สายอากาศร่องแบบโพลาไรซ์เชิงวงกลมบนเซกเตอร์โพรงทรงกระบอก

นายวรากรณ์ สาริขา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2551

CIRCULARLY POLARIZED SLOT ANTENNA ON SECTORAL CYLINDRICAL CAVITY

Warakorn Sarikha

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Telecommunication Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2008

สายอากาศร่องแบบโพลาไรซ์เชิงวงกลมบนเซกเตอร์โพรงทรงกระบอก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(ผศ. ดร.รังสรรค์ ทองทา)
ประธานกรรมการ

_____

(ผศ. ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(อ. ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล)
กรรมการ

_____

(ศ. ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

_____

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ขำพิศ)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วรากรณ์ สาริขา : สายอากาศร่องแบบโพลาไรซ์เชิงวงกลมบนเซกเตอร์โพรงทรงกระบอก (CIRCULARLY POLARIZED SLOT ANTENNA ON SECTORAL CYLINDRICAL CAVITY) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์, 79 หน้า

ในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย สายอากาศเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความจำเป็นและสำคัญมาก โดยเฉพาะสายอากาศที่ใช้สำหรับสถานีฐานในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่หรือสถานีแพร่สัญญาณโทรทัศน์จะต้องมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น (radiation pattern) ที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการหรือเชื่อมต่อกับผู้ใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของสายอากาศที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้บริการกับสถานีใด ๆ นั้น ได้แก่การโพลาไรซ์ของสายอากาศ (antenna polarization) ซึ่งมีอยู่หลายแบบด้วยกัน สำหรับการโพลาไรซ์เชิงวงกลม (circular polarization) จะทำให้แบบโพลาไรซ์ของสายอากาศภาครับและภาคส่งเพิ่มโอกาสวางตัวในแนวเดียวกันได้มากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อมีความต่อเนื่องและสม่ำเสมอตลอดเวลา สำหรับงานวิจัยนี้ได้ออกแบบสายอากาศร่องแบบโพลาไรซ์เชิงวงกลมบนเซกเตอร์โพรงทรงกระบอกที่สามารถให้การโพลาไรซ์เชิงวงกลม ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศจะมีลักษณะเป็นร่องคู่วางตัวตั้งฉากซึ่งกันและกันเจาะในแนวเฉียงบนผิวตัวนำบนเซกเตอร์โพรงทรงกระบอก และมีการป้อนสัญญาณด้วยโพรบไฟฟ้าเส้นตรง ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณกึ่งกลางของผิวด้านในของโพรงทรงกระบอก ซึ่งข้อดีของรวมเอาตัวแบ่งกำลังงานและระบบป้อนสัญญาณให้อยู่ภายในโพรงทรงกระบอกซึ่งเป็นโครงสร้างเดียวกันนั้น ทำให้สายอากาศชนิดนี้มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน สามารถรองรับกำลังงานได้สูง และง่ายในการติดตั้งใช้งาน สำหรับกระบวนการวิเคราะห์ได้นำระเบียบวิธีโมเมนต์ (Method of Moment : MoM) มาประยุกต์ใช้เพื่อหาคุณลักษณะของสายอากาศ ได้แก่ แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น และอิมพีแดนซ์ด้านเข้า (input impedance) เป็นต้น ตลอดจนสร้างสายอากาศต้นแบบและวัดทดสอบค่าคุณลักษณะต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณดังกล่าว และปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานต่อไป

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

WARAKORN SARIKHA : CIRCULARLY POLARIZED SLOT ANTENNA ON SECTORAL CYLINDRICAL CAVITY. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. RANGSAN WONGSAN, D. Eng., 79 PP.

CIRCULARLY POLARIZED/SLOT ANTENNA/SECTORAL CYLINDRICAL CAVITY

In the wireless communication applications, antenna is the important component. Especially, the antenna applied for the broadcasting station requires the radiation pattern cover a service area. This thesis presents the circularly polarized slot antenna on a sectoral cylindrical cavity. The antenna structure is the inclined slot fed by the concentric cylindrical cavity. The advantage of this antenna is a simple structure and not complicated since the power divider and feeding structure are integrated into single structure. The Method of Moment is used to solve the integral equations. The antenna properties such as the radiation pattern, the probe impedance and the return loss are obtained by using the dyadic Green's function. The proposed antenna is aimed to use for base station of the mobile communication and broadcasting TV stations. The antenna measurement is done to confirm the calculated results. It is obvious that the designed antenna provides the agreement with the calculated result. The results from the investigation can be applied for designing the antenna for the future applications.

School of Telecommunication Engineering Student's Signature _____

Academic Year 2008 Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และการดำเนินงานวิจัย รวมถึงหน่วยงานต่าง ๆ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้โอกาสทางการศึกษาที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และชี้แนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่อวิทยานิพนธ์ รวมทั้งเป็นกำลังใจ และเป็นแบบอย่างที่ดีในระหว่างการดำเนินการวิจัยให้กับผู้วิจัยเสมอมา อีกทั้งช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสิ้น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา หัวหน้าสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม และอาจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล ที่สละเวลามาเป็นกรรมการวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคอยแนะนำช่วยเหลือให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจอย่างดีมาโดยตลอด

อาจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ กระฉอดนอก คุณประพล จารตะคุ และคุณวันวิสาข์ ไทยวิโจจน์ ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการและด้านเทคนิค รวมทั้งการชี้แนะเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สนับสนุนต่อการทำวิทยานิพนธ์ อย่างสม่ำเสมอมาโดยตลอด

ขอขอบคุณน้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกคน ที่เปรียบเสมือนน้องชายและน้องสาว ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจมาโดยตลอด อาทิ เช่น คุณศรันย์ คัมภีร์ภัทร และคุณเภาภัทรา คำพิกุล ที่คอยช่วยเหลือเรื่องการวัดผลการทดลองและการจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์เสมอมา อีกทั้งคุณสุนิสา จบศรี คุณวาทิณี สุมาลัย คุณไพรัตน์ ทศดี และนักศึกษาบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุก ๆ คน ที่คอยให้กำลังใจตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อแสงทอง คุณแม่วันดี รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความรัก ความห่วงใย และให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาอย่างดีมาโดยตลอด รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดียิ่งสำหรับผู้วิจัยให้สามารถเผชิญกับปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตและพร้อมจะพัฒนาตนเองให้ดียิ่ง ๆ ขึ้นไป

วรากรณ์ สาริขา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ(ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ซ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย 3

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น 3

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.7 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์ 4

2 สายอากาศร่องแบบโพลาไรซ์เชิงวงกลมบนเซกเตอร์โพรงทรงกระบอก 5

2.1 บทนำ 5

2.2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.2.1 ลักษณะของสายอากาศที่มีโครงสร้างต่างกับงานวิจัยแต่ให้การโพลาไรซ์เชิงวงกลม 6

2.2.2 ลักษณะของสายอากาศที่มีโครงสร้างคล้ายกับงานวิจัยแต่ให้การโพลาไรซ์ที่แตกต่างกัน 7

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 โครงสร้างของสายอากาศ 9
2.4 วิธีการแบ่งโครงสร้างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ 10
2.5 การเขียนสมการเชิงอินทิกรัล 11
2.6 สรุป 15
3 ฟังก์ชันไดแอดิกของกรีนสำหรับสายอากาศร่องแบบโพลาไรซ์เชิงวงกลม บนเซกเตอร์โพรงทรงกระบอก 16
3.1 บทนำ 16
3.2 ฟังก์ชันไดแอดิกของกรีนบริเวณภายในของเซกเตอร์โพรงทรงกระบอก 17
3.3 ฟังก์ชันไดแอดิกของกรีนบริเวณภายนอกของเซกเตอร์โพรงทรงกระบอก 27
3.4 สรุป 29
4 คุณลักษณะของร่องเฉียงบนเซกเตอร์โพรงทรงกระบอกโดยใช้ระเบียบวิธีโมเมนต์ 30
4.1 บทนำ 30
4.2 ระเบียบวิธีโมเมนต์ 30
4.3 ฟังก์ชันฐานและฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก 33
4.4 ผลเฉลยเชิงเมตริกซ์สำหรับกระแสไม่ทราบค่า 38
4.5 อิมพิแดนซ์ด้านเข้า และแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น 41
4.5.1 อิมพีแดนซ์ด้านเข้า 41
4.5.2 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น 43
4.6 ผลการคำนวณอิมพีแดนซ์ด้านเข้า 45
4.6.1 ขนาดโพรง 47
4.6.2 ตำแหน่งร่อง 48
4.6.3 ระยะห่างระหว่างร่อง 50
4.6.4 รัศมีภายในทรงกระบอก 52
4.6.5 อัตราส่วนรัศมีภายนอกและรัศมีภายในของทรงกระบอก 54
4.7 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น 56
4.8 การออกแบบสายอากาศด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสม 58

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.9 สรุป 60
5 การวิเคราะห์ผลการคำนวณและผลการทดสอบสายอากาศ 61
5.1 บทนำ 61
5.2 ผลการทดสอบสายอากาศ 61
5.2.1 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ และอิมพิแดนซ์ด้านเข้า 61
5.2.2 การวัดความกว้างแถบของสายอากาศ 66
5.2.3 การวัดอัตราขยายของสายอากาศ 67
5.2.4 การวัดโพลาไรซ์ของสายอากาศ 69
5.2.5 สรุป 72
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 73
รายงานอ้างอิง 75
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ 77
ประวัติผู้เขียน 79

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 แสดงขนาดพารามิเตอร์อ้างอิงของสายอากาศ 46

4.2 แสดงขนาดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศ 59

5.1 แสดงความกว้างแถบความถี่ของสายอากาศ 66

5.2 แสดงค่ากำลังงานสูงสุดของสายอากาศต้นแบบตามชนิดของโพลาไรซ์เชิงวงกลม 70

สารบัญรูป

รูป **หน้า**

2.1 แสดงตัวอย่างสายอากาศที่มีโครงสร้างแตกต่างกับงานวิจัยนี้แต่ให้แบบโพลาไรซ์เชิงวงกลมเหมือนเดียวกัน 6

2.2 แสดงตัวอย่างสายอากาศที่มีโครงสร้างคล้ายกับงานวิจัยนี้แต่ให้แบบโพลาไรซ์ที่แตกต่างกัน 8

2.3 (ก) แสดงโครงสร้างสายอากาศร่องโพลาไรซ์เชิงวงกลมบนเซกเตอร์โพรงทรงกระบอก และ (ข) ภาพตัดขวางของสายอากาศ 9

2.4 แสดงแบบจำลองการวิเคราะห์โครงสร้างสายอากาศร่องแบบโพลาไรซ์เชิงวงกลมบนเซกเตอร์โพรงทรงกระบอก 10

3.1 โครงสร้างของโพรงเซกเตอร์ทรงกระบอก 16

3.2 แสดงโครงสร้างสายอากาศร่องโพลาไรซ์เชิงวงกลมบนเซกเตอร์โพรงทรงกระบอก 17

3.3 แสดงโครงสร้างของทรงกระบอกตัวนำยาวอนันต์ซึ่งมีรัศมี R_0 27

4.1 แสดงฟังก์ชันฐานที่แบ่งส่วนเป็นขอบเขตย่อยเป็นค่าคงที่ 27

4.2 แสดงรูปแบบการกระจายของกระแสแม่เหล็กเนื่องจากฟังก์ชันฐาน $\bar{m}_s(\bar{R}')$ 35

4.3 แสดงรูปแบบการกระจายของกระแสไฟฟ้าเนื่องจากฟังก์ชันฐาน $\bar{j}_f(\bar{R}')$ 36

4.4 แสดงพารามิเตอร์ของสายอากาศ 46

4.5 แสดงคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เมื่อ z_d = 3.5, 3.7, 3.9 และ 4.1 ซม. 47

4.6 แสดงคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เมื่อ z_s = 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 ซม. 49

4.7 แสดงคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เมื่อ a = 2.5, 3.0, 3.5 และ 4.0 ซม. 51

4.8 แสดงคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เมื่อ b/a = 1.8, 2.0 และ 2.5 53

4.9 แสดงคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เมื่อ h = 0.7, 1.4, 2.1 และ 2.8 ซม 55

4.10 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศร่องคู่วางตัวตั้งฉากซึ่งกัน 57

4.11 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นด้วยพารามิเตอร์ที่ให้เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด 59

4.12 แสดงความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับด้วยพารามิเตอร์ที่ให้เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด 60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป **หน้า**

5.1 แสดงภาพถ่ายสายอากาศในการทดสอบ 62
5.2 แสดงแบบจำลองการวางอุปกรณ์ในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น 63
5.3 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศร่องเฉียงคู่
วางตัวตั้งฉากซึ่งกันและกัน 64
5.4 แสดงความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณ
และการทดสอบ 64
5.5 แสดงค่าอิมพอแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศต้นแบบ 65
5.6 แสดงค่าอันตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) ของสายอากาศต้นแบบ 65
5.7 แสดงการจัดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ 67
5.8 แสดงกำลังงานที่รับได้จากสายอากาศร่องแบบโพลาไรซ์เชิงวงกลม
บนเซกเตอร์โพรงทรงกระบอก 68
5.9 แสดงการจัดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดโพลาไรซ์ของสายอากาศต้นแบบ 69
5.10 แสดงแบบรูปการโพลาไรซ์ของสายอากาศร่องแบบโพลาไรซ์เชิงวงกลม
บนเซกเตอร์โพรงทรงกระบอก 70
5.11 แสดงการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบชนิดของแบบโพลาไรซ์เชิงวงกลม
ของสายอากาศต้นแบบ (ก) ภาคส่งเป็น LHCP (ข) ภาคส่งเป็น RHCP 71

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

MoM	=	Method of Moments
FEM	=	Finite Element Method:
HPBW	=	Half-Power Bandwidth
EFIE	=	Electric Field Integral Equation
MFIE	=	Magnetic Field Integral Equation
LHCP	=	Left Hand Circularly Polarization
RHCP	=	Right Hand Circularly Polarization
δ	=	delta gap
ε_r	=	relative permittivity
ε_0	=	permittivity of free space
μ_0	=	permeability of free space
$\overline{E}$	=	electric field vector
$\overline{H}$	=	magnetic field vector
$\overline{D}$	=	electric flux density
$\overline{B}$	=	magnetic flux density
$\bar{J}$	=	electric current densities
σ	=	electrical conductivity
σ^*	=	magnetic conductivity
C	=	velocity of light
ψ	=	any component of the field
W	=	width of the patch
L	=	linear operator
g	=	excitation function or source
f	=	response (unknown function)
BW	=	bandwidth
SWR	=	standing wave ratio
f_c	=	operating frequency

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

h	=	distance between slots
ρ_b	=	outer radius of cavity
ρ_a	=	inner radius of cavity
ϕ	=	azimuth direction of electric field
S_{11}	=	input reflection coefficient
I_0	=	maximum current
k	=	phase constant
r	=	distance from any point
Z_{in}	=	antenna input impedance
Z_0	=	characteristic impedance
Γ	=	reflection coefficient
Z_{out}	=	output impedance
β	=	propagation constant
η	=	intrinsic impedance
λ	=	wavelength of electromagnetic wave
V_p	=	phase velocity
G	=	absolute gain
λ_0	=	wavelength of electromagnetic wave in free space
ω	=	angular frequency