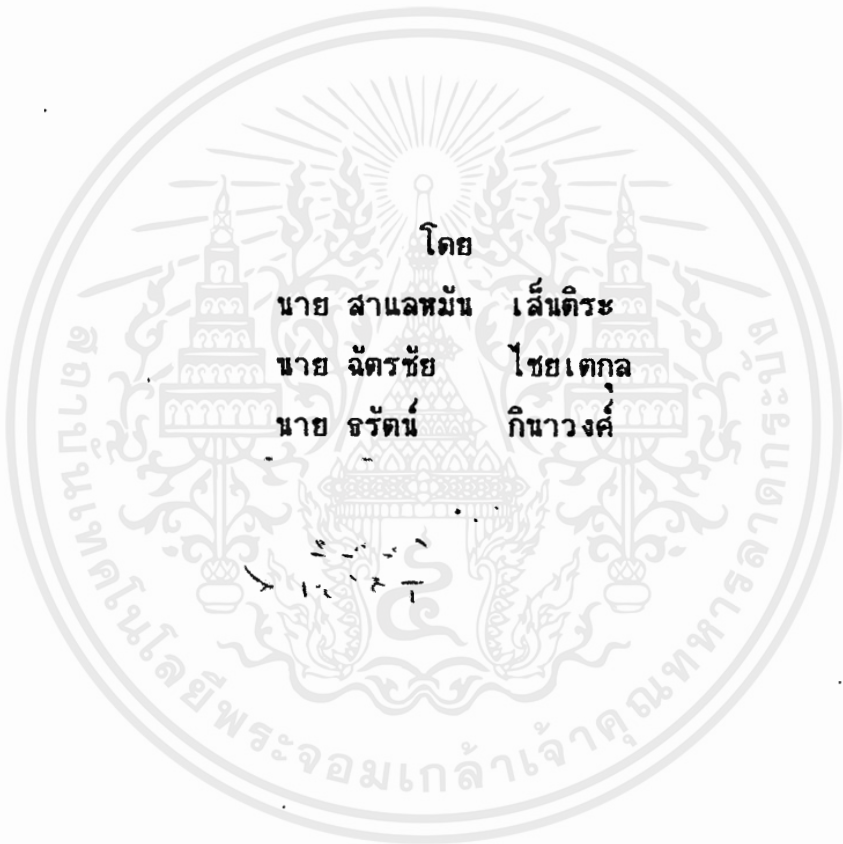




สายอากาศออฟเซทรีเฟลคเตอร์พาราโบลอยด์

offset reflector parabolic antenna



โดย

นาย สาลักษณ์ เส้นตริยะ  
นาย จักรชัย ไชยเตกกล  
นาย จรรัตน์ กิณาวงศ์

ปริญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2535

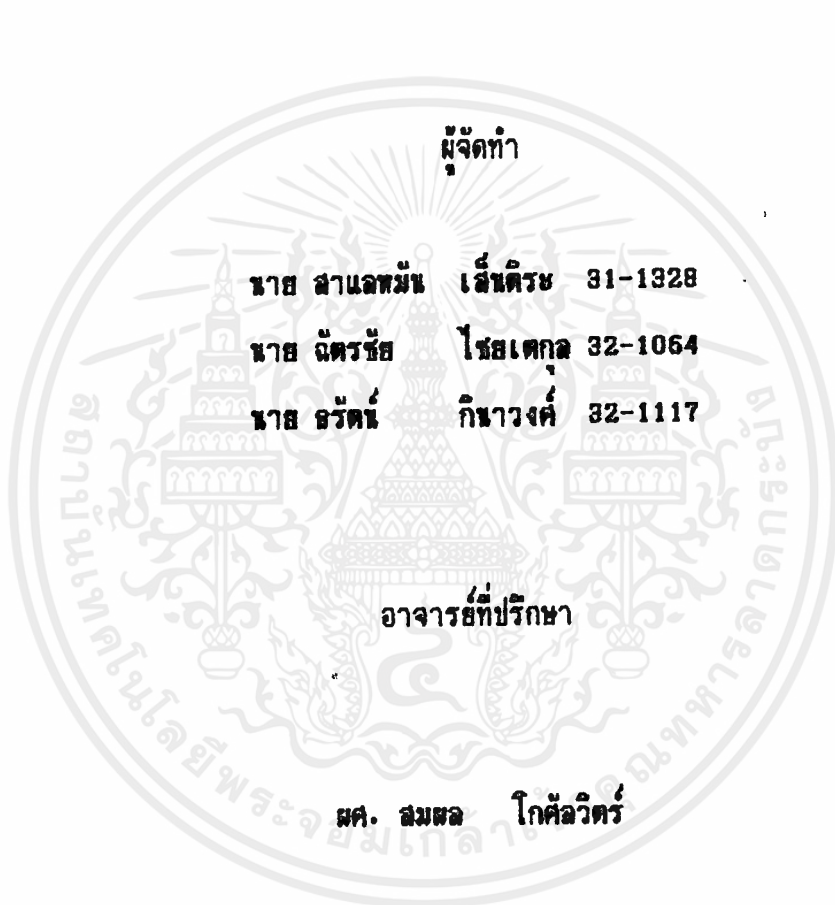
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032622



# ออฟเซท รีเฟลคเตอร์ พาราโบลอยด์

OFFSET REFLECTOR PARABOLOID



ภาควิชา โทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกา

032622

	บทคัดย่อ	
บทที่ 1	บทนำ	
บทที่ 2	ทฤษฎีสาขาสายอากาศออฟเซทรีเฟรคเตอร์พาราโบลอยด์	1
	2.1 สาขาสายอากาศออฟเซทรีเฟรคเตอร์พาราโบลอยด์	1
	2.2 รูปทรงทางเรขาคณิตของออฟเซทรีเฟรคเตอร์พาราโบลอยด์	2
	2.2.1 ข้อดีของออฟเซทรีเฟรคเตอร์พาราโบลอยด์	3
	2.2.2 ข้อเสียของออฟเซทรีเฟรคเตอร์พาราโบลอยด์	3
	2.2.3 ประสิทธิภาพของปากช่องเปิด	4
	2.3 โคลลาโรเซชันและครอสโคลาโรเซชัน	6
	2.4 พฤติกรรมทางไฟฟ้าของสาขาสายอากาศออฟเซทรีเฟรคเตอร์	9
	2.4.1 โคลลาโรเซชันเชิงเส้น	9
	2.4.2 โคลลาโรเซชันวงกลม	19
	2.5 คุณสมบัติการดีโคลาโรเซชันของสาขาสายอากาศออฟเซทรีเฟรคเตอร์	22
	2.5.1 ครอสโคลาโรเซชันและการขึ้นของลำบีม	22
	2.5.2 การเปรียบเทียบครอสโคลาโรเซชันระหว่าง เซตอร์พิดและออฟเซทรีเฟรคเตอร์	32
	2.5.3 ปัจจัยอื่นๆที่ก่อให้เกิดการดีโคลาโรเซชัน	35
	2.5.3.1 Longitudinal Current Distribution	35
	2.5.3.2 การที่รูปร่างพื้นผิวไม่เป็นพาราโบลอยด์	35
	2.6 ลักษณะขอบเขตไฟกัสของออฟเซทรีเฟรคเตอร์	37
	2.6.1 แกนของออฟเซทรีเฟรคเตอร์และระนาบของออฟเซทไฟกัส	37
	2.6.1 ส่วนประกอบในการหันเหของลำบีม	40
	2.7 ตัวอย่างการออกแบบสาขาสายอากาศออฟเซทรีเฟรคเตอร์แบบลิตทิเบิลสปอทบีม	43
	2.7.1 การออกแบบพาราเมเตอร์	43
	2.7.2 ขบวนการออกแบบ	45/
บทที่ 3	การจัดเตรียมก่อนการทดลอง	
	3.1 การออกแบบสาขาสายอากาศออฟเซทรีเฟรคเตอร์	55
	3.2 การหล่อจานต้นแบบและจานจริง	57
	3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	58

บทที่ 4	การทดลองสายอากาศออปเทรีเฟรคเตอร์	60
4.1	วัตถุประสงค์การทดลอง	60
	วิธีการทดลอง	60
4.2	ผลการทดลอง	61
4.3	สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	66
	เอกสารอ้างอิง	



**Title** OFFSET REFLECTOR PARABOLIC ANTENNA

**Name** Salaeman Sentira

Chatchai Chaitakul

Tarat Kinawong

Department of Telecommunication Engineering

Faculty of Engineering

Advisor Asst. Prof. Somphol Kosalwit

**ABSTRACT**

Offset reflector antenna is a small size antenna and has a low sidelobe level, because it can reduce wave radiation. Wave radiation usually occurs when feeder and feeder support get into the radiation path causing wave scattering. Nevertheless, the offset reflector antenna has disadvantage such as when it is being use to radiate linear-polarization wave, cross polarization in asymmetric plane occurs, and when it is being used to radiate circular polarization, beam diviation or squinted from symmetric plane occurs, the object of this project is to study and designed the offset antenna so as to make it practical. The study includes the type of primary feeder, feed angle and edge taper, ect.

ชื่อเรื่อง **เสาอากาศออฟเซทรีเฟลคเตอร์พาราโบลา**

**OFFSET REFLECTOR PARABOLIC ANTENNA**

ชื่อ **นาย สานลหมัน เส้นตึระ**

**นาย ฉัตรชัย ไชยเตกุล**

**นาย ธวัช กินาวงศ์**

ภาควิชา **วิศวกรรมโทรคมนาคม**

คณะ **วิศวกรรมศาสตร์**

อาจารย์ที่ปรึกษา **ผศ. สมผล โกศลวิตร**

**บทคัดย่อ**

เสาอากาศออฟเซทรีเฟลคเตอร์ เป็นเสาอากาศที่มีขนาดเล็ก และมีระดับไซด์โลบต่ำ เนื่องจากสามารถลดการกระจายออกทางด้านข้างของคลื่น ที่เกิดจากตัวกระจายคลื่น (Feed) หรือสิ่งที่ใช้ยึดตัวกระจายคลื่นไปขวางทางเดินของคลื่น ดังนั้นจึงเป็นเสาอากาศที่เหมาะสมสำหรับการสื่อสารดาวเทียม แต่อย่างไรก็ดีก็ยังมีข้อเสียคือ เมื่อใช้กับคลื่นที่มีโพลาไรเซชันแบบเชิงเส้น (Linear Polarization) จะเกิดครอสโพลาไรเซชัน (Cross Polarization) ในแนวที่ไม่สมมาตร และเมื่อใช้กับคลื่นที่มีโพลาไรเซชันแบบวงกลม (Circular Polarization) ก็จะทำให้เกิดการหักเหหรือการเอียงของลำคลื่นไปจากแกนสมมาตรของรีเฟลคเตอร์พาราโบลา ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาและออกแบบเสาอากาศออฟเซทรีเฟลคเตอร์เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด เช่น ลักษณะของตัวกระจายคลื่นขั้นต้น (Primary Feed) , ตำแหน่งที่ตั้งของตัวกระจายคลื่น, มุมในการบอคลื่นสู่ตัวสะท้อนคลื่นและค่าเอจเทเปอร์ (Edge Taper) เป็นต้น

บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากสาขาอากาศแบบพาราโบลอยต์มีข้อดี เช่น สามารถเปลี่ยนคลื่นแบบทรงกลม(Spherical Wave)เป็นคลื่นแบบระนาบ(Plane Wave)ที่ปากช่องเปิด แต่เมื่อใช้ในความถี่สูงๆ จะเห็นว่าตัวกระจายคลื่นและก้านที่ใส่ยึดตัวกระจายคลื่นจะมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น ดังนั้นจึงทำให้เกิดการบ่งทางเดินของคลื่น และทำให้เกิดการกระจายของคลื่นออกไปในทิศทางที่ไม่ต้องการ จึงได้มีการแก้ปัญหาโดยวิธีใช้เพียงส่วนหนึ่งของจานพาราโบลอยต์มาเป็นตัวสะท้อนคลื่น(ออฟเซทพีด) โดยที่ตัวกระจายคลื่นที่อยู่บริเวณจุดโฟกัสต้องไม่บังเส้นทางเดินของคลื่น มีผลให้ระดับของไซด์โลบที่เกิดจากการกระจายของคลื่นลดลง ดังนั้นสาขาอากาศแบบออฟเซทจึงมีขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบา ประหยัดวัสดุ เหมาะสมแก่การใช้งาน

คณะผู้จัดทำ

นายสาแลหมั่น เสินติระ

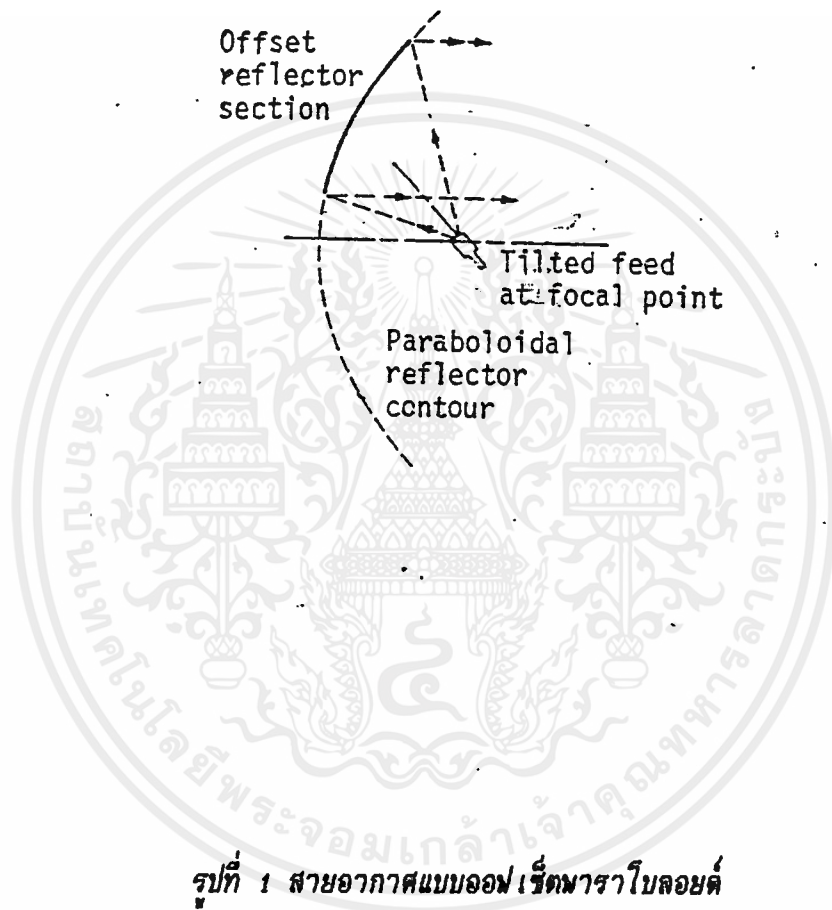
นายฉัตรชัย ไชยเตกุล

นายสรรัตน์ กิनावงศ์

## บทที่ 2

# ทฤษฎีเสาอากาศออฟเซทพาราโบลอยด์

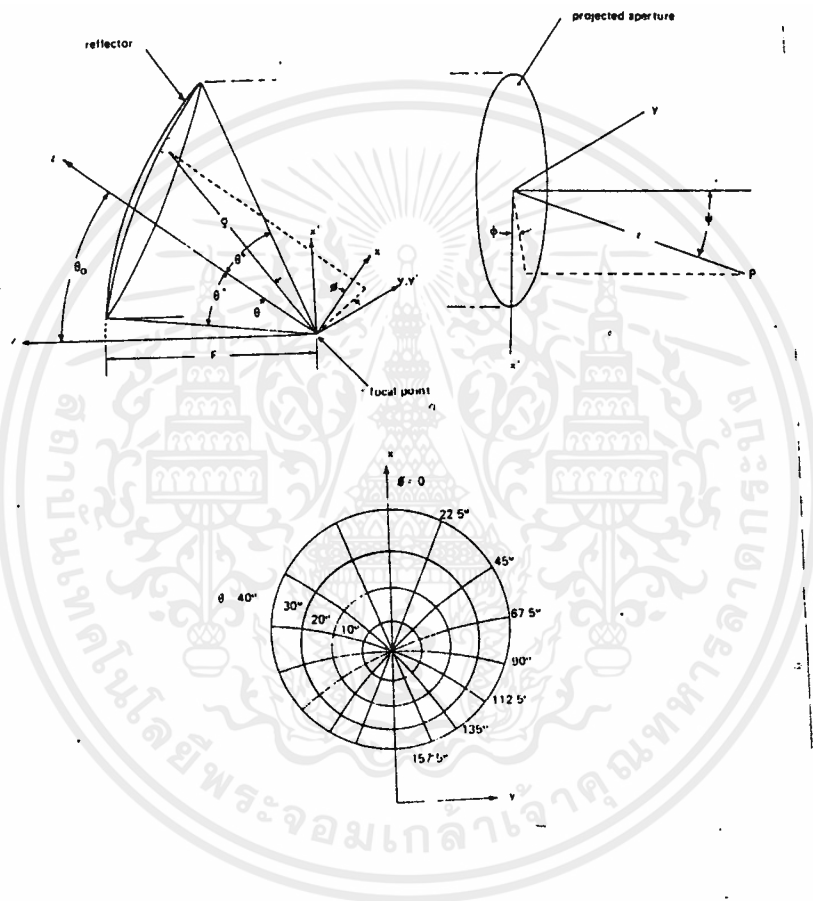
### 2.1 เสาอากาศออฟเซทพาราโบลอยด์



รูปที่ 1 เสาอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์

เสาอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์ มีโครงสร้างดังรูปที่ 1 กล่าวคือ ตัวจานสะท้อนคลื่นจะเป็นส่วนหนึ่งของพาราโบลอยด์ และตัวกระจายคลื่นขั้นต้น (Primary Feed) จะวางอยู่บริเวณจุดโฟกัสของพาราโบลอยด์ ลักษณะเฉพาะของเสาอากาศแบบนี้ คือ ตัวกระจายคลื่นขั้นต้นจะไม่อยู่ตรงกลางของจานสะท้อน และส่วนใหญ่จะอยู่นอกบริเวณทางผ่านของคลื่นจากจานสะท้อน ลักษณะดังกล่าวนี้ทำให้มีชื่อเรียกว่า เสาอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์ (Offset Paraboloid) ซึ่งในโครงสร้างของเสาอากาศแบบนี้คลื่นทรงกลมจากตัวกระจายคลื่นขั้นต้น เมื่อสะท้อนจากจานสะท้อนจะเปลี่ยนเป็นคลื่นระนาบในระนาบตั้ง

## 2.2 รูปทรงเรขาคณิต(Offset Reflector Geometry)



**รูปที่ 2 a) Single Offset-reflector Coordinate System**

**b) Constant  $\phi, \phi_0$  Contours on Projected - aperture Plane**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปการแสดงรูปร่างทางเรขาคณิตของเสาอากาศออฟเซตรีเฟกเตอร์ ซึ่งจะเห็นว่าตัวสะท้อนจะเป็นส่วนหนึ่งของพาราโบลอยด์และจะเปลี่ยนคลื่นแบบทรงกลม(Spherical) จากตัวกระจายคลื่นนั้นต้น เป็นแบบระนาบ(Plane Wave)ที่ปากของช่องเปิด (ในที่นี้หมายถึง projected aperture) ซึ่งเรายังคงวางตัวกระจายคลื่นบริเวณจุดโฟกัสของจานสะท้อนคลื่น แต่จะหันตัวกระจายสู่กึ่งกลางของจานสะท้อนแบบออฟเซต เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาคลื่นจาน (Spillover)

ซึ่งจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เราจะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$F/d = (\cos \theta_0 + \cos \theta^*) / (4 \sin \theta^*) \tag{1}$$

ซึ่งความสัมพันธ์ที่ได้จากสมการที่ 1 จะช่วยในการออกแบบเสาอากาศ

เนื่องจาก เมื่อเราใช้ตัวกระจายแบบเชิงเส้น(Linear Polarization) นั้นจะทำให้เกิดครอสโพลาไรเซชัน(Cross Polarization)ขึ้น ส่วนตัวกระจายแบบวงกลม(Circular Polarization)จะไม่ทำให้เกิดครอสโพลาไรเซชัน แต่จะทำให้เกิดการเอียงของลำคลื่น ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ โดยการเพิ่มค่า(F/d) ของเสาอากาศ แต่หาก F/d มากเกินไป จะทำให้เกิดปัญหาคลื่นจานขึ้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องหาค่าที่เหมาะสมของ F/d

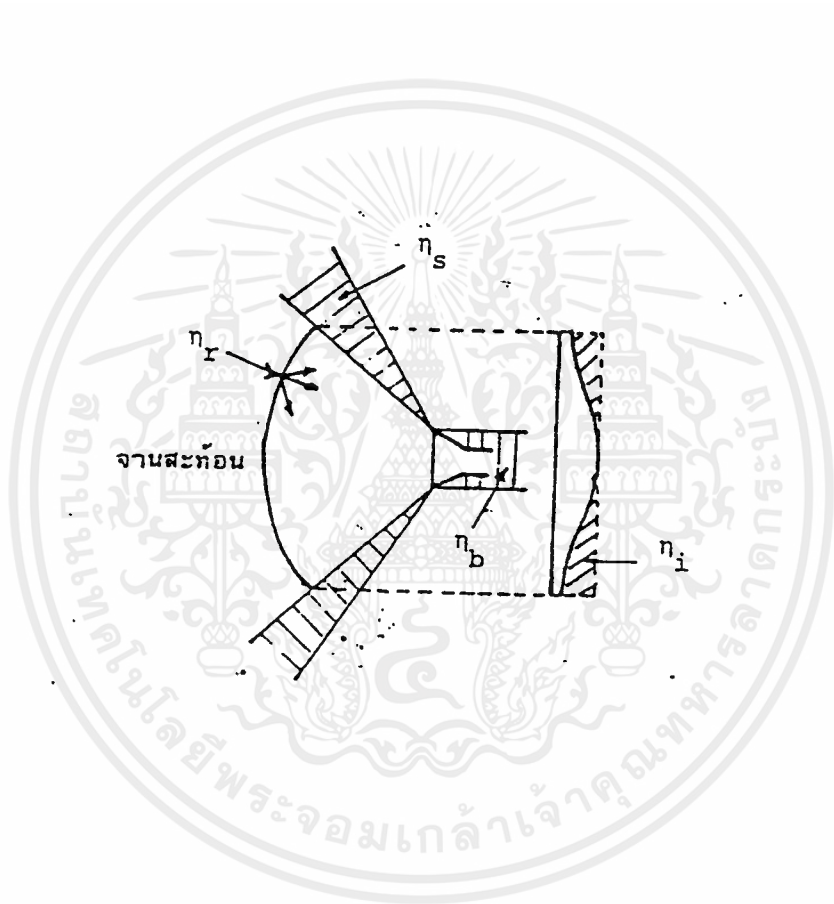
2.2.1 ข้อดีของออฟเซตรีเฟกเตอร์พาราโบลอยด์

- 1) เนื่องจากไม่มีอะไรไปบังเส้นทางเดินของคลื่น(Blocking) จึงทำให้พื้นที่ประสิทธิภาพ(Effect Area) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเสาอากาศแบบธรรมดาที่มีตัวกระจายคลื่นอยู่ด้านหน้า
- 2) สามารถแก้ปัญหาที่เกิดจากการกระจายของคลื่น เมื่อคลื่นไปชนกับสิ่งกีดขวางด้านหน้า ซึ่งการกระจายของคลื่นนี้จะทำให้เกน (Gain) ของระบบลดลง และยังทำให้เกิดไซด์โลบ (Side Lobe) ที่เราไม่ต้องการอีกด้วย
- 3) สามารถปรับมิวชวลคัมปลิง(Mutual Coupling) ระหว่างตัวกระจายคลื่นกับตัวสะท้อนคลื่นได้ง่าย เพราะทั้งสองต่างเป็นอิสระซึ่งกันและกัน

2.2.2 ข้อเสียของออฟเซตรีเฟกเตอร์พาราโบลอยด์

- 1) เนื่องจากความไม่สมมาตรทางโครงสร้างของเสาอากาศ ทำให้เกิดการแพร่กระจาย (Generate) โพลาไรเซชันในแนวตั้งฉาก (Cross-polarization) ในทิศ



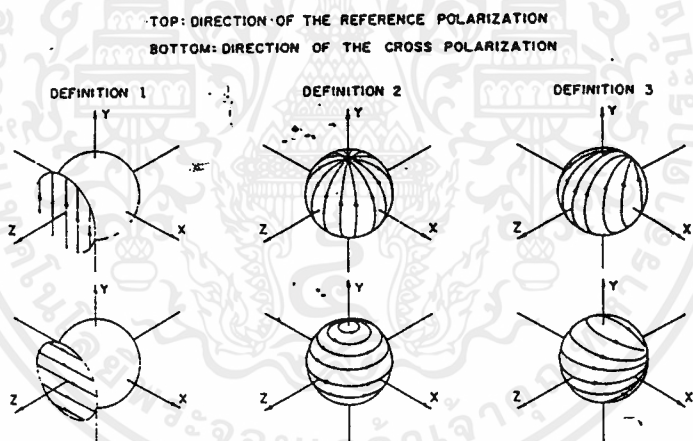


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 3 แสดงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพของห้องเปิด**  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 โคโพลาริเซชันและครอสโพลาริเซชัน (Copolars and Cross-polar)

ในการออกแบบเสาอากาศ เรื่องของ ครอสโพลาริเซชัน ได้รับความสนใจ เป็นอย่างมาก ซึ่งในที่นี้สามารถให้คำนิยามได้ว่าโคโพล่า (Co-polar) เป็นองค์ประกอบ ของสนามที่ขนานกับ โพลาริเซชันอ้างอิง (Reference Polarization) และ ครอสโพล่า (Cross-polar) เป็นองค์ประกอบของสนามในทางตรงกันข้าม (Orthogonal component)

และจากนิยามของ Ludwig สามารถนิยามความเป็นไปได้ของ ครอส-โพลาริเซชัน ในกรณีต่าง 3 กรณี ดังรูปที่



รูปที่ 4 Definition of cross-polarization

(1) เมื่อสนามอ้างอิง อยู่ในระนาบของ ระบบพิกัดสี่เหลี่ยม (Rectangular Coordinate System) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (2) เมื่อโพลาริเซชันอ้างอิงเป็น สนามไฟฟ้าของไดโพล ที่วางอยู่ในระนาบของปากช่องเปิด (Aperture) แล้ว ครอสมโพลาริเซชัน จะเป็น สนามแม่เหล็ก ของไดโพล ที่วางอยู่ที่ตำแหน่งและแกนเดียวกัน
- (3) เมื่อโพลาริเซชันอ้างอิงเป็น Huygen Source ( สนามไฟฟ้า และ สนามแม่เหล็กของ ไดโพลที่วางตั้งฉากกัน ตามลำดับ ซึ่งวางอยู่ที่ปากช่องเปิด (Aperture) และกระจายสนามในปริมาณเท่ากัน เฟสเดียวกัน ไปในทิศทางแกน z) แล้ว ครอสมโพลาริเซชัน จะเป็น Huygens Source ที่หมุนไป  $90^\circ$  ในระนาบของปากช่องเปิด

จากนิยามทั้งสาม นิยามที่ (3) จะใช้ได้ทางปฏิบัติ และเป็นที่ยอมรับกว้างขวางที่สุด เพราะสามารถใช้ได้ ด้วยวิธีการวัด แอทเทนอน ของสายอากาศ แล้วหมุนแหล่งจ่าย  $90^\circ$  เพื่อวัด ครอสมโพลาริเซชัน ในระบบโพลาริเซชันเชิงเส้น (หากเป็นระบบโพลาริเซชันวงกลม ต้องเปลี่ยนทิศทางหมุนของโพลาริเซชันด้วย)

ในระบบนิโคตทรงกลมปฐมภูมิ (Primary)  $\mu, \epsilon, \phi$  ในรูปที่ 2 สนามของตัวกระจายคลื่นขึ้นต้น ในระบบนิโคตทรงกลมสามารถกำหนดโดย  $E_\theta, E_\phi$  ตัวกระจายคลื่นขึ้นต้นมีเวกเตอร์สนามไฟฟ้าหลักอยู่ในแกน Y ดังนั้น ค่าองค์ประกอบสนามการวัดของไดโพล  $(e_p)$  และของ ครอสมไดโพล  $(e_u)$  สามารถนิยามได้ ดังนี้

$$\begin{bmatrix} e_p \\ e_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \phi & \cos \phi \\ \cos \phi & -\sin \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_\theta \\ E_\phi \end{bmatrix} \quad (4)$$

ในทำนองเดียวกัน ในระบบพิกัดทุติยภูมิ (Secondary)  $\psi$ ,  $\phi$  สนามทั้งหมดที่แพร่กระจายจากสสารอากาศจะเป็น  $E_\psi, E_\phi$  ส่วน โคโพล่า ( $E_\parallel$ ) และ ครอสโพล่า ( $E_\perp$ ) สามารถหาได้จากเทอมด้านขวาของสมการที่ 4 โดยที่ค่า  $\psi, \phi$  แทนที่ ๑.๑

มันไม่มีประโยชน์อะไรที่ตัวกระจายคลื่นชั้นต้น ที่เป็นวีโรครอสโพล่าไรเซชัน (Zero Cross-polarization) (โคซินฮามของสมการที่ 4) จะสร้างสนาม โพล่าไรซ์เชิงเส้นบริสุทธิ์ ในระนาบของโปรเจกคาเอเพเจอร์ (Project Aperture) ของแกนสมมาตรของหาราโบลอสตรีเฟกเตอร์ และโดยการทำให้รีเฟลคเตอร์อาเอเจอร์ (Reflector Aperture) มีขนาดใหญ่ (ซึ่งเทียบกับค่าความยาวคลื่น) และทำให้บล็อกกิงเอฟเฟก (Blocking Effect) มีค่าน้อยๆ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงผลสำหรับระดับครอสโพล่าไรเซชันต่ำๆ อย่างไรก็ตามสนามที่กระจายออกจากปากของตัวกระจายคลื่นชั้นต้นจะไม่เป็นโพล่าไรซ์เชิงเส้นที่บริสุทธิ์

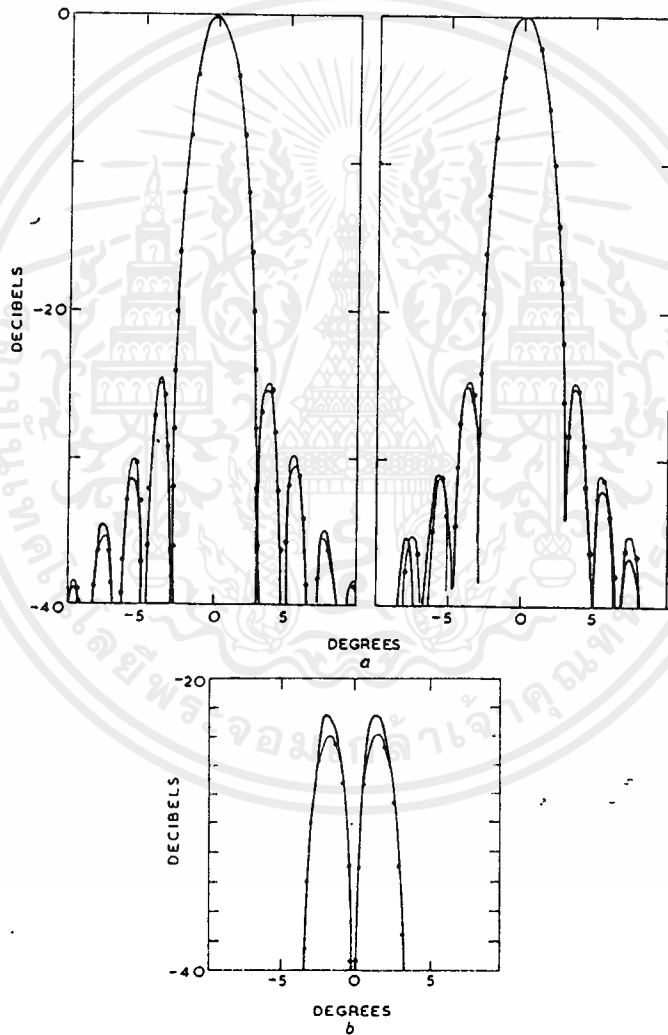




## 2.4 พฤติกรรมทางไฟฟ้า (Electrical Performant of the Single Offset Reflector Antenna)

### 2.4.1 โพลาริเซชันเชิงเส้น (Linear Polarization)

เมื่อเราแพร่กระจายคลื่นด้วยตัวแพร่กระจายคลื่นที่เป็นโพลาริเซชันเชิงเส้นบริสุทธิ์ ตามสมการที่ 4 ตัวออฟเซ็ตรีเฟกเตอร์ จะแสดงถึงคุณสมบัติโพลาริเซชัน (Depolarizing Effect) ซึ่งกำหนดครอสโพลาริเซชันโลบ ขึ้น 2 โลบ ในระนาบที่ไม่สมมาตรดังรูป

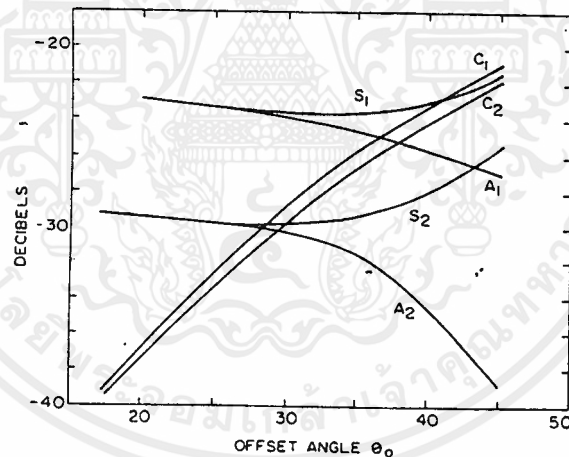


รูปที่ 5 Radiation field from (a) K-band offset-reflector antenna. Copolar radiation in (a) Plan of symmetry ( $\Phi = \pi/2$ ) and (b) Plane of symmetry ( $\Phi = 0$ ). Cross-polar radiation in (c) plane of asymmetry.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การจ้างงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้รู้เห็นหรือใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ จะถือว่าผิดกฎหมายเป็นอันขาด  
 Measured \_\_\_\_\_ Predicted \_\_\_\_\_

ตามรูป เป็นข้อมูลที่วัดจากออฟเซ็ตรีเฟกเตอร์ ที่มีความถูกต้อง เชื่อถือได้ ซึ่งป้อนคลื่นโคส Fundamental Mode Rectangular Horn ที่มีการเทเปอร์ 12dB ที่ขอบเขตตัวสะท้อนคลื่น

ซึ่งข้อมูลการคาดคะเน คลอสโพล่า (Cross Polar) ซึ่งได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขที่ซับซ้อนจะดีกว่าการวัดรูปแบบบนพาทเกิน เหล่านี้เป็นคุณสมบัติของออฟเซ็ตรีเฟกเตอร์ที่เป็นโพลาไรเซชันเชิงเส้น ซึ่งครอสโพล่าไรซ์โอบเป็นผลซึ่งเกิดจากความไม่สมมาตรของตัวรีเฟกเตอร์จะอยู่ในย่าน 6dB รอบ บีมหลัก (Main Beam) ของโคโคโนราไรด์ ส่วน ไซด์โอบย่อยอื่น ๆ ซึ่งห่างออกไปจะลดลงไปอีกราว 20dB สำหรับการกระจายคลื่นของโคโโนล่าโอบนั้นไซด์โอบจะมีการลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมุมนั้นห่างจากระดับสายตา (Boresight) ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 Peak Copolar Sidelobe Level in Planes of Symmetry

(S) and (A) for Offset Reflectors with  $\theta_0 = \theta^* + 5$ , fed by

Uniformly illumination tapers at  $\theta = \theta^*$ . Peak Cross-polar Levels

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

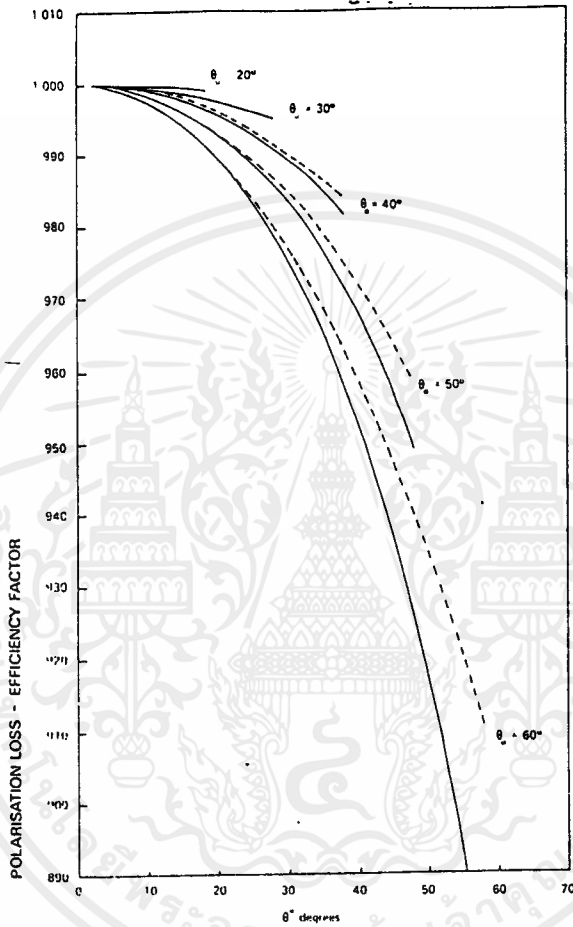
(c) occurring in Plane of Symmetry are also indicated ครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปสามารถอธิบายให้ทราบถึงไซโดโลบข้างอื่น เช่นค่าของครอสโพลาไรเซชันซึ่งขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์  $\alpha, \beta$  ซึ่งนอกเหนือจากค่าที่ป้อนเทเปอร์เข้าไปแล้ว ซึ่งจะเห็นได้ค่าของ  $\alpha$  และ  $\beta$  ซึ่งมีความมากกว่าค่าของโคโพลา และครอสโพลา ในการกระจายคลื่นก็มีค่ามากขึ้นเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามก็ไม่ได้แสดงว่าระบบจะมีไซโดโลบต่ำ โดยการกำหนด  $\alpha$  และ  $\beta$  เพราะ การมีระดับไซโดโลบต่ำนั้นขึ้นอยู่กับป้อนเทเปอร์ โดยตัวกระจายคลื่นขั้นต้นเป็นหลัก ซึ่งจะเห็นว่าตัวกระจายคลื่นขั้นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติการกระจายคลื่นที่ไม่ดีจะมีปัญหาเกี่ยวกับเรื่องไซโดโลบเป็นส่วนใหญ่

การลดลงของ ประสิทธิภาพช่องเปิด (Aperture-Efficiency) จะเกิดจากการตีโพลาไรซ์ของตัวสะท้อนคลื่น ซึ่งจะมีค่าน้อยเมื่อค่าของ  $\alpha, \beta$  น้อยกว่า 45 องศา แต่เมื่อมุมใหญ่ขึ้นจะทำให้เกิดปัญหามากขึ้น ซึ่งแสดงในรูปที่ 7

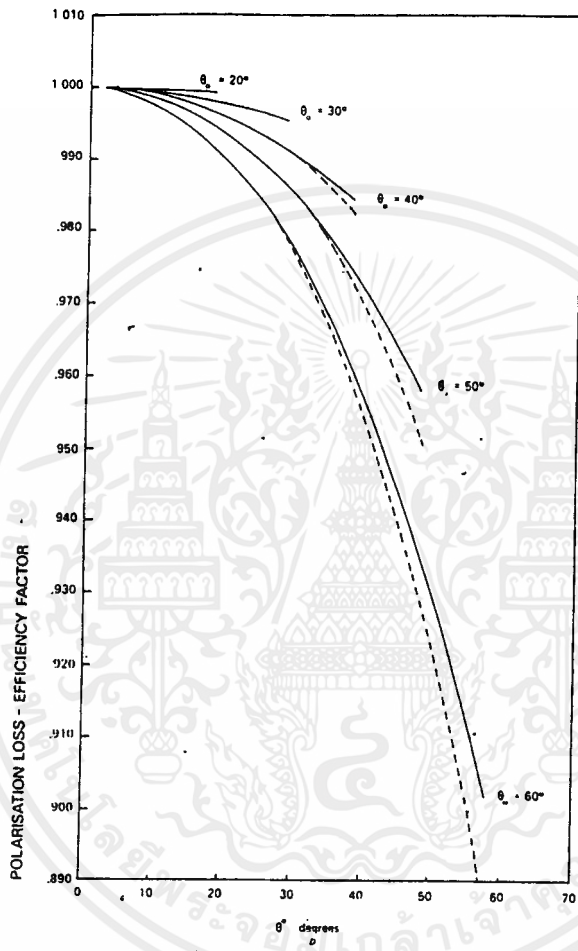
จากรูปที่ 8 แสดงถึงการทำนายและการวัดเรดิเอชันแพทเทิร์นของออฟเซทรีเฟรคเตอร์แบบโพลาไรซ์เชิงเส้น ซึ่งผลเหล่านี้แสดงความมั่นใจในคุณภาพของการวิเคราะห์ และแสดงอธิบายการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่าครอสโพลา โดย ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของตัวกระจายคลื่นขั้นต้น ในแนวตั้งฉาก ส่วนรูปของโคโพลาไรซ์โคมาโลบ (Copolareize Come Lobe) นั้นจะเริ่มเลวลง จะเห็นได้ว่าการสูญเสีย (Loss) ของเกน (Gain) ของเสาอากาศออฟเซทรีเฟรคเตอร์นั้นจุดสำคัญอยู่ที่ตัวกระจายคลื่น

แต่อย่างไรก็ตามรูปทั่วไปของเรดิเอชันแพทเทิร์นเลวลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเราป้อนในแนวตั้งฉาก ในระนาบสมมาตร เมื่อเทียบกับระนาบไม่สมมาตร จากการคำนวณค่าเกน และจำนวนไซโดโลบ ดังแสดงในรูปที่ 9



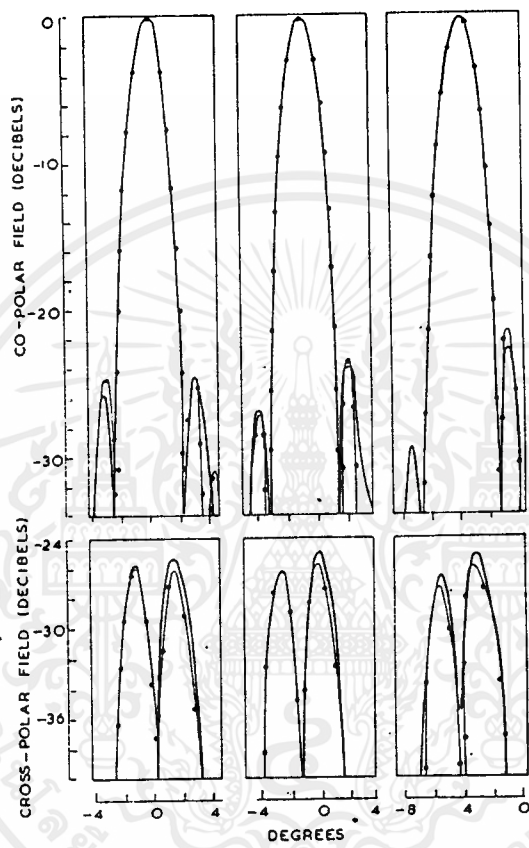
รูปที่ 7 (a) Polarization loss efficiency factor of offset paraboloid reflector, offset angle  $\theta_0$  being a parameter,

illuminated by ——— electric dipole oriented along x' axis and Huygens source and - - - - - electric dipole oriented along y' axis



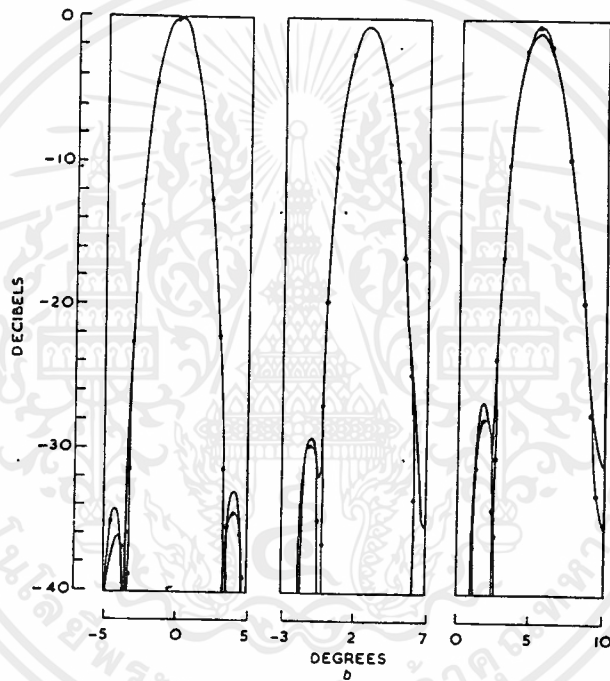
รูปที่ 7(b) Polarization loss-efficiency factor of open Cassegrain antenna, offset angle  $\phi_0$  being a parameter, illuminated by electric dipole oriented along  $x'$  and  $y'$  axis and -----Huygens source.

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสำนักงานเพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรมแห่งชาติ ซึ่งได้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 (a) Radiation fields from offset reflector ( $F=30.4$ ,  $\theta_p = 35^\circ$ ,  $\theta_s = 30^\circ$ ) with linearly polarised pyramidal

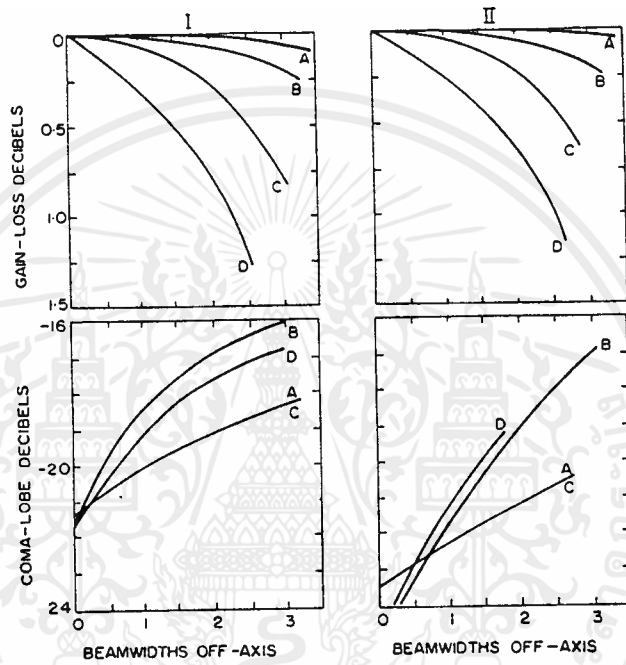
horn. Primary feed offset transversely along Y axis by  $0.83\lambda$ ,  $2.5\lambda$  respectively



รูปที่ 8 (b) Copolar radiation field from circularly polarised offset reflector ( $F = 22.7\lambda$ ,  $\phi_o = 44^\circ$ ,  $\phi^* = 38^\circ$ ) with scalar-horn feed offset transversely by  $0, 1.4$  and  $2.8\lambda$ , respectively,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางศูนย์วิจัยด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้โดยศูนย์วิจัยฯ นี้ จะยังคงมีผลใช้บังคับต่อไป

Measured, Predicted.



รูปที่ 9 Beam-scanning gain loss and coma-lobe levels.

illumination typers of -8 dB (column I) and -10 dB (column II)

a  $\theta^* = 30^\circ, \phi_0 = 0$

b  $\theta^* = 45^\circ, \phi_0 = 0$

c  $\theta^* = 30^\circ, \phi_0 = 45^\circ$

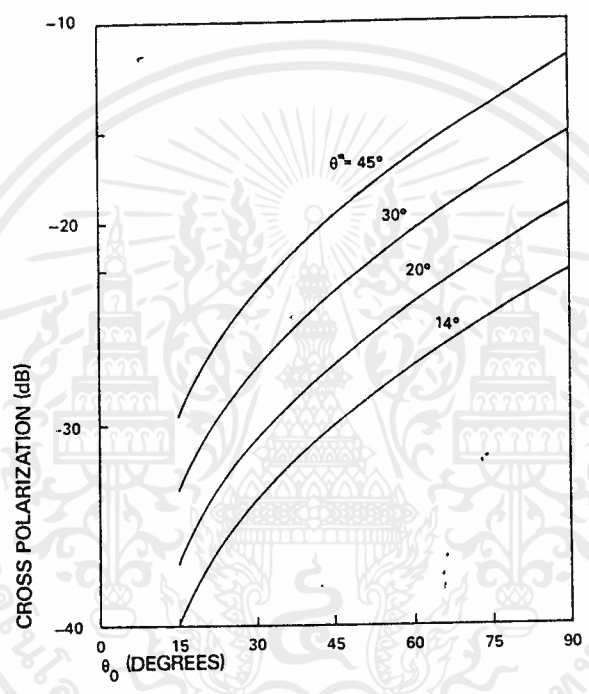
d  $\theta^* = 45^\circ, \phi_0 = 45^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นได้ว่า งานสายอากาศออฟเซ็ท รีเฟกเตอร์ จะขึ้นอยู่กับมุมของออฟเซ็ท ( $\theta_o$ ) กล่าวคือเมื่อ ( $\theta_o$ ) มากจะไม่มีบล็อกกิงเอฟเฟกต์ (Blocking Effect) เมื่อคิดที่ค่า Semi Angle ( $\theta^*$ ) มีค่าเท่ากัน เราสามารถกล่าวได้ว่ารูปแบบการหันของบีม (Beam) ของออฟเซ็ท รีเฟกเตอร์ จะขึ้นอยู่กับค่ามุมออฟเซท (Offset Angle) ( $\theta_o$ )

คุณสมบัติครอสโพลาไรเซชันของออฟเซ็ทรีเฟกเตอร์จะไม่เปลี่ยนแปลงไปมากสำหรับรีเฟกเตอร์ที่มีโปรไฟล์ (Profile) ผิดพลาดไปเล็กน้อย ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดครอสโพลาไรซ์ในสนามการกระจาย (Radiation Field) แต่จะทำให้เกิดเฟสผิดพลาดการกระจายในระนาบรีเฟกเตอร์อาพोजอร์ ความผิดพลาดเหล่านี้จะกระจายกลับ (Redistribute) โคโพล่าและครอสโพลาไรซ์เอชเอ็น ในสนามระยะไกล แต่อย่างไรก็ตามทั้งสนามของโคโพล่าโลบหลักและสนามของครอสโพลาไรซ์โลบทั้งสอง จะไม่ค่อยเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์เฟสผิดพลาดซึ่งมีค่าเล็กน้อยและถึงแม้ว่าโลบ (Lobe) ย่อยอื่นๆจะมีค่าครอสโพลาไรซ์โลบเพิ่มขึ้น แต่ในโลบหลักยังเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง

หลักการกระจายของโคโพล่าไรซ์โลบจากงานสายอากาศออฟเซ็ทรีเฟกเตอร์ แบบเชิงเส้น (Linear Polarize) เป็นการสร้างเฟสเดียวกัน (Phase Quadrature) ในโคโพล่าบีมหลัก การโพลาไรซ์ทั้งหมดของบีมหลักจะเปลี่ยนจากเชิงเส้นที่จุดกึ่งกลางบีมไปเป็นแบบวงรี (Elliptical Polarization) ในขอบเขตของครอสโพลาไรซ์โลบ ในการใช้งานบางอย่างสิ่งเหล่านี้จะไม่ใช่ปัญหา แต่หากต้องการให้โพลาไรซ์เชิงเส้นครอบคลุมขอบเขตของเมนบีม (Main Beam) ดังนั้น Inherent Limitation ของสายอากาศออฟเซทพาราโบลิก ซึ่งเป็นแบบธรรมชาติคือมีตัวกระจายคลื่นขั้นต้นจะเป็นสิ่งจำเป็น ระดับสูงสุดของครอสโพลาไรซ์โลบสามารถลดให้มีระดับต่ำได้ (ต่ำกว่า  $-35$  dB) ถ้าหากมุมออฟเซท ( $\theta_o$ ) มีค่าน้อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 10 ถ้าหากเราต้องการหลีกเลี่ยงอาพोजอร์เอฟเฟกต์ต้องให้ค่า  $\theta^*$  น้อยกว่า  $\theta_o$



**รูปที่ 10** Peak cross-polar levels radiated in the plane of asymmetry ( $\Phi = \pi/2$ ) as a function of the offset-reflector parameters

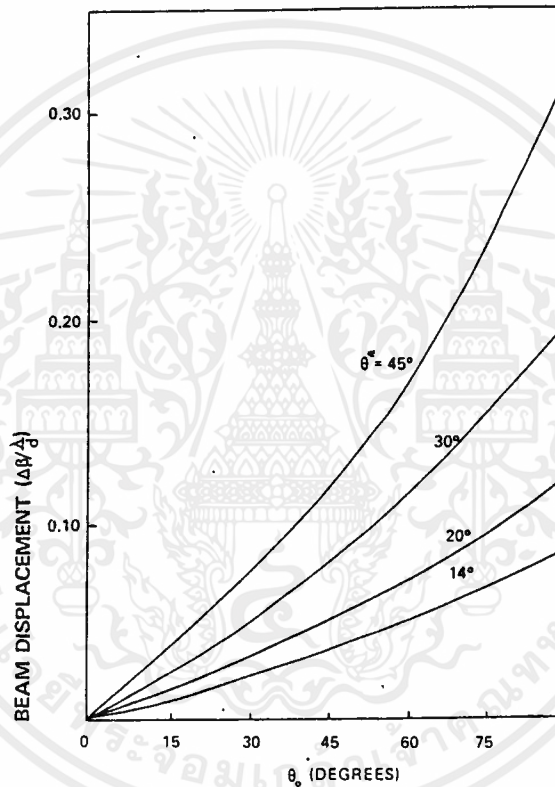
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.2 โพลาริเซชันวงกลม(Circular Polarization)

ถ้าตัวกระจายคลื่นชั้นต้นมีการแพร่กระจายเป็นแบบโพลาริเซชันวงกลมแล้วออฟเซ็ทพาราโบลิกรีเฟกเตอร์ จะไม่ติโพลาริเซชันในการสะท้อนของคลื่นที่ตัวสะท้อนคลื่นนั้น แต่ละคลื่นตกกระทบที่เป็นโพลาริเซชันเชิงเส้นจะสร้างองค์ประกอบของครอสโพลาริเซชัน อย่างไรก็ตาม เมื่อความสัมพันธ์ของ Phase-quadratureสามารถหาได้จากสององค์ประกอบที่เป็นเชิงเส้น ได้แก่ การรวมทางเวกเตอร์ของสอง ออโทโกนอลโคโพลาริเซชัน และ เฟลอสิมเมตริก(Phase Asymmetric) ซึ่งเป็นการจับคู่เวกเตอร์ของครอสโพลาริเซชันที่หมุนในทิศทางเดียวกัน ด้วยเหตุนี้การรวมของสัญญาณทั้งสองจะทำให้เกิดเป็นโพลาริเซชันวงกลมบริสุทธิ์ แต่การรวมขององค์ประกอบที่สมมาตรและไม่สมมาตรจะทำให้เกิดการเอียงของเรดิเอชันแพทเทอนออกจากแนวระดับสายตา ซึ่งเราเรียกว่า การเอียงของลำบีม (Beam-squint Effect ซึ่งการเคลื่อนที่ของบีมจะตรงไปหรือเอียงออกจากแกนสมมาตรในทิศทางใดขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุนของโพลาริเซชัน ในรูปที่ 11 แสดงผลกระทบของรีเฟกเตอร์ พาราเมเตอร์  $\theta_0, \theta'$  ต่อขนาดการเอียงของบีมซึ่งเราสามารถหาว่าบีมมีการเอียงไปกี่องศาได้จากสูตร

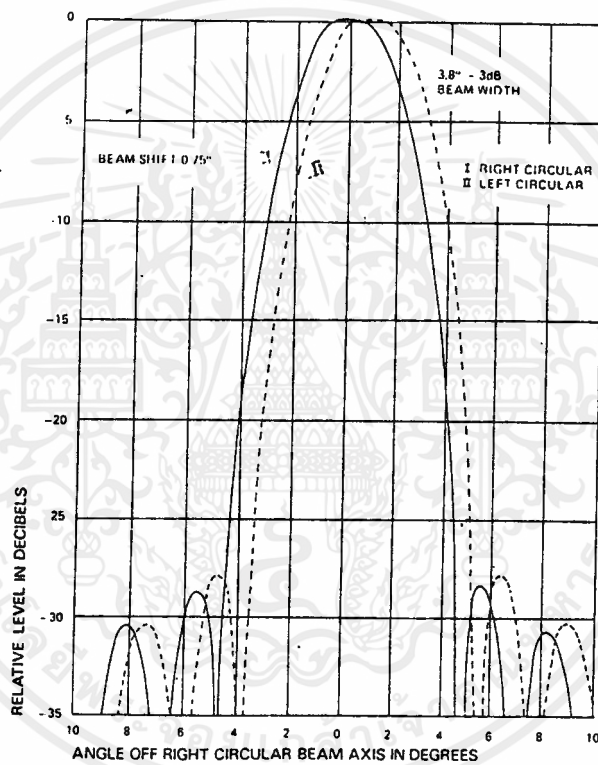
$$\Psi_{\theta} = \arcsin \left( \frac{\lambda \sin \theta_0}{4rF} \right) \quad (5)$$

ซึ่งค่าต่างๆ ที่ได้แสดงดังในรูปที่ 12



รูปที่ 11 Beam displacement as a function of the offset-reflector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 parameters  $\theta$  and  $\phi$ ,  $\Delta\phi$  is the angular squint of the beam in radians  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 12** Measured radiation patterns of an offset-reflector antenna operated with circular polarisation at 18.5 GHz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถใช้ความรู้ไปใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

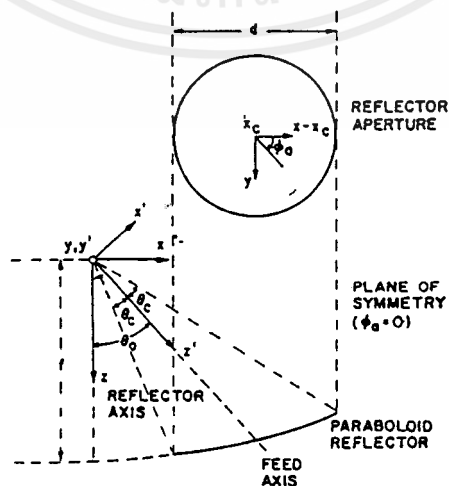
## 2.5 คุณสมบัติการดีโพลาไรเซชันของเสาอากาศออฟเซตเรฟเลคเตอร์

(Depolarization Properties of Offset Reflector Antennas)

ในขณะที่การสื่อสารมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ได้มีการใช้โพลาไรเซชันในทางตรงกันข้ามกัน (Orthogonality Polarization) ในการสื่อสาร เพื่อประโยชน์ของความถี่ (Frequency Reuse) แต่จำเป็นต้องรักษาคุณสมบัติของแต่ละโพลาไรเซชันให้คงที่เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนกัน (crosstalk) ซึ่งจะสามารถทำได้ หากการส่งและรับเกิดขึ้นในทิศทางที่ลำแสงมีแรงที่สุด (Beam Maximum) แต่อย่างไรก็ดีก็ยังมีข้อเสียหรือการรบกวนในทิศทางที่ไกลๆ กับบีมสูงสุด (Beam Maximum) ตัวอย่างเช่น ในกรณีการสื่อสารดาวเทียม ที่ความกว้างของลำบีมของเสาอากาศบนดาวเทียมครอบคลุมสถานีภาคพื้นดินหลายสถานี ซึ่งมีโอกาสเกิดการรบกวนขึ้นได้ที่สายอากาศของดาวเทียม เป็นต้น

และต่อจากนี้ไปจะได้กล่าวถึง คุณสมบัติการดีโพลาไรเซชันของเสาอากาศแบบออฟเซต (Offset Antenna) ซึ่งมีอยู่ 2 ประเภท คือ ครอสโพลาไรเซชันที่เกิดจากการกระตุ้นแบบโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linearly Polarized Excitation) และการหักเหของลำบีม (Beam Displacement) ที่เกิดจากการกระตุ้นโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circularly Polarized Excitation)

### 2.5.1 ครอสโพลาไรเซชัน และการขีปของลำบีม



จากรูปที่ 18 • เป็นมุมระหว่างแกนออฟเซทกับแกนของตัวรีเฟรคเตอร์ และ • เป็นครึ่งหนึ่งของมุมจากจุดโฟกัส ถึง ขอบบนและขอบล่างของตัวสะท้อนคลื่น ซึ่งต่อไปเราจะได้คำนวณหาค่าของครอสโพลาร์ไรเซชันในเทอมของ • และ •

สนามระยะไกล (Far-field) ของตัวกระจายคลื่น (Feeder) สามารถเขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$\vec{E}_r = E'_\theta \hat{\theta}' + E'_\phi \hat{\phi}' \quad (6)$$

และ สนามที่สะท้อนออกมาจากตัวสะท้อน จะเป็นดังนี้

$$\vec{E}_r = -\vec{E}_r + 2\hat{n}(\vec{E}_r \cdot \hat{n}) \quad (7)$$

เมื่อ  $\hat{n}$  เป็นยูนิตเวกเตอร์ (Unit Vector) ที่ตั้งฉากกับ ผิวของตัวสะท้อน แทนค่าสมการ (6) ในสมการ (7) แล้วแปลง  $(\hat{r}', \hat{\theta}', \hat{\phi}') \rightarrow (\hat{x}', \hat{y}', \hat{z}') \rightarrow (\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$  และค่าเวกเตอร์ตั้งฉาก (Normal Vector)  $\hat{n} = -(\hat{r} + \hat{z}) / (2t)^{1/2}$  สำหรับผิวโค้งของนาราโบลา

โดยมีความสัมพันธ์ในการแปลงดังนี้

$$\hat{r}' = \sin\theta' \cos\phi' \hat{x}' + \sin\theta' \sin\phi' \hat{y}' + \cos\theta' \hat{z}'$$

$$\hat{\theta}' = \cos\theta' \cos\phi' \hat{x}' + \cos\theta' \sin\phi' \hat{y}' - \sin\theta' \hat{z}'$$

$$\hat{\phi}' = -\sin\phi' \hat{x}' + \cos\phi' \hat{y}'$$

$$\hat{x}' = \hat{x} \cos\theta_0 - \hat{z} \sin\theta_0$$

$$\hat{y}' = \hat{y}$$

$$\hat{z}' = \hat{x} \sin\theta_0 + \hat{z} \cos\theta_0$$

$$\sin\theta' \cos\phi' = \sin\theta' \cos\phi' \cos\theta_0 + \sin\theta_0 \cos\theta'$$

$$\sin\theta' \sin\phi' = \sin\theta' \sin\phi'$$

$$\cos\theta' = -\sin\theta' \cos\phi' \sin\theta_0 + \cos\theta_0 \cos\theta'$$

และในที่สุดจะได้

$$\vec{E}_r = \hat{x}/t \{ [\sin\theta' \sin\theta_0 - \cos\theta' (1 + \cos\theta' \cos\theta_0)] E'_\theta$$

$$+ \sin\theta' (\cos\theta' + \cos\theta_0) E'_\phi \}$$

$$+ \hat{y}/t \{ -\sin\theta' (\cos\theta' + \cos\theta_0) E'_\theta$$

$$+ [\sin\theta' \sin\theta_0 - \cos\theta' (1 + \cos\theta' \cos\theta_0)] E'_\phi \} \quad (8)$$

เมื่อ

$$t = 1 + \cos\theta' \cos\theta_0 - \sin\theta' \sin\theta_0 \cos\phi' \quad (9)$$

จะเห็นว่า องค์ประกอบในทิศทาง  $\hat{z}$  ที่ปากช่องเปิด (Aperture) จะหายไป เพราะ คุณสมบัติเฉพาะทางโพกัสของพาราโบลา แต่อย่างไรก็ตามจะคงมีกระแสไหลในทิศทาง  $\hat{z}$  ที่ผิวของตัวสะท้อน (Reflector Surface)

เมื่อเราพิจารณาโดยใช้ การกระจายคลื่นแบบสมมาตร (Balance Feed Radiation) ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\mathbf{E}_f = F(\theta', \phi') \begin{bmatrix} \cos\theta' & \sin\theta' \\ \sin\theta' & \cos\theta' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\theta}' \\ \hat{\phi}' \end{bmatrix} \frac{[\exp(-jk_r)]}{r} \quad (10)$$

ผลที่ได้จะเป็นโพลาไรเซชันเชิงเส้นหลัก (Principle Linear Polarization) 2 ทิศทาง คือ ตามแนวแกน x และ y ตามลำดับ และกรณีพิเศษที่สำคัญอีกแบบหนึ่งของสมการที่ 10 คือ การใช้การกระจายคลื่นแบบวงกลมสมมาตร (Circularly Symmetric Radiation Pattern) โดยที่  $F(\theta', \phi')$  อิงระจาก  $\theta'$

ดังนั้นจะได้ องค์ประกอบหลักทางโพลาไรเซชันของสนามที่ถูกลสะท้อนออกมา ดังนี้

$$\begin{aligned} M &= \hat{\mathbf{E}}_r \cdot \hat{\mathbf{z}} \\ &= F(\theta', \phi') / t [\sin\theta' \sin\theta_0 \cos\phi' - \sin\theta' (\cos\theta_0 + \cos\theta) \\ &\quad - \cos^2\theta' (1 + \cos\theta_0 \cos\theta)] \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (11)

ในขณะที่เดียวกัน จะต้องประกอบของครอสโพลาริเซชัน ดังนี้

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{\hat{E}_r \cdot \hat{z}}{\hat{z}} \\
 &= \frac{F(\theta, \phi)}{t} [\sin\theta \sin\theta_0 \sin\phi \\
 &\quad - \sin\phi \cos\phi (1 - \cos\theta)(1 - \cos\theta_0)] \quad (12)
 \end{aligned}$$

โดยที่  $M^2 + N^2 = F^2 / r^2$  และ  $N$  หรือครอสโพลาริเซชันจะหายไปเมื่อ  $\theta_0 = 0$  ข้อสังเกตอีกอย่างหนึ่ง คือเมื่อคลื่นที่ตกกระทบตัวสะท้อน เป็นคลื่นแบบโพลาริเซชันเชิงเส้น (Linear Polarization) จะทำให้เกิด โพลาริเซชันเวกเตอร์ (Polarization Vector) ที่มีขนาดเท่ากัน และ มีการหมุนในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้ เมื่อคลื่นที่ตกกระทบเป็นแบบโพลาริเซชันวงกลม (Circularly Polarization Wave) คลื่นที่สะท้อนออกมายังคงเป็นแบบโพลาริเซชันวงกลม แต่ทิศทางของการหมุนจะตรงกันข้ามกับคลื่นที่ตกกระทบ และจะมีเฟสชิฟ (Phase Shift) เท่ากับ  $\tan^{-1}(N/M)$  ถ้าหากใช้การกระจายคลื่นแบบวงกลมทั้งหมด จะไม่มีครอสโพลาริเซชันเกิดขึ้น แต่จะเกิดการหันเหของลำบีมไปเล็กน้อย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเฟสชิฟบนตัวสะท้อนคลื่น

จากรูปที่ 13 ภาพฉายบนระนาบ  $xy$  ของส่วนที่ตัดกัน ระหว่างกรวยกลม (ที่มีจุดยอดอยู่ที่จุดไฟกัส) กับออฟเซทพาราโบลอยด์ จะเป็นวงกลมที่มีจุดศูนย์กลาง ( $x_0$ ) ดังนี้

$$x_0 = 2f \sin\theta_0 / (\cos\theta_0 + \cos\theta) \quad (13)$$

และ เส้นผ่านศูนย์กลาง ( $d$ )

$$d = 4f \sin\theta_0 / (\cos\theta_0 + \cos\theta) \quad (14)$$

เมื่อ  $f$  เป็นความยาวโฟกัสของพาราโบลอยด์ แล้วจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างจุดต่าง ๆ บนผิวของพาราโบลอยด์ กับ จุดต่าง ๆ บนภาพฉายของพาราโบลอยด์บนระนาบ  $xy$  ดังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x = \rho(\cos\theta_0 \sin\theta' \cos\phi' + \sin\theta_0 \cos\theta') \quad (15)$$

$$y = \rho \sin\theta' \sin\phi' \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \rho &= 2f/(1 + \cos\theta) \\ &= 2f/(1 + \cos\theta' \cos\theta_0 - \sin\theta' \sin\theta_0 \cos\phi') \end{aligned} \quad (17)$$

ดังนั้น รูปแบบของสนามระยะไกล (Far Field Pattern) ของสายอากาศสำหรับมุมเล็กๆ เป็นดังนี้

$$A = \int_{-\pi}^{\pi} \int_0^{2\pi} (LF/\rho) \exp\{j2rv/d[(x-x_0)\cos\theta_0 + y\sin\theta_0]\} \cdot \rho^2 \sin\theta' d\theta' d\phi' \quad (18)$$

เมื่อ  $v = \sin\theta_0 / (\lambda/d)$ ,  $L$  เป็นเฟคเตอร์ขององค์ประกอบทางโพลาริเซชันที่จะทำการคำนวณ และเอาเพอเจอร์เซอเฟสอีลิเมนต์ (Aperture Surface Element) สามารถลงเหลือ  $\rho^2 \sin\theta' d\theta' d\phi'$  ถ้าสมมติให้รูปแบบของการแผ่เป็นแบบวงกลมสมมาตร และเกิดแพทเทอนในระนาบ  $H$  ที่ปลายท่อส่งคลื่นกลม ซึ่งถูกกระตุ้นโดยโหมด  $TE_{1,1}$

$$F(\theta) = \frac{[1 - (u_{1,1}/u)^2]^{1/2} + \cos\theta}{1 - (u \sin\theta / u_{1,1})^2} J'_1(u \sin\theta) \quad (19)$$

เมื่อ  $u$  เป็นเส้นรอบวงของท่อนำคลื่นในหน่วยของความยาวคลื่น และ  $u_{1,1}$  เป็นรากที่หนึ่งของ  $J'_1(u) = 0$  แทนค่าสมการ (11) สำหรับ  $L$  ลงในสมการ (18) เพื่อที่จะได้องค์ประกอบของโพลาริเซชันหลัก (Principal Polarization Component)

$$P = 2 \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} M \exp\{j(2rv/d)(x-x_0)\cos\theta_0\}$$

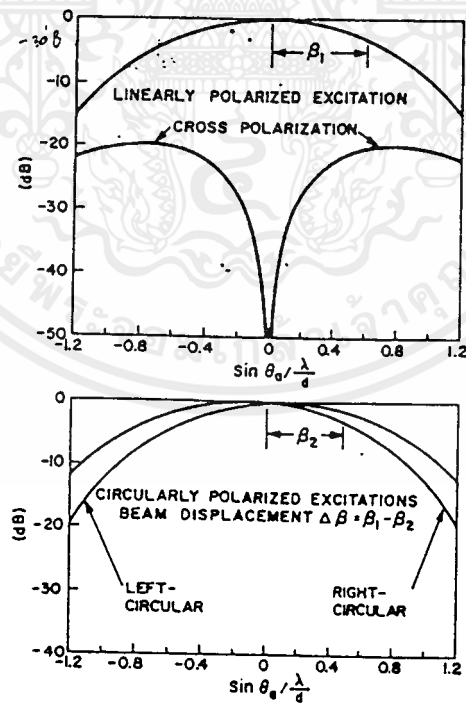
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 $\cdot \cos\{[2rv/d]y\sin\theta_0\} \rho^2 \sin\theta' d\theta' d\phi' \quad (20)$   
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับองค์ประกอบครอสโพลาไรเซชัน หาได้โดยแทนสมการ (12) สำหรับค่า  $L$   
ลงในสมการ (18)

$$C = 2 \int_0^{\pi} \int_0^{\rho} N \exp[j(2rv/d)(x-x_0)\cos\phi] \cdot \sin[(2rv/d)y\sin\phi] / \sin\phi \, d\phi \, d\rho \quad (21)$$

แล้วถ้าแทนค่า  $L = \exp[j\tan^{-1}(N/M)]$  ลงในสมการ (18) จะได้รูปแบบของการหันเหของลำบีม ของโพลาไรเซชันวงกลม ดังนี้

$$K = 2 \int_0^{\pi} \int_0^{\rho} \exp[j(2rv/d)(x-x_0)\cos\phi] \cdot \cos[\tan^{-1}(N/M) + (2rv/d)y\sin\phi] \cdot F / \sin\phi \, d\phi \, d\rho \quad (22)$$



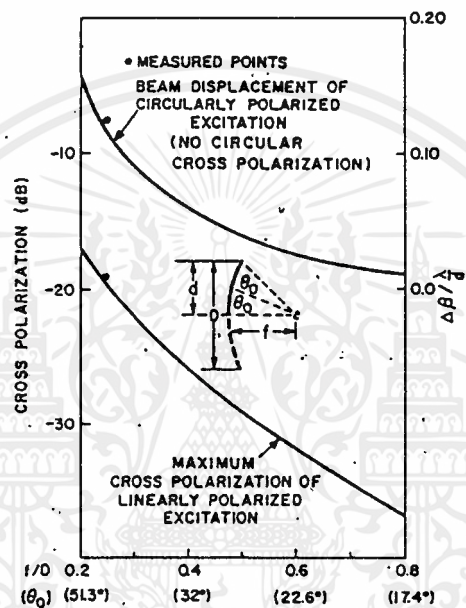
เนื่องจากไม่มีครอสโพลาไรเซชันในแนวที่สมมาตร ดังนั้นจะไม่มีครอสโพลาไรเซชันเกิดขึ้นที่  $\phi_u = 0$

ในการคำนวณโดยใช้วิธีเมอริคอลล (Numerical) จะทำการคำนวณโดยใช้  $\phi_u = 90^\circ$  ซึ่งจะสามารถหาค่าครอสโพลาไรเซชันสูงสุดได้

จากรูปที่ 14 เป็นตัวอย่างกราฟที่ได้จากการคำนวณโดยใช้วิธีเมอริคอลลของสมการ (20) ถึง (22) โดยที่  $\phi_u = \phi_o = 45^\circ$  จะเห็นว่าครอสโพลาไรเซชันจะมีค่าสูงสุดที่นอกบริเวณของ  $-3\text{dB}$  ของบีมหลัก แต่อย่างไรก็ตามค่าของครอสโพลาไรเซชันที่บริเวณ  $-3\text{dB}$  ของบีมหลักจะต่ำกว่าค่าสูงสุดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เมื่อองค์ประกอบของครอสโพลาไรเซชัน และโพลาไรเซชันหลัก (Principal Polarization) เกิดการอินเฟสที่ปากช่องเปิดของตัวสะท้อนคลื่น ก็จะทำให้เกิดการอินเฟสขององค์ประกอบทั้งสองที่สนามระยะไกลของบีมหลักด้วย จากรูปที่ 14 จะเห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของครอสโพลาไรเซชัน เมื่อออกนอกแนวแกนหลักของบีมหลักแสดงให้เห็นว่า การกระจายคลื่นแบบออปเพกต์ไม่มีคุณสมบัติของ Polarization Stationarity (จะมีครอสโพลาไรเซชันเรดิเอชัน [Cross Polarization Radiation] เป็น 0 ในทิศทางของบีมหลักที่มีค่าสูงสุด)

การหันเหของบีม  $\Delta\beta$  ดังแสดงในรูปที่ 14 เป็นการชีบบีมโพลาไรเซชันวงกลมเมื่อเทียบกับ ระนาบนิลลิกคัลของระบบสมมาตร (Physical Plane of Symmetry) ซึ่งทิศทางของการชีบบีมนั้น จะชีบบีมไปทางขวาหากใช้โพลาไรเซชันวงกลมที่หมุนไปทางซ้าย (Left-handed Circular Polarization) และจะชีบบีมไปทางซ้ายหากใช้โพลาไรเซชันวงกลมที่หมุนไปทางขวา (Right-handed Circular Polarization) เนื่องจากความกว้างของบีมครึ่งหนึ่งของกำลังงานสูงสุด ( $2\beta_u$ ) ของแพทเทอนโพลาไรเซชันเชิงเส้น จะเท่ากับแพทเทอนของโพลาไรเซชันวงกลม ดังนั้น  $\Delta\beta = \beta_u - \beta_u$  เมื่อ  $\beta_u$  เป็นมุมระหว่างแกนหลัก กับทิศทางครึ่งหนึ่งของกำลังงานสูงสุดของบีมหลักของการกระจายแบบโพลาไรเซชันวงกลม ซึ่งการหันเหของบีมนี้สามารถใช้ประโยชน์สำหรับการที่ต้องการส่ง 2 โพลาไรเซชันพร้อมกัน โดยยอมสิ้นเปลืองพลังงานไปบางส่วน



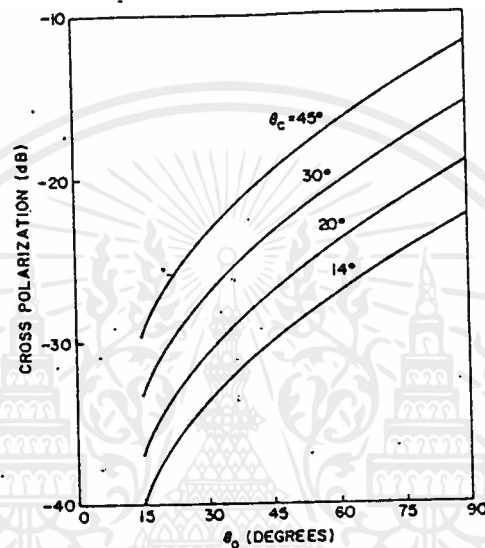
รูปที่ 15 Cross polarization and displacement versus  $f/D$  ratio

$$(\theta_0 = \theta_1)$$

จากรูปที่ 15 เป็นกราฟสรุปข้อมูลทางนิวเมอริคอลของครอสโพลาไรเซชันสูงสุด สำหรับการกระจายคลื่นแบบโพลาไรเซชันเชิงเส้น และการหักเหของ빔 สำหรับการกระจายคลื่นแบบโพลาไรเซชันวงกลม เทียบกับอัตราส่วนระหว่าง  $f/D$  (หรือ ค่าของมุม  $\theta_0$ )

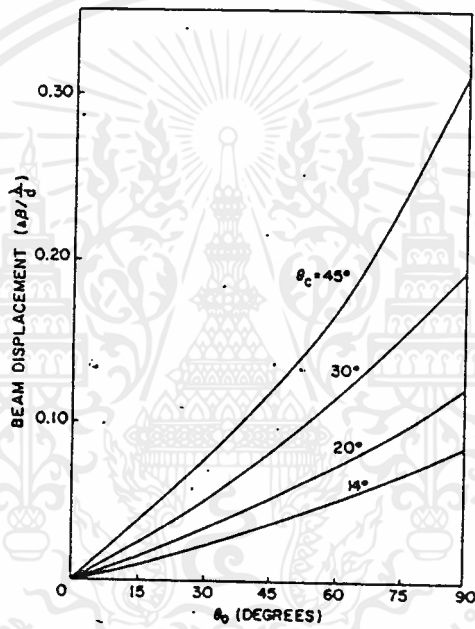
ในกรณีที่  $\theta_0 = \theta_1$  ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าค่าของครอสโพลาไรเซชันจะมีค่าห้อยลง เมื่อค่า  $f/D$  มีค่าเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 16 Maximum cross polarization of linearly polarized excitation

จากรูปที่ 16 แสดงค่าครอสโพลาไรเซชันสูงสุด ที่ค่า  $\theta_0$  และ  $\theta_c$  ต่างๆกัน โดยใช้รูปแบบการการหนี (Feed) ที่มีการเทเปอร์ (Taper) เท่ากับ 10 dB ซึ่งหากทำการเพิ่มค่าเทเปอร์เป็น 20dB จะมีผลทำให้ค่าครอสโพลาไรเซชันลดลงไปเพียง 1dB เท่านั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวิชาการเชิงเทคนิคเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



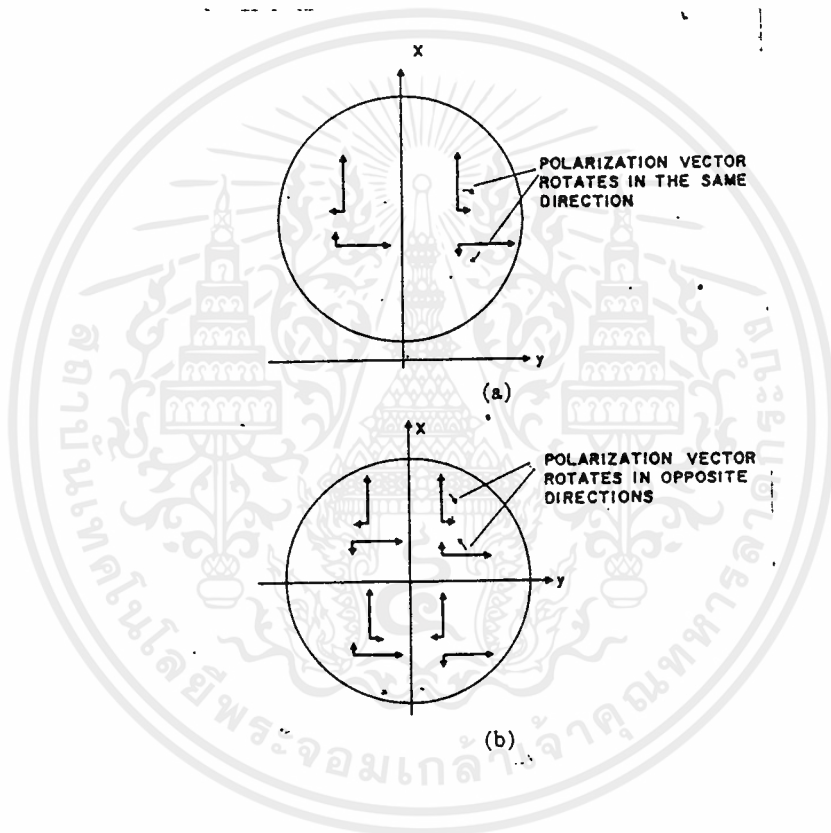
รูปที่ 17 Beam displacement of circularly polarized excitation (no circular cross polarization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 จากรูปที่ 17 เป็นค่าของการหักเหของบีม ที่ค่า  $\theta_c$  และ  $\theta_0$  ต่างๆกัน

### 2.5.2 การเปรียบเทียบครอสโพลาไรเซชันระหว่างเซเตอร์นิตและออฟเซทนิต

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า การเกิดครอสโพลาไรเซชันมีสาเหตุมาจากการที่แกนของตัวกระจายคลื่นอยู่นอกแกน (Offset) กับแกนของตัวสะท้อนคลื่น ซึ่งครอสโพลาไรเซชันจะไม่เกิดขึ้นหากมุมของการออฟเซท ( $\phi_0$ ) เป็นศูนย์ แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้  $\phi_0 = 0$  ก็ยังสามารถเกิดครอสโพลาไรเซชันขึ้นได้หากใช้การกระจายคลื่นแบบไม่สมมาตร (Unbalanced Feed) ซึ่งการเปรียบเทียบคุณสมบัติของครอสโพลาไรเซชันที่เกิดจากขบวนการทั้งสอง เป็นดังตารางต่อไปนี้

Offset Polarization with Balanced Feed	Unbalanced Feed
1. Unstationally (cusp) polarization at beam maximum.	1. Stationary (saddle point) polarization at beam maximum.
2. The polarization vectors rotate in the same direction for two principal linear polarization in the paraboloidal aperture. [รูปที่ 18(a)]	2. The polarization vectors rotate in opposite direction for two principal linear polarization in the paraboloidal aperture. [รูปที่ 18(b)]
3. Cross polarized radiation in phase quadrature with principal polarization.	3. Cross polarized radiation in phase with principal polarization.
4. Cancellation of cross polarization in one principal plane only.	4. Cancellation of cross polarization in both principal planes.
5. Maximum cross polarization in the other principal plane.	5. Maximum cross polarization in the $45^\circ$ planes.
6. No cross polarization but beam displacement for	6. Equal cross polarization lobes in all planes for circularly



รูปที่ 18 (a) Cross polarization due to offset. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในเฉพาะของโครงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 (b) Cross polarization due to unbalanced feed. ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเอกสารนี้

จากรูปที่ 18 เป็นการแสดงให้เห็นถึงลักษณะคุณสมบัติของครอสโพลาไรเซชันที่ปากช่องเปิดนาราโบลอยด์ (Paraboloidal Aperture) ของการบิดแบบออฟเซต (Offset Feed) และการบิดแบบไม่สมมาตร (Unbalanced Feed)

ในกรณีที่เป็นออฟเซตบิด โพลาไรเซชันหลักทั้งสองจะหมุนไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 18(a) ซึ่งจะไม่เกิดครอสโพลาไรเซชันขึ้นที่แกนหลักแกนใดแกนหนึ่งเท่านั้น ส่วนในกรณีเป็นการบิดไม่สมมาตร โพลาไรเซชันหลักทั้งสองจะหมุนไปในทิศทางที่ตรงกันข้ามกัน ดังแสดงในรูปที่ 18(b) ซึ่งจะไม่เกิดครอสโพลาไรเซชันขึ้นที่แกนหลักทั้งสองแกน

คุณสมบัติของครอสโพลาไรเซชันที่เกิดจากทั้งสองกระบวนการที่กล่าวไปแล้วนี้ จะยังคงเป็นไปในลักษณะเดิมเสมอ ถึงแม้ว่ารูปร่างของปากช่องเปิด (Shape of Aperture) จะไม่เป็นวงกลม แต่มีข้อแม้ว่าจะต้องมีความสมมาตรบนแกนหลักทั้งสอง อาทิเช่น วงรี เป็นต้น



### 2.5.3 ปัจจัยอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดการดีโพลาไรเซชัน (DEPOLARIZATION) บนตัวสะท้อนคลื่น

#### 2.5.3.1 Longitudinal Current Distribution

ครอสโพลาไรเซชันที่เกิดจาก Longitudinal Current Distribution บนเสาอากาศแบบรีเฟลคเตอร์ เชื่อว่าขึ้นอยู่กับระดับของไอโซทรอปิก (Isotropic) ดังนั้นเราไม่จำเป็นต้องสนใจ Longitudinal Current Distribution ก็ได้ หากเราใช้เสาอากาศรีเฟลคเตอร์ที่มีขนาดใหญ่และมีเกนสูง ส่วนค่าอัตราส่วนระหว่างระดับแรงดัน (Voltage) ของครอสโพลาไรเซชันสูงสุด (Maximum Cross Polarization) เทียบกับระดับของไอโซทรอปิกจะมีค่าประมาณ  $D/8f$  (จาก Radiation Integral ของกระแสที่กระจายอยู่ที่ผิวของรีเฟลคเตอร์)

#### 2.5.3.2 การที่รูปร่างพื้นผิวไม่เป็นพาราโบลอยด์ (Nonparaboloidal Surface Shape)

ในการออกแบบเสาอากาศแบบมัลติบีม หรือสแกนนิ่ง วิธีหนึ่งที่น่าสนใจใช้กันมากคือการใช้รีเฟลคเตอร์แบบทรงกลม (Spherical or Torus Reflector) ซึ่งลักษณะพื้นผิวจะผิดเพี้ยนไปจากความโค้งของพาราโบลอยด์

ถ้า สนามที่สะท้อนออกมาจากรีเฟลคเตอร์ที่เป็นพาราโบลอยด์ที่สมบูรณ์ เป็นดังนี้

$$\vec{E}_r = -\vec{E}_i + 2\hat{n}(\hat{n} \cdot \vec{E}_i) \quad (23)$$

โดยที่

$\vec{E}_i$  เป็น สนามที่มาตกกระทบพื้นผิว

$\hat{n}$  เป็น สูนิตเวกเตอร์ (Unit Vector) ที่ตั้งฉากกับพื้นผิว

และถ้าลักษณะพื้นผิวสะท้อนผิดเพี้ยนไปจากความโค้งของพาราโบลอยด์ โดยที่มีสุนิต

เวกเตอร์ของพื้นผิวนั้นเป็น  $\hat{n}' = \hat{n} + \Delta$  ดังนั้นจะได้สมการของสนามที่สะท้อนออกมาจากพื้นผิวนั้น

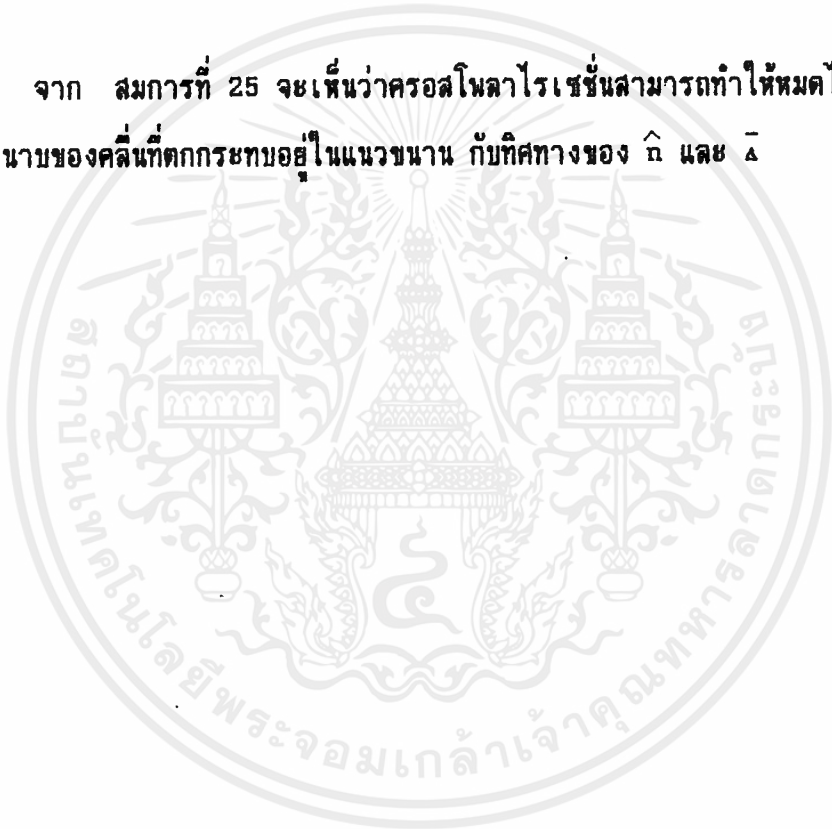
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม

$$\bar{E}_r' = -\bar{E}_r + 2\hat{n}(\hat{n}'\bar{E}_r) \quad (24)$$

เมื่อ ลบสมการ (23) ออกจากสมการ (24) จะได้ส่วนประกอบในทิศทางของ  
ครอสโพลาไรเซชันที่เกิดจากผิวสะท้อนที่ไม่เป็นพาราโบลอยด์ ดังนี้

$$\begin{aligned} (\bar{E}_r' - \bar{E}_r) \cdot X &= 2(\hat{n} \cdot \hat{X})(\bar{\Delta} \cdot \bar{E}_r) + 2(\bar{\Delta} \cdot \hat{X})(\hat{n} \cdot \bar{E}_r) \\ &+ 2(\bar{\Delta} \cdot \hat{X})(\bar{\Delta} \cdot \bar{E}_r) \end{aligned} \quad (25)$$

จาก สมการที่ 25 จะเห็นว่าครอสโพลาไรเซชันสามารถทำให้หมดไปได้โดยทำ  
ให้ระนาบของคลื่นที่ตกกระทบอยู่ในแนวขนาน กับทิศทางของ  $\hat{n}$  และ  $\bar{\Delta}$



## 2.6 ลักษณะขอบเขตโฟกัสของออฟเซทรีเฟลคเตอร์

(Focus Region Characteristics of Offset Fed Reflectors)

สาขอากาศแบบออฟเซทรีเฟลคเตอร์ ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการสื่อสารผ่านดาวเทียม ซึ่งต้องการแพทเทิร์นที่มีระดับไซด์โลบ (Side lobe Level) ต่ำๆ เพื่อสามารถแยกแยะลำบีมความถี่เดียวกันที่อยู่ใกล้ๆ กันได้ ทั้งนี้เพราะการใช้สาขอากาศแบบออฟเซทรีเฟลคเตอร์สามารถกำจัดปัญหาเกี่ยวกับไซด์โลบที่เกิดจากอาพเอเจอร์บล็อกเกจ (Aperture Blockage) ได้ ดังนั้นเรื่องเกี่ยวกับพฤติกรรมขอบเขตโฟกัสของออฟเซทรีเฟลคเตอร์ จึงเป็นที่น่าสนใจมากสำหรับสาขอากาศแบบมีลติบีมและสแกนนิ่งบีม (ซึ่งต้องการบีมเล็กและแหลมคม) ที่ประกอบด้วยกลุ่มของตัวกระจายคลื่น

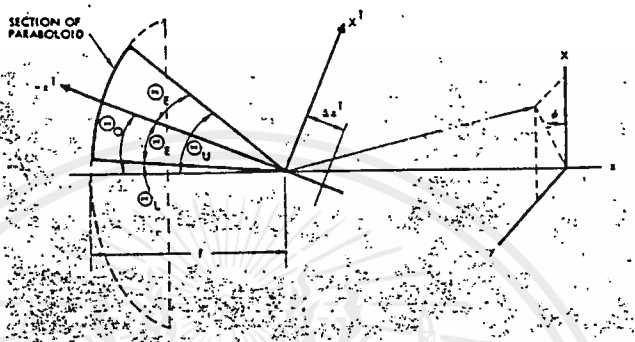
### 2.6.1 แกนของออฟเซทและระนาบของออฟเซทโฟกัส

(Offset Axis and Offset Focal plane)

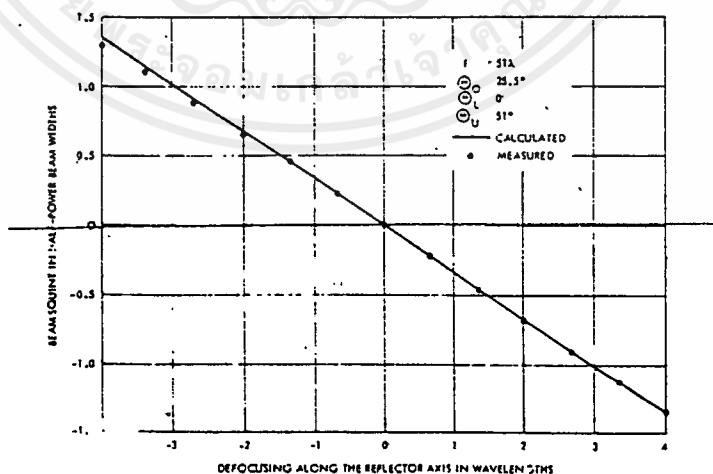
ในสาขอากาศรีเฟลคเตอร์ที่มีการพิดด้านหน้า (Front Fed Reflector) สามารถสร้างกราฟของแอกเซียลดีโฟกัสซิ่ง (Axial Defocusing Curve) ได้ โดยวิธีเคลื่อนย้ายตัวกระจายคลื่นไปในแนวแกนของตัวสะท้อนคลื่น ซึ่งบีมของคลื่นที่สะท้อนออกจากรีเฟลคเตอร์นั้นจะยังคงสมมาตร กับแกนของตัวสะท้อนคลื่น ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามการเคลื่อนย้ายของตัวกระจายคลื่น แต่สำหรับสาขอากาศแบบออฟเซทพิดแล้ว ทิศทางของแกนของคลื่นที่สะท้อนออกมาจากตัวสะท้อน จะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของ แอกเซียลดีโฟกัสซิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 20 ทั้งนี้เพราะ แอกเซียลดีโฟกัสซิ่ง (โดย  $\Delta Z$  ในสาขอากาศแบบออฟเซทรีเฟลคเตอร์) จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเฟสในระนาบ  $XZ$  จาก  $\Delta Z \cos \theta_u$  ไปจนถึง  $\Delta Z \cos \theta_u$  เมื่อ  $\theta_u$  และ  $\theta_u$  เป็นมุมที่กระทำจากจุดโฟกัส ถึงขอบบนและขอบล่างของตัวสะท้อนคลื่นในระนาบ  $XZ$

เพื่อเป็นการรับประกันว่า ทิศทางของแกนของบีมที่สะท้อนออกมาจากตัวสะท้อนคลื่น จะอยู่ในแนวของแกนของตัวสะท้อนคลื่นเสมอ ตลอดการเคลื่อนย้ายตัวกระจายคลื่น เราจะต้องทำการเคลื่อนย้ายตัวกระจายคลื่นคลื่อน ในแนวของ  $\theta_u$  ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของเฟสบนปากช่องเปิด ในระนาบ  $XZ$  จะสมมาตร โดยที่สามารถหารระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของเฟสของตัวกระจายคลื่น กับระนาบของโฟกัส ของ ไทนิคอลเรย์ (Typical Ray)

ได้ดังนี้  $2f - \Delta Z' \cos(\theta - \theta_0)$  เมื่อ  $f$  เป็นความยาวโฟกัสของตัวสะท้อนคลื่น,  $\Delta Z'$  เป็นระยะทางที่ตัวกระจายคลื่นเคลื่อนที่ไปตามแนวของ  $\theta_0$  และ  $\theta$  เป็นมุมระหว่างไทม์คอดเรย์ (Typical Ray) กับแกนของตัวสะท้อนคลื่น



รูปที่ 19 Offset Paraboloidal Reflector Antenna



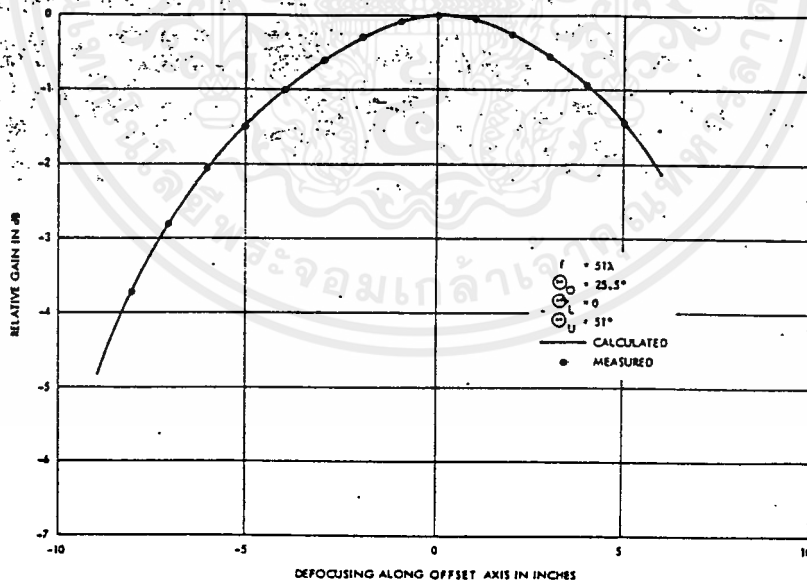
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้ไปยังบุคคลอื่นหรือสาธารณะทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 20 Beam Squint Characteristics

โดยที่โทนิคอลเรย์จะเป็นฟังก์ชันของ  $\theta$  เทียบกับ  $\theta_0$  เมื่อ  $\theta_L < \theta < \theta_U$  และ

$$\theta_0 = 1/2(\theta_U + \theta_L) \quad (26)$$

ซึ่งต่อไป เราจะนิยามออฟแกนเซท(Offset Axis) ว่าเป็นแกนที่อยู่ทิศทางของมุม  $\theta_0$  ซึ่ง  $\Delta Z'$  จะทำให้เกิดการตีไฟกัสตลอดแนวแกนออฟเซท ดังแสดงในรูปที่ 21 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดง Offset Axial Defocusing Curve ที่ได้จากการคำนวณและวัดในบางจุด

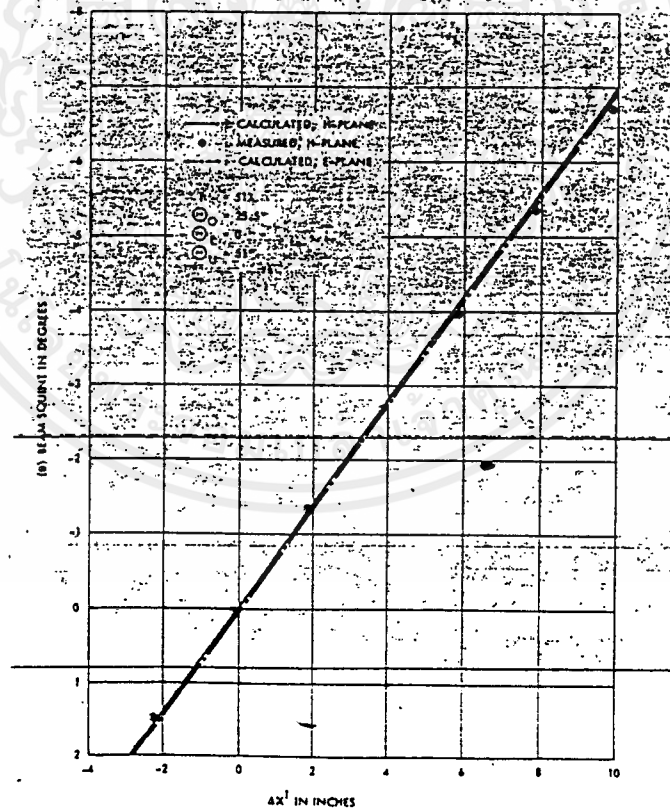


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะรูปที่ 21 Defocusing curve. เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

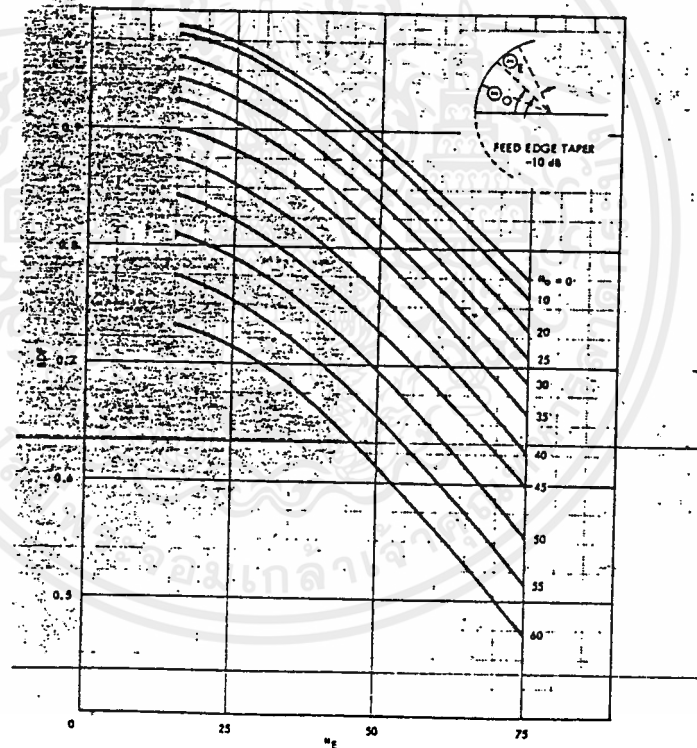
จากรูปที่ 21 ค่าที่ได้จากการคำนวณ และการวัดจะมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อการเคลื่อนที่ของตัวกระจายคลื่น อยู่ในทิศทางของ  $\theta_0$  โดยสมบูรณ์

ถ้า Offset Axial Defocusing เกิดจากการเคลื่อนย้ายตัวกระจายคลื่นไปตามแนวแกนของออฟเซต แล้วพื้นที่ที่มีเฟสเท่ากัน (ระนาบของออฟเซตโฟกัส) จะเป็นระนาบที่ประกอบด้วยจุดโฟกัส และตั้งฉากกับแกนของออฟเซต

## 2.6.2 ส่วนประกอบในการหันเหของลำคลื่น (Beam Deviation factor)



จากรูปที่ 22 แสดงให้เห็นถึงการโอนเอียงของบีม(Beam Squint)ในระนาบหลัก ที่ขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนย้ายตัวกระจายคลื่นไปในระนาบของออฟเซทโฟกัส และเป็นที่น่าสังเกตว่า การเอียงของลำบีมจะเป็นลักษณะเดียวกันในระนาบหลัก ที่มีการเคลื่อนย้ายในระนาบทั้งสองเท่ากัน ซึ่งแสดงว่า ส่วนประกอบของการหันเหของบีม (Beam Deviation Factor, BDF) จะไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของตัวกระจายคลื่นในแนว อาซิมุท (Azimuth)



รูปที่ 23 Beam Deviation Factor vs. the Edge Angle ( $\alpha_e$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่แบบสิ่งใดและโดยวิธีใดซึ่งมิใช่ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 23 แสดงให้เห็นถึงการคำนวณค่า BDF โดยที่มุมของขอบ( $\theta_0$ ) เป็นตัวแปล(วัดเทียบกับแกนออฟเซต, $\theta_0$ )ที่มุม  $\theta_0$  ต่างๆกัน โดยที่สมมติให้ ตัวกระจายคลื่นมีรูปแบบเป็น  $\cos^n$  Type Voltage Pattern โดยที่ n จะถูกปรับให้มี edge taper เป็น -10 dB

ซึ่งจะเห็นได้ว่า หากมีการเพิ่มค่า  $\theta_0$  (หรือ  $\theta_x$ ) เมื่อ  $\theta_0$  (หรือ  $\theta_x$ ) คงที่ จะทำให้ค่า BDF ลดลง ทั้งนี้เพราะการเพิ่มค่า  $\theta_x$  เมื่อ  $\theta_0$  คงที่ หรือ เพิ่มค่า  $\theta_0$  เมื่อ  $\theta_x$  คงที่ จะทำให้ค่า  $f/D$  ลดลงตามสมการต่อไปนี้

$$f/D = (\cos\theta_x + \cos\theta_0) / (4\sin\theta_x) \quad (27)$$

ดังนั้น จะทำให้ค่า BDF ลดลงด้วย

นอกจากนั้น ที่  $\theta_x$  และ  $\theta_0$  ค่าหนึ่งๆ อัตราส่วนระหว่างค่า BDF (จากรูปที่ 23) กับค่า  $f/D$  (จากสมการที่ 27) จะคงที่ ซึ่งหมายถึงว่าเราสามารถคำนวณหาค่า BDF ของออฟเซตริเฟลคเตอร์ ได้จากสายอากาศที่มีการติดตั้งด้านหน้า (Front Fed Reflector) ที่มีมุมของขอบจางเท่ากัน ได้จากสมการต่อไปนี้

$$(BDF)_{offset} \cdot (f/D)_{front\ fed} = (BDF)_{front\ fed} \cdot (f/D)_{offset} \quad (28)$$

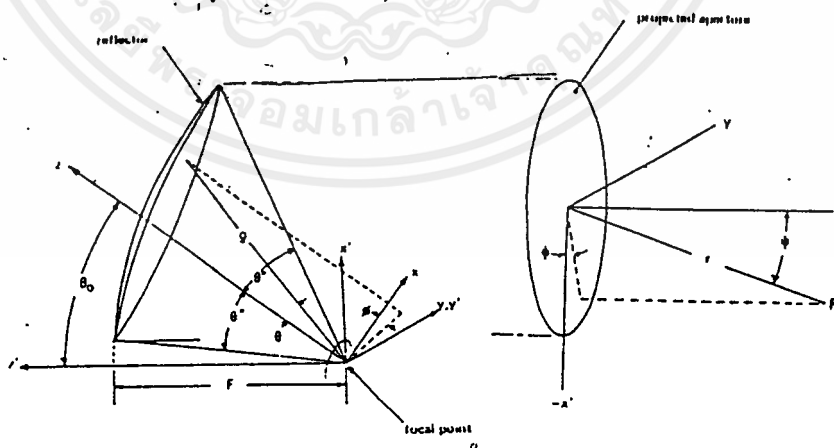
## 2.7 ตัวอย่างการออกแบบของสายอากาศมัลติ บิลสปอตบีม

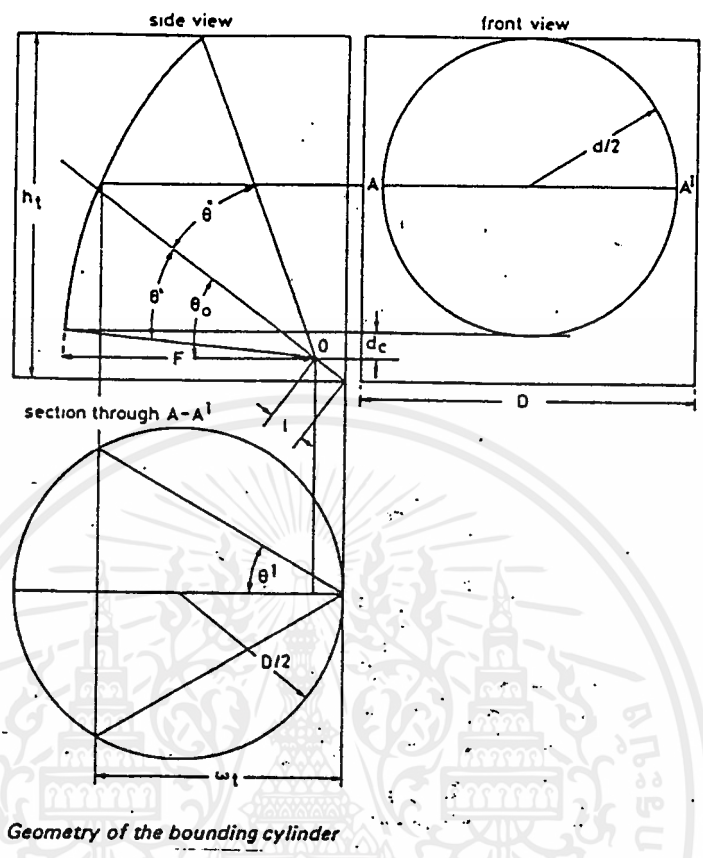
### (MULTIPLE SPOT-BEAM ANTENNA)

การออกแบบสายอากาศมัลติ บิลสปอตบีมออฟเซทรีเฟรคเตอร์จำนวนตัวแปร และองศาของมุมที่เราพิจารณาต้องมีความสัมพันธ์กัน การออกแบบที่ดีและเป็นที่ยอมรับ จะใช้เทคนิคทางการคำนวณเพื่อแสดงรูปแบบของสายอากาศซึ่งรูปแบบทางการคำนวณสมัยใหม่จะทำได้ง่าย

#### 2.7.1 การออกแบบพารามิเตอร์(The Design Parameters)

ขบวนการเป็นขั้นๆ(Step-by-step)ต้องระบุรายละเอียดของบีมที่ครอบคลุมสำหรับ ตั้ง(Set)ค่าบีมโพลาริซิงกลม(Circular Polarised Beam)ค่าครอบคลุมของบีม (Beam Coverage)เป็นการแสดงค่าแบริจที่ออฟเพาเวอร์(Half-power Beamwidth) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับมุม  $\theta$  มุมเหล่านี้จะคงที่(Fixed)ค่าไว้แสดงดังรูปที่ 24





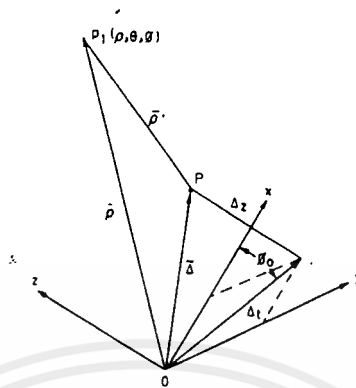
Geometry of the bounding cylinder

รูปที่ 25 Geometry of the Bounding Cylinder

รูปที่ 25 แสดงตัวแปรของสายอากาศ คือค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง  $D$  และความสูง  $h_c$  ความยาวของไฟกัล  $F$  มุม  $\theta_0$  และ มุม  $\theta_1$  รวมทั้งระยะทางเคลียร์รันด  $d_c$

นอกจากตัวแปรที่กล่าวข้างต้นแล้วยังมีตัวแปรที่ต้องการหา คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกระจายคลื่นขึ้นต้น  $2b$  และความยาว  $l$  ชนิดของตัวกระจายคลื่นขึ้นต้นที่ใช้ ตำแหน่งของ Primary-feed Phase Centres ซึ่งให้ Polar Coordinates  $(\rho_{pn}, \theta_{pn})$  อยู่บนแกน  $xy$  จุดเริ่มต้นเป็นจุดที่แสดงไฟกัลขนาดของมุม (Polar) คิดเทียบกับแกน  $x$  จุด Primary-feed Phase Centres

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 26 Coordinate Geometry for Offset Primary-feed.

$P_1$  is a point on the reflector surface and  $P$  is a point in the vicinity of the reflector geometric focus (O)

2.7.2 ขบวนการออกแบบ(The Design Procedure)

การออกแบบเสาอากาศออฟเซตรีเฟลคเตอร์ มีขั้นตอนในการออกแบบดังต่อไปนี้

2.7.2.1 Step 1: Reflector Projected Aperture

การหาเส้นผ่านศูนย์กลางของ Project-aperture(d) ขึ้นอยู่กับระดับค่าของ ไซดโลบที่เราจะกดไว้ และค่าออฟเพาเวอร์บีมวิดท์ต่ำสุด ( $\Psi_{min}$ ) ซึ่งค่าระดับไซดโลบสูงสุดต่ำกว่า -20 dB เส้นผ่านศูนย์กลางของ Project-aperture ต่ำสุดจะมีค่าเท่ากับ

1.1  $\lambda/\Psi_{min}$

โดยที่  $\lambda$  : ความยาวคลื่น

$\Psi_{min}$ : Minimum half-power Beamwidth

เส้นผ่านศูนย์กลาง Project-aperture(d) จะหาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับเป็นเอกสารทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตทุกครั้งที่มีการนำ (29)

$F/d = (\cos\theta_0 + \cos\theta_0^2) / 4\sin\theta_0^2$

- เมื่อ  $F$  = ความยาวโฟกัส  
 $\phi_o$  = มุมของแกนออฟเซตเทียบกับแกนพาราโบล่า  
 $\phi^*$  = Simiangle Subtended by Reflector Rim  
 from Focus

### 2.7.2.2 Step 2: Reflector Parameters

เราจะต้องกำหนดค่าต่อไปนี้คือ  $F$  ,  $\phi_o$  และ  $\phi^*$  เพื่อจะได้คำนวณหาค่าความสูง  $h_t$  ค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง  $D$  และเคลียร์เรนซ์  $d_c$  ซึ่งสามารถแสดงในรูปที่ 2 เราสามารถคำนวณจากสูตร

$$h_t = 2F \tan \frac{\phi_o + \phi^*}{2} + l \sin \phi_o \quad (30)$$

$$D = \frac{d^2 / 4 + (w_t)^2}{w_t} \quad (31)$$

เมื่อ

$$w_t = F \{ 1 - [ \sin \phi_o / (\cos \phi_o + \cos \phi^*) ] \} + l \cos \phi_o \quad (32)$$

$$d_c = 2F * \tan \{ (\phi_o - \phi^*) / 2 \} \quad (33)$$

โดยที่

- $l$  : ความยาวของตัวพิด มีค่า 5-10 ความยาวคลื่น
- $h_t$  : ความสูงของ Bornding Cylinder
- $D$  : เส้นผ่านศูนย์กลางของ Cylinder
- $d_c$  : ระยะทางของเคลียร์เลนซ์ (Clearance)

$$\Psi_s = \arcsin \left( \left[ \sin \theta_0 \right] / 4rF \right) \quad (34)$$

ซึ่งมุม  $\Psi_s$  เป็นมุมที่เบี่ยงเบนไปจากทิศทางของ Circular-polarized

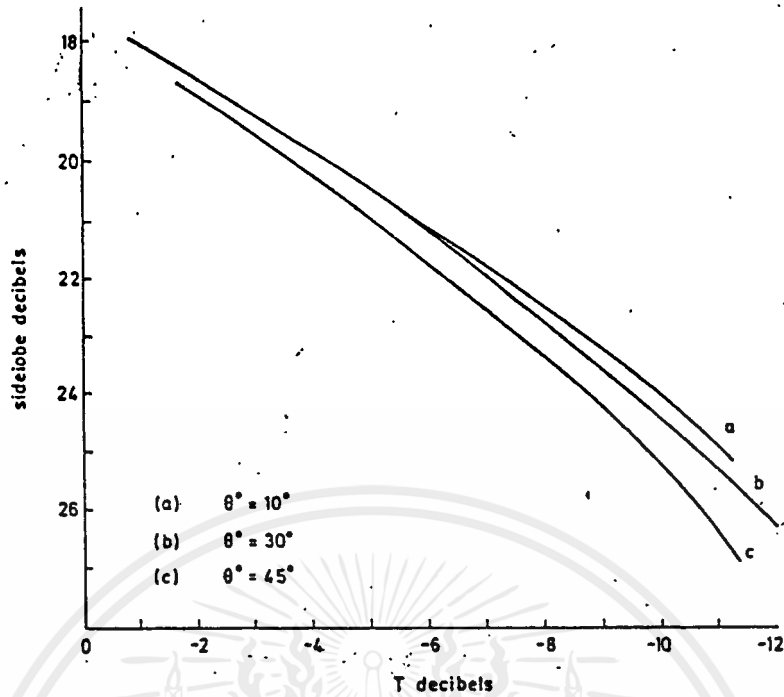
### 2.7.2.3 Step 3 : Primary-feed Parameters

ชนิดของตัวกระจายคลื่นขั้นต้นที่จะปรารถนามีดังต่อไปนี้คือ

1. The Corrugated or Hybrid-mode Conical Horn
2. The "Potter" or Dual-mode Conical Horn
3. The Fundamental Mode ( $Tf_{1,1}$ ) Conical Horn

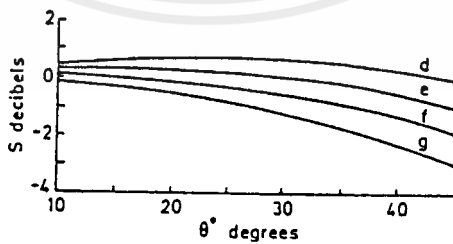
ฮอร์น(Horn)แบบ Hybrid-mode และ Dual-mode จะได้ High-Performance Feed สำหรับสายอากาศออฟเซทรีเฟรคเตอร์โพลาริซวงกลมซึ่งค่าครอสโพลาริเซชันที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่ำมาก (น้อยกว่า-30dB) นิมของโคโพลาริเซชันจะเกิดไซด์โลบต่ำ ค่า VSWR สามารถทำให้ต่ำมาก(น้อยกว่า1.1:1) ฮอร์นของ Dual-mode จะมีแบนวิดท์แคบส่วนแบบ Hybrid-mode จะมีแบนวิดท์ที่กว้างกว่า มุม Flare Angle ที่มีค่าน้อยกว่าของ Fundamental-mode Conical-horn และเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กกว่าแบบ Hybrid-mode หรือ Dual-mode Horn

การหาเส้นผ่านศูนย์กลางของ Feed-horn Aperture ( $2b$ ) เราจะต้องกำหนดค่าระดับของไซด์โลบ ซึ่งค่าสูงสุดมีค่า -20dB ในการออกแบบออฟเซทรีเฟรคเตอร์นี้ เรากำหนดระดับไซด์โลบเป็น -20dB เพื่อที่เราจะนำไปหาค่าเทเปอร์ (T) ค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์ดังกราฟรูปที่ 27



รูปที่ 27 First Radiated Sidelobe Levels from Reflectors, as a Function of Reflector illumination Taper T

เทเปอร์ (T) ประกอบด้วย Symmetrical G และ Space-factor S (  $T=G+S$  )  
 ค่า Space-factor S เราจะหาได้จากกราฟรูปที่ 28



รูปที่ 28 Space Attenuation Factor for Offset Reflectors, including additional  $1/2(1+\cos\theta)$  term from feed expression.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 For plane of symmetry use (d)  $\theta = 45^\circ$ , (e)  $\theta = 40^\circ$ , (f)  $\theta = 35^\circ$ , การคำนวณค่า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น สำหรับ plane of asymmetry use curve (g) for any offset angle ไม่ใช้

จากกราฟ เราสามารถหาค่า  $s$  โดยการดูจากค่า  $\theta^*$  และ  $\theta_0$  ซึ่งค่า  $\theta^*$  และ  $\theta_0$  เราทราบจาก step 2

เราหาค่า  $G$  ได้โดยเราหาค่าเทเปอร์  $T$  จากรูป 14 และหาค่า  $s$  จากกราฟรูปที่ 28 ซึ่งจะหาค่า  $G$  จาก

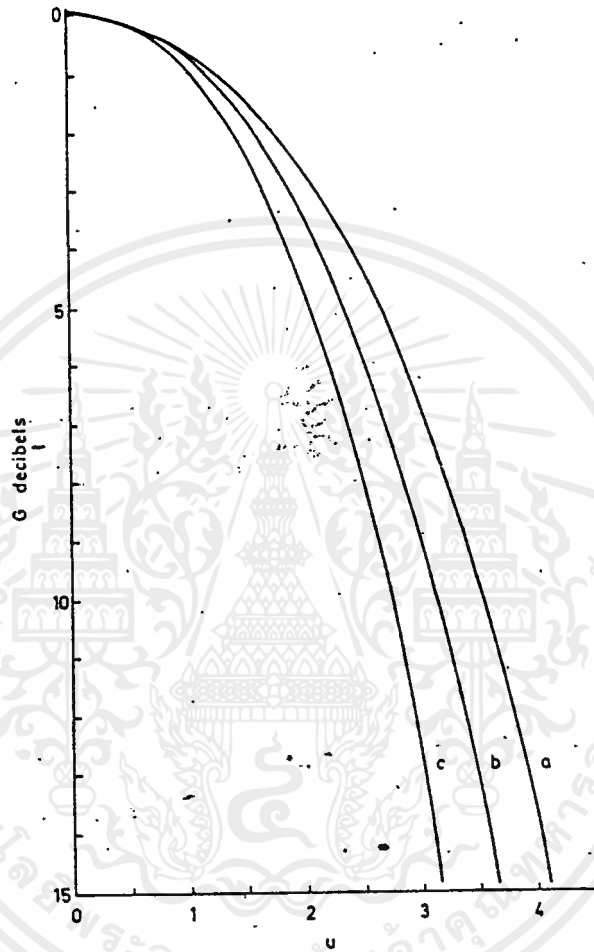
$$G = T - s$$

เมื่อเราทราบค่า Symmetrical Component  $G$  เราจะทราบค่า  $u$  ได้ จากกราฟรูปที่ 29 ซึ่งค่า  $G$  และ  $u$  มีความสัมพันธ์กันและเมื่อทราบค่า  $u$  เราก็สามารถหา เส้นผ่านศูนย์กลางของ ได้จากสูตร

$$u = 2rb \sin \theta^*$$

$$b = u / (2r \sin \theta^*)$$

โดยที่  $b$  : รัศมีของ Feed-aperture หน่วยของ  $b$  เป็นความยาวคลื่น  
เส้นผ่านศูนย์กลางของ Feed-aperture =  $2b\lambda$



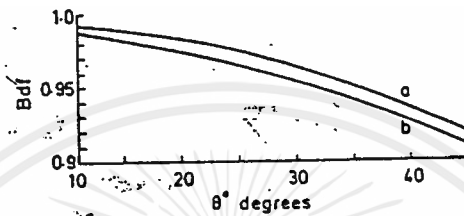
รูปที่ 29 Illumination taper due to pre-dominant terms of feed directivity as a function of  $u = 2rb \sin \theta$  where  $b$  is the feed aperture radius in wavelengths.

- a. Hybrid-mode or dual-mode feeds
- b. Circularly-polarized fundamental-mode feed
- c. Uniformly illuminated circular-aperture feed for

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้จัดทำหรือใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งทำ comparative purposes อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.7.2.4 Step 4 : primary-feed location

ขั้นตอนนี้จะทำการหามุม(Polar) จากแกน x( ) และระยะทางของรัศมี จาก Geometric Focus( $\Delta_{gn}$ ) ซึ่งค่าทั้งสองแสดงได้รูปที่ 11 และรูปที่ 13 ตามลำดับ



รูปที่ 30 Beam Deviation Factor with Mean Reflector illuminations of a -10dB and b -6dB

จากรูปที่ 30 เราสามารถหาค่า Beam Deviation Factor ( $B_{df}$ ) ได้ให้ Beam-pointing Coordinates ( $\Psi_n, \Phi_n$ ) เป็นตำแหน่งของ Primary-feed Phase Centre ซึ่งเป็นการระบุรายละเอียดในเทอมของ Focal Region Coordinate ( $\Delta_{gn}, \Phi_n$ )

$\Delta_{gn}$  และ  $\Phi_n$  หาจากสมการ

$$= \arctan[(\sin \Psi_n \sin \Phi_n \pm \sin \Psi_s) / (\sin \Psi_n \cos \Phi_n)]$$

ระยะทางตำแหน่งของตัวกระจายคลื่น  $\Delta_{gn}$  หาจากสมการ

$$\Delta_{gn} = F / B_{df} \{ (\sin^2 \Psi_n + \sin^2 \Psi_s) \pm (2 \sin \Psi_n \sin \Psi_s \sin \Phi_n) \}$$

โดยที่

$$\Psi_s = \text{beam-squint angle}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม  $B_{df}$  ที่ beam deviation factor จำของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$(\Psi_n, \Phi_n)$  = Beam -pointing Coordinate ซึ่งเป็นตำแหน่ง Primary-feed Phase Centre

$F_u$  = ความยาวโฟกัสของออฟเซตเฟรคเตอร์

$$F_u = F[(1+\cos\theta^*)/(\cos\theta_u + \cos\theta^*)]$$

#### 2.7.2.5 Step 5 : Test for feed-aparing

จาก step 3-4 มุม Beam-pointing, ขนาดของปากช่องเปิดของตัวกระจายคลื่นและตำแหน่งฟีดสามารถที่จะเปลี่ยนใหม่ได้ หากการทดสอบแล้วไม่ดี ในการทดสอบใหม่ของ step 3-5 จนกว่าจะได้ผลเป็นที่พอใจ

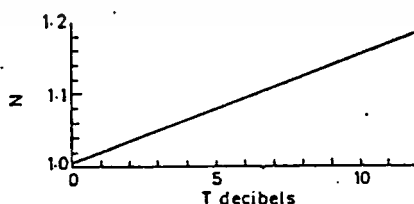
#### 2.7.2.6 Step 6 : Outline electrical performance

การหาค่าของตัวกระจายคลื่นขั้นต้น(b) หาจากรูปที่ 27-29 ซึ่งมาจาก เทเปอร์ (T)

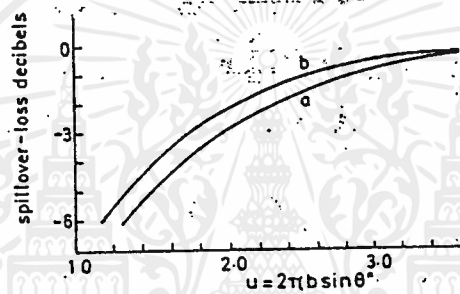
ค่าออฟเพาเวอร์บีมวิทซ์ จะหาได้จาก

$$\Psi_{on} = (N \lambda) / d$$

ซึ่งแพร่จากออฟเซตเฟรคเตอร์ (Offset Reflector)

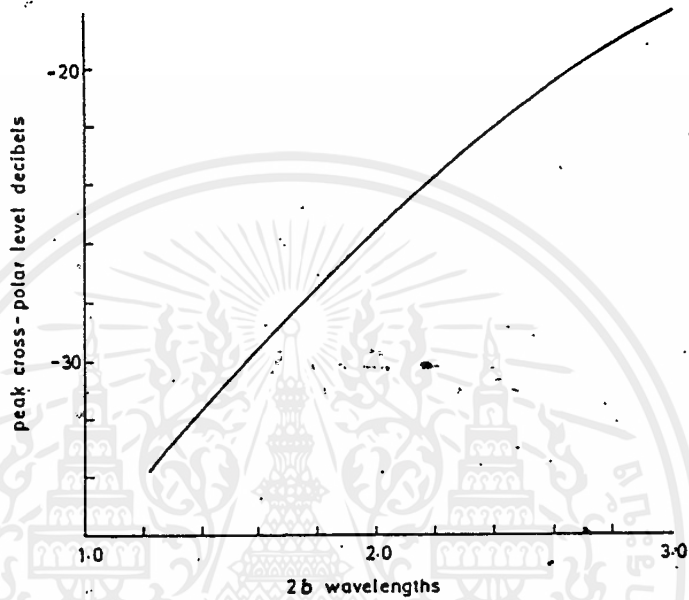


จากรูปที่ 31 เมื่อเรารู้ค่า เทเปอร์  $T$  ซึ่งหาจากความสัมพันธ์จากรูปที่ 14 เราจะหาค่า Beamwidth Factor  $N$  ซึ่งสามารถนำไปหาค่า Half-power Beamwidth ได้ ในการกำหนดมุม  $\theta^*$  จะกำหนดไม่เกิน  $45^\circ$  ค่าการสูญเสียจากการล้นจาน (Spillover Loss) ที่เกิดขึ้นจะหาจากรูปที่ 32 และค่าครอสโพลาไรเซชันของสายอากาศสนามระยะไกล (Far-field) สามารถหาได้จากรูปที่ 33



รูปที่ 32 Feeds Spillover Loss

- a. Hybrid-mode or dual-mode feeds
- b. Fundamental-mode conical feeds  
(circularly-polarized)



รูปที่ 98 Computed Radiated Cross-polar Peaks Offset Reflector Antennas with  $\theta_0$  Values in Range  $40-45^\circ$  Values in the range  $30-35^\circ$  when fed by circularly-polarized fundamental-mode conical horns of diameter  $2B$

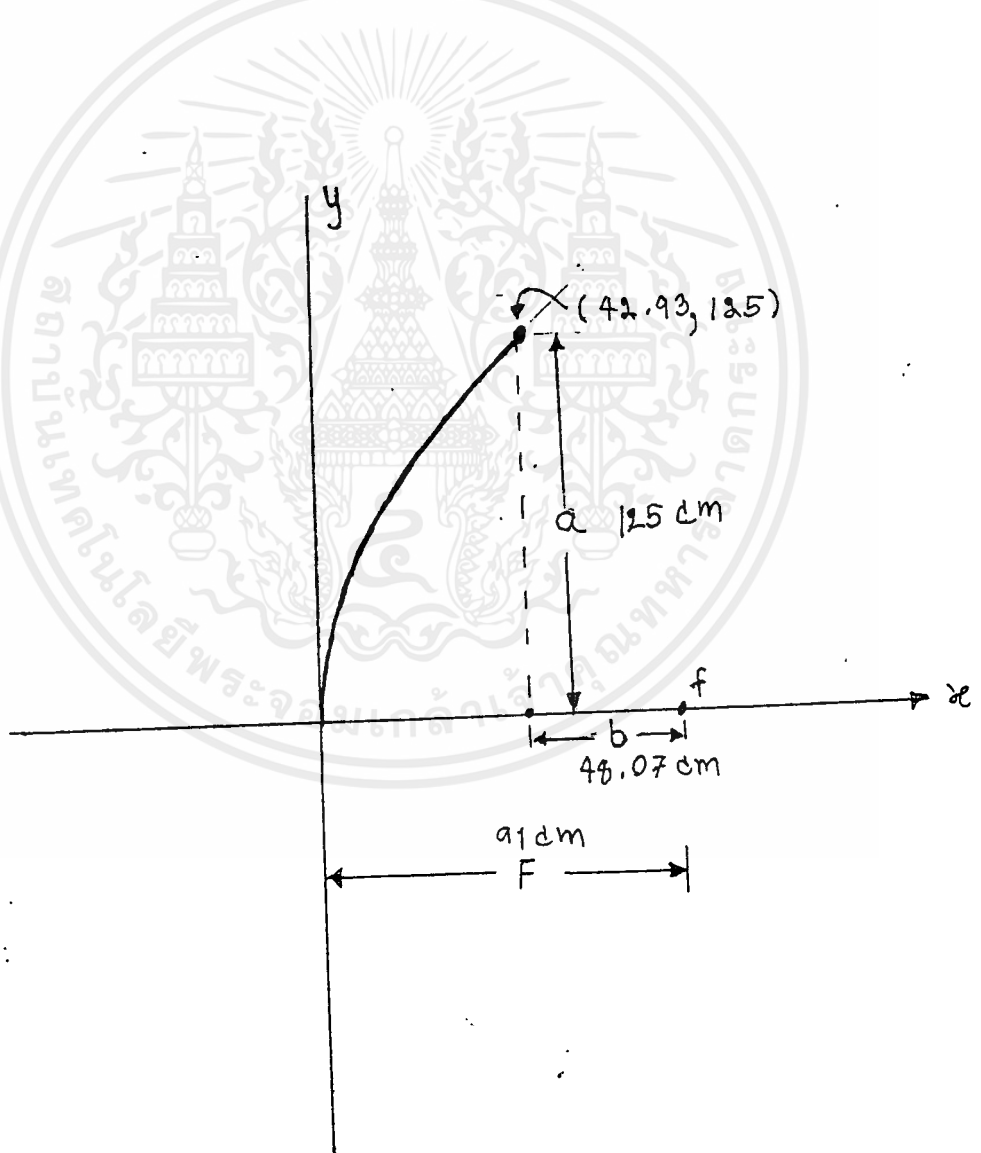
ในการออกแบบของเฟลทรีเฟคเตอร์มุมออฟเซตที่เรากำหนดเพื่อใช้เขียนกราฟนั้น มีค่า  $35-45^\circ$  และมุม  $\theta^\circ$  มีค่า  $30-35^\circ$

## บทที่ 3

## การจัดเตรียมก่อนการทดลอง

## 3.1 การออกแบบสาขาอากาศออฟเซทรีเฟรคเตอร์

การออกแบบออฟเซทรีเฟรคเตอร์ เพื่อการทดลองครั้งนี้ทำได้โดยที่เรามีจานต้นแบบเป็นจานพาราโบล่าที่มีการพิดจากด้านหน้า เส้นผ่านศูนย์กลางของจานเท่ากับ 250 เซนติเมตร ความยาวโฟกัสเท่ากับ 91 เซนติเมตร เมื่อมีจานต้นแบบแล้วเราจึงดูความเป็นไปได้ในการกำหนดมุม  $\theta_0$  และ  $\theta^*$  ควบคู่ไปกับทฤษฎีที่ได้ศึกษามา เมื่อเราได้มุมทั้งสองมาแล้วเราก็สามารถที่จะคำนวณหาขนาดของโปรเจกคาเอพอเจอร์ของออฟเซทรีเฟรคเตอร์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก **รูปที่ 34** ลักษณะทางเรขาคณิตของจานต้นแบบรั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 34 หามุมที่รองรับจันตันแบบทั้งหมดเพื่อใช้ช่วยในการกำหนดมุมต่างๆ ของออฟเซกทรีเฟรคเตอร์ (มุมที่รองรับทั้งหมดคือ มุมจากจุดโฟกัสถึงกลางจันและขอบจัน)

จากสมการพาราโบลา  $y^2 = 4fx$  เราจะได้จุดโคออร์ดิเนตของขอบจันในแนว  $x$  โดยแทนค่า  $y = 125$  และ  $f = 91$  ลงในสมการพาราโบลา จะได้ค่า  $x = 42.93$

จากรูปที่ 34 เราจะได้ค่า  $a = 250/2 = 125$  cm. และ  $b = 91 - 42.93 = 48.07$  cm. ดังนั้นจะได้มุมรองรับทั้งหมด ( $\theta$ ) ดังนี้

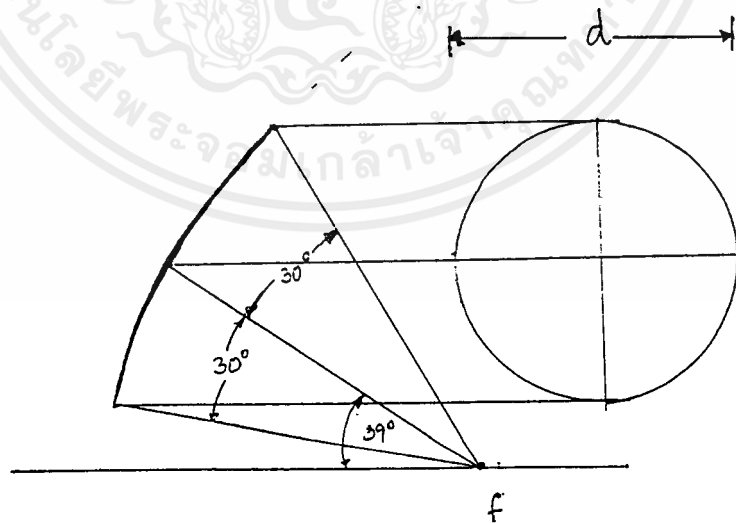
$$\theta = \arctan(a/b) = 68.965^\circ$$

มุมที่ได้นี้มีประโยชน์ในการกำหนดมุม  $\theta_0$  และ  $\theta^*$  เนื่องจากเราต้องการจันให้มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่เป็นไปได้เพื่อให้ได้เกนสูงและมีเมเนบีมแคบ ดังนั้นจึงกำหนดให้  $\theta_0 = 39$  องศา และ  $\theta^* = 30$  องศา ซึ่งเราจะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของโปรเจคอาพอเจอร์ ( $d$ ) ดังนี้

$$F/d = (\cos\theta_0 + \cos\theta^*)/4\sin\theta^*$$

แทนค่าต่างๆลงไปจะได้

$$d = 110.76 \text{ เซนติเมตร}$$



รูปที่ 35 แสดงถึงลักษณะของมุมต่างๆของสาขอากาศที่ได้ออกแบบ และเมื่อเราทำการฉายวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 110.7 เซนติเมตร ลงบนจานต้นแบบพาราโบลา จะได้ออฟเซตรีเฟรคเตอร์ที่ต้องการ(มีลักษณะเป็นวงรี)โดยที่มีแกนหลักเท่ากับ 117.5 เซนติเมตร และแกนหลักเท่ากับ 110.7 เซนติเมตร

### 3.2 การหล่อจานต้นแบบ และจานจริง

เมื่อทำการฉายวงกลม(หรือโปรเจคอาเพอเจอร์)ลงไปบนจานต้นแบบแล้วก็จะทำการสร้างบล็อกบนจานตามเส้นที่ได้มีการฉายลงไป แล้วจึงทำการหล่อไฟเบอร์ลงไปบนบล็อกดังกล่าวจากนั้นรอให้ไฟเบอร์แข็งตัว จึงจะทำการหล่อทับลงไปอีกทำอย่างนี้หลายๆชั้นจนกว่าตัวต้นแบบของเราจะหนาพอ(ประมาณ 1-2 เซนติเมตร)รอให้แห้งสนิทแล้วจึงแกะไฟเบอร์ออกมาก็จะได้ออกแบบที่มีผิวด้านหลังโค้งเป็นพาราโบลาเหมือนจานต้นแบบและมีรูปร่างและขนาดขนาดเท่าจานพาราโบลาที่เราต้องการออกแบบ(ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะหลักการเพียงคร่าวๆเท่านั้นส่วนเทคนิคในการหล่อและการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการหล่อจะไม่ขอกล่าวถึง)

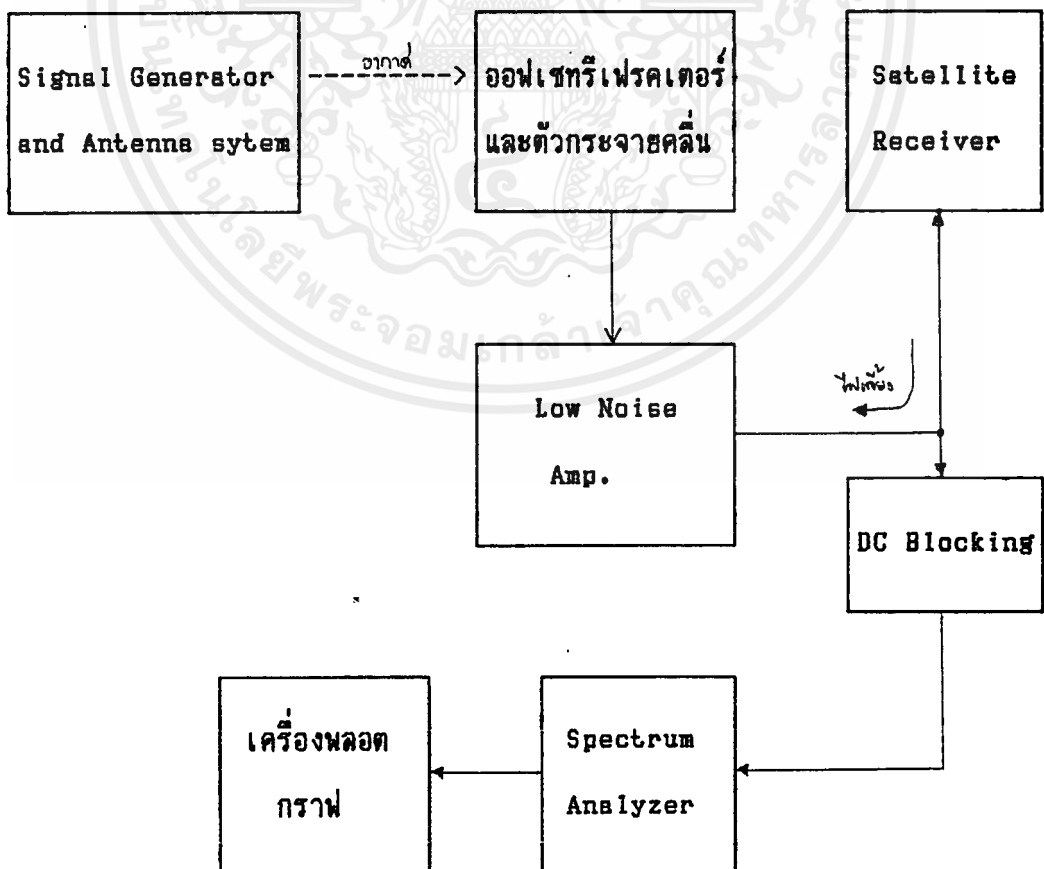
จากนั้นจึงนำตัวต้นแบบที่ได้ไปทำการหล่อไฟเบอร์ทับทางด้านหลังเพื่อให้ได้จานที่จะนำไปใช้งานจริง โดยที่ทำการหล่อไฟเบอร์ลงไปหนึ่งชั้นก่อนแล้วรอให้แห้ง ในชั้นที่สองจะเป็นตะแกรงเหล็กซึ่งให้ตั้งโค้งไปตามผิวความโค้งแล้วหล่อไฟเบอร์ทับและรอให้แห้ง(ซึ่งตะแกรงเหล็กนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนคลื่น) ส่วนในชั้นต่อไปจะใช้ไฟเบอร์หล่ออีกประมาณ 3-4 ชั้นเพื่อให้แข็งอยู่ตัวเป็นโค้งพาราโบลา

เมื่อแห้งสนิทแล้วก็จะทำการแกะออกจากตัวต้นแบบ ซึ่งจะได้จานออฟเซตพาราโบลาที่มีรูปร่างและขนาดตามที่ออกแบบไว้(โดยที่มีผิวด้านหน้าโค้งเป็นพาราโบลาเหมือนด้านหลังของตัวต้นแบบ)

### 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ตัวกระจายคลื่นย่านความถี่ 3.7-4.2 GHz.
2. Low Noise Amplifier. อินพุต 3.7-4.2 GHz. เอาท์พุท 950-1450 MHz.
3. สายโคแอกเซียล
4. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม(Satellite Receiver)
5. Spectrum Analyzer.
6. เครื่องกำเนิดสัญญาณ ย่านความถี่ 4 GHz.
7. สายอากาศส่ง(ย่าน 4 GHz.) 1 ชุด
8. เครื่องพลอตกราฟจากความแรงของสัญญาณ
9. DC Blocking Device(Capacitor)
10. เครื่องหมุนสายอากาศเพื่อวัดแนวเทอน

#### การต่ออุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดลอง





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 36 เป็นการต่ออุปกรณ์ต่างๆเพื่อใช้ในการทดลอง ซึ่งทางด้านส่งจะประกอบด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณและสายอากาศส่ง ส่วนทางด้านรับเป็นสายอากาศรับแบบออฟเซทรีเฟรคเตอร์ที่ประกอบด้วยสะท้อนคลื่นที่เราออกแบบไว้และตัวกระจายคลื่นที่ย่านความถี่ 3.7-4.2 GHz. ซึ่งต่ออยู่กับ Low Noise Amplifier (ต้องการไฟเลี้ยงจึงต้องต่อกับ Satellite Receiver เพื่อรับไฟเลี้ยง) จาก Low Noise Amplifier จะไปถึง Spectrum Analyzer เพื่อวิเคราะห์ความแรงของสัญญาณในช่วงความถี่ที่เราต้องการ แต่ Spectrum Analyzer นั้นห้ามไม่ให้มีไฟกระแสตรงเข้าไปจึงต้องมีอุปกรณ์มาลอค (ในที่นี้ใช้คาปาซิเตอร์คัปปลิ่ง) จากนั้นก็ทำการต่อสัญญาณจาก Spectrum Analyzer ไปยังเครื่องพลอตกราฟเพื่อทำการแสดงผลที่ทำการวัด



## บทที่ 4

## การทดลองและผลการทดลองสายอากาศออฟเซทรีเฟรคเตอร์

## 4.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

การทำกรทดลองต่อไปนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการแพร่กระจายของคลื่น (Pattern) ของสายอากาศออฟเซทรีเฟรคเตอร์ที่ได้ออกแบบมา โดยที่จะมุ่งประเด็นศึกษา การเปลี่ยนแปลงของการกระจายของคลื่น เมื่อตำแหน่งของตัวกระจายคลื่นหรือแนวการกระจายคลื่น ( $\theta_0$ ) เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับตำแหน่งที่แรงที่สุด

## วิธีการทดลอง

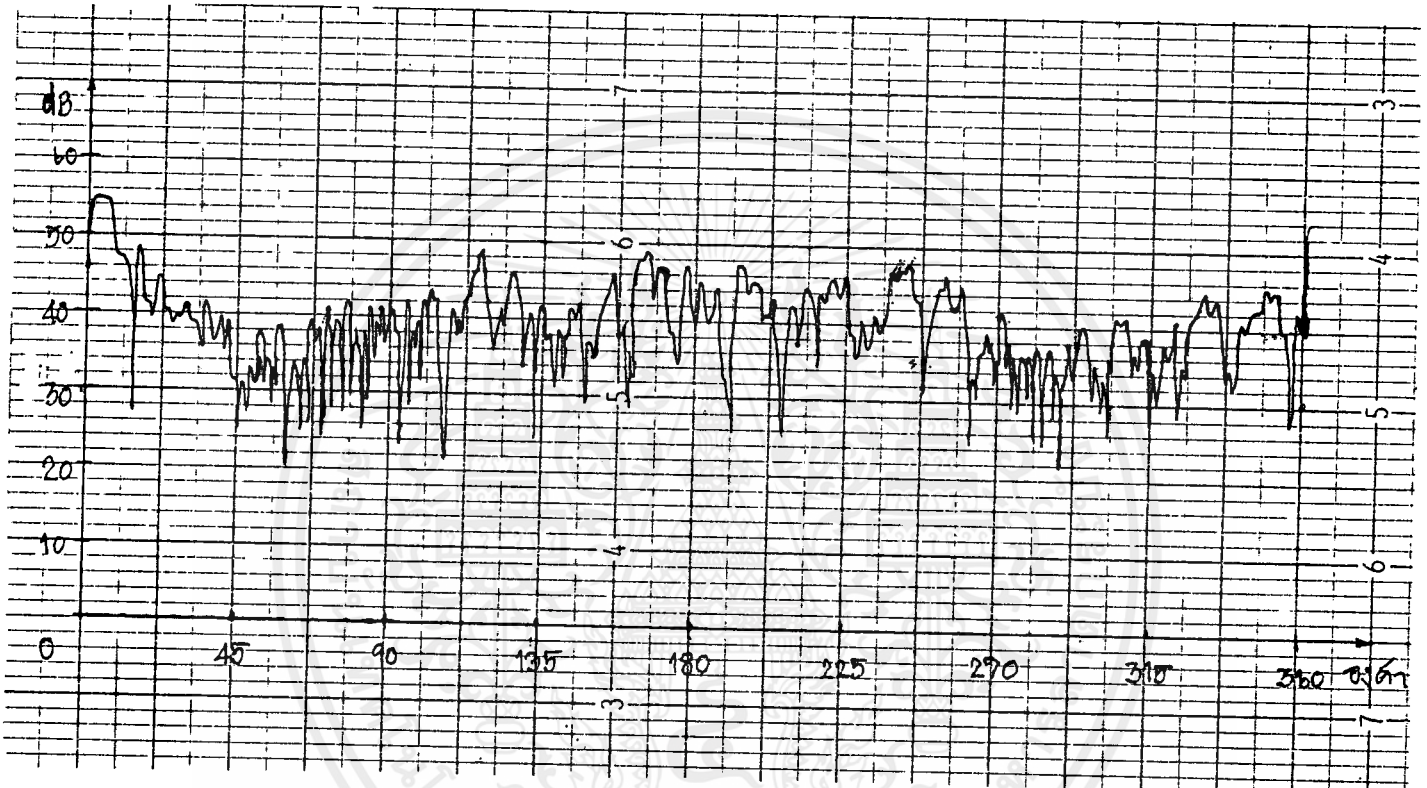
วิธีการทดลองเราจะทำการวัดคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น (Pattern) โดยวิธีการนิค (Fix) สายอากาศส่งอยู่กับที่วางอยู่ในสนามระยะไกล (Far Field) หรือมากกว่า  $2D^2 / (\text{ความยาวคลื่น})$  โดยที่  $D =$  มิติที่ใหญ่ที่สุดของปากจาน ส่วนสายอากาศทางด้านรับจะทำการหมุนเพื่อทำการวัดความแรงของสัญญาณที่มุมต่างๆ (ในที่นี้จะนับมุมเริ่มจาก 0-360 องศา ตามเข็มนาฬิกา) แล้วทำการพลอตออกมาเป็นกราฟโดยเครื่องพลอต ซึ่งในที่นี้จะทำการวัดแพทเทอนของสายอากาศที่ตำแหน่งของตัวกระจายคลื่นต่างๆดังนี้

- (1) ตัวกระจายคลื่นอยู่ที่จุดอ้างอิง [จุดที่รับสัญญาณได้แรงที่สุดในแนวสายตา (Boresight)]
- (2) ตัวกระจายคลื่นเลื่อนจากจุดอ้างอิงไปทางขวา (ตามเข็มนาฬิกา) 5 เซนติเมตร
- (3) ตัวกระจายคลื่นเลื่อนจากจุดอ้างอิงไปทางขวา (ตามเข็มนาฬิกา) 10 เซนติเมตร
- (4) ตัวกระจายคลื่นอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกับข้อ (2) โดยมี  $\theta_0 = 54$  องศา และไฟกัสคงที่
- (5) ตัวกระจายคลื่นอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกับข้อ (2) โดยมี  $\theta_0 = 24$  องศา และไฟกัสคงที่

\*\*\*หมายเหตุ เนื่องจากข้อผิดพลาดในการออกแบบทางเมคคานิกส์จึงไม่สามารถเดินไป  
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการทดลอง

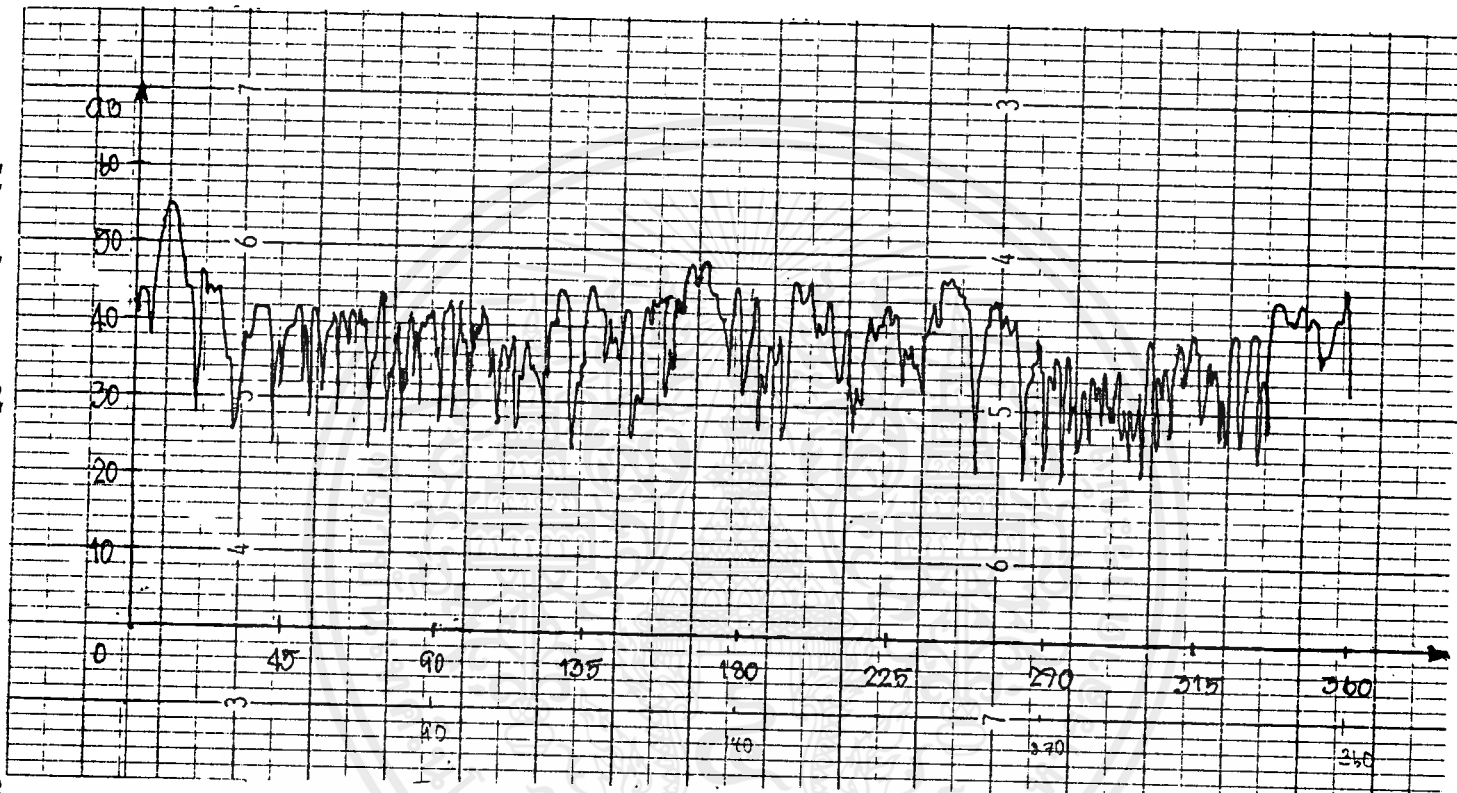
### 4.2.1 กรณีที่วางตัวกระจายคลื่นที่จุดอ้างอิงหรือจุดที่รับสัญญาณจากด้านหน้าได้แรงที่สุด



รูปที่ 37 แสดงแนวทอนย่าน 4 GHz. ที่วางตัวกระจายคลื่นที่จุดอ้างอิงและมีค่าการลดทอนของเครื่องวิเคราะห์ความถี่เท่ากับ  $-50$  dB

จากรูปแสดงให้ว่ามีเมนเบีม (จุดที่มีระดับสัญญาณแรงที่สุด) อยู่ทางด้านหน้าหรือที่ประมาณ 0 องศา และเมื่อหมุนสายอากาศไป 360 องศา ก็จะมีเมนเบีมอีกครั้งหนึ่ง ส่วนผลต่างระหว่างไซด์โลบกับเมนเบีมมีค่าประมาณ 6 dB จนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 กรณีที่เคลื่อนตัวกระจายคลื่นไปทางขวา 5 เซนติเมตร จากจุดอ้างอิง

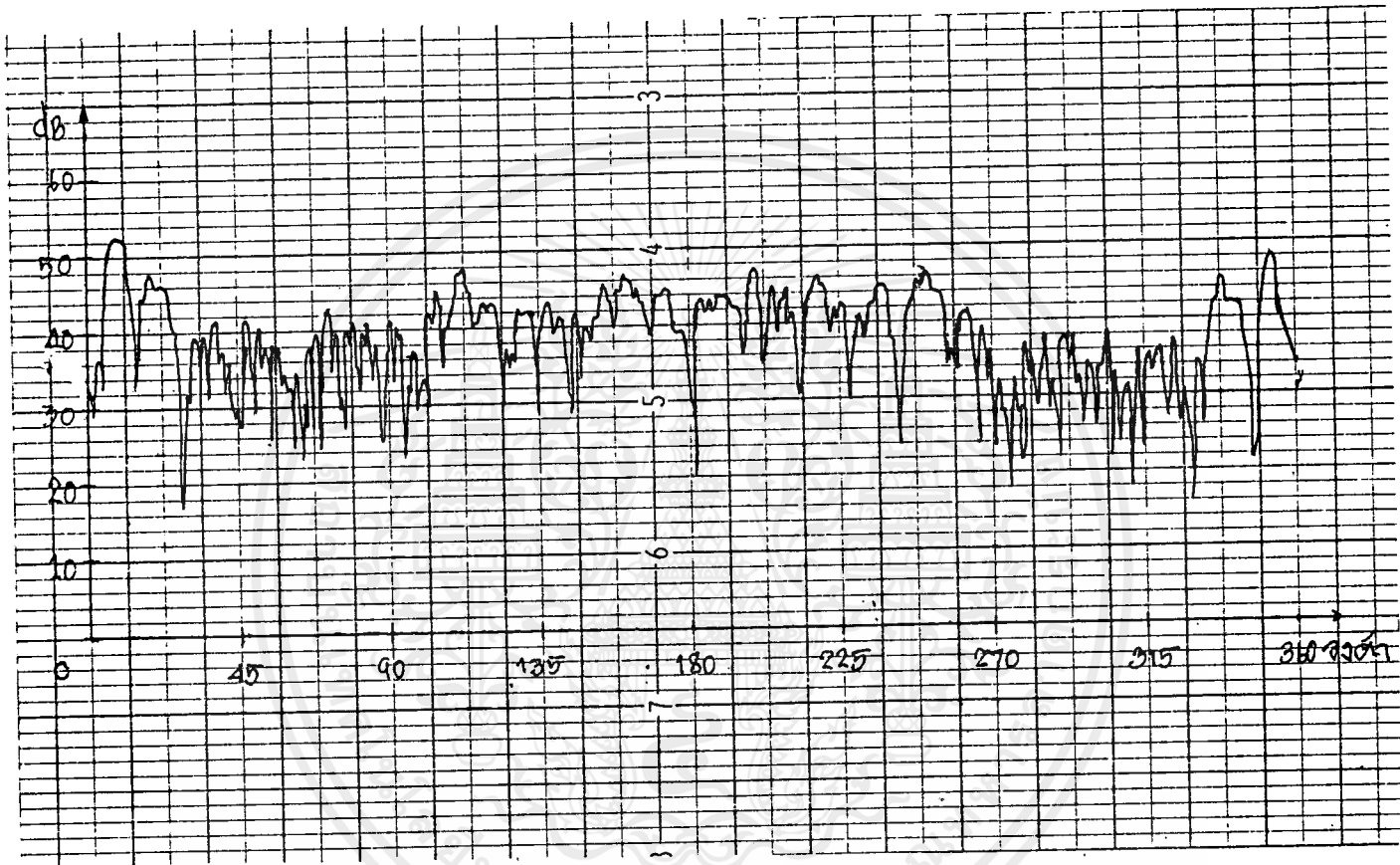


รูปที่ 38 แสดงแพทเทิร์นย่าน 4 GHz. เมื่อเคลื่อนตัวกระจายคลื่นไปทางขวา 5 เซนติเมตร และมีค่าการลดทอนของเครื่องวิเคราะห์ความถี่เท่ากับ  $-50\text{ dB}$

จากรูปแสดงให้ว่าเมื่อเคลื่อนตัวกระจายคลื่นไปทางขวาของจานเมเน็มจะซิปไป

ทางซ้ายของจานเมื่อเทียบกับระดับสายตา (Bore sight) โดยที่จะซิปไปประมาณ 9 องศา  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์ในการค้า  
 ไม่ว่ากรณี และมีความแตกต่างระหว่างไซด์โลบและเมเน็มประมาณ 10 dB เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4-2-3 กราฟที่เลื่อนตัวกระจายคลื่นไปทางขวา 10 เซนติเมตร จากจุดอ้างอิง

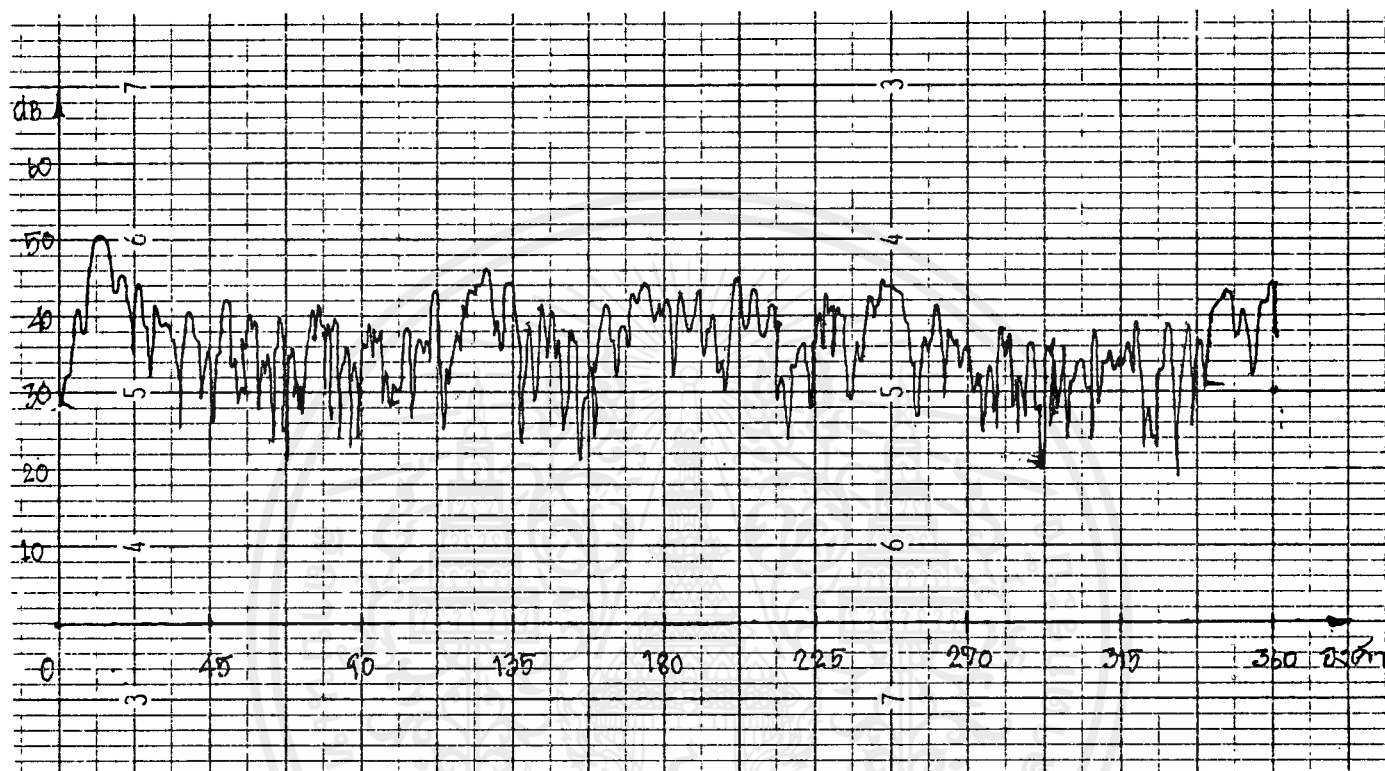


รูปที่ 39 แสดงแนวทอนย่าน 4 GHz. เมื่อเลื่อนตัวกระจายคลื่นไปทางขวา 10 เซนติเมตรและมีค่าการลดทอนของเครื่องวิเคราะห์ความถี่เท่ากับ -50 dB

จากรูปแสดงให้ว่าเมื่อเลื่อนตัวกระจายคลื่นไปทางขวาของจานเมเนมิมจะขยับไป

ทางซ้ายของจานเมื่อเทียบกับระดับสายตา (Borisight) โดยที่จะขยับไปประมาณ 9 องศา  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม และมีความแตกต่างระหว่างไฮโดรโลบและเมเนมิมประมาณ 4 dB เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

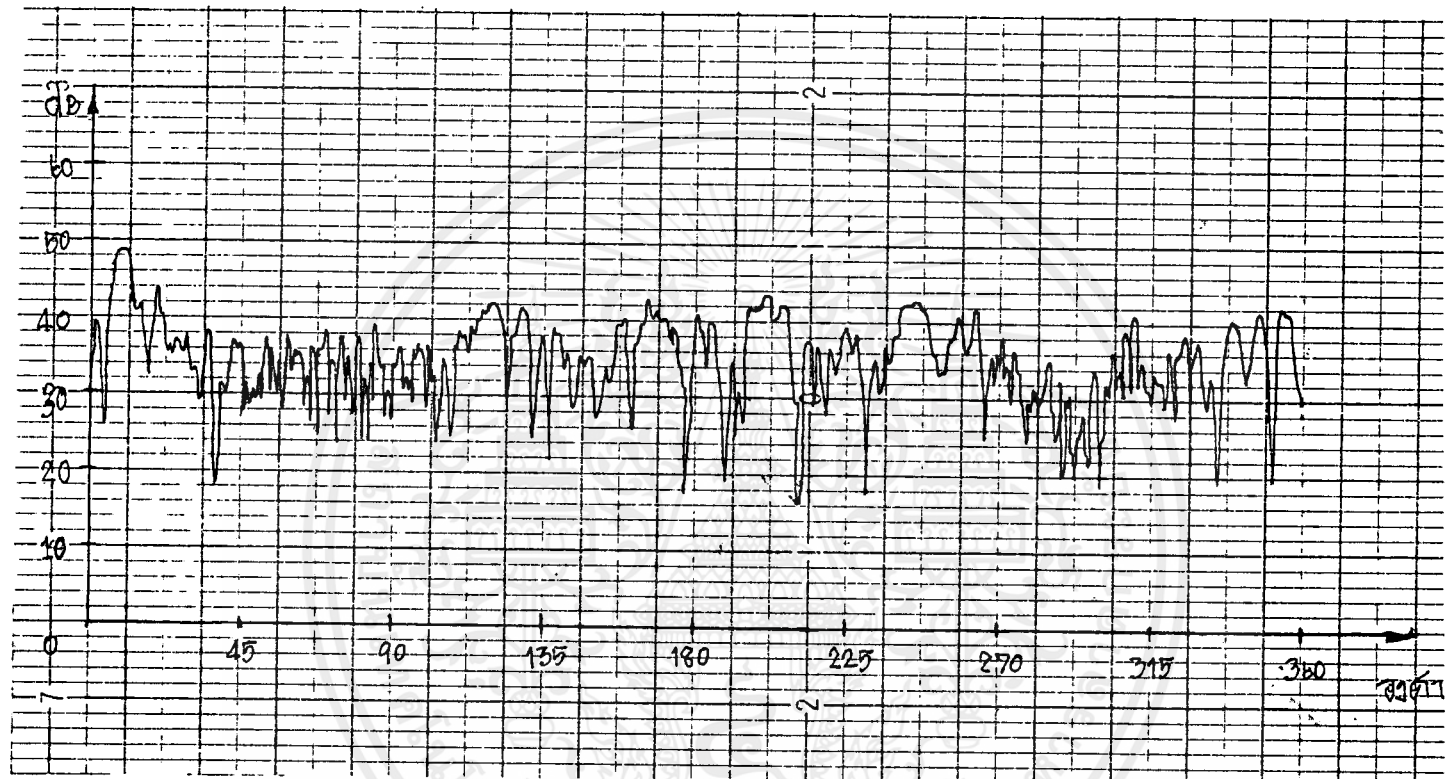
4.2.4 กรณีที่ตัวกระจายคลื่นอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกับ (3.2.2) แต่  $\phi_0 = 54$  องศา  
ที่ระยะโฟกัสคงที่



รูปที่ 40 แสดงแพทเทอนย่าน 4 GHz. เมื่อเลื่อนตัวกระจายคลื่นไปทางขวา 5 เซนติเมตรและมี  $\phi_0 = 54$  องศา มีค่าการลดทอนของเครื่องวิเคราะห์ ความถี่เท่ากับ  $-50$  dB

จากรูปจะเห็นว่าการชิปของเมนนิมไปประมาณ 9 องศา และมีผลต่างระหว่าง  
เอกสารนี้เป็นไซต์ไลบและเมนนิมประมาณ  $4$  dB และมีควมร่งของเมนนิมน้อยกว่าของข้อ (3.2.2)  
ไม่ว่ากรณีใดประมาณ  $5$  dB และมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 กรณีที่ตัวกระจายคลื่นอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกับ (3.2.2) แต่  $\phi_0 = 24$  องศา  
ที่ระยะโฟกัสคงที่



รูปที่ 41 แสดงแพทเทอเรียนาน 4 GHz. เมื่อเลื่อนตัวกระจายคลื่นไปทางขวา 5 เซนติเมตรและมี  $\phi_0 = 24$  องศา มีค่าการลดทอนของเครื่องวิเคราะห์ ความถี่เท่ากับ  $-50$  dB

จากรูปจะเห็นว่ามีการrippของเมนเบีมไปประมาณ 9 องศา และมีผลต่างระหว่าง เอกสารนี้เป็ไฮด์ไลบและเมนเบีมประมาณ 5 dB และมีความแรงของเมนเบีมน้อยกว่าของข้อ(3.2.2) ไม่ว่าจะกรณีใด ปริมาณ 6 dB นี้จะมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นว่าเมื่อเราทำการเลื่อนตัวกระจายคลื่นไปทางขวาของตำแหน่งที่มีเมเนบีมออกทางด้านหน้า (หรือในทิศทางระดับสายตา [Boresight]) จะทำให้เมเนบีมขึ้นออกไปทางด้านข้างดังแสดงให้เห็นจากรูปที่ 38 และรูปที่ 39 ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถใช้ประโยชน์ได้ในการสื่อสารดาวเทียม เมื่อตัวกระจายคลื่นหลายตัวต้องการใช้ตัวสะท้อนคลื่นร่วมกัน และสามารถส่งกระจายคลื่นไปในทิศทางที่ต้องการต่าง ๆ กัน โดยอาศัยหลักการขึ้นของเมเนบีมที่ตำแหน่งของการบิดต่าง ๆ กัน ส่วนข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อเลื่อนตัวกระจายคลื่นไปทางขวา 5 เซนติเมตรแล้วเมเนบีมขึ้นไป 9 องศาต่อความแรงของเมเนบีมมากกว่าที่จุดอ้างอิง อาจเกิดมาจากความไม่เรียบหรือไม่เป็นพาราโบลา (ผิดพลาดในการหล่อ) ของตัวสะท้อนคลื่นทำให้การกระจายของสัญญาณที่มากกระทบผิวของตัวสะท้อนไม่สม่ำเสมอก็เป็นได้ เนื่องจากความผิดพลาดในขั้นตอนการออกแบบตัวกระจายคลื่นทำให้ไม่สามารถเลื่อนตัวกระจายคลื่นไปทางซ้ายได้ จึงไม่มีผลเปรียบเทียบให้ดูในที่นี้

ส่วนการเปลี่ยนแปลงมุม  $\theta$  โดยที่ระยะโฟกัสคงที่นั้นจะเห็นว่าจะมีลักษณะของการกระจายของคลื่น (Pattern) เหมือนเดิม แต่มีความแรงของสัญญาณต่ำลง ทั้งนี้เกิดจากการบิดที่ล้นจาน (Spillover) ทำให้สูญเสียกำลังงานบางส่วนไป

จากการทดลองหากต้องการนำเสาอากาศออฟเซตรีเฟรคเตอร์ที่ออกแบบขั้นนี้ไปใช้งานจริงควรจะมีการปรับปรุงเรื่องไซเคิลโอบให้มีขนาดต่ำกว่านี้โดยที่พยายามหล่อตัวรีเฟรคเตอร์ให้เป็นพาราโบลาที่มีความผิดเพี้ยนน้อยที่สุด และที่สำคัญควรหาตัวกระจายคลื่นที่เหมาะสมกับตัวสะท้อนคลื่นมากที่สุด (ทางที่ดีควรออกแบบตัวกระจายคลื่นก่อนแล้วจึงออกแบบตัวสะท้อนคลื่น)

## เอกสารอ้างอิง

- [1] นิติต โรจน์อารายานนท์ "วิศวกรรมสายอากาศ" พิมพ์ครั้งที่ 2 ,สำนักพิมพ์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2534
- [2] A.W. RUDGE W.MILINE, AND A.D. OLVER P.WNIGHT "HANDBOOK OF  
ANTENNA DESIGE" VOLUME1 PEREGRINUS LTD., LONDON,UW,1982.

