

สาขาอากาศเฟรสเนลเลนส์
FRESNEL LENS ANTENNA



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี

033190

สาขาอากาศเฟรสเนลเลนส์
FRESNEL LENS ANTENNA

โดย นายอรารัติน รักษ์จิตตาโภค
นางสาวภาภาศรี พงศ์ไชยสง

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. สมพล โทศิวินทร์

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการออกแบบสาขาอากาศแบบเฟรสเนลเลนส์ โดยอาศัยหลักการ
เดินทางของแสง และหลักการของฮอยเกน (Huygen's principle) เพื่อมารับ
สัญญาณดาวเทียม โดยอ่านความถี่ที่ใช้งานอยู่ในย่าน Ku-band ลักษณะพิเศษของสาขา
อากาศชนิดนี้คือ สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมหลายๆดวงที่โคจรในตำแหน่งใกล้เคียงกันโดย
ไม่ต้องหันจานตาม ซึ่งสามารถใช้วัสดุในการสร้างที่มีราคาถูกโดยมีค่าอัตราการขยาย
เท่ากับจานสาขาอากาศแบบพาราโบลาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 60 เซนติเมตร

Abstract

This article describes the design and the construction of Fresnel lens , using the law of light and Huygen's principle. The advantage of the antenna is that , it can receive the signal from several satellites located in closely orbit without any tracking system. The len is design for receiving satellite signal in Ku-band. The gain is equipment to 60 cm diameter parabolic antenna.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| เรื่อง | หน้า |
|---|-----------|
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ทำไมถึงต้องเป็นเฟรสเนลเลนส์ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการงาน | 2 |
| บทที่ 2 DIFFRACTION ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า | |
| 2.1 Huygen's principle | 3 |
| 2.2 ผลรวมของ Voltage 2 ส่วน | 4 |
| 2.3 โชนของ Plane wave | 5 |
| 2.4 เฟรสเนลโซน | 6 |
| บทที่ 3 A PLYWOOD LENS | |
| 3.1 A PLY WOOD LENS | 9 |
| 3.2 ข้อเปรียบเทียบระหว่างจานพาราโบลาร์กับเฟรสเนลเลนส์ ในการรับสัญญาณดาวเทียม | 15 |
| บทที่ 4 การออกแบบเฟรสเนลเลนส์ | |
| 4.1 ตัวอย่างการออกแบบเฟรสเนลเลนส์ | 16 |
| 4.2 การคำนวณระยะห่างระหว่างจุดรวมแสงกับเฟรสเนลเลนส์ | 18 |
| 4.3 ข้อพิจารณาอื่น ๆ ที่ควรคำนึงถึง | 19 |
| บทที่ 5 การสร้างชิ้นงานและผลการทดลอง | |
| 5.1 การสร้างชิ้นงาน | 21 |
| 5.2 วิธีการทดลอง | 24 |
| 5.3 ผลทางไฟฟ้า | 26 |
| บทที่ 6 บทสรุป | 34 |
| เอกสารอ้างอิง | 35 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ทำไมถึงต้องเป็นเฟรสนิเลนเลนส์ (FRESNEL LENS)

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์แทบทุกชนิดในท้องตลาดจะมีราคาสูงขึ้น แต่ก็ยังมีการพัฒนา
ลอกเลียนแบบการแข่งขันกันเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีค่าราคาต่ำลงได้

ดังตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณาถึงเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ย้อนกลับไปเมื่อ
หลายปีที่แล้ว Nieman-Marcus ได้แนะนำตัวอย่างของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม เพื่อไว้
ใช้กับงานต่างๆไปซึ่งมีราคาประมาณ 25,000 เหรียญสหรัฐ เท่านั้น และทำให้มีผู้นำระบบ
เรดาร์ (radar) ของเดิมมาทำการแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้มาใช้งานในลักษณะเดียวกันได้
เพื่อจะได้ส่วนแบ่งของตลาด ในปีถัดมาได้มีการออกแบบและแก้ไขเครื่องรับสัญญาณดาว
เทียม เป็นผลทำให้ราคาลดลงถึง 500 เหรียญสหรัฐ

สิ่งที่มีความสำคัญในการรับสัญญาณดาวเทียมอีกอย่างหนึ่งก็คือ สายอากาศแบบ
พาราโบลาร์ (parabolar reflector) ซึ่งสายอากาศชนิดนี้ได้ถูกสายอากาศแบบ
อื่นๆ เช่น สายอากาศแบบ สเฟียริคอลล (spherical) , สายอากาศแบบ ไฮเพอร์
โบลิค (hyperbolic) และสายอากาศแบบ ยากิ อาร์เรย์ (yagi array) จึง
ทำให้เกิดการแข่งขันและมีผลทำให้ราคาลดลง จากเหตุผลต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นจึงได้
มีการคิดค้นสร้างจานรับสัญญาณดาวเทียมจากไม้อัด (plywood) ขึ้นมา

แต่อย่างไรก็ตาม การที่จะเรียกว่าจานรับก็ไม่ต้องนึก เนื่องจาก"จานรับ"
ที่ว่ามันไม่ได้รับสัญญาณทั้งหมด โดยปรกติแล้ว จานรับทำหน้าที่รวมสัญญาณและส่งต่อมายัง
ภาชนะใน ฟีดฮอร์น (feed horn) แต่จานรับที่มันเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการหักเหสัญญาณ
อุปกรณ์ที่มันเป็นก็คือ เลนส์ (lens) ยกตัวอย่างเช่น เฟรสนิเลนเลนส์ (fresnel lens)
หลังจากใช้ เฟรสนิเลนเลนส์ เป็นตัวรวมสัญญาณ (signal concentrator) และ
พูดถึงคุณสมบัติในการออกแบบที่เป็นเงื่อนไขในการนำไม้อัดมาใช้สร้าง บางคนอาจสงสัยว่า
ทำไมไม่มีการแสดงข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องนี้ในหนังสือเกี่ยวกับสายอากาศ ก็เป็นเพราะว่า
การคิดค้นเพิ่มเติมในเรื่องนี้มาจากการศึกษาวิชาทาง ออปติก (optic) ไม่ใช่เรื่องของ

มาใช้เป็นงานรับสัญญาณดาวเทียม เช่น ในประเทศแคนาดา (British Columbia)

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของชิ้นงาน

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือ การหาแนวทางและความเป็นไปได้ในการสร้างเสาอากาศรับสัญญาณดาวเทียมชนิดอื่นๆ แทนงานเสาอากาศแบบพาราโบลาร์ที่ใช้กันในปัจจุบัน และชนิดของเสาอากาศที่เลือกใช้ในโครงการนี้คือ เสาอากาศแบบเฟรชเนลเลนส์ (fresnel lens antenna) ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

1. ราคาถูก
2. สร้างง่าย
3. ขนาดกระทัดรัด
4. ไม้ต้านลม

ส่วนเป้าหมายและขอบเขตของโครงการนี้คือ สร้างเสาอากาศเฟรชเนลเลนส์ เพื่อให้สามารถรับและส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่าน เคยูแบนด์ (KU-band) ที่ความถี่ 11.6 กิกะเฮิรต์ โดยจะให้ม้อัตรการขยายของสัญญาณมีค่าประมาณเท่ากับ 35 dB, ซึ่งเป็นอัตรการขยายค่าเดียวกับ งานพาราโบลาร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ที่สามารถใช้รับสัญญาณดาวเทียมได้

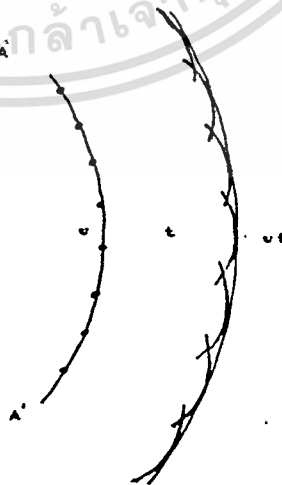
บทที่ 2

ปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

โดยปกติ เมื่อคลื่นเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังตัวกลางที่สองซึ่งต่างชนิดกัน คลื่นจะเกิดปรากฏการณ์ หักเห (reflection) , สะท้อนกลับ (reflection) และกรณีที่คลื่นนั้นไม่สามารถจำแนกได้แน่ชัดว่าจะเกิดการหักเห หรือ สะท้อนกลับนั้น จะเรียกว่าเกิดการเบี่ยงเบน (diffraction)

2.1 HUYGEN'S PRINCIPLE

ในกรณีที่ไม่สามารถบ่งได้ชัดเจนว่า คลื่นเกิดการหักเหหรือสะท้อนกลับ เช่น เมื่อคลื่นเดินทางไปกระทบกับสิ่งกีดขวาง เช่น ดิ็ก, ภูเขา เป็นต้น จะเกิดปรากฏการณ์ที่คลื่นเบี่ยงเบนรอบสิ่งกีดขวางนั้น ไปจนสามารถเดินทางไปถึงด้านหลังของสิ่งกีดขวาง (Obstracle) นั้นได้ เรียกว่าเกิด Diffraction ในกรณีนี้ วิธีที่จะหาหน้าคลื่นที่ดีที่สุดคือหลักการของ Huigen ซึ่งกล่าวว่า " การเคลื่อนที่ของคลื่นในตัวกลางเป็นปรากฏการณ์ของการถ่ายเท vibration ของแต่ละจุดในตัวกลางนั้น เมื่อให้ vibration แก่ตัวกลางที่มีเนื้อเดียวกันจะเกิด sphericle wave ส่งออกไป และในทำนองเดียวกัน vibration ที่เดินทางมาจากที่อื่นก็จะเป็น sphericle wave ด้วย "



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 2.1 หน้าคลื่นที่เวลาใดเวลาหนึ่ง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวคือ ที่ A-A' มี vibration ที่เกิดขึ้น ทำให้จุดต่างๆบน A-A' มี sphericle wave ออกไปด้วยความเร็ว v , เมื่อเวลาผ่านไป t วินาที จะเกิดทรงกลมรัศมีเท่ากับ vt ของแต่ละจุดเกิดขึ้น ซึ่งเมื่อต่อรวมกันแล้วจะได้ทรงกลม B-B' เกิดขึ้น และ B-B' นี้เป็นหน้าคลื่นที่เวลา t นั้นเอง

2.2 ผลรวมของ voltage 2 ส่วน

ก่อนที่จะพิจารณาปรากฏการณ์ของ diffraction นั้นมีอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ ผลรวมของ voltage 2 ส่วน

ถ้ากำหนดให้ voltage ทั้ง 2 เป็น

$$l_0 = E_0 \sin \omega t$$

$$l_1 = E_1 \sin (\omega t + \phi)$$

และ l เป็นผลรวมของ l_0 กับ l_1 ถ้าหาก ϕ จาก 0 องศา แล้วเพิ่มขึ้นเรื่อยๆแล้ว เราจะพิจารณาว่าการเลื่อนของเฟส (phase shift) เป็นอย่างไร

อันดับแรก หาค่า l ก่อน

$$\text{เพราะว่า } l = l_0 + l_1$$

$$= E_0 \sin \omega t + E_1 (\sin \omega t \cos \phi + \cos \omega t \sin \phi)$$

$$= (E_0 + E_1 \cos \phi) \sin \omega t + E_1 \sin \phi \cos \omega t$$

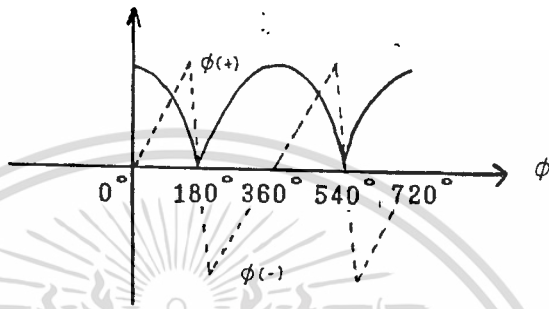
$$\text{เพราะฉะนั้น } l = \sqrt{(E_0 + E_1 \cos \phi)^2 + (E_1 \sin \phi)^2} \cdot \sin(\omega t + \phi)$$

$$= \sqrt{1 + (E_0/E_1)^2 + 2(E_0/E_1) \cos \phi} \cdot \sin(\omega t + \phi)$$

$$\text{ในที่นี้ } \phi = \tan^{-1} (E_1 \sin \phi / (E_0 + E_1 \cos \phi))$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อทำให้ง่ายขึ้นสมมติว่าศึก $E_0 = E_1 = 1$ ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

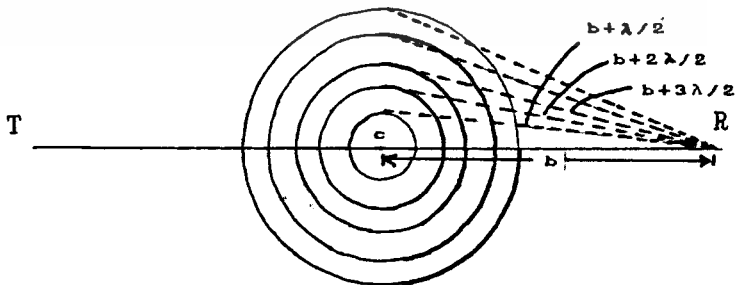
และเมื่อเปลี่ยนค่า ϕ จาก 0 องศา เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แล้วเขียนกราฟของเทอม $\sqrt{1+(E_0)^2+2E_0 \cdot E_1 \cos \phi} \cdot \sin(\omega t + \phi)$ และ ϕ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของมันได้ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กราฟการเปลี่ยนแปลงโวลต์เตจ

2.3 โชนของ PLANE WAVE

สมมติว่า plane wave ที่ส่งมาจากจุดส่ง T ที่อยู่ไกลมากและเดินทางเข้าหาจุด R และ สมมติว่าในช่วงระยะเวลาหนึ่ง plane wave มีลักษณะดังรูปที่ 2.3

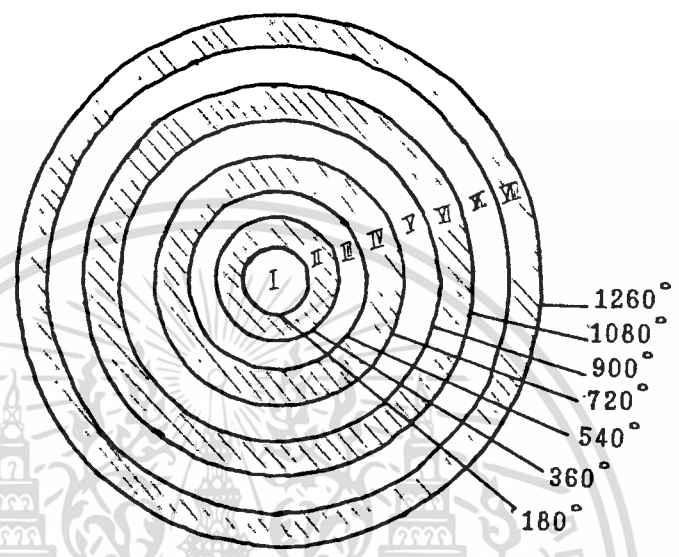


รูปที่ 2.3 ลักษณะของ plane wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่อาจารย์มอบหมายไปเท่านั้น ไม่ควรเอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นประต่างๆในรูปเกิดระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง c กับจุด R ถ้าให้ระยะ R-c เป็น b จะได้ $b + \lambda/2$, $b + 2\lambda/2$, $b + 3\lambda/2$, ..., $b + n\lambda/2$

ดังนั้นเส้นประเหล่านี้นำมาเขียนเป็นวงกลมต่างๆ ที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกันที่จุด c บนระนาบ plane front ซึ่งจะได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงเฟสเนลโซนต่างๆ

เมื่อพิจารณาวงกลมเหล่านี้เทียบกับกราฟของผลรวมของแรงดัน จะเห็นว่า ส่วน $\phi(t)$ จะตรงกับส่วนที่เป็นสีขาวของวงกลม และส่วน $\phi(-t)$ จะตรงกับส่วนที่แรเงาของวงกลม

ดังนั้น ส่วนที่เป็นสีขาวแต่ละส่วนของวงกลม มีผลช่วยทำให้สัญญาณที่จุด R แรงขึ้น และส่วนที่เป็นสีขาวยกกับส่วนที่แรเงาจะหักล้างกันที่จุด R ทำให้สัญญาณอ่อนลง

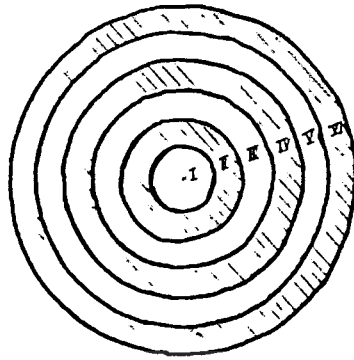
ย่านหรือบริเวณในที่ว่างระหว่างจุดส่งกับจุดรับ ที่มีรูปร่างเหมือนกันกับส่วนที่เป็นสีขาวและส่วนที่แรเงาเหล่านี้เรียกว่า FRESNEL ZONE

2.4 FRESNEL ZONE

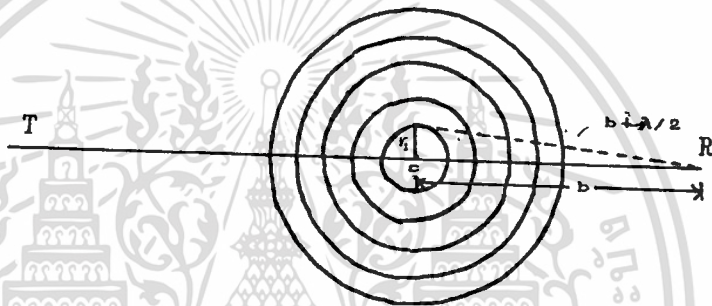
ส่วนขาวตรงกลางของรูปที่ 2.5 (a) เรียกว่า "first fresnel zone"

ส่วนที่ถัดมาเรียกว่า "second fresnel zone" ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 2.5 การรัศมีและพื้นที่ของเฟรสเนลโซน

จากรูปที่ 2.5 (b) และให้ r_1 เป็นรัศมีของ first fresnel zone จะได้ว่า

$$(b + \lambda / 2)^2 = (b)^2 + (r_1)^2$$

$$(r_1)^2 = b + \lambda^2 / 4 \quad (\lambda^2 / 4 \text{ มีค่าน้อยมากตัดทิ้งได้})$$

เพราะฉะนั้น $r_1 = \sqrt{b\lambda}$

สำหรับโซนอื่นๆ $r_n = \sqrt{nb\lambda}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ที่นี้ก็คือให้เลขแสดงลำดับของโซน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นพื้นที่ของวงกลมของโซนต่างๆ จะหาได้ดังนี้

$$\text{พื้นที่วงกลม} = \pi r^2$$

$$\text{พื้นที่ของ first fresnel zone} = \pi(r_1)^2 = \pi b\lambda$$

$$\text{พื้นที่ของ } n^{\text{th}} \text{ fresnel zone} = n\pi b\lambda$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A PLYWOOD LENS

3.1 A PLYWOOD LENS.

ได้มีการทดลองเกี่ยวกับเฟรสเนลเลนส์เป็นครั้งแรกในปี 1815 โดยนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส คือ Mr. Augustin Fresnel และจะมีคุณภาพดีถ้าหากนำมาใช้งานทางด้านไมโครเวฟ (Microwave) ได้มีการพัฒนาเลนส์ ในปีก่อนคริสต์ศักราช 1960 ซึ่งมีการทดลองผลิตเลนส์ โดยใช้ สไตรีน (styrene)

โดยใช้วิชาทางคณิตศาสตร์ก็สามารถเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีของเฟรสเนลเลนส์ ซึ่งจะกล่าวถึงใจความสำคัญของโครงสร้าง และการกำจัดสัญญาณรบกวน (Interference) ถ้าหน้าคลื่นของคลื่นที่มีความถี่เดียวกันสองคลื่น นำเศษของเฟสมารวมกันผลลัพธ์ของสัญญาณ อาจจะคำนวณโดยวิธีการรวมง่าย ๆ ทางแอมพลิจูด (amplitude) ของคลื่นสองคลื่นนี้

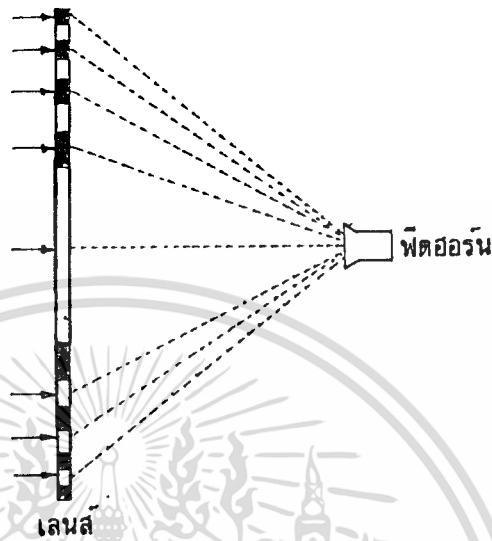
ในทางตรงกันข้ามคลื่นสองคลื่น ซึ่งหน้าคลื่นมีความถี่เดียวกัน แต่ต่างเฟสมารวมกัน ผลรวมทางแอมพลิจูดที่ได้ จะน้อยกว่าคลื่นที่ได้ตรงตำแหน่งออริจิน (Origin) โดยคิดเฟสและแอมพลิจูด ที่เวลาขณะใดขณะหนึ่ง กรณีที่ง่ายที่สุดคือ กรณีของคลื่นสองคลื่นที่มีความถี่เท่ากันแต่เฟสต่างกัน 180 องศา คลื่นทั้งสองนี้ก็จะหักล้างกันไป นั่นคือผลรวมทางแอมพลิจูดจะกลายเป็นศูนย์ ในขณะที่สัญญาณรบกวนก็จะหมดไป

ในการประยุกต์มาใช้งานจริงจะทำการศึกษาเกี่ยวกับสัญญาณทีวีซึ่งเป็นสัญญาณในย่านความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งจะมาพิจารณาเกี่ยวกับระนาบของคลื่นที่ฟีดฮอร์น ถ้าลองทำการวาดเส้นตรง F (F เป็นความยาวโฟกัสของ ฟีดฮอร์น) ถ้าลองสมมติว่าคลื่นทั้งหมดเคลื่อนที่ข้ามแนวของเลนส์แล้วมีเฟสตรงกัน แนวของเลนส์ที่ว่านี้จะให้ชื่อว่าแนวหน้าคลื่นซึ่งมีเฟสตรงกัน (equal phase wavefront) ดังแสดงในรูปที่ 1 นั่นคือคลื่นที่เคลื่อนที่เข้ามายังฟีดฮอร์น (feed horn) ถูกสังเกตุตามแนวนอน (Horizontal) ให้เป็นแนวอ้างอิง ดังนั้น คลื่นที่เข้ามายังฟีดฮอร์นทั้งบนและล่างของแนวเลนส์ จะทำให้เกิดการรบกวนกันเนื่องจากความแตกต่างทางเฟสของคลื่น ความต่างเฟสกันของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คลื่นนี้เกิดจากระยะทางที่เพิ่มขึ้นของคลื่นต่างๆที่เดินทางเข้ามายังจุดรวมคลื่น (focal
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

point) ผลสุดท้ายก็คือความเข้มของสัญญาณที่รับได้ก็จะลดลง

หน้าคลื่นที่เฟสตรงกัน



รูปที่ 3.1 แสดงถึงคลื่นไมโครเวฟที่ผ่านเลนส์และหักเหเข้าสู่พิทฮอร์น

ถ้าลองมาสังเกตดูให้ละเอียดขึ้น โดยแบ่งหน้าคลื่นให้เป็นโซนต่างๆ (Zone) เมื่อคิดจากโซนหนึ่งไปยังโซนถัดไป ระยะทางจากจุดกึ่งกลางของแต่ละโซนไปยังจุดรวมคลื่นจะเพิ่มขึ้นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ซึ่งหมายความว่าคลื่นที่มาถึงกึ่งกลางของฮอร์น (horn) ในแต่ละโซนจะมีความต่างเฟสอยู่ 180 องศา

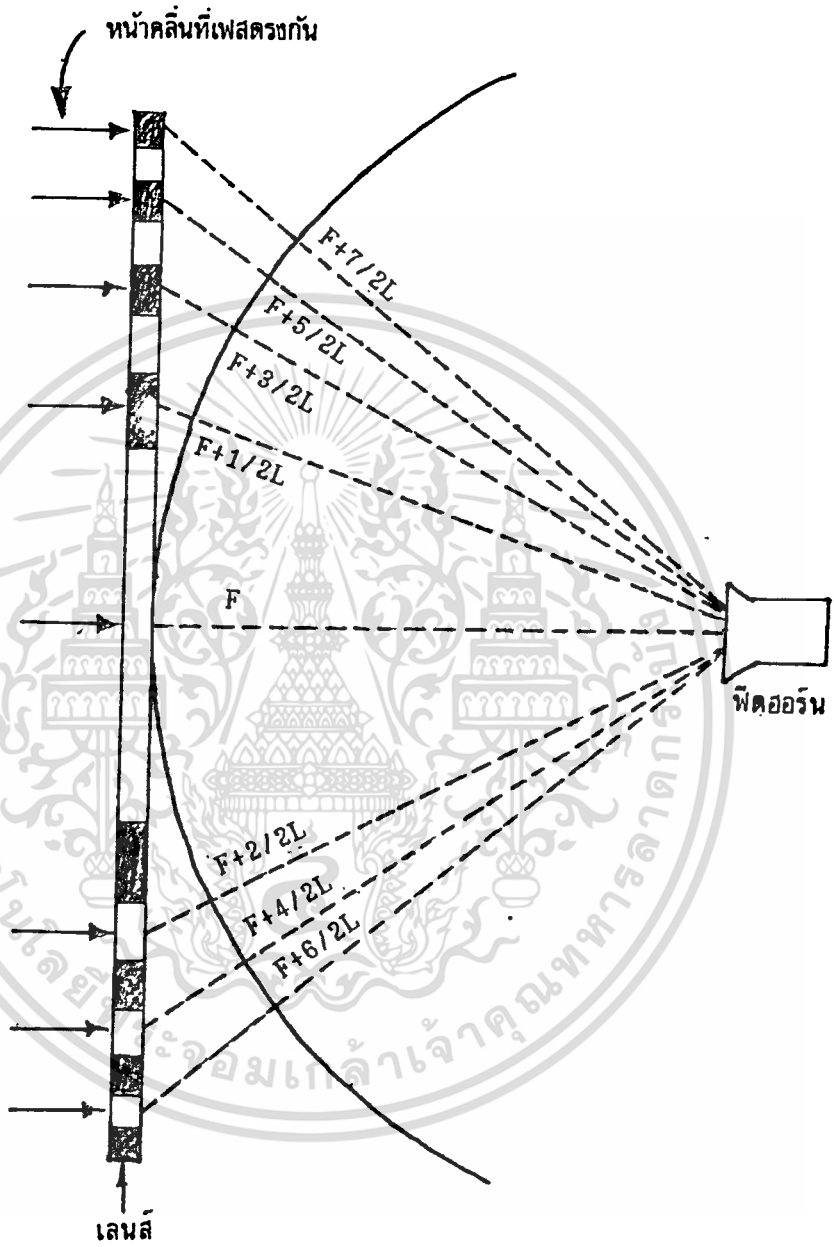
ในรูปที่ 3.2 นั้นได้แสดงถึงโซนที่อยู่เหนือขึ้นจากแนวนอน (horizontal) ความยาวจากจุดรวมคลื่นจะเพิ่มเป็นเลขคี่ของความยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ส่วนโซนที่ส่วนล่างจะเพิ่มขึ้นเป็นเลขคู่ นั่นคือถ้าระยะทางระหว่างเลนส์กับพิทฮอร์นที่ใกล้ที่สุดมีค่าเท่ากับ F ส่วนโซนแรกที่หักเหขึ้นไป จะมีระยะห่างเท่ากับ $F+1/2$ (เมื่อคือความยาวคลื่น) ส่วน โซนแรกที่หักลงมาจะมีระยะห่างเท่ากับ $F+2/2$

ยกตัวอย่าง ให้ออมพลิจูด (Amplitude) ของคลื่นที่มาจากแต่ละโซนมายังจุดรวมคลื่น สมมติว่าแอมพลิจูดของคลื่นจาก โซนที่ 1 คือ A_1 และแอมพลิจูดจาก โซนที่ 2 คือ A_2 เป็นต้น ดังนั้นผลรวมของคลื่นต่างๆใน 20 โซนคือ A_0 สมการที่ได้คือ

$$A_0 = A_1 - A_2 + A_3 - \dots + A_{19} - A_{20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการหาโซนต่างๆ ที่มีความห่างจากจุดรวมคลื่น เป็นระยะทางครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเมื่อเทียบกับโซนที่ผ่านมาแล้ว จึงทำให้คลื่นที่ผ่านโซนต่างๆ เหล่านี้จะมีค่าความต่างเฟสเท่ากับ 180 องศาเมื่อเทียบกับโซนที่ผ่านมา (ตัวอย่างเช่น โซนที่ 2



รูปที่ 3.2 แสดงถึงการรบกวนกันของคลื่น ซึ่งมีทั้งส่วนหักล้างกันและเสริมกัน

กับ โซนที่ 1 เฟสต่างกัน 180 องศา , โซนที่ 3 กับ โซนที่ 2 เฟสต่างกัน 180 องศา เป็นต้น) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าขนาดของแอมพลิจูดที่จุดรวมคลื่น (focal point) นั้น ผลรวมของแอมพลิจูดของคลื่นที่มาจากโซนคู่ (ยกตัวอย่างเช่น โซนที่ 2 , โซนที่ 4 , โซน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 6 ที่รวบรวมเป็นต้น) จะไปหักล้างกับคลื่นที่มาจากโซนคี่ (ยกตัวอย่างเช่น โซนที่ 1 , โซน ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 3 , โชนที่ 5 , ... เป็นต้น) อย่างไรก็ตาม จากรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของมุมของโชนแต่ละโชนที่ต่อเนื่องกันนั้น ทำให้สามารถที่จะนำมาพิจารณาได้จากเหตุผลที่ว่ามุมจะเพิ่มขึ้นตามโชนแต่ละโชนที่ต่อเนื่องกันไป จะทำให้เกิดการอ่อนแรงของสัญญาณตามมุมที่เพิ่มขึ้น หรือ คลื่นที่ผ่านโชนที่ต่อเนื่องกันไปในจะอ่อนแรงลงเมื่อเทียบกับโชนที่ผ่านมา (ยกตัวอย่างเช่น คลื่นที่ผ่านโชนที่ 3 จะอ่อนแรงกว่าคลื่นที่ผ่านโชนที่ 2, คลื่นที่ผ่านโชนที่ 2 จะอ่อนแรงกว่าคลื่นที่ผ่านโชนที่ 1 เป็นต้น) จากเหตุผลต่างๆข้างต้น จึงทำให้แอมพลิจูดโดยรวมที่จุดรวมคลื่น (A_c) จะถูกอธิบายโดยสมการ

$$A_c = 1/2 A_1$$

ด้วยความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ที่ Mr. Augustin Fresnel ได้ค้นพบขึ้น ทำให้สามารถสร้างแผ่นจานที่กระจายทางคลื่น โดยมีลักษณะบังคลื่นและยอมให้คลื่นผ่านสลัดกันไป นั่นคือคลื่นทั้งหมดที่จะมารวมกันที่จุดรวมคลื่นนั้นจะมีแต่คลื่นที่จะไปเสริมกันเท่านั้น โดยที่ส่วนของคลื่นที่จะไปหักล้างกันที่จุดรวมคลื่น คลื่นจะถูกบังไว้ ดังนั้นแอมพลิจูดโดยรวมจะถูกเขียนให้เป็นสมการได้ดังนี้

$$A_c = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_{10}$$

เห็นได้ว่าแอมพลิจูดที่จุดรวมคลื่นที่ไม่มีแผ่นจานนั้นจะมีขนาดแค่ $1/2 A_1$ เท่านั้น ส่วนแอมพลิจูดที่มีการใช้แผ่นจานมีขนาดเกือบ 10 เท่าของ A_1 นั่นคือ ค่าอัตราขยาย (gain) มีขนาดใกล้เคียง 20 เมื่อไม่มีการใช้แผ่นจาน

ในระบบเดซิเบล (Decibel) ค่าอัตราขยายสำหรับแผ่นจานนี้จะมีค่าตามสมการข้างล่าง

$$G (dB_c) = 20 \log N$$

เมื่อ N คือ จำนวนของโชนทั้งหมด

ในตารางที่ 3.1 เป็นการแสดงการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราขยายเมื่อจำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เพิ่มขึ้นมาใหม่ จะเห็นได้ว่า อย่างน้อยเมื่อมีสองโชนจะให้ค่าอัตราขยายเท่ากับ 6 dB_c ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อมีข้อผิดพลาดจะให้ค่าอัตราการขยายเท่ากับ 26 dB_1

| จำนวนโซน | ค่าอัตราการขยาย (dB_1) |
|----------|-----------------------------------|
| 2 | 6.0 |
| 4 | 12.0 |
| 6 | 15.6 |
| 8 | 18.1 |
| 10 | 20.0 |
| 12 | 21.6 |
| 14 | 22.9 |
| 16 | 24.1 |
| 18 | 25.1 |
| 20 | 26.0 |
| 22 | 26.9 |
| 24 | 27.6 |
| 26 | 28.3 |
| 28 | 28.9 |
| 30 | 29.5 |
| 32 | 30.1 |
| 34 | 30.6 |
| 36 | 31.1 |
| 38 | 31.6 |
| 40 | 32.0 |

ตารางที่ 3.1

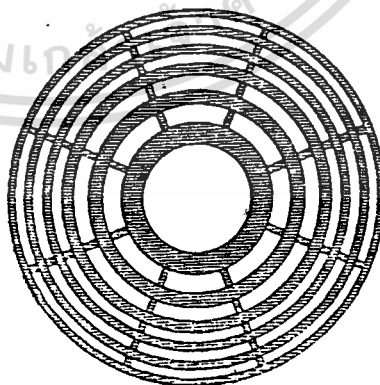
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลนส์ที่มี 20 โชนจะมีค่าอัตราการขยายเท่ากับ 26dB, เมื่อเพิ่มจำนวนโชนเป็น 2 เท่า นั่นคือ 40 โชน ค่าอัตราการขยายจะมีค่าเป็น 32 dB, จนกระทั่งเพิ่มเป็น 160 โชน ค่าอัตราการขยายจะเพิ่มเป็น 44dB, ดังนั้นจะเห็นได้ว่า เมื่อค่าอัตราการขยายเพิ่มขึ้นทุกๆ 6dB โชนจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเสมอ

จากสมการ $G = 20 \log N$ จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าอัตราการขยายจะไม่ขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ ซึ่งจะแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับจานสายอากาศแบบพาราโบลาว่าที่ค่าอัตราการขยายจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งสำหรับเฟรสเนลเลนส์ที่มีรัศมีรอบนอกคงที่แล้ว การเพิ่มขึ้นของจำนวนโชนจะเป็นการเพิ่มค่าอัตราการขยาย จนกระทั่งความกว้างของโชนมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น ตอนนั้นความโปร่งใสเป็นสิ่งสำคัญในการรับสัญญาณ

อย่างไรก็ดี เส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์จะมีผลกระทบต่ออาร์แอกและจุดที่อยู่ใกล้กันเช่นเดียวกับจานสายอากาศแบบพาราโบลาว่า นั่นก็คือความสามารถในการแบ่งแยกสัญญาณที่ต้องการจากสัญญาณต่างๆที่มาจากดาวเทียมหลายดวงที่อยู่ใกล้ๆกัน

รูปร่างของเลนส์ที่กล่าวมา ดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นรูปที่มองจากด้านบน โดยโชนต่างๆที่ได้จะเห็นลักษณะเป็นวงแหวนหลายวงซ้อนกันซึ่งมี 12 โชน และมี 8 แกนยึด ค่าอัตราการขยายมีค่าเท่ากับ 21 dB, ถูกขยายเป็นเงาทึบซึ่งแสดงให้เห็นถึงความโปร่งใสสำหรับความถี่ที่ต้องการใช้งาน



รูปที่ 3.3 แสดงถึงลักษณะด้านหน้าของเฟรสเนลเลนส์

โดยส่วนของคลื่นที่ไม่ต้องการจะถูกบังโดยวงแหวนเหล่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ข้อเปรียบเทียบระหว่างจันพาราโบลาร์กับเฟรชเนลเลนส์ในการรับสัญญาณดาวเทียม

ในกรณีของดาวเทียมที่ถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศนนั้น ถูกติดตั้งให้โคจรบนเส้นศูนย์สูตร ที่ความสูง 22,279 ไมล์ จากพื้นโลก ด้วยความเร็วเชิงมุมเท่ากับการหมุนของโลก วงโคจรนี้เป็นที่รู้จักในชื่อที่เรียกว่า คลาร์ก เบลท์ (Clarke belt) เมื่อต้องการรับสัญญาณเหล่านี้ จำเป็นต้องหาตำแหน่งของดาวเทียมที่อยู่ใน คลาร์ก เบลท์ ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของจันสายอากาศเสียก่อน ซึ่งหลักการต่าง ๆ นั้น ก็เหมือนกันกับการรับสัญญาณดาวเทียมโดยใช้จันพาราโบลาร์

ในการแทรกคังค์ (tracking) สัญญาณจากดาวเทียมหลายดวงที่อยู่ใกล้กัน ในวงโคจร คลาร์ก เบลท์ นั้น สายอากาศแบบเฟรชเนลเลนส์ จะให้ประโยชน์ที่เหนือกว่าจันสายอากาศแบบพาราโบลาร์ กล่าวคือ สำหรับจันสายอากาศแบบพาราโบลาร์นั้น เมื่อต้องการที่จะรับสัญญาณจากดาวเทียมดวงใหม่ ทั้งจันและตัวฟีดฮอร์น (feed horn) ต้องเคลื่อนที่ไปด้วยกันทั้งหมด นั้นมาจากเหตุผลที่ว่าจันพาราโบลาร์นั้นสามารถรับสัญญาณจุดที่ชัดเจนได้เพียงตำแหน่งเดียว เนื่องมาจากมีบีมวิดท์ (beam width) ที่แคบมาก แต่สำหรับสายอากาศแบบเฟรชเนลเลนส์แล้ว สามารถรับจุดที่ชัดได้หลายตำแหน่งโดยพร้อมๆกัน (อาศัย Huygen's principle) โดยที่แต่ละจุดก็มีจุดรวมแสงของมันเองตามความถี่ที่แตกต่างกันไป ดังนั้นเวลาได้รับสัญญาณดาวเทียมที่ตำแหน่งต่างๆ (แต่อยู่ใกล้กัน) สิ่งที่ต้องทำก็คือการเคลื่อนตัวฟีดฮอร์นไปยังตำแหน่งของจุดรวมแสงที่เหมาะสม นั่นคือ เมื่อเราหันเลนส์ของเราไปยังท้องฟ้าในทิศทางที่ถูกต้องแล้ว เราต้องทดลองว่าเราสามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้กี่ดวง และ ระยะห่างระหว่างจุดรวมแสงกับเลนส์มีค่าเท่าใดบ้าง เมื่อเราต้องการรับสัญญาณดาวเทียมที่ตำแหน่งอื่นที่อยู่ใกล้กันหลายๆ ในตอนนั้นเราจึงต้องเคลื่อนที่ทั้งเลนส์และตัวฟีดฮอร์น เหมือนกันกับกรณีของจันสายอากาศแบบพาราโบลาร์ทุกประการ

บทที่ 4

การออกแบบเฟรชเนลเลนส์

4.1 ตัวอย่างการออกแบบเฟรชเนลเลนส์

จากตารางที่ 3.2 ได้แสดงรัศมีของวงกลมต่างๆที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกันซึ่งมี 20 โซน และเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอกมีขนาด 244 เซนติเมตร ในการออกแบบเฟรชเนลเลนส์ ต้องอาศัยพารามิเตอร์ (parameter) หลายค่า นั่นคือ ค่ารัศมีสูงสุดของเลนส์และค่ารากที่สองของจำนวนโซนทั้งหมด จากค่าทั้งสองนี้ จะนำไปหาค่า สเกลแฟกเตอร์ (scale factor) ตามสมการ

$$F = R_m / \sqrt{N}$$

โดยที่ F คือ ค่าสเกลแฟกเตอร์ (Scale Factor)

R_m คือ ค่ารัศมีที่มากที่สุด (Maximum Radius)

และ N คือ จำนวนโซน (Number of Zone)

สำหรับตัวอย่างข้างต้นค่าของสเกลแฟกเตอร์มีค่าเท่ากับ 27.29 นั่นคือ

$$F = 122 / \sqrt{20}$$

$$= 27.29$$

โดยที่ $R_m = 122$ cm. (มาจากเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 244 เซนติเมตรหารด้วยสอง)

$$N = 20 \text{ โซน}$$

ซึ่งค่าสเกลแฟกเตอร์นี้ คือรัศมีของโซนที่หนึ่ง ในการหารรัศมีของโซนต่อไปนั้นก็

ให้นำค่าสเกลแฟกเตอร์นี้ไปคูณกับค่ารากที่สองของเลขที่โซนนั้นๆ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โชนที่สาม $3 \times 27.29 = 47.21$ เป็นต้น

ซึ่งสำหรับเฟรสนेलเลนส์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 244 เซนติเมตร และมีจำนวนโชน 20 โชนนั้น รัศมีสำหรับโชนต่างๆได้แสดงเป็นตัวอย่างตามตารางที่ 4.1

| รัศมีที่ | ค่ารากที่สองของเลขที่โชน | รัศมีที่ทำการตัด (cm) |
|----------|--------------------------|-----------------------|
| 1 | $\sqrt{1} = 1.00$ | 27.29 |
| 2 | $\sqrt{2} = 1.41$ | 38.48 |
| 3 | $\sqrt{3} = 1.73$ | 47.21 |
| 4 | $\sqrt{4} = 2.00$ | 54.58 |
| 5 | $\sqrt{5} = 2.24$ | 61.13 |
| 6 | $\sqrt{6} = 2.45$ | 66.86 |
| 7 | $\sqrt{7} = 2.65$ | 72.32 |
| 8 | $\sqrt{8} = 2.83$ | 77.23 |
| 9 | $\sqrt{9} = 3.00$ | 81.87 |
| 10 | $\sqrt{10} = 3.16$ | 86.24 |
| 11 | $\sqrt{11} = 3.32$ | 90.60 |
| 12 | $\sqrt{12} = 3.46$ | 94.42 |
| 13 | $\sqrt{13} = 3.61$ | 98.52 |
| 14 | $\sqrt{14} = 3.74$ | 102.06 |
| 15 | $\sqrt{15} = 3.87$ | 105.61 |
| 16 | $\sqrt{16} = 4.00$ | 109.16 |
| 17 | $\sqrt{17} = 4.12$ | 112.43 |
| 18 | $\sqrt{18} = 4.24$ | 115.71 |
| 19 | $\sqrt{19} = 4.36$ | 118.98 |
| 20 | $\sqrt{20} = 4.47$ | 121.99 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ ตารางที่ 4.1 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การคำนวณระยะห่างระหว่างจุดรวมแสงกับเฟรสนิเลนส์ (Calculating focal length)

หลังจากที่ได้ออกแบบเฟรสนิเลนส์แล้ว ต้องมาหาระยะทางจากเลนส์ไปยังจุดรวมแสง จากสมการต่อไปนี้

$$F = (R_1)^2 / \lambda$$

โดยที่ R_1 คือ รัศมีของโชนที่หนึ่ง

λ คือ ความยาวคลื่นที่จะทำการรับ

และ F คือ ระยะห่างระหว่างจุดรวมแสงกับเลนส์

ข้อควรสังเกตุ สมมติให้ในการรับสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ซีแบนด์ (C-band) ซึ่งมีความถี่ขาลง (down link) ระหว่าง 3.7 กิกะเฮิรต์ ถึง 4.18 กิกะเฮิรต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ต่างๆที่อยู่บนดาวเทียม ดังนั้น จะได้ว่าความยาวของจุดรวมแสงมีค่าระหว่าง 91.83 เซนติเมตร สำหรับทรานสปอนเดอร์ที่ 1 มีค่าถึง 103.72 เซนติเมตร สำหรับทรานสปอนเดอร์ที่ 24 ซึ่งจะแสดงการหาระยะห่างระหว่างจุดรวมแสงกับเลนส์ได้ดังนี้

$$\text{สำหรับทรานสปอนเดอร์ที่ 1} \quad F = (R_1)^2 / \lambda$$

$$\begin{aligned} \text{โดย} \quad R_1 &= 27.29 \text{ เซนติเมตร} \\ &= 3 \cdot 10^8 / 3.7 \cdot 10^9 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

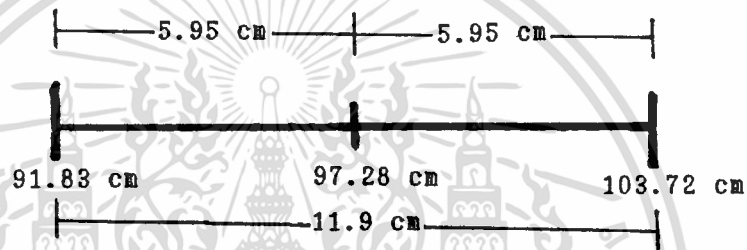
$$\text{เพราะฉะนั้น} \quad F = 91.83 \text{ เซนติเมตร}$$

$$\text{สำหรับทรานสปอนเดอร์ที่ 24} \quad F = (R_1)^2 / \lambda$$

$$\begin{aligned} \text{โดย} \quad R_1 &= 27.29 \text{ เซนติเมตร} \\ &= 3 \cdot 10^8 / 4.18 \cdot 10^9 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น เพราะฉะนั้น ค่า F นั้น มีค่า 103.72 เซนติเมตร โดยชนด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตได้ว่า จุดกึ่งกลางของระยะทั้งสองคือ 97.28 เซนติเมตร นั่นคือค่าความยาวของจตุรรมแสงที่เราใช้ แต่ให้สังเกตอีกว่าจากจุดกึ่งกลาง 97.28 เซนติเมตรนี้ ถึงขอบความยาวทั้งสอง (91.83 cm., 103.72 cm.) มีค่าเท่ากับ 5.95 เซนติเมตร หรือจากขอบความยาวด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งมีค่าเท่ากับ 11.9 เซนติเมตร และโดยทั่วไปแล้ว ท่อนำคลื่นที่ใช้ยู่ก็มีความลึกมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการแน่ใจว่าจตุรรมแสงทั้งหมดของทรานส์ปอนเดอร์ต่างๆ ที่แตกต่างกันตามความถี่นั้นตกอยู่ภายในท่อนำคลื่นทั้งหมด จึงต้องมีการวัดรอยหลังไป 5.95 เซนติเมตร จากปากท่อนำคลื่น แล้วทำเครื่องหมายไว้บนท่อนำคลื่นจากนั้นจึงทำการติดตั้งฟีดฮอร์น โดยที่จุดที่ทำเครื่องหมายนั้น ไว้ห่างจากเลนส์ 97.28 เซนติเมตร



รูปที่ 4.1 จุดที่ไฟกัสควรอยู่ในฮอร์น

4.3 ข้อพิจารณาอื่นๆที่ควรคำนึงถึง

เลนส์ที่สร้างต้องมีความแข็งแรง ไม่มีการสั่นสะเทือนขณะใช้งาน และจะต้องระวังไม่ให้มีอะไรมาบังจตุรรมคลื่น ไม่ว่าจะเป็นสิ่งที่มาชิดตัวฟีด หรือแม้กระทั่งสั่นของฟีดฮอร์นเอง

ในการตัดสินใจเลือกลักษณะของเฟรชเนลเลนส์ ที่เหมาะสมสำหรับในการใช้ประโยชน์ก็ควรที่จะพิจารณา 2 เรื่อง ดังต่อไปนี้

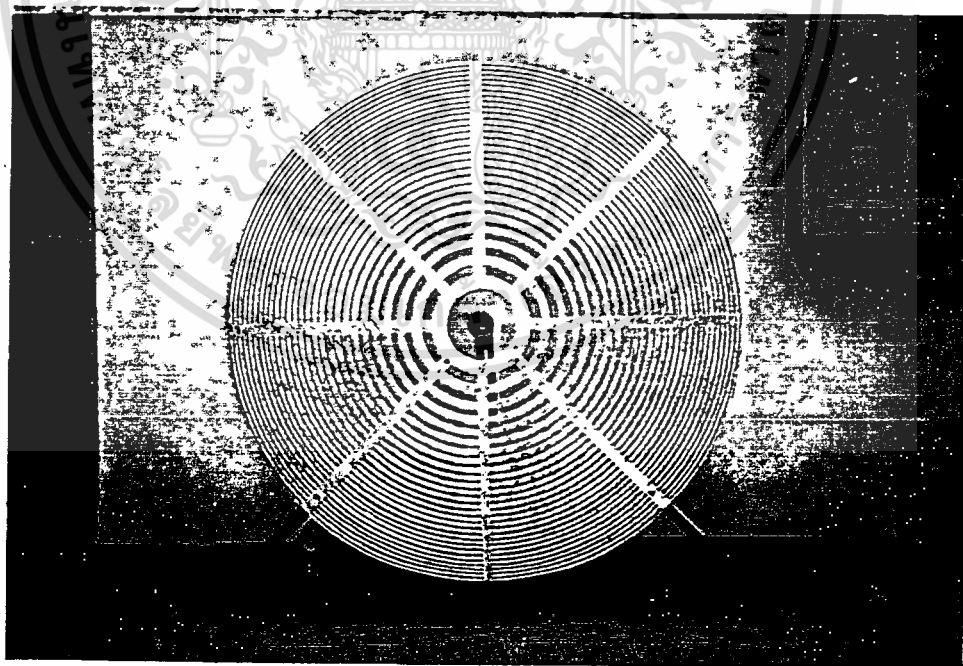
เรื่องแรกคือ จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ค่าอัตราการขยายของเลนส์นั้นขึ้นอยู่กับจำนวนโซน ขีดจำกัดของวัสดุที่นำมาสร้างจะมาเป็นข้อจำกัดของจำนวนโซนที่จะเป็นไปได้ โดยจำนวนโซนนั้นจะต้องมีค่าน้อยกว่า 80 โซน นั่นคือค่าอัตราการขยายสูงสุดจะมีค่า 38 dB, ซึ่งเทียบคร่าวๆได้กับสายอากาศหาราโบลาร์ขนาดประมาณ 6-8 ฟุต

เรื่องที่สอง คือ ความสามารถในการแยกความแตกต่างของสัญญาณที่มาจากดาวเทียมที่อยู่ใกล้ๆกัน ดังนั้น จึงต้องทำการทดลองเพื่อที่จะหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น และผู้ยู่ที่เห็นชอบใช้เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมที่สุด และการที่ใช้ไม้อัดในการทดลองนั้นทำให้การลงทุนในการทดลองมีราคาถูก และในพื้นที่ที่มีแสงจ้าอาจจะประยุกต์เลนส์ โดยการสลัดจากการที่ตัดเอา โชนคู่ออก กลายเป็นเอาโชนคู่ออก รวมทั้งโชนที่อยู่ตรงกลาง (โชนที่ 1) ด้วย การกระทำดังกล่าวจะเป็นการป้องกันการแพร่กระจายของคลื่นจากดวงอาทิตย์ ที่จะมาเข้า ฟีดฮอร์นโดยตรง โดยที่ค่าอัตราขยายยังเท่าเดิม แต่ในการออกแบบนั้นจะต้องให้จำนวนโชนสูงสุดเป็นเลขคี่ (เช่น 57 โชน เป็นต้น) แล้วนำไปคำนวณหาค่าสเกลแฟกเตอร์และสมการอื่นๆอีกตามลำดับต่อไป

ในความเป็นจริงแล้ว เลนส์ไม้ได้มีค่าความยาวของจตุรวมแสงเพียงค่าเดียว แต่จะเกิดสัญญาณกลางเลือนที่ระยะห่างจากเลนส์ประมาณ $F \times 3$, $F \times 5$ และ $F \times 7$ เป็นต้น เลนส์อาจทำจากวัสดุอื่นที่ไม่ใช่ไม้อัดได้ ถ้าวัสดุที่ใช้ยังบางเท่าใด ค่าอัตราขยายที่ได้ก็มีค่าเข้าใกล้ทฤษฎีเท่านั้น ข้อจำกัดที่สำคัญทางวัสดุก็คือ สามารถทนต่อสภาพภูมิอากาศได้ รวมทั้งการที่ไม่ยอมให้คลื่นไมโครเวฟผ่าน ต้องคิดพอดิวอย่างรูปร่างของสายอากาศที่สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ **รูปที่ 4.2** รูปร่างของสายอากาศที่สร้างขึ้น ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การสร้างชิ้นงานและผลการทดลอง

5.1 การสร้างชิ้นงาน.

สายอากาศที่จะทำการสร้างนี้ใช้รับสัญญาณย่านแคชูแบนด์ (KU-band) ที่มีความถี่ขาลง (downlink frequency) เท่ากับ 11.6 กิกะเฮิรต์ และเพื่อที่จะให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการใช้งานจริง จึงจะทำการเปรียบเทียบกับสายอากาศพาราโบลาร์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 60 เซนติเมตร ดังนั้นค่าอัตราการขยายของเฟรสเนลเลนส์จึงต้องมีค่าเท่ากับค่าอัตราการขยายของสายอากาศแบบพาราโบลาร์ดังกล่าว ซึ่งค่าอัตราการขยายของสายอากาศแบบพาราโบลาร์มีค่าดังสมการข้างล่าง

$$G = 10 \log (\pi D / \lambda)^2 \eta$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพของสายอากาศซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.6

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานพาราโบลาร์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 60 เซนติเมตร

λ คือ ความยาวคลื่น มีค่าประมาณ 2.59 เซนติเมตร

ดังนั้น ค่าอัตราการขยายจึงมีค่าประมาณ 35 dB,

และจากค่าอัตราการขยายข้างต้น สามารถนำไปหาจำนวนโซนทั้งหมดของเฟรสเนลเลนส์ได้จากสมการข้างล่าง

$$G = 20 \log N$$

$$\text{หรือ } N = \log^{-1} (G/20)$$

โดยที่ G มีค่าเท่ากับ 35 dB,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ ดังนั้นจำนวนโซนทั้งหมดมีค่าประมาณ 56 โซนให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ได้จำนวนโชนแล้ว เราจะกำหนดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางขึ้นมาโดยจะมีค่าเท่าใดก็ได้ แต่ถ้าหากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนั้นเล็กมากเกินไปจะทำให้สร้างลำบาก ซึ่งรายงานฉบับนี้ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าเท่ากับ 1 เมตร

ดังนั้นเราจะหาค่าสเกลแฟกเตอร์ (scale factor) ได้ดังนี้

$$F = R_m / \sqrt{N}$$

โดย R_m มีค่าเท่ากับ 50 เซนติเมตร

N มีค่าเท่ากับ 56 โชน

เพราะฉะนั้น ค่าสเกลแฟกเตอร์มีค่าประมาณ 6.68

และจะนำค่าสเกลแฟกเตอร์นี้ไปคูณกับค่ารากที่สองของเลขที่โชนต่างๆ ซึ่งจะ
ได้ค่ารัศมีต่างๆของโชนได้ดังต่อไปนี้

$$R_n = \sqrt{n} * 6.68 \quad \text{เซนติเมตร}$$

| | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| $R_1 = \sqrt{1} * 6.68 = 6.68$ | $R_2 = \sqrt{2} * 6.68 = 9.45$ |
| $R_3 = \sqrt{3} * 6.68 = 11.57$ | $R_4 = \sqrt{4} * 6.68 = 13.36$ |
| $R_5 = \sqrt{5} * 6.68 = 14.94$ | $R_6 = \sqrt{6} * 6.68 = 16.37$ |
| $R_7 = \sqrt{7} * 6.68 = 17.68$ | $R_8 = \sqrt{8} * 6.68 = 18.90$ |
| $R_9 = \sqrt{9} * 6.68 = 20.04$ | $R_{10} = \sqrt{10} * 6.68 = 21.13$ |
| $R_{11} = \sqrt{11} * 6.68 = 22.16$ | $R_{12} = \sqrt{12} * 6.68 = 23.14$ |
| $R_{13} = \sqrt{13} * 6.68 = 24.09$ | $R_{14} = \sqrt{14} * 6.68 = 25.00$ |
| $R_{15} = \sqrt{15} * 6.68 = 25.88$ | $R_{16} = \sqrt{16} * 6.68 = 26.73$ |
| $R_{17} = \sqrt{17} * 6.68 = 27.55$ | $R_{18} = \sqrt{18} * 6.68 = 28.35$ |
| $R_{19} = \sqrt{19} * 6.68 = 29.12$ | $R_{20} = \sqrt{20} * 6.68 = 29.88$ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ $R_{21} = \sqrt{21} * 6.68$ เท่ากับ 30.62 ศึกษานั่น $R_{22} = \sqrt{22} * 6.68$ เท่ากับ 31.34

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| $R_{23} = \sqrt{23} * 6.68 = 32.04$ | $R_{24} = \sqrt{24} * 6.68 = 32.73$ |
| $R_{25} = \sqrt{25} * 6.68 = 33.41$ | $R_{26} = \sqrt{26} * 6.68 = 34.07$ |
| $R_{27} = \sqrt{27} * 6.68 = 34.72$ | $R_{28} = \sqrt{28} * 6.68 = 35.36$ |
| $R_{29} = \sqrt{29} * 6.68 = 35.98$ | $R_{30} = \sqrt{30} * 6.68 = 36.60$ |
| $R_{31} = \sqrt{31} * 6.68 = 37.20$ | $R_{32} = \sqrt{32} * 6.68 = 37.80$ |
| $R_{33} = \sqrt{33} * 6.68 = 38.38$ | $R_{34} = \sqrt{34} * 6.68 = 38.96$ |
| $R_{35} = \sqrt{35} * 6.68 = 39.53$ | $R_{36} = \sqrt{36} * 6.68 = 40.09$ |
| $R_{37} = \sqrt{37} * 6.68 = 40.64$ | $R_{38} = \sqrt{38} * 6.68 = 41.19$ |
| $R_{39} = \sqrt{39} * 6.68 = 41.73$ | $R_{40} = \sqrt{40} * 6.68 = 42.26$ |
| $R_{41} = \sqrt{41} * 6.68 = 42.78$ | $R_{42} = \sqrt{42} * 6.68 = 43.30$ |
| $R_{43} = \sqrt{43} * 6.68 = 43.81$ | $R_{44} = \sqrt{44} * 6.68 = 44.32$ |
| $R_{45} = \sqrt{45} * 6.68 = 44.82$ | $R_{46} = \sqrt{46} * 6.68 = 45.32$ |
| $R_{47} = \sqrt{47} * 6.68 = 45.81$ | $R_{48} = \sqrt{48} * 6.68 = 46.29$ |
| $R_{49} = \sqrt{49} * 6.68 = 46.77$ | $R_{50} = \sqrt{50} * 6.68 = 47.25$ |
| $R_{51} = \sqrt{51} * 6.68 = 47.72$ | $R_{52} = \sqrt{52} * 6.68 = 48.18$ |
| $R_{53} = \sqrt{53} * 6.68 = 48.64$ | $R_{55} = \sqrt{54} * 6.68 = 49.10$ |
| $R_{55} = \sqrt{55} * 6.68 = 49.55$ | $R_{56} = \sqrt{56} * 6.68 = 50.00$ |

จากนั้น นำค่ารัศมีต่างๆ เหล่านี้ไปวาดลงบนไม้อัดแล้วตัดออกมาตามขนาดข้างต้น ต่อไปเราจะทำการหาค่าระยะห่างระหว่างเลนส์กับฟีดฮอร์น (focal length) จากสมการต่อไปนี้

$$F = (R_1)^2 / \lambda$$

โดย R_1 คือ ขนาดรัศมีของโซนแรก มีค่าเท่ากับ 6.68 เซนติเมตร

λ คือ ความยาวคลื่น มีค่าประมาณ 2.59 เซนติเมตร

ดังนั้นจะได้ค่าระยะห่างระหว่างเลนส์กับจุดรวมแสงมีค่าเท่ากับ 17.23 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนเพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
จากค่าระยะห่างระหว่างเลนส์กับจุดรวมแสงนี้ เราจะทำการติดตั้งฟีดฮอร์นที่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

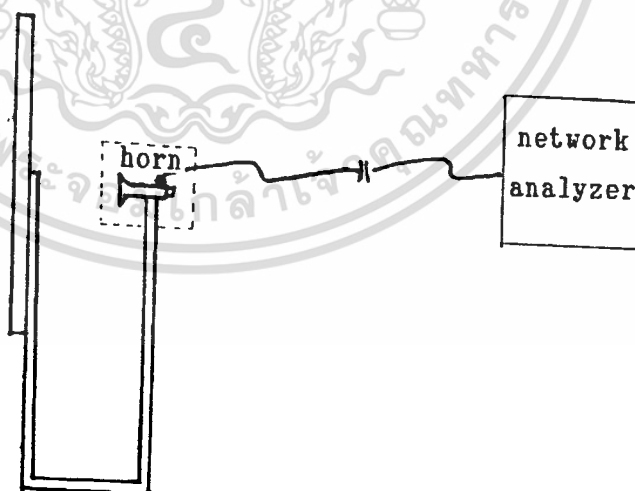
ระบะดังกล่าว

5.2 วิธีการทดลอง

เราจะทำการวัดคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศที่ทำการสร้างขึ้นนี้ เพื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. ค่า VSWR ของสายอากาศ
2. ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของสายอากาศ
3. ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ
4. ค่าอัตราขยายของสายอากาศ

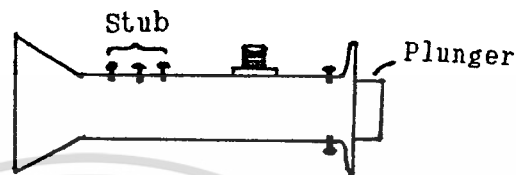
ในการหาค่า VSWR และ ค่าอิมพีแดนซ์ ของสายอากาศ เราจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าเน็ตเวิร์คอะนาไลเซอร์ (network analyzer) เป็นเครื่องวัดคุณสมบัติต่างๆ เหล่านั้น ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 เป็นรูปที่นำเน็ตเวิร์คอะนาไลเซอร์มาต่อเข้ากับสายอากาศเฟรสเนลเลนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่า VSWR ควรจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.00-1.15 ถึงจะนำสายอากาศนั้นๆ ไปใช้งานได้ การที่จะทำให้ค่า VSWR อยู่ในช่วงที่ต้องการนั้น เราจะใช้สตับจูนเนอร์ (stub tuner) เป็นตัวปรับ ซึ่งตัวสตับนี้จะติดตั้งอยู่ที่ฮอร์น (Horn) ดังรูปที่ 5.2

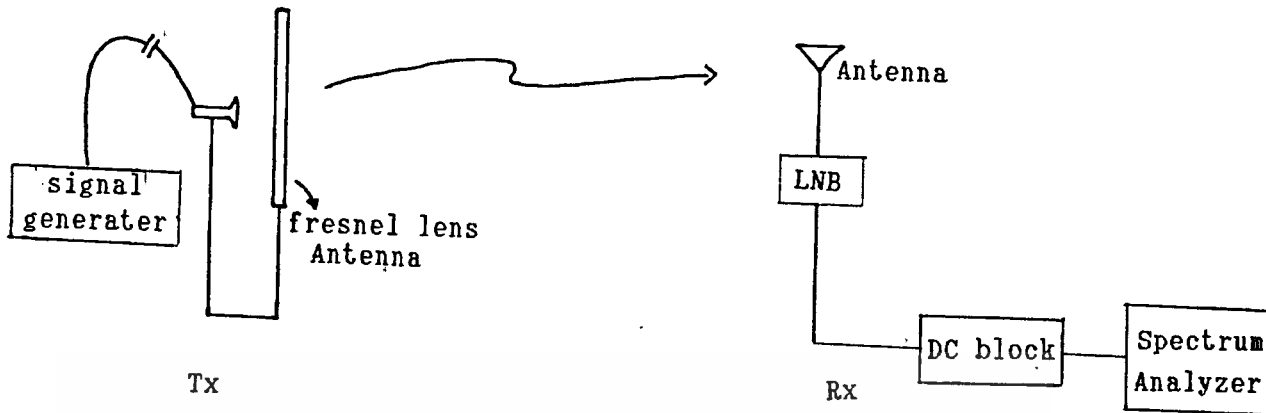


รูปที่ 5.2 แสดงสตับที่อยู่ที่ฮอร์น

และตัว plunger จะทำหน้าที่คล้ายสตับ กล่าวคือ มันจะทำหน้าที่บังคับให้พลังงานถ่ายเทจากโพรบ (probe) ไปยังสายอากาศ หรือ จากสายอากาศมายังโพรบได้มากที่สุด

ส่วนการดูลักษณะการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของเฟรสเนลเลนส์นั้น จะใช้อุปกรณ์ดังนี้

1. สเปกตรัมอะนาไลเซอร์ (spectrum analyzer)
2. ดีซี บล็อก (DC block)
3. LNB
4. ตัวกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)
5. สายอากาศรับ
6. สายอากาศส่ง



รูปที่ 5.3 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการแพร่กระจายคลื่น

ตัวกำเนิดสัญญาณจะผลิตความถี่ 11.6 กิกะเฮิรต์ ป้อนสัญญาณให้ฮอร์น แพร่กระจายคลื่นไปในอากาศผ่านเฟรสเนลเลนส์ไปยังสายอากาศรับ LNB จะทำหน้าที่ ขยายสัญญาณที่รับได้รวมทั้งปรับความถี่ 11.6 กิกะเฮิรต์ ให้ ลดต่ำลงมาอยู่ในย่าน 900 เมกะเฮิรต์ ถึง 1410 เมกะเฮิรต์ โดยใช้วิธีการทางมิกซ์เซอร์ที่มีโลคอลออสซิลเลเตอร์อยู่ภายใน ดังนั้นจากวิธีการดังกล่าวจึงจำเป็นต้องให้ไฟเลี้ยงที่เป็นไฟกระแสตรงให้กับตัว LNB

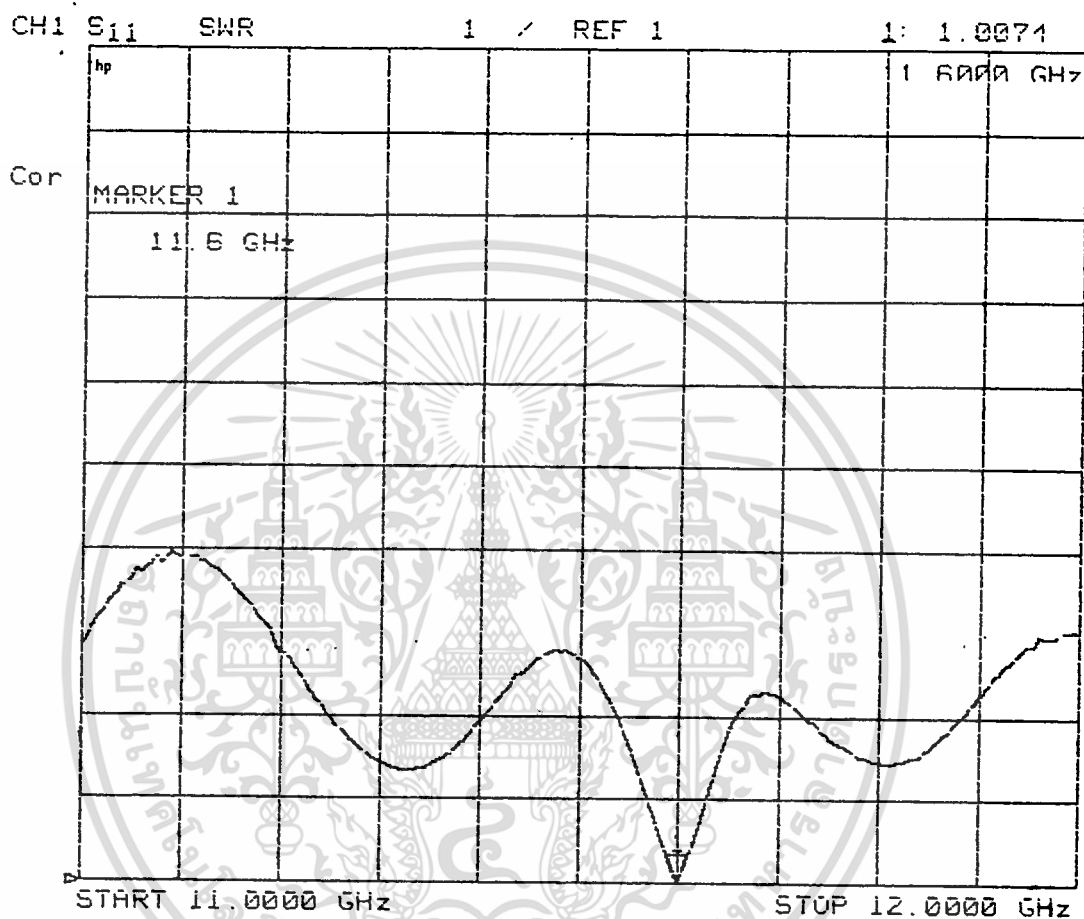
ส่วน DC block นั้นจะทำการป้องกันไม่ให้กระแสไฟตรงเข้าไปใน สเปกตรัมอะนาลิเซอร์ สเปกตรัมจะเป็นตัววัดสัญญาณที่รับได้ และเราจะทำการหมุนสายอากาศเฟรสเนลเลนส์ของเรา และทำการบันทึกความแรงของสัญญาณที่เปลี่ยนไปตามมุมต่างๆ ที่เกิดจากการหมุน

โดยเราจะทำการวัดลักษณะการแพร่กระจายของคลื่น ทั้งในแนวอะซิมุท (Azimuth) และแนวอีเลเวชัน (Elevation) และจะนำค่าฮัพพาวเวอร์บีมวิดท์ (Half Power Beam Width) ที่ได้ นำไปหาค่าอัตราการขยายได้

$$\text{จากสูตร } G = 30000 / \theta_v \cdot \theta_h$$

5.3 ผลทางไฟฟ้า

จากการวัดค่า VSWR ของสายอากาศแบบเฟรสเนลเลนส์ ที่มีสตัปจูนเนอร์อยู่ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารด้วยเน็ตเวิร์คอะนาลิเซอร์ได้ผลดังรูปที่ 5.4 ตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ผลการวัดค่า VSWR

จากรูปที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าค่า VSWR เท่ากับ 1:1.0074 ที่ความถี่ 11.6 กิโลเฮิร์ต ซึ่งเพียงพอต่อการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และค่า VSWR จะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ต่างๆดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GHz

| | |
|---------|--------|
| 11.4500 | 3.5275 |
| 11.4550 | 3.5582 |
| 11.4600 | 3.6478 |
| 11.4650 | 3.6476 |
| 11.4700 | 3.6791 |
| 11.4750 | 3.7155 |
| 11.4800 | 3.6885 |
| 11.4850 | 3.6908 |
| 11.4900 | 3.6776 |
| 11.4950 | 3.6694 |
| 11.5000 | 3.6313 |
| 11.5050 | 3.5608 |
| 11.5100 | 3.5557 |
| 11.5150 | 3.4553 |
| 11.5200 | 3.3383 |
| 11.5250 | 3.2631 |
| 11.5300 | 3.1559 |
| 11.5350 | 3.0345 |
| 11.5400 | 2.9 |
| 11.5450 | 2.7579 |
| 11.5500 | 2.6255 |
| 11.5550 | 2.457 |
| 11.5600 | 2.2806 |
| 11.5650 | 2.1286 |
| 11.5700 | 1.9497 |
| 11.5750 | 1.7841 |
| 11.5800 | 1.6199 |
| 11.5850 | 1.4523 |
| 11.5900 | 1.2921 |
| 11.5950 | 1.1426 |
| 11.6000 | 1.0018 |
| 11.6050 | 1.1361 |
| 11.6100 | 1.2897 |
| 11.6150 | 1.4617 |
| 11.6200 | 1.6199 |
| 11.6250 | 1.8572 |
| 11.6300 | 2.0558 |
| 11.6350 | 2.2603 |
| 11.6400 | 2.463 |
| 11.6450 | 2.644 |
| 11.6500 | 2.7878 |
| 11.6550 | 2.9271 |
| 11.6600 | 2.9886 |
| 11.6650 | 3.083 |
| 11.6700 | 3.1494 |
| 11.6750 | 3.2399 |
| 11.6800 | 3.2192 |
| 11.6850 | 3.2534 |
| 11.6900 | 3.2141 |
| 11.6950 | 3.2108 |
| 11.7000 | 3.1807 |
| 11.7050 | 3.1272 |
| 11.7100 | 3.0859 |
| 11.7150 | 3.0396 |
| 11.7200 | 2.9877 |
| 11.7250 | 2.9312 |
| 11.7300 | 2.8887 |
| 11.7350 | 2.8309 |
| 11.7400 | 2.7601 |
| 11.7450 | 2.7321 |

ตารางที่ 5.1 ค่า VSWR ที่เปลี่ยนไปตามค่าความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า VSWR ที่ได้นี้มีผลมาจากค่าอิมพีแดนซ์ของเฟสเนลเลนส์และตัวพีคฮอร์น จากการวัดค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 11.6 กิกะเฮิร์ต ได้ผลดังนี้

CH1 S₁₁ 1 U FS 1: 50.668 Ω -421.88 mΩ 32.522 pF
hp 11.6000 GHz

Cor MARKER 1
11.6 GHz

START 11.0000 GHz

STOP 12.0000 GHz

รูปที่ 5.5 สมัชชาท์ของการวัดค่าอิมพีแดนซ์

จากรูปที่ 5.5 จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 11.6 กิกะเฮิร์ต สายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ประมาณ 50 โอห์ม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่ง และเช่นเดียวกันกับกรณีของค่า VSWR นั่นคือค่าอิมพีแดนซ์จะเปลี่ยนตามค่าความถี่ที่เปลี่ยนไปตามตัวอย่างในตารางที่ 5.2

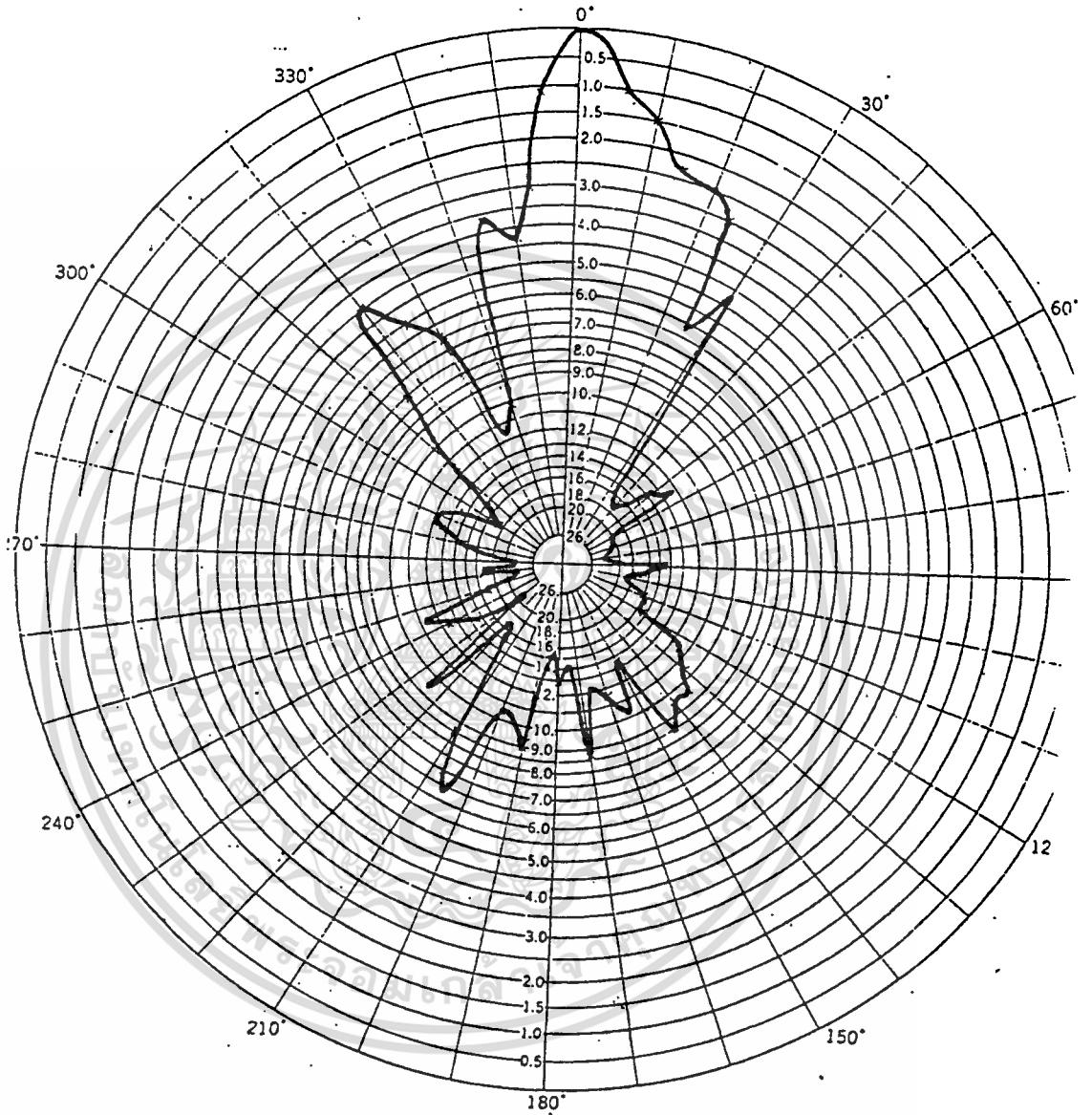
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| STIMULUS GHz | CH1 S11 | CH1 S11 |
|-----------------|----------|-----------|
| 11.4500 | 14.23 Ω | -8.1382 Ω |
| 11.4550 | 14.208 Ω | -6.3086 Ω |
| 11.4600 | 13.707 Ω | -4.5386 Ω |
| 11.4650 | 13.598 Ω | -2.8486 Ω |
| 11.4700 | 13.398 Ω | -1.123 Ω |
| 11.4750 | 13.301 Ω | 621.09 mV |
| 11.4800 | 13.445 Ω | 2.1943 Ω |
| 11.4850 | 13.492 Ω | 4.1113 Ω |
| 11.4900 | 13.521 Ω | 5.8091 Ω |
| 11.4950 | 13.847 Ω | 7.6089 Ω |
| 11.5000 | 14.203 Ω | 9.1787 Ω |
| 11.5050 | 14.506 Ω | 11.028 Ω |
| 11.5100 | 14.982 Ω | 12.863 Ω |
| 11.5150 | 15.711 Ω | 14.675 Ω |
| 11.5200 | 16.541 Ω | 16.454 Ω |
| 11.5250 | 17.587 Ω | 18.484 Ω |
| 11.5300 | 18.852 Ω | 20.438 Ω |
| 11.5350 | 20.026 Ω | 22.36 Ω |
| 11.5400 | 21.777 Ω | 24.289 Ω |
| 11.5450 | 23.89 Ω | 26.153 Ω |
| 11.5500 | 26.275 Ω | 27.911 Ω |
| 11.5550 | 29.486 Ω | 29.321 Ω |
| 11.5600 | 32.785 Ω | 30.322 Ω |
| 11.5650 | 37 Ω | 30.855 Ω |
| 11.5700 | 42.004 Ω | 30.621 Ω |
| 11.5750 | 47.059 Ω | 28.766 Ω |
| 11.5800 | 51.643 Ω | 24.988 Ω |
| 11.5850 | 55.5 Ω | 19.152 Ω |
| 11.5900 | 58.652 Ω | 12.17 Ω |
| 11.5950 | 54.887 Ω | 5.1797 Ω |
| 11.6000 | 49.68 Ω | 0.8145 Ω |
| 11.6050 | 44.932 Ω | -2.3906 Ω |
| 11.6100 | 39.892 Ω | -3.8066 Ω |
| 11.6150 | 35.049 Ω | -3.5938 Ω |
| 11.6200 | 31.033 Ω | -2.4199 Ω |
| 11.6250 | 27.553 Ω | -329.1 mV |
| 11.6300 | 24.927 Ω | 2.2979 Ω |
| 11.6350 | 22.867 Ω | 4.959 Ω |
| 11.6400 | 21.535 Ω | 7.9131 Ω |
| 11.6450 | 20.491 Ω | 10.886 Ω |
| 11.6500 | 20.073 Ω | 13.867 Ω |
| 11.6550 | 19.824 Ω | 16.502 Ω |
| 11.6600 | 19.833 Ω | 19.202 Ω |
| 11.6650 | 20.328 Ω | 21.894 Ω |
| 11.6700 | 20.514 Ω | 24.563 Ω |
| 11.6750 | 21.173 Ω | 27.921 Ω |
| 11.6800 | 22.339 Ω | 30.295 Ω |
| 11.6850 | 23.715 Ω | 33.039 Ω |
| 11.6900 | 25.449 Ω | 35.813 Ω |
| 11.6950 | 27.041 Ω | 38.592 Ω |
| 11.7000 | 29.244 Ω | 41.363 Ω |
| 11.7050 | 31.949 Ω | 43.998 Ω |
| 11.7100 | 34.885 Ω | 46.662 Ω |
| 11.7150 | 38.281 Ω | 49.267 Ω |
| 11.7200 | 42.316 Ω | 51.789 Ω |
| 11.7250 | 46.686 Ω | 53.943 Ω |
| 11.7300 | 52.02 Ω | 55.787 Ω |
| 11.7350 | 57.887 Ω | 57.58 Ω |
| 11.7400 | 64.152 Ω | 57.879 Ω |
| 11.7450 | 72.695 Ω | 58.086 Ω |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ ตารางที่ 5.2 ค่าอิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ต่างๆ โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนลักษณะการแพร่กระจายคลื่นไปในอากาศของสายอากาศชนิดนี้มีลักษณะดัง

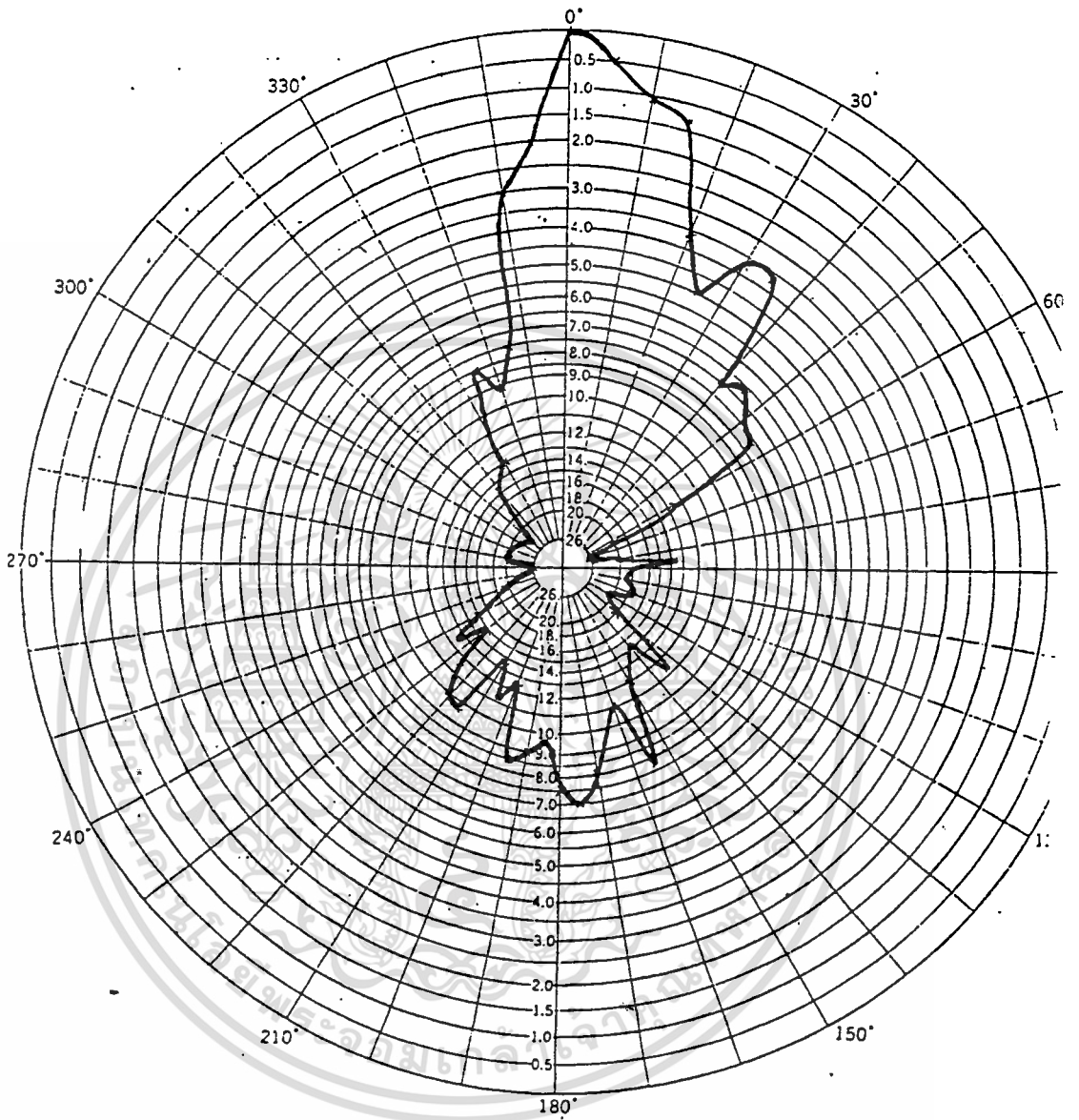
รูปที่ 5.6



(a) รูปร่างการแพร่กระจายคลื่นเมื่อหมุนสายอากาศในแนวอะซิมุต

จากรูปจะเห็นได้ว่า ค่า θ_{max} มีค่าเท่ากับ 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) รูปร่างการแพร่กระจายคลื่นในแนวอีเลเวชัน

จากรูปจะเห็นได้ว่า ค่า σ_u มีค่าเท่ากับ 29 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 5.6** ซึ่งการแพร่กระจายคลื่นในแนวอะซิมุทและอีเลเวชัน โยชนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ค่าบีมอดูลทั้ง 2 แนว คือแนวอะซิมูท (θ_h) และแนวอีเลเวชัน (θ_v)
จากค่ามุมข้างต้น เราจะหาค่าอัตราขยายได้โดยประมาณจากสูตร

$$\begin{aligned} \text{ค่าอัตราขยาย} &= 30000 / \theta_v \cdot \theta_h \quad \text{dB}_1 \\ &= 30000 / 30 \cdot 29 \quad \text{dB}_1 \\ &= 34.48 \quad \text{dB}_1 \end{aligned}$$

จะเห็นว่ามีความแตกต่างจากทฤษฎีอยู่ 0.52 dB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุป

สายอากาศแบบเฟรสเนลที่สร้างขึ้นในโครงการนี้อาศัยทฤษฎีการแพร่ไปของคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Propagation) และหลักการของฮอยเก้น (Huygen's principle) โดยการประยุกต์ทฤษฎีทั้งสองอย่างง่าย ๆ กล่าวคือ เลนส์จะเลือกเอาคลื่นที่มีเฟสตรงกันเข้ามาและสะท้อนคลื่นที่มีเฟสตรงกันข้ามออกไป ทั้งนี้การเลือกและการสะท้อนไม่ขึ้นอยู่กับความถี่แต่อย่างใด นั่นคือ เลนส์ชนิดนี้ไม่ว่าออกแบบอย่างไรก็สามารถใช้ได้กับทุกความถี่โดยที่แต่ละความถี่จะมีจุดรวมคลื่นที่แตกต่างกันโดยไม่มี ความเกี่ยวข้องกับตัวเลนส์

สายอากาศในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ออกแบบให้อยู่ในความถี่ย่าน Ku-band ที่ความถี่ 11.6 GHz เพื่อใช้งานตอบสนองต่อดาวเทียมไทยคม ซึ่งความถี่ที่ใช้งานนี้ถูกกำหนดโดยตัวพีดีอาร์เอ็นไม่ใช่ตัวเลนส์ดังที่กล่าวมาแล้ว โดยมีจุดรวมคลื่นที่ระยะ 17.23 เซนติเมตร ห่างจากตัวเลนส์ ส่วนค่า VSWR ที่ได้จากการวัดนั้นมีค่า 1: 1.0074 ซึ่งมีค่าเพียงพอสำหรับการใช้งาน ค่า VSWR ที่ได้นี้เกิดจากการปรับ stub และ plunger ที่ติดตั้งอยู่ที่ตัวอาร์เอ็นจะได้ค่าที่ต้องการและค่าอัตราขยายที่ได้ทำการทดสอบนั้นได้ทดสอบ โดยการวัดค่าบีเอ็มวีดีจากรูปร่างการแพร่กระจายทั้งสองแนว คือ แนวอะซิมุทและแนวอีเลเวชัน แล้วนำไปหาค่าอัตราขยายโดยประมาณ ซึ่งค่าอัตราขยายที่ได้มีค่า 34.48 dB ซึ่งแตกต่างจากทฤษฎีอยู่ 0.52 dB (จากทฤษฎีได้ค่าอัตราขยาย 35 dB) ส่วนเหตุที่แตกต่างจากทฤษฎีนั้นอาจเป็นผลมาจากชิ้นงานต้องอาศัยความละเอียดมาก แนวทางแก้ไขอาจทำได้โดยเพิ่มรัศมีของเฟรสเนลเลนส์ เพื่อช่วยให้ทำการเลือกง่ายขึ้น แต่ทั้งนี้อาจทำได้ให้มีขนาดใหญ่ ครอบคลุมในการใช้งานขึ้นบ้าง

เอกสารอ้างอิง

1. David, P., and J. Voge, Propagation of Radio Wave. Oxford: Pergamon Press., 1969.
2. Picquenard, A. Radio wave Propagation. London : Macmillan Press Ltd., 1974.
3. John Griffiths, ' Radio Wave Propagation and Antennas ', Pretice-Hall International (UK) Ltd.,1987.
4. Balanis, Constantine A., Antenna Theory, John Wiley & Sons, Inc., 1982.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้