

การวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปที่มีแผ่นสายอากาศรูปร่างไม่เจาะจง
โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



นางสาว มณฑกานต์ ศรีพันล้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

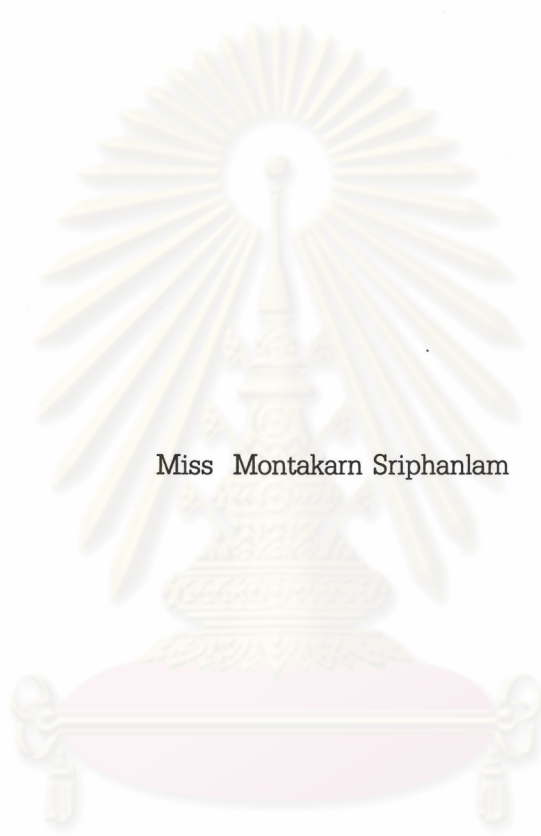
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-214-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ANALYSIS OF A MICROSTRIP ANTENNA WITH AN ARBITRARILY SHAPED PATCH
BY USING THE FINITE ELEMENT METHOD**

Miss Montakarn Sriphanlam



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for

the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

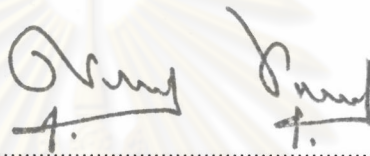
Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-636-214-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปที่มีแผ่นสายอากาศรูปร่างไม่เจาะจง
โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
โดย นางสาว มณฑกานต์ ศรีพันลำ
ภาควิชา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. ทับทิม อ่างแก้ว

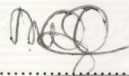
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

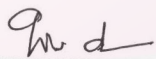
(คาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ อยู่ถนอม)



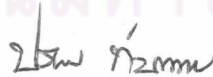
อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. ทับทิม อ่างแก้ว)



กรรมการ

(คาสตราจารย์ ดร. มงคล เดชนครินทร์)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสิทธิ์ ทีฆพุมิ)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

มณฑกานต์ ศรีพันธุ์ : การวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปที่มีแผ่นสายอากาศรูปร่างไม่เจาะจงโดยใช้วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (ANALYSIS OF A MICROSTRIP ANTENNA WITH AN ARBITRARILY SHAPED PATCH BY USING THE FINITE ELEMENT METHOD) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. ทับทิม อ่างแก้ว ; 61 หน้า. ISBN 974-636-214-3.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปที่มีแผ่นสายอากาศรูปร่างไม่เจาะจงด้วยวิธีทางเชิงเลข โดยอาศัยสมการอินทิกรัลของศักย์แม่เหล็กและไฟฟ้าร่วมกับวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ เพื่อวิเคราะห์หาความหนาแน่นกระแสบนผิวของแผ่นสายอากาศ วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์อาศัยชุดฟังก์ชันเบซิสนิตเวกเตอร์โดยมีพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าของขอบอีลิเมนต์รูปสามเหลี่ยม เพื่อใช้เป็นตัวแทนความหนาแน่นกระแสบนผิวในสมการอินทิกรัลของศักย์แม่เหล็กและไฟฟ้า ชุดฟังก์ชันเบซิสนิตเวกเตอร์จะรักษาความต่อเนื่องในแนวตั้งฉากของความหนาแน่นกระแสบนผิวที่ขอบเขตของแต่ละอีลิเมนต์ การวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปที่มีแผ่นสายอากาศรูปร่างไม่เจาะจงด้วยการจ่ายกระแสแบบโพรบโคแอกเซียล โดยการวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ ผลการวิเคราะห์ที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยที่มีมาในอดีต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปได้อย่างถูกต้องแม่นยำเช่นเดียวกับวิธีการอื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต มณฑกานต์ ศรีพันธุ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา น.ด
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

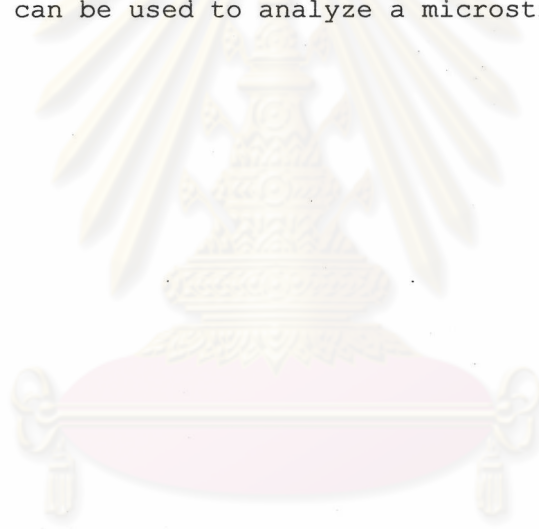
C715577 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: MICROSTRIP ANTENNA / MIXED POTENTIAL INTEGRAL EQUATION / FINITE ELEMENT METHOD

MONTAKARN SRIPHANLAM : ANALYSIS OF A MICROSTRIP ANTENNA WITH AN ARBITRARILY SHAPED PATCH BY USING THE FINITE ELEMENT METHOD.
THESIS ADVISOR : TUPTIM ANGKAEW, D.Eng. 61 pp. ISBN 974-636-214-3.

This thesis has the objective to analyze an arbitrarily shaped microstrip patch antenna by numerical method using the Mixed Potential Integral Equation (MPIE) in conjunction with the finite element method to analyze the surface current density on the patch. The set of vector basis functions are used in the finite element method where the unknown parameters that are associated with the edges of triangular elements in representing the unknown surface current density in the MPIE. The primary feature of the vector basis functions is preservation of the normal component continuity of the surface current density at the boundary of each element.

The analysis of an arbitrary shaped patch microstrip fed by a coaxial probe results in the input impedance and radiation pattern which correspond with the calculated results and demonstrate the validation of this numerical technique. The verification results show that the results from the finite element method are comparable to other methods. Then, this numerical technique can be used to analyze a microstrip antenna as well.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

ปีการศึกษา..... 2539.....

ลายมือชื่อนิสิต..... มณฑาทิพย์ ศรีจันทร์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ท.ต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ทับทิม อ่างแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการดำเนินการวิจัย แนวทางการวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษารวมทั้งจัดหาอุปกรณ์และทุนวิจัยเพื่อดำเนินการวิจัยอย่างครบถ้วน

ขอขอบคุณโครงการศิษย์ก้นกุฏิของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งเป็นโครงการความร่วมมือในการพัฒนาการศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตร์ระดับบัณฑิตศึกษา ระหว่างจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกับสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนการศึกษา เพื่อช่วยในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณชัชวรินทร์ พิณทอง ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำและคำปรึกษาที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณวิศรุต อาชูปุตรและเพื่อนนิสิตท่านอื่นๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้มอบความอบอุ่น การสนับสนุนในทุกด้าน และเป็นแรงใจกำลังใจตลอดเวลาที่ได้ศึกษาวิจัยจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
คำอธิบายศัพท์และสัญลักษณ์.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมา.....	1
วัตถุประสงค์.....	3
เป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย.....	3
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 การวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริป.....	5
โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป.....	5
หลักการวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปด้วยสมการอินทิกรัลของค็อกซ์แม่เหล็กและไฟฟ้า.....	7
การหาค่าฟังก์ชันของกรีน.....	9
การวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์.....	13
ขั้นตอนพื้นฐานของวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์.....	13
การวิเคราะห์ความหนาแน่นกระแสด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์.....	14
บทที่ 3 หลักการวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์.....	16
การเลือกใช้ฟังก์ชันของกรีน.....	16
การเลือกฟังก์ชันเบซิสนิตเวกเตอร์ของวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์.....	18
การวิเคราะห์หาค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศไมโครสตริป.....	21
การวิเคราะห์แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริป.....	21
บทที่ 4 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์.....	23
ตัวอย่างที่ 1 สายอากาศไมโครสตริปที่มีแผ่นสายอากาศรูปร่างสี่เหลี่ยมที่มีอัตราส่วนด้านยาวต่อ ด้านกว้าง เท่ากับ 1.5 ต่อ 1.....	23

สารบัญ (ต่อ)

ตัวอย่างที่ 2 สายอากาศไมโครสตริปที่มีแผ่นสายอากาศรูปร่างสี่เหลี่ยมที่มีอัตราส่วนด้านยาวต่อ ด้านกว้าง เท่ากับ 2 ต่อ 1	31
ตัวอย่างที่ 3 สายอากาศไมโครสตริปที่มีแผ่นสายอากาศรูปร่างวงกลม	33
ตัวอย่างที่ 4 สายอากาศไมโครสตริปที่มีแผ่นสายอากาศรูปร่างตัวแอล	37
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	40
สรุปผลการวิจัย	40
ข้อเสนอแนะ	41
รายการอ้างอิง	42
ภาคผนวก ก การพิสูจน์ฟังก์ชันของกรีน	48
ภาคผนวก ข การทดสอบการอินทิเกรตฟังก์ชันของกรีน	59
ประวัติผู้เขียน	61

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างระบบป้องกันกำลังลักษณะต่างๆ ของสายอากาศไมโครสตริป	6
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของค่าความถี่เรโซแนนซ์กับจำนวนอิลิเมนต์.....	33
ตารางที่ ก.1 ค่าสัมประสิทธิ์ U_1 และ L_1	52



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 1.1	สายอากาศไมโครสตริป	2
รูปที่ 2.1	โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริป	5
รูปที่ 2.2	โครงสร้างที่เป็นชั้นของไดอิเล็กตริกหลายๆ ชั้น (stratified medium).....	7
รูปที่ 2.3	ระนาบเชิงซ้อน k_p	12
รูปที่ 2.4	อิลิเมนต์สามเหลี่ยม	14
รูปที่ 3.1	แผ่นสายอากาศไมโครสตริปที่ใช้ในงานวิจัยนี้	16
รูปที่ 3.2	ระนาบเชิงซ้อน k_p ที่มีโพลที่ $k_p = \lambda_1 - j\nu_1$	18
รูปที่ 4.1	ระบบพิกัดของสายอากาศที่ทำการศึกษา.....	23
รูปที่ 4.2	ทางเดินบนแผนภูมิสมิทของอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศในรูปที่ 4.1.....	24
รูปที่ 4.3	แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ที่มีโพลาริเซชันร่วมของสายอากาศในรูปที่ 4.1 เมื่อมีจุดจ่ายกระแสที่ตำแหน่ง $x_0 = 16.66$ มม. และ $y_0 = 16.66$ มม.	25
รูปที่ 4.4	แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ที่มีโพลาริเซชันร่วมเมื่อมีจุดจ่ายกระแสที่ตำแหน่ง $x_0 = 16.66$ มม. และ $y_0 = 16.66$ มม.	25
รูปที่ 4.5	แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ที่มีโพลาริเซชันไขว้เมื่อมีจุดจ่ายกระแสที่ตำแหน่ง $x_0 = 16.66$ มม. และ $y_0 = 16.66$ มม.	26
รูปที่ 4.6	แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ที่มีโพลาริเซชันไขว้เมื่อมีจุดจ่ายกระแสที่ตำแหน่ง $x_0 = 16.66$ มม. และ $y_0 = 16.66$ มม.	26
รูปที่ 4.7	แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ที่มีโพลาริเซชันร่วมเมื่อมีจุดจ่ายกระแสที่ตำแหน่ง $x_0 = 16.66$ มม. และ $y_0 = 20.00$ มม.	27
รูปที่ 4.8	แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ที่มีโพลาริเซชันร่วมเมื่อมีจุดจ่ายกระแสที่ตำแหน่ง $x_0 = 16.66$ มม. และ $y_0 = 20.00$ มม.	27
รูปที่ 4.9	แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กและไฟฟ้าที่มีโพลาริเซชันไขว้เมื่อมีจุดจ่ายกระแสที่ตำแหน่ง $x_0 = 16.66$ มม. และ $y_0 = 20.00$ มม.	28
รูปที่ 4.10	ส่วนจริงของการกระจายความหนาแน่นกระแส \mathbf{J}_r ที่ความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับ 1.206 จิกะเฮิรตซ์.....	29
รูปที่ 4.11	ส่วนจินตภาพของการกระจายความหนาแน่นกระแส \mathbf{J}_r ที่ความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับ 1.206 จิกะเฮิรตซ์.....	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 4.12	การแบ่งแผ่นสายอากาศออกเป็นอิลิเมนต์สามเหลี่ยมจำนวน 72 อิลิเมนต์พร้อมทั้งแสดง จุดจ่ายกระแส	31
รูปที่ 4.13	อิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศตัวอย่างที่ 2 จากงานของ Matsuhara and Angkaew (1996)	32
รูปที่ 4.14	อิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศตัวอย่างที่ 2 จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์.....	32
รูปที่ 4.15	แผ่นสายอากาศรูปวงกลมและระบบพิกัดที่พิจารณา.....	33
รูปที่ 4.16	การแบ่งอิลิเมนต์และตำแหน่งของจุดจ่ายกระแส.....	34
รูปที่ 4.17	ส่วนจริงของการกระจายความหนาแน่นกระแส J_z ที่ความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับ 6.186 จิกะเฮิรตซ์.....	34
รูปที่ 4.18	ส่วนจินตภาพของการกระจายความหนาแน่นกระแส J_z ที่ความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับ 6.186 จิกะเฮิรตซ์.....	35
รูปที่ 4.19	แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนว θ (E_θ).....	36
รูปที่ 4.20	แบบรูปการแผ่พลังงานของสนามไฟฟ้าในแนว ϕ (E_ϕ).....	36
รูปที่ 4.21	พิกัดของแผ่นสายอากาศรูปตัวแอลและการแบ่งอิลิเมนต์	37
รูปที่ 4.22	ส่วนจริงของการกระจายความหนาแน่นกระแส J_z ที่ความถี่เรโซแนนซ์	38
รูปที่ 4.23	ส่วนจินตภาพของการกระจายความหนาแน่นกระแส J_z ที่ความถี่เรโซแนนซ์	39
รูปที่ 4.24	ทางเดินบนแผนภูมิสมิทของอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศในตัวอย่างที่ 4	40
รูปที่ ก.1	ตัวกลางที่เป็นชั้นซึ่งมีแหล่งกำเนิดแบบจุดในชั้นที่ i	50
รูปที่ ก.2	ระบบพิกัดที่ใช้กับชั้นไดอิเล็กตริก 2 ชั้น.....	51
รูปที่ ก.3	ชั้นไดอิเล็กตริกชั้นที่ i ที่มีไดโพลไฟฟ้าแนวอน (HED) อยู่ตรงกลาง.....	52
รูปที่ ก.4	การวางแหล่งกำเนิดแบบจุดในทิศ z	52
รูปที่ ก.5	ระนาบ $x-z$ ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีชั้นไดอิเล็กตริกชั้นเดียว.....	56
รูปที่ ข.1	ฟังก์ชันของกรีน.....	59
รูปที่ ข.2	ฟังก์ชันของกรีนชนิดสเกลาร์ G^s	60

คำอธิบายศัพท์และสัญลักษณ์

area coordinate	L_i	พิกัดพื้นที่
Bessel function of the first kind of order 0	J_0	ฟังก์ชันเบสเซลชนิดที่หนึ่งอันดับศูนย์
Bessel function of the first kind of order 1	J_1	ฟังก์ชันเบสเซลชนิดที่หนึ่งอันดับหนึ่ง
copolarization	E_{co}	โพลาไรเซชันร่วม
cross polarization	E_{cross}	โพลาไรเซชันไขว้
delta function	δ	ฟังก์ชันเดลต้า
dielectric substrate		ชั้นไดอิเล็กตริก
dyadic Green's function	$\bar{\bar{G}}_A$	ฟังก์ชันของกรีนชนิดไดอะดิก
electric current density	\mathbf{J}_s	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า
electric vector potential	\mathbf{F}	ศักย์ไฟฟ้าชนิดเวกเตอร์
feed		ระบบป้อนกำลัง
finite element method	FEM	วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
ground plane		แผ่นฐาน
incident electric field	\mathbf{E}^e	สนามไฟฟ้าที่ตกกระทบ
input impedance	Z_{in}	อิมพีแดนซ์ขาเข้า
loss tangent	$\tan \delta$	แทนเจนต์การสูญเสีย
magnetic current density	\mathbf{M}	ความหนาแน่นกระแสแม่เหล็ก
magnetic field	\mathbf{H}	สนามแม่เหล็ก
magnetic vector potential	\mathbf{A}	ศักย์แม่เหล็กชนิดเวกเตอร์
microstrip antenna		สายอากาศไมโครสตริบ
mixed potential integral equation	MPIE	สมการอินทิกรัลของศักย์แม่เหล็กและไฟฟ้า
observation point	\mathbf{r}	ตำแหน่งของจุดสังเกต
patch		แผ่นสายอากาศ
permeability	μ	ค่าความซึมได้
permittivity	ϵ	ค่าสภาพยอม
relative permittivity	ϵ_r	ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์
scalar Green's function	G^ϕ	ฟังก์ชันของกรีนชนิดสเกลาร์

คำอธิบายศัพท์และสัญลักษณ์ (ต่อ)

scalar potential	ϕ	ศักย์สเกลาร์
scattered electric field	E^s	สนามไฟฟ้าที่กระจัดกระจาย
source point	r'	ตำแหน่งของแหล่งกำเนิด
unknown expansion coefficient	α_j	สัมประสิทธิ์การกระจายที่ไม่ทราบค่า
vector basis function	S_j	ฟังก์ชันเบสิคชนิดเวกเตอร์
wave number	k	ค่าเวฟนัมเบอร์ในชั้นไดอิเล็กตริก
weighting function	W_i	ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย