การศึกษาผลกระทบเนื่องจากการวางตัวของระบบป้อนกำลังแบบสายนำสัญญาณไมโครสตริป ต่อลักษณะสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

นางสาว สุปราณี ศฤงคารพูนเพิ่ม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-634-709-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17399324

A STUDY OF MICROSTRIP FEED ALIGNMENT EFFECT ON SQUARE PATCH MICROSTRIP ANTENNA CHARACTERISTICS

Miss Supranee Saringkarnpoonperm

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Electrical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1996

ISBN 974-634-709-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาผลกระทบเนื่องจากการวางตัวของระบบป้อนกำลังแบบสายนำสัญญาณไมโครสตริปต่อลักษณะสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส
โดย	นางสาว สุปราณี ศฤงคารพูนเพิ่ม
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ อยู่ถนอม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ อาภรณ์ เก่งพล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ อยู่ถนอม)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสิทธิ์ ทีฆพุฒิ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ทับทิม อ่างแก้ว)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุปราณี ศฤงคารพูนเพิ่ม : การศึกษาผลกระทบเนื่องจากการวางตัวของระบบป้อนกำลังแบบสายนำสัญญาณไมโครสตริปต่อลักษณะสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (A STUDY OF MICROSTRIP FEED ALIGNMENT EFFECT ON SQUARE PATCH MICROSTRIP ANTENNA CHARACTERISTICS) อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รองศาสตราจารย์. ดร. ณรงค์ อยู่ถนอม, 136 หน้า. ISBN 974-634-709-8

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบเนื่องจากการวางตัวของระบบป้อนกำลังแบบสายนำสัญญาณไมโครสตริปต่อลักษณะสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปที่มีโพลาไรเซชันแบบวงกลม ด้วยวิธีการใช้แบบจำลองแบบโพรงและการกระจายฟังก์ชันค่าเจาะจงของฟังก์ชันของกรีน โดยใช้โปรแกรมแมทแคดเวอร์ชัน 5.0 พลัส ช่วยในการคำนวณลักษณะสมบัติของสายอากาศไมโครสตริป กรณีที่ศึกษาประกอบด้วยสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการจ่ายกระแสกระตุ้นสองจุดและสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมใกล้เคียงจัตุรัสที่มีการจ่ายกระแสกระตุ้นหนึ่งจุด

ในกรณีของสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการจ่ายกระแสกระตุ้นสองจุด พบว่าลักษณะสมบัติของสายอากาศมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อพารามิเตอร์ของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเปลี่ยนไป พารามิเตอร์ดังกล่าวได้แก่ ตำแหน่งการจ่ายกระแสกระตุ้นที่ขั้วเข้า ความยาวของสายนำสัญญาณ และอิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริป นอกจากนี้ยังพบว่าการรบกวนลักษณะสมบัติของสายอากาศเนื่องจากสายนำสัญญาณไมโครสตริปจะมีค่าน้อยที่สุด เมื่ออิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณมีค่าใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศ ตำแหน่งขั้วเข้าของสายอากาศอยู่ที่บริเวณ 0.45-0.55 เท่าของความยาวด้าน และความยาวสายนำสัญญาณช่วงที่ต่อกับสายอากาศมีค่าระหว่าง 0.1-0.2 เท่าของความยาวคลื่นในแผ่นฐานไดอิเล็กตริก

สำหรับกรณีของสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมใกล้เคียงจัตุรัสที่มีการจ่ายกระแสกระตุ้นหนึ่งจุดที่มุมใดมุมหนึ่งของแผ่นสายอากาศพบว่า ตำแหน่งการจ่ายกระแสกระตุ้นจะทำให้ทิศการหมุนของโพลาไรเซชันเปลี่ยนแปลงไป แต่การเปลี่ยนแปลงของมุมที่สายนำสัญญาณกระทำต่อแผ่นสายอากาศและการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปส่งผลกระทบต่อลักษณะสมบัติของสายอากาศน้อยมาก

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C715871 :MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: MICROSTRIP ANTENNA / MICROSTRIP FEEDLINE / CAVITY MODEL / CIRCULAR POLARIZATION
SUPRANEE SARINGKARNPOONPERM : A STUDY OF MICROSTRIP FEED ALIGNMENT EFFECT ON SQUARE PATCH MICROSTRIP ANTENNA CHARACTERISTICS. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF. NARONG YOOTHANOM,Ph.D. 136 pp. ISBN 974-634-709-8

The objective of this thesis is to study the effect of microstrip feed alignment on characteristics of circular-polarized square patch microstrip antenna. The combination of cavity model and expansion of Green's function in eigen function are used as the analysis method for two study cases--the single feed network and the dual feed network.

In the case of dual feed network, three parameters of the feed line which affect the antenna characteristics are feed position, feed length and characteristic impedance. These parameters cause losses and spurious radiation from discontinuities, undesired mode and mutual coupling phenomenon. These effects will diminish when the following conditions are satisfied:

1. characteristic impedance matches the antenna's input impedance.
2. feed position is in the range of 0.45-0.55 of patch length.
3. feed length at the input port of the antenna is approximately 0.1-0.2 wavelength in dielectric substrate.

In the case of singly-fed microstrip antenna, feed position affects only on the sense of polarization while characteristic impedance of microstrip feedline together with the angle between feedline and patch have insignificant effects.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ อยู่ถนอม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อย่างดียิ่งตลอดมา

ขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ อาภรณ์ เก่งพล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสิทธิ์ ทีฆพุฒิ อาจารย์ ดร. ทับทิม อ่างแก้ว และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้และให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาการศึกษา และขอบคุณโครงการก้นกุฏิและบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนอุดหนุนในการทำวิจัย

ท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณธีรพงษ์ สิทธิกุลธร คุณศุภเชษฐ์ เพิ่มพูนวัฒนาสุขและเพื่อนๆ ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าสื่อสารทุกท่านที่ได้ห่วงใยและให้ข้อเสนอแนะในการทำงานเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูปภาพ ..... ญ
คำอธิบายศัพท์และสัญลักษณ์ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1
   - ความเป็นมา 1
   - วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 5
   - ขอบเขตของงานวิจัย 5
   - ขั้นตอนการดำเนินงาน 6
   - ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย 6
2. สายอากาศไมโครสตริป 7
   - โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป 7
   - ลักษณะสมบัติของสายอากาศไมโครสตริป 16
   - สายอากาศไมโครสตริปที่ให้โพลาไรเซชันแบบวงกลม 19
   - วิธีการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของสายอากาศไมโครสตริป 22
3. หลักการวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปด้วยแบบจำลองแบบโพรง 25
   - แบบจำลองแบบโพรงของสายอากาศไมโครสตริป 26
   - การหาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในโพรง 28
   - แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริป 38
   - อิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศไมโครสตริป 40
   - แผ่นสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก 42

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

สายนำสัญญาณไมโครสตริป 48
ปรากฏการณ์เชื่อมต่อร่วมในระบบสายอากาศไมโครสตริป 52
อัลกอริธึมที่ใช้ในการวิเคราะห์ 55
4 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากด้วยแบบจำลองแบบโพรง 56
การทวนสอบวิธีการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองแบบโพรง 57
การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการจ่ายกระแสกระตุ้นสองจุด 70
การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมใกล้เคียงจัตุรัสที่มีการจ่ายกระแสกระตุ้นหนึ่งจุด 104
5 บทสรุป 120

รายการอ้างอิง 124
ภาคผนวก ก ฟังก์ชันของกรีนสำหรับแผ่นสายอากาศรูปร่างต่างๆ 130
ประวัติผู้เขียน 136

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง

2.1 ผลกระทบของค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์และความหนาของแผ่นฐานไดอิเล็กตริกต่อลักษณะสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยม 11

2.2 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นแผ่นฐานไดอิเล็กตริก 13

2.3 ระบบป้อนกำลังของสายอากาศไมโครสตริป 14

2.4 ข้อดีข้อเสียของสายอากาศไมโครสตริป 17

2.5 ตารางเปรียบเทียบค่าความต้านทานด้านเข้าและความถี่เรโซแนนซ์ที่ได้จากการวัดและการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเชิงวิเคราะห์และวิธีการเชิงเลขของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีระบบป้อนกำลังแบบสายนำสัญญาณไมโครสตริปและจ่ายกระแสที่กึ่งกลางของด้านที่มีการแผ่พลังงาน 23

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างและอิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปเมื่อแผ่นฐานไดอิเล็กตริกมีความหนา 0.159 ซม. ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก 2.55 66

4.2 โครงสร้างและกระแสกระตุ้นที่แผ่นสายอากาศของกรณีศึกษาที่มีความยาวสายนำสัญญาณไมโครสตริปต่างๆ กันในระบบสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีโพลาไรเซชันแบบวงกลมโดยการจ่ายกระแสกระตุ้นสองจุด 81

4.3 ผลกระทบต่อกระแสกระตุ้นของสายนำสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติต่างกัน 98

4.4 ลักษณะสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมใกล้เคียงจัตุรัสที่มีจุดจ่ายกระแสหนึ่งจุดที่ (0,5.745) และสายนำสัญญาณไมโครสตริปอิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติ 50-300 โอห์มและทำมุมต่างๆ กับแผ่นสายอากาศ 108

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูป

1.1 ภาพตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานสายอากาศไมโครสตริปเป็นสายอากาศรับในระบบดาวเทียมแพร่ภาพโดยตรง 2

1.2 การเชื่อมโยงของสถานีภาคพื้นดิน ดาวเทียม และผู้ใช้บริการในโครงการอิรีเดียม 2

1.3 สายอากาศไมโครสตริปและสายอากาศแถวลำดับแบบไมโครสตริป 3

2.1 องค์ประกอบพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริป 7

2.2 ตัวอย่างแผ่นสายอากาศรูปร่างต่างๆ 8

2.3 ระบบป้อนกำลังแบบโครงข่ายอนุกรม 12

2.4 ระบบป้อนกำลังแบบโคเปอร์เรตฟีดเน็ตเวิร์ค 12

2.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริป 16

2.6 เส้นทางเดินของอิมพีแดนซ์ขาเข้ากับความถี่บนแผนภูมิของสมิทธ 17

2.7 เทคนิคการเพิ่มแบนด์วิดท์แบบต่างๆ 18

2.8 การจ่ายกระแสกระตุ้นสองจุดเพื่อสร้างคลื่นโพลาไรซ์แบบวงกลม 20

2.9 การจ่ายกระแสกระตุ้นหนึ่งจุดเพื่อสร้างคลื่นโพลาไรซ์แบบวงกลม 20

2.10 วิธีการใช้สายอากาศแถวลำดับแบบไมโครสตริปที่มีโพลาไรซ์เชิงเส้นต่างกันเพื่อสร้างคลื่นโพลาไรซ์แบบวงกลม 21

2.11 วิธีการใช้สายนำสัญญาณไมโครสตริปที่มีความไม่ต่อเนื่องที่ให้คลื่นโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นต่างกันเพื่อสร้างคลื่นโพลาไรซ์แบบวงกลม 21

3.1 ลักษณะการกระจายประจุไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นของสายอากาศไมโครสตริป 26

3.2 แบบจำลองแบบโพรงของสายอากาศไมโครสตริป 26

3.3 แหล่งกระแสเสมือนของสายอากาศไมโครตริปที่ได้จากการใช้ทฤษฎีสมมูลและทฤษฎีเงา 27

3.4 สายอากาศไมโครสตริปและระบบพิกัดของสายอากาศ 29

3.5 กราฟเบต้าเคของแผ่นสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากที่มีอัตราส่วนด้านกว้างต่อด้านยาวเท่ากับ 1:1.5 ขนาดแผ่นสายอากาศเป็น 4.02 x 6.03 ซม.^{2} ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์เท่ากับ 2.62 ... 34

3.6 กราฟเบต้าเคของแผ่นสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากที่มีอัตราส่วนด้านกว้างต่อด้านยาวเท่ากับ 1:1 ขนาดแผ่นสายอากาศเป็น 4.02 x 4.02 ซม.^{2} ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์เท่ากับ 2.55..... 34

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูป

3.7 วงจรสมมูลของสายอากาศไมโครสตริป 41
3.8 แผ่นสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมใกล้เคียงจัตุรัสกับการใช้วิธีการเซกเมนต์เตชัน/ดีเซกเมนต์เตชัน..... 44
3.9 สายนำสัญญาณไมโครสตริป 48
3.10 ระบบพิกัดในการพิจารณาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระยะสนามใกล้ที่จุดสังเกตอยู่บนระนาบเดียวกับแหล่งกระแสเสมือน 53
3.11 ภาพความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดและการวางตัวของแหล่งกระแสที่เกิดปรากฏการณ์เชื่อมต่อร่วม 54
4.1 ระบบพิกัดของสายอากาศไมโครสตริป 57
4.2 กราฟความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ขาเข้ากับความถี่ของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 1 ... 58
4.3 กราฟความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ขาเข้ากับความถี่ของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 1 ที่ได้จากแบบจำลองแบบโพรง 58
4.4 กราฟความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ขาเข้ากับความถี่ของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 2 ... 59
4.5 กราฟความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ขาเข้ากับความถี่ของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 2 ... 60
4.6 กราฟความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ขาเข้ากับความถี่ของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 2 ที่ได้จากแบบจำลองแบบโพรง 60
4.7 กราฟความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ขาเข้าและอัตราส่วนตามแกนกับความถี่ของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 3 61
4.8 กราฟความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ขาเข้าและอัตราส่วนตามแกนกับความถี่ของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 3 ที่ได้จากแบบจำลองแบบโพรง 62
4.9 กราฟความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ขาเข้ากับจำนวนโหมดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในโพรง ... 63
4.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 2 ที่ได้จากแบบจำลองแบบโพรงเมื่อเพิ่มโหมดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในโพรง 64
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียเนื่องจากการแผ่พลังงานจากสายนำสัญญาณไมโครสตริปที่มีอิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติ 50-300 โอห์มกับความถี่ในย่านความถี่แอ็ลที่ต้องการใช้งาน 67
4.12 กราฟเปรียบเทียบกำลังงานสูญเสียเนื่องจากการแผ่พลังงานของสายนำสัญญาณที่มีการหักมุมเป็นมุมฉาก และมีรอยต่อรูปตัวทีของสายนำสัญญาณไมโครสตริปที่มีอิมพีแดนซ์ ลักษณะสมบัติ 200 โอห์มกับความถี่ 68

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูป

4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสูญเสียต่อเมตรเนื่องจากการสูญเสียในโลหะและการสูญเสียในไดอิเล็กตริกของสายนำสัญญาณไมโครสตริปที่มีอิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติ 50-300 โอห์มกับความถี่ในย่านความถี่แอ็ลที่ต้องการใช้งาน 68

4.14 สายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีจุดจ่ายกระแสสองจุด 70

4.15 กราฟความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ขาเข้ากับความถี่ที่จุดจ่ายกระแส (0,2.84) ของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5.68x5.68 ซม.^{2} 71

4.16 กราฟความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ขาเข้ากับความถี่ที่จุดจ่ายกระแส (2.84,0) ของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5.68x5.68 ซม.^{2} 72

4.17 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5.68x5.68 ซม.^{2} ที่มีจุดจ่ายกระแสสองจุดที่ (0,2.84) และ (2.84,0) บนระนาบ 90 และ 0 องศา 73

4.48 กราฟอัตราส่วนตามแกนและความต่างเฟสกับความถี่ของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5.68x5.68 ซม.^{2} ที่มีจุดจ่ายกระแสสองจุดที่ (0,2.84) และ (2.84,0) 74

4.19 กราฟอัตราส่วนตามแกนและความต่างเฟสกับความถี่ของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5.68x5.68 ซม.^{2} เมื่อเฟสของกระแสกระตุ้นที่ (0,2.84) นำหน้าเฟสของกระแสกระตุ้นที่จุด (2.84,0) อยู่ 90 องศา 75

4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์ขาเข้ากับตำแหน่งการจ่ายกระแสกระตุ้น 77

4.21 กราฟอัตราส่วนตามแกนและความต่างเฟสเทียบกับจุดจ่ายกระแสบนแนวแกน y ของสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่มีจุดจ่ายกระแสต่างๆ บนแนวแกน x 78

4.22 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5.68x5.68 ซม.^{2} ที่มีจุดจ่ายกระแสสองจุดที่ (2.00,0) และ (0,2.84) 79

4.23 แหล่งกระแสแม่เหล็กเสมือนของระบบสายอากาศไมโครสตริปในรูป 4.43 80

4.24 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 200 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 1 83

4.25 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 200 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 2 84

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูป

4.26 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 200 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 3 85
4.27 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 200 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 4 86
4.28 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 200 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 5 87
4.29 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 200 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 6 88
4.30 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 200 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 7 89
4.31 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 200 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 8 90
4.32 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 200 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 9 91
4.33 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 200 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 10 92
4.34 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 200 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 11 93
4.35 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 200 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 12 94
4.36 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 200 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 13 95
4.37 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 200 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 14 96
4.38 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 200 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 15 97

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูป

4.39 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 50 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 8 99

4.40 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 100 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 8 100

4.41 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 150 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 8 101

4.42 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 250 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 8..... 102

4.43 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสสองจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 300 โอห์มและมีความยาวตามตัวอย่างที่ 8 103

4.44 สายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการจ่ายกระแสกระตุ้นหนึ่งจุด 104

4.45 กราฟความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ขาเข้ากับความถี่ที่จุดจ่ายกระแส (0,0) ของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมใกล้เคียงจัตุรัสขนาด 5.620x5.745 ซม.^{2} 105

4.46 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5.620x5.745 ซม.^{2} ที่มีจุดจ่ายกระแสสองจุดที่ (0,0) บนระนาบ 90 และ 0 องศา 106

4.47 กราฟอัตราส่วนตามแกนและความต่างเฟสกับความถี่ของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมใกล้เคียงจัตุรัสขนาด 5.620x5.745 ซม.^{2} ที่มีจุดจ่ายกระแสที่ (0,0) หรือ (0,5.745).....106

4.48 กราฟความต่างเฟสเทียบกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระยะสนามไกลของสายอากาศ เมื่อมีการจ่ายกระแสกระตุ้นที่จุดต่างๆ บนสายอากาศ 108

4.49 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสหนึ่งจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริป 200 โอห์ม และทำมุม 0 องศากับสายอากาศ 109

4.50 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสหนึ่งจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริป 200 โอห์ม และทำมุม 30 องศากับสายอากาศ 110

4.51 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสหนึ่งจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริป 200 โอห์ม และทำมุม 45 องศากับสายอากาศ 111

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูป

4.52 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสหนึ่งจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริป 200 โอห์ม และทำมุม 60 องศากับสายอากาศ 112
4.53 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสหนึ่งจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริป 200 โอห์ม และทำมุม 90 องศากับสายอากาศ 113
4.54 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสหนึ่งจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริป 50โอห์ม และทำมุม 45 องศากับสายอากาศ 114
4.55 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสหนึ่งจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริป 100 โอห์ม และทำมุม 45 องศากับสายอากาศ 115
4.56 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสหนึ่งจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริป 150 โอห์ม และทำมุม 45 องศากับสายอากาศ 116
4.57 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสหนึ่งจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริป 250 โอห์ม และทำมุม 45 องศากับสายอากาศ 117
4.58 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีจุดกระแสหนึ่งจุด อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณไมโครสตริป 300 โอห์ม และทำมุม 45 องศากับสายอากาศ 118
ก1 แผ่นสายอากาศรูปร่างต่างๆ และระบบพิกัด 131

คำอธิบายศัพท์และสัญลักษณ์

axial ratio		อัตราส่วนตามแกน
axial ratio bandwidth	BW	แบนด์วิดท์ของอัตราส่วนตามแนวแกน
cavity model		แบบจำลองแบบโพรง
dc mode		โหมดกระแสตรง
dielectric substrate		แผ่นฐานไดอิเล็กตริก
directivity	D	สภาพเจาะจงทิศทาง
dominant mode		โหมดเด่น
effective relative permittivity	$\varepsilon_e(u)$	ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล
eigen function	ψ_n	ฟังก์ชันค่าเจาะจง
eigen value	k_n	ค่าเจาะจง
equivalence theory		ทฤษฎีสมมูล
feed network		ระบบป้อนกำลัง
gain	G	อัตราขยาย
green's function	$G(\vec{r}\|\vec{r}_0)$	ฟังก์ชันของกรีน
ground plane		แผ่นกราวนด์
half power beamwidth	Ω	ความกว้างลำคลื่น
higher order mode		โหมดอันดับสูง
image theory		ทฤษฎีเงา
impedance bandwidth	BW	อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์, แบนด์วิดท์
input impedance	Z_{in}	อิมพีแดนซ์ขาเข้า
microstrip antenna		สายอากาศไมโครสตริป
microstrip array		สายอากาศแถวลำดับแบบไมโครสตริป
microstrip line		สายนำสัญญาณไมโครสตริป
mutual coupling		ปรากฏการณ์เชื่อมต่อร่วม
patch		แผ่นสายอากาศ
radiation pattern		แบบรูปการแผ่พลังงาน
spurious radiation		การแผ่พลังงานปลอมเทียม
verification		การทวนสอบ