ไหลผ่านขั้วต่ออันเดียวกัน หรือเป็นอัตราส่วนของสนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็กที่จุดใด ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 a-b เป็นขั้วของสายอากาศ อัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าที่ขั้วนี้ เมื่อไม่ได้ต่อโหลด (Load) จะเป็นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศซึ่งมีค่า

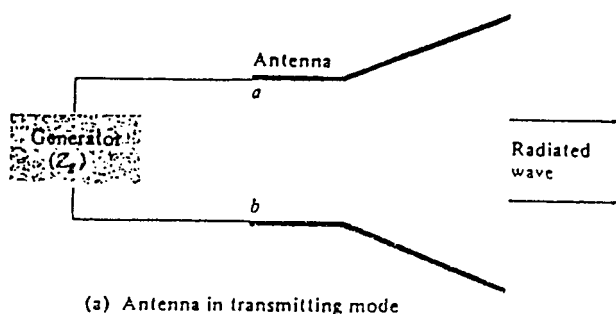
$$Z_A = R_A + j X_A \quad (2.5)$$

เมื่อ

Z_A = อิมพีแดนซ์ที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (โอห์ม)

R_A = ความต้านทานที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (โอห์ม)

X_A = รีแอกแตนซ์ที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (โอห์ม)



(a) Antenna in transmitting mode

รูปที่ 2.15 แสดงสายอากาศในโหมดการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.9 ความหนาแน่นของกำลังงานที่แพร่กระจาย

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งข่าวสารผ่านตัวกลาง ถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับพลังงานและกำลังงานไฟฟ้า โดยใช้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\Psi = \epsilon \times H \quad (2.6)$$

เมื่อ Ψ = พอยดิงเวคเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น (W/m^2)
 ϵ = ความเข้มสนามไฟฟ้าชั่วขณะเวลานั้น (V/m)
 H = ความเข้มสนามแม่เหล็กชั่วขณะเวลานั้น (A/m)

ซึ่ง Ψ มีความหมายแสดงถึงความหนาแน่นของกำลังงาน ดังนั้นกำลังงานทั้งหมดที่พุ่งตัดผ่านพื้นผิวปิด สามารถหาได้โดยการอินทิเกรตส่วนของพอยดิงเวคเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิวปิดทั้งหมด เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$P_t = \iint_s \Psi \cdot \bar{ds} = \iint_s \Psi \cdot \bar{nda} \quad (2.7)$$

เมื่อ P_t = กำลังงานทั้งหมดชั่วขณะนั้น (W)
 da = พื้นที่เล็กๆ บนพื้นที่ผิวปิด (m^2)

กรณีของสนามที่แปรผันกับเวลามักจะหาค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของกำลังงานได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} P_{rad} &= P_{av} = \iint_s \overline{W_{rad}} \cdot \bar{ds} \\ &= \frac{1}{2} \iint_s Re(\bar{E} \times \bar{H}) \cdot \bar{ds} \end{aligned} \quad (2.8)$$

2.4.10 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นหมายถึง กำลังงานที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน เป็นพารามิเตอร์ในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศเกี่ยวกับสนามระยะไกล ซึ่งสามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น กับระยะทางกำลังสอง สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.9)$$

เมื่อ U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W) / หน่วยมุมตัน
 W_{rad} = ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น (W/m^2)
 r = ระยะทาง (m)

2.4.11 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ (e_t) จะใช้เมื่อเรากำลังถึงการสูญเสียต่าง ๆ ที่หัวและภายในโครงสร้างของสายอากาศ อันเนื่องมาจากการสะท้อนกลับเนื่องจากความไม่สมพงศ์ (Mismatch) กัน ระหว่างสายส่งกับสายอากาศ และจากการสูญเสียในตัวนำและฉนวน โดยทั่วไปแล้ว ประสิทธิภาพทั้งหมดคำนวณได้จาก

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (2.10)$$

เมื่อ e_t = ประสิทธิภาพทั้งหมด

$$e_r = \text{ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับ} = (1 - |\Gamma|^2)$$

e_c = ประสิทธิภาพของตัวนำ

e_d = ประสิทธิภาพของฉนวน

Γ = สัมประสิทธิ์การสะท้อนของศักดาไฟฟ้าของสายอากาศ

2.5 การหาสนามที่แพร่กระจายจาก $\lambda/2$ ไดโพล

โดยทั่วไปพบว่าสายอากาศไดโพลที่มีความยาวคลื่น $\lambda/2$ จะนิยมใช้กันมาก เพราะมีความต้านทาน 73 โอห์ม ซึ่งใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์คุณสมบัติของสายส่ง 75 โอห์ม ซึ่งทำให้ matching กันได้ง่าย สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของไดโพลที่มีความยาวคลื่น $\lambda/2$ หาได้จาก

$$E_\theta = \frac{j\eta I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left[\left(\frac{\pi}{2}\right)\cos\theta\right]}{\sin\theta} \right] \quad (2.11)$$

$$H_\theta = \frac{j I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left[\left(\frac{\pi}{2}\right)\cos\theta\right]}{\sin\theta} \right] \quad (2.12)$$

นอกจากนี้ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น และความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น สามารถเขียนได้เป็น

$$W_{av} = \frac{\eta |I_0|^2}{8\pi^2 r^2} \left[\frac{\cos^2\left[\left(\frac{\pi}{2}\right)\cos\theta\right]}{\sin^2\theta} \right] \quad (2.13)$$

และ

$$U = r^2 W_{av} = \frac{\eta |I_0|^2}{8\pi^2} \left[\frac{\cos^2\left[\left(\frac{\pi}{2}\right)\cos\theta\right]}{\sin^2\theta} \right] \quad (2.14)$$

จะได้พลังงานที่แพร่กระจายรวมเป็น

$$P_{rad} = \frac{\eta |I_0|^2}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos^2[(\pi/2) \cos \theta]}{\sin \theta} d\theta \quad (2.15)$$

$$P_{rad} = \frac{\eta |I_0|^2}{8\pi} \int_0^{2\pi} \frac{(1 - \cos y) dy}{Y}$$

$$= \frac{\eta |I_0|^2}{8\pi} C_{in}(2\pi) \quad (2.16)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} C_{in}(2\pi) &= 0.5772 + \ln(2\pi) - C_i(2\pi) \\ &= 0.5772 + 1.838 - (-0.02) \\ &= 2.435 \end{aligned} \quad (2.17)$$

โดเรคตีวิตีของ $\lambda/2$ ไดโพลสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$\begin{aligned} D_0 &= \frac{4\pi^2 U_{max}}{P_{rad}} = \frac{4\pi U_{\theta=\pi/2}}{P_{rad}} \\ &= \frac{4}{C_{in}(2\pi)} = \frac{4}{2.435} = 1.643 \end{aligned} \quad (2.18)$$

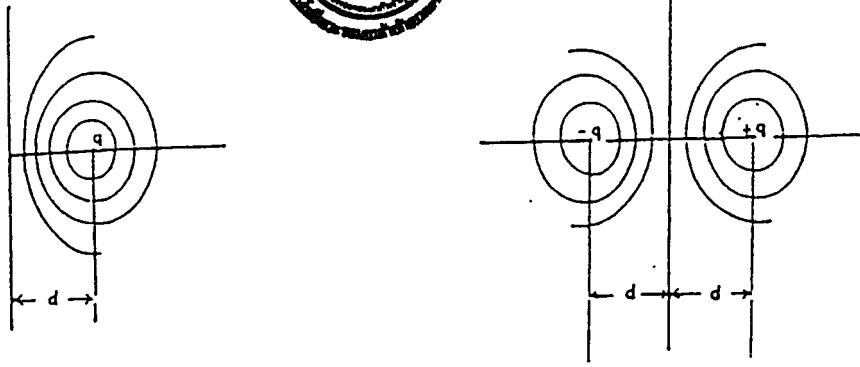
และค่าความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นใน free space สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$\begin{aligned} R_r &= \frac{2 P_{rad}}{|I_0|^2} = \frac{\eta}{4\pi} C_{in}(2\pi) \\ &= 30(2.435) \cong 73\Omega \end{aligned} \quad (2.19)$$

อินพุทอิมพีแดนซ์รวมของ $\lambda/2$ ไดโพลเท่ากับ $73 + j42.5$

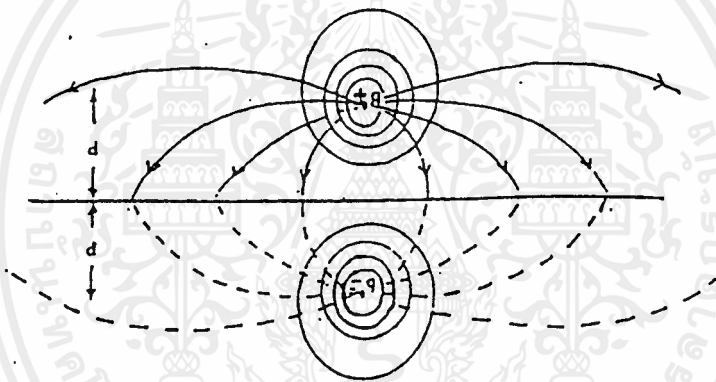
2.6 ทฤษฎีของอิมเมจ

ตามลักษณะที่มีประจุแบบจุด (q) วางอยู่หน้าแผ่นตัวนำขนาดอนันต์ตามรูปที่ 2.16 (a) ซึ่งแผ่นตัวนำขนาดอนันต์นี้วางตั้งฉากกับแกน X ผิวด้านหนึ่งของแผ่นตัวนำจะขนานกับระนาบ $X = 0$ ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวตัวนำนี้มีค่าเท่ากับศูนย์ (เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้) และกำหนดให้ประจุ q นี้วางอยู่บนแกน X ที่ $X = d$ ประจุ q จะเหนี่ยวนำให้เกิดประจุชนิดตรงกันข้าม ($-q$) กระจายอยู่บนผิวของตัวนำ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 (b)



รูปที่ 2.16 (a) ประจุ q วางอยู่หน้าแผ่นตัวนำ (b) ศักย์ไฟฟ้าของประจุ q และ $(-q)$

ซึ่งประจุ $(-q)$ จะอยู่บนแกน X ที่ $X = -d$ จากเงื่อนไขเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นทำให้ผิวศักย์ไฟฟ้า เท่า บนระนาบ YZ มีค่าเป็นศูนย์ด้วย จึงสรุปได้ว่าแผ่นตัวนำจะทำหน้าที่เป็นเหมือนกระจกเงาและประจุ $-q$ เหมือนเป็นเงาของประจุ $+q$ วางอยู่ที่ระยะห่างจากระนาบของกระจกที่เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.17

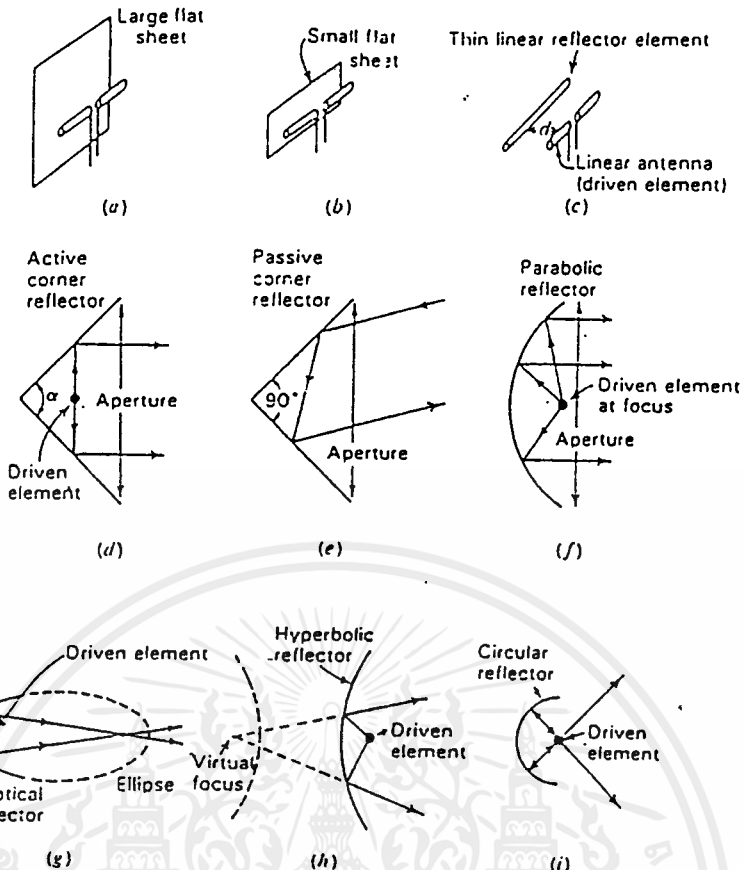


รูปที่ 2.17 แสดงสนามและผิวศักย์ไฟฟ้าเท่า

2.7 สายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ (Corner reflector antennas)

2.7.1 รีเฟลคเตอร์แบบต่าง ๆ

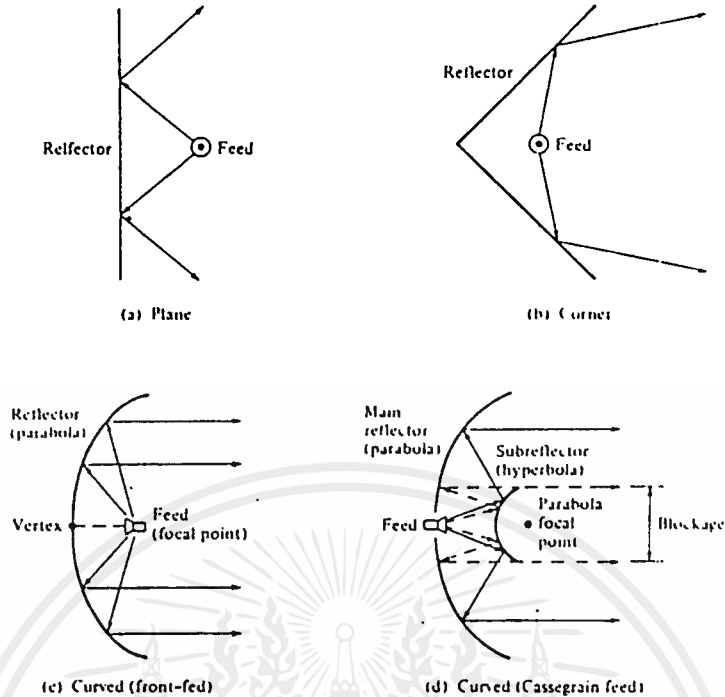
ชนิดของรีเฟลคเตอร์แบบต่าง ๆ ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 2.18 ในรูปที่ 2.18 (a) คือรีเฟลคเตอร์แบบแผ่นแบนราบขนาดใหญ่ โดยติดตั้งสายอากาศแบบไดโพลไว้ข้างหน้าซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้ ทำให้ลดการกระจายคลื่นทางด้านหลังลงไป สำหรับระยะห่างระหว่างตัวรีเฟลคเตอร์กับสายอากาศนั้น จะเป็นตัวกำหนด gain ในการกระจายคลื่นทางด้านหน้าของสายอากาศ นอกจากนี้ยังสามารถที่จะลดขนาดของรีเฟลคเตอร์ลงได้ดังรูปที่ 2.18 (b) และสามารถลดขนาดจนกระทั่งกลายเป็น thin reflector ได้ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 2.18 (c) ซึ่ง thin reflector นี้ มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นมากกว่า รีเฟลคเตอร์แบบแผ่นราบขนาดใหญ่



รูปที่ 2.18 รีเฟลกเตอร์แบบต่างๆ

ถ้านำเอาแผ่นรีเฟลกเตอร์ 2 แผ่นมาต่อกันเป็นมุม α (< 180 องศา) ดังรูปที่ 2.18 แล้วทำให้มี pattern การกระจายคลื่นที่คมกว่ารีเฟลกเตอร์แบบแผ่นราบ เราเรียกสายอากาศแบบนี้ว่า active corner reflector โดยที่ขนาดของ aperture ที่เหมาะสมมีค่า 1 หรือ 2λ สำหรับ คอเนอร์รีเฟลกเตอร์ที่ไม่มีการติดตั้งตัวสายอากาศไว้ (passive reflector) จะกลายเป็นเป็นเอียงที่ดีของคลื่นเรดาร์ ซึ่งมีขนาดของ aperture ได้หลายค่าของความยาวคลื่น และมีมุม α เท่ากับ 90 องศา ทำให้มีคุณสมบัติในการสะท้อนกลับของคลื่นที่มีมาตกกระทบ ไปยังต้นกำเนิดของคลื่นนั้น ดังรูปที่ 2.18 (e)

สำหรับ parabolic reflector ตามรูปที่ 2.18 (f) นั้น สามารถให้ค่า directivity ที่ดีกว่าแบบอื่น โดยแผ่นสะท้อนรูป parabola จะเป็นตัวสะท้อนคลื่นจากแหล่งกำเนิดที่จุดโฟกัสของมันให้เป็นลำคลื่นพุ่งขนานกันไป แต่ในบางครั้งเราต้องการให้ลำคลื่นมีลักษณะแผ่ขยายออกไป ดังนั้นเราสามารถใช้อรีเฟลกเตอร์ แบบวงรีซึ่งมีจุดโฟกัสอยู่ 2 จุด โดยที่ทุก ๆ ลำคลื่นที่สะท้อนออกมาจากแผ่นรีเฟลกเตอร์จะผ่านจุดโฟกัสจุดที่ 2 ดังรูปที่ 2.18 (g) สำหรับรีเฟลกเตอร์แบบอื่น ๆ เช่น hyperbolic และ circular ได้แสดงไว้ตามรูปที่ 2.18(h) และ 2.18 (i) ตามลำดับ

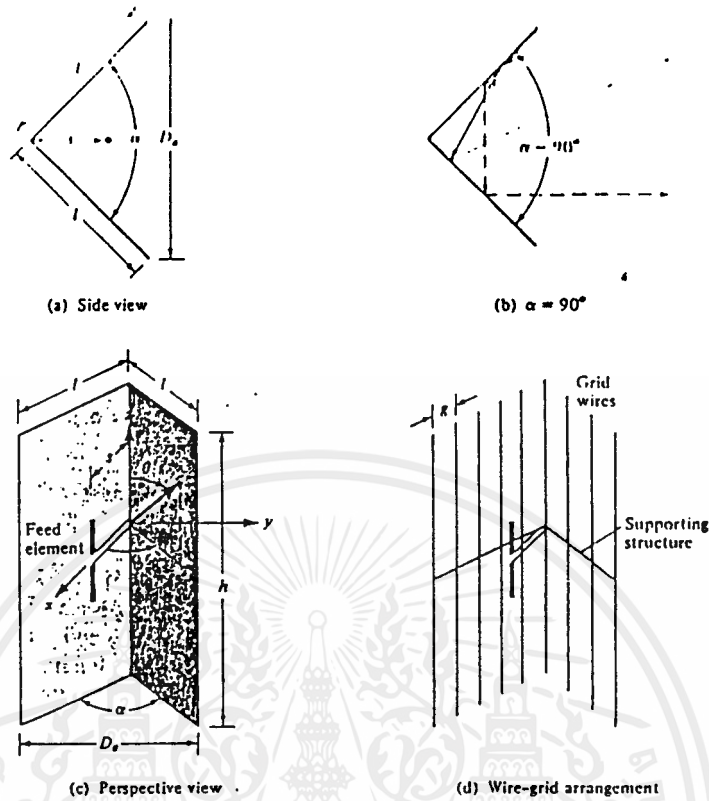


รูปที่ 2.19 รูปร่างของรีเฟลคเตอร์บางชนิด

2.7.2 หลักการของสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์

เราสามารถกำจัดการกระจายคลื่นทางด้านหลังและด้านข้างได้ โดยวิธีการนำแผ่นรีเฟลคเตอร์ 2 แผ่นมาต่อกันเป็นมุม ตามรูปที่ 2.19 (b) ซึ่งก็คือ สายอากาศแบบคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์นั่นเอง ซึ่งโดยปกติแล้วสายอากาศแบบนี้ จะมีมุมเท่ากับ 90 องศา แต่บางครั้งอาจเป็นมุมอื่น ๆ ก็ได้ ระยะระหว่างตัวรีเฟลคเตอร์กับตัว feed จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่มุมระหว่างรีเฟลคเตอร์ลดลง ในทำนองเดียวกัน ถ้ารีเฟลคเตอร์มีขนาดใหญ่มาก ๆ แล้ว gain จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่มุมระหว่าง รีเฟลคเตอร์ ลดลง

ในการสร้างสายอากาศนี้ ได้ใช้การคำนวณของคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ ที่มีสายอากาศแบบไดโพลเป็นตัว feed ดังแสดงในรูปที่ 2.20 (c) มีค่า directivity และ pattern เป็นระยะ s แต่ในบางครั้งเราสามารถสร้างรีเฟลคเตอร์ด้วยตะแกรงลวด แทนที่จะใช้แผ่นโลหะได้ซึ่งทำให้การต้านลมน้อยลง และน้ำหนักเบาขึ้นด้วย ดังแสดงตามรูป 2.20 (c) โดยที่ระยะห่างระหว่างลวดในตะแกรง (g) มีค่าน้อยกว่าความยาวคลื่นมาก ๆ ($g \leq \lambda/10$)

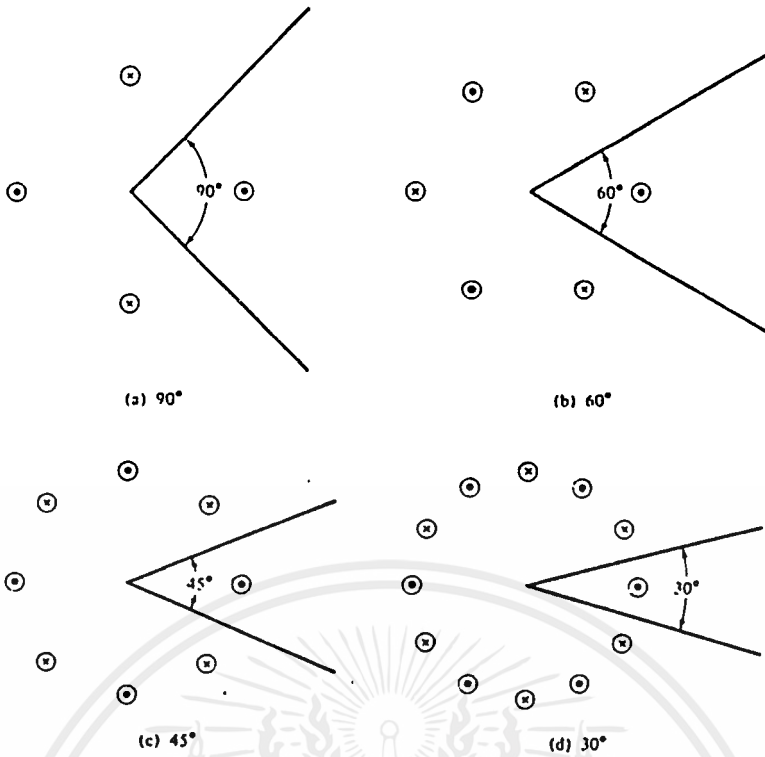


รูปที่ 2.20 รีเฟลกเตอร์แบบแผ่นโลหะและแบบตะแกรงลวด

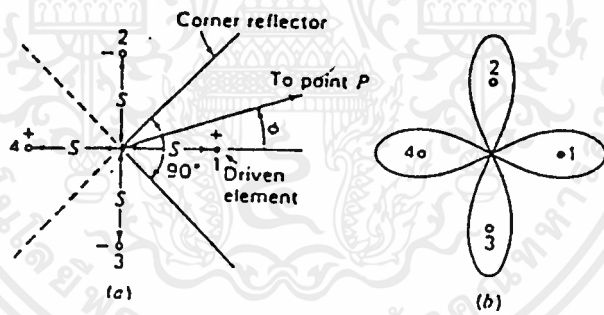
2.8 การวิเคราะห์สายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์

เราจะใช้วิธี image ในการวิเคราะห์สายอากาศแบบคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ซึ่งมีมุม $\alpha = 180^\circ/n$ (n เป็นจำนวนเต็มบวก) โดยสมมติให้ตัวรีเฟลกเตอร์มีขนาดใหญ่มาก λ และเป็นตัวนำอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นเราสามารถวิเคราะห์สายอากาศแบบนี้ที่มีมุม 180° (flat sheet), 90° , 60° ได้

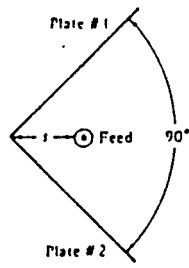
ในการวิเคราะห์คอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ที่มีมุม 90° นั้น จะมี image อยู่ 3 ตัว คือ 2, 3, และ 4 ดังแสดงในรูปที่ 2.22 (a) โดยที่สายอากาศตัวที่ 1 กับ image ที่ 3 นั้น มีขนาดของกระแสเท่ากันและเฟสของกระแสในสายอากาศตัวที่ 1 กับ image ที่ 4 ตรงกัน image 2 และ 3 มีเฟสของกระแสตรงกันแต่ต่างกับสายอากาศตัวที่ 1 กับ image ที่ 4 อยู่ 180° โดยสมมติว่าสายอากาศทุกตัวมีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น



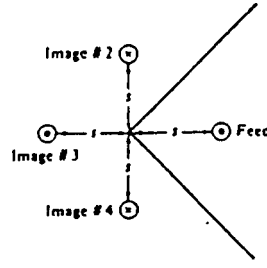
รูปที่ 2.21 image ของคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์สำหรับมุม $90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$



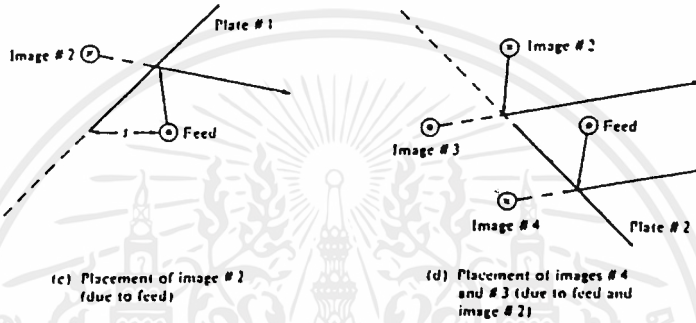
รูปที่ 2.22 image ของคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ 90° และ 4 โหลบ



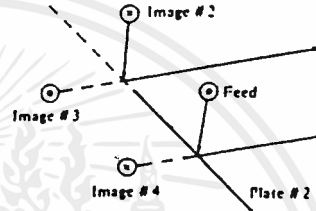
(a) 90° corner reflector



(b) Images for 90° corner reflector



(c) Placement of image #2 (due to feed)



(d) Placement of images #3 and #4 (due to feed and image #2)

รูปที่ 2.23 แสดงสายอากาศคอร์เนอร์เพลกเตอร์มุม 90° และ image

จากรูปที่ 2.23 สามารถหาสนามรวมของระบบโดยการรวมส่วนของ Feed กับของ Image ได้เป็น

$$E(r, \theta, \phi) = E_1(r_1, \theta, \phi) + E_2(r_2, \theta, \phi) + E_3(r_3, \theta, \phi) + E_4(r_4, \theta, \phi) \quad (2.20)$$

สำหรับในบริเวณไกล (Far zone) สามารถเขียนได้เป็น

$$E(r, \theta, \phi) = f(\theta, \phi) \frac{e^{-jkr_1}}{r_1} - f(\theta, \phi) \frac{e^{-jkr_2}}{r_2} + f(\theta, \phi) \frac{e^{-jkr_3}}{r_3} - f(\theta, \phi) \frac{e^{-jkr_4}}{r_4} \\ = [e^{jks \cos_1} - e^{jks \cos_2} + e^{jks \cos_3} - e^{jks \cos_4}] f(\theta, \phi) e^{-jkr} \quad (2.21)$$

โดยที่ $\cos_1 = a_x \cdot a_r = \sin \theta \cdot \cos \phi$ (2.22)

$$\cos_2 = a_y \cdot a_r = \sin \theta \cdot \sin \phi \quad (2.23)$$

$$\cos_3 = -a_x \cdot a_r = -\sin \theta \cdot \cos \phi \quad (2.24)$$

$$\cos_4 = -a_y \cdot a_r = -\sin \theta \cdot \sin \phi \quad (2.25)$$

แทนค่า (2.22) และ (2.23) ลงใน (2.21) จะได้

$$E(r, \theta, \phi) = 2[\cos(ks \cdot \sin \theta \cos \phi) - \cos(ks \cdot \sin \theta \sin \phi)] \cdot f(\theta, \phi) \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (2.26)$$

$$\text{เมื่อ } 0 \leq \theta \leq \pi$$

$$0 \leq \phi \leq \alpha/2$$

$$2\pi - \alpha/2 \leq \phi \leq 2\pi \quad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

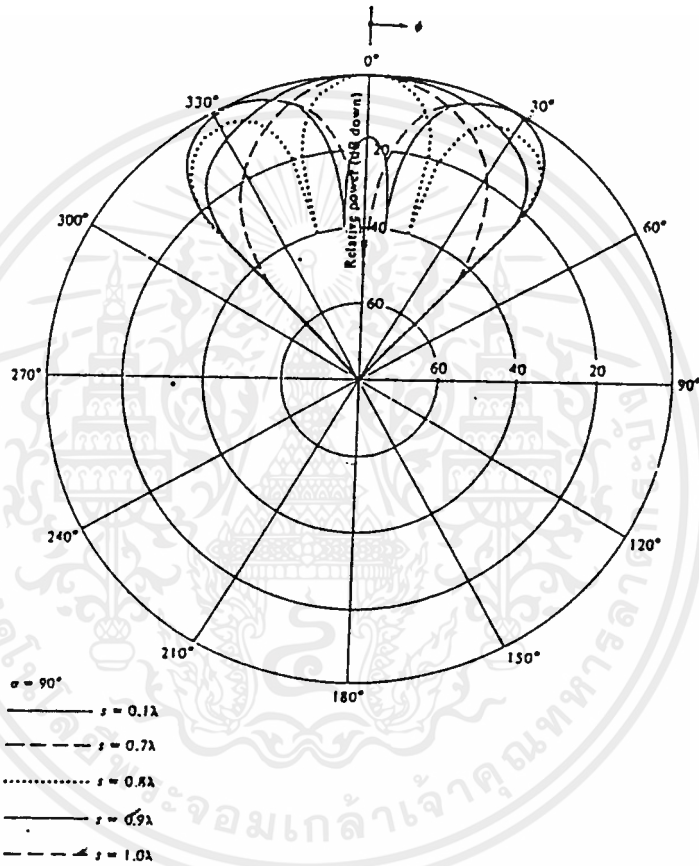
สามารถเขียนสมการของสนามที่แพร่กระจายโดยอิลิเมนต์เดียวในอากาศได้เป็น

$$E_0 = f(\theta, \phi) \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (2.28)$$

และจะได้

$$\frac{E}{E_0} = AF(\theta, \phi) = 2[\cos(ks \cdot \sin \theta \cos \phi) - \cos(ks \cdot \sin \theta \sin \phi)] \quad (2.29)$$

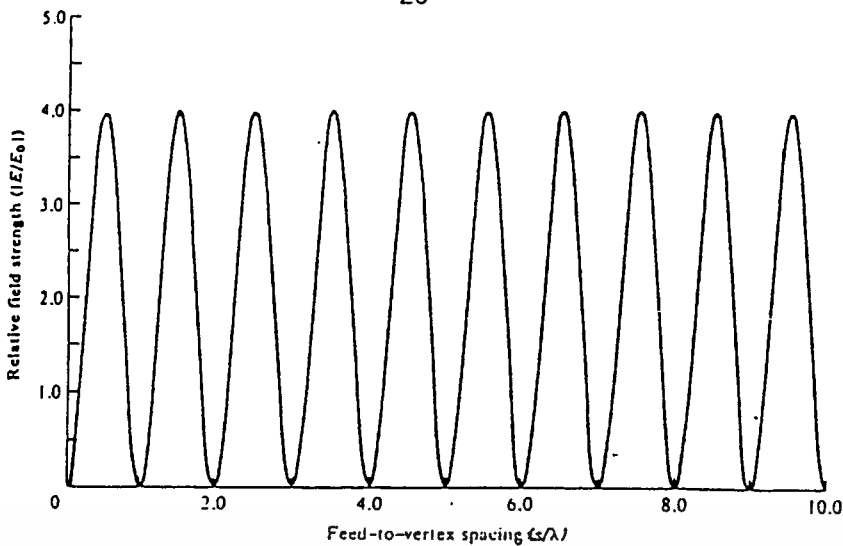
สมการ (2.29) จะบอกทั้งอัตราส่วนของสนามของอิลิเมนต์เดียว และเป็นค่า Array Factor ของระบบแผ่นสะท้อนทั้งหมดในระนาบอะซิมูตด้วย



รูปที่ 2.24 แสดงค่าแอมพลิจูดของสนามที่แพร่กระจายคลื่นของคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ มุม 90°

จากรูปที่ 2.24 ได้แสดงแอมพลิจูดของสนามที่แพร่กระจายคลื่นของคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ มุม 90° องศา โดยกำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศกับตัวรีเฟลคเตอร์ (s) = 0.1, 0.7, 0.8, 0.9, และ 1.0 จากรูปนี้จะเห็นได้ว่าที่ระยะ s น้อย ๆ จะมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเพียงโหลบเดียวและเมื่อระยะ s มากกว่า 0.7 จะมีโหลบเกิดขึ้นหลายโหลบ

สำหรับค่าความเข้มของสนาม (Normalized absolute field strength E/E_0) ที่ระยะ s มีค่าต่าง ๆ เมื่อ ($\theta = 90$ องศา, $\phi = 0$ องศา) แสดงไว้ในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แสดงค่า E/E_0 ต่อระยะ s ของคอร์เนอร์รีเฟลक्टर 90°

จากรูปที่ 2.25 จะเห็นว่าค่าความแรงสูงสุดของสนามเกิดขึ้นครั้งที่ $s = 0.5\lambda$ และจะเกิดสูงสุดทุก ๆ 1.0λ แต่ถ้ารีเฟลक्टरที่มีมุมน้อยกว่านี้ ค่า s/λ ของความแรงสนามที่นอร์มัลไลซ์แล้ว จะมีค่ามากกว่านี้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

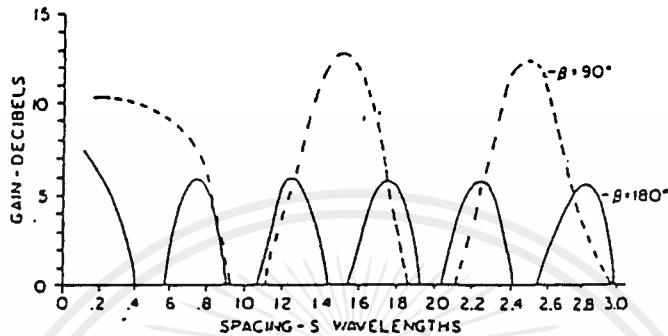
Period (s/λ)	Reflector Angle ($^\circ$)
1.0	90
2.0	60
16.69	45
30.00	30

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความแรงของสนามที่ถูกล้อมไลซ์แล้วสำหรับสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลक्टरมุม 90° , 60° , 45° และ 30° องศา

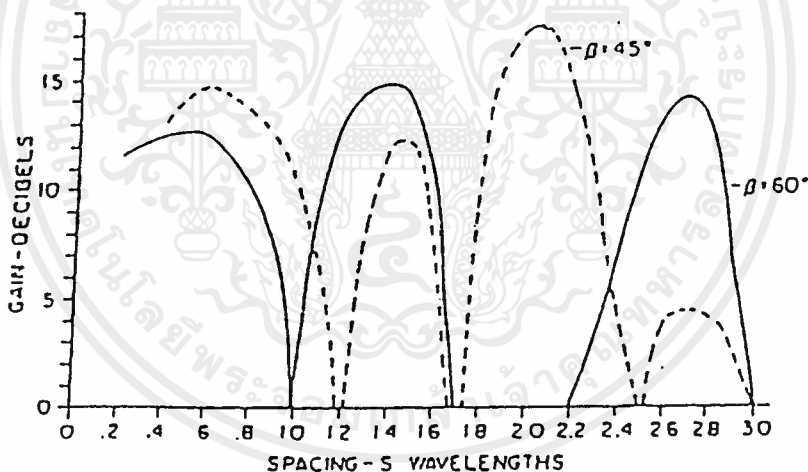
2.9 ผลของระยะห่างระหว่างสายอากาศกับจุด Vertex กับมุมของคอร์เนอร์รีเฟลक्टर

สายอากาศที่มีตัวรีเฟลक्टरที่ทำเป็นมุมกันนั้น จะมีความสามารถในการเพิ่มความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นได้ดีขึ้น โดยเฉพาะในทิศทางกึ่งกลางของมุม ซึ่งที่มุมต่างกันความแรงของสัญญาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ได้ก็จะต่างกันด้วย และเมื่อวางไดโพลห่างจากจุด vertex ที่ระยะต่าง ๆ ก็จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังขยายกับระยะห่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.26 และ รูปที่ 2.27 คือจะเห็นว่าที่มุมต่างๆ (b) ค่ากำลังขยายจะเพิ่มขึ้นสูงสุดและต่ำสุดสลับกันไปเรื่อยๆ ขอบเขตที่มีกำหนดการใช้งานคือ ระยะที่เกิดค่ากำลังขยายสูงสุดเป็นครั้งแรก (region of the first maximum) และจะเรียกการทำงานในระยะนี้ว่า เป็นการทำงานในโหมดแรก (first order mode)



รูปที่ 2.26 แสดงค่ากำลังขยายที่ระยะ s ต่างๆ ของมุม 180° และ 90° ในทิศทาง $\phi = 0^\circ, \theta = 90^\circ$

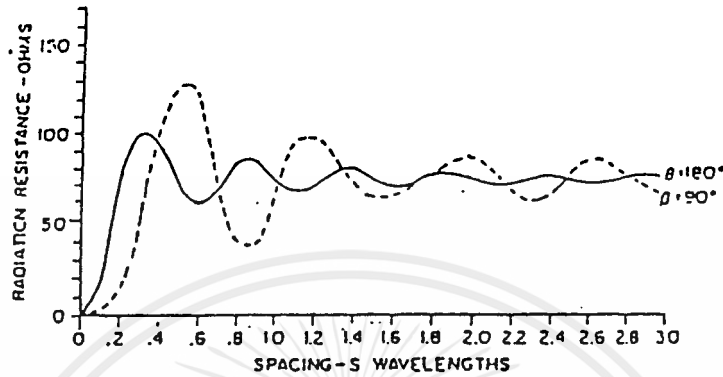


รูปที่ 2.27 แสดงค่ากำลังขยายที่ระยะ s ต่างๆ ของมุม 60° และ 45° ในทิศทาง $\phi = 0^\circ, \theta = 90^\circ$

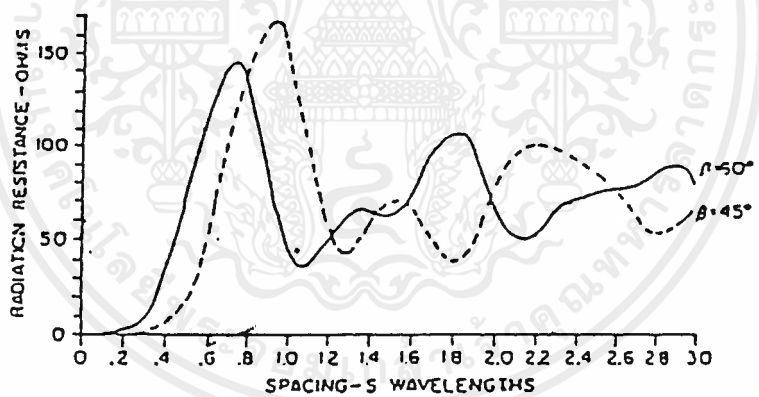
ระยะห่างระหว่างสายอากาศกับจุด vertex (s) แต่ละมุมจะให้ผลดีที่ระยะไม่เท่ากัน ถ้าระยะ s มากเกินไป จะทำให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเกิดมีหลายโหลบ (multi lobe) และกำลังขยายจะลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้าหากระยะ s น้อยเกินไป จะทำให้เกิดความต้านทานของการแพร่กระจาย (radiation resistance) ลดลง และยังทำให้เกิดความต้านทานของการสูญเสีย (loss resistance) ขึ้นอีกด้วยซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ ถึงแม้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจะมีเพียงโหลบเดียว

โดยทั่วไปจะกำหนดระยะ s ให้อยู่ในช่วง $0.1\lambda - 0.3\lambda$ สำหรับมุม 180° และ $0.25\lambda - 0.7\lambda$ สำหรับมุม 90°

สำหรับมุม $60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ การเกิด multi lobe จะเริ่มปรากฏเมื่อระยะ s ประมาณ $0.95\lambda, 2.0\lambda, 2.5\lambda$ ตามลำดับ



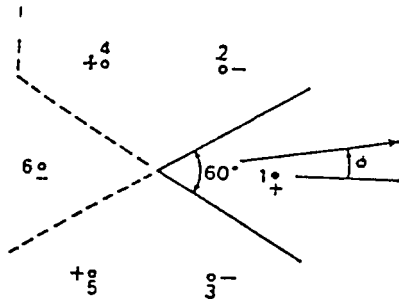
รูปที่ 2.28 แสดงค่าความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นของ $\lambda/2$ ไดโพลที่ระยะ s ต่าง ๆ สำหรับมุม 90° และ 180°



รูปที่ 2.29 แสดงค่าความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นของ $\lambda/2$ ไดโพลที่ระยะ s ต่าง ๆ สำหรับมุม 45° และ 60°

2.10 อัตราการขยาย (Gain)

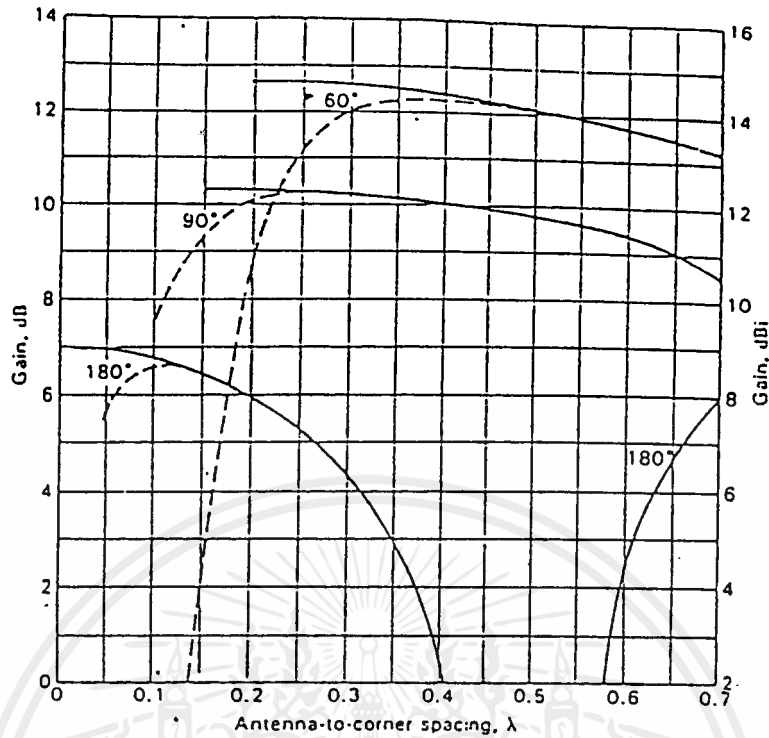
สำหรับอัตราการขยายในรูปความเข้มสนามไฟฟ้าของคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ ซึ่งมีมุมเท่ากับ $60^\circ, 45^\circ$ ฯลฯ สามารถที่จะเขียนได้ เช่นถ้าคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์มีมุม 60° จะวิเคราะห์ได้โดยคิดว่ามีสายอากาศจริงๆ 1 ตัว และ image อีก 5 ตัว รวมเป็น 6 ตัวไว้ ตามตารางที่ 2.2

รูปที่ 2.30 image ของคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์แบบ 60°

มุม (deg)	จำนวนสายอากาศที่ต้องวิเคราะห์	อัตราขยาย(gain) ในรูปความเข้มสนามไฟฟ้าของสายอากาศความยาว $\lambda/2$ ใน free space โดยมีกำลังที่ป้อนให้เท่ากัน
180	2	$2 \frac{[R_{11}+R_{1L}]^{\frac{1}{2}}}{[R_{11}+R_{1L}-R_{12}]^{\frac{1}{2}}} \sin(S_r \cos \phi)$
90	4	$2 \frac{[R_{11}+R_{1L}]^{\frac{1}{2}}}{[R_{11}+R_{1L}+R_{14}-2R_{12}]^{\frac{1}{2}}} \left[\cos(S_r \cos \phi) - \cos(S_r \sin \phi) \right]$
60	6	$2 \frac{[R_{11}+R_{1L}]^{\frac{1}{2}}}{[R_{11}+R_{1L}+2R_{14}-2R_{12}-R_{16}]^{\frac{1}{2}}} \times \left\{ \sin(S_r \cos \phi) - \sin[S_r \cos(60^\circ - \phi)] - \sin[S_r \cos(60^\circ + \phi)] \right\}$

ตารางที่ 2.2 สูตรการหา gain-pattern ของสายอากาศแบบคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



..... ไม่มีการสูญเสีย ($R_{1L} = 0$)

..... loss resistance ($R_{1L} = 1 \text{ ohm}$)

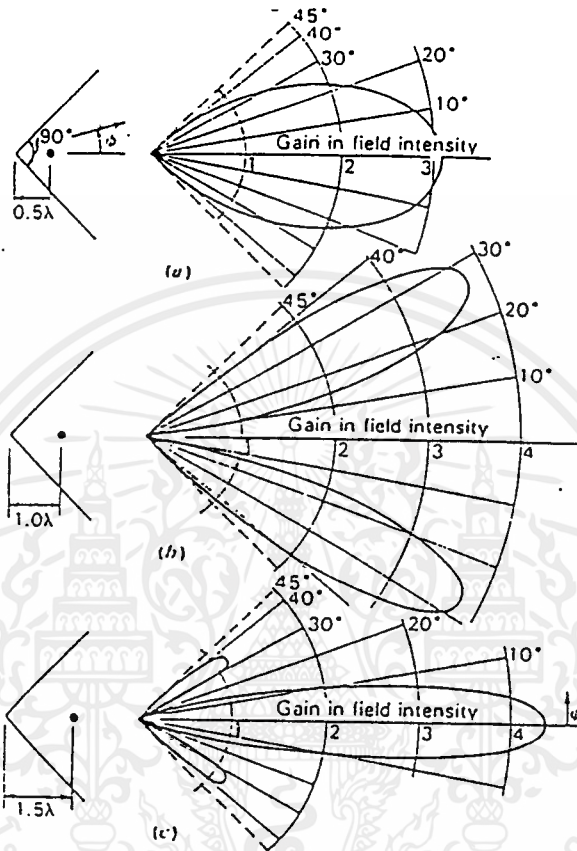
รูปที่ 2.31 Gain ของสายอากาศฮอร์นออร์รีเฟลกเตอร์ใน free space

โดยมีไดโพลขนาด $\lambda/2$ เป็นตัว feed element โดยจะมีการป้อนกำลังให้กับสายอากาศแต่ละตัวเท่าๆกันและเป็น function ของระยะระหว่างสายอากาศกับรีเฟลกเตอร์ โดยที่ gain อยู่ในทิศ $\phi = 0$

สูตรคำนวณในตารางที่ 2.2 สามารถใช้ได้ ในกรณีที่สมมุติให้แผ่นรีเฟลกเตอร์ เป็นตัวนำอย่างสมบูรณ์ และมีขนาดใหญ่มากๆ กราฟของอัตราการขยายเทียบกับระยะห่างของสายอากาศ กับตัวรีเฟลกเตอร์ได้แสดงตามรูปที่ 2.31 โดยที่อัตราการขยายอยู่ในทิศ $\phi = 0$ กราฟแต่ละเส้นแสดงอัตราการขยายที่เกิดจากมุมต่างๆ เส้นทึบของกราฟแต่ละเส้นอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ไม่มีการสูญเสีย ($R_{1L} = 0$) และเส้นประของกราฟแต่ละเส้น อยู่ภายใต้เงื่อนไขของ loss resistance ($R_{1L} = 1 \text{ ohm}$) ปรากฏว่าถ้าหากต้องการใช้สายอากาศมีประสิทธิภาพที่ดี ก็ไม่ควรที่จะใช้ระยะห่างระหว่างสายอากาศกับรีเฟลกเตอร์น้อยเกินไป นอกจากนี้ระยะห่างยังน้อยก็ทำให้มี bandwidth ที่แคบด้วย แต่ในทางตรงกันข้ามระยะที่ห่างเกินไป จะทำให้มีอัตราการขยายที่ต่ำ

Pattern ของฮอร์นออร์รีเฟลกเตอร์ซึ่งมีมุม 90° และระยะห่างระหว่างสายอากาศกับรีเฟลกเตอร์ $s = 0.5\lambda$ ได้แสดงไว้ตามรูปที่ 2.32 (a) ซึ่งมีอัตราการขยายประมาณ 10 dB โดยเทียบกับสายอากาศอ้างอิง ซึ่งมีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นหรือ 12 dBi ถ้าระยะ s นี้เพิ่มขึ้น จะทำให้จำนวน

โหลบเพิ่มขึ้น เช่น สายอากาศแบบคอร์เนอร์ที่มีมุม 90° มีระยะ $s = 1.0\lambda$ จะมีจำนวนโหลบ 2 โหลบ ตามรูปที่ 2.32 (a) แต่ถ้าระยะห่างเพิ่มขึ้นเป็น 1.5λ ทำให้มี major lobe ในทิศ $\phi = 0$ และมี minor lobe เกิดขึ้น



รูปที่ 2.32 pattern ของ คอร์เนอร์เฟลคเตอร์ มุม 90° ที่มีระยะ s เท่ากับ (a) 0.5 (b) 1.0 (c) 1.5

ถ้าทำการ normalize แล้วจะได้ pattern ตามรูปที่ 2.24 ซึ่งแสดงค่าของคอร์เนอร์เฟลคเตอร์ มุม $\alpha = 90^\circ$ ในระยะห่าง $s = 0.1\lambda, 0.7\lambda, 0.8\lambda, 0.9\lambda$ และ 1.0λ ในทำนองเดียวกันก็จะได้ว่า ถ้ามีระยะ s น้อย ๆ ก็เกิด major lobe เพียงโหลบเดียว แต่ถ้ามีระยะ s มากขึ้น ($s > 0.7\lambda$) แล้ว ก็จะมีจำนวนโหลบมากขึ้น สำหรับระยะ $s = \lambda$ นั้น pattern จะปรากฏด้วย 2 โหลบ ซึ่งแยกกันโดยมี null ที่แกน $\phi = 0^\circ$

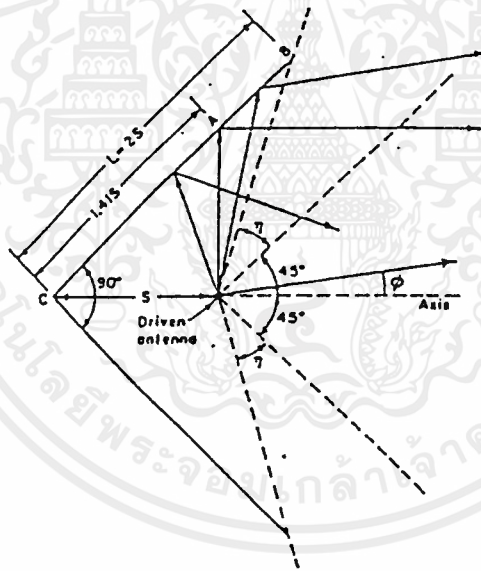
ในการจำกัดให้สายอากาศมี pattern ที่มีจำนวน โหลบน้อย ๆ (ไม่มี minor lobe) นั้น เราจะ ออกแบบให้มีระยะ s อยู่ระหว่างช่วงดังนี้

α	s
90°	$0.25\lambda - 0.7\lambda$
180° (flat sheet)	$0.10\lambda - 0.3\lambda$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 การเลือกขนาดของแผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุม

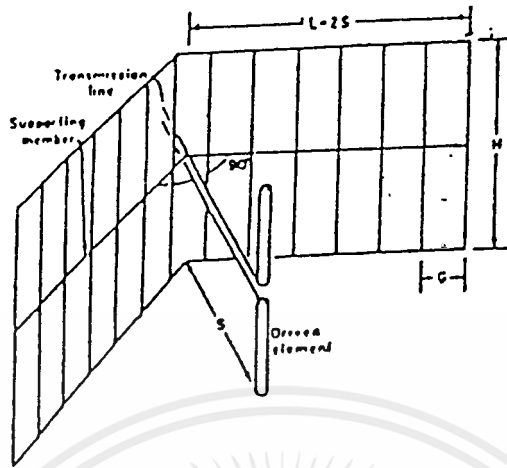
โดยไม่คำนึงถึงผลของขอบ (Edge Effect) ค่าที่เหมาะสมสำหรับความยาวแต่ละด้านของแผ่นสะท้อน สามารถพิจารณาได้ตามเหตุผลดังนี้คือ บริเวณที่สำคัญของแผ่นสะท้อนคือ บริเวณที่ใกล้กับจุดที่คลื่นออกมาจากสายอากาศ แล้วสะท้อนออกไปขนานกับแนวแกนดังแสดงในรูปที่ 2.33 ซึ่งเป็นแบบที่แผ่นสะท้อนทำมุม 90° ที่จุด A ซึ่งอยู่ห่างจากมุม $1.41s$ เมื่อ s คือระยะระหว่างตัวสายอากาศและมุม ถ้าขนาดของแผ่นสะท้อนสุดท้ายที่จุด B ซึ่งมีความยาว $2s$ จากมุม คลื่นที่สะท้อนจากแผ่นสะท้อนเลยจุด B ออกไป จะเป็นคลื่นที่แพร่กระจายอยู่ในบริเวณเขตเตอร์ก และคลื่นที่สะท้อนจะออกไปในแนวที่ทำมุมกับแกน (จากรูปจะเห็นว่าคลื่นกระจายออกไปทางด้านนอก) ดังนั้นการที่แผ่นสะท้อนจะขาดส่วนที่เลยจาก B ไป จึงไม่ก่อให้เกิดผลเท่าไร จะมีผลเพียงเล็กน้อยกับอิมพีแดนซ์ที่จุดป้อนสัญญาณเท่านั้น ผลอันเกิดจากการใช้ขนาดจำกัด (Finite Side) ที่น่าสังเกตคือ รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่วัดได้จะกว้างกว่าที่คำนวณ สำหรับขนาดอนันต์ (Infinite Side) และจุด Null จะไม่เกิดที่มุม 45° แต่จะเกิดในมุมที่กว้างกว่าความยาวของแผ่นสะท้อน ที่เท่ากับ 2 เท่าของระยะระหว่างสายอากาศกับมุม ($L=2s$) ถือเป็นค่าที่น้อยที่สุดในการใช้งานสำหรับแผ่นสะท้อนที่ทำมุมกัน 90°



รูปที่ 2.33 แสดงขนาดของแผ่นสะท้อนและลักษณะการสะท้อนสัญญาณของคอร์เนอร์เฟลคเตอร์ 90°

สำหรับแผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุมที่แต่ละด้านมีขนาดอนันต์ กำลังขยายของสายอากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อมุมระหว่างแผ่นสะท้อนเล็กลง แต่สำหรับแผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุมที่มีขนาดจำกัด จะไม่เป็นไปตามเงื่อนไขนี้ ถ้าต้องการให้ประสิทธิภาพคงเดิม มุมระหว่างแผ่นสะท้อนที่เล็กลงจะต้องเพิ่มระยะ s ขึ้น บริเวณที่สัญญาณจะสะท้อนออกไป ในแนวขนานกับแกนของมุมที่เล็กกว่าจะเป็นระยะที่ไกลกว่า เช่นแผ่นสะท้อนที่ทำมุม 60° บริเวณที่สัญญาณจะสะท้อนออกไปขนานกับแกนคือ ที่ระยะ $1.73s$ บนแผ่นสะท้อน แต่แผ่นสะท้อนที่ทำมุม 90° บริเวณนี้จะอยู่ที่ $1.41 s$ บนแผ่นสะท้อน ดังนั้นถ้าจะเพิ่มกำลังขยายโดย

ใช้แผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุม 60° ก็จะต้องเพิ่มขนาดของแผ่นสะท้อนขึ้นให้ใหญ่กว่า เมื่อใช้แผ่นสะท้อนที่ทำเป็นมุม 90° เมื่อออกแบบให้ใช้ที่ความถี่เดียวกัน

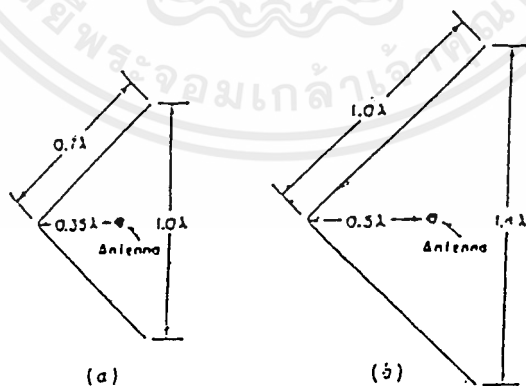


รูปที่ 2.34 แสดงแผ่นสะท้อนที่ทำจากแท่งโลหะ

เพื่อลดการต้านลม (Wind Resistance) ซึ่งเกิดกับแผ่นสะท้อนที่เป็นโลหะ จึงทำแผ่นสะท้อนให้มีลักษณะเป็นตะแกรง ทำจากลวดหรือตัวนำวางขนานกันดังแสดงในรูปที่ 2.34

ตัวเชื่อมตัวนำที่ประกอบเป็นแผ่นสะท้อน (Supporting member) อาจจะเป็นตัวนำหรือฉนวนก็ได้ ติดตรงกึ่งกลางหรือที่ปลายทั้งสองด้านของตัวนำแต่ละตัว

โดยทั่วไปนิยมให้ระยะห่างระหว่างตัวนำ (G) แต่ละตัวมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1λ และถ้าป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศ $\lambda/2$ ไทโพลความยาวของตัวนำ (H) แต่ละตัวที่นำมาทำแผ่นสะท้อนจะมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 0.6λ ถ้าความยาว H น้อยกว่า 0.6λ จะมีคลื่นที่กระจายออกด้านข้างและด้านหลังเพิ่มขึ้น แต่กำลังขยายจะลดลง และให้ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งโลหะที่ใช้ทำตัวนำมีค่า $\lambda/50$

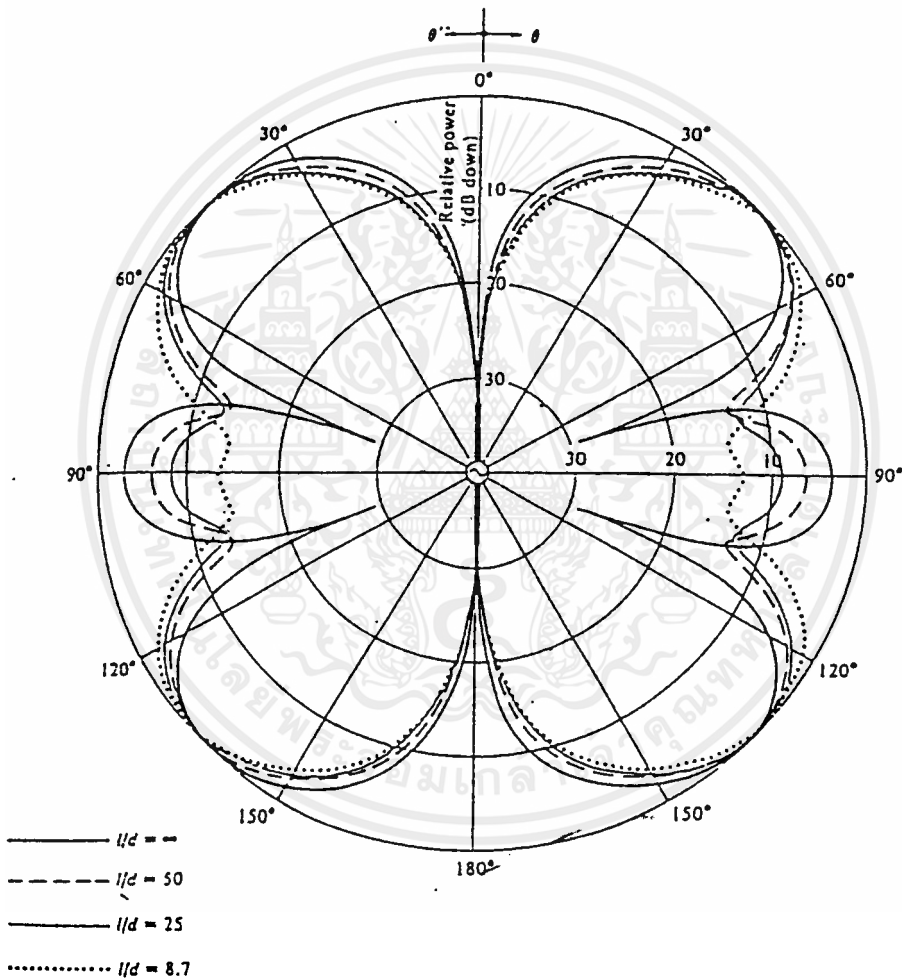


รูปที่ 2.35 แสดงการเปรียบเทียบคอร์เนอร์เฟลทงเจอร์ 2 ตัวที่ใช้ระยะ s ต่างกัน

จากรูปที่ 2.35 เป็นรูปเปรียบเทียบสายอากาศที่แผ่นสะท้อนทำเป็นมุมจาก 2 ตัว โดยออกแบบให้รูปที่ 2.35 (a) มีค่า $s = 0.35\lambda$ และความยาวด้านข้าง $L = 0.7\lambda$ สายอากาศตามรูปนี้ จะใช้ได้เมื่อข้อกำหนดของสายอากาศมีค่าน้อยที่สุด แต่ถ้าขนาดของสายอากาศไม่ถูกกำหนดไว้ เราจะใช้การออกแบบตามรูปที่ 2.35 (b) แทน เพราะจะให้ช่วงความถี่ (Bandwidth) ที่กว้างกว่ารูปที่ 2.35 (a) นอกจากนี้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของตัวแพร่กระจายคลื่น (Driven Element) ก็มีผลต่อช่วงความถี่ ถ้าตัวแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทรงกระบอกอ่อนก็จะให้ช่วงความถี่ที่กว้างกว่าสายอากาศแบบผอม

วิธีที่ดีและยอมรับกันว่าสามารถขยายช่วงความถี่ใช้งานได้ คือการลดอัตราส่วนความยาวของสายอากาศไดโพลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (l/d) โดยคงความยาวไว้ตามเดิมแล้วเพิ่มขนาดของไดโพล แทนการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลตามความถี่จะน้อยลง ดังนั้นจึงใช้ได้กับช่วงความถี่ที่กว้างขึ้น การเพิ่มความหนาของไดโพลขึ้นให้มีผลสำคัญต่อรูปแบบการรับส่งสัญญาณ รูปแบบจะยังคงใกล้เคียงกับไดโพลผอม แต่ความแรงของโหลบย่อยจะลดลง และบริเวณที่รับส่งสัญญาณไม่ได้ก็จะเปลี่ยนเป็นรับส่งได้ในระยะต่ำแทน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 แสดง pattern การรับส่งสัญญาณของไดโพลทรงกระบอก

2.12 การป้อนสัญญาณให้แก่สายอากาศแบบหลาย

การป้อนสัญญาณให้แก่สายอากาศแบบสายนั้น หลักการสำคัญอยู่ 2 ประการคือ

- 1) ต้องป้อนกระแสให้แก่สายอากาศตามโหมดที่สายอากาศต้องการ
- 2) ต้องแมทซ์อิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณกับขงสายอากาศให้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในประการแรกนั้น เนื่องจากสายอากาศแบบสายที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปนี้ ตัวสายอากาศทำงานด้วยโหมดบาลานซ์ (Balance Mode) เป็นส่วนใหญ่จึงต้องใช้การป้อนแบบบาลานซ์ แต่สายนำสัญญาณที่ใช้กันโดยทั่วไปนั้น มักจะเป็นสายแบบไม่บาลานซ์ (Unbalance) ซึ่งถ้านำไปต่อกับสายอากาศโดยตรงก็จะทำให้กระแสในโหมดไม่บาลานซ์ที่ไม่ต้องการเกิดขึ้นด้วย

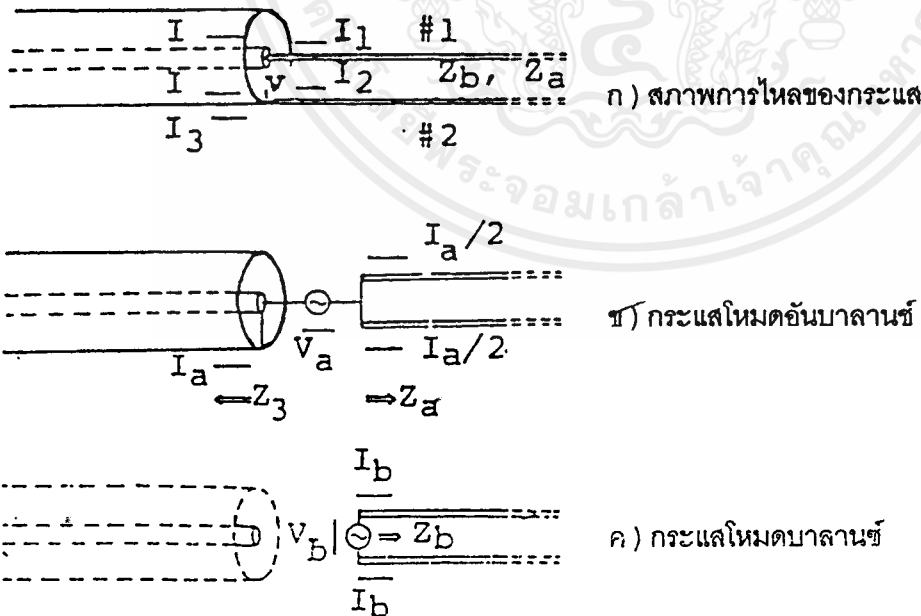
ส่วนในประการที่สองก็มีความจำเป็น เพราะถ้าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับของสายนำสัญญาณไม่เท่ากัน และไม่มีการแมทซ์ให้เท่ากันแล้ว จะทำให้ประสิทธิภาพของการรับส่งสัญญาณลดต่ำลง ในที่นี้จะกล่าวถึงส่วนประกอบที่เกี่ยวกับการป้อนสัญญาณให้แก่สายอากาศแบบสายโดยเน้นที่หลักการ 2 ประการดังกล่าวข้างต้น

2.12.1 สายนำสัญญาณที่ใช้กับสายอากาศแบบสาย

สายนำสัญญาณที่ใช้ในการส่งสัญญาณความถี่สูงนั้นมีหลายโครงสร้างด้วยกัน ขึ้นอยู่กับความถี่และกำลังที่ใช้ งานในงานสื่อสารทั่วไปนั้นจะใช้สายโคแอกเซียล (Coaxial) 50 โอห์ม และเนื่องจากในงานสื่อสารทั่วไป จะใช้กำลังส่งไม่สูงมากสายที่ใช้จึงมีขนาดเล็ก และสารไดอิเล็กทริกจะเป็นแบบโฟมโพลีเอทิลีน (Polyethylene foam) หรือเป็นซิลิโคนแบบที่บรรจุมวล แต่แบบโฟมจะมีค่าการสูญเสียที่ต่ำกว่า

2.12.2 สภาพการไหลของกระแสเมื่อนำสายสัญญาณแบบไม่บาลานซ์มาต่อโดยตรงกับสายแบบบาลานซ์

เมื่อนำสายสัญญาณแบบไม่บาลานซ์ เช่น สายโคแอกเซียลมาต่อโดยตรงกับสายแบบบาลานซ์ จะเกิดกระแสไหลอยู่ในโหมดไม่บาลานซ์ และโหมดบาลานซ์รวมกันอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 แสดงสภาพการไหลของกระแสเมื่อนำสายโคแอกเซียลมาต่อโดยตรงกับสายคู่ขนาน

จากรูปที่ 2.37 เมื่อให้กระแสและแรงดันในโหมดทั้งสองเป็นดังแสดงไว้ในรูป จากการเปรียบเทียบรูป ก) , ข) , และ ค) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสในรูปต่อไปนี้

$$I_1 = \frac{I_a}{2} - I_b \quad (2.30)$$

$$I_2 = \frac{I_a}{2} + I_b \quad (2.31)$$

เมื่อ I_a = กระแสในโหมด Unbalance

I_b = กระแสในโหมด Balance

และเนื่องจากกระแสที่ไหลที่ผิวในของโลหะนอกของสายโคแอกเชียล มีขนาดเท่ากับกระแสที่ไหลที่โลหะใน แต่มีทิศตรงกันข้าม เพราะฉะนั้นจะได้

$$I_2 + I_3 = -I \quad (2.32)$$

$$I_3 = -I_a \quad (2.33)$$

จากรูป ข) และรูป ค) สามารถเขียนสมการได้ว่า

$$\frac{V_a}{I_b} = Z_a + Z_c \quad (2.34)$$

$$\frac{V_b}{I_b} = Z_b \quad (2.35)$$

เมื่อ Z_a = อิมพีแดนซ์ในโหมด Unbalance ของสายคู่ขนาน

Z_b = อิมพีแดนซ์ในโหมด Balance ของสายคู่ขนาน

Z_c = อิมพีแดนซ์ในโหมด Unbalance ของสายโคแอกเชียล

และจากรูปทั้งสาม จะได้ความต่างศักย์ที่จุดเริ่มต้นของสายอันดับที่สองเป็น

$$V_2 = -I_a Z_3 = \frac{I_b}{2} Z_b + -I_a Z_a \quad (2.36)$$

$$\text{จะได้ } I_b = \frac{-2I_a(Z_3 + Z_a)}{Z_b} \quad (2.37)$$

และเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง I_a กับ I โดยใช้สมการ (2.31) - (2.33) และสมการ (2.37) จะได้

$$I_a = \frac{\frac{1}{2} \left[\frac{Z_b}{Z_a + Z_3} \right]}{\frac{1}{4} \left[\frac{Z_b}{Z_a + Z_3} \right] + 1} \cdot I \quad (2.38)$$

และจากสมการ (2.35) และ (2.38) จะเขียน V_b ในรูปของ I ได้

$$V_b = -\frac{I}{\frac{1}{4}\left[\frac{1}{Z_a+Z_3} + \frac{1}{Z_b}\right]} \quad (2.39)$$

จากสมการข้างต้น สามารถห้อัตราส่วนของ V_a กับ V_b และ I_a กับ I_b ได้ในรูป

$$\frac{V_a}{V_b} = -\frac{1}{2} \quad (2.40)$$

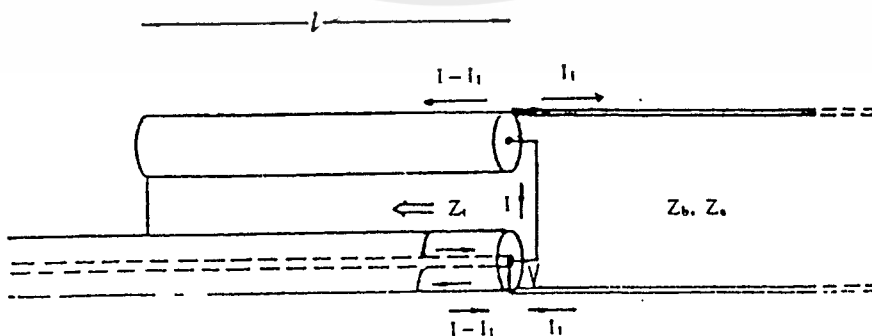
$$\frac{I_a}{I_b} = -\frac{Z_b}{2(Z_a+Z_3)} \quad (2.41)$$

เมื่อพิจารณาสมการ (2.41) จะเห็นได้ว่าถ้า Z_a หรือ Z_c มีค่าเป็นอนันต์ I_a จะเป็นศูนย์ นั่นคือจะมีแต่กระแสไหลกลับเท่านั้นที่ไหล อย่างไรก็ตาม Z_a นั้น โดยทั่วไปจะมีค่าไม่เป็นอนันต์ จึงต้องทำให้ Z_c มีค่าเป็นอนันต์ ชิ้นส่วนที่ทำให้ Z_c มีค่าเป็นอนันต์นี้เรียกกันว่า บาลัน (Balun) ซึ่งย่อมาจากคำว่า Balanced to unbalanced converting unit

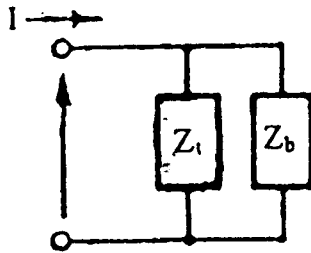
2.12.3 บาลันแบบลวดตัวนำขนาน

บาลันแบบลวดตัวนำขนาน จะใช้ลวดหรือท่อโลหะที่มีขนาดเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของสายโคแอกเซียล และยาว $\lambda/4$ มาวางขนานกับสายโคแอกเซียล โดยที่ปลายด้านหนึ่งต่อกับโลหะในของสายโคแอกเซียล ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะต่อกับโลหะนอกของสายโคแอกเซียลที่บริเวณนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.38 และบาลันแบบนี้จะมีวงจรสมมูลดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.39

ถ้าอิมพีแดนซ์ของส่วนที่ทำหน้าที่เป็นบาลันคือ Z_L มีค่าเป็นอนันต์ก็จะมีกระแสไหลเข้าสู่สายคู่ขนานเท่านั้น แต่ถ้า Z_L ไม่เป็นอนันต์ หรือความยาวของลวดตัวนำไม่เท่ากับ $\lambda/4$ จะมีกระแสไหลในลวดตัวนำกับผิวนอกของโลหะนอกของสายโคแอกเซียลอยู่ แต่เนื่องจากตามโครงสร้างดังในรูป



รูปที่ 2.38 แสดงบาลันแบบลวดตัวนำขนาน



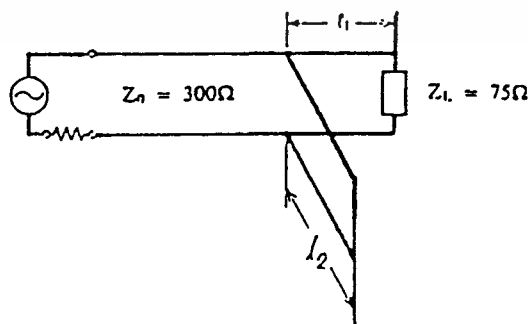
รูปที่ 2.39 แสดงวงจรสมมูลของบาลันแบบลวดตัวนำขนาน

ลวดตัวนำกับผิวนอกของโลหะนอกของสายโคแอดเซียล จะทำหน้าที่เป็นสายแบบบาลานซ์อยู่ ดังนั้น กระแสที่ไหลนี้จะมีขนาดเท่ากันและมีทิศทางตรงกันข้าม และกระแสที่ไหลอยู่ที่ผิวนอกของโลหะนอกของสายโคแอดเซียลนี้ จะมีอยู่เฉพาะตรงบริเวณที่มีลวดตัวนำขนานอยู่เท่านั้น ลักษณะการไหลของกระแสดังกล่าวนี้ จะไม่ทำให้เกิดการส่งคลื่นที่ไม่ต้องการออกไป ดังนั้นบาลันชนิดนี้จึงมีแบนด์วิดท์กว้างเพราะ ถึงแม้ Z_L จะไม่เป็นอินันต์ แต่ก็ยังทำหน้าที่เป็นบาลันได้ บาลันแบบนี้จะมีอัตราการแปลงอิมพีแดนซ์เป็น 1:1

2.12.4 การแมทซ์อิมพีแดนซ์ในระบบสายอากาศ

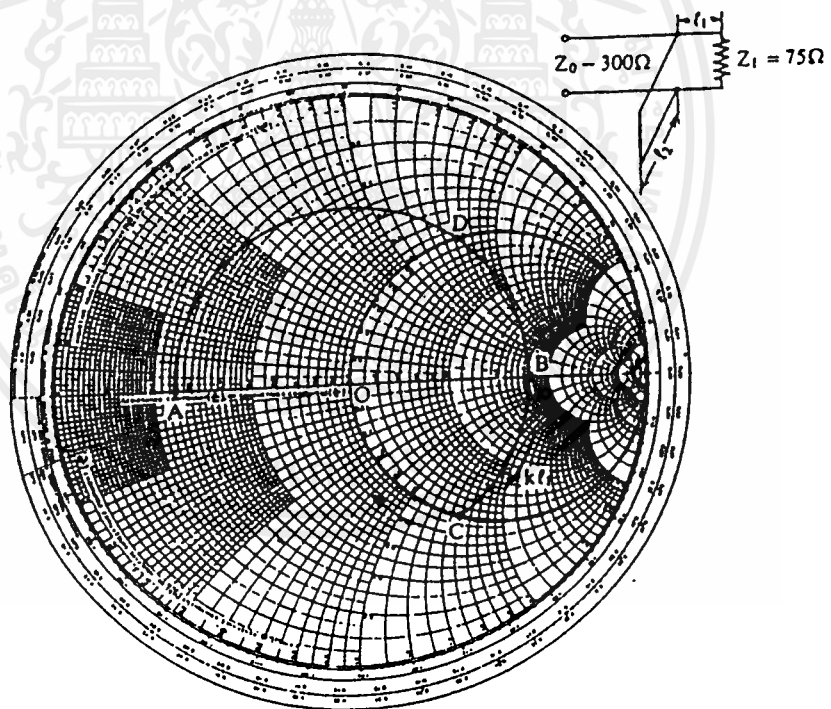
ในระบบการป้อนสัญญาณให้แก่สายอากาศนั้น นอกจากจะต้องป้อนกระแสตามโหมดที่สายอากาศนั้นต้องการแล้ว ยังต้องทำการแมทซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับสายนำสัญญาณ เพราะถ้าไม่เช่นนั้นแล้ว จะเกิดการสะท้อนกลับของกำลัง ซึ่งทำให้อัตราการขยายที่ได้จากสายอากาศลดต่ำกว่าที่ควรจะเป็น การแมทซ์อิมพีแดนซ์นั้น โดยทั่วไปจะได้ 2 แบบด้วยกันคือ แบบที่ใช้วงจรลัมป์ (Lumped circuit) กับแบบที่ใช้วงจรกระจาย (Distributed circuit) ในที่นี้จะกล่าวถึงการแมทซ์อิมพีแดนซ์โดยใช้วงจรกระจายชนิดสตับ (Stub Matching)

การแมทซ์โดยใช้สตับนี้ เป็นการต่อสตับขนานกับสายนำสัญญาณตรงตำแหน่งที่เหมาะสม โดยอาศัยหลักการที่ว่า ถ้าอิมพีแดนซ์หรือแอดมิตแตนซ์ของสายอากาศ (หรือโหลดอื่น ๆ) ที่ต่ออยู่ที่ปลายสายนำสัญญาณไม่เท่ากับอิมพีแดนซ์เฉพาะของสายนำสัญญาณแล้ว ค่าอิมพีแดนซ์ที่มองเห็นที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนสายนำสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2.40 แสดงการแมทซ์โดยใช้สตับ

จากรูปที่ 2.40 ถ้าเราเลือกตำแหน่งที่เหมาะสม ซึ่งตรงตำแหน่งนี้จะเห็นค่าแอดมิตแตนซ์ของสายอากาศมีค่าคอนดักแตนซ์ เท่ากับค่าแอดมิตแตนซ์เฉพาะของสายนำสัญญาณ (อ่านจากสมิทชาร์ต) แล้วต่อสลับซึ่งให้ค่ารีแอกแตนซ์มีเครื่องหมายตรงกันข้าม กับค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศที่มองเห็นที่จุดนั้น เราก็จะได้ค่าแอดมิตแตนซ์ของสายอากาศเท่ากับค่าแอดมิตแตนซ์เฉพาะของสายนำสัญญาณได้ ถ้าอธิบายโดยใช้สมิทชาร์ตจะเป็นดังรูปที่ 2.41 กล่าวคือ ถ้าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ปลายสายมีค่าอยู่ตรงจุด A และค่าแอดมิตแตนซ์อยู่ที่จุด B เมื่อเลื่อนจุดสังเกตมาทาง Source ค่าแอดมิตแตนซ์ที่มองเห็นที่จุดต่าง ๆ ก็จะไปเปลี่ยนไปตามค่าบนเส้นรอบวง ที่มีจุดกึ่งกลางของสมิทชาร์ต (O) เป็นจุดศูนย์กลาง และมีเส้นตรง OA เป็นรัศมีตรงตำแหน่งที่เส้นรอบวงนี้ ตัดกับวงกลมที่มีค่าคอนดักแตนซ์เป็น 1 คือจุด C และจุด D นั้น ค่าแอดมิตแตนซ์ของสายอากาศจะมองเห็นเป็นค่า $Y_c + jB$ และ $Y_c - jB$ ตามลำดับ ดังนั้น เมื่อเราต่อสลับที่มีค่ารีแอกแตนซ์ $-jB$ ที่จุด C หรือต่อสลับที่มีค่า jB ที่จุด D ก็จะทำให้แอดมิตแตนซ์ของสายอากาศที่มองเห็นเป็นถูกเปลี่ยนไปเป็น Y_c เมื่อดูบนสมิทชาร์ต ก็คือ การเลื่อนจุด C และจุด D เข้าหาจุด O ตามเส้นรอบวงของวงกลมที่มีค่าคอนดักแตนซ์เป็น 1 จากรูปเราสามารถหาค่า l_1 และ l_2 ได้ โดยที่ l_1 และ l_2 จะมี 2 ชุด ตามตำแหน่งจุด C หรือจุด D ที่เลือกใช้



รูปที่ 2.41 แสดงการแมทชิ่งโดยใช้สลับบนสมิทชาร์ต

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

สายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ประกอบด้วยสายอากาศไดโพล ซึ่งโดยทั่วไปมีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น และตัวสะท้อนคลื่นโดยจะใช้ท่อโลหะนำมาเรียงกันเป็นแผ่นสะท้อนสองแผ่น ขอบด้านหนึ่งชนกันและทำมุมกัน ความยาวและส่วนประกอบต่างๆ ของสายอากาศ มีผลต่อประสิทธิภาพของตัวมันเอง เช่น อัตราการขยาย, ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่น เป็นต้น ฉะนั้นจึงต้องมีความพิถีพิถันในการออกแบบ

3.1 การออกแบบแผ่นสะท้อนมุม 90 องศา

3.1.1 เนื่องจากสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ใช้งานกับย่านความถี่ 825-890 เมกกะเฮิร์ต

หาความยาวคลื่น (λ) ที่ความถี่สูงสุด

$$\text{จากความถี่สูงสุด} = 890 \text{ เมกกะเฮิร์ต}$$

$$\text{ดังนั้นความยาวคลื่น } (\lambda) = (3 \times 10^8) / (890 \times 10^6)$$

$$= 33.71 \text{ เซนติเมตร}$$

หาความยาวคลื่น (λ) ที่ความถี่กลาง

$$\text{จากความถี่กลาง} = (825 + 890) / 2$$

$$= 857.5 \text{ เมกกะเฮิร์ต}$$

$$\text{ดังนั้น ความยาวคลื่น } (\lambda) = (3 \times 10^8) / (857.5 \times 10^6)$$

$$= 34.98 \text{ เซนติเมตร}$$

หาความยาวคลื่น (λ) ที่ความถี่ต่ำสุด

$$\text{จากความถี่ต่ำสุด} = 825 \text{ เมกกะเฮิร์ต}$$

$$\text{ดังนั้น ความยาวคลื่น } (\lambda) = (3 \times 10^8) / (825 \times 10^6)$$

$$= 36.36 \text{ เซนติเมตร}$$

3.1.2 หาระยะห่างระหว่างไดโพลกับแผ่นสะท้อนและมุมที่เหมาะสม (ระยะ S)

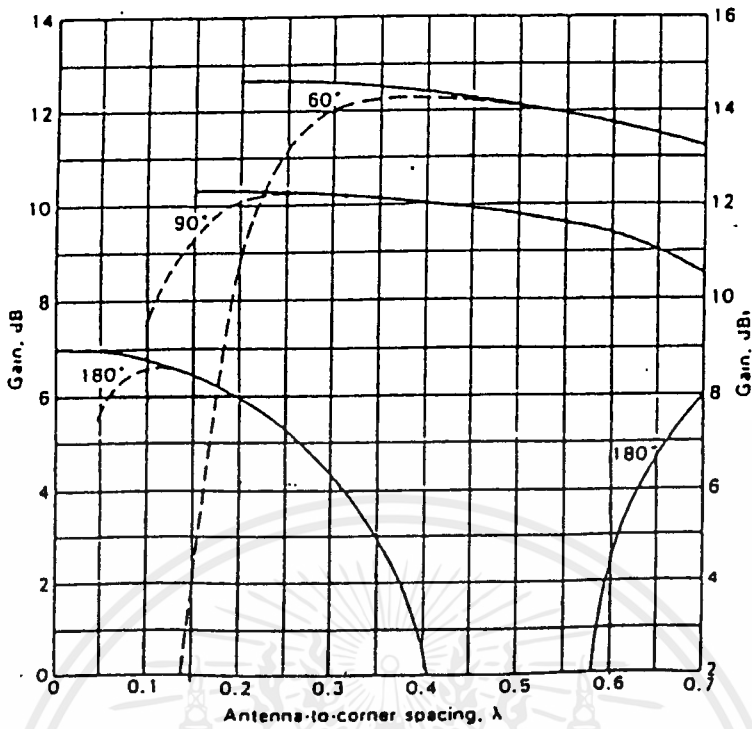
เนื่องจากระยะ S เป็นตัวกำหนดเกน (Gain) และอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของสายอากาศ ดังนั้นในการพิจารณาจะต้องคำนึงถึงเกน และอิมพีแดนซ์ไปพร้อม ๆ กัน

จากรูปที่ 3.1 เลือกตำแหน่งระยะ S = 0.5λ จะได้เกนประมาณ 12 dBi และจะได้อิมพีแดนซ์ เท่ากับ 70 โอห์ม ดังรูปที่ 3.2

$$\text{ดังนั้น ระยะ } S = 0.5 \lambda$$

$$= 0.5 \times 33.71$$

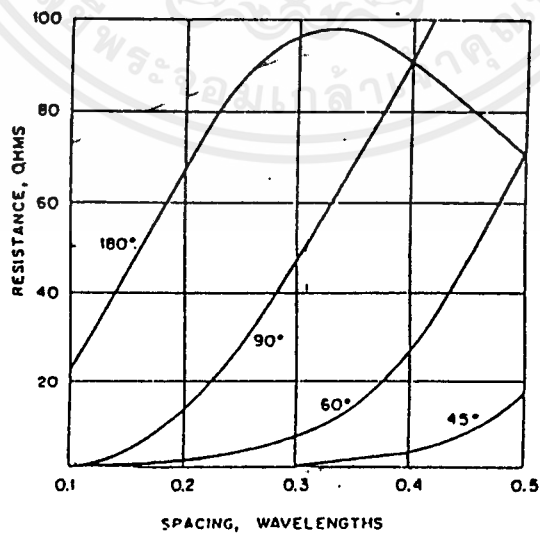
$$= 16.8 \text{ เซนติเมตร}$$



เส้นทึบ แสดงความต้านทานสูญเสีย = 0

เส้นประ แสดงความต้านทานสูญเสีย = 1

รูปที่ 3.1 แสดงค่าอัตราขยายที่ระยะ S ของมุม 180° , 90° และ 60°



รูปที่ 3.2 แสดงค่า resistance ที่ระยะ S ของมุม 180° , 90° , 60° และ 45°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ความยาวของแผ่นสะท้อนแต่ละด้าน ($L \geq 1 \times$ ความยาวคลื่นของความถี่ต่ำสุด)

ดังนั้นความยาวของแผ่นสะท้อนแต่ละด้าน $\geq 1 \times 36.36$ เซนติเมตร

ซึ่งมีค่า ≥ 36.36 เซนติเมตร

ประมาณความยาวของแผ่นสะท้อนแต่ละด้าน = 36.4 เซนติเมตร

3.1.4 ความกว้างของแผ่นสะท้อนแต่ละด้าน ($H \geq 0.96 \times$ ความยาวคลื่นของความถี่ต่ำสุด)

ดังนั้นความกว้างของแผ่นสะท้อนแต่ละด้าน $\geq 0.96 \times 36.36$ เซนติเมตร

≥ 34.9 เซนติเมตร

ประมาณความกว้างของแผ่นสะท้อนแต่ละด้าน = 35 เซนติเมตร

3.1.5 ระยะห่างระหว่างท่อที่ใช้ทำเป็นตัวสะท้อน ($G \leq 0.1 \times$ ความยาวคลื่นของความถี่สูงสุด)

ดังนั้นระยะห่างระหว่างท่อที่ใช้ทำเป็นตัวสะท้อน $\leq 0.1 \times 33.71$ เซนติเมตร

≤ 3.371 เซนติเมตร

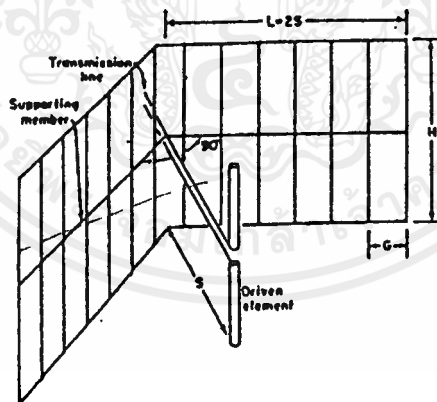
ประมาณระยะห่างระหว่างท่อที่ใช้ทำเป็นตัวสะท้อน = 3.3 เซนติเมตร

3.1.6 เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใช้ทำแผ่นสะท้อน ($d \approx 0.015 \times$ ความยาวคลื่นของความถี่สูงสุด)

ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใช้ทำแผ่นสะท้อน $\approx 0.015 \times 33.71$ เซนติเมตร

≈ 0.50 เซนติเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใช้ทำแผ่นสะท้อน = 0.6 เซนติเมตร



รูปที่ 3.3 แสดงขนาดและลักษณะของสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ที่ทำการสร้าง

โดยค่าระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพลกับแผ่นสะท้อน (S) = 16.8 เซนติเมตร

ความยาวของแผ่นสะท้อน (L) = 36.4 เซนติเมตร

ความกว้างของแผ่นสะท้อน (H) = 35 เซนติเมตร

ระยะห่างระหว่างตัวนำ (G) = 3.3 เซนติเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใช้ทำแผ่นสะท้อน (d) = 0.6 เซนติเมตร

3.1.7 การสร้างสายอากาศไดโพล

$$\text{ออกแบบที่ความถี่กลาง} = 857.5 \quad \text{เมกกะเฮิร์ต}$$

$$\begin{aligned} \text{ความยาวของไดโพล} &= \lambda/2 \\ &= 34.98/2 \quad \text{เซนติเมตร} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นความยาวของไดโพล} = 17.49 \quad \text{เซนติเมตร}$$

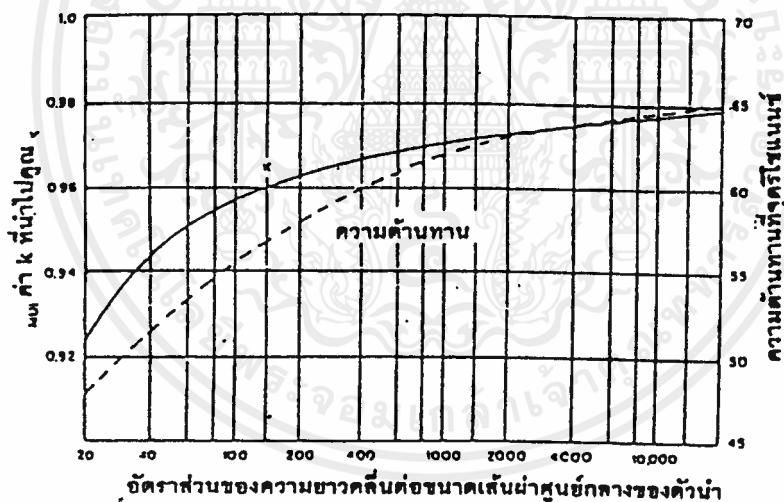
$$\text{ท่อที่ใช้ทำสายอากาศไดโพลใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง} = 2.5 \quad \text{เซนติเมตร}$$

$$\begin{aligned} \text{จากตารางที่ 3.1 หาค่า K factor จะได้} \quad K \text{ factor} &= \lambda/2.5 \\ &= 34.98/2.5 \\ &= 14 \end{aligned}$$

จะได้ค่า K factor = 14 นำไปเปรียบเทียบกับค่าจากตารางที่ 3.1

จะได้ค่า K = 0.91 นำค่า K ที่ได้ไปคูณความยาวของไดโพล จะได้ความยาวจริงของไดโพล

$$\begin{aligned} \text{ความยาวของไดโพลจะมีค่า} &= 17.49 \times 0.91 \\ &= 16 \quad \text{เซนติเมตร} \end{aligned}$$



ตารางที่ 3.1 แสดงกราฟการหาค่า K factor

3.2 การสร้างสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ที่ใช้งานจริง

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้

- 1) ท่ออลูมิเนียมกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร ใช้ทำรีเฟลคเตอร์
- 2) ท่ออลูมิเนียมสี่เหลี่ยมที่ใช้ยึดติดกับท่ออลูมิเนียม
- 3) ท่อทองแดงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ใช้ทำไดร์เวนอีลีเมนต์
- 4) ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 20 เซนติเมตร
- 5) สายนำสัญญาณ RG 8/U และ CONNECTER UG-23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วิธีการทำ

- 1) ตัดท่ออลูมิเนียมสี่เหลี่ยมได้ขนาดตามที่กำหนด และเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 15 รู โดยมีระยะห่างระหว่างรู 3.3 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อน
- 2) นำท่ออลูมิเนียมที่เป็นรีเฟลคเตอร์ มาเสียบที่รูที่เจาะเตรียมไว้แล้ว และทำการเจาะรูรีเฟลคเตอร์ด้วย เพื่อทำการยิงตัวรีเวตยึดท่อสี่เหลี่ยมกับท่อนรีเฟลคเตอร์ให้แน่นติดกัน
- 3) ทำการยึดรีเฟลคเตอร์ทั้ง 2 อัน โดยตัดแผ่นอลูมิเนียม 2 แผ่น ขนาด 2×10 เซนติเมตร และเจาะรูทั้ง 2 แผ่น ขนาด 0.7 เซนติเมตร แผ่นละ 2 รู และเจาะรูรีเฟลคเตอร์วัดจากปลายออกมา 4.5 เซนติเมตร จำนวน 1 รู ทั้ง 2 อันขนาด 0.7 เซนติเมตร เพื่อจะได้ยึดกับแผ่นอลูมิเนียม 2×10 เซนติเมตร ได้แล้วจึงนำน็อตมายึดให้ติดกัน โดยขนาดของมูรีเฟลคเตอร์สามารถปรับได้ตามความพอใจ
- 4) นำท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ตัดให้มีความยาว 20 เซนติเมตร แล้วนำข้อต่อสามทางสวมเข้าไป เพื่อให้ท่ออลูมิเนียมขนาด 1 นิ้ว ที่ใช้เป็นไดร์เวนอัสลิเมนต์ แล้วทำการเจาะรูลงไปเพื่อจะได้ทำการยึดติดกัน และใช้ เป็นจุดต่อสาย RG-8
- 5) นำสาย RG-8/U มาต่อกับ CONNECTER UG-23 โดยให้ตัวนำอันในต่อกับแกนตรงกลางของ CONNECTER และให้สายลวดถักลงกราวด์

3.3 การทดลอง

ในการที่จะทราบว่าสายอากาศที่สร้างขึ้นมานั้นมีประสิทธิภาพดีหรือไม่ จะต้องทำการวัดหาคุณสมบัติต่าง ๆ คือ VSWR, Radiation Pattern, Gain, Input Impedance, Directivity, Front to Back Ratio, และค่าประสิทธิภาพ (η)

3.3.1 การวัด VSWR

ตามการทดลองทำการวัดโดยใช้เครื่อง Network Analyzer มีขั้นตอนดังนี้

- 1) เปิดเครื่อง Network Analyzer ทำการ warm เครื่องรอจนกว่าเครื่องหมาย "oven cold" จะหายไป
- 2) ต่อสายนำสัญญาณด้านหนึ่งกับเครื่อง Network Analyzer
- 3) ตั้งความถี่เริ่มต้น ความถี่สุดท้าย และความถี่ที่ต้องการวัด
 - 3.1) กดปุ่ม START
 - 3.2) ป้อนความถี่ 0.825 GHz
 - 3.3) กดปุ่ม STOP
 - 3.4) ป้อนความถี่ 0.890 GHz
 - 3.5) กำหนดความถี่ที่ต้องการวัดกดปุ่ม MKR
 - 3.6) ป้อนความถี่ 0.8575 GHz

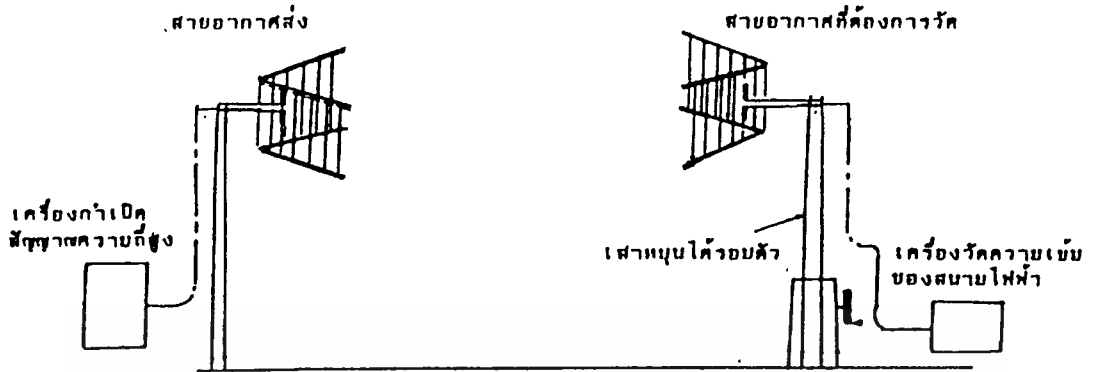
- 4) ต่อปลายด้านหนึ่งเข้ากับข้อต่อ (Connector)
- 5) จากนั้นจึง Calibrate สายเคเบิลดังนี้
 - 5.1) กดปุ่ม CAL
 - 5.2) เลือกรายการ Calibrate โดยกดปุ่ม CAL MENU
 - 5.3) เลือกพอร์ท S11 และจะมีข้อความว่า OPEN, SHORT, LOAD
 - 5.4) ทำการ openload โดยต่อตัว open ที่มีขนาดเข้ากับข้อต่อ
 - 5.5) กดปุ่มที่มีข้อความว่า OPEN และ จะมีการขีดเส้นใต้ที่ข้อความนั้น คือ OPEN
 - 5.6) ถอด Open load ออกแล้วทำการต่อ Short load
 - 5.7) กดปุ่มที่มีข้อความว่า SHORT และจะมีการขีดเส้นใต้ที่ข้อความนั้น คือ SHORT
 - 5.8) ถอด Short load และทำการต่อ Dummy load
 - 5.9) กดปุ่มที่มีข้อความ LOAD และจะมีการขีดเส้นใต้ที่ข้อความนั้น คือ LOAD
 - 5.10) จากนั้นจะมีข้อความว่า BROADBAND, SLIDBAND, LOWBAND ขึ้นมาที่หน้า

จอแสดงผล

- 5.11) เลือก BROADBAND
- 5.12) กดปุ่ม DONE ที่อยู่ด้านล่างขวาของจอแสดงผล
- 5.13) กดปุ่ม DONE อีกครั้งจะมีข้อความ "cor" แสดงขึ้นที่ด้านซ้ายบนของจอแสดงผล
- 6) ถอด Dummy load ออก
- 7) นำสายอากาศคอร์เนอร์เพลกเตอร์ ต่อเข้ากับข้อต่อของสายจากเครื่อง Network Analyzer
- 8) กดปุ่ม FORMAT
- 9) เครื่องจะแสดงค่าต่าง ๆ ที่ต้องการวัด เช่น LOGMAG, VSWR, SMITHCHART ฯลฯ
- 10) เลือก VSWR
- 11) เครื่อง Network จะแสดงค่าของ VSWR ที่วัดได้ที่หน้าจอ
- 12) ถ้าต้องการวัด SMITHCHART เลือกคำว่า SMITHCHART บนเครื่อง Network ก็ จะแสดงค่าออกมาที่หน้าจอซึ่งผลการทดลองโดยใช้ เครื่อง Network Analyzer ได้แสดงไว้ในบทที่ 4 ต่อไป

3.3.2 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเป็นรูปแบบที่แสดงความสามารถในการแพร่กระจายคลื่นออกไป หรือในการรับคลื่นเข้ามาของสายอากาศซึ่งเมื่อเขียน แพทเทิร์นออกมาแล้ว จะทำให้ทราบอัตราส่วนระหว่าง ขนาดของคลื่นที่ได้รับทางด้านหน้ากับขนาดของคลื่นที่รับได้ทางด้านหลัง (Front-to-Back Ratio) และทำให้ทราบอีกว่า ความกว้างของลำบีม หรือ ีมิมวิทท์ (Beamwidth) มีขนาดเป็นเท่าไร ซึ่งค่าบีมวิทท์จะเกี่ยวข้องกับอัตราขยายโดยตรง ในลักษณะที่ถ้าบีมวิทท์แคบ อัตราการขยายของสายอากาศจะสูง ในการทดลองบทที่ 4 ได้ทำการทดลองโดยวัดใน 2 ระนาบคือ ระนาบ E (Vertical-Polarize) และระนาบ H (Horizontal Polarize) ซึ่งลักษณะการต่ออุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 แสดงการต่ออุปกรณ์วัดแพทเทอรันของการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E



รูปที่ 3.5 แสดงการต่ออุปกรณ์วัดแพทเทอรันของการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ H

การทดลองนี้ได้ใช้สายอากาศฮอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ เป็นตัวแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) แล้วใช้สายอากาศฮอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์อีกตัวหนึ่งเป็นตัวรับสัญญาณ โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองมากกว่า $2D^2/\lambda$ เมื่อ D คือ ค่ามิติที่กว้างที่สุดของสายอากาศฮอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ แล้วทำการวัดแพทเทอรัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ตามการต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 3.4 โดยต่อทำสายอากาศฮอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ตัวส่งเข้ากับอาร์เอฟเจเนอเรเตอร์ (RF Generator) และสายอากาศฮอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ซึ่งเป็นตัวรับกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องสเปกตรัมอนาล็อกเซอร์ (Spectrum Analyzer) โดยทำการวัดในระนาบแนวตั้ง ซึ่งสายอากาศตัวรับสามารถหมุนได้รอบตัว

2) ตั้งค่าต่าง ๆ ของเครื่องสเปกตรัมอนาล็อกเซอร์ แล้วตั้งมาร์กเกอร์ให้ตรงกับความถี่ของอาร์เอฟเจนเนอเรเตอร์ ส่วนอาร์เอฟเจนเนอเรเตอร์นั้น ตั้งความถี่เอาท์พุทที่ 857.5 MHz และกำลังส่งมีค่า 10 dBm

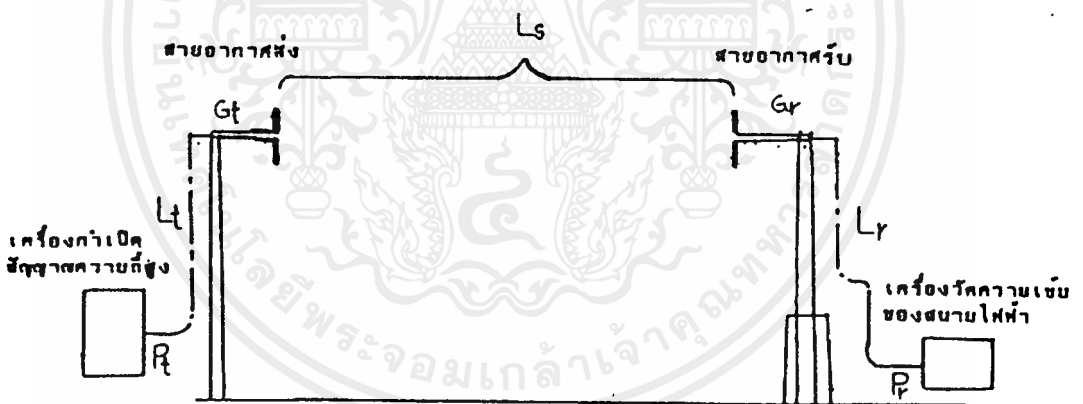
3) เมื่อเห็นเครื่องพร้อมแล้ว ปรับให้จุดกึ่งกลางของสายอากาศส่งตรงกับจุดกึ่งกลางของสายอากาศรับที่ทิศทาง 0 องศา แล้วทำการปรับจากตำแหน่งเดิมไปครึ่งละ 7.5 องศา อ่านค่าที่ได้แล้วบันทึกผลลงตารางจนครบ 360 องศา

4) เปลี่ยนระนาบการวัดเป็นแนวนอน ตามรูปที่ 3.5 แล้วทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 2 และ 3

5) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการ นอร์มัลไลซ์ (Normalize) แล้วนำค่าที่ได้ลงไปในกราฟ ซึ่งผลการทดลองของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ของสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์

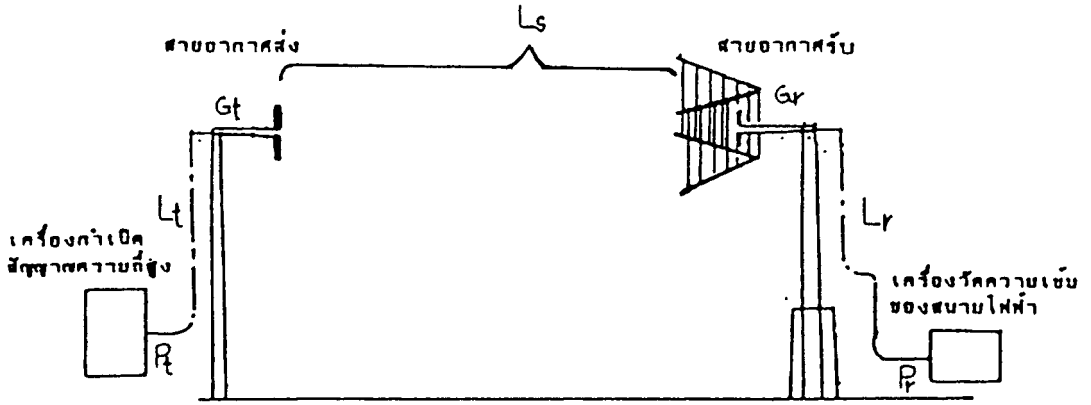
3.3.3 การวัดอัตรากาการขยายของสายอากาศ

การวัดอัตรากาการขยายของสายอากาศสามารถหาได้ โดยต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 แสดงการจับคู่อุปกรณ์เพื่อวัดอัตรากาการขยายของไดโพลมาตรฐาน

จากรูปที่ 3.6 ทำการวัดอัตรากาการขยายของสายอากาศไดโพลมาตรฐาน โดยใช้ไดโพลจำนวน 2 ตัว เป็นทั้งด้านส่งและด้านรับ และจากรูปที่ 3.7 ทำการวัดอัตรากาการขยายของสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ โดยใช้สายอากาศไดโพลมาตรฐานตัวเดิมเป็นตัวส่ง แล้วนำค่าอัตรากาการขยายที่ได้จากรูปที่ 3.7 ลบด้วยค่าอัตรากาการขยายที่ได้จากรูปที่ 3.6 จะได้อัตรากาการขยายจริงของสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ ซึ่งเวลาที่ทำกรวัดทั้งสองครั้ง สายอากาศทางด้านส่งและทางด้านรับจะต้องทำมุมกัน 0 องศา



รูปที่ 3.7 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการวัดอัตราการขยายสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ การวัดอัตราการขยายจริงสามารถหาได้ดังนี้

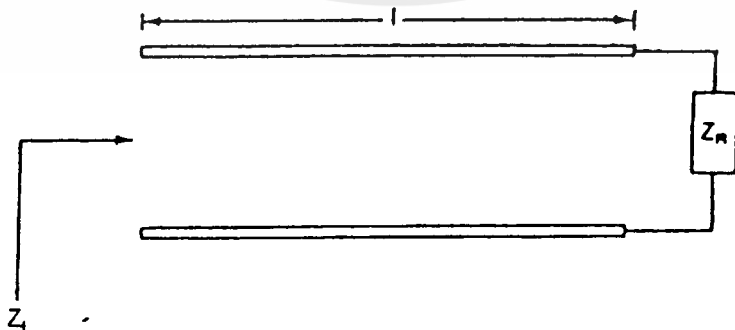
$$G = Gr2 - Gr1 \quad (\text{dBd})$$

- เมื่อ G = อัตราการขยายจริงของสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์
- $Gr1$ = อัตราการขยายของสายอากาศรับไดโพลมาตรฐาน
- $Gr2$ = อัตราการขยายของสายอากาศรับคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์

3.3.4 การวัดอินพุทอิมพีแดนซ์ (Input Impedance)

เมื่อสายอากาศหรือโหลด ต่อเข้ากับสายส่งสัญญาณ ถ้าค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดนั้นไม่เท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณ ก็เกิดการสะท้อนของคลื่นกลับเข้าไปในสายส่งสัญญาณอีกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันและกระแสตามตำแหน่งต่าง ๆ ค่าอิมพีแดนซ์ของสาย Z_i เมื่อต่อกับโหลด Z_R โดยที่สายมีความยาว l ดังแสดงในรูปที่ 3.7 สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ คือ

$$Z_i = Z_o \times \frac{Z_R + jZ_o \tan(2\pi/\lambda)}{Z_o + jZ_R \tan(2\pi/\lambda)} \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.8 แสดงค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณยาว l ต่ออยู่กับโหลด Z_R

ส่วนการวัดอินพุทอิมพีแดนซ์จากการทดลองนั้นใช้ Network Analyzer วัดค่าออกมาเลย ซึ่งวิธีการวัดได้กล่าวไปพร้อมกับเรื่องการวัด VSWR แล้วซึ่งค่าที่ได้อยู่ในบทถัดไป

3.3.5 การหาไดเรกทิวิตี (Directivity)

ไดเรกทิวิตีเป็นคุณสมบัติของสายอากาศ ที่แสดงความสามารถในการกระจายคลื่นไปในทิศทางหนึ่งซึ่งมีความเข้มของพลังงานสูงสุด ความสัมพันธ์ของไดเรกทิวิตีกับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น แสดงดังสมการ

$$D = \frac{41253 \text{ องศา}^2}{\theta V \times \theta H} \quad (3.2)$$

3.3.6 การหาอัตราส่วนโวลเบหน้าต่อโวลเบหลัง (Front to Back Ratio)

เป็นอัตราส่วนของความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศ โดยคิดจากทิศที่ต้องการกับทิศที่ไม่ต้องการ (บริเวณ 60 องศา ในโวลเบตรงกันข้ามกับทิศที่ต้องการ) หาได้จาก

F/B = ค่าความแรงของสัญญาณในทิศที่ต้องการ (dBm) -- ค่าความแรงของสัญญาณในทิศที่ไม่ต้องการ (dBm)

3.3.7 การหาประสิทธิภาพของสายอากาศ (η)

ประสิทธิภาพของสายอากาศ หาได้โดยสมการ

$$\eta = G/D$$

G = อัตราขยายของสายอากาศ

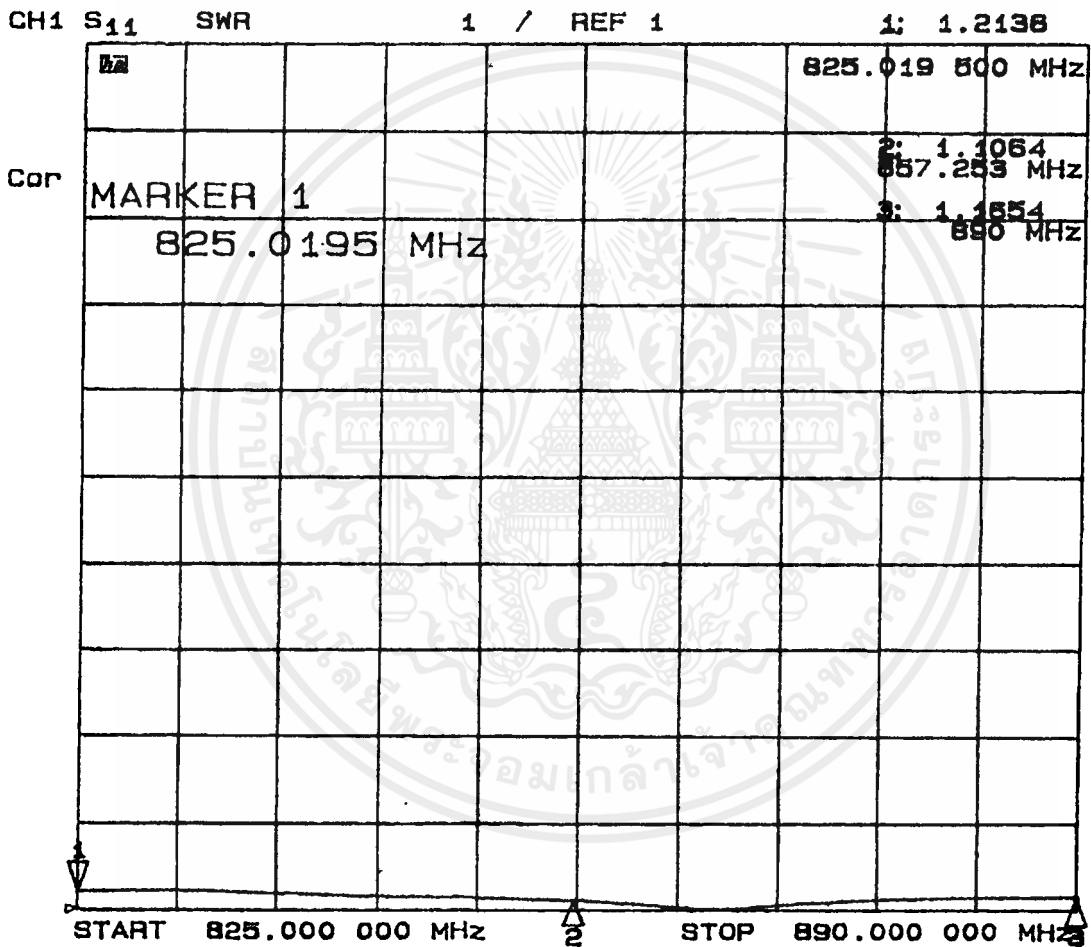
D = ไดเรกทิวิตี

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ค่า SWR

ค่าที่ได้จากการทดลองนี้เป็นการวัดจากเครื่อง Network Analyzer ซึ่งให้ผลที่เชื่อถือได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นรูปที่บันทึกตามขนาดมุมของรีเฟลกเตอร์ทั้ง 2 ด้านคือ มุม 30° , 45° , 60° และ 90° ซึ่งในการวัด SWR นี้จะทำการ Mark ความถี่ไว้ที่ 3 ความถี่ด้วยกันคือ 825.0195 MHz, 857.253 MHz และ 890 MHz จะเห็นว่าค่า SWR มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามการปรับระยะ S ที่ได้บันทึกไว้นี้เป็นการปรับในขณะที่ SWR มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าไม่เกิน 1.5 : 1 ตลอดช่วงความถี่ 825 - 890 MHz

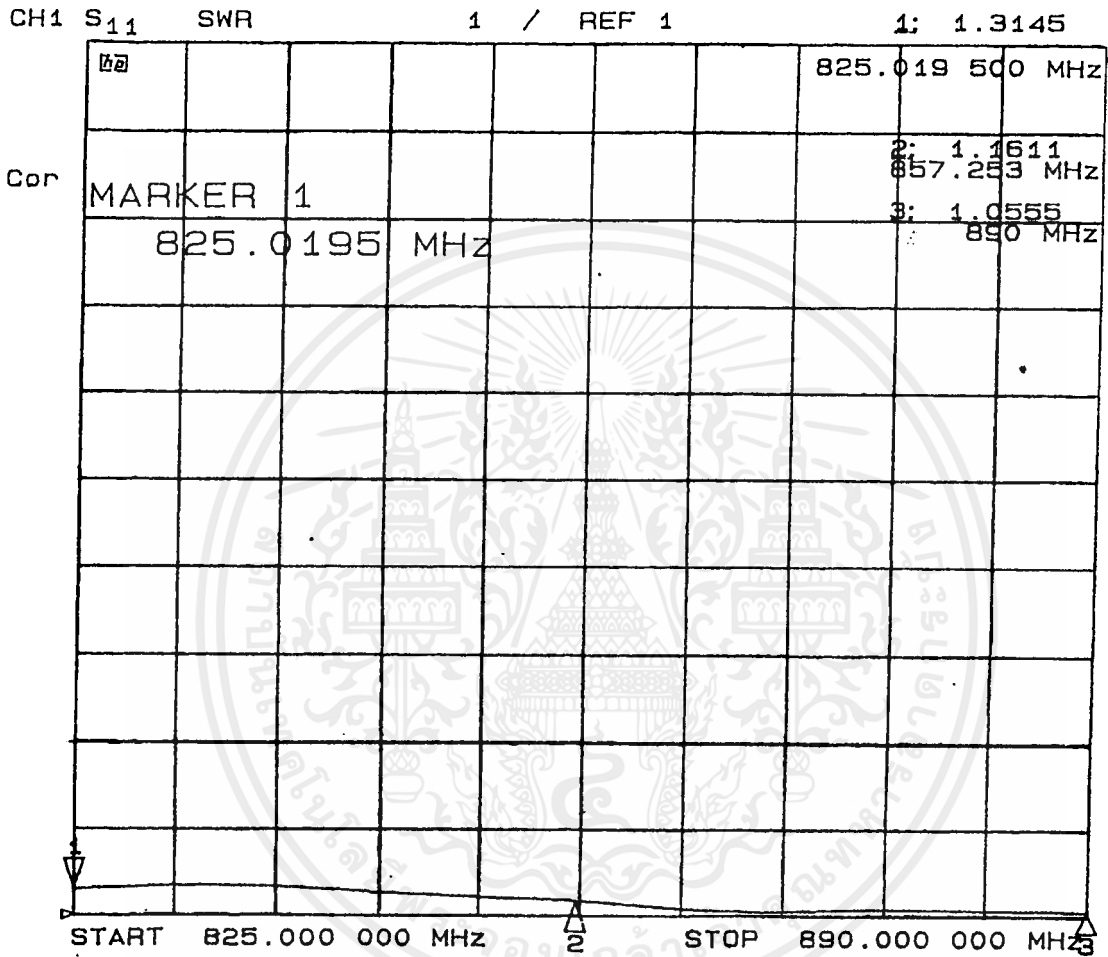


Marker 1 ที่ 825.0195 MHz ค่า SWR จะได้ 1.2136 : 1

Marker 2 ที่ 857.253 MHz ค่า SWR จะได้ 1.1064 : 1

Marker 3 ที่ 890 MHz ค่า SWR จะได้ 1.1654 : 1

รูปที่ 4.1 แสดงค่า SWR ของคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ที่มุมระหว่างแผ่นสะท้อน = 30°

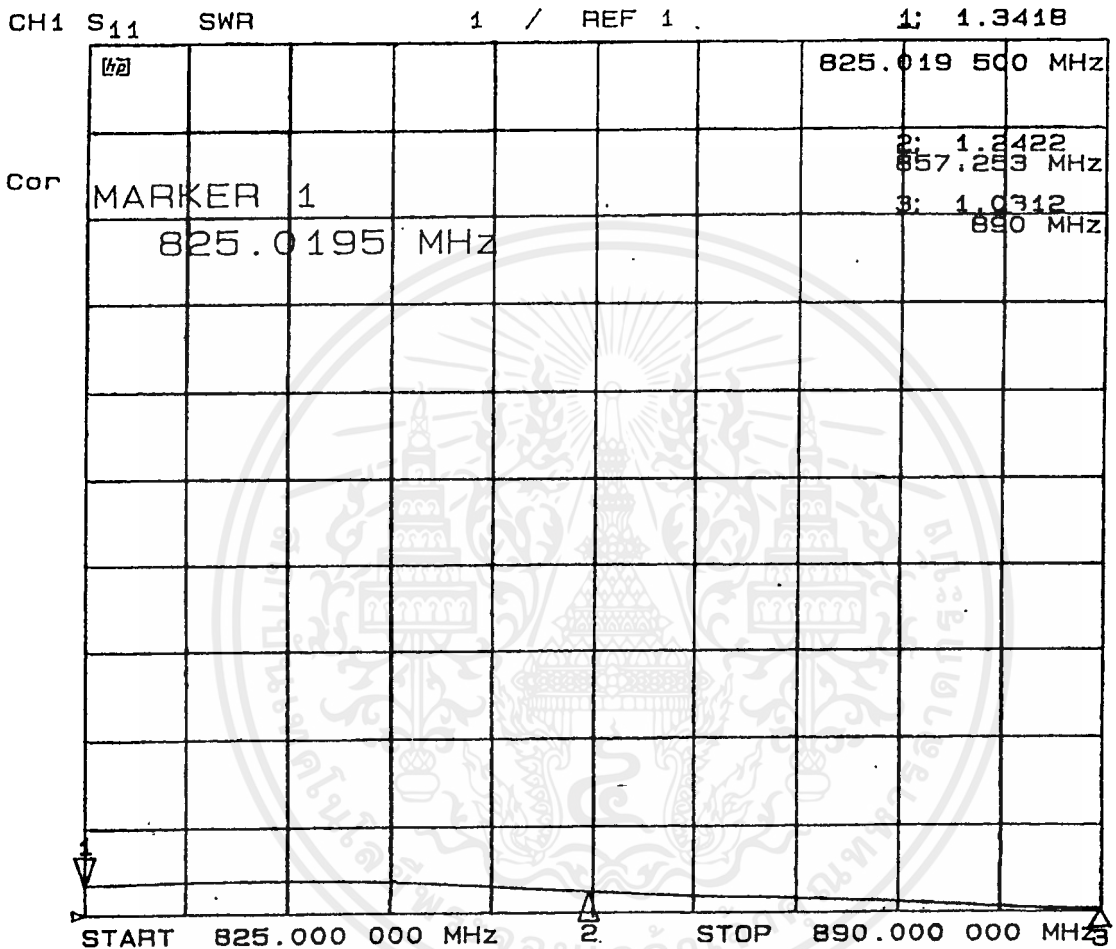


Marker 1 ที่ 825.0195 MHz ค่า SWR จะได้ 1.3145 : 1

Marker 2 ที่ 857.253 MHz ค่า SWR จะได้ 1.1611 : 1

Marker 3 ที่ 890 MHz ค่า SWR จะได้ 1.0555 : 1

รูปที่ 4.2 แสดงค่า SWR ของคอร์เนอริเฟลกเตอร์ ที่มีระหว่างแผ่นสะท้อน = 45°

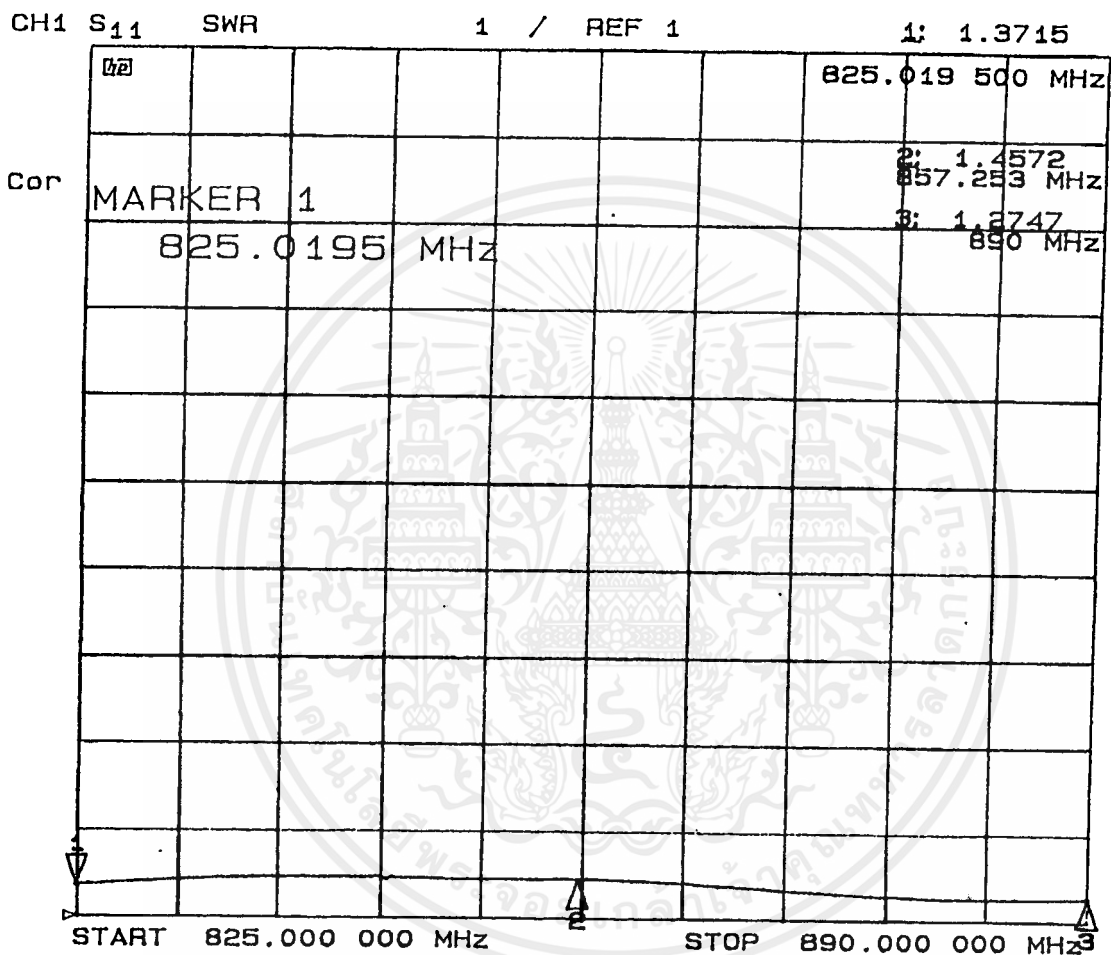


Marker 1 ที่ 825.0195 MHz ค่า SWR จะได้ 1.3418 : 1

Marker 2 ที่ 857.253 MHz ค่า SWR จะได้ 1.2422 : 1

Marker 3 ที่ 890 MHz ค่า SWR จะได้ 1.0312 : 1

รูปที่ 4.3 แสดงค่า SWR ของคอร์เนอร์เฟล็กเตอร์ ที่มุมระหว่างแผ่นสะท้อน = 60°



Marker 1 ที่ 825.0195 MHz ค่า SWR จะได้ 1.3715 : 1

Marker 2 ที่ 857.253 MHz ค่า SWR จะได้ 1.4572 : 1

Marker 3 ที่ 890 MHz ค่า SWR จะได้ 1.2747 : 1

รูปที่ 4.4 แสดงค่า SWR ของคอร์เนอร์เฟลกเตอร์ ที่มุมระหว่างแผ่นสะท้อน = 90°

4.2 ค่ารูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น

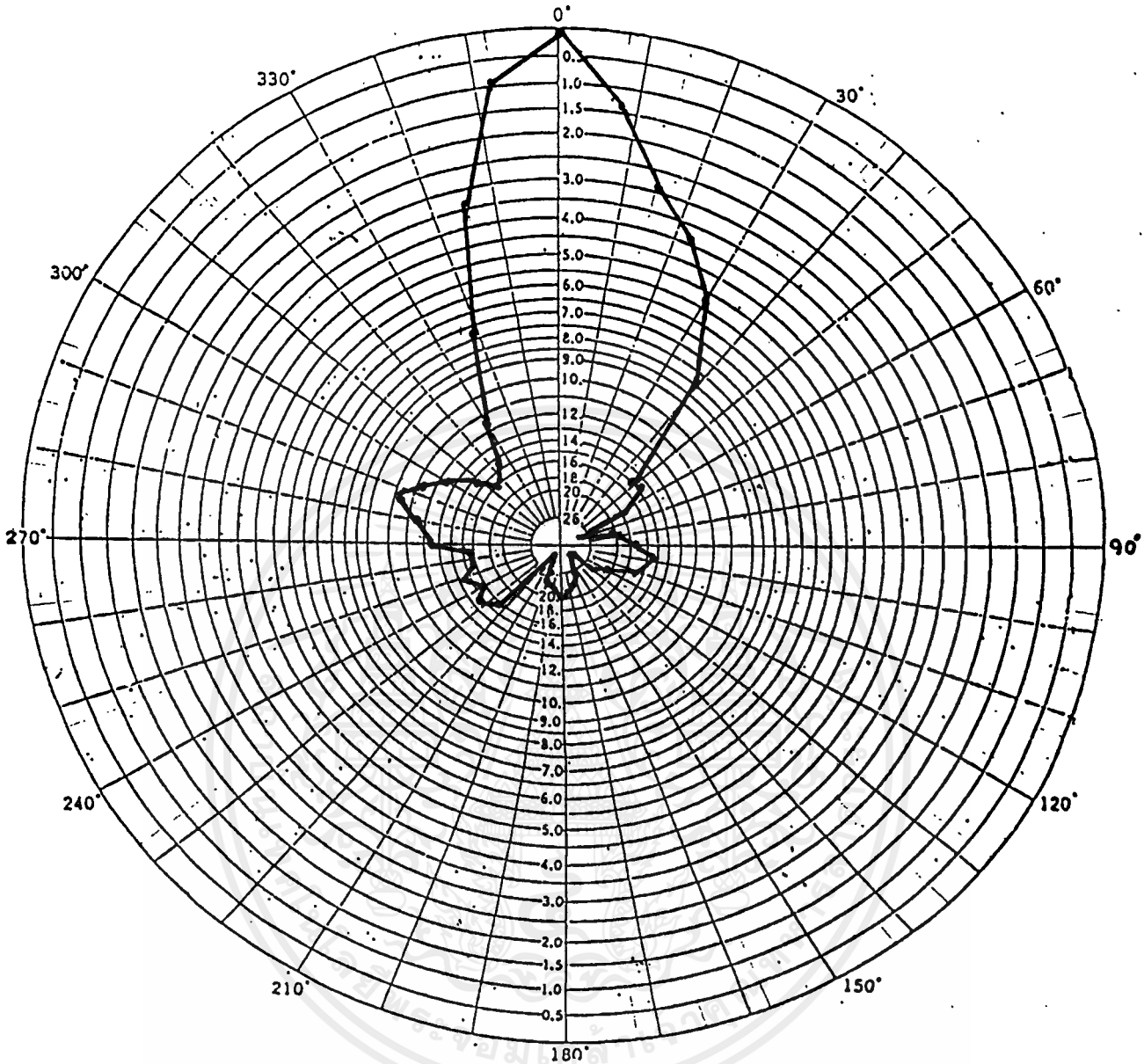
เป็นการนำค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ของสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์จาก Spectrum Analyzer ที่มุมต่าง ๆ กันมาบันทึกเป็นรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น โดยระยะห่างระหว่างสายอากาศส่ง กับสายอากาศรับเป็นระยะทางน้อยที่สุดเท่ากับ

$$\begin{aligned} (2D)^2/\lambda &= [2 \times (51.4)^2]/36.4 \\ &= 1.45 \quad \text{เมตร} \end{aligned}$$

ซึ่ง D คือ ค่ามิติที่กว้างที่สุดของสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ เท่ากับ 1.414λ

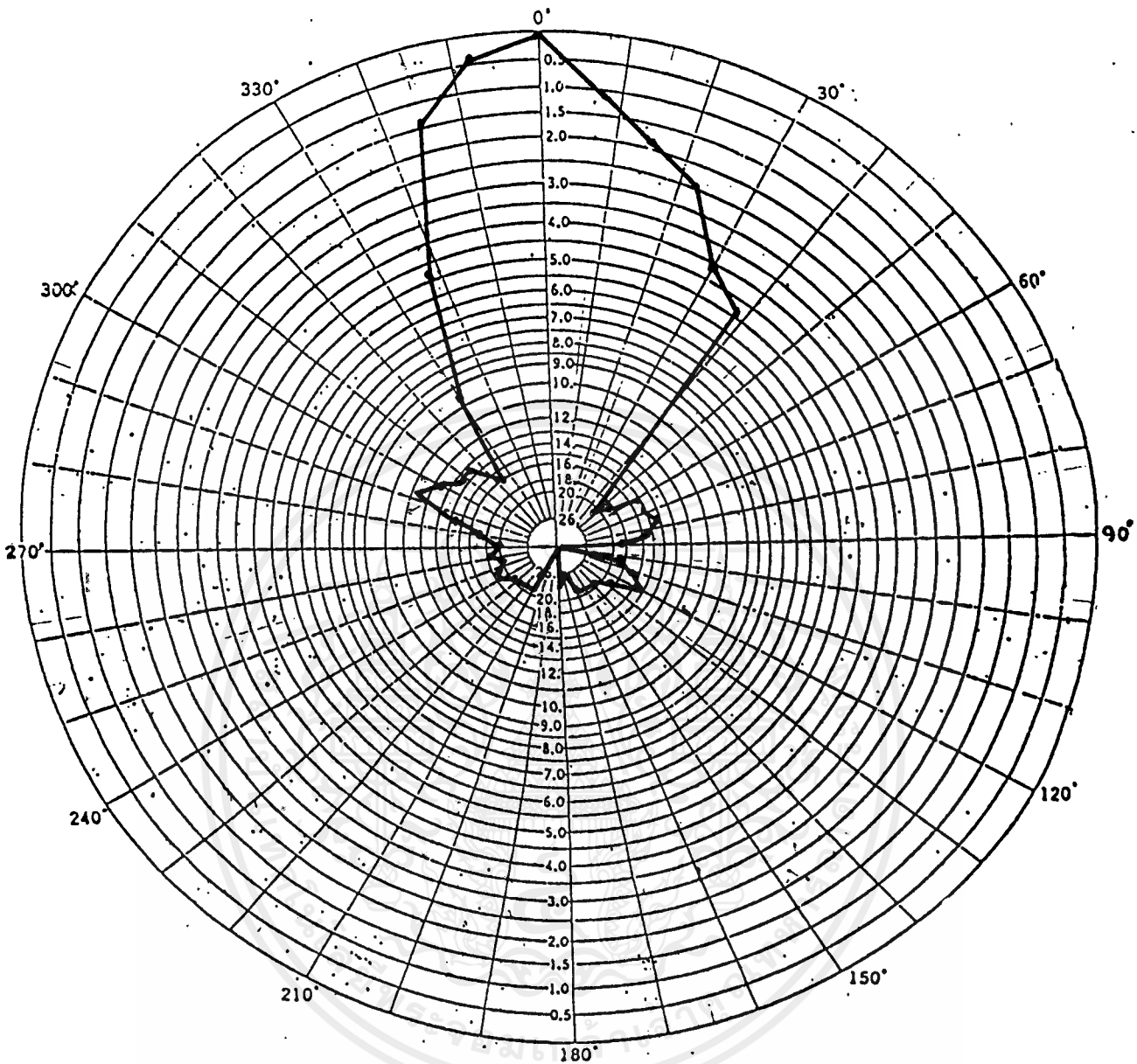
ในการทดลองใช้ระยะห่างประมาณ 15 เมตร นำค่าที่ได้ของแต่ละมุมมาทำการนอร์มัลไลซ์มาบันทึก ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.10 โดยวัดในระนาบ Vertical และระนาบ Horizontal ค่าที่ได้ของแต่ละความถี่ จะแสดงในภาคผนวก





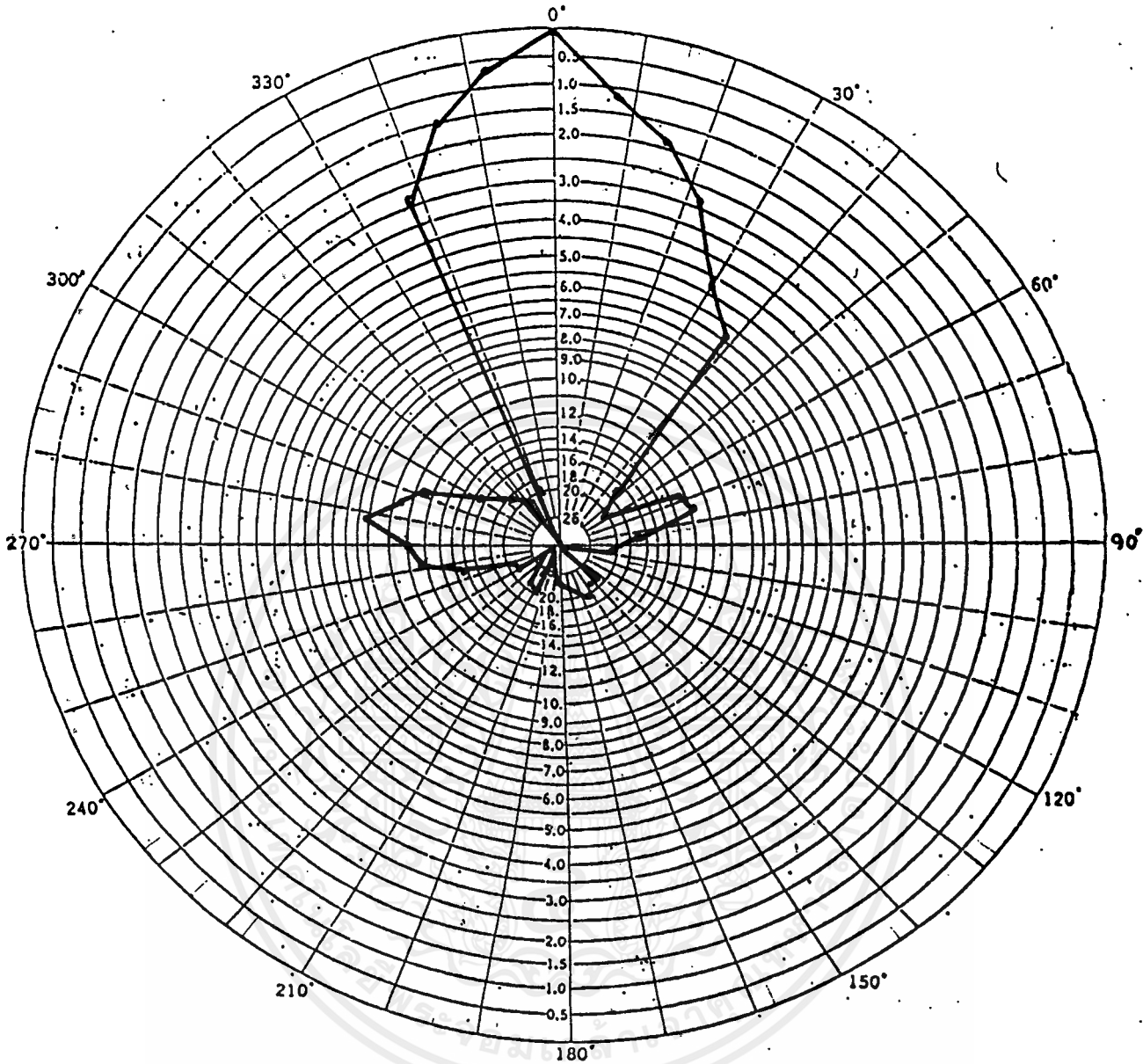
รูปที่ 4.5 แสดง Vertical Radiation Pattern ของความถี่ 825 MHz
(Beamwidth = 30°)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

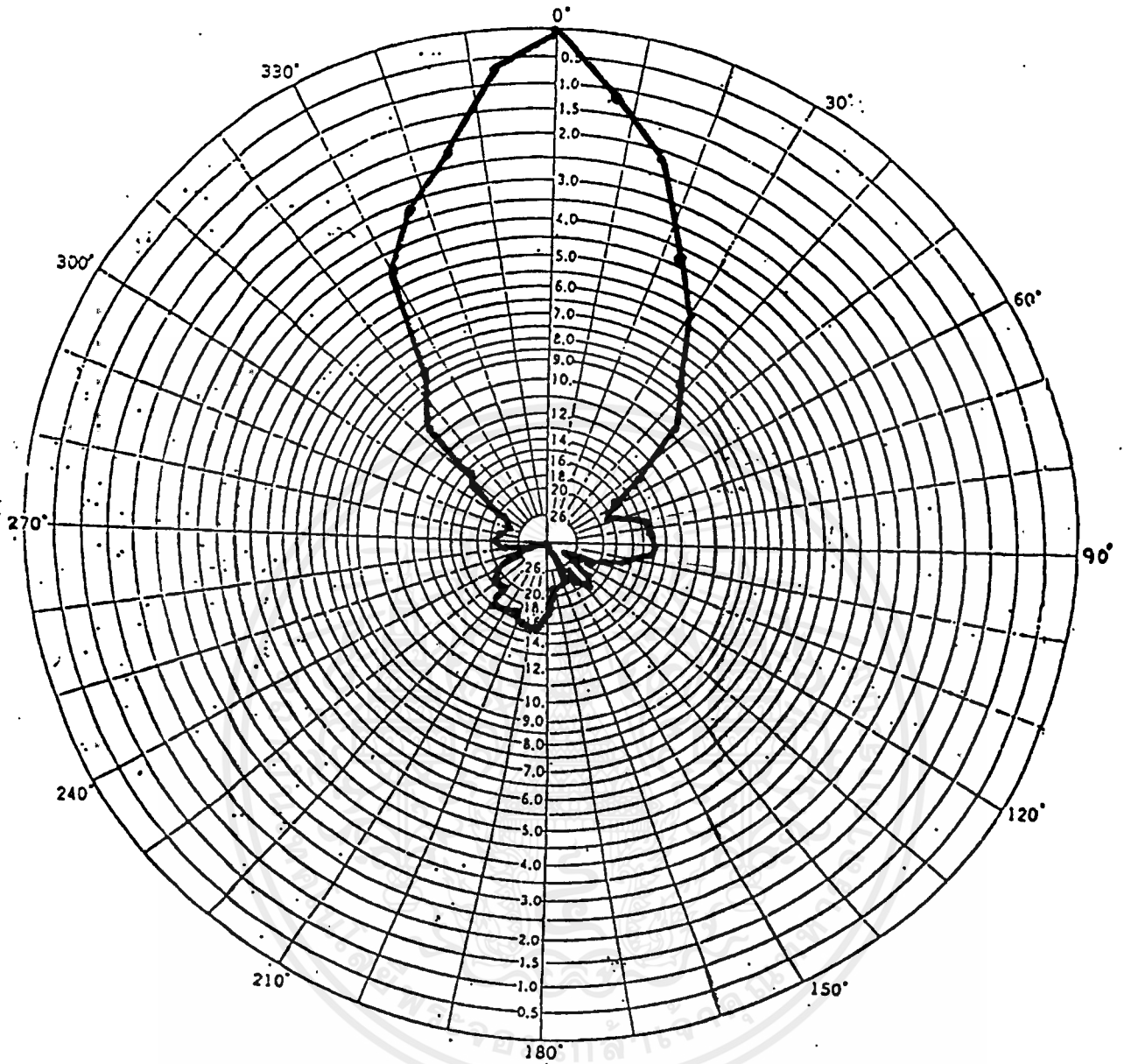


รูปที่ 4.6 แสดง Vertical Radiation Pattern ของความถี่ 857.5 MHz
(Beamwidth = 43°)

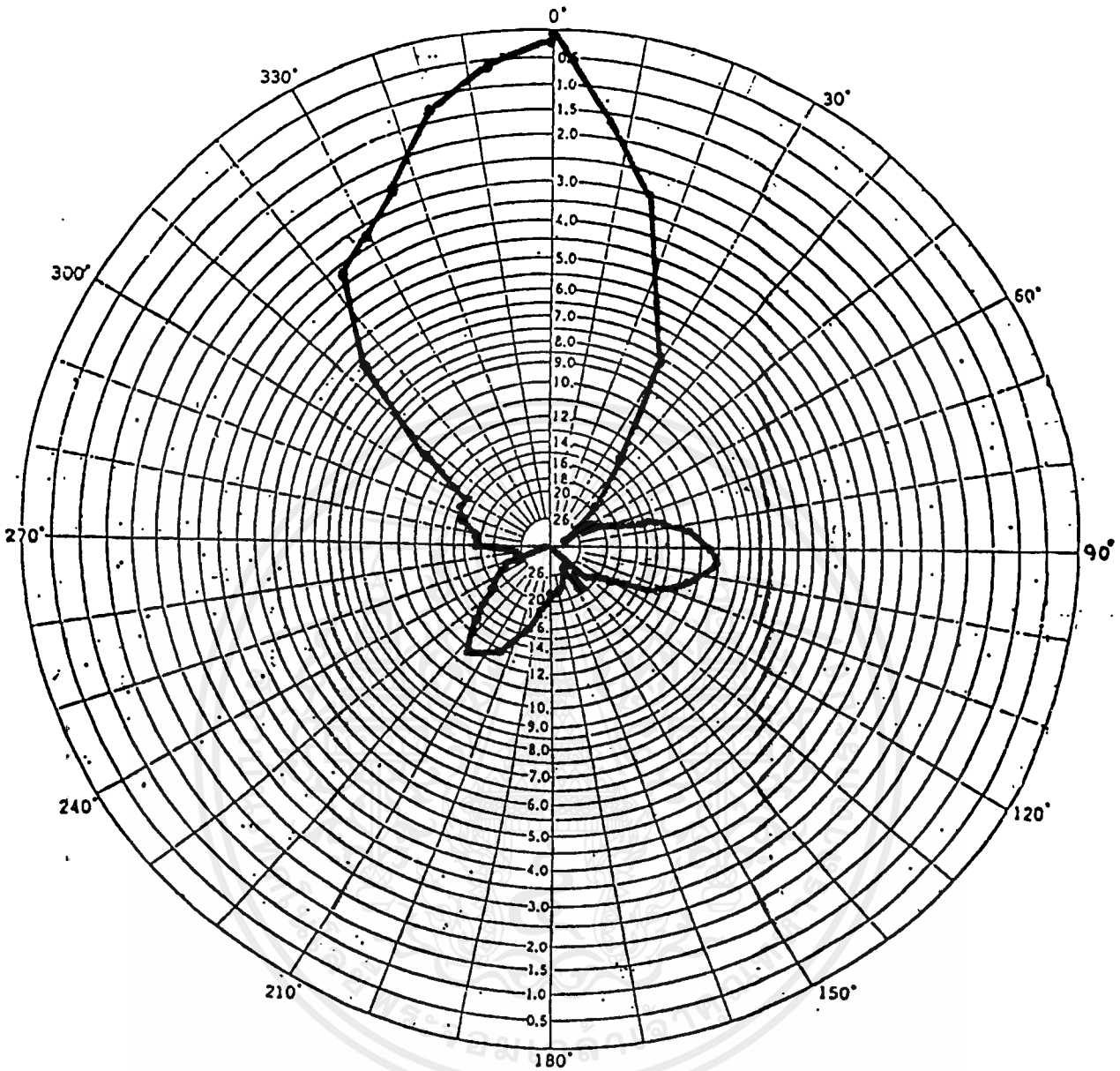
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดง Vertical Radiation Pattern ของความถี่ 890 MHz
(Beamwidth = 45°)

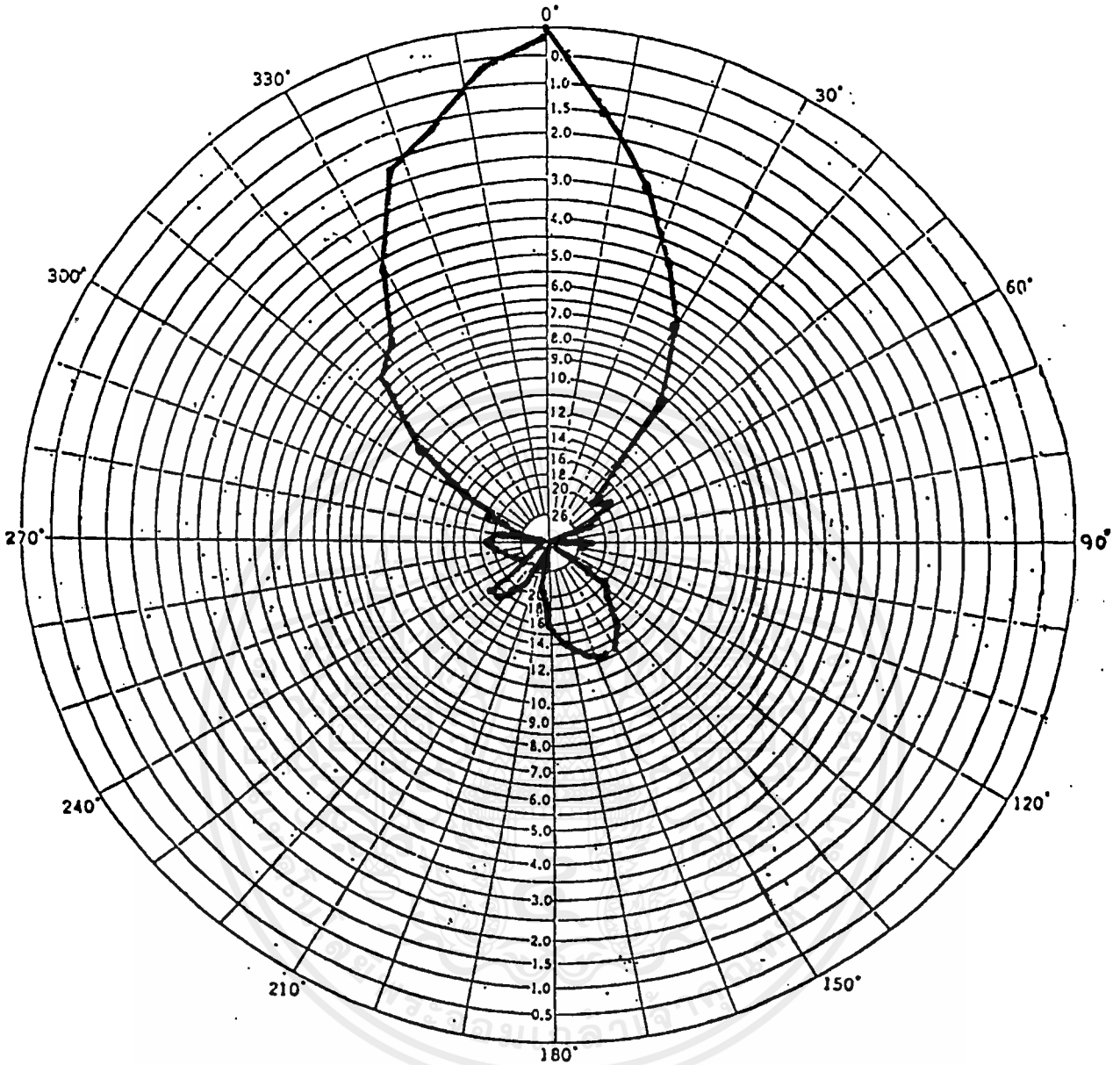


รูปที่ 4.8 แสดง Horizontal Radiation Pattern ของความถี่ 825 MHz
(Beamwidth = 40°)



รูปที่ 4.9 แสดง Horizontal Radiation Pattern ของความถี่ 857.5 MHz
(Beamwidth = 45 °)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดง Horizontal Radiation Pattern ของความถี่ 890 MHz
(Beamwidth = 45°)

4.3 อัตราการขยายของสายอากาศ (Gain)

$$\text{จากสูตร } G = Gr2 - Gr1 \quad (\text{dBd})$$

ด้าน Vertical ที่

ความถี่ 825 MHz

$$Gr1 = -31.715 \text{ dBd}$$

$$Gr2 = -26.8 \text{ dBd}$$

$$G = -26.8 + 31.715$$

$$= 4.915 \text{ dBd}$$

ความถี่ 857.5 MHz

$$Gr1 = -34.64 \text{ dBd}$$

$$Gr2 = -28.4 \text{ dBd}$$

$$G = -28.4 + 34.64$$

$$= 6.24 \text{ dBd}$$

ความถี่ 890 MHz

$$Gr1 = -35.61 \text{ dBd}$$

$$Gr2 = -29.3 \text{ dBd}$$

$$G = -29.3 + 35.61$$

$$= 6.31 \text{ dBd}$$

ด้าน Horizontal ที่

ความถี่ 825 MHz

$$Gr1 = -32.56 \text{ dBd}$$

$$Gr2 = -27.6 \text{ dBd}$$

$$G = -27.6 + 32.56$$

$$= 4.96 \text{ dBd}$$

ความถี่ 857.5 MHz

$$Gr1 = -34.5 \text{ dBd}$$

$$Gr2 = -29.6 \text{ dBd}$$

$$G = -29.6 + 34.5$$

$$= 4.9 \text{ dBd}$$

ความถี่ 890 MHz

$$Gr1 = -37.96 \text{ dBd}$$

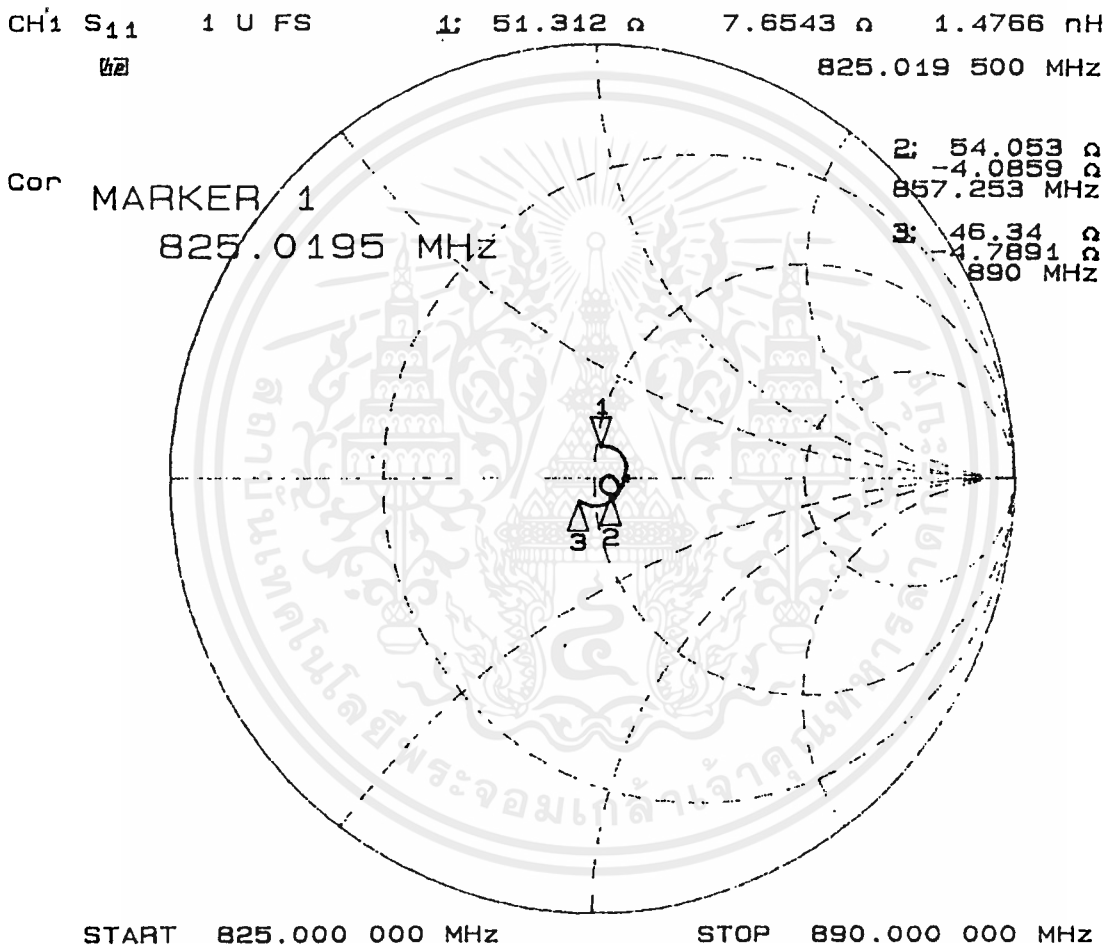
$$Gr2 = -29.9 \text{ dBd}$$

$$G = -29.9 + 37.96$$

$$= 8.06 \text{ dBd}$$

4.4 ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ (Input Impedance)

ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ในการทดลองได้จากเครื่อง Network Analyzer โดยเครื่องจะ plot ออกมาในรูปของวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ถึงรูปที่ 4.14 ซึ่งที่จุดศูนย์กลางของวงกลมแสดงค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ที่ 50 โอห์ม ดังนั้นถ้าค่าที่ plot ออกมาอยู่บริเวณใกล้จุดศูนย์กลางแสดงว่าอิมพีแดนซ์เข้าใกล้ 50 โอห์ม ซึ่งจะมีผลสัมพันธ์กับค่า SWR คือ ค่า SWR ก็จะทำให้เข้าใกล้ 1

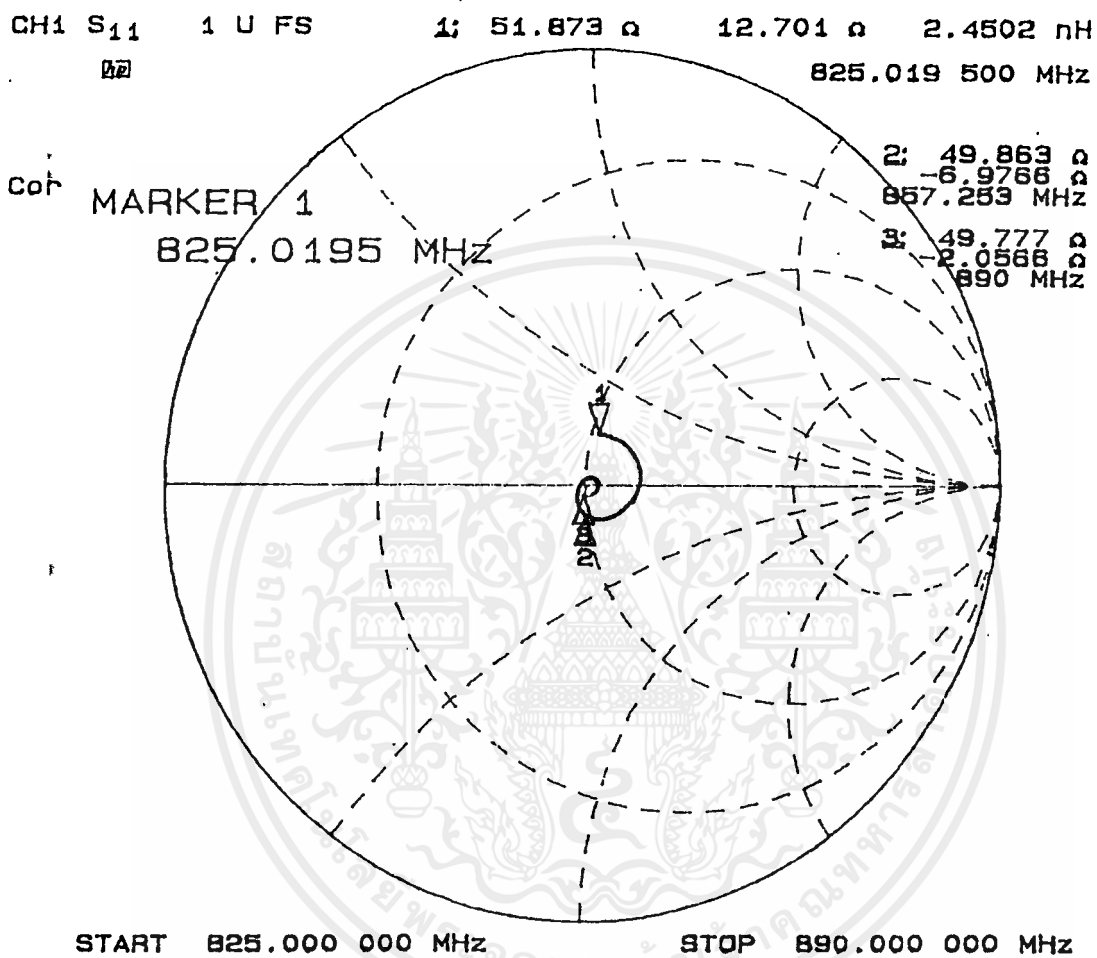


Marker 1 ที่ 825.0195 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $51.312 + j7.6543 \Omega$

Marker 2 ที่ 857.253 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $54.053 - j4.0859 \Omega$

Marker 3 ที่ 890 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $46.34 - j4.7891 \Omega$

รูปที่ 4.11 แสดงค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์ที่มุมระหว่างแผ่นสะท้อน = 30°

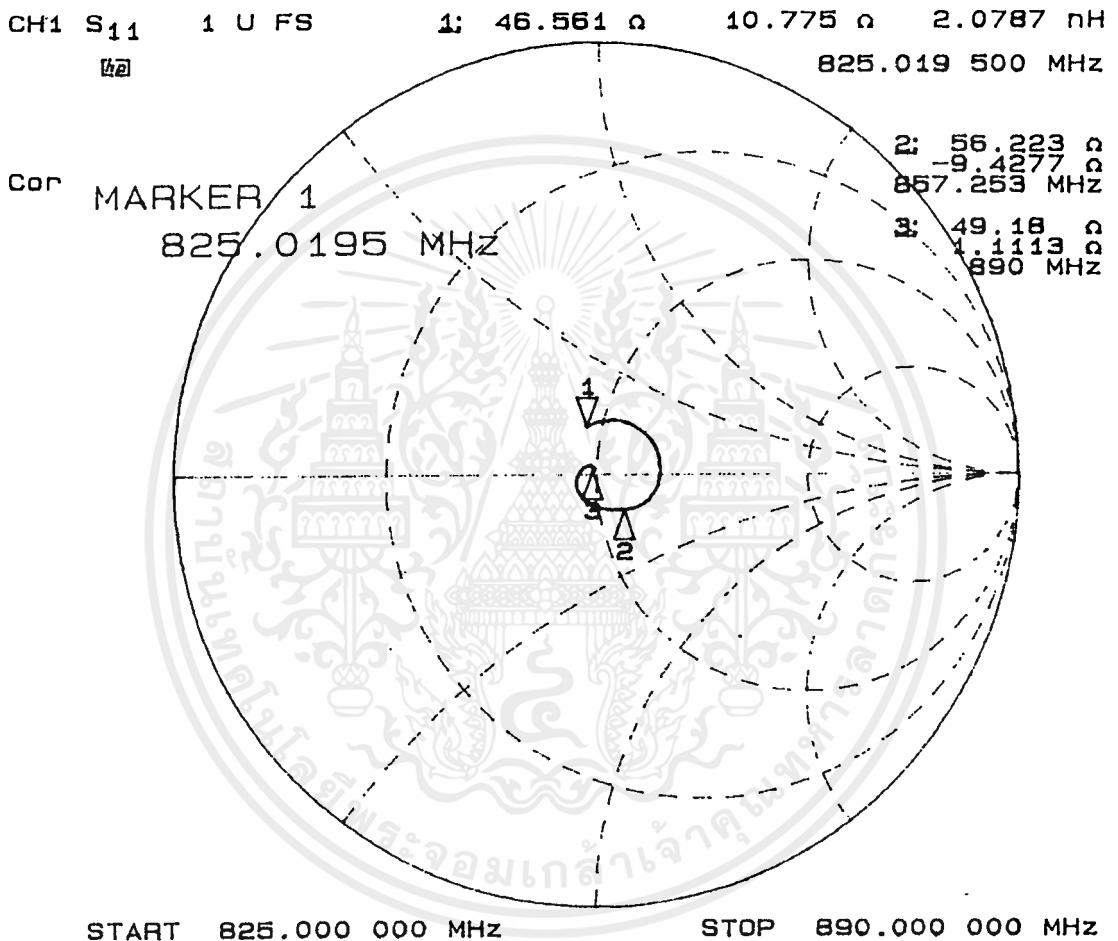


Marker 1 ที่ 825.0195 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $51.873 + j12.701 \Omega$

Marker 2 ที่ 857.253 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $49.863 - j6.9766 \Omega$

Marker 3 ที่ 890 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $49.777 - j2.0566 \Omega$

รูปที่ 4.12 แสดงค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของคอร์เนอริเฟลกเตอร์ที่มุมระหว่างแผ่นสะท้อน = 45°

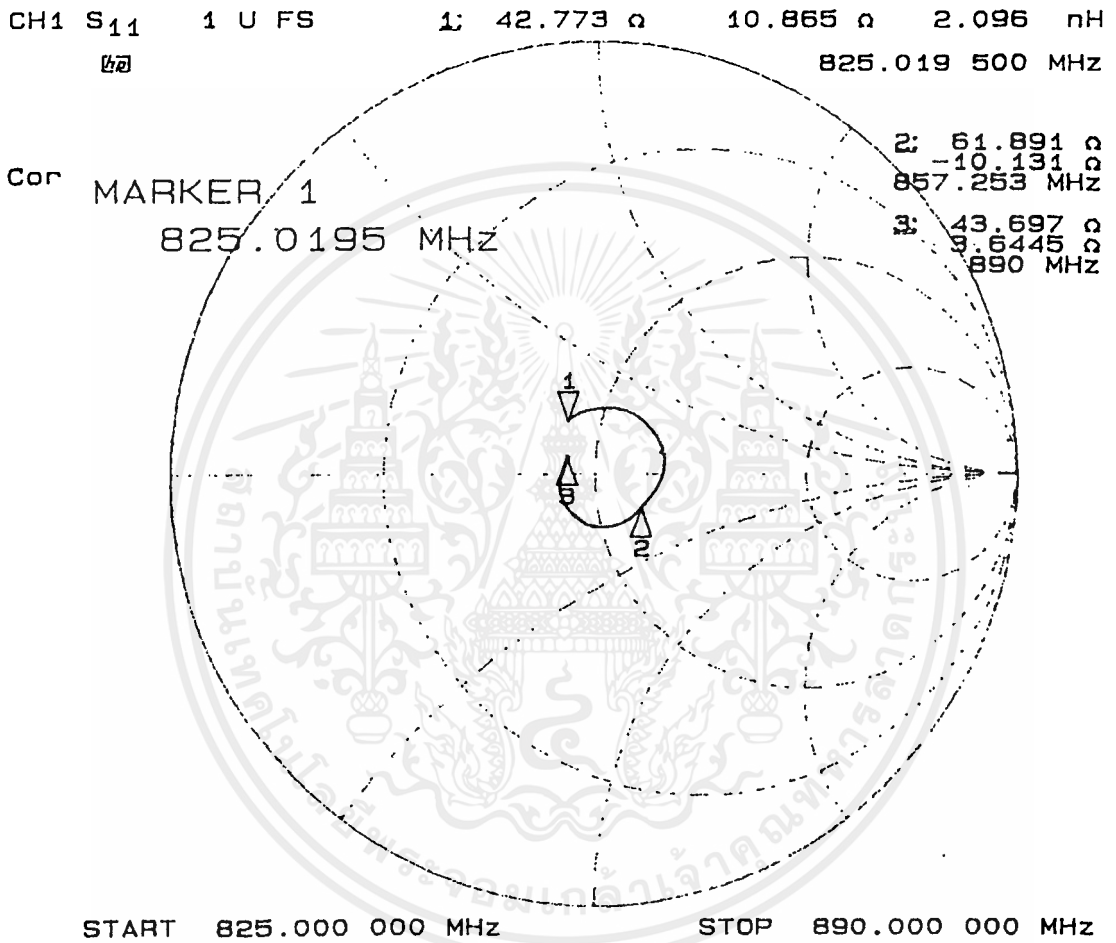


Marker 1 ที่ 825.0195 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $46.561 + j10.775 \Omega$

Marker 2 ที่ 857.253 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $56.223 - j9.4277 \Omega$

Marker 3 ที่ 890 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $49.18 + j1.1113 \Omega$

รูปที่ 4.13 แสดงค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของคอร์เนอริไฟล็กเตอร์ที่มุมระหว่างแผ่นสะท้อน = 60°



Marker 1 ที่ 825.0195 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $42.773 + j10.865 \Omega$

Marker 2 ที่ 857.253 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $61.891 - j10.131 \Omega$

Marker 3 ที่ 890 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $43.697 + j3.6445 \Omega$

รูปที่ 4.14 แสดงค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของคอร์เนอริเฟลกเตอร์ที่มุมระหว่างแผ่นสะท้อน = 90°

4.5 การหาไดเรกทิวิตี้ (Directivity)

$$\text{จากสูตร } D = 10 \log \frac{41253}{\theta V \times \theta H} \text{ องศา}^2 \quad (\text{dB})$$

สามารถหาไดเรกทิวิตี้ของแต่ละความถี่ ดังนี้

$$\text{ความถี่ 825 MHz } D = 10 \log \frac{41253}{30 \times 40} = 15.36 \quad \text{dB}$$

$$\text{ความถี่ 857.5 MHz } D = 10 \log \frac{41253}{43 \times 45} = 13.29 \quad \text{dB}$$

$$\text{ความถี่ 890 MHz } D = 10 \log \frac{41253}{45 \times 45} = 13.09 \quad \text{dB}$$

4.6 ค่าอัตราส่วนโวลบนหน้าต่อโวลบนหลัง (Front to Back Ratio)

จากสูตร $F/B = \text{ค่าความแรงของสัญญาณในทิศที่ต้องการ(dBm)} -$
 $\text{ค่าความแรงของสัญญาณในทิศที่ไม่ต้องการ(dBm)}$

จะได้อัตราส่วนโวลบนหน้าต่อโวลบนหลัง แต่ละความถี่ดังนี้

ระนาบ Vertical

$$\begin{aligned} \text{ความถี่ 825 MHz } F/B &= (-26.8 \text{ dBm}) - (-54.1 \text{ dBm}) \\ &= 27.3 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความถี่ 857.5 MHz } F/B &= (-28.4 \text{ dBm}) - (-52.7 \text{ dBm}) \\ &= 24.3 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความถี่ 890 MHz } F/B &= (-29.3 \text{ dBm}) - (-57.6 \text{ dBm}) \\ &= 28.3 \text{ dB} \end{aligned}$$

ระนาบ Horizontal

$$\begin{aligned} \text{ความถี่ 825 MHz } F/B &= (-27.6 \text{ dBm}) - (-55.8 \text{ dBm}) \\ &= 28.2 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความถี่ 857.5 MHz } F/B &= (-29.6 \text{ dBm}) - (-55.7 \text{ dBm}) \\ &= 26.1 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความถี่ 890 MHz } F/B &= (-29.9 \text{ dBm}) - (-52.7 \text{ dBm}) \\ &= 22.8 \text{ dB} \end{aligned}$$

4.7 ค่าประสิทธิภาพของสายอากาศ (η)

จากสูตร $\eta = G/D$

สามารถหาประสิทธิภาพของแต่ละความถี่ได้ดังนี้

ด้าน Vertical ที่

ความถี่ 825 MHz $G = 4.915$ dBd
 $D = 15.36$ dB
 $\eta = 4.915 / 15.36$
 $= 32.0 \%$

ความถี่ 857.5 MHz $G = 6.24$ dBd
 $D = 13.29$ dB
 $\eta = 6.24 / 13.29$
 $= 46.96 \%$

ความถี่ 890 MHz $G = 6.31$ dBd
 $D = 13.09$ dB
 $\eta = 6.31 / 13.09$
 $= 48.20 \%$

ด้าน Horizontal ที่

ความถี่ 825 MHz $G = 4.96$ dBd
 $D = 15.36$ dB
 $\eta = 4.96 / 15.36$
 $= 32.29 \%$

ความถี่ 857.5 MHz $G = 4.9$ dBd
 $D = 13.29$ dB
 $\eta = 4.9 / 13.29$
 $= 36.87 \%$

ความถี่ 890 MHz $G = 8.06$ dBd
 $D = 13.09$ dB
 $\eta = 8.06 / 13.09$
 $= 67.57 \%$

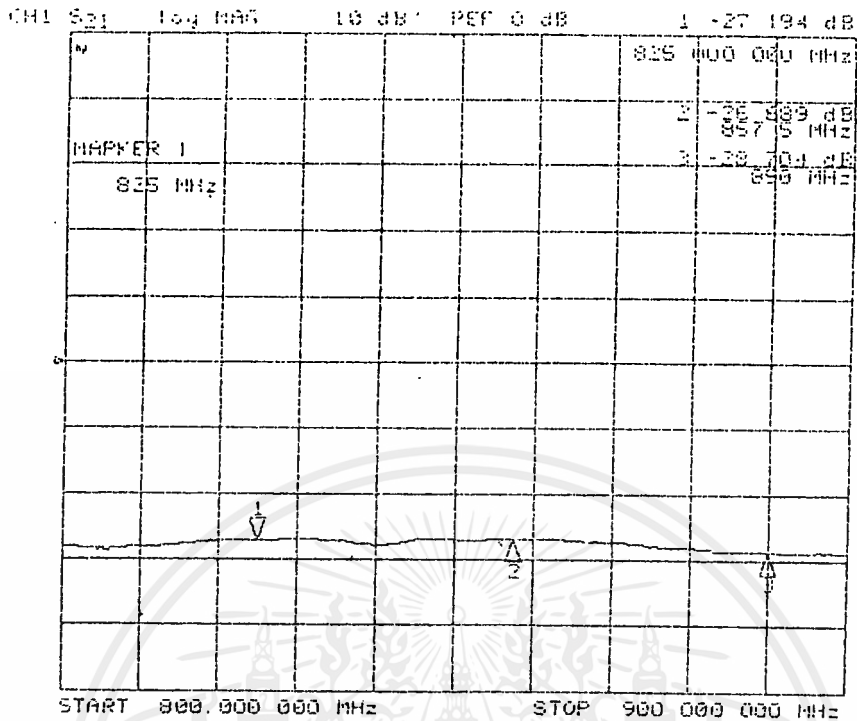
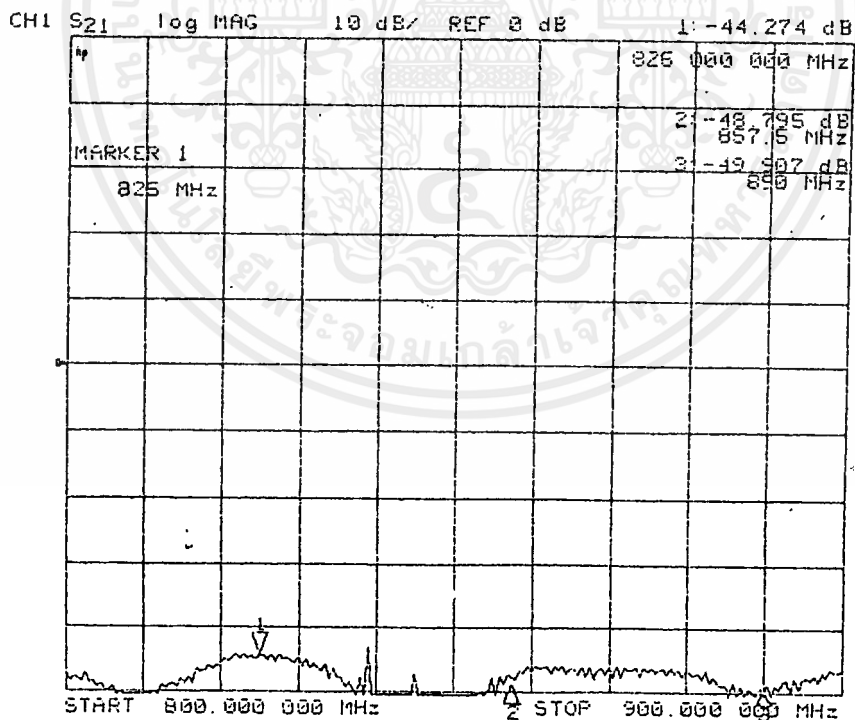
บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

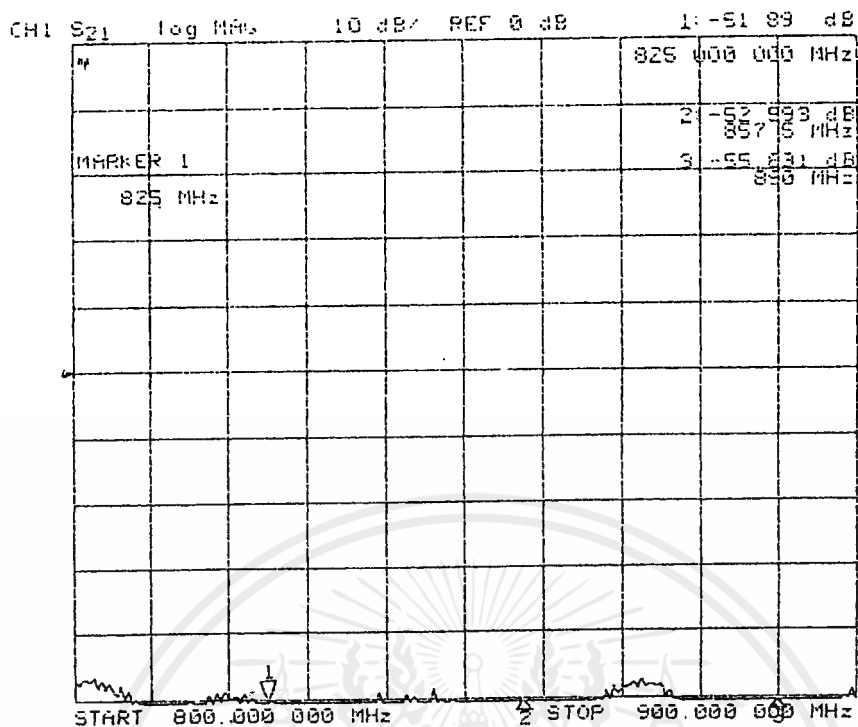
จากผลการทดลองจะสรุปได้ดังนี้

1. ค่า SWR ของสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ เมื่อเทียบกับค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ จะมีความสัมพันธ์กันดังนี้ คือ SWR มีค่าเข้าใกล้ 1 ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์จะเข้าใกล้ 50 โอห์ม
2. จากแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น ที่ได้เราสามารถหาค่า Beam width ของสายอากาศได้ในจุดที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งหรือ 3dB down ค่าที่ได้เป็นองศาถ้าค่าองศามีค่าน้อย แสดงว่าสายอากาศมี Beam width แคบ ถ้าค่าองศามีค่ามากสายอากาศจะมี Beam width กว้าง ผลการทดลองที่ได้ค่า Beam width ของระนาบ E และระนาบ H มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าความกว้างของลำบีมค่อนข้างสมมาตร
3. สายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์ที่สร้างขึ้นเป็น Broad Band Antenna ซึ่งสิ่งที่เป็นตัวกำหนด Band width ของสายอากาศนี้ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไดโพล กล่าวคือ ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของไดโพลสั้นจะให้ Band width กว้างกว่าไดโพลผอม และความหนาของไดโพลจะมีผลต่อ Beamwidth
4. ในการติดตั้งสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลคเตอร์เพื่อทำการใช้งานนั้นจะต้องทราบว่าสถานีส่งคลื่น Polarization แบบใด ในการติดตั้งก็ให้ติดตั้งใน Polarization เดียวกัน

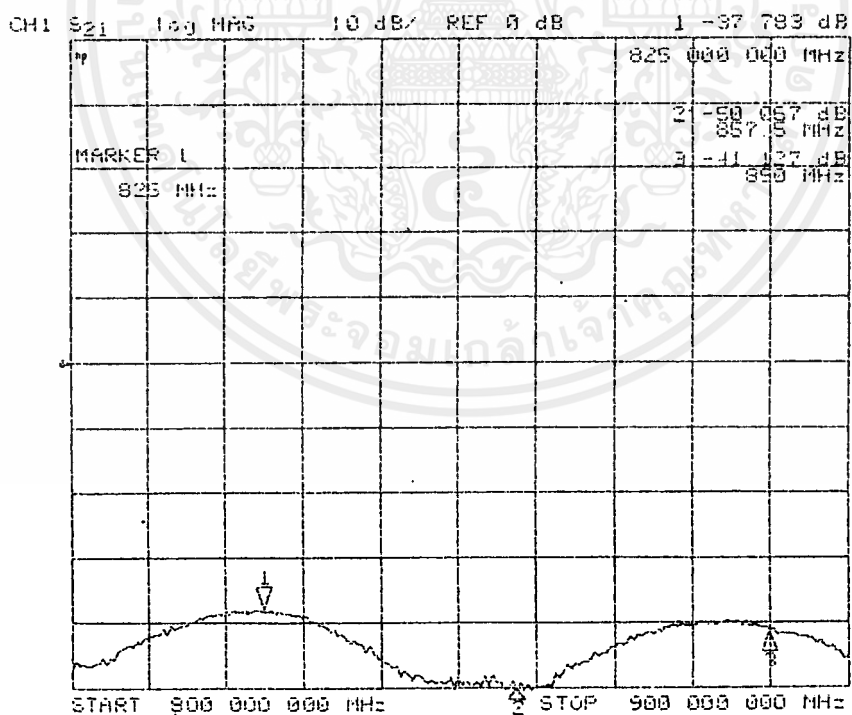
ภาคผนวก

รูปที่ A ค่าอัตราการขยายระนาบ Vertical ที่ 0° ของความถี่ 825,857.5 และ 890 MHzรูปที่ B ค่าอัตราการขยายระนาบ Vertical ที่ 90° ของความถี่ 825,857.5 และ 890 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

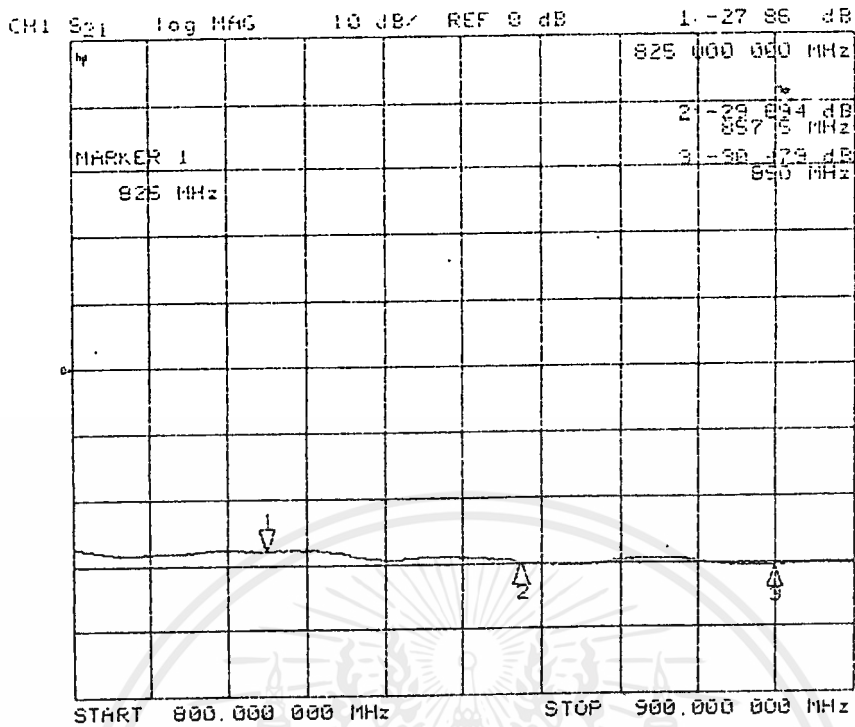


รูปที่ C ค่าอัตราการขยายระนาบ Vertical ที่ 180° ของความถี่ 825,857.5 และ 890 MHz

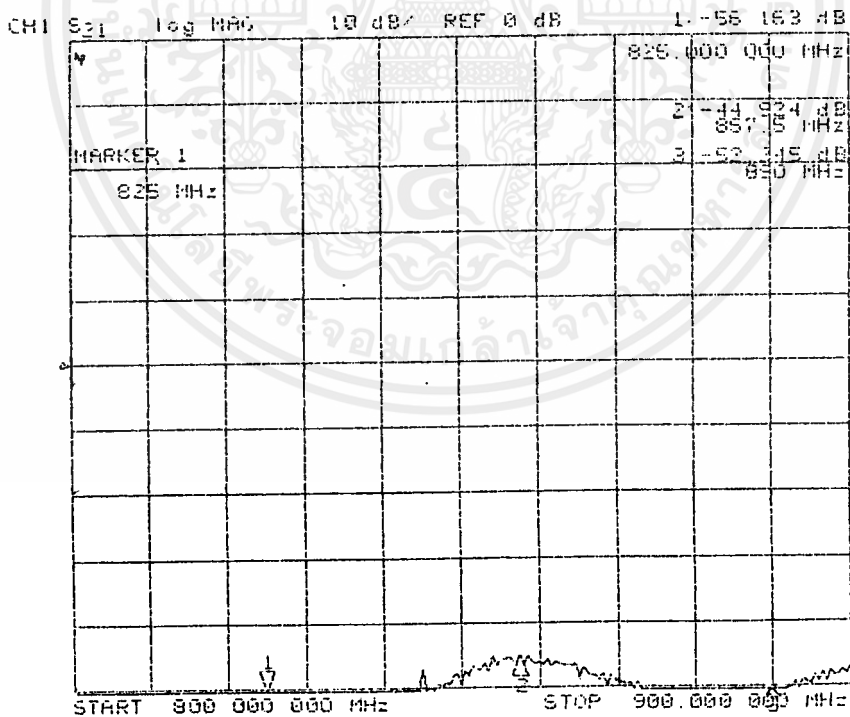


รูปที่ D ค่าอัตราการขยายระนาบ Vertical ที่ 270° ของความถี่ 825,857.5 และ 890 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

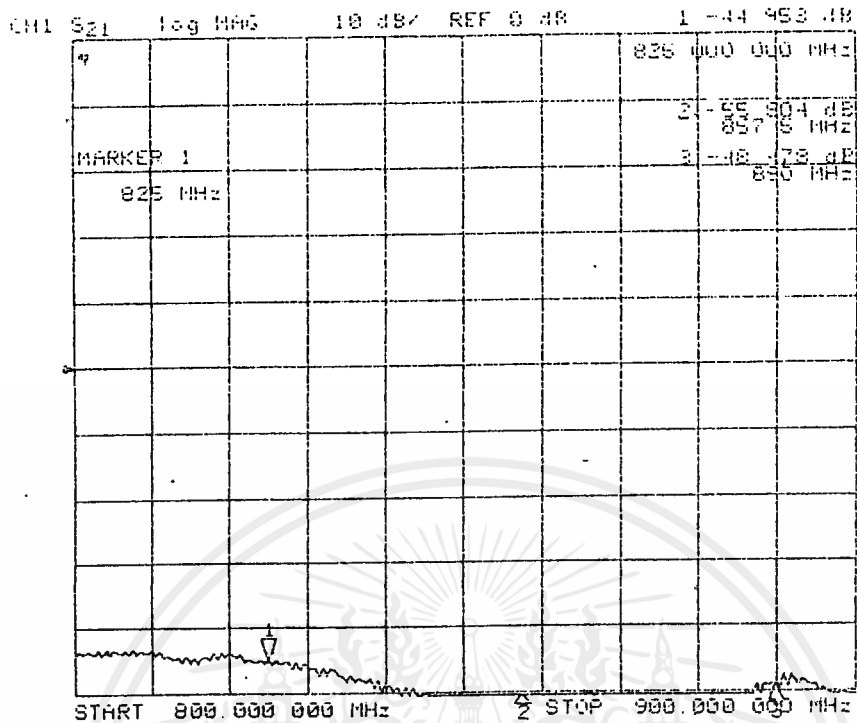


รูปที่ E ค่าอัตราการขยายระนาบ Horizontal ที่ 0° ของความถี่ 825, 857.5 และ 890 MHz

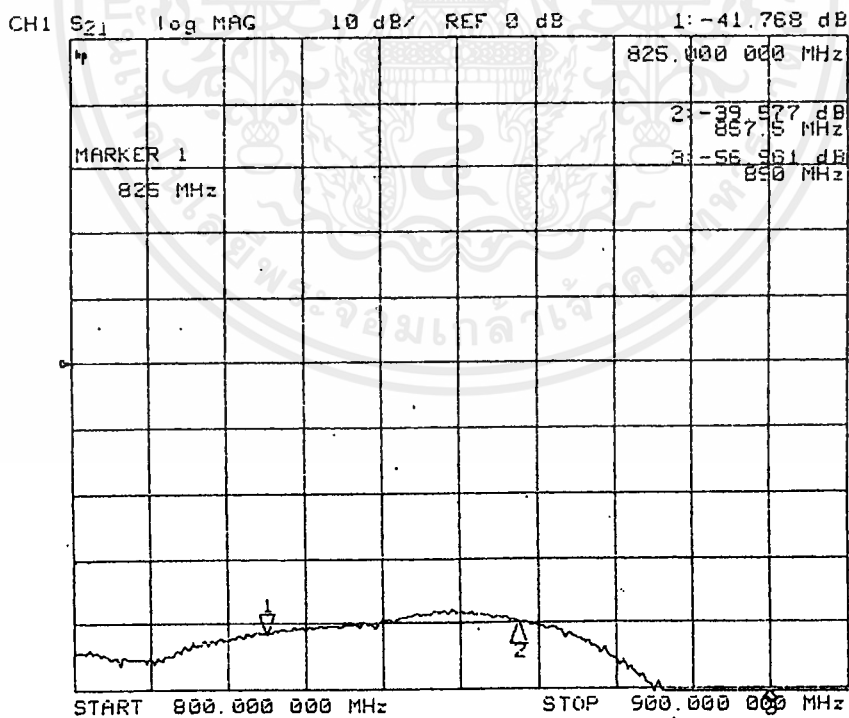


รูปที่ F ค่าอัตราการขยายระนาบ Horizontal ที่ 90° ของความถี่ 825, 857.5 และ 890 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ G ค่าอัตราการขยายระนาบ Horizontal ที่ 180° ของความถี่ 825,857.5 และ 890 MHz



รูปที่ H ค่าอัตราการขยายระนาบ Horizontal ที่ 270° ของความถี่ 825,857.5 และ 890 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency	825 Hz		857.5 MHz		890 MHz	
	Gain (-dB)	Normalize (-dB)	Gain (-dB)	Normalize (-dB)	Gain (-dB)	Normalize (-dB)
0	26.8	0	28.4	0	29.3	0
7.5	28.2	1.4	29.7	1.3	30.5	1.2
15	29.7	2.9	30.1	1.7	31.1	1.8
22.5	30.5	3.7	30.9	2.5	32.0	2.7
30	31.9	5.1	32.5	4.1	33.9	4.6
37.5	34.6	7.8	33.4	5	35.1	5.8
45	41.4	14.6	49.6	21.2	45.7	16.4
52.5	41.1	14.3	47.3	18.9	53.7	24.4
60	46.2	19.4	43.8	15.4	47.7	18.4
67.5	53.5	26.7	43.7	15.3	42.2	12.9
75	52.4	26.8	43.3	14.9	41.3	12
82.5	46.3	20.7	44.9	16.5	45.6	16.3
90	43.2	16.4	47.5	19.1	49.7	20.4
97.5	42.2	15.4	60.8	32.4	53.7	24.4
105	42.5	15.7	47.5	19.1	56.7	27.4
112.5	43.3	16.5	44.5	16.1	60.3	31
120	47.6	20.8	44.2	15.8	64.3	35
127.5	50.2	23.4	47.2	18.8	58.7	29.4
135	53.6	26.8	49.2	20.8	59.1	29.8
142.5	55.1	28.3	49.7	21.3	52.9	23.1
150	54.1	27.3	49.1	20.7	50.1	20.8
157.5	52.7	25.9	49.3	20.9	48.7	19.4
165	48.6	21.8	49.8	21.4	50.5	21.2
172.5	47.5	20.7	57.3	28.9	53.9	24.6
180	46.5	19.7	52.7	24.3	53.3	24

ตาราง A-1 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองและคำนวณอิมพลไลซ์ในระนาบ Vertical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency	825 Hz		857.5 MHz		890 MHz	
	Gain (-dB)	Normalize (-dB)	Gain (-dB)	Normalize (-dB)	Gain (-dB)	Normalize (-dB)
187.5	49.2	27.4	63.4	35	54.8	25.5
195	51.7	24.9	70.0	41.6	57.3	28
202.5	53.3	26.5	61.7	33.3	54.4	25.1
210	62.5	35.7	49.3	20.9	52.5	23.2
217.5	48.6	21.8	49.4	21	51.9	22.6
225	42.3	15.5	48.7	20.3	57.6	28.3
232.5	41.2	14.4	48.5	20.1	62.2	32.9
240	41.9	15.1	47.1	18.7	54.9	25.6
247.5	40.2	13.4	47.3	18.9	49.8	20.5
255	41.0	14.2	49.5	21.1	43.4	14.1
262.5	41.4	14.6	48.2	19.8	41.2	11.9
270	38.6	11.8	48.7	20.3	40.3	11
277.5	37.5	10.7	45.5	17.1	38.2	8.9
285	37.3	10.5	42.7	14.3	39.8	10.5
292.5	38.5	11.7	40.1	11.7	41.2	11.9
300	39.3	12.5	40.6	12.2	44.6	15.3
307.5	41.5	14.7	41.7	13.3	47.1	17.8
315	43.1	16.3	41.7	13.3	53.6	24.3
322.5	41.2	14.4	44.7	16.3	40.7	34.8
330	38.6	11.8	38.2	9.8	35.2	29.3
337.5	34.1	7.3	33.3	4.9	32.2	2.9
345	30.2	3.4	29.3	0.9	30.8	1.5
352.5	27.7	0.9	28.6	0.2	29.9	0.6
360	27.1	0.3	28.5	0.1	29.5	0.2

ตาราง A-2 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองและคำนวณอิมพลไลซีในระนาบ Vertical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency	825 Hz		857.5 MHz		890 MHz	
	Gain (-dB)	Normalize (-dB)	Gain (-dB)	Normalize (-dB)	Gain (-dB)	Normalize (-dB)
0	27.6	0	29.6	0	29.9	0
7.5	28.7	1.1	31.2	1.6	31.4	1.5
15	29.7	2.1	32.6	3	32.7	2.8
22.5	31.7	4.1	35.3	5.7	34.4	4.5
30	33.5	5.9	37.2	7.6	36.2	6.3
37.5	35.6	8	43.1	13.5	39.0	9.1
45	37.4	9.5	47.9	18.3	48.8	18.9
52.5	41.3	13.7	56.3	26.7	47.7	17.8
60	49.2	17.6	54.4	24.8	50.2	20.3
67.5	46.4	18.8	50.7	21.1	55.4	25.5
75	41.4	13.8	44.2	14.6	66.9	37
82.5	40.9	13.3	41.3	11.7	58.8	28.9
90	40.6	13	40.2	10.6	54.5	24.6
97.5	41.7	14.1	39.7	10.1	55.9	26
105	45.2	17.6	41.4	11.8	66.8	36.9
112.5	52.5	24.9	43.0	13.4	56.7	26.8
120	54.1	26.5	47.6	18	50.4	20.5
127.5	48.4	20.8	54.4	24.8	46.5	16.6
135	47.4	19.8	60.8	31.2	44.5	14.6
142.5	50.1	22.5	54.5	24.9	43.8	13.9
150	55.8	28.2	55.7	26.1	42.5	21.6
157.5	64.9	37.3	55.7	26.1	42.3	12.4
165	51.0	23.4	57.1	27.5	42.6	12.7
172.5	47.8	20.2	54.4	24.8	43.9	14
180	44.9	17.3	55.3	23.7	45.7	15.8

ตาราง B-1 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองและคำนวณมอดโลยีในระบบ Horizontal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency	825 Hz		857.5 MHz		890 MHz	
	Gain (-dB)	Normalize (-dB)	Gain (-dB)	Normalize (-dB)	Gain (-dB)	Normalize (-dB)
187.5	43.2	15.6	49.1	19.5	50.7	20.8
195	43.5	15.9	45.2	15.6	57.7	27.8
202.4	43.8	16.2	42.6	13	52.7	22.8
210	44.8	17.2	41.7	12.1	48.8	18.9
217.5	44.6	17	41.5	11.9	47.1	17.2
225	45.8	18.2	44.3	14.7	47.4	17.5
232.5	45.8	18.2	47.6	18	50.9	21
240	47.5	19.9	51.3	21.7	57.7	27.6
247.5	53.9	26.3	59.4	29.8	59.1	29.2
255	60.3	32.7	55.4	25.8	52.2	22.3
262.5	52.3	24.7	51.5	21.9	50.1	20.2
270	49.5	21.9	47.4	17.8	48.1	18.2
277.5	49.2	22.2	49.4	15.8	52.3	22.4
285	51.7	24.1	44.7	15.1	53.9	24
292.5	48.1	20.5	45.6	16	49.7	19.8
300	43.3	15.7	44.8	55.2	44.9	15
307.5	41.8	14.2	40.6	11	40.2	10.3
315	37.7	10.1	35.9	6.3	37.1	7.2
322.5	35.7	8.1	33.2	3.6	36.1	6.2
330	32.1	4.5	32.8	3.2	34.3	4.4
337.5	30.7	3.1	32.1	2.5	32.0	2.1
345	29.9	2.3	30.9	1.3	31.5	1.6
352.5	28.2	0.6	30.2	0.6	30.5	0.6
360	27.7	0.1	29.9	0.3	30.1	0.2

ตาราง B-2 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองและคำนวณอิมพลไลทีในระนาบ Horizontal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- [1] John D. Kraus, " ANTENNA," 2nd ed., McGraw-Hill International, 1988
- [2] Constantine A.Balanis, "ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN ," 3rd ed., John Wiley&sons International, 1982
- [3] โฉมฉาย ไกรฤกษ์, " ทฤษฎีสายอากาศ," ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2535

