การออกแบบสายอากาศแบบคอร์รูเกตเต็ดฮอร์น

นายภิรมย์ ภู่พฤกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2527

ISBN 974-563-477-8

013326

I16854901

A DESIGN OF CORRUGATED HORN ANTENNA

MR. PIROM POOPREUKSA

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1984

ISBN 974-563-477-8

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบสายอากาศแบบคอร์รูเกตเด็ดฮอร์น
โดย	นายภิรมย์ ภู่พฤกษา
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต โรจน์อารยานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ อาภรณ์ เก่งพล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต โรจน์อารยานนท์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ อยู่ถนอม)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เทียนชัย ประดิสถายน)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จุมพล พรหมพิทักษ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบสายอากาศแบบคอร์รูเกตเต็ดฮอร์น

ชื่อนิสิต นาย ภิรมย์ ภู่พฤกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต โรจน์อารายานนท์

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2526

เฉลิมพระเกียรติ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการวิเคราะห์การส่งผ่านของคลื่นในท่อนำคลื่นที่มีผิวด้านในเป็นรูปคอร์รูเกตแบบรายคาบ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับนำคอร์รูเกตเต็ดฮอร์นไปใช้เป็นฟีดฮอร์นสำหรับสายอากาศแบบแคสซีเกรนที่ใช้กับสถานีภาคพื้นดินของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ในการวิเคราะห์เริ่มต้นจากการใช้สมการแมกซ์เวลล์ร่วมกับทฤษฎีของฟลอเกท์สร้างสมการลักษณะสมบัติ โดยคำนึงถึงเงื่อนไขของเขตที่เป็นคอร์รูเกต จากนั้นจึงแก้สมการลักษณะสมบัติหาคำเฉลยออกมาโดยใช้วิธีการเชิงเลข และได้แสดงผลการคำนวณคุณสมบัติที่สำคัญต่างๆ ได้ ได้แก่ ผลของขนาดของโครงสร้างคอร์รูเกตที่มีต่อคุณสมบัติการส่งผ่านคลื่นโดยได้คำนวณผลการตอบสนองต่อความถี่ของท่อนำคลื่นแบบคอร์รูเกตที่ขนาดต่างๆ ไว้ และพบว่าการตอบสนองต่อความถี่จะดีในช่วงความถี่ทำงานประมาณ 1 ออคเตฟ และจะดีที่สุดเมื่ออัตราส่วนของระยะสล๊อตต่อระยะพิตช์ของคอร์รูเกตมีค่าเท่ากับ 1 จากนั้นได้ศึกษาเงื่อนไขที่ทำให้คลื่นที่ส่งผ่านอยู่ในรูปโหมดไฮบริดสมดุลย์ ซึ่งเป็นโหมดที่จะทำให้คลื่นที่แผ่กระจายออกจากปากฮอร์นมีแพทเทอร์นที่สมมาตรและขั้วคลื่นไขว้ต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่พึงประสงค์ของฟีดฮอร์น นอกจากนี้ได้คำนวณแพทเทอร์นการแผ่คลื่นโดยคำนึงถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะมีต่อระบบฟีดไว้ จากผลการวิเคราะห์ที่เสนอไว้นี้จะสามารถนำมาใช้ในการออกแบบขนาดที่เหมาะสมของคอร์รูเกตเต็ดฮอร์นที่จะนำไปใช้ในย่านความถี่ต่างๆ ได้ และในตอนท้ายได้เสนอขนาดของคอร์รูเกตเต็ดฮอร์นที่เหมาะสมที่จะใช้กับสายอากาศแบบแคสซีเกรนขนาด 4.5 เมตร ในระบบความถี่ 4/6 กิกะเฮิตซ์ ไว้

Thesis Title A Design of Corrugated Horn Antenna

Name Mr. Pirom Poopreuksa

Thesis Advisor Associate Professor Dr.Bandhit Rojarayanont

Department Electrical Engineering

Academic Year 1983

Abstract

This thesis presents an analysis of wave propagation in a corrugated waveguide, whose inner surface is periodically varying. The purpose of the analysis is to obtain the basic data for utilizing corrugated horn as a feed horn of the cassegrain antenna, which is widely used as satellite earth station antenna. The analysis is based on the Maxwell's equations, Floguet's theorem and the boundary conditions, from which the characteristic equation is derived. Then the numerical method is applied to solve this equation and some essential physical properties such as effects of physical dimensions to the mode of propagation and their frequency response are calculated. The useful frequency bandwidth is found to be about 1 actave and the best frequency response is obtained when the ratio of slot width to corrugate pitch is equal to 1. After that, the conditions of wave propagation in balanced hybrid mode are studied. This mode is the desirable mode for feed horn, since the radiation field has symmetrical pattern and has low cross polarization. In addition, radiation pattern is calculated and the effect of ralated parameters are observed. By obtaining these properties, the conical corrugated horn can be designed at any operating frequency. Finally the design procedures of corrugated feed horn has been illustrated and the dimensions of feed horn for 4.5 meters cassegrain antenna in 4/6 GH_z system has been shown

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต โรจน์อารยานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาสละเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ และการตรวจสอบ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ อาภรณ์ เก่งพล, รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ อยู่ถนอม, รองศาสตราจารย์ ดร.เทียนชัย ประดิสถายน, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จุมพล พรหมพิทักษ์ ที่ได้ให้คำวิจารณ์ที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์นี้

วิทยานิพนธ์นี้มิใช่ผลงานของข้าพเจ้าแต่ผู้เดียว หากแต่สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือและแนะนำจากท่านผู้มีพระคุณหลายท่าน ซึ่งจะขอกล่าวนามดังต่อไปนี้

สำนักงานวิจัยพัฒนาการสื่อสาร กรมไปรษณีย์โทรเลข

Dr. D.P.S. Seth. Expert in Radio Communication Equipment, Standard & Type Approval. APT.

คุณ อัญชลี หุตังคบดี อาจารย์ โรงเรียนศูนย์คอมพิวเตอร์ธนบุรี

คุณ ศรันย์ วิมุติวงค์ วิศวกร บริษัท กรุงเพทวิทยุและโทรทัศน์ จำกัด

คุณ วิมล ประทักษ์นุกูล, คุณ ขวัญเรือน ขันทะกิติ และ คุณ ธีรพงษ์ ประทุมศิริ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปภาพและกราฟ

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงแพทเทอร์นของสนามสำหรับคลื่นที่ส่งผ่านตามแนวแกน	3
2.1	ท่อนำคลื่นทรงกระบอกกลมแบบคอร์รูเกต	6
2.2	แสดงการเปลี่ยนแปลงของ $k_{co}a$ เมื่อ $k_o a$ เปลี่ยนไป	14
2.3	การกระจัดกระจายของโหมดของการส่งผ่านคลื่น	15
3.1	แสดงโลกัสของค่าศูนย์และค่าโพลลำดับต่างๆ ของสมการลักษณะสมบัติในเงื่อนไขโหมดไฮบริดสมดุลย์ EH_{11}	22
4.1	การติดตั้งสายอากาศระบบแคสซีเกรน	24
4.2	การกระจายของสนามบนช่องเปิด เมื่อ $\chi = 1.841$	28
4.3	การกระจายของสนามบนช่องเปิด เมื่อ $\chi = 2.100$	29
4.4	การกระจายของสนามบนช่องเปิด เมื่อ $\chi = 2.405$	30
4.5	ความแตกต่างของเฟสบนช่องเปิดของฮอร์นรูปกรายกลม	31
4.6	แสดงการประมาณด้วยสนามสเกล่าร์	32
4.7	แกนประสานอ้างอิงสำหรับหาแพทเทอร์นการแผ่คลื่น	32
4.8	แพทเทอร์นการแผ่คลื่นเมื่อคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจาก $\chi = 1.841$	38
4.9	แพทเทอร์นการแผ่คลื่นเมื่อคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจาก $\chi = 2.100$	39
4.10	แพทเทอร์นการแผ่คลื่นเมื่อคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจาก $\chi = 2.405$	40
4.11	แพทเทอร์นการแผ่คลื่นเมื่อคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจาก t	41
4.12	แพทเทอร์นการแผ่คลื่นเมื่อคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจาก t เมื่อ t แปรผันตามความถี่	42
5.1	การจัดองค์ประกอบสำหรับสายอากาศแบบแคสซีเกรน	44
5.2	องค์ประกอบของอุปกรณ์ป้อนสัญญาณปฐมภูมิ	45
5.3	องค์ประกอบของฟีดฮอร์นแบบคอร์รูเกต	46
5.4	แสดงแนวความคิดเกี่ยวกับพาราโบลาสมมูลย์	50
5.5	แสดงเงื่อนไขการกั้นลำคลื่นต่ำสุด	52
5.6	แสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดตำแหน่งและขนาดของฟีดฮอร์น	53
5.7	แสดงตำแหน่งและขนาดของจานสะท้อนของระบบแคสซีเกรน	55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปภาพและกราฟ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.8	แสดงผลการตอบสนองต่อความถี่ของฮอร์นที่ออกแบบไว้.....	60
ง.1	ท่อนำคลื่นทรงกระบอก.....	85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อที่สำคัญ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$A(\xi,\eta)$ = การกระจายเชิงขนาดของสนามบนช่องเปิด

a = รัศมีของท่อนำคลื่น

$\bar{a}_z$ = เวคเตอร์หน่วยในทิศทาง z

b = รัศมีภายนอก (ไปยังส่วนที่ลึกที่สุดของสล๊อต) ของท่อนำคลื่น

D = ระยะพิตช์ของผิวคอร์รูเกต

E_r, E_θ, E_z = องค์ประกอบสนามไฟฟ้าในท่อนำคลื่นที่ใช้ระบบแกนประสานทรงกระบอก

$E_r(k_{cm}r)$, $E_\theta(k_{cm}r)$, $E_z(k_{cm}r)$ = องค์ประกอบสนาม E_r, E_θ, E_z ที่แปรผันตามแนวรัศมี

$\bar{E}_t$, $\bar{H}_t$ = องค์ประกอบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในแนวขวางในรูปแบบเวคเตอร์

EH_{11} = โหมดไฮบริดที่จะกลายเป็นโหมด TE_{11} เมื่อค่าคงตัวเฟส β_o มีค่าใกล้กับค่า k_o

E_x, E_y = องค์ประกอบสนามไฟฟ้าบนช่องเปิดของฮอร์นแสดงในรูปแบบคาร์ทีเซียน

E_{px}, E_{py} = องค์ประกอบสนามไฟฟ้าที่จุดสังเกต P แสดงในรูปแบบคาร์ทีเซียน

HE_{11} = โหมดไฮบริดที่จะกลายเป็นโหมด TE_{11} เมื่อค่าคงตัวเฟส β_o มีค่าเท่ากับศูนย์

h = ความลึกของสล๊อต

$J_n(k_{cm}r)$, $J_n'(k_{cm}r)$ = ฟังก์ชั่นเบสเซลและอนุพันธ์ของฟังก์ชั่นเบสเซลชนิดที่หนึ่งอันดับที่ n

j = $\sqrt{-1}$

k_{cm} = ค่าคงตัวของการแผ่คลื่นไปตามแนวขวางในท่อนำคลื่นทรงกระบอกในโหมดไฮบริด

k_o = ค่าคงตัวของการแผ่คลื่นในอวกาศว่าง

ℓ = ความยาวของฮอร์น

r,θ,z = แกนประสานทรงกระบอก

$\bar{R},\phi',\theta'$ = แกนประสานทรงกลม

S = ระยะสล๊อตของผิวคอร์รูเกต

t = พารามิเตอร์ของแพทเทอร์นการแผ่คลื่นที่ขึ้นต่อขนาดของฮอร์น, ระยะจากจุดสำเกต, และความถี่ใช้งาน

x_{sz} = รีแอคแตนซ์ที่ผิวตามแนวแกนเป็นค่านอร์มัลไลซ์เทียบกับ Z_o

$x_{s\theta}$ = รีแอคแตนซ์ที่ผิวตามแนวเส้นรอบวงเป็นค่านอร์มัลไลซ์เทียบกับ Z_o

$Y_n(k_{cm}r)$, $Y_n'(k_{cm}r)$ = ฟังก์ชั่นเบสเซลและอนุพันธ์ของฟังก์ชั่นเบสเซลชนิดที่สองอันดับที่ n

Z_o = $\sqrt{\mu_o/\varepsilon_o}$ = ค่าอิมพีแดนซ์ของอวกาศว่าง

α = พารามิเตอร์ที่ไม่มีมิติ เป็นการกำหนดอัตราส่วนขององค์ประกอบคลื่น TM และคลื่น TE

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่สำคัญ (ต่อ)

β = ค่าคงตัวเฟสของการส่งผ่านคลื่นในท่อนำคลื่น

β_m = ค่าคงตัวเฟสของการส่งผ่านคลื่นในโหมดไฮบริดของท่อนำคลื่นทรงกระบอก

λ_o = ความยาวคลื่นในอวกาศว่าง

ω = ความเร็วเชิงมุมของคลื่น

μ_o = เพอร์มีบิลิตีของอวกาศว่าง

ε_o = เพอร์มิตติวิตีของอวกาศว่าง

ε_{om} = Neumann factor

e = เอ็กเซนติซิตี้

(ξ,η) = จุดบนช่องเปิดในระบบ xy ของระบบคาร์ทีเซียนของฟีดฮอร์นที่กำลังพิจารณา

∇ = เดลโอเปอร์เรเตอร์ $= \nabla_t + \nabla_z$

$\nabla_z = \bar{a}_z \frac{\partial}{\partial_z}$

∇_t = เดลโอเปอร์เรเตอร์แสดงการกระทำในแนวขวาง.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญภาพ ..... ช

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ ..... ฌ

บทที่

1. บทนำ

1.1 คำนำ..... 1

1.2 การค้นคว้าวิจัยที่ผ่านมาและปัญหาที่เกิดขึ้น..... 2

1.3 วัตถุประสงค์และขั้นตอนในการทำวิจัย..... 4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้..... 5

2. คุณสมบัติของคลื่นในท่อนำคลื่นแบบคอร์รูเกต

2.1 โครงสร้างของท่อนำคลื่นแบบคอร์รูเกต..... 6

2.2 องค์ประกอบของสนามในท่อนำคลื่น..... 7

2.3 องค์ประกอบของสนามในบริเวณสล๊อต..... 10

2.4 สมการลักษณะสมบัติ..... 11

2.5 การคำนวณหาคุณสมบัติการส่งผ่านคลื่นจากสมการลักษณะสมบัติ..... 13

3. การส่งผ่านคลื่นในเงื่อนไขไฮบริดสมดุลย์

3.1 สมการในท่อนำคลื่น..... 16

3.2 โหมดไฮบริดสมดุลย์..... 17

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของท่อนำคลื่น, ความลึกของสล๊อต และความยาวคลื่น..... 19

4. การแผ่คลื่นของคอร์รูเกตเต็ดฮอร์น

4.1 วิธีการหาสูตรการกระจายของสนามบนช่องเปิดของท่อนำคลื่นแบบคอร์รูเกต 23

4.2 วิธีหาสูตรคำนวณแพทเทอร์นการแผ่คลื่น..... 31

4.3 วิธีการคำนวณเชิงเลข..... 35

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ผลการคำนวณ..... 36

4.4.1 ผลกระทบของ χ ต่อแพทเทอร์นการแผ่คลื่น..... 36

4.4.2 ผลกระทบของ t ต่อแพทเทอร์นการแผ่คลื่น..... 36

5. การออกแบบสายอากาศแบบคอร์รูเกตเต็ดฮอร์น

5.1 โครงสร้างของสายอากาศแบบแคสซีเกรน..... 43

5.2 ส่วนประกอบของฟีดฮอร์น..... 46

5.3 ข้อควรคำนึงในการออกแบบ..... 47

5.3.1 การคำนึงถึงลักษณะสมบัติของฟีดฮอร์น..... 47

5.3.2 การคำนึงถึงประสิทธิภาพของช่องเปิด..... 48

5.4 การออกแบบ..... 49

5.4.1 จุดมุ่งหมายของการออกแบบฟีดฮอร์น..... 49

5.4.2 ข้อกำหนดเบื้องต้น..... 49

5.4.3 วิธีการออกแบบ..... 50

5.5 การออกแบบฟีดฮอร์นใช้กับสายอากาศแบบแคสซีเกรนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 เมตร สำหรับระบบ 4/6 GH_z..... 54

5.5.1 ข้อกำหนดของการออกแบบ..... 56

5.5.2 วิธีการออกแบบ..... 56

6. สรุปและวิจารณ์

6.1 สรุป..... 61

6.2 วิจารณ์..... 62

เอกสารอ้างอิง..... 64

ภาคผนวก..... 66

ประวัติผู้เขียน..... 99

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย