การออกแบบสายอากาศป้อนสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป

โดย

นายเขมวัฒน์ มากมณี รหัส B5100132

นางสาวจิราวรรณ ผันดอน รหัส B5104109

นางสาวเอรินทร์ ชุมใหม่ รหัส B5111329

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427494 โครงงานศึกษาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2554

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2545

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การออกแบบสายอากาศป้อนสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป

คณะกรรมการสอบโครงงาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยาภรณ์ กระฉอดนอก)
กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญชัย ทองโสภา)
กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ ทองทา)
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับรายงานโครงงานฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รายวิชา 427499 โครงงานวิศวกรรมโทรคมนาคม ประจำปีการศึกษา 2554

โครงงาน การออกแบบสายอากาศป้อนสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป

โดย นายเขมวัฒน์ มากมณี รหัส B5100132

นางสาวจิราวรรณ ผันดอน รหัส B5104109

นางสาวเอรินทร์ ชุมใหม่ รหัส B5111329

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยาภรณ์ กระฉอดนอก

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาคการศึกษา 3/2554

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

(Abstract)

โครงงานนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสำหรับเป็นสายอากาศป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน ที่ความถี่ 5.2 GHz ซึ่งกำลังงานที่ตกกระทบบนแผ่นสะท้อน จะมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากันทุกตำแหน่ง ในขั้นตอนการออกแบบจะใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อหาสมการเส้นโค้ง และใช้โปรแกรม CST ในการจำลองแบบ โดยทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ จนได้ค่าตามความถี่ที่ต้องการ ในส่วนสุดท้ายจะทำการสร้างสายอากาศต้นแบบและทำการวัดผลเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบจากโปรแกรม CST

กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgement)

โครงงานฉบับนี้ สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ .ดร.ปิยาภรณ์ กระฉอดนอก ผู้ให้โอกาสทางการศึกษาที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือเกี่ยวกับแนวคิด การดูแลเอาใจใส่ติดตามงาน ชี้แนะข้อบกพร่อง และ ชี้แนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่อโครงงาน
รวมทั้งช่วยตรวจทานโครงงานเล่มนี้จนเสร็จสิ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือแก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด พี่นักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอกวิศวกรรมโทรคมนาคม และเพื่อนนักศึกษาสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมที่เป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณที่ได้กล่าวไปแล้วไว้ ณ ที่นี้ สำหรับส่วนดีของโครงงานชิ้นนี้ ขออุทิศให้แก่อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำ

เขมวัฒน์ มากมณี
จิราวรรณ ผันดอน
เอรินทร์ ชุมใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

เรื่อง หน้า

บทคัดย่อ ก

กิตติกรรมประกาศ ข

สารบัญ ค

สารบัญรูป ฉ

สารบัญตาราง ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 4

1.3 ขอบเขตการทำงาน 5

1.4 ขั้นตอนการทำงาน 5

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 กล่าวนำ 6

2.2 ความเป็นมาของเครือข่ายไร้สาย 8

2.3 ความหมายของระบบเครือข่ายไร้สาย 8

2.4 มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11 11

2.5 ประโยชน์เครือข่ายไร้สาย 15

2.6 สายอากาศ 16

2.7 ลักษณะการแผ่กระจายคลื่น 17

2.8 การคำนวณอัตราการขยาย 20

2.9 ทฤษฎีบริเวณการแผ่พลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระยะไกล 23

2.10 ทฤษฎีของสายอากาศไมโครสตริปและสายอากาศร่องแบบเรียว 24

2.11 สรุป 28

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 29

3.1 บทนำ 29

3.2 คุณลักษณะของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน 29

3.3 เทคนิคการออกแบบแผ่นสะท้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป 35

3.4 ตัวป้อนสัญญาณ 37

3.5 สรุป 43

บทที่ 4 การออกแบบตัวป้อนสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อน 44

4.1 บทนำ 44

4.2 การศึกษาแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศป้อนและสนามตกกระทบบนแถวลำดับสะท้อน 44

4.3 การศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อประสิทธิภาพของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน 47

4.4 การศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน 50

4.5 การศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและจำลองผลสายอากาศร่องแบบเรียวเพื่อเป็นตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CST 52

4.6 การออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้ตัวป้อนจากสายอากาศร่องแบบเรียวที่ได้ออกแบบ 64

4.7 สรุป 68

บทที่ 5 การสร้างชิ้นงานและวัดผลทดสอบ 69

5.1 บทนำ 69

5.2 วิธีการสร้างสายอากาศต้นแบบ 69

5.3 อุปกรณ์ 70

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4 ผลการวัดทดสอบการสูญเสียย้อนกลับ	73
5.5 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน	74
5.6 ผลการวัดทดสอบอัตราขยาย (Gain) และความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW)	77
5.7 สรุป	78
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	79
6.1 สรุปผลโครงงาน	79
6.2 ข้อเสนอแนะ	80
บรรณานุกรม	81
ประวัติผู้เขียน	82

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดง อุปกรณ์ Access Point 10

รูปที่ 2.2 การใช้งาน Wireless Fidelity 10

รูปที่ 2.3 การใช้งาน Wireless Fidelity 14

รูปที่ 2.4 Wireless Adapter 14

รูปที่ 2.5 วิธีการแผ่กระจาย 17

รูปที่ 2.6 วิธีการบังคับทิศทางแผ่กระจาย 17

รูปที่ 2.7 วิธีการบังคับทิศทางแผ่กระจาย 18

รูปที่ 2.8 องศาของอัตราส่วนที่ลดลง3dB จากกำลังสูงสุด 18

รูปที่ 2.9 การแผ่กระจายคลื่นในทิศทางตรงข้าม 19

รูปที่2.10 แสดงการแพร่กระจายตามแนวตั้ง และแนวนอนตามลำดับ 20

รูปที่ 2.11รูปแสดงการแพร่กระจายในทางทฤษฎีแบบ Isotropic 20

รูปที่ 2.12 ระบบการสื่อสารไร้สายอย่างง่าย 22

รูปที่ 2.13 สายอากาศไมโครสตริปรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก 25

รูปที่ 2.14 กระแสไฟฟ้าและลักษณะเส้นแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนแผ่นตัวนำ 26

รูปที่ 2.15 สายอากาศร่องแบบต่างรูปแบบต่าง ๆ 27

รูปที่ 3.1 สายอากาศแถวลำดับแบบไมโครสตริป 30

รูปที่ 3.2 สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิก 30

รูปที่ 3.3 สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป 31

รูปที่ 3.4 การแผ่กระจายคลื่นในสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิก
และสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป 33

รูปที่ 3.5 การประวิงเฟสในสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป 33

รูปที่ 3.6 การประวิงเฟสเนื่องจากการเลื่อนตัวป้อนสัญญาณและหน้าคลื่น 34

รูปที่ 3.7 การปรับขนาดของแผ่นสะท้อน 35

รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแผ่นสะท้อนกับเฟสสะท้อน 36

รูปที่ 3.9 การปรับความยาวของสตับ 36

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.10 การปรับมุมการวางของแผ่นสะท้อน 37
รูปที่ 3.11 สายอากาศร่องแบบเรียวรูปแบบต่าง ๆ 38
รูปที่ 3.12 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศเส้นร่องแบบเรียว 39
รูปที่ 3.13 โครงสร้างสายอากาศร่องแบบเรียว 39
รูปที่ 3.14 เทคนิคการป้อนกำลังงานให้สายอากาศร่องแบบเรียว 42
รูปที่ 3.15 การป้อนกำลังด้วยเส้นไมโครสตริป 43
รูปที่ 4.1 รูปทรงเรขาคณิตของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน 44
รูปที่ 4.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของตัวป้อนแบบปากแตรปิรามิด 45
รูปที่ 4.3 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อน 47
รูปที่ 4.4 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อประสิทธิภาพความเรียว 48
รูปที่ 4.5 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อประสิทธิภาพการล้น 48
รูปที่ 4.6 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อประสิทธิภาพอะเพอร์เจอร์
ของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน 49
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนเมื่อไม่พิจารณาการบดบังของตัวป้อน 49
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนเมื่อพิจารณาการบดบังของตัวป้อน 50
รูปที่ 4.9 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศ
แถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทาง 51
รูปที่ 4.10 ผลการจำลองแบบสายอากาศร่องแบบเรียวด้วยโปรแกรม
CST MICROWAVE STUDIO กรณีไม่มีแผ่นสะท้อนด้านหน้า 55
รูปที่ 4.11 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า A_l 55
รูปที่ 4.12 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า F_w 56
รูปที่ 4.13 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า L_g 57
รูปที่ 4.14 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า R 58

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.15 ผลกระทบต่อลำคลื่นหลังเพิ่มแผ่นสะท้อนด้านหน้า 59
รูปที่ 4.16 ผลการจำลองแบบหลังปรับพารามิเตอร์ของสายอากาศครั้งที่ 1 60
รูปที่ 4.17 ผลการจำลองแบบสายอากาศที่นำเสนอ 63
รูปที่ 4.18 กำลังโคไซน์ของตัวป้อนที่ออกแบบ 64
รูปที่ 4.19 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทาง 65
รูปที่ 4.20 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำคลื่นรูป
สี่เหลี่ยมผืนผ้า 66
รูปที่ 4.21 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำคลื่นรูปวงกลม
เมื่อใช้ตัวป้อนที่ออกแบบ 67
รูปที่ 5.1 แผ่น FR4 1.6 mm 70
รูปที่ 5.2 น้ำยากัดปริ๊น 70
รูปที่ 5.3 แผ่นสติกเกอร์ 70
รูปที่ 5.4 SMA Female Connector 71
รูปที 5.5 สายนำสัญญาณ 71
รูปที่ 5.6 สายอากาศวิวอลดิหลังจากใช้น้ำยากัดปริ้น 71
รูปที่ 5.7 สายอากาศป้อนต้นแบบ 72
รูปที่ 5.8 ผลการวัดค่า S11 73
รูปที่ 5.9 วิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน 74
รูปที่ 5.10 การทดสอบสายอากาศในห้อง Chamber ร่วมกับเครื่อง Network Analysis 75
รูปที่ 5.11 ผลวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน 76

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ระบุรายละเอียดย่อยของ IEEE 802.11	15
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์อ้างอิงของสายอากาศร่องแบบเรียว	53
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบเรียวหลังปรับพารามิเตอร์	61
ตารางที่ 5.1 คุณลักษณะของสายอากาศป้อน	77

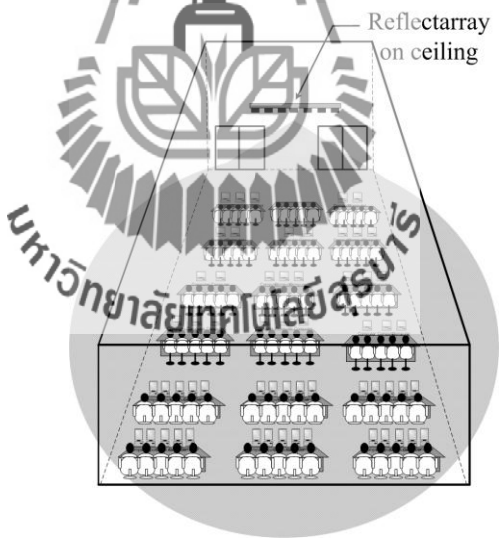
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

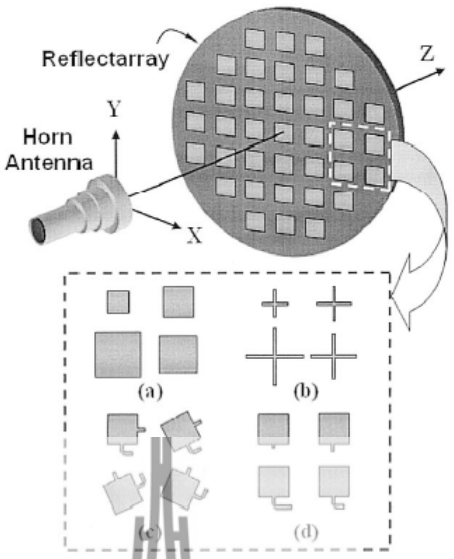
ปัจจุบันเทคโนโลยีโทรคมนาคมมีการพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างเร็วมากในหลาย ๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เทคโนโลยีทางด้านการสื่อสารไร้สาย เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์ที่มีการพัฒนามาตรฐานจาก 2G ไปเป็น 3G และกำลังมุ่งไปสู่ 4 Gในอนาคตข้างหน้า เทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบแพ็กเกต (General Packet Radio Service: GPRS) ถือได้ว่าเป็นมาตรฐานของ 2.5 G ที่จะช่วยให้โทรศัพท์มือถือสามารถให้บริการโมบายล์อินเตอร์เน็ตได้ นอกจากนี้เทคโนโลยีหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างสูงในขณะนี้คือ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ซึ่งเป็นระบบเชื่อมโยงระหว่างคอมพิวเตอร์หรือเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ใช้สายเข้าด้วยกัน หรือการเชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ต โดยอาศัยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency: RF) รับส่งข้อมูลแทนสายเคเบิล กล่าวคือผู้ใช้งานสามารถเชื่อมโยงเข้ากับระบบเครือข่ายจากพื้นที่ใดก็ได้ที่อยู่ในรัศมีของสัญญาณ และระบบยังสามารถแก้ปัญหาเรื่องการติดตั้งสายนำสัญญาณในพื้นที่ที่ทำได้ลำบาก นอกจากนี้เทคโนโลยีทางด้าน WLAN ก็ได้มีการพัฒนามาตรฐานใหม่ ๆ ออกมาหลายมาตรฐาน ซึ่งมุ่งที่จะเพิ่มอัตราเร็วของการส่งข้อมูลให้สูงขึ้นเป็นลำดับ และยังมีแนวคิดที่จะนำระบบ WLAN เข้ามาเสริมการให้บริการแก่ระบบเซลลูลาร์อีกด้วย จากความสำคัญดังกล่าว ทำให้มีการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ระบบ WLAN ออกมาเป็นจำนวนมาก สายอากาศนับเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นตัวช่วยให้อุปกรณ์ WLAN สามารถแพร่กระจายคลื่นออกไปในอากาศทิศทางต่าง ๆ ได้ ซึ่งสามารถแบ่งสายอากาศออกตามการแพร่กระจายคลื่นได้คือ สายอากาศแบบมีทิศทาง (directional antenna) เป็นสายอากาศที่มีลักษณะการกระจายคลื่นในแนวทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ทำให้ผู้ใช้งานสามารถบังคับทิศทางการรับส่งคลื่นได้ตามที่ต้องการ สายอากาศประเภทนี้นิยมใช้ในงานภายนอกอาคาร (outdoor) สำหรับการเชื่อมโยงแบบจุดไปจุด และอีกประเภทหนึ่งคือสายอากาศแบบรอบทิศทาง (omnidirectional antenna) เป็นสายอากาศที่มีลักษณะการกระจายคลื่นในแนวรอบ ๆ สายอากาศ โดยคลื่นจะถูกแพร่กระจายออกไปทุกทิศทาง ซึ่งสายอากาศประเภทนี้นิยมใช้งานภายในอาคาร (indoor) หรือใช้สำหรับการเชื่อมโยงแบบจุดไปหลายจุด โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ WLAN เช่น จุดเข้าถึงเครือข่าย (access point) และแลนด์การ์ดไร้สาย ส่วนใหญ่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทาง ซึ่งสายอากาศประเภทนี้ได้แก่ สายกาศแบบไดโพลเส้นตรง (linear dipole) สายอากาศแบบร่อง (slot antenna) สายอากาศแบบบ่วง (loop antenna) สายอากาศไมโครสตริป (microstrip antenna) เป็นต้น ในการติดตั้งจุดเข้าถึงเครือข่าย จะถูกติดตั้งที่บริเวณ ผนังของห้องหรืออาคาร เนื่องจากสายอากาศดังกล่าวมีการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง ดังนั้นจึงทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานโดยเปล่าประโยชน์ไปในทิศทางที่ไม่ต้องการ เช่น บริเวณที่ไม่มีผู้ใช้งานระบบ WLAN เป็นต้น นอกจากนี้ ถ้าต้องการกำหนดพื้นที่ใช้งานระบบ WLAN เช่น ต้องการให้สัญญาณครอบคลุมเฉพาะห้อง ๆ หนึ่งเท่านั้น สายอากาศเหล่านี้จึงไม่สามารถตอบสนองกับความต้องการได้ จากข้อจำกัดและปัญหาดังกล่าว สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปลำคลื่นกว้าง (broad-beam microstrip reflectarray antenna) ที่กล่าวใน P. Krachodnok and R. Wongsan [19] จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบ WLAN สำหรับใช้งานภายในอาคาร ที่ต้องการใช้สายอากาศเพียงตัวเดียวสำหรับแพร่กระจายคลื่นในห้องขนาดใหญ่ โดยสายอากาศจะถูกติดตั้งบนกึ่งกลางของเพดานห้อง ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่ง ลำคลื่นที่ส่องลงมาจะมีลักษณะครอบคลุมพื้นที่เป็นวงกลม ดังนั้นผู้ใช้งานระบบ WLAN ที่อยู่ภายในห้องนี้จะสามารถเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงเครือข่ายได้โดยใช้สายอากาศเพียงตัวเดียว นอกจากนี้สายอากาศดังกล่าวยังมีคุณสมบัติที่เหมาะสำหรับใช้ประโยชน์กับดาวเทียมวง โคจรต่ำได้อีกด้วย เนื่องจากลำคลื่นให้พื้นที่ครอบคลุมเป็นบริเวณกว้าง ทำให้ระยะเวลาในการสื่อสารระหว่างดาวเทียมและสถานีฐานบนพื้นดินได้นานขึ้น



รูปที่ 1.1 การประยุกต์ใช้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปลำคลื่นกว้าง
กับการสื่อสารระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายในห้องขนาดใหญ่

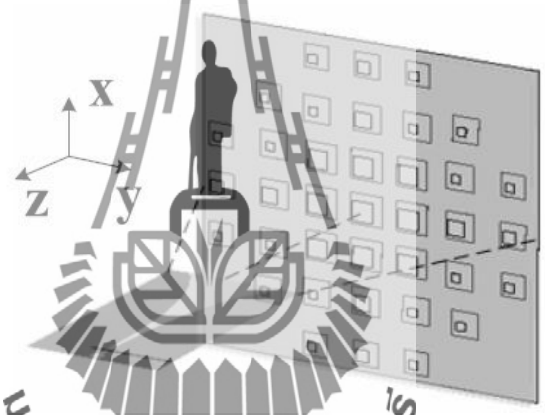


รูปที่ 1.2 สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป

รูปที่ 1.2 แสดงสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นตัวสะท้อนที่มีลักษณะแบนราบ (planar reflector) โดยตัวสะท้อนประกอบด้วยแถวลำดับของแพทซ์ หรือแถวลำดับสะท้อน (reflectarray) และส่วนที่สองเป็นตัวป้อนสัญญาณซึ่งมักใช้เป็น สายอากาศปากแตร (horn antenna) ติดตั้งอยู่ด้านหน้าตัวสะท้อน โดยประสิทธิภาพของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปจะขึ้นอยู่กับแบบรูปการแผ่พลังงาน (pattern) ของตัวป้อน และแผ่นสะท้อน แต่สายอากาศปากแตรจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานตกกระทบบนตัวสะท้อนไม่สม่ำเสมอ โดยกำลังงานตกกระทบจะลดลงอย่างรวดเร็วจากบริเวณศูนย์กลางตัวสะท้อนไปยังบริเวณขอบตัวสะท้อน ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอะเพอเจอร์ (aperture efficiency) ให้กับสายอากาศแถวลำดับสะท้อน งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการออกแบบตัวป้อนสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้สายอากาศเส้นร่องแบบเรียว (tapered slot-line antenna) ซึ่งเป็นการพัฒนาสายอากาศแถวลำดับสะท้อนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเน้นออกแบบให้แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวป้อนมีคลื่นตกกระทบตัวสะท้อนสม่ำเสมอ นอกจากนั้นโดยทั่วไปสายอากาศแถวลำดับสะท้อนจะถูกออกแบบให้มีลำคลื่นแคบ เพื่อให้มีสภาพเจาะจงทิศทางสูง ทำให้สามารถเลื่อนตำแหน่งตัวป้อนให้เหมาะสมได้โดยไม่บดบังทิศทางการแผ่กระจาย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คลื่น แต่ถ้าออกแบบให้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนมีลำคลื่นกว้างเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานในระบบ WLAN ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การใช้สายอากาศเส้นร่องแบบเรียวเป็นตัวป้อนกำลังสามารถช่วยลดการบดบังการแผ่กระจายคลื่นได้ด้วย และข้อดีของสายอากาศเส้นร่องแบบเรียวอีกอย่างคือให้ความกว้างแถบที่กว้าง จึงเหมาะสำหรับนำมาเป็นตัวป้อนสัญญาณของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนเพื่อใช้งานในระบบ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE 801 a,b,g รูปที่ 1.3 แสดงสายอากาศแถวลำดับสะท้อนที่มีตัวป้อนเป็นสายอากาศเส้นร่องแบบเรียว โดยการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศ สามารถหาคำตอบได้จากการใช้โปรแกรมจำลองผลสำเร็จรูป CST Microwave studio จากนั้น จะทำการสร้างสายอากาศต้นแบบ เพื่อ นำไปวัดทดสอบคุณลักษณะเปรียบเทียบความแม่นตรงจากโปรแกรมจำลองผล ต่อไป



รูปที่ 1.3 สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปที่มีสายอากาศเส้นร่องแบบเรียวเป็นตัวป้อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 สร้างสายอากาศวิวอลดิ สำหรับเป็นสายอากาศป้อนให้กับสายอากาศสะท้อนไมโครสติป

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ความกว้างแถบลำคลื่น

1.2.3 สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาในภาคทฤษฎีของวิชาต่างๆนำมาปฏิบัติ และประยุกต์ใช้ได้จริง

1.2.4 สร้างสายอากาศต้นแบบ และวัดผลการทดสอบเทียบกับผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST

1.3 ขอบเขตงาน

1.3.1 ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการออกแบบ และการสร้างสายอากาศวิวอลดิ

1.3.2 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม MATLAB และ CST

1.3.3 ออกแบบและสร้างสายอากาศวิวอลดิที่ความถี่ 5.2 GHz

1.3.4 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ เช่นรูปแบบการแผ่กระจายกำลังงาน อิมพีแดนซ์อัตราขยาย ความกว้างแถบลำดับคลื่น

1.3.5 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูล เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์ต่างๆ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับการออกแบบ และการสร้างสายอากาศวิวอลดิ

1.4.2 ศึกษาการใช้โปรแกรม MATLAB และ CST

1.4.3 ออกแบบสายอากาศวิวอลดิที่ความถี่ 5.2 GHz

1.4.4 สร้างสายอากาศต้นแบบตามที่ออกแบบ

1.4.5 วัดทดสอบสายอากาศ

1.4.6 สรุปผลและนำเสนอโครงงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

เนื่องด้วยในปัจจุบันนี้เป็นยุคของการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสาร แบ่งปัน(share)ข้อมูลทรัพยากรร่วมกัน โดยเฉพาะองค์กรด้านธุรกิจต่างๆ เมื่อใช้ เครือข่ายไร้สาย (Wireless Lan) ผู้ใช้สามารถเข้าถึง ข้อมูลได้โดยไม่ต้องมองหา ปลั๊กต่อสายแลนและผู้มีหน้าที่ดูแล เครือข่าย สามารถติดตั้ง หรือขยายการใช้งานโดยปราศจากการติดตั้งสายหรือเคลื่อนย้ายไปตามจุดต่างๆ เครือข่ายไร้สาย (Wireless Lan) ทำให้เกิดความสะดวกแก่ผู้ใช้ ลดค่าใช้จ่ายเรื่องสายได้ โดยเฉพาะระบบ การเชื่อมโยงแบบต้องใช้สาย ซึ่งมีแลนแบบอีเทอร์เน็ตเป็นฐานใหญ่ โดยเฉพาะการเชื่อมต่อด้วยสาย UTP ผ่าน hub ทำให้เข้าสู่เครือข่ายด้วยความเร็วสูงถึง 100 เมกะบิตต่อวินาที อีกด้านหนึ่งคือการเชื่อมด้วยสายโทรศัพท์โดยเฉพาะการใช้โมเด็ม และ ADSL ที่เปิดบริการกันมากอยู่ในขณะนี้

จุดเด่นของระบบ เครือข่ายไร้สาย มีหลายประการ โดยเฉพาะในอดีตปัญหาทางเทคโนโลยีเป็นข้อจำกัด เพราะไม่สามารถสร้างระบบ VLSI (วงจรรวมขนาดใหญ่มาก) ที่ใช้งานย่านความถี่สูงมากกินกำลังไฟฟ้าต่ำ มีขนาดเล็กและเบา ปัจจุบันสามารถพัฒนาวงจร CMOS ซึ่งเป็นหัวใจของการผลิตชิพที่มีวงจรซับซ้อน ให้กินกำลังงานไฟฟ้าต่ำมาก และใช้กับความถี่สูงย่านไมโครเว ฟได้ เมื่อเป็นเช่นนี้ระบบ เครือข่ายท้องถิ่น ไร้สายจึงตอบสนองความต้องการเด่นๆต่อไปนี้ได้

ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ระบบเครือข่ายไร้สายช่วยให้ผู้ใช้สามารถ เข้าถึงข้อมูลได้ทุกๆที่ ในองค์กร การเคลื่อนย้ายของผู้ใช้งาน ไม่เฉพาะเจาะจงอยู่ในที่ทำงานอย่างเดียว อาจครอบคลุมเลยไปยังที่ต่าง ๆ เช่น การจัดประชุมสัมมนา การเดินทาง ไปยังสถานที่ต่าง ๆ โดยผู้ใช้ติดตั้งไปเฉพาะโน้ตบุ๊คก็สามารถเข้าถึงเครือข่ายได้

การติดตั้งระบบ เร็วและง่ายไม่ต้องยุ่งยากกับการลากสายเคเบิลผ่านกำแพง

ความยืดหยุ่นของการติดตั้ง เครือข่ายไร้สาย ทำให้เครือข่ายองค์กรปรับขนาดและความเหมาะสมได้ง่าย ไม่ยุ่งยากในเรื่องการเดินสายสื่อสาร ซึ่งมีปัญหาในเรื่องสถานที่ การปรับปรุงสถานที่เพื่อเดินสายสัญญาณเป็นเรื่องไม่พึงปรารถนา เครือข่ายไร้สายสามารถครอบคลุมพื้นที่เป็นเซลเล็กๆ โดยมีการเชื่อมโยงระหว่างอาคารได้ด้วยระบบแบบจุดไปจุด ทำให้ดำเนินการได้เร็วและสะดวกต่อการติดตั้ง

ลดต้นทุนขององค์กร ในระยะแรกของการลงทุนติดตั้งระบบเครือข่ายไร้สาย มีราคาค่อนข้างสูงกว่า wired LAN แต่ค่าใช้จ่ายโดยรวมแล้ว (รวมค่าติดตั้ง และค่าเช่าสาย) เครือข่ายไร้สายจะต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัดยิ่งถ้าคิดในระยะยาวแล้วต่ำกว่ามาก

Scalability เครือข่ายไร้สายสามารถที่จะถูก config ได้หลายโทโปโลยี เพื่อให้บรรลุตาม ความต้องการ การ config นั้นง่ายมากตั้งแต่ แบบ peer to peer สำหรับผู้ใช้จำนวนไม่มาก ไปจนถึง เต็มที่ของ infrastructure ที่มีผู้ใช้จำนวนมาก นอกจากนี้ จุดเด่นของระบบเครือข่ายไร้สายยังอยู่ที่การมีมาตรฐานที่ยอมรับกันทั่ว หมายถึงสามารถใช้งานร่วมกันได้ และเป็นมาตรฐานกลางที่กำหนดโดย IEEE มีการวางรูปแบบให้รับส่งกันได้อย่างดี โดยเฉพาะเรื่องการรักษาความปลอดภัย ของคลื่นสัญญาณที่อาจถูกดักฟังได้ กรณีนี้ก็มีวิธีการเข้ารหัส การสร้างระบบเอ็นคริป ข้อมูล การให้บริการการใช้งาน และการดูแลรักษาเครือข่ายทำได้ง่ายกว่าแบบใช้สายมาก ทั้งนี้เพราะระบบได้รับการออกแบบมาให้เป็นแบบอัตโนมัติ และตรวจสอบกันเอง ระบบเครือข่ายไร้สายจึงมีจุดเด่นที่ชัดเจน และจะมีบทบาทที่สำคัญของเครือข่ายในอนาคต อันใกล้นี้

เมื่อกล่าวถึงเทคโนโลยีไร้สายแล้ว ระบบเครือข่ายไร้สาย เป็นเทคโนโลยีที่มีผู้ให้ความสนใจมาก เนื่องจากสามารถนำเทคโนโลยี เครือข่ายไร้สาย (WLAN) มาประยุกต์ใช้กับองค์ก รสถานศึกษารวมถึง หน่วยงานราชการ ทั้งนี้เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของการติดตั้งระบบเครือข่าย อีกทั้ง ระบบเครือข่ายไร้สาย มีความคล่องตัวสูงในการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับระบบเครือข่าย

ในอดีต WLAN ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากอุปกรณ์ เครือข่ายไร้สาย มีราคาสูงและมีความเร็วในการติดต่อสื่อสารประมาณ 2 Mbps (สองล้านบิตในหนึ่งวินาที) เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วของอุปกรณ์เครือข่ายแบบใช้สายซึ่งมีความเร็ว ประมาณ 100 Mbps หรือ 50 เท่า ทำให้ประสิทธิภาพของการติดต่อสื่อสารที่ใช้ WLAN ไม่ดีเท่าที่ควรเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเดิมซึ่งใช้สาย

ปัจจุบันอุปกรณ์เครือข่าย ไร้สาย มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยมีความเร็วประมาณ 11 Mbps ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานถึงแม้ว่ายังมีความเร็วน้อยกว่าแบบใช้สายถึง 10 เท่า แต่การใช้งานทั่วไป เช่น การส่ง E-mail การค้นหาข้อมูลใน Web Site หรือการดูหนังโดยใช้อินเตอร์เน็ต (IP TV) ความเร็วขนาด 10 Mbps เพียงพอต่อการใช้งาน ดังนั้นทำให้ WLAN มีความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ และเป็นหนทางสำหรับบริษัทที่ต้องการระบบเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพ รองรับการทำงานของอุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอด เช่น คอมพิวเตอร์ Notebook หรือ เครื่อง Personal Digital Assistant(PDA)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.2 ความเป็นมาของเครือข่ายไร้สาย

ความต้องการใช้ระบบเครือข่ายไร้สายมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบเซลลูลาร์โฟน หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ แต่ระบบ เครือข่ายไร้สายต้องการเซลขนาดเล็ก และเป็นเซลเฉพาะกิจ เป็นเซลส่วนตัวที่เชื่อมกับเครือข่ายได้ ดังนั้นจึงมีความพยายามที่พัฒนาเครือข่ายแลนแบบไร้สาย เพื่อให้รองรับความต้องการของผู้ใช้ กลุ่มผู้ใช้ที่มีความต้องการใช้แลนแบบไร้สายได้แก่ ร้านค้าปลีก ที่เก็บสินค้า โรงพยาบาล ธุรกิจขนส่ง มหาวิทยาลัย ตลอดจน องค์กรภาคธุรกิจต่าง ๆ ในปี ค.ศ. 1997 สถาบัน IEEE ได้กำหนดมาตรฐานเครือข่ายไร้สายแบบเดียวกับอีเทอร์เน็ต และเป็นชุดเดียวกับ 802 โดยให้ชื่อว่า IEEE 802.11 มาตรฐานที่เกิดขึ้นในปีนั้นยังมี ข้อจำกัดในทางเทคโนโลยี จึงกำหนดระบบการรับส่งสัญญาณด้วยขนาดความเร็ว 2 เมกะบิตต่อวินาที ระบบเครือข่ายไร้สายIEEE802.11 จึงเป็นที่รู้จักกันตั้งแต่นั้นมา

ในปี ค.ศ. 1999 IEEE ได้พัฒนามาตรฐานใหม่ของแลนระบบไร้สายและให้ชื่อ มาตรฐานที่ IEEE 802.11b โดยมีการพัฒนาให้ใช้ความเร็วในการรับส่งได้ถึง 11 เมกะบิตต่อวินาที และเป็นแบบฟลูดูเพล็กซ์คือ รับและส่งแยกกันด้วยความเร็ว 11 เมกะบิตต่อวินาที จากมาตรฐาน 802.11b ที่ประกาศออกไป ทำให้มีผู้ผลิตเครือข่ายไร้สายออกมามาก โดยเฉพาะบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์เครือข่ายขนาดใหญ่ทุกบริษัทให้ ความสนใจและเร่งการพัฒนาปรับปรุงกันต่อไป การพัฒนาเครือข่ายไร้สายมิได้หยุดอยู่เพียงแค่การทำให้เชื่อมต่อถึงกันได้เท่านั้น ระบบการดูแลรักษาความปลอดภัยของสัญญาณข้อมูลที่แพร่กระจายในอากาศ มีการร่างมาตรฐานทางด้านเอ็นคริปชั่น และการสร้างระบบดูแลรักษาความปลอดภัยการเข้าถึง มีการพัฒนาระบบการ เคลื่อนย้ายเข้าสู่เครือข่ายหนึ่งไปอีกเครือข่ายหนึ่ง หรือที่เรียกว่า โรมมิง (Roaming) มีการแบ่งโหลดระหว่างเซล โดยการตรวจสอบความแรงของสัญญาณเพื่อให้ขนาด ของพื้นที่ทับซ้อนกันได้

2.3 ความหมายของระบบเครือข่ายไร้สาย

ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ เทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในชีวิตประจำวันเพราะช่วยอำนวย ความสะดวกในการติดต่อสื่อสาร เช่น ในกรณีที่รถเกิดอุบัติเหตุ ผู้ขับสามารถใช้โทรศัพท์มือถือโทรขอความช่วยเหลือได้ทันท่วงที นอกจากโทรศัพท์มือถือแล้วอุปกรณ์ Personal Information Management (PIM) เช่น เครื่อง Personal Digital Assistant (PDA) เริ่มมีผู้สนใจและใช้งานมากขึ้น เช่นใช้ในการรับส่ง E-mail การจัดตารางนัดหมาย หรือ การเก็บข้อมูลการเงินส่วนตัว ปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ค มีขนาดที่เล็กลง แต่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น เช่น เครื่อง Tablet PC ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์การติดต่อสื่อสารชนิด เครือข่าย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ไร้สาย กับระบบเครือข่ายเป็นส่วนหนึ่งของเครื่อง โดยผู้ใช้งานไม่จำ เป็นต้องซื้ออุปกรณ์ติดต่อสื่อสารเพิ่มเติม

เมื่อกล่าวถึงคำว่าMobile แล้ว นิยมใช้กับคำว่าWireless แต่ทั้งสองคำมีความแตกต่างกันคือ

- Mobile หมายถึง ความสามารถในการเคลื่อนย้าย

- Mobile Device หมายถึง อุปกรณ์ขนาดเล็กที่สามารถพกพาได้ เช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่อง PDA และ Notebook

- Wireless เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการส่งภาพ เสียง และข้อมูล จากอีกที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง โดยไม่ใช้สายไฟ แต่ใช้คลื่นวิทยุหรืออาจใช้คลื่นอินฟาเรดเป็นตัวกลางในการสื่อสาร

- LAN มาจากคำว่า Local Area Network คือ ระบบเครือข่ายในระยะทางใกล้ ๆ เช่น ภายในห้องทำงาน การเชื่อมต่อระหว่างห้องทำงาน ระหว่างชั้น หรือ ระหว่างตึก

ดังนั้น Wireless LAN หมายถึง การติดต่อสื่อสารในระยะทางใกล้ ๆ โดยไม่ใช้ สายไฟและอุปกรณ์สื่อสารคือ Mobile Device หรือ Notebook

สำหรับเครือข่ายไร้สาย ที่ใช้สัญญาณวิทยุ อุปกรณ์ที่เป็นเครื่องรับข้อมูลสามารถเคลื่อนย้ายไปมาได้อย่างอิสระภายใต้ รัศมีความแรงของการใช้คลื่นวิทยุ คือ การรับส่งข้อมูลมีความผิดพลาดสูง เพราะคลื่นวิทยุถูกรบกวนได้ง่ายจากสัญญาณภายนอก เช่น การเปิดเครื่องเตา อบไมโครเวฟ อาจทำให้สัญญาณ ไมโครเวฟ เข้าไปรบกวนระบบ เครือข่ายไร้สาย ได้ ทำให้การรับส่งข้อมูลผิดพลาด ส่วนเครือข่ายไร้สาย ชนิดที่ใช้สัญญาณอินฟาเรดในการใช้งาน อุปกรณ์เครื่องรับและเครื่องส่งต้องติดตั้งไว้ในจุดที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง เพราะอินฟาเรดเป็นคลื่นแสง ไม่สามารถทะลุผ่านสิ่งของได้ การทำงานของเครือข่ายไร้สาย ชนิดอินฟาเรด คล้ายการใช้รีโมท คอนโทรล ในการเปลี่ยนช่องของโทรทัศน์ ข้อดีของการใช้คลื่นอินฟาเรด คือ มีความสามารถในการรบกวนจากสัญญาณภาพนอกได้ดี

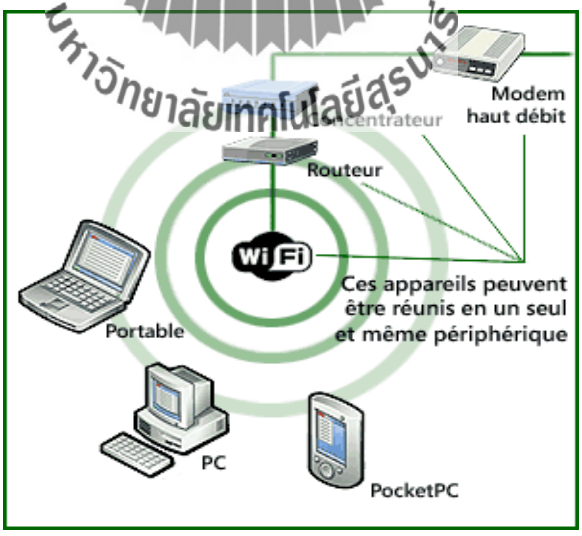
เครือข่ายไร้สาย ชนิดที่ใช้สัญญาณวิทยุเหมาะสำหรับใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง Mobile Device กับระบบเครือข่ายหลัก เช่น การใช้เครื่อง PDA ท่อง Web Site ภายในที่ทำงาน ผู้ใช้งานสามารถเดินไปห้องต่างๆในที่ทำงาน พร้อมทั้งเรียกดูข้อมูลจากอินเตอร์เน็ตได้ตลอด เวลา สำหรับเครือข่ายไร้สาย ชนิดที่ใช้อินฟาเรด เหมาะสำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างเครือข่ายหลักที่ไม่สามารถเดินสายไฟได้ เช่น การเชื่อมต่อเครือข่ายระหว่างตึกซึ่งอยู่คนละฝั่งถนน

อุปกรณ์ Access Point ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลกับ Mobile Devices แบบไร้สาย Mobile Devices สามารถเคลื่อนที่ภายใน Wireless Network ได้ ดังรูป

รูปที่ 2.1 อุปกรณ์ Access Point

ส่วนอุปกรณ์ในระบบ Wired Network หรือที่ใช้สายไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ และใช้เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์บนโต๊ะทำงาน แต่เมื่อใดที่ผู้ใช้งานไม่ได้อยู่ที่โต๊ะทำงาน และต้องการทำงานโดยไม่ขาดช่วง สามารถเปลี่ยนมาใช้ระบบ Wireless Network ได้โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook โดยทั่วไประบบที่ใช้ Wireless Network จำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบ Wired Network ก่อนเพราะต้องใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารกับระบบอินเตอร์เน็ต

มาตรฐานเทคโนโลยีไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีมากมาย หลายมาตรฐานเช่น Bluetooth, IEEE 802.11, IrDA , HiperLAN , HomeRF ซึ่งออกแบบมาสำหรับการใช้งานแบบต่าง ๆ แต่มาตรฐานสำหรับเทคโนโลยีไร้สาย ที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางคือ IEEE 802.11 หรือนิยมเรียกว่า WiFi (ย่อมาจากคำว่า Wireless Fidelity)



รูปที่ 2.2 การใช้งาน Wireless Fidelity

2.4 มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11

เครือข่ายไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2540 โดยสถาบัน IEEE (The Institute of Electronics and Electrical Engineers) ซึ่งมีข้อกำหนดระบุไว้ว่าผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายในส่วนของ PHY Layer นั้นมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลที่ความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 เมกะบิตต่อวินาที โดยมีสื่อนำสัญญาณ 3 ประเภทให้เลือกใช้งานอันได้แก่ คลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์, 2.5 กิกะเฮิรตซ์และคลื่นอินฟาเรด ส่วน.ในระดับชั้น MAC Layer นั้นได้กำหนดกลไกของการทำงานแบบ CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับ CSMA/CD (Collision Detection) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet ซึ่งนิยมใช้งานบนระบบเครือข่ายแลนใช้สาย โดยมีกลไกในการเข้ารหัสข้อมูลก่อนแพร่กระจายสัญญาณไปบนอากาศ พร้อมกับมีการตรวจสอบผู้ใช้งานอีกด้วย

มาตรฐาน IEEE 802.11 ในยุคเริ่มแรกนั้นให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งไม่มีการรับรองคุณภาพของการให้บริการที่เรียกว่า QoS (Quality of Service) ซึ่งมีความสำคัญในสภาพแวดล้อมที่มีแอพพลิเคชันหลากหลายประเภทให้ใช้งาน นอกจากนั้นกลไกในเรื่องการรักษาความปลอดภัยที่นำมาใช้ก็ยังมีช่องโหว่จำนวน มาก IEEE จึงได้จัดตั้งคณะทำงานขึ้นมาหลายชุดด้วยกัน เพื่อทำการพัฒนาและปรับปรุงมาตรฐานให้มีศักยภาพเพิ่มสูงขึ้น

- **IEEE 802.11a** เป็นมาตรฐานที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่เมื่อปี พ.ศ. 2542 โดยใช้เทคโนโลยี OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เพื่อพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์ไร้สายมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยอัตราความ เร็วสูงสุด 54 เมกะบิตต่อวินาที โดยใช้คลื่นวิทยุย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานโดยทั่วไปในประเทศไทย เนื่องจากสงวนไว้สำหรับกิจการทางด้านดาวเทียม ข้อเสียของผลิตภัณฑ์มาตรฐาน IEEE 802.11a ก็คือมีรัศมีการใช้งานในระยะสั้นและมีราคาแพง ดังนั้นผลิตภัณฑ์ไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11a จึงได้รับความนิยมน้อย
- **IEEE 802.11b** เป็นมาตรฐานที่ถูกตีพิมพ์และเผยแพร่ออกมาพร้อมกับมาตรฐาน IEEE 802.11a เมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและได้รับความนิยมในการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่ สุด ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมาให้รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า CCK (Complimentary Code Keying) ร่วมกับเทคโนโลยี DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราความเร็ว

สูงสุดที่ 11 เมกะบิตต่อวินาที โดยใช้คลื่นสัญญาณวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่อนุญาตให้ใช้งานในแบบสาธารณะทางด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้ความถี่ย่านนี้มีชนิด ทั้งผลิตภัณฑ์ที่รองรับเทคโนโลยี Bluetooth, โทรศัพท์ไร้สายและเตาไมโครเวฟ จึงทำให้การใช้งานนั้นมีปัญหาในเรื่องของสัญญาณรบกวนของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ข้อดีของมาตรฐาน IEEE 802.11b ก็คือ สนับสนุนการใช้งานเป็นบริเวณกว้างกว่ามาตรฐาน IEEE 802.11a ผลิตภัณฑ์มาตรฐาน IEEE 802.11b เป็นที่รู้จักในเครื่องหมายการค้า Wi-Fi ซึ่งกำหนดขึ้นโดย WECA (Wireless Ethernet Compatability Alliance) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับเครื่องหมาย Wi-Fi ได้ผ่านการตรวจสอบและรับรองว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEEE 802.11b ซึ่งสามารถใช้งานร่วมกันกับผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตรายอื่นๆ ได้

- **IEEE 802.11g** เป็นมาตรฐานที่นิยมใช้งานกันมากในปัจจุบันและได้เข้ามาทดแทนผลิตภัณฑ์ที่รอง รับมาตรฐาน IEEE 802.11b เนื่องจากสนับสนุนอัตราความเร็วของการรับส่งข้อมูลในระดับ 54 เมกะบิตต่อวินาที โดยใช้เทคโนโลยี OFDM บนคลื่นสัญญาณวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และให้รัศมีการทำงานที่มากกว่า IEEE 802.11a พร้อมความสามารถในการใช้งานร่วมกันกับมาตรฐาน IEEE 802.11b ได้ (Backward-Compatible)
- **IEEE 802.11e** เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับการใช้งานแอพพลิเคชันทางด้านมัลติเมียอย่าง VoIP (Voice over IP)เพื่อควบคุมและรับประกันคุณภาพของการใช้งานตามหลักการ QoS (Quality of Service) โดยการปรับปรุง MAC Layer ให้มีคุณสมบัติในการรับรองการใช้งานให้มีประสิทธิภาพ
- **IEEE 802.11f** มาตรฐานนี้เป็นที่รู้จักกันในนาม IAPP (Inter Access Point Protocol) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับจัดการกับผู้ใช้งานที่เคลื่อนที่ข้ามเขต การให้บริการของ Access Point ตัวหนึ่งไปยัง Access Point เพื่อให้บริการในแบบโรมมิงสัญญาณระหว่างกัน
- IEEE 802.11h มาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายที่ใช้งานย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ให้ทำงานถูกต้องตามข้อกำหนดการใช้ความถี่ของประเทศในทวีปยุโรป
- **IEEE 802.11i** เป็นมาตรฐานในด้านการรักษาความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สาย โดยการปรับปรุง MAC Layer เนื่องจากระบบเครือข่ายไร้สายมีช่องโหว่มากมายในการใช้งาน โดยเฉพาะฟังก์ชันการเข้ารหัสแบบ WEP 64/128-bit ซึ่งใช้คีย์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับสภาพการใช้งานที่ต้องการความมั่นใจในการรักษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ความ ปลอดภัยของการสื่อสารระดับสูง มาตรฐาน IEEE 802.11i จึงกำหนดเทคนิคการเข้ารหัสที่ใช้คีย์ชั่วคราวด้วย WPA, WPA2 และการเข้ารหัสในแบบ AES (Advanced Encryption Standard) ซึ่งมีความน่าเชื่อถือสูง

- **IEEE 802.11k** เป็นมาตรฐานที่ใช้จัดการการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย ทั้งจัดการการใช้งานคลื่นวิทยุให้มีประสิทธิภาพ มีฟังก์ชันการเลือกช่องสัญญาณ, การโรมมิงและการควบคุมกำลังส่ง นอกจากนั้นก็ยังมีการร้องขอและ ปรับแต่งค่าให้เหมาะสมกับการทำงาน การหารัศมีการใช้งานสำหรับเครื่องไคลเอนต์ที่เหมะสมที่สุดเพื่อให้ระบบ จัดการสามารถทำงานจากศูนย์กลางได้
- **IEEE 802.11n** เป็นมาตรฐานของผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายที่คาดหมายกันว่า จะเข้ามาแทนที่มาตรฐาน IEEE 802.11a, IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน โดยให้อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลในระดับ 100 เมกะบิตต่อวินาที
- **IEEE 802.1x** เป็นมาตรฐานที่ใช้งานกับระบบรักษาความปลอดภัย ซึ่งก่อนเข้าใช้งานระบบเครือข่ายไร้สายจะต้องตรวจสอบสิทธิ์ในการใช้งานก่อน โดย IEEE 802.1x จะใช้โพรโตคอลอย่าง LEAP, PEAP, EAP-TLS, EAP-FAST ซึ่งรองรับการตรวจสอบผ่านเซิร์ฟเวอร์ เช่น RADIUS, Kerberos เป็นต้น

เทคโนโลยีไร้สาย : IEEE 802.11b

IEEE 802.11b เป็นมาตรฐานล่าสุดสำหรับเครือข่ายไร้สาย ที่ใช้ โปรโตคอลเหมือนอีเทอร์เนท โดยต่อเติมมาจากมาตรฐาน 802.11 เดิมที่มีความเร็วแค่ 1, 2 mbps เท่านั้น จึงไม่เป็นที่ยอมรับนัก ข้อดีของเทคโนโลยี 802.11b นี้นอกจากความเร็วที่สูงถึง 11 Mbps รับ-ส่งข้อมูลแบบฟลูดูเพล็กแล้ว ยังสามารถลดความเร็วลงโดยอัตโนมัติเป็น 1,2,5.5 Mbps เมื่ออยู่ไกลหรือมีคลื่นรบกวนมาก เครือข่ายที่ใช้มาตรฐาน IEEE 802.11b นั้นจะประกอบ ด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Access Point ที่ทำหน้าที่เป็น hub แบบไร้สาย ซึ่งจะสื่อสารกับ Network Interface Card ในเครื่อง PC หรือ Notebook ในสภาพแวดล้อมของสถานที่ ทำงานทั่วไป ตัว Network card และ Access Point จะติดต่อกันได้ภายใน ระยะประมาณ 91 เมตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 2.3 การใช้งาน Wireless Fidelity

อุปกรณ์ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 มีให้เลือกใช้ 3 ประเภทคือ

1. คลื่นวิทยุที่ความถี่สาธารณะ 2.4 GHz (อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุด 11 Mbps)
2. คลื่นวิทยุที่ความถี่สาธารณะ 5 GHz (อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุด 54 Mbps)
3. อินฟราเรด (Infrared) (อัตราการรับส่งข้อมูล 1 และ 2 Mbps)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 2.4 Wireless Adapter

โดยมาตรฐาน IEEE 802.11 นั้น ยังมีมาตรฐานระบุรายละเอียดย่อยอีก โดยใช้ตัวอักษรต่อท้ายเช่น IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, และ IEEE 802.11g ซึ่งจะมีลักษณะต่าง ๆ ดังตัวอย่างตามตารางข้างล่าง

	802.11	802.11a	802.11g
อัตราการับส่งข้อมูลสูงสุด	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
เทคโนโลยีการเข้ารหัส	CCK Complimentary Code Keying	OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing	CCK & OFDM
ความถี่	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz = 11 Mbps 5 GHz = 54 Mbps

ตารางที่ 2.1 ระบุรายละเอียดย่อยของ IEEE 802.11

รองรับการรักษาความปลอดภัยหลายระดับ

- ควบคุมการเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่าย โดยการตั้งค่า NIC Card ของเครื่อง Client กับ Access Point ให้มีค่าตรงกันจึงจะสามารถติดต่อกันได้ ถือเป็นการกำหนดพื้นที่ให้บริการของ Wireless Lan (Wireless Lan Service Area: WLS) นอกจากนี้ยังมีความปลอดภัยในอีกระดับหนึ่ง คือ การบันทึก MAC address ของแต่ละ NIC Card ที่ได้รับอนุญาตให้ติดต่อกับ Access point นั้นๆ ได้ไว้ในตัว Access Point เอง เพียงเท่านี้บุคคลภายนอกก็จะไม่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายได้

- การเข้ารหัสเพื่อป้องกันการดักสัญญาณ ระหว่าง NIC Card กับ Access Point สามารถรองรับการเข้ารหัสสัญญาณเพื่อป้องกันการดักสัญญาณที่กระจายออกไปได้ โดยมีทั้งการเข้ารหัสสัญญาณแบบ 40 บิต และ 128 บิต เรียก Wired Equivalent Privacy (WEP) ซึ่งเป็นมาตรฐานโปรโตคอลความปลอดภัยสำหรับอุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย

2.5 ประโยชน์เครือข่ายไร้สาย

การเจริญเติบโตของระบบเครือข่ายไร้สายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วนับตั้งแต่มีมาตรฐาน 802.11 เกิดขึ้น ระบบเครือข่ายไร้สาย ได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันเครือข่ายไร้สายสามารถใช้งานได้สะดวก และมีความปลอดภัยมากขึ้น และที่สำคัญ ความเร็วในการสื่อสารสูงถึง 54 Mbps มหาวิทยาลัยสามารถใช้เครือข่ายไร้สายโดยนักศึกษาสามารถเข้าถึงบทเรียน Online ต่างๆได้ สามารถสืบค้นข้อมูลบนอินเตอร์เน็ต จากจุดใดจุดหนึ่งของสถาบันได้ และนักศึกษาไม่จำเป็นต้องรอเข้าใช้ห้องบริการคอมพิวเตอร์ของสถาบัน

2.6 สายอากาศ

2.6.1 ความหมายของสายอากาศ

สายอากาศคือ อุปกรณ์ที่ใช้ส่งพลังงานในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งที่มีข้อมูลไปยังที่ๆต้องการข้อมูล โดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง หรือที่เรียกว่าการเชื่อมต่อแบบไร้สาย อาจกล่าวได้ว่าการเชื่อมต่อที่ไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีสายอากาศไว้ใช้งานเสมอ

เดิมสายอากาศเรียกว่า เสาอากาศ เพราะลักษณะ ที่เป็นรูปเสา และ การคุ้นเคยโดยส่วนใหญ่ กับรูปแบบของเสาอากาศทีวี ดังนั้นสายอากาศ จึงอธิบายได้ว่าเป็นเสาอากาศที่มีขนาดเล็กจนไม่แสดงลักษณะเป็นเสาอีก ถูกสร้างอยู่บนระนาบโลหะเพื่อให้สามารถคงรูปไว้ใช้งานได้และ ถูกเรียกว่า “สายอากาศ”ในที่สุด

2.6.2 ประเภทของสายอากาศแบบต่างๆ

จากการพัฒนาเสาอากาศจึงเกิดสายอากาศขึ้นมากมายหลายประเภท สามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

1.สายอากาศแบบเส้นลวด หรือเสาอากาศเดิมนั่นเอง รูปแบบจะมีหลายแบบแต่ส่วนใหญ่จะเป็น แบบ เส้นตรง แบบวงกลม หรือแบบสปริง เป็น ส่วนใหญ่ มักพบเห็นบ่อยๆกับอุปกรณ์เคลื่อนที่ต่างๆเช่นเสาอากาศวิทยุ

2.สายอากาศแบบโครงโลหะ ถูกใช้งานในวงแคบ เฉพาะด้านเท่านั้น ลักษณะเด่นคือสายอากาศแบบนี้ บังคับทิศทางได้แน่นอน เพราะโครงโลหะจะหันปลายไปทางทิศที่ต้องการ โดยทั่วไปแล้วมักพบบอยู่ สามแบบคือแบบ ปิรามิด แบบกรวย และแบบเหลี่ยม ขนาดของสายอากาศชนิดนี้ยาวประมาณ 1-2 ฟุต

3.สายอากาศแบบระนาบหรือเรียกอีกอย่างว่าสายอากาศแบบไมโครสตริป

4.สายอากาศแบบอาเรย์ เป็นการนำสายอากาศแบบเส้นลวดมาเพิ่มประสิทธิภาพขึ้นทำให้รับสัญญาณได้ดีขึ้น แต่ข้อเสียคือทิศทางต้องตรงกันพอดี จึงถูกใช้งานกับอุปกรณ์ที่ไม่เคลื่อนที่ ตัวอย่างที่พบเห็นเป็นประจำคือ เสาอากาศโทรทัศน์ ซึ่งยาวประมาณ 1-2 เมตร

5.จานสายอากาศ ใช้งานกับดาวเทียมหรือการสื่อสาร ที่มีระยะ ทางไกล มาก เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงที่สุด แต่ข้อเสียคือ ทิศทางแคบมากที่สุดเช่นกัน จึงคลาดเคลื่อนไม่ได้เลย และสายอากาศชนิดนี้ยังมีขนาดใหญ่ที่สุดเช่นกัน

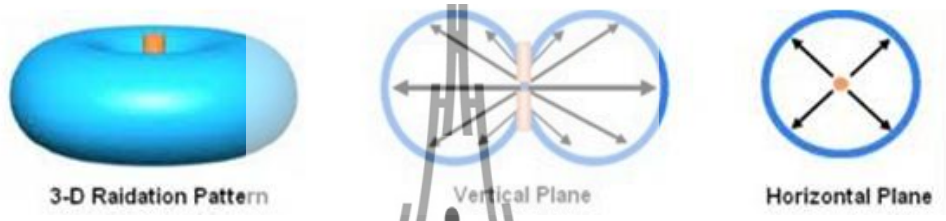
6.สายอากาศอื่นๆ เนื่องจากมีการพัฒนาเพื่อการใช้งานเฉพาะด้านมากมายทำให้เกิดสายอากาศเฉพาะด้านและจัดกลุ่มไม่ได้มากมาย เช่นสายอากาศแบบเลนส์เพื่อใช้งานด้านแสงเป็นต้น มักมีขนาดไม่ใหญ่มาก ยาวไม่เกิน 1 ฟุต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.7 ลักษณะการแผ่กระจายคลื่น (Antenna Radiation Direction)

1. ทิศทาง (Antenna Direction)

วิธีการแผ่กระจายคลื่นจะมี 2 ลักษณะคือ แบบรอบทิศทางและแบบบังคับทิศทาง โดยถ้าสายอากาศแบบ half-wave dipole ถูกว่างในลักษณะแนวตั้งนั้น การแผ่กระจายคลื่นจะมีรูปทรงเหมือนวงของ ''Donut'' ดูรูป 3D ได้ตามรูป จุดที่สัญญาณที่เข้มที่สุดจะอยู่ในแนวนอนตรง (มองตามภาพ) และจะเท่ากันแบบรอบทิศทาง



รูปที่ 2.5 วิธีการแผ่กระจาย

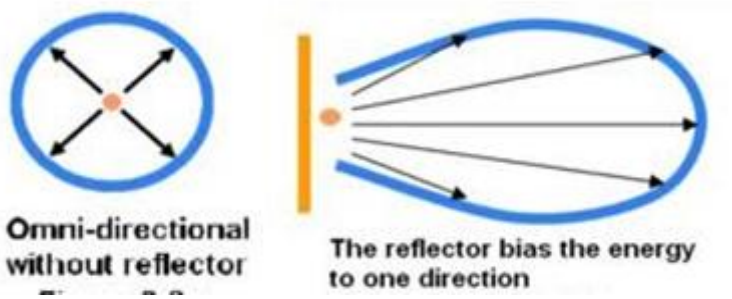
2. การบังคับทิศทาง (Antenna Radiation Enhancement)

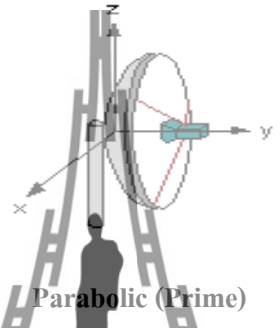
เราสามารถควบคุมรูปทรงของการแผ่กระจายคลื่น ให้แบนราบลงได้ด้วยการจัดขบวนของสายอากาศให้เป็นท่อนๆ ดังจะเห็นได้ในสายอากาศประเภท Rubber duck หรือเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า OMNI

รูปที่ 2.6 วิธีการบังคับทิศทางแผ่กระจาย

รวมถึงสามารถควบคุมทิศทางการแผ่กระจายคลื่นได้ โดยหลักการสะท้อน เหมือนสาย อากาศ แบบ Panel โดยวางแผ่โลหะ (Flat) ไว้ที่ด้านหนึ่งเพื่อทำหน้าที่สะท้อนคลื่นไปทิศทางเดียว ซึ่งมันจะช่วยเพิ่มความเข้มของคลื่น ทำให้รับ-ส่งได้ไกลขึ้น รูปทรง Parabolic ก็เป็นอีก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี





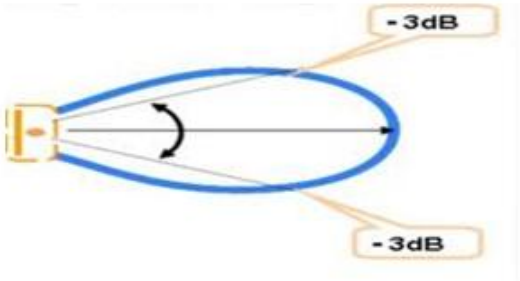
Parabolic (Prime)

รูปที่ 2.7 วิธีการบังคับทิศทางแผ่กระจาย

พาราโบลิก เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการสะท้อนคลื่นให้ไปในทิศทางเดียวโดยที่จานแบบทึบจะดีที่สุดกว่าสายอากาศทุกประเภท แต่มีข้อเสียตรงที่ต้านลมทำให้ติดตั้งในที่สูงไม่ดี หรือติดตั้งได้แต่ต้องมีการปิดหน้าด้วยผ้าหรือกระโจมกันลม รองลงมาเป็นแบบตะแกรง ซึ่งแบบนี้จะเห็นมีใช้มากกับจานรับสัญญาณดาวเทียม หรือสายอากาศเรดาร์

3. Beam width

ในการหารูปแบบการแผ่กระจายคลื่นนั้น โดยทั่วไปส่วนใหญ่จะเป็นรูปทรงที่ดูเหมือนยืดออกไปหลาย ๆ ทิศทาง แต่จะมีทิศหนึ่งที่มีกำลังมากที่สุด เราเรียกทิศทางช่วงนั้นว่า Main lobe ส่วนทิศทางที่เหลือเรียกว่า Side lobes



รูปที่ 2.8 องศาของอัตราส่วนที่ลดลง3dB จากกำลังสูงสุด

Beam width หมายถึง องศาของอัตราส่วนที่ลดลง 3 dB จากกำลังสูงสุด หรือเมื่อความแรงของ power ลดลงครึ่งหนึ่ง (Loss 3dB ทำให้ Power ตกลง 50%)

4. อัตราส่วนหน้าต่อหลัง (Front to Back Ratio)

การแผ่กระจายคลื่นนอกจากจะมีคลื่นที่พุ่งไปในทิศทางที่กำหนด(ข้างหน้า) แล้วยังมีคลื่นที่พุ่งไปในทิศทางตรงข้าม(ข้างหลัง) อีกเช่นกัน ตามรูป

รูปที่ 2.9 การแผ่กระจายคลื่นในทิศทางตรงข้าม

เราเรียกอัตราส่วนหน้ากับหลังว่า Front to Back Ratio (F/B Ratio) แต่เราไม่ต้องการคลื่นที่พุ่งไปในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับที่ต้องการ ดังนั้นอัตราส่วนนี้ควรจะมีค่ามากที่สุดเท่าที่จะทำได้ คือ มีค่าไปในทิศทางที่กำหนดมากกว่าหายไปในทิศทางอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5. Polarization หรือ Electromagnetic wave form

หมายถึง รูปแบบการแผ่กระจายของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นจะประกอบไปด้วย 2 รูปแบบและทำมุมตั้งฉากกัน คือ Electric field และMagnetic field ทั้ง 2 field จะเป็นตัวบอกทิศทางของ Polarization และสิ่งที่จะบ่งบอกได้ชัดเจนคือ Electric field (E field) โดยทั่วไปแล้วเราจะใช้มุม Vertical polarization antenna แต่ก็ไม่เสมอไปเราก็อาจสามารถประยุกต์ใช้มุม Horizontal polarization antenna ได้ถ้าต้องการขึ้นอยู่กับรูปแบบการติดต่อสื่อสาร

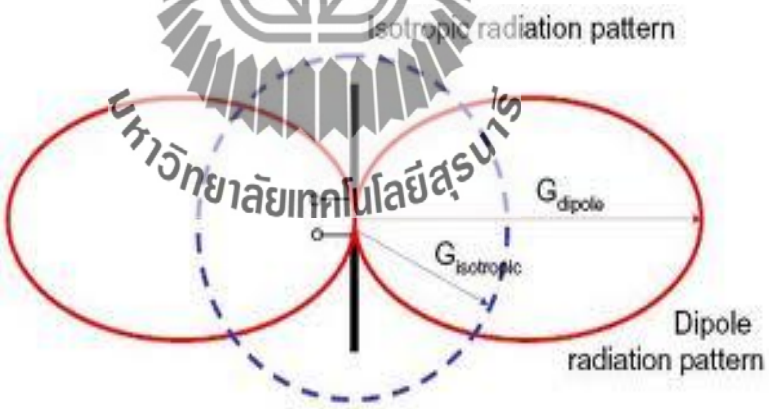
Vertical Poralization **Horizontal Polarization**

รูปที่ 2.10 แสดงการแพร่กระจายตามแนวตั้ง และแนวนอนตามลำดับ

6. การวัดอัตราการขยายของสายอากาศ (Gain)

อัตราขยายของสายอากาศวัดค่าได้จากกำลังสูงสุด ในทิศทางที่ต้องการเทียบกับกำลังส่งที่แพร่กระจายในทางทฤษฎีแบบ Isotropic สายอากาศที่มีอัตราการขยายสูงเหมือนกับเราเอานิ้วปิดท่อสายยางฉีดน้ำทำให้ฉีดไปได้ไกลยิ่งขึ้น หากอัตราขยายน้อยลงจะใกล้ขึ้นแต่กว้างมากขึ้น

Gain = P directional / P isotropic



รูปที่ 2.11 รูปแสดงการแพร่กระจายในทางทฤษฎีแบบ Isotropic

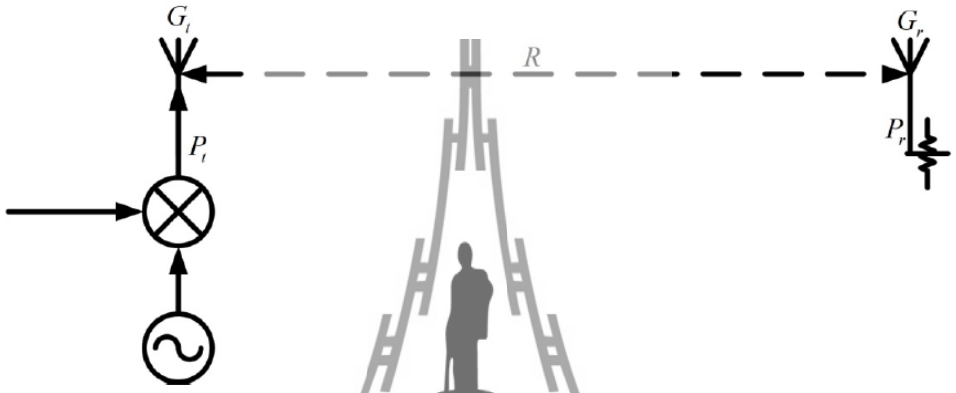
2.8 การคำนวณอัตราขยาย

สมการของฟริสเสนอขึ้นครั้งแรกโดยวิศวกรไฟฟ้าชาวเดนมาร์ค ฮาราล ที. ฟริสมีใจความสำคัญสรุปไว้อย่างง่ายๆคือกำลังของคลื่นวิทยุจะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางและสามารถใช้เพื่ออธิบายถึงการเชื่อมโยงในระบบสื่อสาร เริ่มจากระบบสื่อสารไร้สายอย่างง่าย แสดงในภาพที่

แทนค่า (2.6) ลงใน (2.5) ได้

$$P_r = P_t \frac{G_t G_r \lambda_0^2}{(4\pi R)^2} \qquad (2.5)$$

สมการนี้รู้จักกันว่า สมการการส่งกำลังฟริส กล่าวคือกำลังที่ได้รับแปรผันตรงกับอัตราขยายของสายอากาศและแปรผกผันกับระยะทาง R^2



รูปที่ 2.12 ระบบการสื่อสารไร้สายอย่างง่าย

สมการเชื่อมต่อ และผลรวมการเชื่อมต่อ

สำหรับการเชื่อมต่อระบบสื่อสาร สมการกำลังส่งผ่านสามารถคำนวณหากำลังที่รับได้สมการ(2.5) เขียนใหม่ได้เป็น

$$P_r = P_t G_t G_r (\frac{\lambda_0}{4\pi R})^2 \frac{1}{L_{sys}} \qquad (2.6)$$

การสูญเสียของระบบ $sys\ L$ ชนิดต่างๆรวมอยู่ด้วยสำหรับตัวอย่าง สายอากาศที่ไม่แมทซ์ การสูญเสียในชั้น บรรยากาศ และการสูญเสียในทางกลับกันสมการ (2.8)ในหน่วยเดซิเบลหาได้เป็น

$$10\log P_r = 10\log P_t + 10\log G_t + 10\log G_r - 20\log(\frac{4\pi R}{\lambda_0}) - 10\log L_{sys} \qquad (2.7)$$

หรือ

$$P_r = P_t + G_t + G_r + SL - L_{sys} \tag{2.8}$$

สำหรับสมการ (2.8) สามารถจัดลงตารางได้เรียกว่า รวบรวมการเชื่อมต่อ การคำนวณกำลังที่รับได้จากกำลังส่งผ่าน เป็นอัตราขยายของสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับ และ การหักล้างกันของการสูญเสียในอากาศ และ การเปลี่ยนแปลงการสูญเสีย

2.9 ทฤษฎีบริเวณการแผ่พลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระยะไกล

สำหรับบริเวณสนามไกล (Far-Field Region) นั้นจะเป็นบริเวณที่อยู่ในพื้นที่ที่วงกลมสุด (ถัดบริเวณเฟรสเนล) ซึ่งบ้างครั้งเรียกว่า บริเวณเฟรานโฮเฟอร์ (Fraunhofer Region) การพิจารณาสนามที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะกำหนดให้เทอมของระยะทาง (1/r) มีค่ามากกว่าหนึ่งมากๆ (Br>>1) โดยผลเฉยของสนามที่ได้จะไม่มีองค์ประกอบของสนามเชิงมุม เนื่องจากในเงื่อนไขของสนามไกลนี้ องค์ประกอบของสนามเชิงมุมจะไม่ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างสายอากาศไปยังจุดสังเกตใดๆทั้งสิ้น องค์ประกอบของสนามที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวาง (Transverse Electromagnetic Wave : TEM Wave) กับทิศทางการแผ่คลื่น สามารถนำมาพล็อตเพื่อหาแบบรูปการแผ่พลังงาน(Radiation Pattern) ที่เกิดขึ้นจริงจากสายอากาศที่ต้องการได้ โดยระยะของสนามไกลของสายอากาศทุกชนิดจะถูกกำหนดโดย

$$r > \frac{2D^2}{\lambda} \tag{2.9}$$

สรุปคุณลักษณะที่สำคัญของสนามไกลซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวางนั้น มีสิ่งที่ควรต้องพิจารณาดังนี้

1. ต้องไม่มีองค์ประกอบของสนามใดๆ ในแนวรัศมีทรงกลมหรือในทิศทางที่คลื่นแผ่พลังงานออกไป

2. การกระจายของสนามเชิงมุมจะต้องไม่ขึ้นอยู่กับระยะทาง r

3. เวกเตอร์สนามไฟฟ้าต้องตั้งฉากกับเวกเตอร์สนามแม่เหล็ก

4. อิมพิแดนซ์อินทรินซิกจะมีค่าเท่ากับ $\eta = Zi = \frac{E\theta}{H\phi}$ (2.10)

5. ความหนาแน่นกำลังที่ได้จากทฤษฎีของพอยน์ติงจะมีค่าเท่ากับ

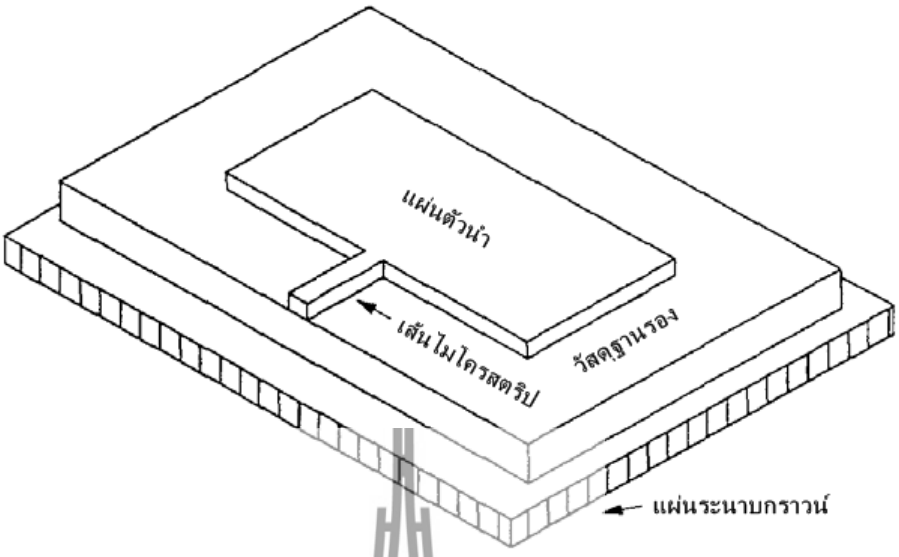
$$\vec{P} = \frac{1}{2}(\vec{E}x\vec{H}) = \hat{r}\frac{1}{2}\frac{|E\theta|^2}{\eta} = \hat{r}\frac{1}{2}\eta|H\phi|^2 \tag{2.11}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.10 ทฤษฎีของสายอากาศไมโครสตริปและสายอากาศร่องแบบเรียว

สายอากาศไมโครสตริป (Jame and Hall, 1989) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นแผ่นหรือแพทช์ (patch) ที่เป็นตัวนำ โดยทั่วไปจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือวงกลม ซึ่งจะถูกแยกออกจากกันด้วยแผ่นระนาบกราวนด์ที่มีความบาง (เป็นเศษส่วนของความยาวคลื่น) และมีลักษณะเป็นชั้นหรือที่เรียกว่าวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก แสดงดังรูปที่ 2.13 ไมโครสตริปได้รับความนิยมอย่างมากในการใช้งานทางด้านสายอากาศ เนื่องจากมีลักษณะแบนราบ ไม่ต้านลมและสามารถติดกับผิวของยานพาหนะได้ และยังมีข้อดีในแง่ของราคาถูก น้ำหนักเบา และมีความสะดวกในการสร้างและการติดตั้ง สายอากาศร่องแบบเรียวเป็นสายอากาศไมโครสตริปอีกประเภทหนึ่งที่มีแถบความถี่กว้าง โดยสายอากาศร่องแบบเรียวมีหลายแบบ ซึ่งลักษณะของร่องแบบเรียวสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ (1) ร่องเรียวที่ไม่เป็นเส้นตรง (non linear tapered slot) ได้แก่ ร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียล (exponential tapered slot หรือ vivaldi) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งสัมผัส (tangential tapered slot) และร่องเรียวแบบเส้นโค้งพาราโบลิค (parabolic tapered slot) (2) ร่องเรียวที่เป็นเส้นตรง (linear tapered slot) ได้แก่ ร่องเรียวแบบเส้นตรง (linear tapered slot) และร่องเรียวแบบเส้นตรงไม่ต่อเนื่อง (broken-linear tapered slot) และ (3) ร่องเรียวที่มีความกว้างคงที่ (constant width tapered slot) ได้แก่ ร่องเรียวแบบเส้นตรงคงที่ (linear-constanttapered slot) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียลคงที่ (exponential-constanttapered slot) และร่องเรียวแบบขั้นบันไดคงที่ (step-constant tapered slot)และนอกจากนี้สายอากาศร่องแบบเรียวยังสามารถออกแบบและสร้างได้ง่ายบนแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed-Circuit Board : PCB) และมีความง่ายสำ หรับการปรับสมดุลของอิมพีแดนซ์ในการป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริป (Lee and Chen, 1997) ดังนั้นสายอากาศร่องแบบเรียวจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความเหมาะสมทั้งในด้านของวัสดุอุปกรณ์และราคา สำหรับประยุกต์ใช้กับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายในประเทศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.13 สายอากาศไมโครสตริปรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก

2.10.1 สายอากาศไมโครสตริป

โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปได้สามส่วน ซึ่งประกอบด้วยส่วนบนจะเป็นแผ่นตัวนำที่ใช้สำหรับการแพร่กระจายคลื่น ส่วนที่สองเป็นวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกที่คั่นกลางระหว่างระนาบกราวด์และแผ่นตัวนำ และส่วนที่สาม คือ ระนาบกราวด์ สำหรับแผ่นตัวนำโดยทั่วไปมักจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือวงกลม ซึ่งสายอากาศไม โครสตริปมีความสะดวกในการสร้างในแผ่นวงจรพิมพ์ โดยที่แผ่นตัวนำจะถูกวางไว้ที่ด้านหนึ่งของแผ่นวงจรพิมพ์ และอีกด้านหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นแผ่นระนาบกราวด์

สำหรับสายอากาศไมโครสตริปนั้น ความแม่นยำของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรองถือว่ามีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่มีผลต่อการเดินทางของคลื่น ความถี่เร โซแนนซ์ และคุณลักษณะการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ จากรูปที่ 2.14 แสดงกระแสไฟฟ้าและเส้นแรงของสนามไฟฟ้าทั้งภายในและบริเวณรอบ ๆ แผ่นตัวนำ ซึ่งโดยปกติ สนามไฟฟ้าที่บริเวณขอบของแผ่นตัวนำที่ถูกต่อด้วยสายนำสัญญาณและด้านตรงข้าม ขอบนั้น จะมีผลต่อคุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ โดยคลื่นที่แผ่กระจายจากสายอากาศจากรูปที่ 2.14 จะมีการโพลาไรซ์ในแนวนอน ซึ่งระนาบของสนามไฟฟ้า (ระนาบ x-y : E-plane) จะมีทิศทางในแนวนอน และระนาบของสนามแม่เหล็ก (ระนาบ y-z : H-plane) จะมีทิศทางในแนวตั้ง

2.12 สมมติให้เครื่องส่งมีกำลังด้านออกเป็น P_t ส่งผ่านไปยังสายอากาศส่งสายอากาศส่งมีอัตราขยาย G_t ผ่านออกไปสู่อวกาศไปเครื่องรับ เข้าทางสายอากาศรับที่มีอัตราขยาย G_r กำลังที่ผ่านออกจากสายอากาศรับคือ P_r ระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับคือระยะ R และเมื่อพิจารณาเริ่มต้นก่อนว่ากำลังที่ได้รับมาจากแหล่งกำเนิดชนิดไอโซทรอปิค สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$S_I = \frac{P_t}{4\pi R^2} \tag{2.1}$$

สมการที่ (2.1) จะสมมติว่าไม่มีการคิดผลจากการสูญเสียในชั้นบรรยากาศ ผลจากการไม่แมทซ์ของการโพลาไรซ์ ผลจากการไม่แมทซ์ของอิมพิแดนซ์ที่ป้อนเข้าสายอากาศ อีกทั้งไม่มีการกีดขวางระหว่างสายอากาศส่งและรับ และสุดท้ายคือกำหนดให้สายอากาศทำงานในบริเวณสนามระยะไกล หากเราจะพิจารณาโดยเพิ่มเติมเงื่อนไขอัตราการขยายของสายอากาศเข้าไปในสมการ ความหนาแน่นกำลังจะประกอบด้วยอัตราการขยายของสายอากาศ รูปแบบของสมการจะพัฒนาเป็น

$$S_D = \frac{P_t}{4\pi R^2} G_t \tag{2.2}$$

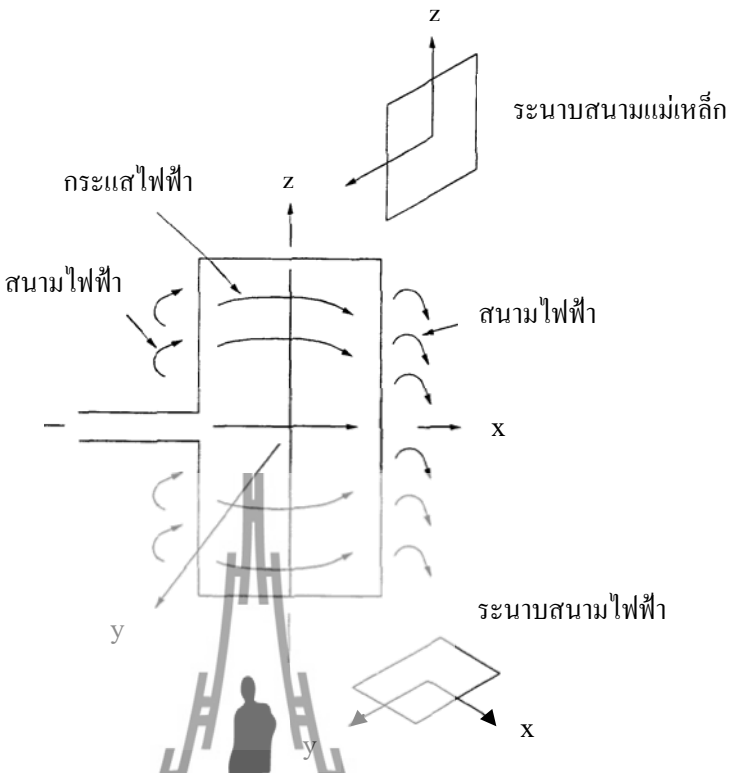
กำลังที่ได้รับ จะเท่ากับความหนาแน่นกำลังที่ทวีคูณโดยพื้นที่ประสิทธิผลสายอากาศของเครื่องรับ

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} A_r \tag{2.3}$$

พื้นที่ประสิทธิผลจะสัมพันธ์กับอัตราขยายสายอากาศโดยแสดงได้ดังนี้

$$G_r = \frac{4\pi}{\lambda_0^2} A_{er}, \rightarrow A_{er} = \frac{G_r \lambda_0^2}{4\pi} \tag{2.4}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.14 กระแสไฟฟ้าและลักษณะเส้นแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนแผ่นตัวนำ

สายอากาศไมโครสตริปสามารถทำการป้อนกำลังได้หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกันสี่วิธีได้แก่ เส้นไมโครสตริป (microstrip line) เส้นแกนร่วม (coaxial line) โพรบแกนร่วม (coaxialprobe) และอะเพอร์เจอร์เชื่อมต่อ (aperture coupling) โดยตัวป้อนกำลังที่นำมาต่อกับสายอากาศควรจะมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายเคเบิลเท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วย โดยสายนำสัญญาณที่จะต่อเข้ากับเครื่องมือวัดและทดสอบสายอากาศนั้น ส่วนใหญ่จะมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการแมตช์อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศไมโครสตริปให้มีค่าเท่ากับ 50 โอห์มในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปมีพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องคำนึงถึง ได้แก่ ความถี่ปฏิบัติงานของสายอากาศ (operating frequency : f_c) หรือความถี่เรโซแนนซ์ (resonancefrequency : f_r) ค่าคงที่ไดเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง (dielectric constant :) และความสูงของไดอิเล็กตริกหรือความสูงของวัสดุฐานรอง (high : h)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.10.2 สายอากาศร่องแบบเรียว

สายอากาศร่องแบบเรียวเป็นสายอากาศไมโครสตริปจัดว่าเป็นสายอากาศประเภทคลื่นจร (traveling-wave antennas) ข้อดีของสายอากาศร่องแบบเรียวเช่น มีโครงสร้างที่ง่าย น้ำหนักเบา

ออกแบบ สร้างและติดตั้ง เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความถี่ปฏิบัติการที่มีแถบความถี่กว้าง สายอากาศร่องแบบเรียวมีหลายแบบดังแสดงดังรูปที่ 2.15 สายอากาศร่องแบบเรียวมี 3 ประเภท

1.แบบร่องเรียวที่ไม่เป็นเส้นตรง(non linear tapered slot)

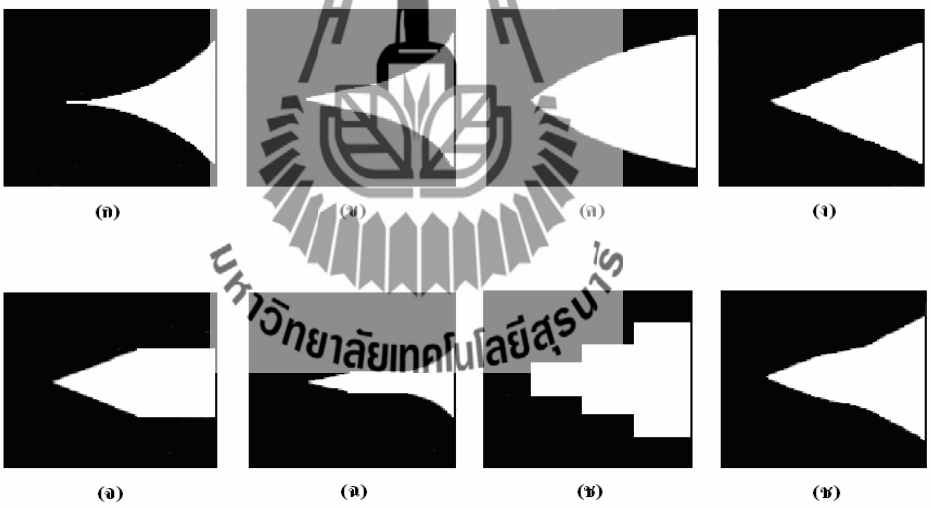
ได้แก่ ร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียล (exponential tapered slotหรือ vivaldi) ดังรูปที่ 2.15 (ก) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งสัมผัส (tangential tapered slot) ดังรูปที่ 2.15 (ข)และร่องเรียวแบบเส้นโค้งพาราโบลิค (parabolic tapered slot) ดังรูปที่ 2.15 (ค)

2.ร่องเรียวที่เป็นเส้นตรง (linear tapered slot)

ได้แก่ ร่องเรียวแบบเส้นตรง (linear tapered slot) ดังรูป2.15 (ง)และร่องเรียวแบบเส้นตรงไม่ต่อเนื่อง (broken-linear tapered slot) ดังรูปที่ 2.15 (ซ)

3.ร่องเรียวที่มีความกว้างคงที่ (constant width tapered slot)

ได้แก่ ร่องเรียวแบบเส้นตรงคงที่ (linear-constanttapered slot) ดังรูปที่ 2.15 (จ) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียลคงที่ (exponential-constanttapered slot) ดังรูปที่ 2.15 (ฉ) และร่องเรียวแบบขั้นบันไดคงที่ (step-constant tapered slot) ดังรูปที่ 2.15 (ช)



รูปที่ 2.15 สายอากาศร่องแบบเรียวรูปแบบต่าง ๆ

(ก) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียล (ข) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งสัมผัส

(ค) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งพาราโบลิค (ง) ร่องเรียวแบบเส้นตรง

(จ) ร่องเรียวแบบเส้นตรงคงที่ (ฉ) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียลคงที่

(ช) ร่องเรียวแบบขั้นบันไดคงที่ (ซ) ร่องเรียวแบบเส้นตรงไม่ต่อเนื่อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.11 สรุป

จากทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเครือข่ายไร้สายสามารถรู้ถึงอุปกรณ์ไร้สายได้เป็นอย่างดีส่วนสายอากาศสามารถรู้ถึงพื้นฐานของสายอากาศประเภทต่างๆและการแผ่พลังงานของสายอากาศ ซึ่งการคำนวณอัตราขยาย และสนามระยะไกล มาคำนวณประกอบการทำโครงงานได้เป็นอย่างดี

เนื่องจาก สมรรถนะของระบบสายอากาศ แถวลำดับสะท้อน จะขึ้นอยู่กับแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศป้อน และแผ่นสะท้อน เป็นหลัก ซึ่งสายอากาศป้อนที่นิยมใช้งานทั่วไปคือ สายอากาศปากแตร และท่อนำคลื่น แต่สายอากาศดังกล่าวจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานตกกระทบบน แถวลำดับ สะท้อนไม่สม่ำเสมอ โดยกำลังงานตกกระทบจะลดลงอย่างรวดเร็วจากบริเวณศูนย์กลางตัวสะท้อนไปยังบริเวณขอบตัวสะท้อน ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักในงานวิจัยนี้คือการคิดค้นและพัฒนาวิธีการออกแบบตัวป้อนสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อนลำคลื่นกว้างเพื่อให้แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวป้อนมีคลื่นตกกระทบตัวสะท้อนสม่ำเสมอ จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมพบว่า สายอากาศร่องแบบเรียวเป็นสายอากาศที่เหมาะสม เนื่องจาก ออกแบบง่ายและไม่บดบังลำคลื่น ซึ่งวิธีการออกแบบจะกล่าวถึงในบทที่ 4 ต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

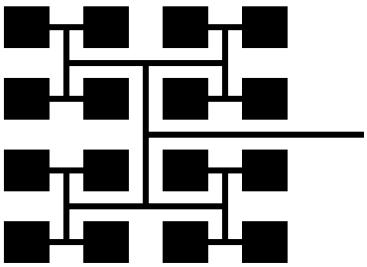
3.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป โดยจะกล่าวถึงคุณลักษณะของสายอากาศแถว ลำดับสะท้อน การคำนวณหาการประวิงเฟสและเฟสสะท้อน การออกแบบแผ่นสะท้อน และสายอากาศร่องแบบเรียว

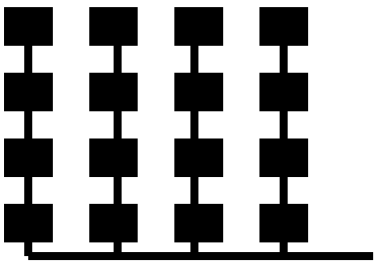
3.2 คุณลักษณะของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน

สายอากาศสำหรับใช้งานใน ระบบการสื่อสารควรมีคุณสมบัติดังนี้ คือให้ อัตราขยายสูง มีการสูญเสียต่ำ ขนาดเล็กกะทัดรัด สร้างได้ง่าย และราคาต่ำ โดยสายอากาศแถวลำดับ แบบไมโครสตริป ถือเป็นสายอากาศที่มีคุณสมบัติเหมาะสม แต่สายอากาศดังกล่าวมีระบบป้อนสัญญาณ (Feed) ที่ซับซ้อน เกิดการสูญเสียภายในตัวป้อน และยังมีความกว้างแถบ (Bandwidth) แคบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 นอกจากสายอากาศแถวลำดับแบบไมโครสตริปแล้ว สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิกก็เป็นสายอากาศอีกชนิด ที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ตัวสะท้อน (Reflector) และตัวป้อนสัญญาณซึ่งมัก ใช้เป็นแบบสายอากาศปากแตร (Horn Antenna) สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิกโดยทั่วไปจะมีการป้อนสัญญาณดังรูปที่ 3.2 ซึ่งมีสภาพเจาะจงทิศทางสูง เหมาะสำหรับเป็นสายอากาศเพื่อใช้ในสถานีภาคพื้นดินสำหรับติดต่อกับดาวเทียม หรือการสื่อสารด้วยคลื่นไมโครเวฟในย่านต้น แต่เนื่องจากสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิกมีขนาดใหญ่และมีผิวโค้ง ดังนั้นจึงมีการออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสติปที่มีลักษณะราบเรียบแต่สามารถให้คุณสมบัติเช่นเดียวกับตัวสะท้อนพาราโบลิก นอกจากนั้นสายอากาศ แถวลำดับสะท้อนไมโครสติป ยังมีน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย และเคลื่อนย้ายสะดวกด้วย รูปที่ 3.3 แสดงสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป

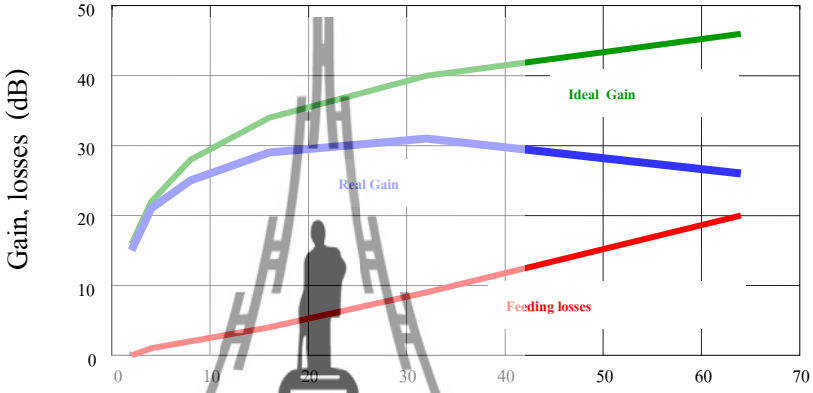
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ก. ระบบป้อนแบบขนาน



ข. ระบบป้อนแบบอนุกรม

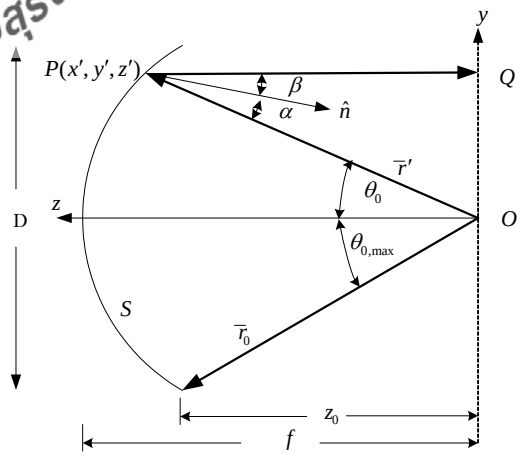


ค. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแถวลำดับกับการสูญเสีย

รูปที่ 3.1 สายอากาศแถวลำดับแบบไมโครสตริป

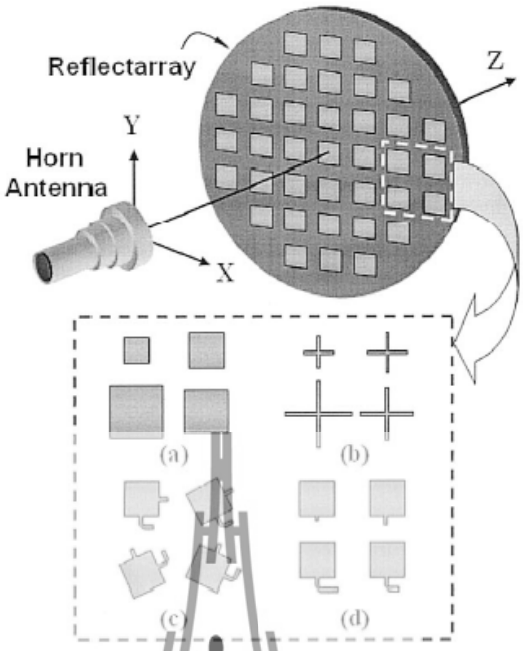
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.



ข.

รูปที่ 3.2 สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิก



รูปที่ 3.3 สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป

3.2.1 หลักการสะท้อนคลื่นของสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิก

รูปที่ 3.2 แสดงการแผ่กระจายคลื่นในสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิกที่มีการป้อนสัญญาณเข้าที่ด้านหน้าของตัวสะท้อน โดยคลื่นเดินทางจากจุดป้อนสัญญาณไปยังตัวสะท้อนพาราโบลิก และสะท้อนกลับไปยังสนามระยะไกล เราสามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$OP + PQ = 2f = \text{ค่าคงที่} \tag{3.1}$$

และหาความสัมพันธ์ระหว่าง $\theta_{0,\max}$ กับ f/D ได้

$$\begin{aligned}\theta_{0,\max} &= \tan^{-1}\left(\frac{D/2}{z_0}\right) \\ &= 2\tan^{-1}\left(\frac{D}{4f}\right)\end{aligned} \tag{3.2}$$

เมื่อ f คือ ระยะโฟกัส

$\theta_{0,\max}$ คือ ขนาดมุมสูงสุดที่คลื่นเดินทางออกจากจุดป้อนสัญญาณไปยังตัวสะท้อน

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวสะท้อนพาราโบลิก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2.2 หลักการสะท้อนคลื่นของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป

จากสมการ (3.1) สรุปได้ว่า สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิกที่มีการป้อนสัญญาณเข้าที่ด้านหน้าของตัวสะท้อนทำให้คลื่นเดินทางไปยัง บริเวณสนามระยะไกลมีเฟสเท่ากัน ไม่ว่าคลื่นจะตกกระทบที่ตำแหน่งใด ของตัวสะท้อนก็ตาม แต่ถ้าแทนที่สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิกด้วยสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสติป ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4 จะทำให้คลื่นเกิดการประวิงเฟส (Phase Delay) ในสนามระยะไกล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการจัดเฟสแผ่นสะท้อนในสายอากาศแถวลำดับสะท้อน เพื่อชดเชยเฟสดังกล่าว จึงทำให้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับตัวสะท้อนพาราโบลิก

โดยทั่วไป สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปใช้หลักการออกแบบแผ่นสะท้อนไมโครสตริปหรือแผ่นสะท้อนไดโพลให้มีการประวิงเฟส (Phase Delay) เสมือนตามลักษณะผิวโค้งของสายอากาศตัว สะท้อนพาราโบลิก เราสามารถคำนวณหาการ ประวิงเฟสเนื่องจากคลื่นเดินทางจากตัวป้อนสัญญาณไปยังสายอากาศแถวลำดับสะท้อน แล้วสะท้อนกลับไปยังระยะสนามระยะไกลได้ดังนี้

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda_0} r = k_0 r \qquad (3.3)$$

เมื่อ r คือระยะทางที่คลื่นเดินทาง และ λ_0 คือความยาวคลื่นในอากาศว่าง สำหรับการประวิงเฟสสามารถคำนวณหาได้จากผลต่างระหว่างระยะการแผ่กระจายคลื่นของแผ่นสะท้อนใดๆ กับแผ่นสะท้อนอ้างอิง โดยที่ m และ n คือแผ่นสะท้อนใดๆ ในแนวแกน x และ y ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

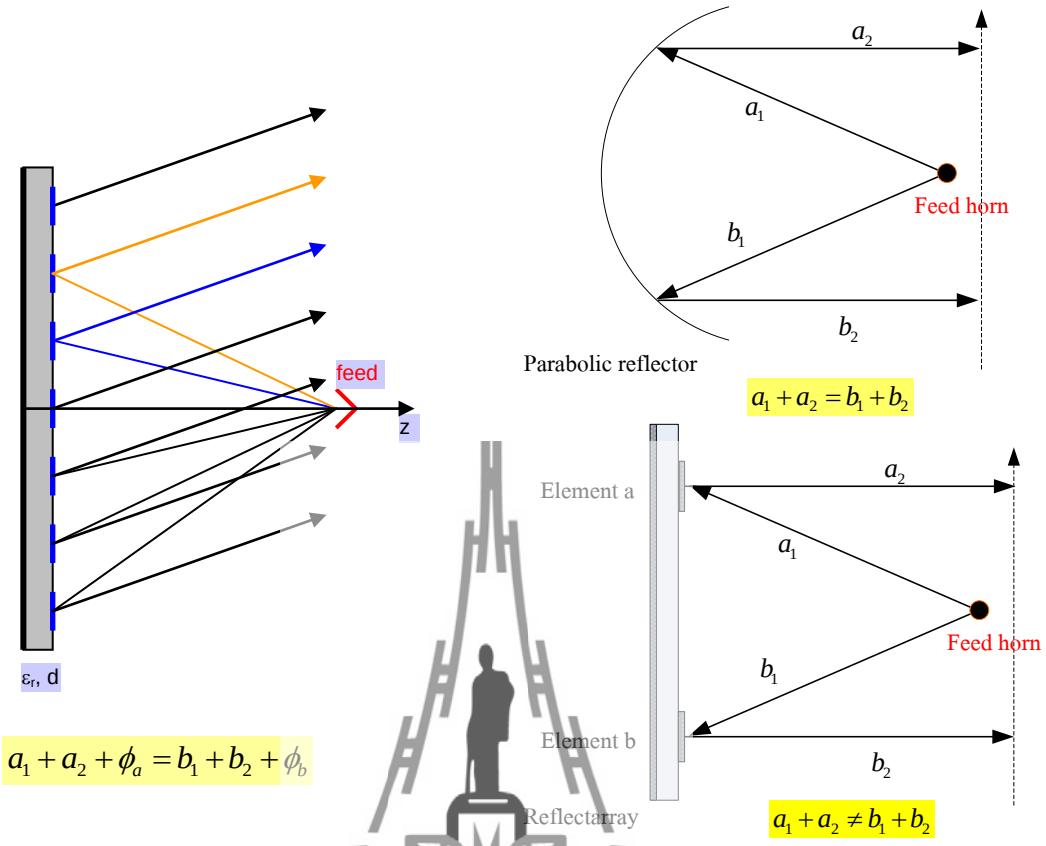
$$\begin{aligned}\Delta\phi &= \phi_{mn} - \phi_f \\ &= \frac{2\pi}{\lambda_0}\left(r_{mn} - r_f\right) \\ &= k_0 \Delta s\end{aligned} \qquad (3.4)$$

ดังนั้นเฟสสะท้อนของแผ่นสะท้อนใดๆ ψ_{mn} คือ

$$\psi_{mn} = \Delta\phi \pm 2\pi N \qquad (3.5)$$

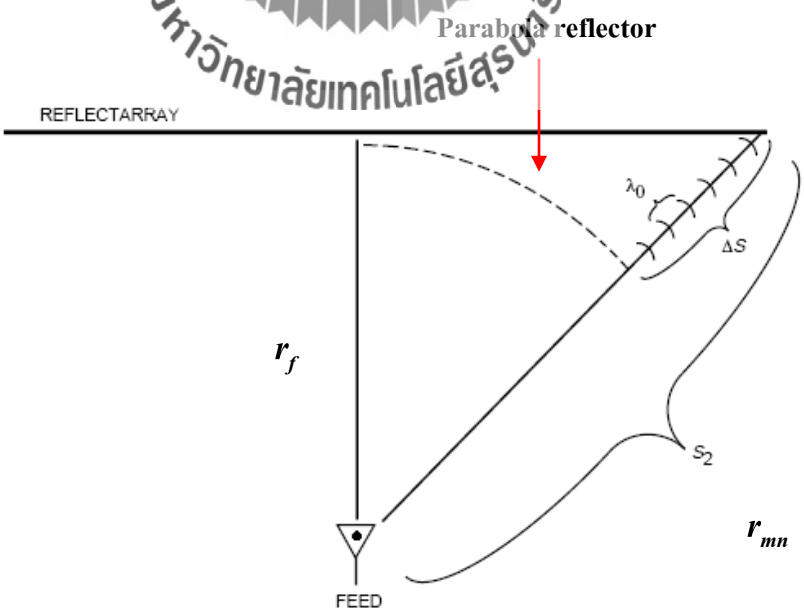
เมื่อ $N = 0,1,2,3,\ldots$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

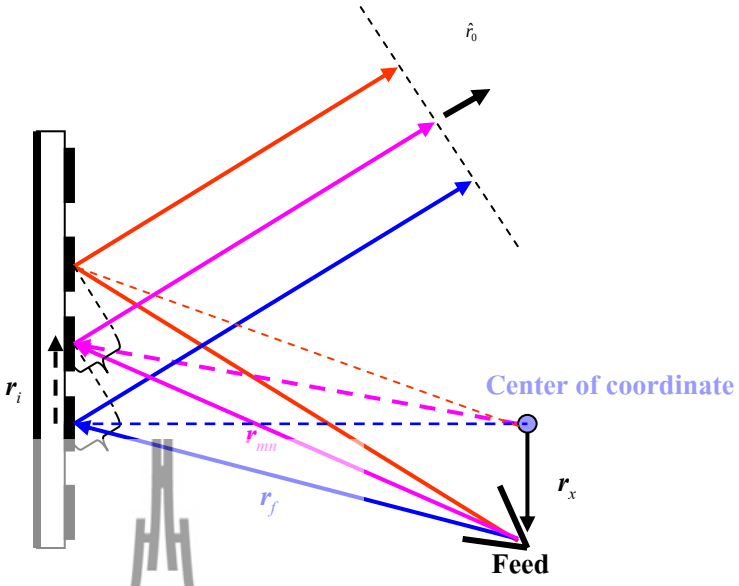


รูปที่ 3.4 การแผ่กระจายคลื่นในสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิก และสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.5 การประวิงเฟสในสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป



รูปที่ 3.6 การประวิงเฟสเนื่องจากการเลื่อนตัวป้อนสัญญาณและหน้าคลื่น

ถ้าหน้าคลื่น (Wavefront) และตัวป้อนสัญญาณปรับเลื่อนออกจากจุดศูนย์กลางของระบบพิกัดของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เราสามารถหาเฟสสะท้อนได้จาก

$$k_0\left[r_{mn}+\bar{r}_i\cdot\hat{r}_0\right]-\psi_{mn}=2\pi N \tag{3.6}$$

โดยที่

$$\bar{r}_i\cdot\hat{r}_0 = md_x\sin\theta\cos\phi+nd_y\sin\theta\sin\phi \tag{3.7}$$

เมื่อ d_x และ d_y คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นสะท้อนในแนวแกน x และแกน y ตามลำดับ และหาความสัมพันธ์ระหว่าง $\theta_{0,\max}$ กับ f/D ได้

$$\theta_{0,\max}=\tan^{-1}\left(\frac{D}{2f}\right) \tag{3.8}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3 เทคนิคการออกแบบแผ่นสะท้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป

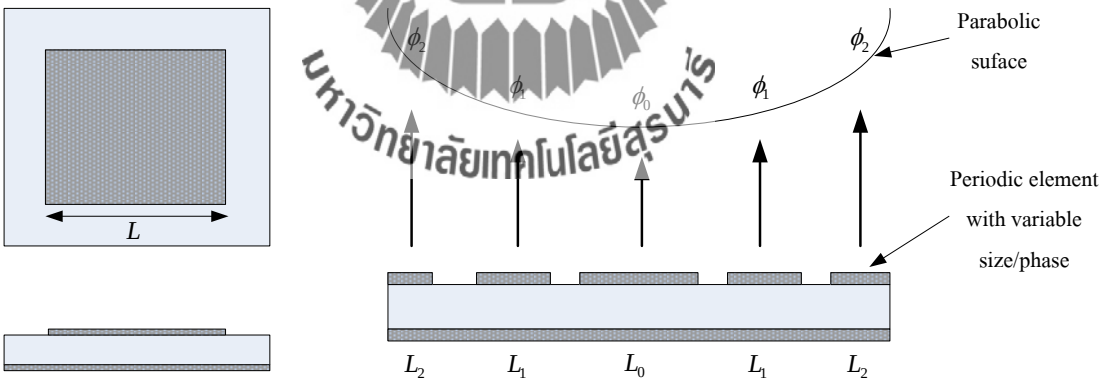
เทคนิคการหาเฟสสะท้อนโดยการออกแบบแผ่นสะท้อน ไมโครสตริป ด้วยเทคนิคการจัดเฟสที่นิยมนำมาใช้มี 3 วิธีคือ

1. การปรับขนาดของแผ่นสะท้อน
2. การปรับความยาวของสตับ
3. การปรับมุมการวางของแผ่นสะท้อน

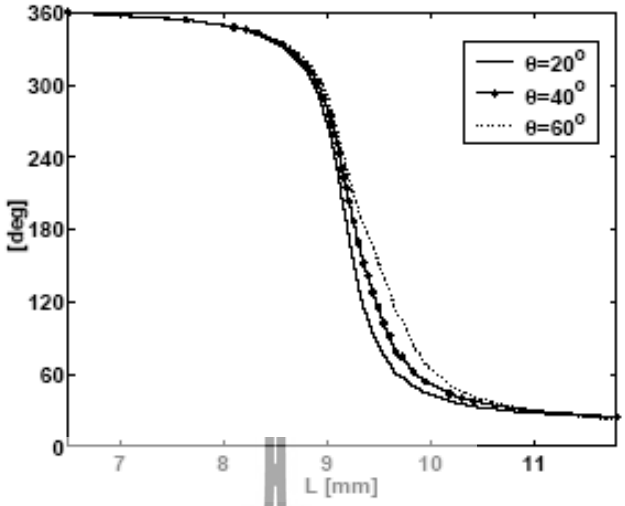
3.3.1 การปรับขนาดของแผ่นสะท้อน

การปรับขนาดของแผ่นสะท้อนใช้หลักการปรับความยาวของแผ่นสะท้อนในด้านที่มีผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์ เมื่อความถี่ปฏิบัติการของแผ่นสะท้อนเปลี่ยนจะส่งผลให้การประวิงเฟสในแผ่นสะท้อนเปลี่ยนแปลงด้วย จากผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เฟสสะท้อนจะเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น และเราสามารถปรับความยาวของแผ่นสะท้อนได้ไม่เกิน ±5% จากความยาว ณ ความถี่เรโซแนนซ์เท่านั้น ทำให้เฟสสะท้อนไม่ครบ 360° ดังนั้นจึงควรออกแบบการจัดเฟสด้วยการปรับขนาดของแผ่นสะท้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนร่วมกับเทคนิคอื่น รูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8 แสดงการจัดเฟสด้วยการปรับขนาดของแผ่นสะท้อน และความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแผ่นสะท้อนกับเฟสสะท้อน ตามลำดับ ซึ่งการหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแผ่นสะท้อนกับเฟสสะท้อนนี้จะกล่าวถึงในหัวต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.7 การปรับขนาดของแผ่นสะท้อน



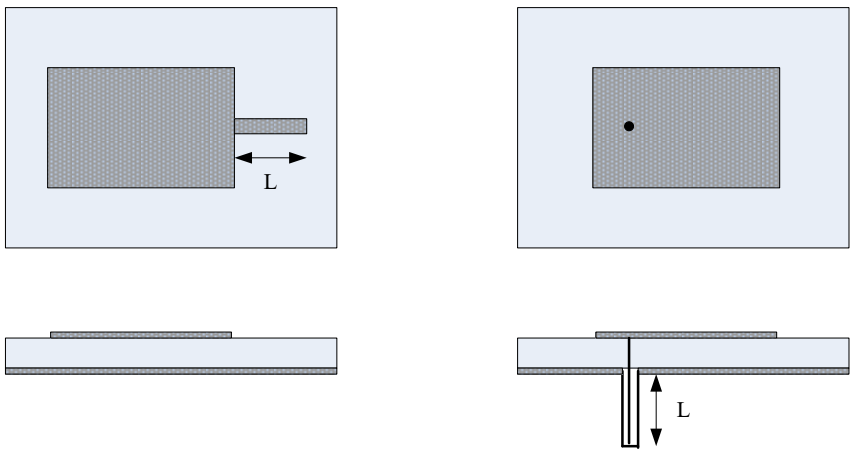
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแผ่นสะท้อนกับเฟสสะท้อน

3.3.2 การปรับความยาวของสตับ

การจัดเฟสด้วยการปรับความยาวของสตับ แสดงดังรูปที่ 3.9 โดยการปรับความยาวของสตับจะให้ผลของการประวิงเฟสเป็นเชิงเส้น ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ (3.9) เมื่อความยาวของ สตับเปลี่ยน จะส่งผลให้การประวิงเฟสของแผ่นสะท้อนแปลี่ยน แต่สายอากาศแถวลำดับสะท้อนที่มีการจัดเฟสวิธีนี้จะมีการสูญเสียเนื่องจากตัวสตับ โดยสตับที่นำมาใช้มี 3 แบบคือ

1. สตับไมโครสตริปที่ต่อกับด้านข้างของแผ่นสะท้อน (Edge of Patch)
2. สตับไมโครสตริปที่ต่อแบบการเชื่อมร่วมอะเพอร์เจอร์ (Aperture Coupled Patch)
3. สตับโคแอกเชียล

$$\psi_{mn} = 2 \times Electrical\ length \tag{3.9}$$



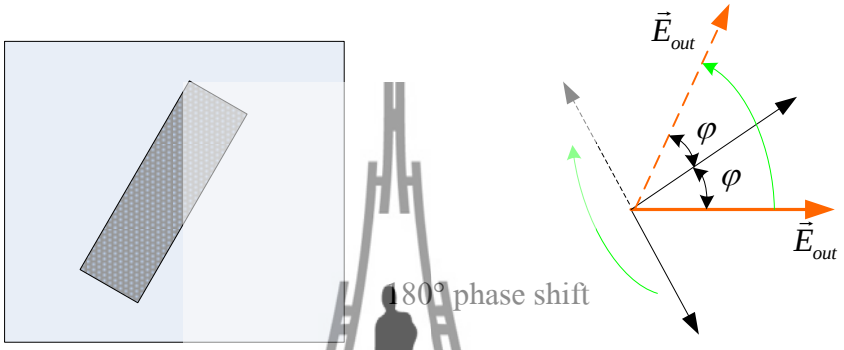
ก. สตับแบบไมโครสตริป ข. สตับแบบโคแอกเชียล

รูปที่ 3.9 การปรับความยาวของสตับ

3.3.3 การปรับมุมการวางของแผ่นสะท้อน

การจัดเฟสด้วยการปรับมุมการวางของแผ่นสะท้อน แสดงดังรูปที่ 3.10 ซึ่งมุมของ แผ่นสะท้อนสามารถปรับได้ 180° และการประวิงเฟสจะมีค่าเป็นสองเท่าของมุมของแผ่นสะท้อน ดังสมการ (3.10) หลักการจัดเฟสวิธีนี้เหมาะสำหรับสายอากาศแถวลำดับที่มีโพลาไรซ์เชิงวงกลม

$$\psi_{mn} = 2 \times Rotation\ of\ \ patch \tag{3.10}$$



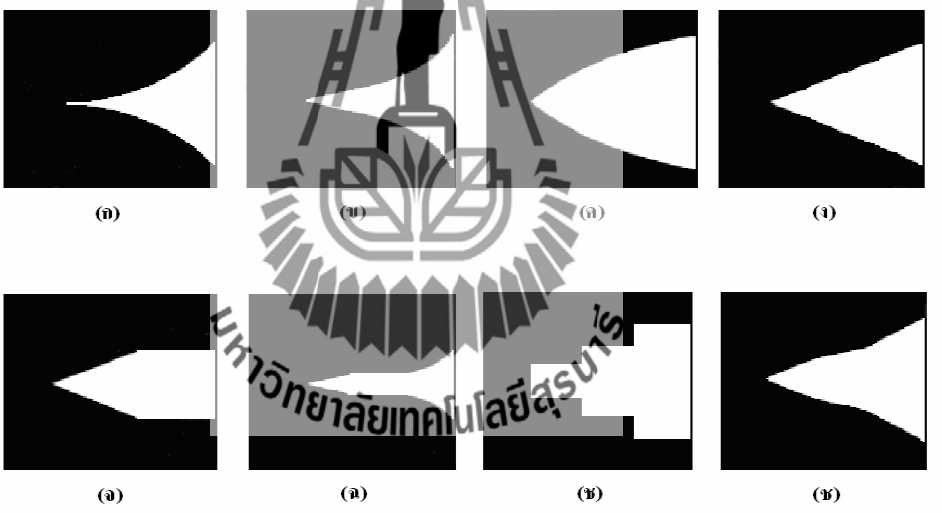
รูปที่ 3.10 การปรับมุมการวางของแผ่นสะท้อน

นอกจากการจัดเฟสแผ่นสะท้อนทั้ง 3 วิธีนี้ ยังมีการจัดเฟสแบบอื่น ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เช่น การปรับร่องแผ่นสะท้อน และการใช้วาแร็กเตอร์ไดโอด เป็นต้น และเพื่อวิเคราะห์หาคุณลักษณะของเฟสสะท้อนด้วยวิธีจัดเฟสสะท้อนแบบต่างๆที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ในหัวข้อถัดไปจะได้กล่าวถึงทฤษฎีที่จำเป็นต้องทราบ ได้แก่ ทฤษฎีโพลาไรเซชันไดแอดิก สนามตกกระทบและสนามสะท้อน ระเบียบวิธีโมเมนต์ และการวิเคราะห์สายอากาศแถวลำดับสะท้อนด้วยหลักการแถวลำดับอนันต์

3.4 ตัวป้อนสัญญาณ

สำหรับงานวิจัยนี้เน้นการคิดค้นและพัฒนาวิธีการออกแบบตัวป้อนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปลำคลื่นกว้าง เพื่อใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่มีพื้นที่ครอบคลุมห้องขนาดใหญ่ โดยเลือกสายอากาศเส้นร่องแบบเรียวเป็นตัวป้อนกำลังงาน ซึ่งสายอากาศเส้นร่องแบบเรียวเป็นสายอากาศไมโครสตริปชนิดหนึ่งที่มีข้อดีหลายประการอาทิเช่น มีโครงสร้างที่ง่าย น้ำหนักเบา ออกแบบ สร้างและติดตั้งเพื่อใช้งานได้ง่าย และสามารถใช้งานร่วมกับ MICs (Microwave Integrated Circuits) ได้ เนื่องจากสายอากาศดังกล่าวมีลักษณะเป็น

เส้นร่องแบบเรียว จึงเหมาะสำหรับการใช้งานซึ่งต้องการความถี่ปฏิบัติการที่มีความกว้างแถบที่กว้าง สายอากาศเส้นร่องแบบเรียว มีหลายรูปแบบ แสดงดังรูปที่ 3.11 ซึ่งลักษณะของร่องแบบเรียวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แบบเส้นโค้ง และแบบเส้นตรง และสามารถแบ่งย่อยได้อีก 8 ประเภทคือ เส้นโค้งแบบเอกโปแนนเชียล (Exponential Tapered Slot Antenna or Vivaldi antenna) เส้นโค้งสัมผัส (Tangential Tapered Slot Antenna) เส้นโค้งพาราโบลิค (Parabolic Tapered Slot Antenna) เส้นตรง (Linear Tapered Slot Antenna) เส้นตรงต่อเนื่อง (Linear-constant Tapered Slot Antenna) เส้นโค้งแบบเอกโปแนนเชียลต่อเนื่อง (Exponential-constant Tapered Slot Antenna) ขั้นบันไดต่อเนื่อง (Step-constant Tapered Slot Antenna) และเส้นตรงไม่ต่อเนื่อง (Broken-linear Tapered Slot Antenna) โดยสายอากาศเส้นร่องแบบเรียวมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแสดงดังรูปที่ 3.12 จะเห็นได้ว่ามีลำคลื่นแผ่กระจายออกมาที่บริเวณความกว้างของร่องเท่านั้น



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

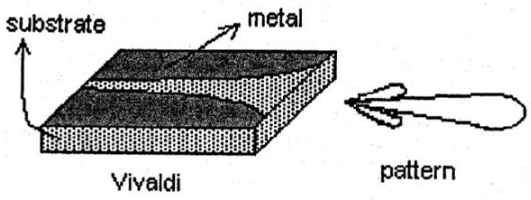
รูปที่ 3.11 สายอากาศร่องแบบเรียวรูปแบบต่าง ๆ

(ก) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียล (ข) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งสัมผัส

(ค) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งพาราโบลิก (ง) ร่องเรียวแบบเส้นตรง

(จ) ร่องเรียวแบบเส้นตรงคงที่ (ฉ) ร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียลคงที่

(ช) ร่องเรียวแบบขั้นบันไดคงที่ (ซ) ร่องเรียวแบบเส้นตรงไม่ต่อเนื่อง

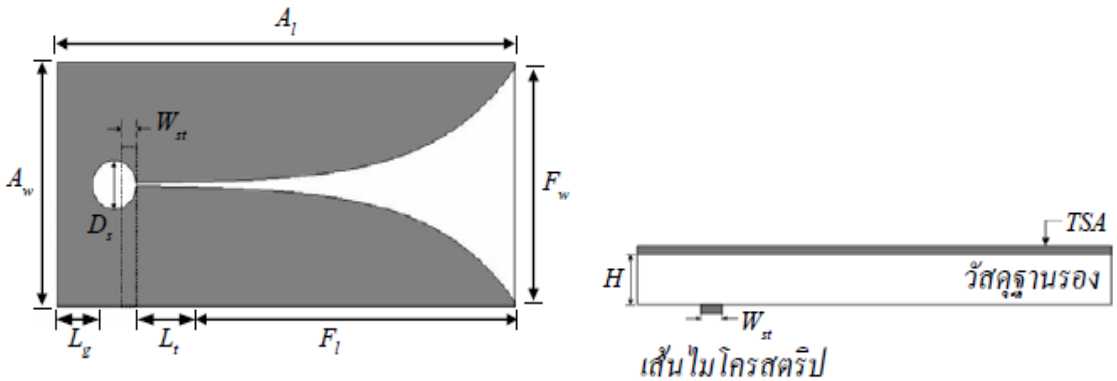


รูปที่ 3.12 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศเส้นร่องแบบเรียว

3.4.1 โครงสร้างของสายอากาศร่องแบบเรียว

สายอากาศร่องแบบเรียวนั้นมีด้วยกันหลายรูปแบบดังได้กล่าวในข้างต้น โดยทุกรูปแบบจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่เหมือนกัน จะแตกต่างกันก็เพียงแต่พื้นที่ของการแผ่พลังงานเท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลในการออกแบบสายอากาศร่องแบบเรียวรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีเพียงสายอากาศร่องแบบเรียวที่เป็นร่องเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียลและร่องเรียวแบบเส้นตรงเท่านั้นที่ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง (Kai Fong Lee, and Wei Chen, 1997) งานวิจัยนี้ได้นำสายอากาศร่องแบบเรียวที่มีรูปร่างของร่องเรียวแบบโค้งแบบเอกซ์โพเนนเชียลหรือ สายอากาศวิวอลดิ สำหรับการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของความกว้างลำคลื่นกับมุมการเปิดที่ชัดเจนและแบบรูปของอิลิเมนต์จะมีจุดศูนย์ (null) น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับร่องเรียวแบบเส้นตรง (Amena Kauser Syeda, 2006) รูปที่ 3.13 แสดงโครงสร้างของสายอากาศร่องแบบเรียว ซึ่งร่องเรียวที่เป็นโค้งแบบเอกซ์โพเนนเชียลถูกสร้างบนแผ่นโลหะ และมีวัสดุฐานรองคั่นกลาง ระหว่างร่องเรียวและเส้นป้อนไมโครสตริป ซึ่งวัสดุฐานรอง ดังกล่าวมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ε_r และมีความหนา H

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ก)ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

รูปที่ 3.13 โครงสร้างสายอากาศร่องแบบเรียว

3.4.2 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบเรียว

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.13 สามารถหาได้จาก (Amena Syeda, 2006) เมื่อ

A_l คือ ความยาวของสายอากาศ (antenna length) ควรมีค่ามากกว่าความยาวคลื่น

A_w คือ ความกว้างของสายอากาศ (antenna width) ควรมีค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่ความถี่ต่ำสุด

F_l คือ ความยาวของร่อง (flared slotline length) ควรมีค่าเท่ากับความยาวคลื่นที่ความถี่ต่ำสุด

F_w คือ ความกว้างของร่อง (flared slotline width) ควรมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่ความถี่ต่ำสุด

D_s คือ เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมของสตับ (diameter of circular slot stub) ควรมีค่าเท่ากับหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นของร่อง

L_t คือ ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง (length of uniform section of slotline)

L_g คือ ความยาวชดเชยด้านหลังสตับ (backwall offset)

W_{st} คือ ความกว้างของเส้นไมโครสตริป (microstrip line width)

H คือ ความสูงของวัสดุฐานรอง (substrate height)

เราสามารถคำนวณหาสมการความโค้งเอกซ์โพเนนเชียลได้จากสมการ

$$y = c_1 e^{Rz} + c_2 \tag{3.11}$$

โดยที่

และ

เมื่อ

$P_1(y_1 - z_1)$ คือ จุด $(y_1 - z_1)$ จุดแรกที่เริ่มโค้งเอกซ์โพเนนเชียล

$P_2(y_2 - z_2)$ คือ จุด $(y_2 - z_2)$ จุดสุดท้ายของเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียล

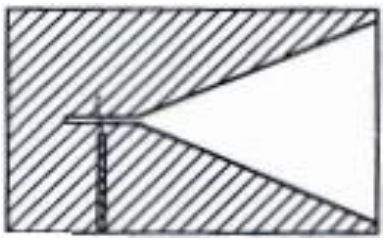
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4.3 วิธีการป้อนกำลังงาน

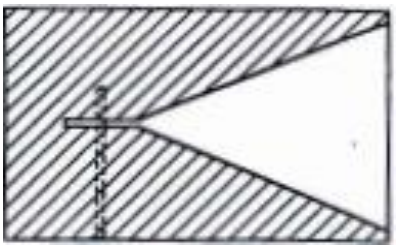
โดยส่วนมากแล้วสายอากาศร่องแบบเรียวจะมีลักษณะของร่อง (slotline) ที่มีการแผ่ออก ทำให้การป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศร่องแบบเรียวต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงระหว่างร่องและการส่งผ่านไปยังตัวกลาง (transmission media) ดังนั้นร่องของสายอากาศจะต้องเชื่อมต่อกับจุดป้อนกำลังงานของสายอากาศ สำหรับวิธีในการป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศร่องแบบเรียวนั้นมีด้วยกัน 7 วิธี (Richard Q. Lee and Rainee N. Simons, 1997) ได้แก่ (1) การป้อนกำลังงานด้วยเส้นแกนร่วม (coaxial line feed) (2) การป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริป (microstrip line feed) (3) การป้อนกำลังงานด้วยท่อนำคลื่นที่อยู่บนระนาบเดียวกัน (conventional coplanar waveguide feed หรือ CPW feed) (4) การป้อนกำลังงานด้วยท่อนำคลื่นที่อยู่บนระนาบกราวด์เดียวกัน (ground conventional coplanar waveguide feed หรือ GCPW feed) (5) การป้อนกำลังงานด้วยท่อนำคลื่นที่อยู่บนระนาบกราวด์เดียวกันโดยมีตัวนำด้านหลังที่มีขอบเขต (conductorbackedfinite ground-plane coplanar waveguide feed หรือ FCPW feed) สามารถทำการเชื่อมต่อได้ 2 แบบคือ ให้กำลังงานเชื่อมต่อจากสตริปไปยังร่องของสายอากาศ (strip-to-slot) หรือแบบสตริปศูนย์กลาง (center-strip) และให้กำลังงานเชื่อมต่อจากร่องไปยังร่องของสายอากาศ (slot-toslot)หรือแบบร่อง (notch) (6) การป้อนกำลังงานด้วยไมโครสตริปไปยังจุดเชื่อมไมโครสตริป (microstrip-to-coupled microstrip feed) และ (7) การป้อนกำลังงานด้วยเส้นสตริป (stripline feed) แสดงดังรูปที่ 3.14

สำหรับงานวิจัยนี้ใช้วิธีการป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริปเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ทั้งการออกแบบและการแมตช์สายอากาศ รูปที่ 3.15 แสดงการป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริปไปยังร่องของสายอากาศ โดยที่ λ_s คือ ความยาวคลื่นของร่อง (slot wavelength) และ λ_m คือ ความยาวคลื่นของ ไมโครสตริป (microstrip wavelength)

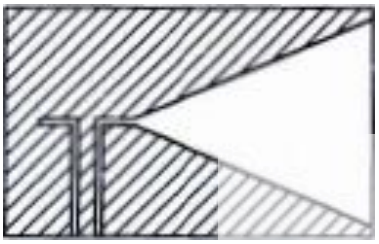
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



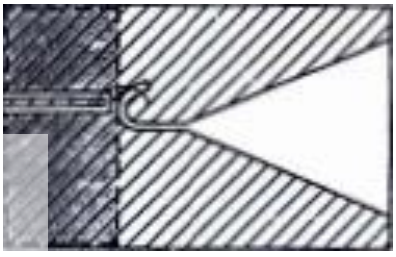
(ก) เส้นแกนร่วม



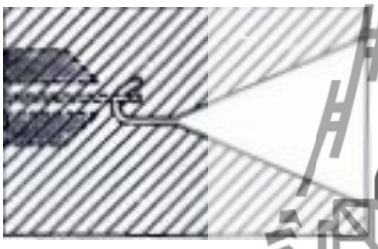
(ข) เส้นไมโครสตริป



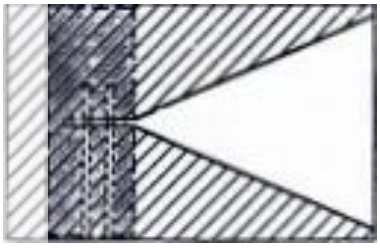
(ค) CPW



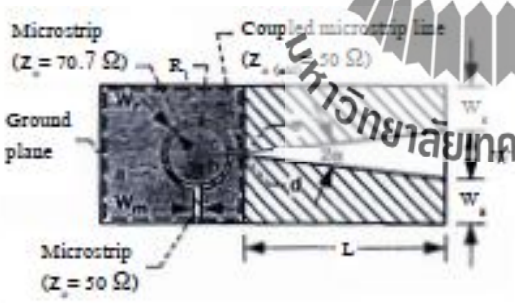
(ง) GCPW



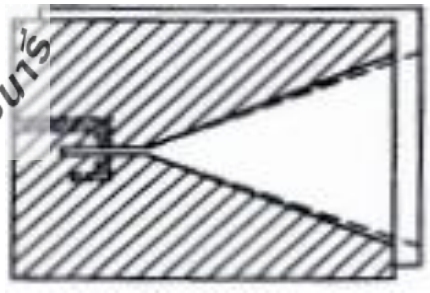
(จ) FCPW/center-strip



(ฉ) FCPW/notch



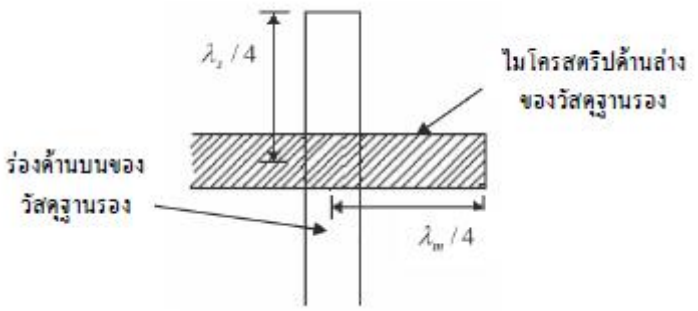
(ช) ไมโครสตริปไปยังจุดเชื่อม



(ซ) เส้นสตริป

รูปที่ 3.14 เทคนิคการป้อนกำลังงานให้สายอากาศร่องแบบเรียว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.15 การป้อนกำลังด้วยเส้นไมโครสตริป

3.5 สรุป

การออกแบบ สายอากาศร่องแบบเรียวสำหรับทำหน้าที่เป็นตัวป้อน ของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปจะวิเคราะห์จากสมการ (3.11) ซึ่งจะกล่าวถึงในบทที่ 4 ต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

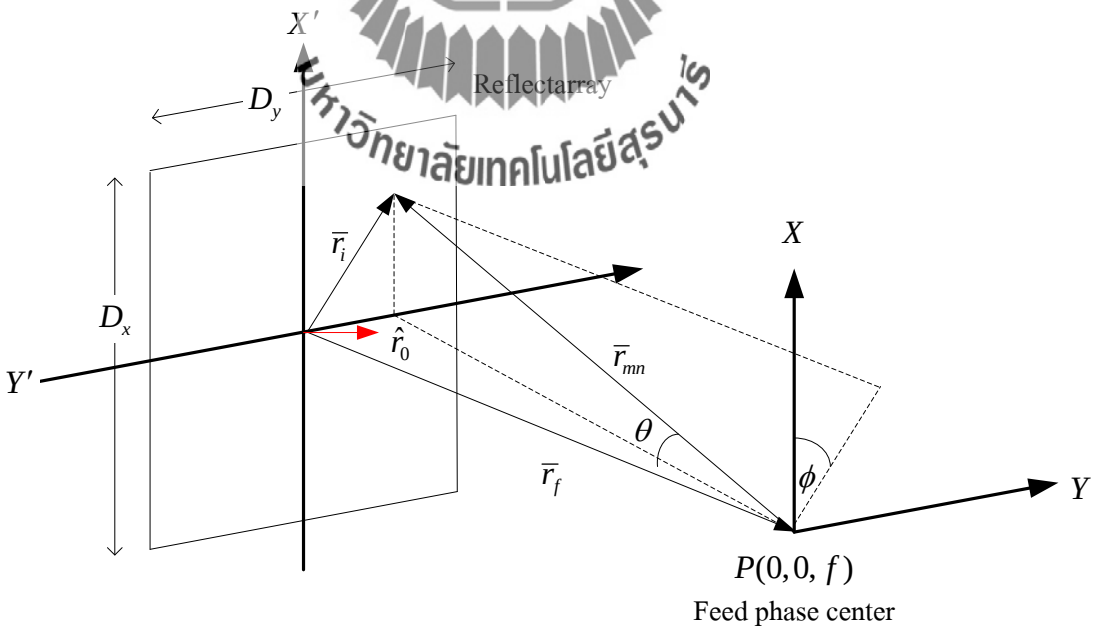
บทที่ 4
การออกแบบตัวป้อนสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อน

4.1 บทนำ

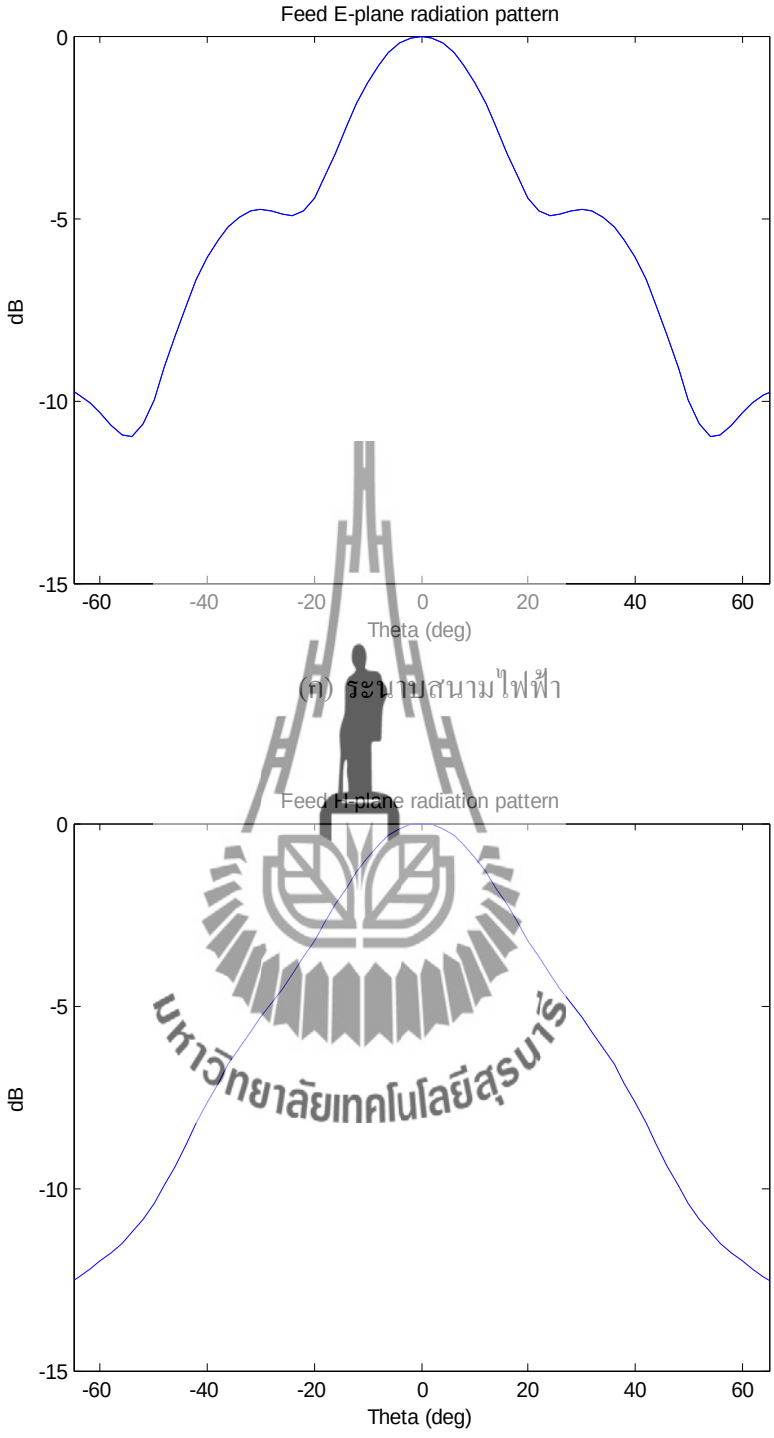
ในบทนี้จะนำเสนอ งานวิจัยการออกแบบตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้สายอากาศร่องแบบเรียว โดยจะศึกษาแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศป้อนและสนามตกกระทบบนแถวลำดับสะท้อน และการศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อประสิทธิภาพของสาย สายอากาศแถวลำดับสะท้อน และทำการออกแบบสายอากาศป้อนที่เหมาะสมต่อไป

4.2การศึกษาแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศป้อนและสนามตกกระทบบนแถวลำดับสะท้อน

จากการศึกษาการออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนที่ผ่านมาพบว่า สายอากาศป้อนที่นิยมนำมาใช้ในสายอากาศตัวสะท้อนคือ สายอากาศปากแตรปิรามิด รูปที่ 4.1 แสดงรูปทรงเรขาคณิตของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน โดยมีตัวป้อนแบบสายอากาศปากแตรปิรามิดวางในแนวแกน z ที่จุด $P(0,0,f)$ ทำหน้าที่แผ่การกระจายสนามไปยังแถวลำดับสะท้อนแบบไมโครสตริปขนาด $D_x \times D_y$ โดยระนาบ $E-plane$ ของตัวป้อนวางในระนาบ x,z



รูปที่ 4.1 รูปทรงเรขาคณิตของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน



(ค) ระนาบสนามไฟฟ้า

(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของตัวป้อนแบบปากแตรปิรามิด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อนด้วยสายอากาศปากแตรแบบปิรามิด แสดงดังสมการ (4.1)

$$E_\theta = j\frac{k_0 E_0 e^{-jk_0 r}}{4\pi r}\sin\phi\left|F(\theta,\phi)\right| e^{j\psi(\theta,\phi)}$$
$$E_\phi = j\frac{k_0 E_0 e^{-jk_0 r}}{4\pi r}\cos\phi\left|F(\theta,\phi)\right| e^{j\psi(\theta,\phi)} \qquad (4.1)$$

โดยมีตัวแปรที่ต้องพิจารณาคือ $\left|F(\theta,\phi)\right|$ และ $\psi(\theta,\phi)$ ในเทอมของอินทีกรัลเฟรสเนล (Fresnel Integral) โคไซน์และไซน์ตามลำดับ และตัวป้อนปากแตรปิรามิดนี้จะถูกออกแบบให้สนามตกกระทบบนแถวลำดับสะท้อนสูงที่สุดบริเวณกลางแผ่นสะท้อน เมื่อพิจารณาระดับพูข้าง อัตราขยาย และการสูญเสียเนื่องจากคลื่นของตัวป้อนแผ่กำลังงานล้น (spilover) จากขอบตัวสะท้อน สำหรับการปรับตำแหน่งการป้อนจะพิจารณาจากทฤษฎีของแบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เช่น ถ้าพิจารณาออกแบบโดยกำหนดให้บริเวณขอบของแถวลำดับสะท้อนมีคลื่นตกกระทบลดลงจากตำแหน่งกึ่งกลางแผ่นสะท้อน 4.773 dB สำหรับระนาบสนามไฟฟ้า ($\theta = 30^\circ$) และ 5.33 dB สำหรับระนาบสนามแม่เหล็ก ($\theta = 30^\circ$) โดยตัวแปร $\psi(\theta,\phi)$ ซึ่งเป็นตัวแปรเฟสที่อะเพอร์เจอร์ปิรามิด สามารถพิจารณาแยกอิสระสำหรับจุดอ้างอิงเฟส θ และ ϕ ได้ โดยจุดเฟสอ้างอิงที่จุดกึ่งกลางแถวลำดับสะท้อน จะทำให้เกิดสนามแผ่กระจายไปที่ใกล้ๆ หน้าคลื่นทรงกลม เนื่องจากเฟสด้านหน้าที่แตกต่างกันระหว่างระนาบสนามไฟฟ้ากับระนาบสนามแม่เหล็ก จะทำให้มีศูนย์กลางเฟสที่แตกต่างกันสองระนาบ และศูนย์กลางเฟสของระนาบสนามไฟฟ้ากับระนาบสนามแม่เหล็กหาได้จาก $\psi(\theta,\phi)$ ที่ตำแหน่งจากอะเพอร์เจอร์ปิรามิดไปยังตัวป้อน และตำแหน่งตัวป้อนมีระยะโฟกัสเท่ากับ 25 เซนติเมตร และเราจำเป็นต้องพิจารณาระยะทางที่คลื่นตกกระทบจากหน้าคลื่นทรงกลมไปยังแถวลำดับสะท้อน ดังรูปที่ 4.2 โดยมีเฟสศูนย์กลางที่ความถี่ปฏิบัติการ

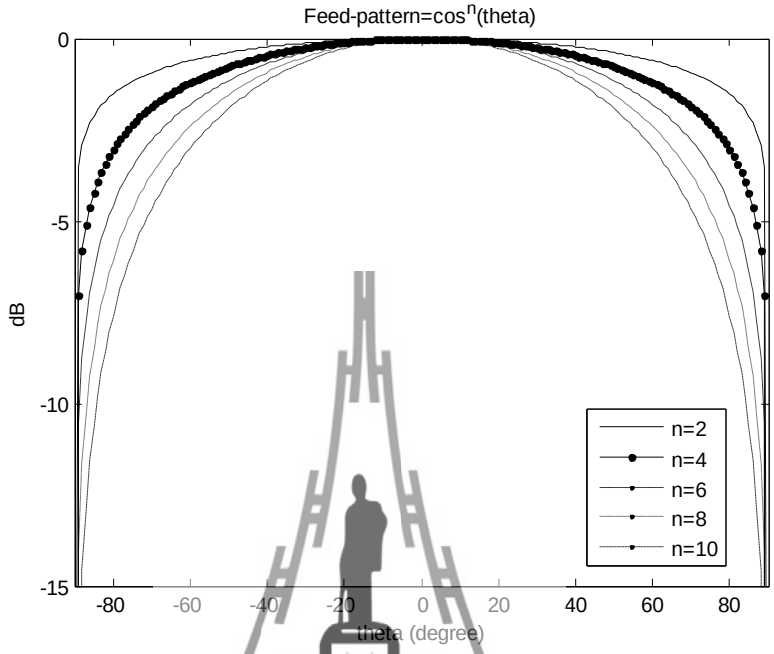
สนามตกกระทบในแนวสัมผัสของแถวลำดับสะท้อนจะอยู่ในแนวแกน x และแกน y เราสามารถแสดงเฉพาะสนามไฟฟ้าในองค์ประกอบของ x และมีระนาบโพลาไรซ์แบบโหมด TM ได้ดังสมการ (4.2) โดยมีมุมตกกระทบ $(\theta_0,\phi_0) = (\theta_i, 0)$ และสนามไฟฟ้าของแผ่นสะท้อน i ใดๆ ถูกนอร์มอลไลซ์จากสนามที่อิลิเมนต์กึ่งกลางแถวลำดับสะท้อน

$$\bar{E}_i^{inc} = \frac{\left|\bar{r}_f\right|}{\left|\bar{r}_i - \bar{r}_f\right|}\frac{F(\theta_i,\phi_i)}{F(\theta=0,\phi=0)} e^{-jk_0\left(\left|\bar{r}_i-\bar{r}_f\right|-\left|\bar{r}_f\right|\right)}\cdot\left[\cos\phi\,\hat{a}_\theta + \sin\phi\,\hat{a}_\phi\right] \qquad (4.2)$$

โดยที่ $\bar{r}_i$ เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งของแผ่นสะท้อนใดๆ และ $\bar{r}_f$ เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งอ้างอิงซึ่งคิดเฟส ณ ศูนย์กลางตัวป้อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.3 แสดงกำลังโคไซน์ ($\cos^n\theta$) ที่มีผลต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อน พบว่าถ้าเลขกำลังโคไซน์ของสายอากาศมีค่าน้อย จะส่งผลให้ตัวป้อนมีลำคลื่นกว้าง และกำลังงานบริเวณคลื่นตกกระทบทุกจุดบนตัวสะท้อนจะมีค่าใกล้เคียงกัน



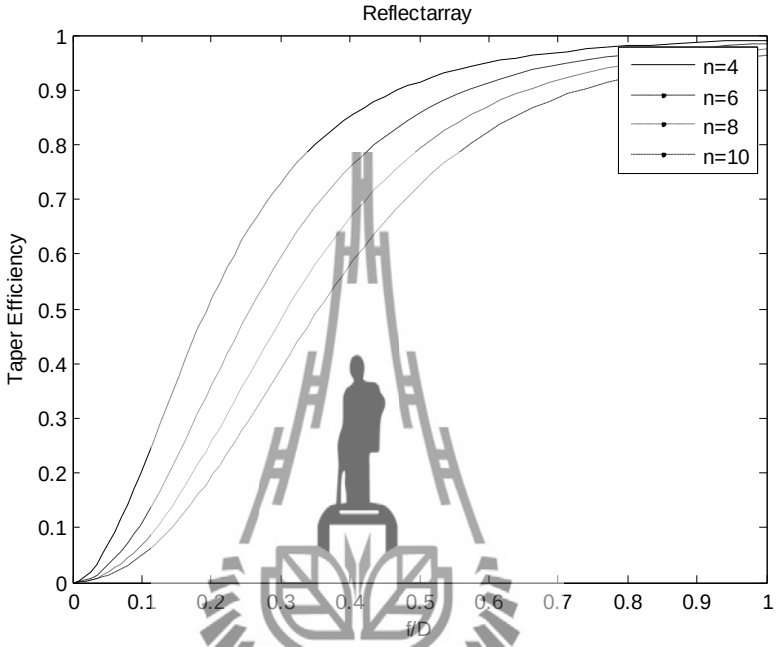
รูปที่ 4.3 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อน

4.3 การศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อประสิทธิภาพของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน

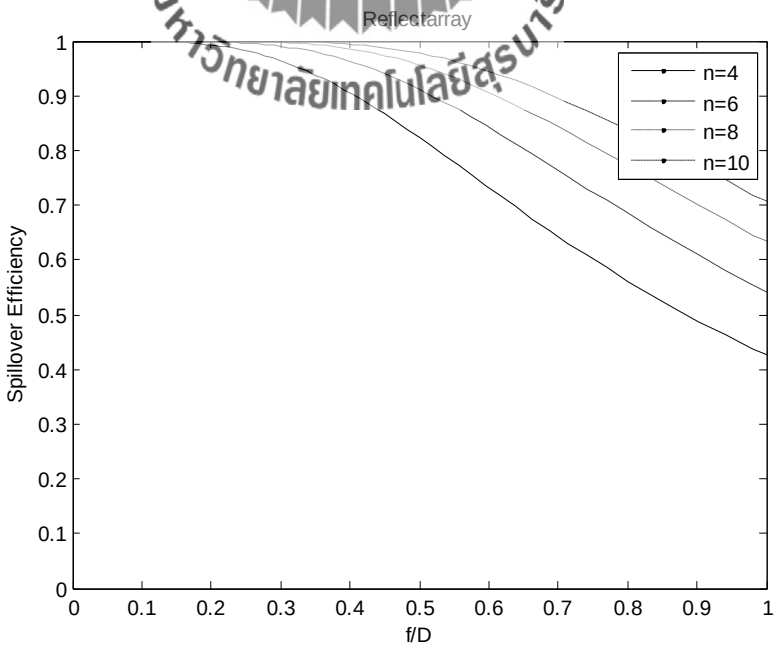
การเลือกอัตราส่วนระหว่างระยะโฟกัสต่อขนาดสายอากาศ (f/D) ที่ดีที่สุดสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อนจะต้องพิจารณาจากหลายตัวแปร ถ้าเลือกให้ f/D มีค่ามาก จะทำให้ระนาบหน้าคลื่นทรงกลมตกกระทบขอบของพื้นที่ผิวของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน และทำให้โพลาไรซ์ไขว้มีค่าต่ำสุด แต่มีข้อเสียคือจะทำให้เกิดการสูญเสียจากการล้น นอกจากนั้นยังเกิดการผิดรูปของแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเนื่องจากการบล็อกอะเพอร์เจอร์ของตัวป้อนด้วย ถ้าเลือกให้ f/D มีค่าน้อย การบล็อกอะเพอร์เจอร์ของตัวป้อนจะลดลง แต่จะเกิดปัญหาการแมตช์อะเพอร์เจอร์ เช่น ถ้าออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้แบบรูปการแผ่พลังงานในรูปที่ 4.2 เป็นตัวป้อน และเลือกใช้ $f/D_x = 0.866$ โดยที่ $D_x = 0.30cm$ และ $D_y = 0.30cm$ ซึ่งจะทำให้มีมุมตกกระทบสูงสุดในระนาบ x,z และ y,z เท่ากับ 30° เป็นต้น

จากรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงกำลังโคไซน์ ($\cos^n\theta$) ที่มีผลต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อน ถ้าต้องการออกแบบให้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงจำเป็นต้องพิจารณาทั้งความเรียว (taper) ของแบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อน และการสูญเสียเนื่องจากคลื่นของตัวป้อนแผ่กำลังงานล้น (spilover) จากขอบตัวสะท้อนรูปที่ 4.4 ถึง 4.6 แสดงผลกระทบ

ของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อการสูญเสียจากความเรียวของแบบรูปการแผ่กำลังงงาน การสูญเสียจากการล้น และประสิทธิภาพอะเพอร์เจอร์ของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนตามลำดับ ซึ่งพบว่า ตัวป้อนที่มีกำลังโคไซน์ต่ำจะมีการสูญเสียจากความเรียวของแบบรูปการแผ่กำลังงานต่ำด้วย แต่จะมีการสูญเสียจากการล้นสูง เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพอะเพอร์เจอร์ (aperture efficiency) พบว่าประสิทธิภาพการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนจะขึ้นกับค่า f/D ด้วย

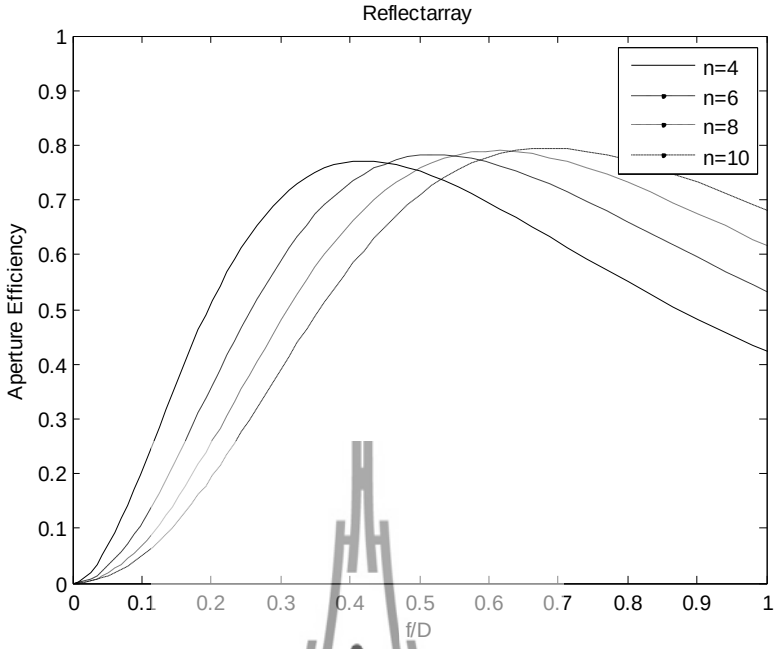


รูปที่ 4.4 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อประสิทธิภาพความเรียว



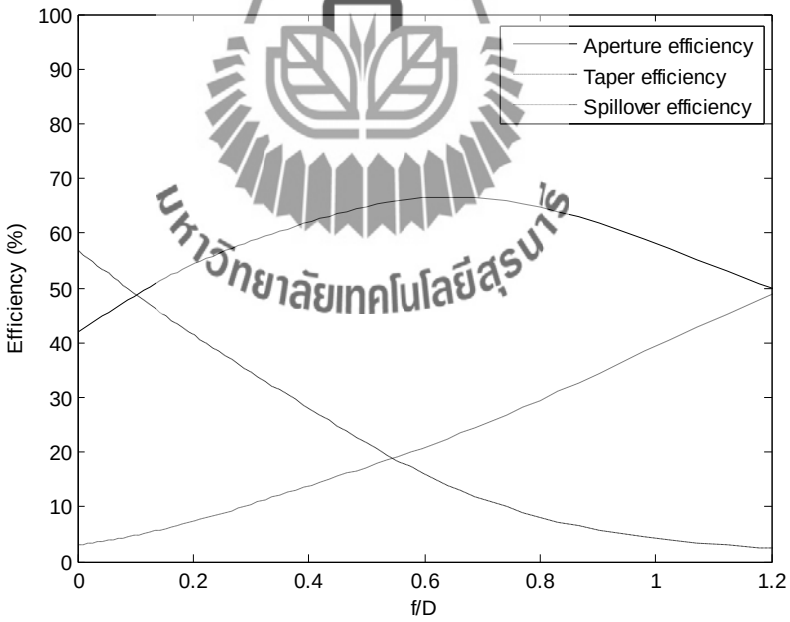
รูปที่ 4.5 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อประสิทธิภาพการล้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.6 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อประสิทธิภาพอะเพอร์เจอร์ของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน

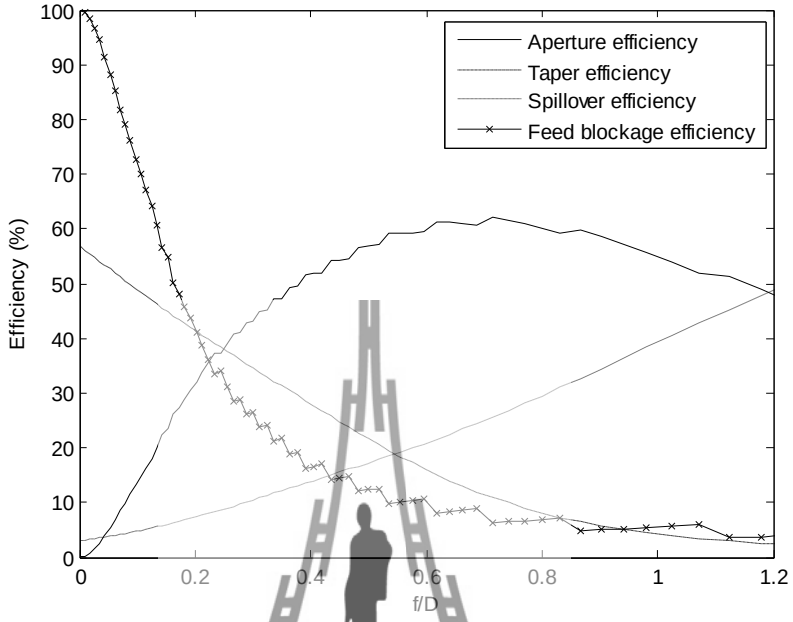
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนเมื่อไม่พิจารณาการบดบังของตัวป้อน

รูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงผลกระทบของตัวป้อนที่บดบังการแผ่กำลังงาน ทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลง จากรูปที่ 4.7 ถ้าไม่พิจารณาขนาดตัวป้อน สายอากาศจะมีประสิทธิภาพอะเพอร์เจอร์ประมาณ 70% แต่ถ้าพิจารณาการบดบังเนื่องจากตัวป้อนดังแสดงในรูปที่ 4.8

พบว่าทำให้ประสิทธิภาพลดลงเหลือเพียง 60% เท่านั้น ดังนั้นการออกแบบตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนที่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของสายอากาศเพิ่มขึ้นได้



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนเมื่อพิจารณาการบดบังของตัวป้อน

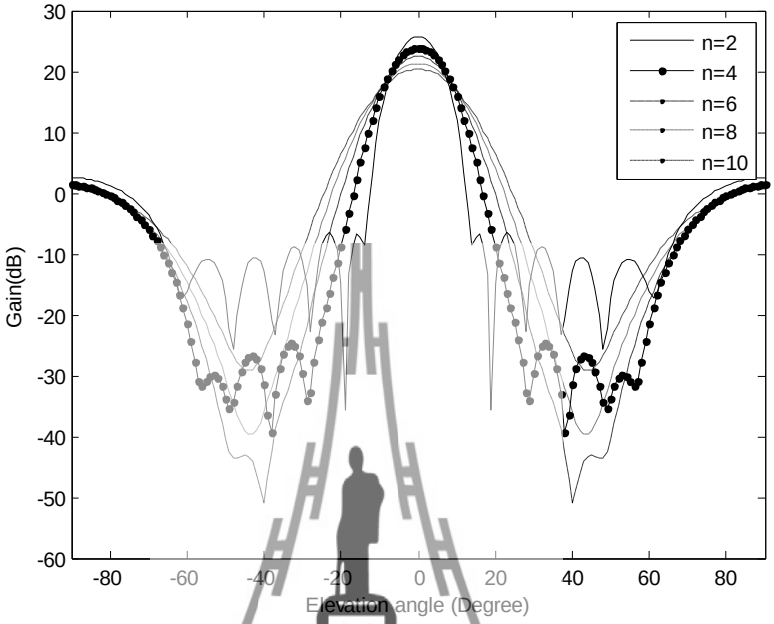
4.4 การศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน

ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนทั้งกรณีสายอากาศแบบเจาะจงทิศทางและแบบจัดลำคลื่น

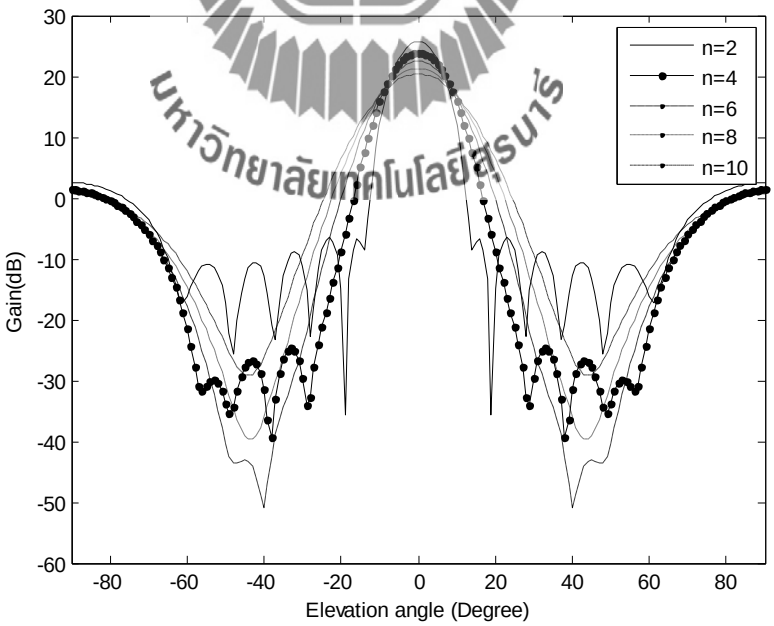
4.3.1 สายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทาง

สำหรับการออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนเพื่อทดแทนสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิก จะมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง ถ้ากำหนดให้ไม่เกิดการสูญเสียเนื่องจากการล้น พบว่าตัวป้อนที่มีกำลังโคไซน์ต่ำทั้งระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กจะให้สนามตกกระทบผิวสะท้อนใกล้เคียงกันทุกจุด ส่งผลให้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนมีอัตราขยายสูง โดยลักษณะลำคลื่นจะแคบและชี้ไปยังตำแหน่ง 0 องศา ถ้าค่ากำลังโคไซน์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราขยายเพิ่มสูงขึ้น รูปที่ 4.9 แสดงผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทาง และสมการที่(4.3) เป็นสมการคำนวณแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศแถวลำดับ

$$E(\hat{u}) = \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} F(\vec{r}_{mn} \bullet \hat{a}) \bullet A(\hat{u} \bullet \hat{u}_r) \bullet \exp[-jk_0(|\vec{r}_{mn}| + \vec{r}_i \bullet \hat{u}) - j\Delta\phi_{mn}] \qquad (4.3)$$



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.9 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงาน
ของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.5 การศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและจำลองผลสายอากาศร่องแบบเรียวเพื่อเป็นตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CST

จากการศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมา พบว่า ตัวป้อนที่เหมาะสมสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อนคือ สายอากาศที่มีกำลังโคไซน์ต่ำหรือมีลำคลื่นกว้างนั่นเอง และตัวป้อนควรมีขนาดเล็กไม่บดบังคลื่นที่สะท้อนออกมาจากตัวสะท้อน จากการศึกษาปริทัศวรรณกรรมในบทที่ 2 พบว่าสายอากาศที่เหมาะในการออกแบบตัวป้อนคือสายอากาศร่องแบบเรียว เนื่องจากไม่บดบังคลื่น แต่สายอากาศดังกล่าวมักมีปัญหาการสูญเสียจากความเรียวของแบบรูปของตัวป้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการปรับรูปแบบสายอากาศร่องแบบเรียวให้มีกำลังโคไซน์ต่ำ

4.5.1 การคำนวณค่าพารามิเตอร์อ้างอิงต่างๆ ของสายอากาศร่องแบบเรียว

จากบทที่ 3 สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์อ้างอิงต่าง ๆ ของสายอากาศร่องแบบเรียวได้ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงในการออกแบบสายอากาศร่องแบบเรียว

เมื่อกำหนดให้ความถี่ปฏิบัติการคือ 5.2 GHz และป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริป 50 โอห์ม จะได้ $f = 5.2GHz, H = 1.6mm, Z_o = 50\,\Omega, \varepsilon_r = 4.5$

1. ความยาวของร่อง หรือ F_l หาได้จาก

$$F_l = \lambda_0 = \frac{3\times10^8}{5.2\times10^9} = 57.69mm$$

2. ความกว้างของร่อง F_w

$$F_w = \frac{\lambda_0}{2} = 28.85mm$$

3. ความยาวของสายอากาศ A_l

$$A_l = F_l + \frac{\lambda_0}{4} = 72.11mm$$

4. ความกว้างของสายอากาศ A_w เมื่อกำหนดให้จุดสุดท้ายของร่องเรียว *(end of the tapered)* กว้างเท่ากับ 2 mm จะได้

$$A_w = F_w + 2(end\ of\ the\ tapered) = 28.85 + 2(2) = 32.85mm$$

5. เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมของสตับ หาได้จาก

$$D_s = \frac{\lambda_s}{4} = 6.79mm$$

6. ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง หรือ L_t และความยาวชดเชยด้านหลังสตับ หรือ L_g เมื่อกำหนดให้ $L_t = L_g$ จะได้

$$L_s = L_t = \frac{\frac{\lambda_0}{4} - D_s}{2} = 3.82mm$$

7. ความกว้างของเส้นไมโครสตริป W_{st} หาได้จาก

$$H' = \frac{Z_0\sqrt{2(\varepsilon_r + 1)}}{119.9} + \frac{1}{2}\left(\frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1}\right)\left(\ln\frac{\pi}{2} + \frac{1}{\varepsilon_r}\ln\frac{4}{\pi}\right) = 1.54$$

และ

$$\frac{w_{st}}{H} = \left(\frac{(\exp H')}{8} - \frac{1}{4\exp H'}\right)^{-1}$$

เมื่อ H = 1.6 mm จะได้ $w_{st} = 3.02mm$

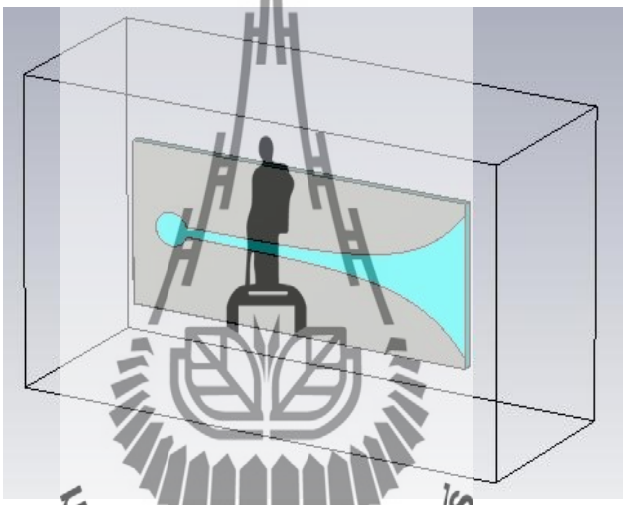
4.5.2 การจำลองแบบ สายอากาศตามค่าการคำนวณ โดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO

ผลจากการจำลองแบบสายอากาศร่องแบบเรียวด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ดังแสดงรูปที่ 4.12 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ โดยสายอากาศทำงานที่ความถี่ประมาณ 2.88 GHz และ 5.1 GHz ตามลำดับ ดังนั้นจึงต้อง ทำการปรับหาค่าที่เหมาะสม เพื่อให้ได้สายอากาศร่องแบบเรียวที่มีความกว้างแถบครอบคลุมช่วงความถี่ปฏิบัติการ ที่ 5.2 GHz โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับหาค่าที่เหมาะสม ได้แก่ ความยาวของสายอากาศ (antenna length : A_l) ความกว้างของร่อง (flared slotline width : F_w) ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของสตับ (Diameter of stub : D_s) อัตราความโค้งของร่องเรียวเอกซ์โพเนนเชียล (exponential opening rate : R) อัตราความโค้งของแผ่นสะท้อน (r) และตำแหน่งของแผ่นสะท้อน (x) ซึ่งจะพิจารณาการปรับหาค่าที่เหมาะสมจากค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ

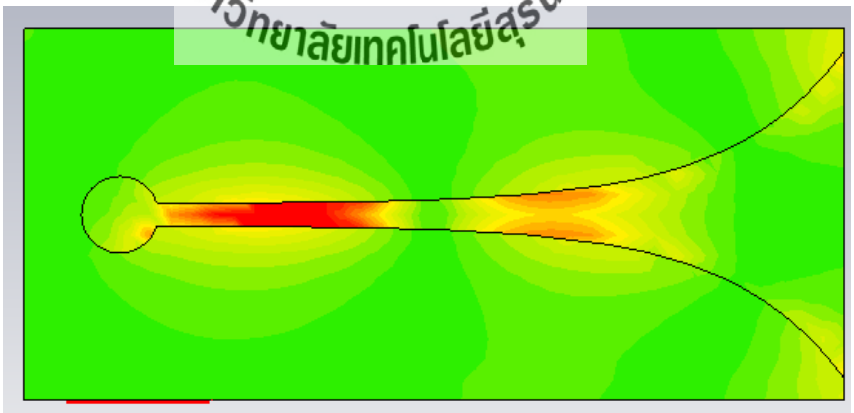
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์อ้างอิงของสายอากาศร่องแบบเรียว

พารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบเรียว	ขนาด (mm)
A_l : ความยาวของสายอากาศ	72.11
A_w : ความกว้างของสายอากาศ	32.85
F_l : ความยาวของร่อง	57.69
F_w : ความกว้างของร่อง	28.85
R : อัตราความโค้งของร่องเรียวเอกซ์โพเนนเชียล	0.1

L_g : ความยาวชดเชยด้านหลังสตับ	3.82
L_t : ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง	3.82
H : ความสูงของวัสดุฐานรอง	1.6
D_s : เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมของสตับ	6.79
W_{st} : ความกว้างของเส้นไมโครสตริป	3.02
r : อัตราความโค้งของแผ่นสะท้อน	0.1
L: คามยาวของแผ่นสะท้อน	35
W: ความกว้างของแผ่นสะท้อน	8

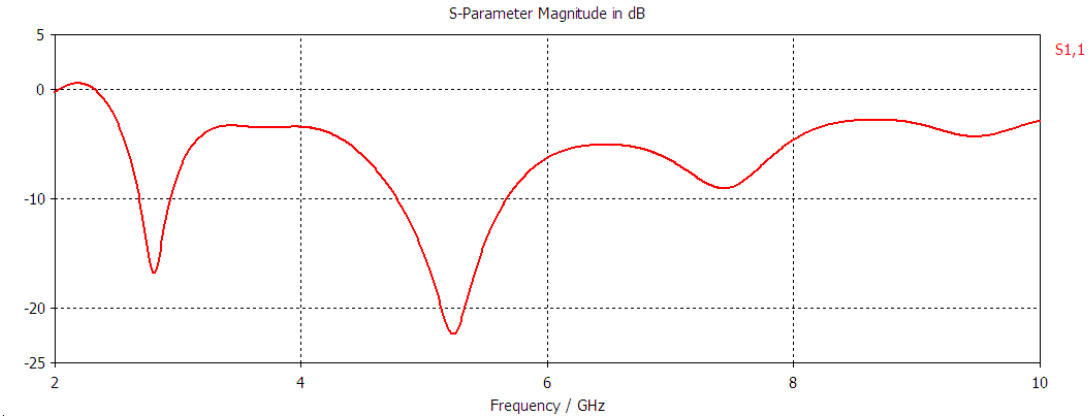


(ก) แบบจำลองสายอากาศ



(ข) การแผ่สนามไฟฟ้าของสายอากาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



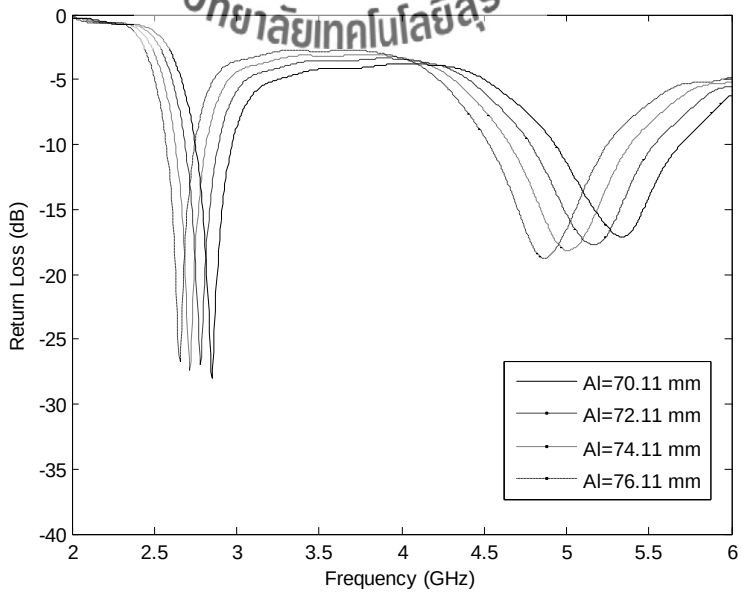
(ค) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ

รูปที่ 4.10 ผลการจำลองแบบสายอากาศร่องแบบเรียวด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO กรณีไม่มีแผ่นสะท้อนด้านหน้า

4.5.3 การศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบเรียว

1. ความยาวของสายอากาศ

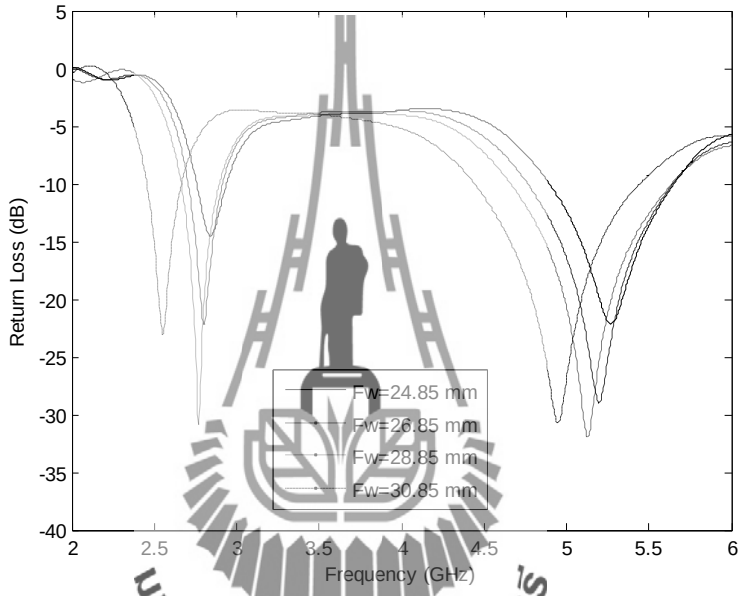
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของสายอากาศ หรือ A_l เท่ากับ 70.11 มิลลิเมตร 72.11 มิลลิเมตร 74.11 มิลลิเมตร และ 76.11 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยให้ค่าพารามิเตอร์ อื่น ๆ มีค่าคงที่ จากการจำลองผลพบว่าเมื่อสายอากาศร่องแบบเรียวมีความยาวเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ สายอากาศมีความถี่เรโซแนนซ์ลดลง แสดงได้ดังรูปที่ 4.11 ดังนั้นจึงเลือกค่าความยาวของสายอากาศเท่ากับค่าอ้างอิงเดิมคือ 72.11 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.11 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า A_l

2. ความกว้างของร่อง

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของร่อง หรือ F_w เท่ากับ 24.85 มิลลิเมตร 26.85 มิลลิเมตร 28.85 มิลลิเมตร และ 30.85 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ พบว่าเมื่อค่า F_w เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการสูญเสียย้อน กลับดีขึ้นเนื่องจากเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการแผ่กระจายพลังงาน แต่ถ้า F_w เพิ่มมากขึ้นจะพบว่าความถี่ปฏิบัติการที่ช่วงความถี่กลางจะเลื่อนไปยังความถี่ที่ต่ำลง แต่จากการจำลองผลจะเห็นได้ว่าเมื่อ F_w เท่ากับ 26.85 มิลลิเมตร มีผลของค่าการสูญเสียย้อนกลับดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.12

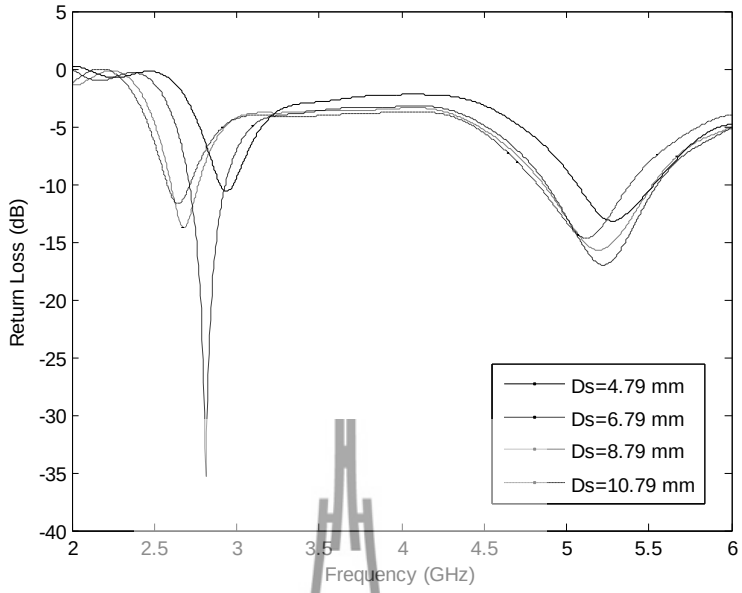


รูปที่ 4.12 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า F_w

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางสตับ

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางสตับ เท่ากับ 4.79 มิลลิเมตร 6.79 มิลลิเมตร 8.79 มิลลิเมตร และ 10.79 โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ จากการจำลองผล พบว่าเมื่อค่า D_s ที่ทำให้สายอากาศแมตช์ที่ความถี่ 5.2 GHz คือ D_s เท่ากับ 6.79 มิลลิเมตร

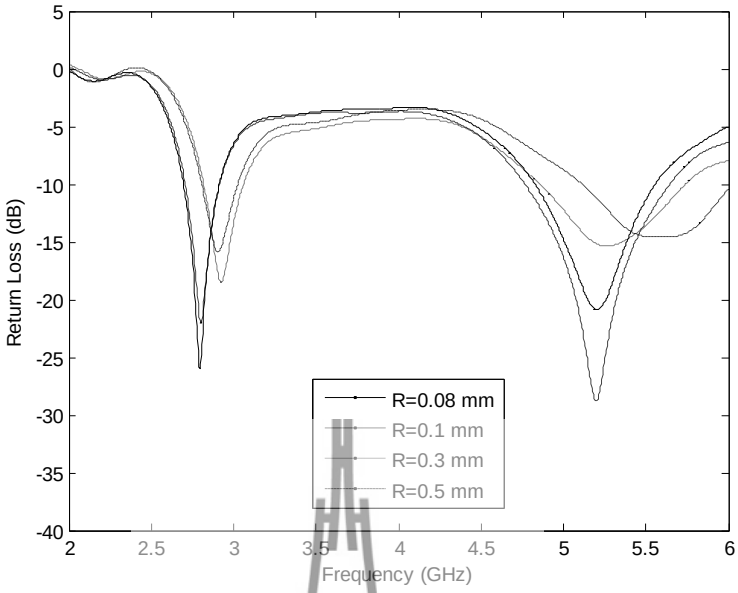


รูปที่ 4.13 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า D_s

4. อัตราความโค้งของเส้นร่องเอ็กโปแนนเชียล

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราความโค้งของร่องเรียวเอกซ์โพเนนเชียลหรือ R เท่ากับ 0.08 0.1 0.3 และ 0.5 โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ จากการจำลองผลพบว่า เมื่อค่า R เพิ่มขึ้น ทำให้แถบความถี่กว้างมากขึ้น จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าที่ค่า R เท่ากับ 0.1 จะให้ผลของค่าการสูญเสียย้อนที่ดีสุด พบว่าได้ความถี่ปฏิบัติการ อยู่ในช่วงความถี่ 4.74-5.64 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนน้อยกว่า -10 dB

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

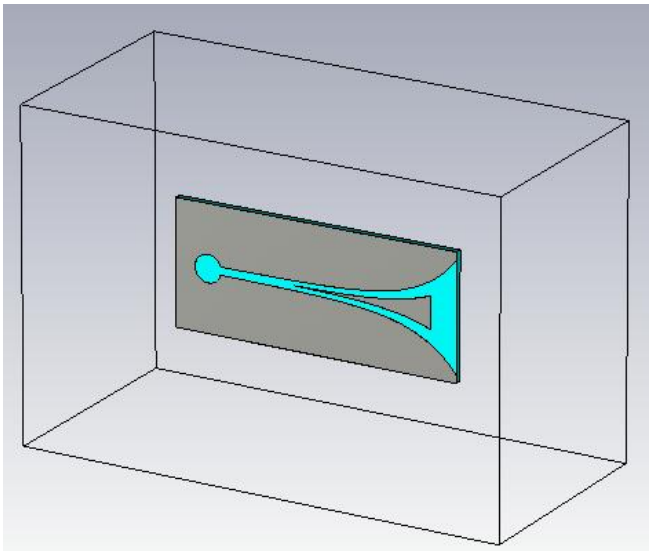


รูปที่ 4.14 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า R

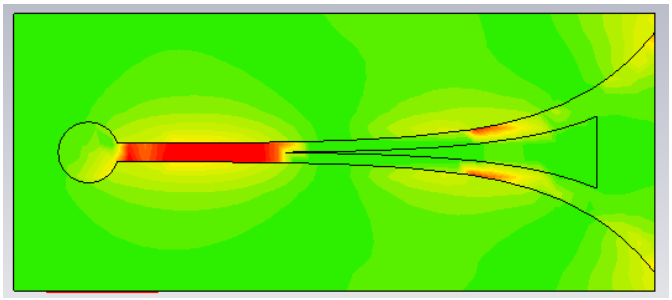
5. เพิ่มแผ่นสะท้อนและศึกษาอัตราความโค้งและตำแหน่งของแผ่นสะท้อน

ผลการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียวเมื่อเพิ่มส่วนสะท้อนด้านหน้า ดังแสดงในรูปที่ 4.15 (ก) จะเห็นว่า แผ่นสะท้อนส่งผลต่อความถี่เรโซแนนซ์เล็กน้อย และสามารถสะท้อนคลื่นบริเวณกึ่งกลางลำคลื่นได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.15(ข) การวางตำแหน่งแผ่นสะท้อนที่เหมาะสมจะส่งผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ รูปที่ 4.15(ค) และ (ง) แสดงผลกระทบของอัตราความโค้งของแผ่นสะท้อนและตำแหน่งของแผ่นสะท้อน

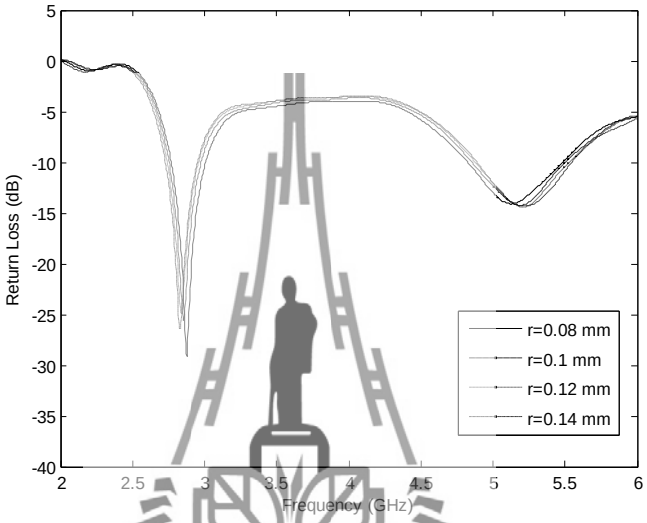
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ก) แบบจำลองสายอากาศ

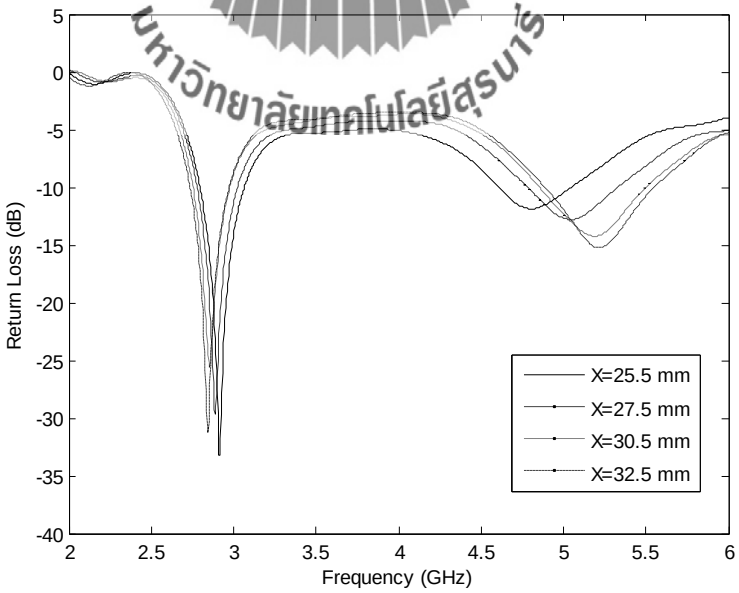


(ข) การแผ่สนามไฟฟ้าของสายอากาศ



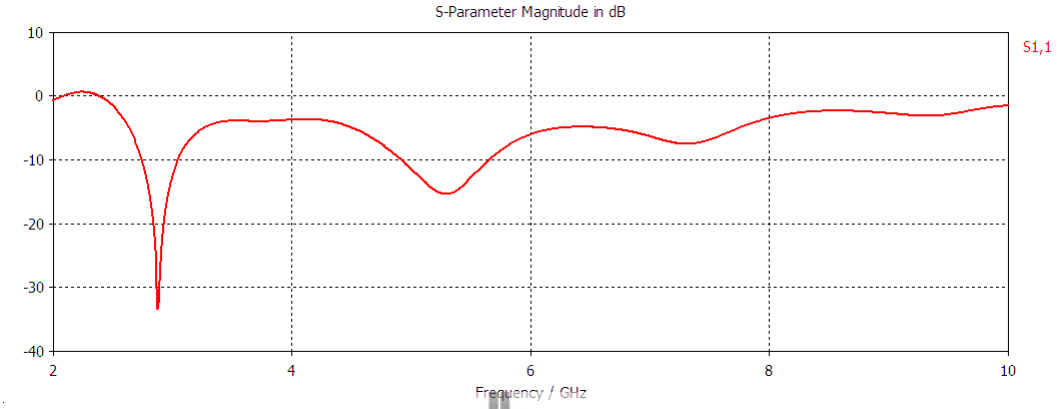
(ค) ปรับอัตราความโค้งของแผ่นสะท้อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

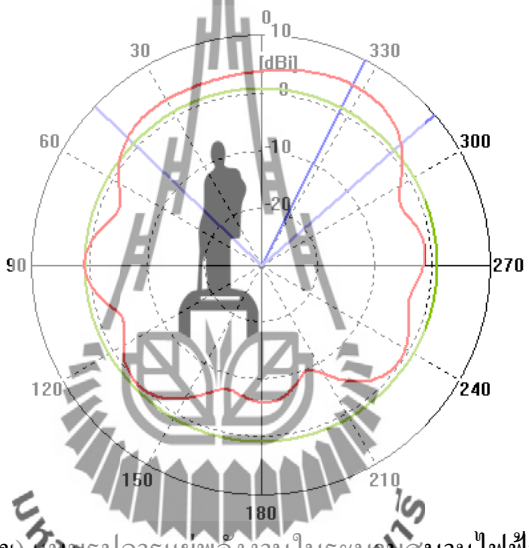


(ง) ปรับระยะของแผ่นสะท้อน

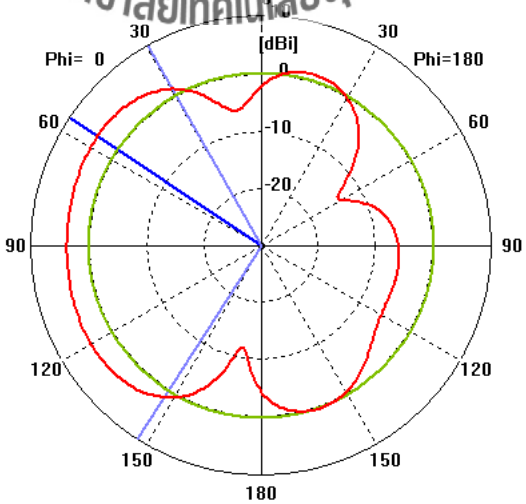
รูปที่ 4.15 ผลกระทบต่อลำคลื่นหลังเพิ่มแผ่นสะท้อนด้านหน้า



(ก) การสูญเสียย้อนกลับ



(ข) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า



(ค) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.16 ผลการจำลองแบบหลังปรับพารามิเตอร์ของสายอากาศครั้งที่ 1

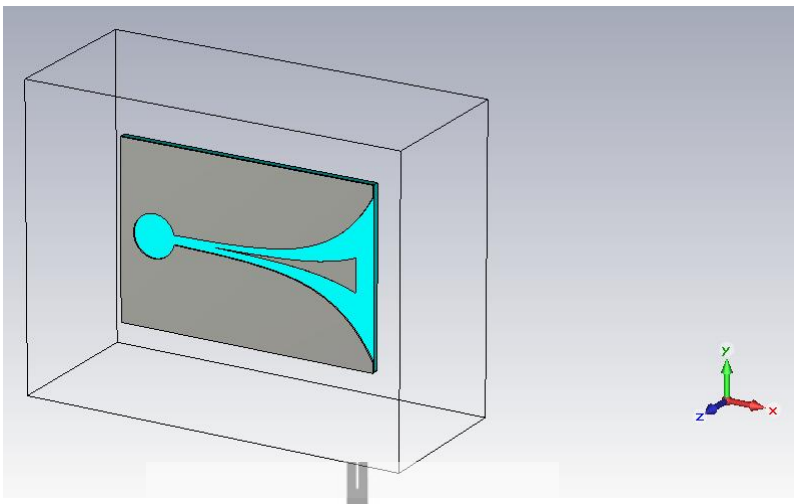
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากการปรับหาค่าพารามิเตอร์ สามารถสรุปค่าพารามิเตอร์สำหรับการปรับครั้งแรกได้ดังตารางที่ 4.2 เนื่องจากสายอากาศร่องแบบเรียวที่ออกแบบมีแผ่นสะท้อนด้านหน้าเพื่อแบ่งกำลังงานและสายอากาศสามารถทำงานได้สองความถี่ โดยสายอากาศแมตช์ที่ความถี่ 2.88 GHz และ 5.2 GHz จึงทำให้สายอากาศมีอัตราขยายเท่ากับ 5.26 dB ถ้าต้องการให้อัตราขยายเพิ่มสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องลดความถี่ปฏิบัติการด้านความถี่ต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงปรับขนาดของสายอากาศใหม่อีกครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.17 แสดงผลการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียว จะเห็นว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าน้อยกว่า-10 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 4.59 GHz ถึง 8.17 GHz ดังรูปที่ 4.17(ข) อัตราส่วนคลื่นนิ่งมีค่าต่ำกว่า 2 ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 4.59 GHz ถึง 8.17 GHz เช่นกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.17(ค) สำหรับแบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ 4.17(ง) และ (จ) ตามลำดับ โดยผลการจำลองที่ได้มีอัตราขยายดังตารางที่ 4.3

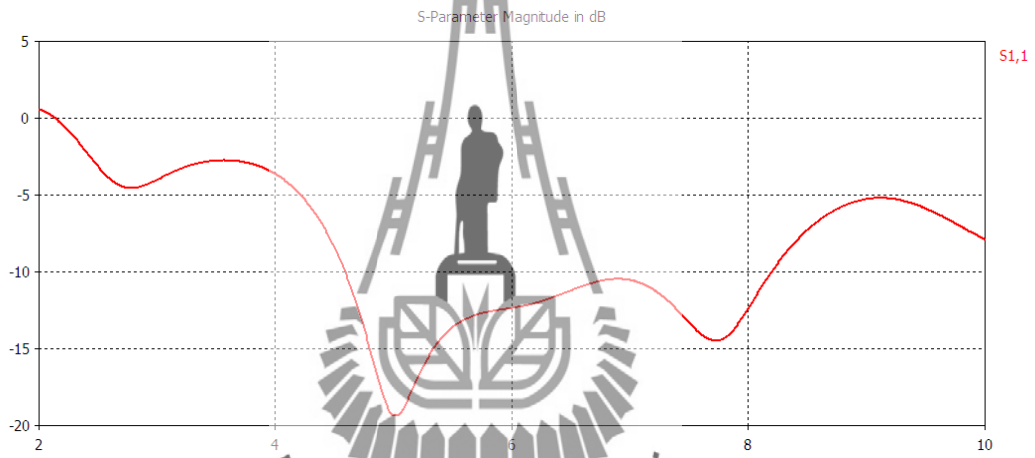
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบเรียวหลังปรับพารามิเตอร์

พารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบเรียว	ขนาด (mm)	
	ปรับครั้งที่ 1	ปรับครั้งที่ 2
A_l : ความยาวของสายอากาศ	72.11	63.03
A_w : ความกว้างของสายอากาศ	30.85	42.82
F_l : ความยาวของร่อง	57.68	45.79
F_w : ความกว้างของร่อง	26.85	37.62
R : อัตราความโค้งของร่องเรียวเอกซ์โพเนนเชียล	0.1	0.1
L_g : ความยาวชดเชยด้านหลังสตับ	3.82	3.42
L_t : ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง	3.82	3.42
H : ความสูงของวัสดุฐานรอง	1.6	1.6
D_s : เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมของสตับ	6.79	10.4
W_{st} : ความกว้างของเส้นไมโครสตริป	3.0079	3.00079
r : อัตราความโค้งของแผ่นสะท้อน	0.1	0.1
L: คามยาวของแผ่นสะท้อน	35	35
W: ความกว้างของแผ่นสะท้อน	8	8

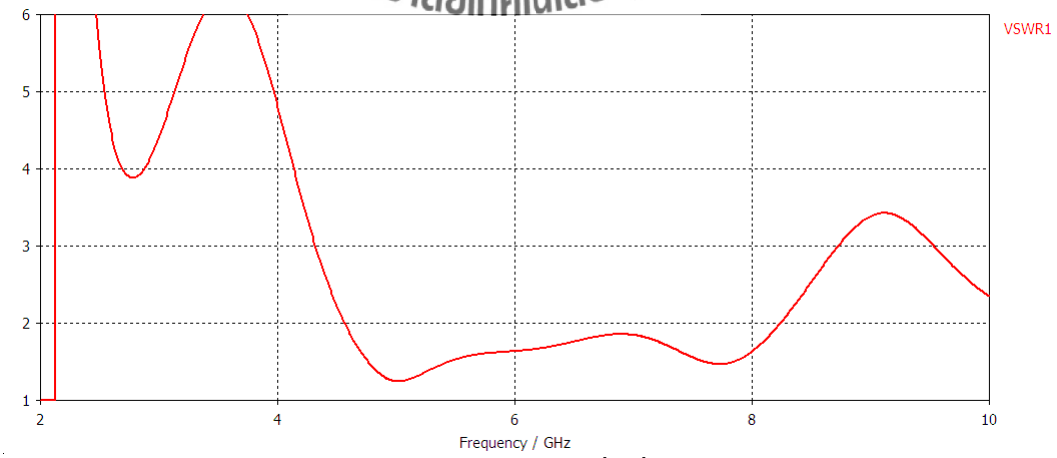
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ก)

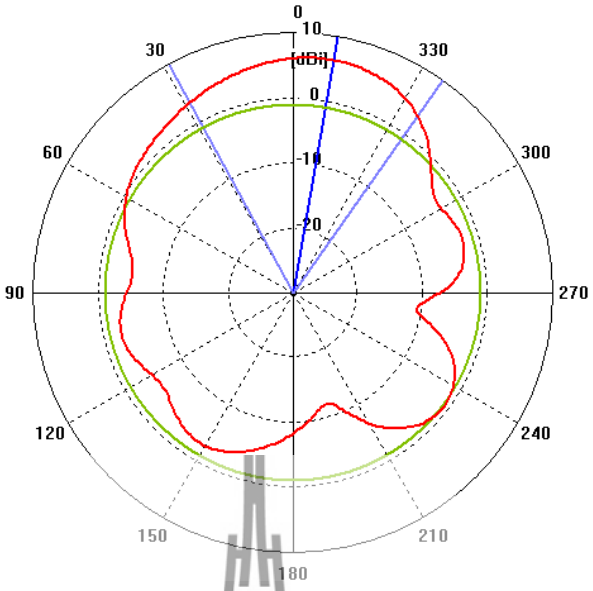


(ข) การสูญเสียย้อนกลับ

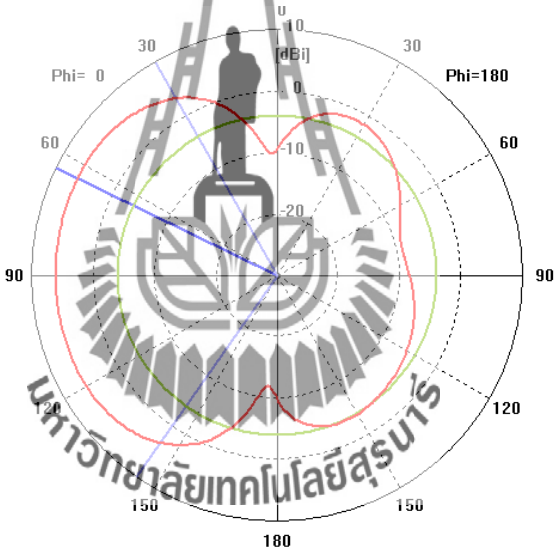


(ค) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ง) แบบรูการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า



(จ) แบบรูการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.17 ผลการจำลองแบบสายอากาศที่นำเสนอ

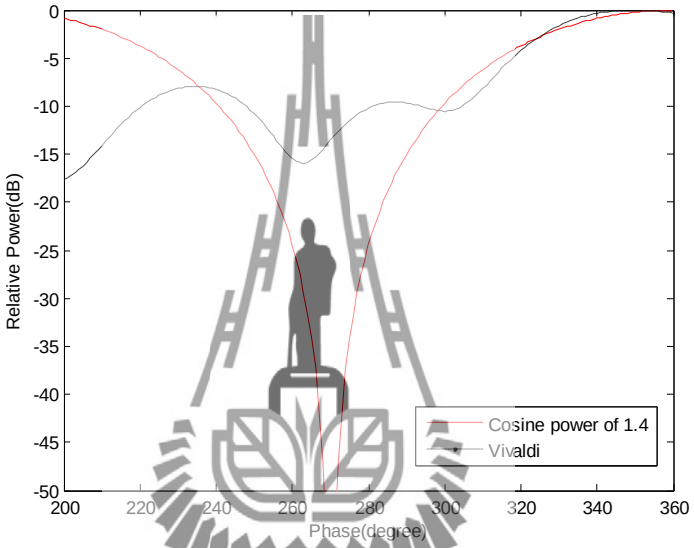
ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราขยายจากผลการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียว

สายอากาศ	อัตราขยาย (dB)
ใช้พารามิเตอร์อ้างอิง	5.37
หลังปรับพารามิเตอร์ครั้งที่ 1	5.26
หลังปรับพารามิเตอร์ครั้งที่ 2	6.44

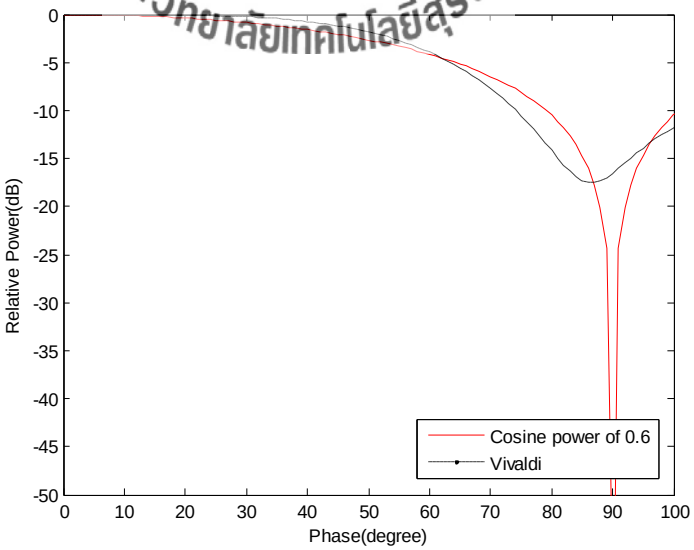
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.6 การออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้ตัวป้อนจากสายอากาศร่องแบบเรียวที่ได้ออกแบบ

การออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปโดยใช้ตัวป้อนที่ออกแบบไว้ในหัวข้อ 4.5 โดยกำหนดให้ขนาดตัวสะท้อนมีค่าเท่ากับ 0.35 เมตร และตัวป้อนวางที่ตำแหน่งกึ่งกลางตัวสะท้อน ห่างจากตัวสะท้อนด้วยระยะโฟกัสเท่ากับ 0.14 เมตร เมื่อพิจารณาแบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อนในรูปที่ 4.18 สามารถหากำลังโคไซน์ของตัวป้อนได้เท่ากับ n=1.4 และ n=0.6 ในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กตามลำดับ



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

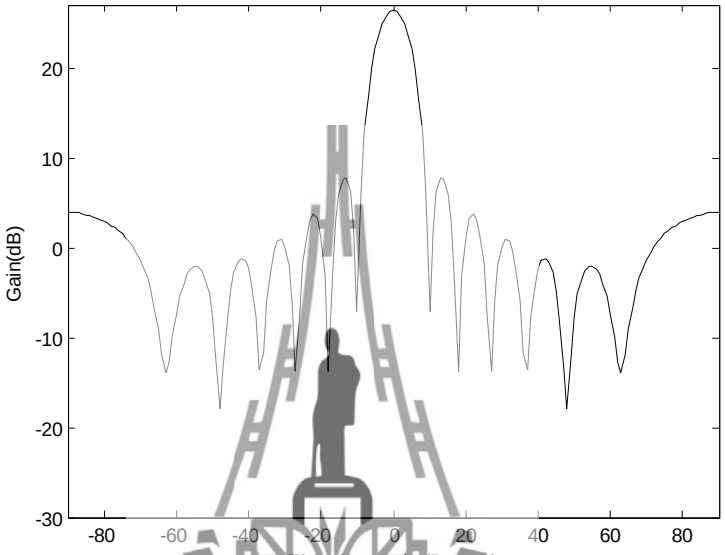


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

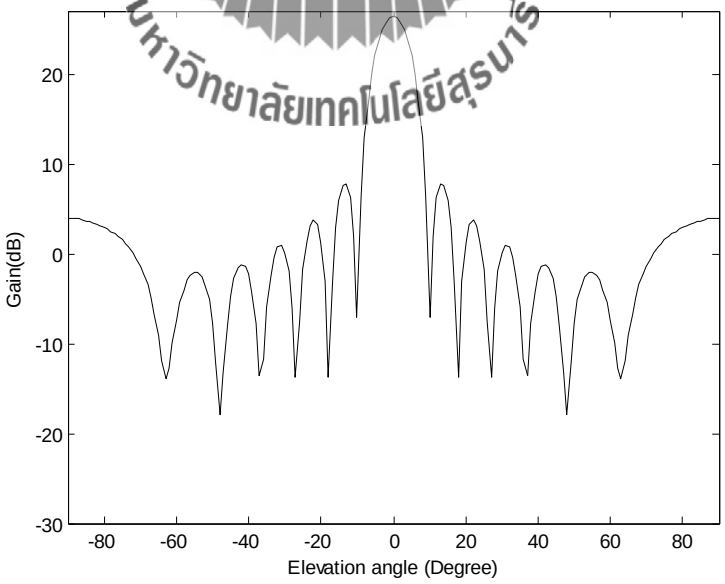
รูปที่ 4.18 กำลังโคไซน์ของตัวป้อนที่ออกแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อนำสายอากาศร่องแบบเรียวมาใช้ป้อนกำลังงานให้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนทั้งแบบเจาะจงทิศทางและแบบจัดลำคลื่น สามารถแสดงแบบรูปการแผ่กำลังงานได้ดังรูปที่ 4.19 ถึง 4.21 ซึ่งพบว่าสายอากาศแถวลำดับสะท้อนให้อัตราขยายเท่ากับ 26.45, 20.32 และ 20.15 dB สำหรับสายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง แบบจัดลำคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และแบบจัดลำคลื่นรูปวงกลม ตามลำดับ



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

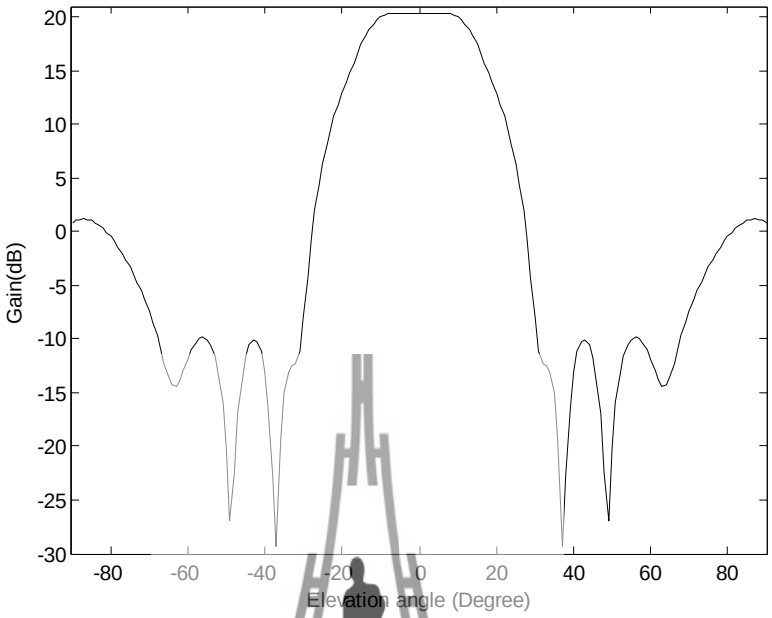


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

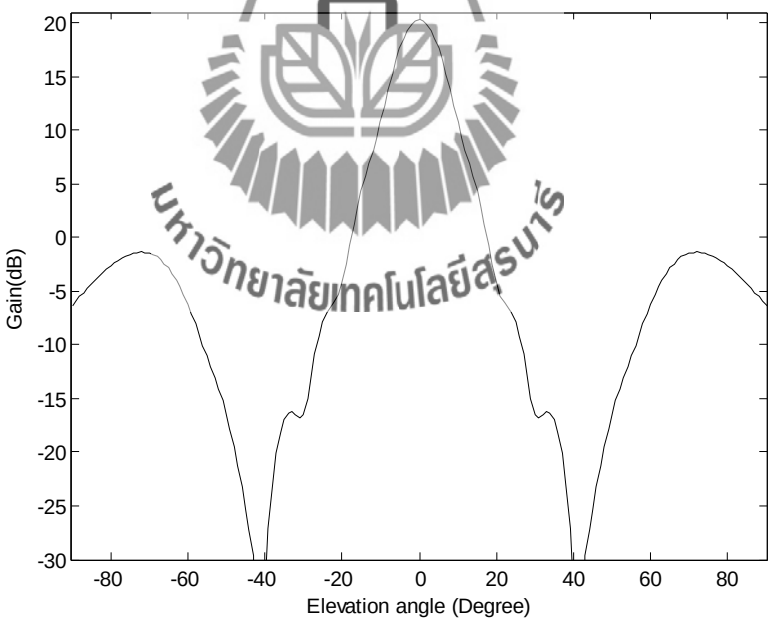
รูปที่ 4.19 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อใช้ตัวป้อนที่ออกแบบ



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

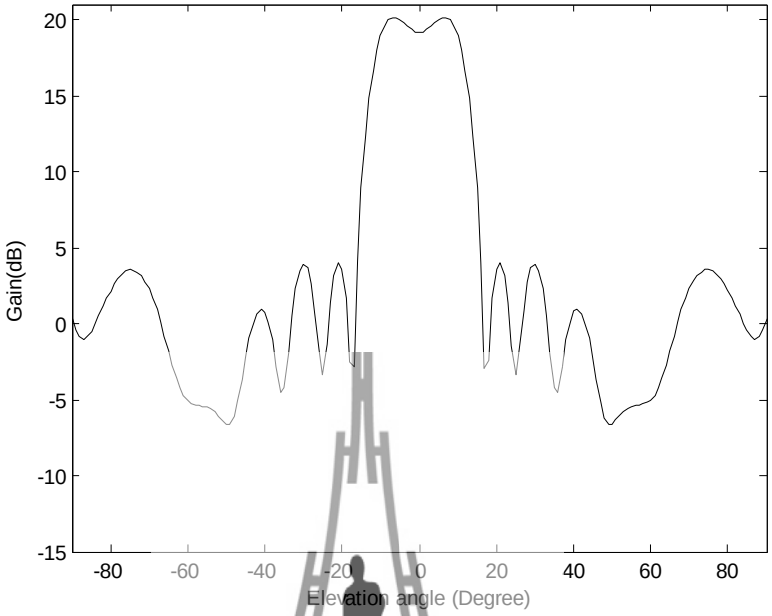


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็กรูปที่

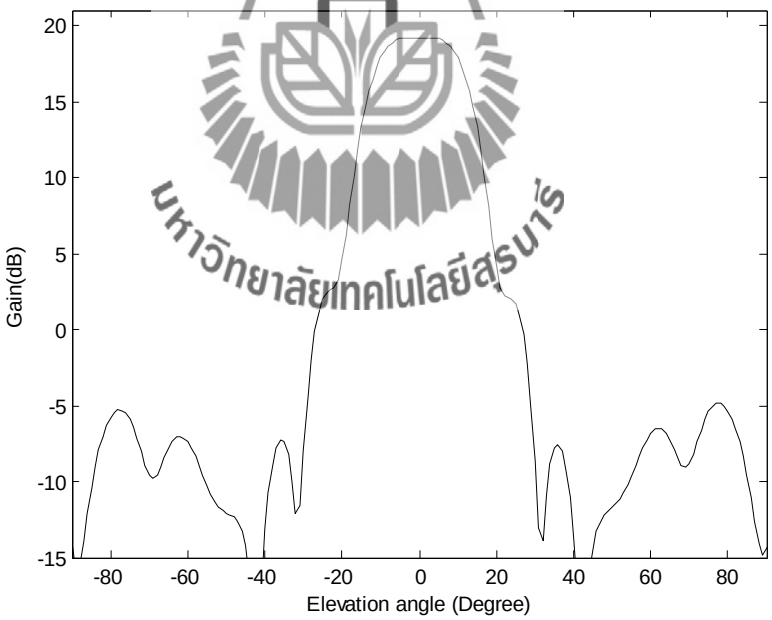
4.20 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อใช้ตัวป้อนที่ออกแบบ



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.21 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำคลื่นรูปวงกลม เมื่อใช้ตัวป้อนที่ออกแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.7 สรุป

จากการออกแบบตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้สายอากาศร่องแบบเรียว และจำลองแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ตามค่าที่ได้คำนวณ พบว่าสายอากาศไม่แมตช์ จึงทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการ และทำการเพิ่มชิ้นส่วนเพื่อทำให้คลื่นกระจายออกในทิศทางที่ต้องการ ทำให้ได้ตัวป้อนที่เหมาะสม โดยมีกำลังโคไซน์ต่ำ ประมาณ n=1.4 และ n=0.6 ในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กตามลำดับ เมื่อนำสายอากาศดังกล่าวมาเป็นตัวป้อน จึงทำให้ได้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทางที่อัตราขยายสูงประมาณ 26 dB และจากผลการออกแบบจะนำสายอากาศสร้างเป็นชิ้นงานต้นแบบและวัดทดสอบในบทที่ 5 ต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
การสร้างชิ้นงานและผลการวัดทดลอง

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการนำทฤษฎีและหลักการทั้งหมดที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมาช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ ในโครงสร้างสายอากาศที่นำเสนอนี้เป็นตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปที่มีลำคลื่นกว้าง โดยจะอธิบายถึงวิธีการสร้างสาย อากาศต้นแบบ จากนั้นนำสายอากาศต้นแบบมาวัดทดสอบคุณลักษณะ ได้แก่ แบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก อัตราขยายของสายอากาศ ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง เป็นต้น

5.2 วิธีการสร้างสายอากาศต้นแบบ

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกใช้ สายอากาศร่องแบบเรียว ในการนำมาสร้าง ตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน ต้นแบบ โดยใช้ แผ่นไมโครสตริปชนิด FR4 ซึ่งมีความหนา 1.6 มิลลิเมตร และมีค่า สภาพยอม ε_r = 4.5 ที่ความถี่ปฏิบัติการ 5.2 GHz

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 จนได้ขนาดและรูปแบบของ ตัวป้อน ของสายอากาศตามที่ต้องการ โดยผลจากการจำลองจะมีนามสกุลแฟ้มข้อมูลคือ CST ซึ่งจะต้องนำไฟล์ออก (export file) จากโปรแกรมสำเร็จรูป CST และบันทึกข้อมูลนามสกุลแฟ้มข้อมูลที่ได้ ก่อนเป็นแฟ้มข้อมูลนามสกุล DXF เมื่อได้แฟ้มข้อมูลแล้ว ได้นำไปจัดแต่งรูปร่างของสายอากาศด้วยโปรแกรม Auto CAD 2008 ก่อนนำไปตัดสติ๊กเกอร์โดยใช้โปรแกรม CorelDRAW 9 เพื่อนำไปใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ แสดงดังรูปที่ 5.7 ซึ่งได้ใช้แผ่นไมโครสตริปชนิด FR4 จากนั้นนำสายอากาศป้อนต้นแบบต่อเข้ากับขั้วต่อชนิด SMA 50 โอห์ม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.3 อุปกรณ์

1.แผ่น FR4 1.6mm

รูปที่ 5.1 แผ่น FR4 1.6mm

2.น้ำยากัดปริ๊น

รูปที่ 5.2 น้ำยากัดปริ๊น

3.แผ่นสติ๊กเกอร์

รูปที่ 5.3 แผ่นสติกเกอร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4. SMA Female Connector

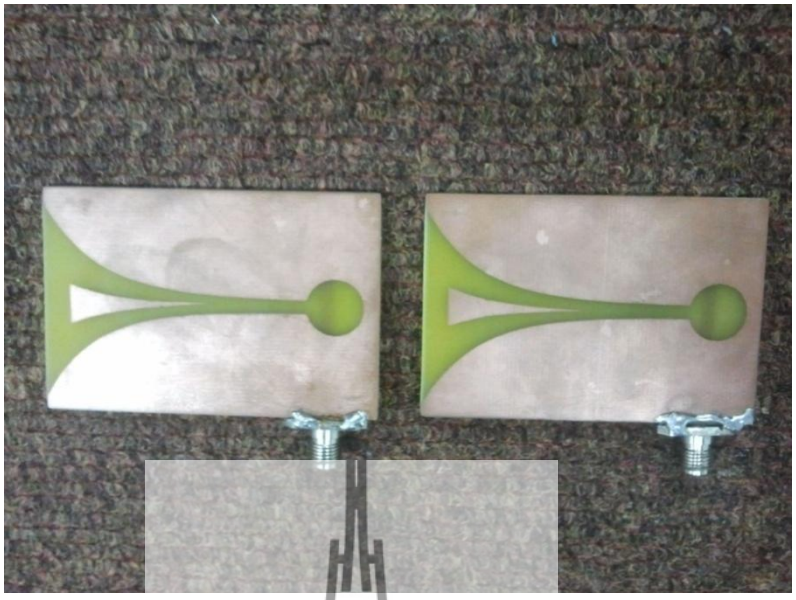
รูปที่ 5.4 SMA Female Connector

5.สายนำสัญญาณ

รูปที่ 5.5 สายนำสัญญาณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 5.6 สายอากาศวิวอลดิหลังจากใช้น้ำยากัดปริ้น



(ก)ด้านหน้า

(ข) ด้านหลัง

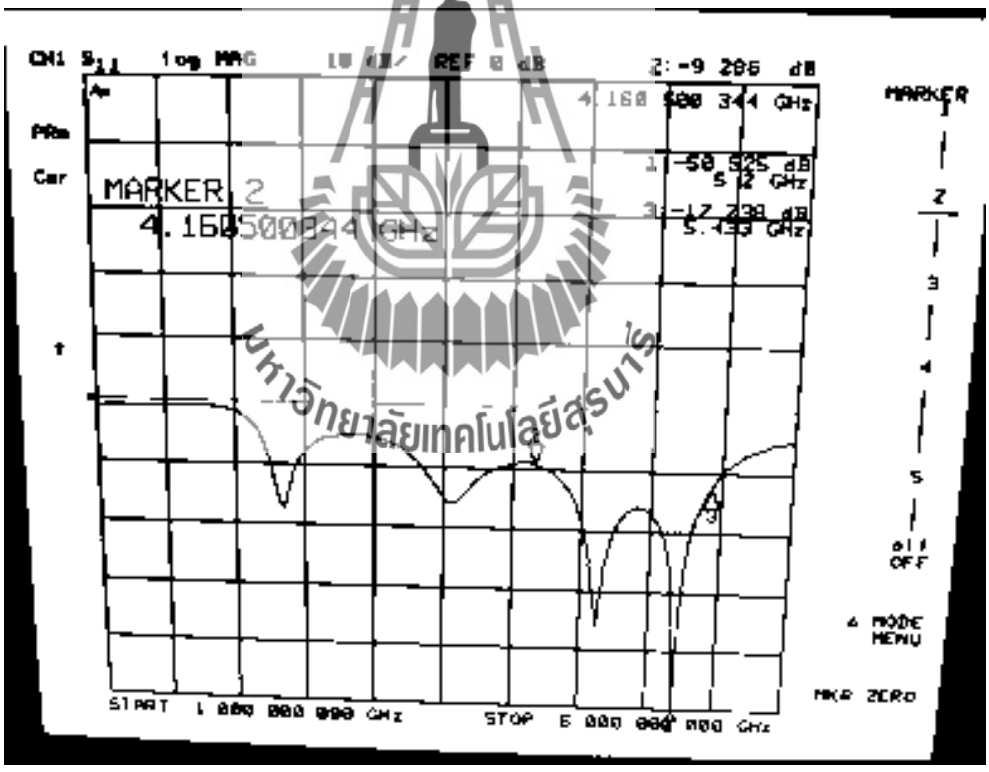
รูปที่ 5.7 สายอากาศป้อนต้นแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.4 ผลการวัดทดสอบการสูญเสียย้อนกลับ

สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาการแมตช์อิมพีแดนซ์ด้านเข้า คือ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) หรือ ค่าพารามิเตอร์ S_{11} ในการพิจารณา ค่าพารามิเตอร์ S_{11} หมายถึงการสะท้อนกลับของกำลังไฟฟ้าด้านเข้า (port 1) ของสายอากาศ ซึ่งขนาดของ S_{11} อาจจะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 dB ถึง ลบอนันต์ (negative infinity dB) ถ้ามีค่าเท่ากับ 0 dB แสดงว่าไม่แมตช์อย่างสมบูรณ์ และถ้ามีค่าเป็นลบอนันต์ แสดงว่ามีการแมตช์ที่สมบูรณ์ดีที่สุด ในงานประยุกต์ต่าง ๆ ค่าของ S_{11} จะยอมรับได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ซึ่งจะสอดคล้องกับค่า SWR เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า แสดงว่ามีการแมตช์ที่ดี จากรูปที่ 5.8 แสดงกราฟค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศต้นแบบในรูปของพารามิเตอร์ S_{11} จากรูปจะสังเกตได้ว่าสายอากาศต้นแบบที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นมีค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 dB ที่ช่วงความถี่ตั้งแต่ 4.6 GHz ถึง 5.5 GHz รูปที่ 5.9 แสดงกราฟค่า SWR ของสายอากาศต้นแบบ และรูปที่ 5.10 แสดงกราฟอิมพีแดนซ์ของสายอากาศต้นแบบ

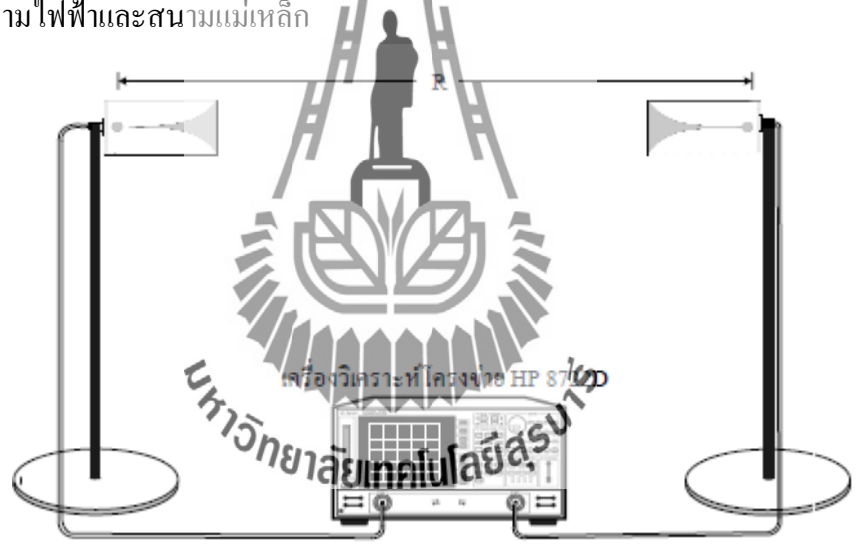
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 5.8 ผลการวัดค่า S11

5.5 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

จากรูปที่ 5.11 แสดงวิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยทำการทดสอบในระยะสนามระยะไกล คือ $R \geq 2D^2/\lambda$ ซึ่ง R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศทดสอบและสายอากาศอ้างอิง โดยการทดสอบนี้ได้กำหนดให้ระยะทางมีค่าคงที่ที่ความถี่สูงสุดมีค่าเท่ากับ 18.5 เซนติเมตร และ D คือขนาดความกว้างของร่องเรียวของสายอากาศซึ่งมีค่าเท่ากับ 42.82 มิลลิเมตร ซึ่งในที่นี้ได้ใช้สายอากาศร่องแบบเรียว โดยมีความถี่ปฏิบัติการอยู่ที่ 4.16 GHz ถึง 5.5 GHz หนึ่งอิลิเมนต์มาเป็นสายอากาศอ้างอิงทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่ง และสายอากาศต้นแบบที่นำมาทดสอบทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาครับ ซึ่งจะมีการหมุนรอบแนวแกนหมุนเพื่อรับคลื่นจากมุม 0 องศาจนถึงมุม 360 องศา จะทำให้สายอากาศมีแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนาม แม่เหล็กที่กว้าง ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ รูปที่ 5.13 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศต้นแบบ ซึ่งผลจากการวัดทดสอบมีความสอดคล้องกันกับผลจากการจำลองแบบทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

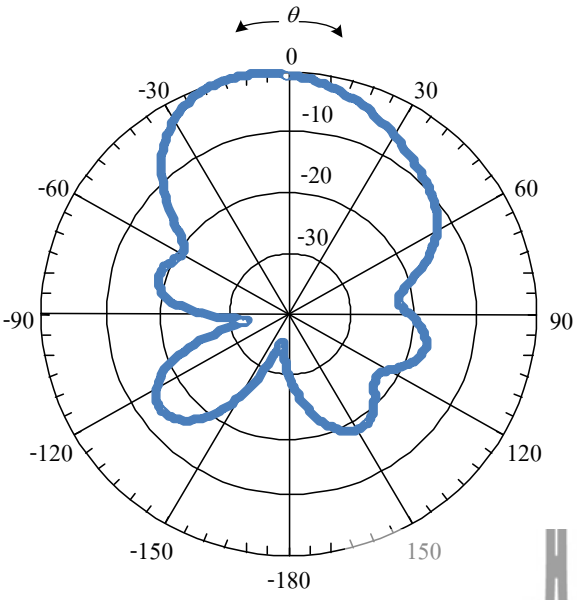


รูปที่ 5.9 วิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

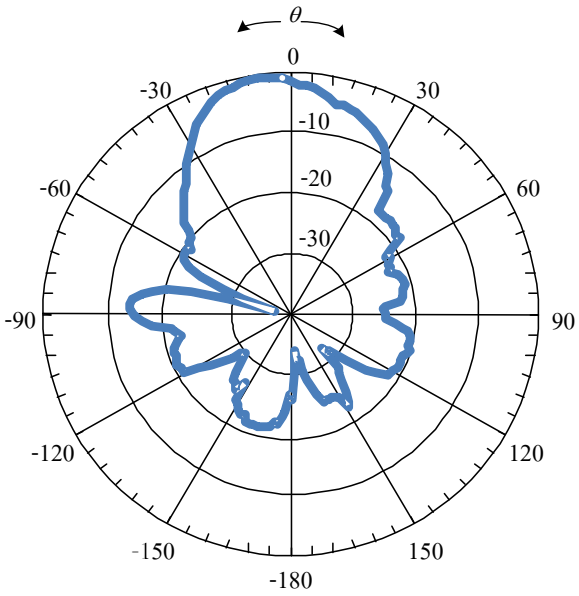
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 5.10 การทดสอบสายอากาศในห้อง Chamber ร่วมกับเครื่อง Network Analysis

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

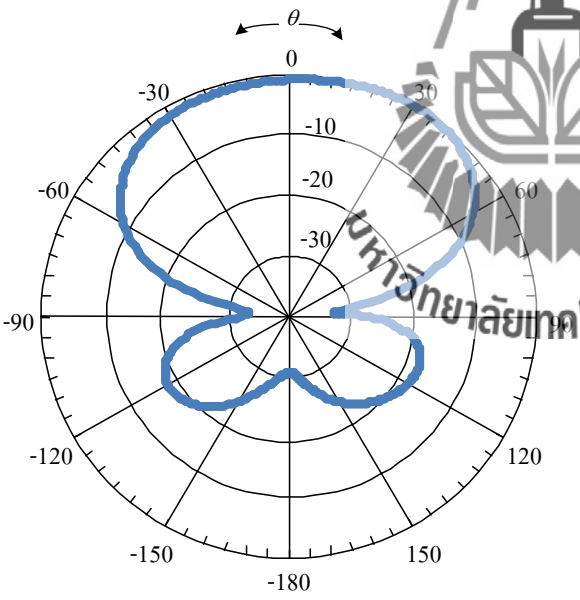


ผลการจำลองแบบ

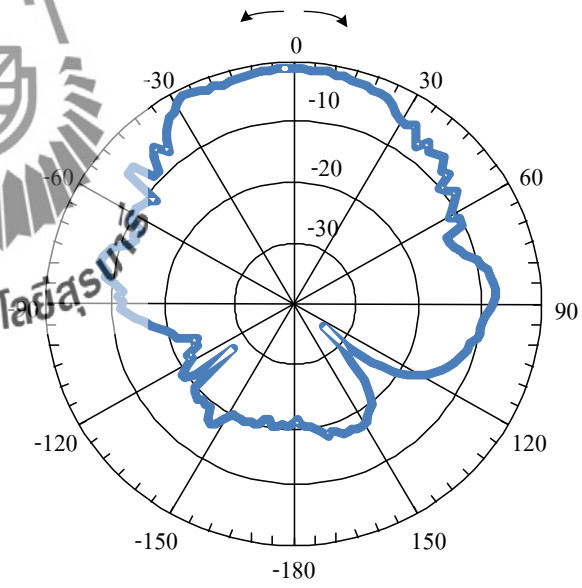


ผลวัดทดสอบ

(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



ผลการจำลองแบบ



ผลวัดทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 5.11 ผลวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

5.6 ผลการวัดทดสอบอัตราขยาย (Gain) และความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW)

สำหรับการวัดอัตราขยายของสายอากาศ ต้นแบบ ในขั้นตอนแรกได้ทำการวัดอัตราขยายของสายอากาศร่องแบบเรียว เพื่อหาอัตราขยายของสายอากาศเพียงอิลิเมนต์เดียว แสดงดังรูปที่ 5.12 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สายอากาศสองตัว (two-antenna method) ที่มีลักษณะเหมือนกันสำหรับการวัดทดสอบ โดยตัวหนึ่งใช้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งและอีกตัวหนึ่งที่เหลือจะเป็นสายอากาศภาครับ จากนั้นใช้สมการการส่งผ่านของฟริส (Friis transmission equation) เป็นพื้นฐานในการคำนวณหาค่าอัตราขยายของสายอากาศหนึ่งอีลิเมนต์ โดยสมการการส่งผ่านของฟริสที่นำมาใช้ คือ

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 G_t G_r \tag{5.1}$$

เมื่อ P_t คือ กำลังงานอินพุตที่ป้อนให้สายอากาศส่ง G_t คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง P_r คือ กำลังงานเอาต์พุตของสายอากาศรับ G_r คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ เมื่อนำไปหาอัตราขยายของสายอากาศรับในหน่วย dB ได้ดังนี้

$$G_{r,dB} = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{P_r}{P_t}\right) - G_{t,dB} \tag{5.2}$$

ตารางที่ 5.1 คุณลักษณะของสายอากาศป้อน

คุณลักษณะของสายอากาศ	อัตราขยายสูงสุด (dBi)	HPBW	
		ระนาบสนามไฟฟ้า	ระนาบสนามแม่เหล็ก
ผลการจำลองแบบ	6.44	63.8	114.9
ผลการวัดทดสอบ	5.3	48	100

จากตารางที่ 5.1 เป็นผลวัดทดสอบค่าอัตราขยาย พบว่าอัตราขยายมีค่าต่ำกว่าผลการจำลองประมาณ 1 dB เนื่องจากค่าการสูญเสียในไดอิเล็กตริก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.7 สรุป

ในบทนี้เป็นการแสดงการออกแบบ การสร้าง และการวัดทดสอบสายอากาศ คุณลักษณะของสายอากาศที่พิจารณา ได้แก่ แบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยายสูงสุด และความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน พบว่าผลที่ได้จากการวัดทดสอบและการจำลองผลด้วย CST มีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย จากผลการจำลองแบบอัตราขยาย 6.44 dB และผลการวัดทดสอบอัตราขยายสูงสุด 5.3 dB พบว่าค่าอัตราขยายต่างกันประมาณ 1 dB ซึ่งอาจเกิดจากการสูญเสียในไดอิเล็กตริก สำหรับผลการวัดความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ 48°และ 100° ตามลำดับ ผลจากการจำลองผลด้วย CST มีค่าเท่ากับ 63.8° และ 114.9° ตามลำดับ โดยความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้า ที่ได้จากการวัดมีค่าน้อยกว่าการจำลองแบบอยู่ 15.8° และ ระนาบสนามแม่เหล็ก 14.9° ในซึ่งสาเหตุของการคลาดเคลื่อนระหว่างผลการวัดทดสอบและผลการจำลองผลคือ อาจเกิดจากสภาพแวดล้อมระหว่างที่ทำการวัด ความสูญเสียในไดอิเล็กตริก ตำแหน่งการจัดวางสายอากาศป้อนจะทำให้เกิดการเลื่อนเชิงตำแหน่งของแบบรูปการแผ่พลังงาน เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 6
บทสรุป

บทนี้จะกล่าวถึงสรุปผลการออกแบบและผลการ วัดทดสอบสายอากาศแถวลำดับสะท้อน และแสดงข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป

6.1. สรุป

โครงงาน นี้ได้ดำเนินการศึกษาการออกแบบ สายอากาศแถวลำดับสะท้อน โดยนำระเบียบวิธีโมเมนต์ มาใช้ คำนวณและวิเคราะห์หาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกจากสายอากาศแถวลำดับสะท้อน ทำให้สามารถทราบคุณลักษณะของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน ได้แก่ แบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยายสูงสุด และความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง ก่อนสร้างสายอากาศสำหรับประยุกต์ใช้งานด้านการสื่อสารแบบไร้สาย เช่น การสื่อสารระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ระบบเซลลูลาร์ และระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม เป็นต้น

ในการคำนวณและวิเคราะห์หาคุณลักษณะของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน โดยใช้ระเบียบวิธีโมเมนต์ นั้น เริ่มต้นจากการกำหนดข้อมูลเริ่มต้นของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน ได้แก่ เส้นผ่าศูนย์กลาง ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ กำหนดชนิด ขนาด และตำแหน่งการวางของสายอากาศป้อน และความถี่ปฏิบัติการ จากนั้นทำการศึกษาแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศป้อนและสนาม ตกกระทบบนแถวลำดับสะท้อน การศึกษาการหาระยะห่างระหว่างแผ่นสะท้อน การศึกษาการประจุกระแสของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน การวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อน และการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเฟสและขนาดของแผ่นสะท้อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างสายอากาศต้นแบบ

สำหรับการศึกษาแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน เป็นการ หาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งกำเนิดกระแสที่อยู่บนผิวของตัวสะท้อน โดยกระแสเหนี่ยวนำบนผิวตัวสะท้อนจะหาได้จากองค์ประกอบของสนามตกกระทบในแนวสัมผัสแต่ละจุดที่กระทำบนผิวตัวสะท้อน ซึ่งกระแสเหล่านี้จะก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกไปในสนามระยะไกลทำให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ ซึ่งสนามที่ได้จากระเบียบวิธีโมเมนต์ คือ สนามไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 จากนั้นจึงนำค่าสนามไฟฟ้าไปทำการวิเคราะห์หาคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ แบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยายสูงสุด และความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง พบว่า สายอากาศแถวลำดับสะท้อนมีอัตราขยายสูงสุด และความกว้าง ลำคลื่นครึ่งกำลัง ประมาณ 8.49 dB และ 136.8° ตามลำดับ

รายละเอียดของการจำลองผล รวมทั้งผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้โดยละเอียดในบทที่ 4 จากนั้นได้สร้างสายอากาศต้นแบบ ในการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศ แถวลำดับ สะท้อนต้นแบบได้พิจารณา ระยะห่างระหว่างสายอากาศป้อนกับตัวสะท้อนเท่ากับ 18.5เซนติเมตร พบว่า แบบรูปการแผ่พลังงานมีความสอดคล้องกันทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก โดยผลของการวัดทดสอบและการจำลองผลด้วย ระเบียบวิธีโมเมนต์ สามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 5.1 ซึ่งสาเหตุของการคลาดเคลื่อนระหว่างผลการวัดทดสอบและผลการจำลองผล คือ อาจเกิดจากความสูญเสียในระบบสายอากาศ เช่น ความสูญเสียในสายส่ง ความผิดพลาดจากการจัดวางตำแหน่งตัวสะท้อนและสายอากาศป้อนจะทำให้เกิดการเลื่อนเชิงตำแหน่งของแบบรูปการแผ่พลังงาน และผลกระทบจากสภาพแวดล้อมขณะวัดทดสอบสายอากาศ เป็นต้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

สายอากาศได้ถูกสร้างจากวัสดุฐานรองของ FR4 ซึ่งมีค่าไดอิเล็กตริกต่ำทำให้สายอากาศมีขนาดใหญ่หากต้องการที่จะให้มีขนาดที่เล็กลง ก็สามารถที่จะนำไปประยุกต์สร้างบนวัสดุฐานรองอื่นที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสูงกว่าเพื่อลดขนาดของสายอากาศลงมา ซึ่งจะทำให้ยิ่งมีความสะดวกมากยิ่งขึ้นในการประยุกต์และพัฒนา

การที่จะที่จะพัฒนาและปรับปรุงทำให้สายอากาศมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นนั้น สิ่งที่มีส่วนสำคัญอย่างหนึ่งคือ คุณภาพของแผ่น FR4 สายนำสัญญาณ ที่อาจส่งผลต่อคุณภาพของสัญญาณที่ทำการวัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

เภาภัทรา คำพิกุล.(2552).สายอากาศแถวลำดับวงกลมโดยใช้ร่องแบบเรียว สำหรับการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

R. Q. Lee and R. N. Simons, Chapter 9 in **"Advances in Microstrip and Printed Antennas"**, John Wiley and Sons, 1997.

Amena Kauser Syeda, "Design of a Wideband Vivaldi Antenna Array and Performance Enhancement of Small Vivaldi Arrays Using Baffles," **Technical Report CReSIS TR 106**, 2006.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายเขมวัฒน์ มากมณี
เกิดเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2532 ภูมิลำเนาอยู่ที่ตำบลท่าแซะ
อำเภอ ท่าแซะ จังหวัดชุมพร
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายจาก โรงเรียนศรียาภัย อำเภอเมือง
จังหวัดชุมพร เมื่อปีการศึกษา2550
ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 วิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นางสาวจิราวรรณ ผันดอน
เกิดเมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2533 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลบ้านใหม่
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายจาก โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย 2
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปีการศึกษา 2550
ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 วิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นางสาวเอรินทร์ ชุ่มใหม่
เกิดเมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม 2532 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลบ้านใหม่
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายจาก โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย 2
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปีการศึกษา 2550
ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 วิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี