

การออกแบบสายอากาศแบบคอร์รูเกตต์เคคอร์ด



นายภิรมย์ ภูพฤษา

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

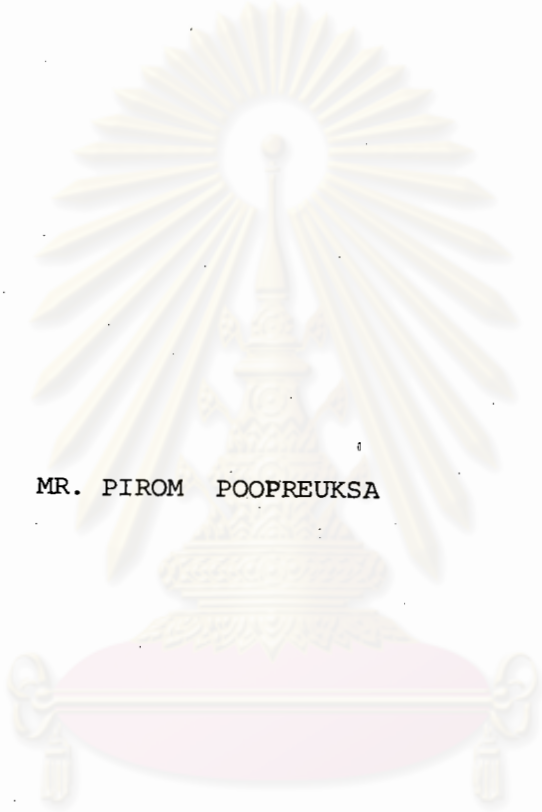
พ.ศ. 2527

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

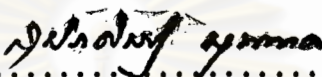
1984

ISBN 974-563-477-8

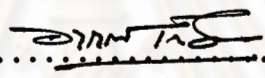
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบสายอากาศแบบคอร์รูเกตเต็คฮอร์น
โดย นายภิรมย์ ภูพฤกษา
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ชัดิต โจรจน์อารยานนท์

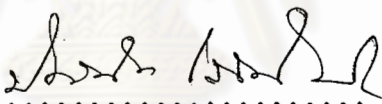


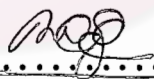
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ ชินนาค)

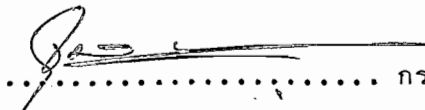
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ อารมณ์ เก่งพล)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัดิต โจรจน์อารยานนท์)


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


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เทียนชัย ประดิษฐยาน)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จumphol พรหมพิทักษ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบสายอากาศแบบคอร์รูเกตเต็ดฮอร์น
 ชื่อนิสิต นาย ภิรมย์ ภูพฤกษา
 อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต โรจน์อารายานนท์
 ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
 ปีการศึกษา 2526



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ เสนอวิธีการวิเคราะห์การส่งผ่านของคลื่นในท่อนำคลื่นที่มีผิวด้านใน เป็นรูปคอร์รูเกตแบบรายคาบ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับนำคอร์รูเกตเต็ดฮอร์นไปใช้เป็นพีดฮอร์นสำหรับสายอากาศแบบแคสซี เกรนที่ใช้กับสถานีภาคพื้นดินของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ในการวิเคราะห์ เริ่มต้นจากการใช้สมการแมกซ์เวลล์ร่วมกับทฤษฎีของฟลอเกทสร้างสมการลักษณะสมบัติ โดยคำนึงถึงเงื่อนไขของเขตที่เป็นคอร์รูเกต จากนั้นจึงแก้สมการลักษณะสมบัติหาค่าเฉลยออกมาโดยใช้วิธีการเชิงเลข และได้แสดงผลการคำนวณคุณสมบัติที่สำคัญต่างๆ ได้ ได้แก่ ผลของขนาดของโครงสร้างคอร์รูเกตที่มีต่อคุณสมบัติการส่งผ่านคลื่น โดยได้คำนวณผลการตอบสนองต่อความถี่ของท่อนำคลื่นแบบคอร์รูเกตที่ขนาดต่างๆ ไว้ และพบว่า การตอบสนองต่อความถี่จะดีในช่วงความถี่ทำงานประมาณ 1 ออก เดฟ และจะดีที่สุดเมื่ออัตราส่วนของระยะสลิตต่อระยะพิตช์ของคอร์รูเกต มีค่าเท่ากับ 1 จากนั้นได้ศึกษาเงื่อนไขที่ทำให้คลื่นที่ส่งผ่านอยู่ในรูปโหมดไฮบริดผสมดวลย์ ซึ่งเป็นโหมดที่จะทำให้คลื่นที่แผ่กระจายออกจากปากฮอร์นมีแพทเทอรันที่สมมาตรและชี้คลื่นไขว้ดำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่พึงประสงค์ของพีดฮอร์น นอกจากนี้ได้คำนวณแพทเทอรันการแผ่คลื่นโดยคำนึงถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีต่อระบบพีดไว้ จากผลการวิเคราะห์ที่เสนอไว้นี้จะสามารถนำมาใช้ในการออกแบบขนาดที่เหมาะสมของคอร์รูเกตเต็ดฮอร์นที่จะนำไปใช้ในย่านความถี่ต่างๆ ได้ และในตอนท้ายได้เสนอขนาดของคอร์รูเกตเต็ดฮอร์นที่เหมาะสมที่จะใช้กับสายอากาศแบบแคสซี เกรนขนาด 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, Floquet'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 octave 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 related 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 $4/6 \text{ GHz}_2$ system has been shown



กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต โรจน์อารยานนท์ อาจารย์ที่
ปรึกษาที่กรุณาสละเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ และการตรวจสอบ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี
และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ อภรณ์ เก่งพล, รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์
อยู่ถนอม, รองศาสตราจารย์ ดร.เทียนชัย ประดิศถายน, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จุมพล พรหม-
พิทักษ์ ที่ได้ให้คำวิจารณ์ที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์นี้

วิทยานิพนธ์นี้มีใช้ผลงานของข้าพเจ้าแต่ผู้เดียว หากแต่สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือ
และแนะนำจากท่านผู้มีพระคุณหลายท่าน ซึ่งจะขอกล่าวนามดังต่อไปนี้

สำนักงานวิจัยพัฒนาการสื่อสาร กรมไปรษณีย์โทรเลข

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

คุณ อัญชลี หุตังคบดี อาจารย์ โรงเรียนศูนย์คอมพิวเตอร์ธนบุรี

คุณ ศรันย์ วิมุตติวงศ์ วิศวกร บริษัท กรุงเพทวิทย์และโทรทัศน์ จำกัด

คุณ วิมล ประทีกษนกุล, คุณ ขวัญเรือน ชันตะกิติ และ คุณ อีรพงษ์ ประทุมศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปภาพและกราฟ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงแพทเทอรันของสนามสำหรับคลื่นที่ส่งผ่านตามแนวแกน.....	3
2.1 ท่อนำคลื่นทรงกระบอกกลมแบบคอรัวเกิด.....	6
2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ k_{co} a เมื่อ k_o a เปลี่ยนไป.....	14
2.3 การกระจายกระจายของโหมดของการส่งผ่านคลื่น.....	15
3.1 แสดงโลกลัสของค่าศูนย์และค่าโพลลำดับต่างๆ ของสมการลักษณะสมบัติในเงื่อนไข โหมดไฮบริดสมดุลย์ EH_{11}	22
4.1 การติดตั้งสายอากาศระบบแคสซี เกรน.....	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 ความแตกต่างของ เฟสบนช่องเปิดของฮอร์นรูปกรวยกลม.....	31
4.6 แสดงการประมาณด้วยสนามสเกลาร์.....	32
4.7 แกนประสานอ้างอิงสำหรับหาแพทเทอรันการแผ่คลื่น.....	32
4.8 แพทเทอรันการแผ่คลื่น เมื่อคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจาก $\chi = 1.841$	38
4.9 แพทเทอรันการแผ่คลื่น เมื่อคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจาก $\chi = 2.100$	39
4.10 แพทเทอรันการแผ่คลื่น เมื่อคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจาก $\chi = 2.405$	40
4.11 แพทเทอรันการแผ่คลื่น เมื่อคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจาก t	41
4.12 แพทเทอรันการแผ่คลื่น เมื่อคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจาก t เมื่อ t แปรผันตาม ความถี่.....	42
5.1 การจัดองค์ประกอบสำหรับสายอากาศแบบแคสซี เกรน.....	44
5.2 องค์ประกอบของอุปกรณ์ป้อนสัญญาณปรัมภูมิ.....	45
5.3 องค์ประกอบของฟีดฮอร์นแบบคอรัวเกิด.....	46
5.4 แสดงแนวความคิดเกี่ยวกับพาราโบลาสมดุลย์.....	50
5.5 แสดงเงื่อนไขการกั้นลำคลื่นต่ำสุด.....	52
5.6 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดตำแหน่งและขนาดของฟีดฮอร์น.....	53
5.7 แสดงตำแหน่งและขนาดของจานสะท้อนของระบบแคสซี เกรน.....	55

รายการรูปภาพและกราฟ (ต่อ)

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



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่สำคัญ



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

a = รัศมีของท่อนำคลื่น

\bar{a}_z = เวกเตอร์หน่วยในทิศทาง 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 = องค์ประกอบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในแนวขวางในรูปแบบเวกเตอร์

EH_{11} = โหมดไฮบริดที่จะกลายเป็นโหมด TE_{11} เมื่อค่าคงตัวเฟส β_0 มีค่าใกล้กับค่า k_0

E_x, E_y = องค์ประกอบสนามไฟฟ้าบนช่องเปิดของฮอว์นแสดงในรูปแบบคาร์ทีเซียน

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

HE_{11} = โหมดไฮบริดที่จะกลายเป็นโหมด TE_{11} เมื่อค่าคงตัวเฟส β_0 มีค่าเท่ากับศูนย์

h = ความลึกของสล๊อต

$J_n(k_{cm} r), J'_n(k_{cm} r)$ = ฟังก์ชันเบสเซลและอนุพันธ์ของฟังก์ชันเบสเซลชนิดที่หนึ่งอันดับที่ n

j = $\sqrt{-1}$

k_{cm} = ค่าคงตัวของการแผ่คลื่นไปตามแนวขวางในท่อนำคลื่นทรงกระบอกในโหมดไฮบริด

k_0 = ค่าคงตัวของการแผ่คลื่นในอวกาศว่าง

l = ความยาวของฮอว์น

r, θ, z = แกนประสานทรงกระบอก

\bar{R}, ϕ', θ' = แกนประสานทรงกลม

S = ระยะสล๊อตของผิวคอร์รูเกต

t = พารามิเตอร์ของแพทเทิร์นการแผ่คลื่นที่ขึ้นต่อขนาดของฮอว์น, ระยะจากจุดสังเกต, และความถี่ใช้งาน

x_{sz} = รีแอกแตนซ์ที่ผิวตามแนวแกนเป็นค่านอร์มัลไลซ์เทียบกับ Z_0

$x_{s\theta}$ = รีแอกแตนซ์ที่ผิวตามแนวเส้นรอบวงเป็นค่านอร์มัลไลซ์เทียบกับ Z_0

$Y_n(k_{cm} r), Y'_n(k_{cm} r)$ = ฟังก์ชันเบสเซลและอนุพันธ์ของฟังก์ชันเบสเซลชนิดที่สองอันดับที่ n

$Z_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0}$ = ค่าอิมพีแดนซ์ของอวกาศว่าง

α = พารามิเตอร์ที่ไม่มีมิติ เป็นการกำหนดอัตราส่วนขององค์ประกอบคลื่น TM และคลื่น TE

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่สำคัญ (ต่อ)

β = ค่าคงตัวเฟสของการส่งผ่านคลื่นในท่อนำคลื่น

β_m = ค่าคงตัวเฟสของการส่งผ่านคลื่นในโหมดไฮบริดของท่อนำคลื่นทรงกระบอก

λ_0 = ความยาวคลื่นในอวกาศว่าง

ω = ความเร็วเชิงมุมของคลื่น

μ_0 = เฟอร์มิบิลิตีของอวกาศว่าง

ϵ_0 = เฟอร์มิตติวิตีของอวกาศว่าง

ϵ_{om} = Neumann factor

e = เอ็กเซนตริซิตี

(ξ, η) = จุดบนช่องเปิดในระบบ xy ของระบบคาร์ทีเซียนของพิกัดฮอรัซนัลที่กำลังพิจารณา

∇ = เกลอโอเปอร์เรเตอร์ = $\nabla_t + \nabla_z$

$\nabla_z = \hat{a}_z \frac{\partial}{\partial z}$

∇_t = เกลอโอเปอร์เรเตอร์แสดงการกระทำในแนวขวาง.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญภาพ	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	
1.1 คำนำ.....	1
1.2 การค้นคว้าวิจัยที่ผ่านมาและปัญหาที่เกิดขึ้น.....	2
1.3 วัตถุประสงค์และขั้นตอนในการทำวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้.....	5
2. คุณสมบัติของคลื่นในท่อนำคลื่นแบบคอร์รู เกต	
2.1 โครงสร้างของท่อนำคลื่นแบบคอร์รู เกต.....	6
2.2 องค์ประกอบของสนามในท่อนำคลื่น.....	7
2.3 องค์ประกอบของสนามในบริเวณสล๊อต.....	10
2.4 สมการลักษณะสมบัติ.....	11
2.5 การคำนวณหาคุณสมบัติการส่งผ่านคลื่นจากสมการลักษณะสมบัติ.....	13
3. การส่งผ่านคลื่นใน เจ็อนโซ ไฮบริดสมดุลย์	
3.1 สมการในท่อนำคลื่น.....	16
3.2 โหมดไฮบริดสมดุลย์.....	17
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของท่อนำคลื่น, ความลึกของสล๊อต และความยาวคลื่น.....	19
4. การแผ่คลื่นของคอร์รู เกต เต็คฮอร์น	
4.1 วิธีการหาสูตรการกระจายของสนามบนช่องเปิดของท่อนำคลื่นแบบคอร์รู เกต	23
4.2 วิธีหาสูตรคำนวณแพท เทอร์นการแผ่คลื่น.....	31
4.3 วิธีการคำนวณเชิง เลข.....	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการคำนวณ.....	36
4.4.1 ผลกระทบของ X ต่อแพทเทิร์นการแผ่คลื่น.....	36
4.4.2 ผลกระทบของ t ต่อแพทเทิร์นการแผ่คลื่น.....	36
5. การออกแบบสายอากาศแบบคอร์รูเกตเต็ดฮอร์น	
5.1 โครงสร้างของสายอากาศแบบแคสซีเกรน.....	43
5.2 ส่วนประกอบของพีดฮอร์น.....	46
5.3 ข้อควรคำนึงในการออกแบบ.....	47
5.3.1 การคำนึงถึงลักษณะสมบัติของพีดฮอร์น.....	47
5.3.2 การคำนึงถึงประสิทธิภาพของช่องเปิด.....	48
5.4 การออกแบบ.....	49
5.4.1 จุดมุ่งหมายของการออกแบบพีดฮอร์น.....	49
5.4.2 ข้อกำหนดเบื้องต้น.....	49
5.4.3 วิธีการออกแบบ.....	50
5.5 การออกแบบพีดฮอร์นใช้กับสายอากาศแบบแคสซีเกรนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 เมตร สำหรับระบบ 4/6 GHz.....	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