



รายงานการวิจัย

การออกแบบตัวป้อนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายอากาศแฉวลำดับสะท้อน (Design of an Optimized Feed for Reflectarray Antenna)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การออกแบบตัวป้อนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายอากาศแฉวลำดับสะท้อน (Design of an Optimized Feed for Reflectarray Antenna)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยาภรณ์ กระจอดนอก

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553

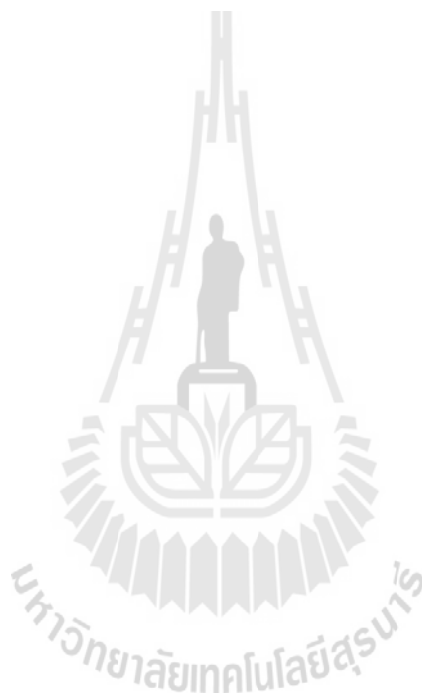
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กุมภาพันธ์ 2555

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินการได้ และได้รับผลสำเร็จบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้
ทุกประการ โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2553
สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบคุณบิดามารดาและครอบครัว ซึ่งให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่
ผู้วิจัยเสมอมา

ปิยาภรณ์ กระลดนอก



บทคัดย่อ

สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปประกอบด้วยแถวลำดับของแผ่นสะท้อนที่จัดระนาบเฟสด้านหน้าและสายอากาศป้อนวางที่ตำแหน่งโฟกัส โดยสมรรถนะของระบบสายอากาศจะขึ้นอยู่กับแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศป้อนและโครงสร้างของแผ่นสะท้อนเป็นหลัก ซึ่งสายอากาศป้อนที่นิยมใช้งานทั่วไปในสายอากาศตัวสะท้อนคือ สายอากาศปากแตร และท่อนำคลื่น แต่สายอากาศดังกล่าวจะมีพลังงานตกกระทบบนแถวลำดับสะท้อนไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากแบบรูปการแผ่พลังงานมีความเร็ว โดยกำลังงานตกกระทบจะลดลงอย่างรวดเร็วจากบริเวณศูนย์กลางตัวสะท้อนไปยังบริเวณขอบตัวสะท้อน ส่งผลให้สายอากาศมีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอะพอร์เจอร์ (aperture efficiency) ให้กับสายอากาศแถวลำดับสะท้อน งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการออกแบบตัวป้อนสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้สายอากาศเส้นร่องแบบเรียว (tapered slot-line antenna) ที่ความถี่ 5.2 GHz ทำให้กำลังงานที่ตกกระทบบนแผ่นสะท้อนมีค่าใกล้เคียงทุกตำแหน่ง ในขั้นตอนการออกแบบจะใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อหาสมการเส้นโค้ง และใช้โปรแกรม CST Microwave Studio ในการจำลองแบบเพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศ ตามลำดับ ในส่วนสุดท้ายจะทำการสร้างสายอากาศต้นแบบ และทำการวัดผลเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบ หลังจากนั้นจึงจำลองผลสมรรถนะของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนในทอมของประสิทธิภาพและอัตราขยาย

Abstract

A microstrip reflectarray antenna consists of patch array that naturally forms a planar phase front when a feed is placed at its focus. The performance of antenna system is based on the feed pattern and the patch geometry. The pyramidal horn and waveguide are usually used for reflector antenna, however, their energy are non uniform when they illuminate on the reflectarray. Because of the taper pattern, the incidence power is decreased immediately from the reflector center and so the antenna has low efficiency. To increase its aperture efficiency, this research proposes an optimized feed design for the reflectarray antenna used tapered slot-line antenna at the operating frequency of 5.2 GHz. In the design step, the tapered slot-line is calculated by using MATLAB and the antenna parameters are analyzed by using CST Microwave Studio, respectively. A prototype antenna has been fabricated and is tested for the development of an optimized feed of reflectarray antenna. The performance in term of efficiency and gain of reflectarray has been compared for simulation.



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
สมมุติฐานของการวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย	5
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	5
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	6
บทที่ 2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
บทนำ.....	7
ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
สรุป.....	9
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
บทนำ.....	10
คุณลักษณะของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน.....	10
เทคนิคการออกแบบแผ่นสะท้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป.....	15
ตัวป้อนสัญญาณ.....	18
สรุป.....	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การออกแบบตัวป้อนสำหรับสายอากาศแฉะลำดับสะท้อน	
บทนำ.....	24
การศึกษาแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศป้อนและสนามตกกระทบ	
บนแฉะลำดับสะท้อน.....	24
การศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อประสิทธิภาพของสายอากาศ	
แฉะลำดับสะท้อน.....	27
การศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของ	
สายอากาศแฉะลำดับสะท้อน.....	30
การออกแบบและจำลองผลสายอากาศร่องแบบเรียบเพื่อเป็นตัวป้อนของ	
สายอากาศแฉะลำดับสะท้อน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CST	35
สายอากาศแฉะลำดับสะท้อน โดยใช้ตัวป้อนที่ได้ออกแบบ.....	47
สรุป.....	51
บทที่ 5 ผลการวัดทดลอง	
บทนำ.....	52
วิธีการสร้างสายอากาศต้นแบบ.....	52
ผลการวัดทดสอบการสูญเสียย้อนกลับ.....	53
ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน.....	54
ผลการวัดทดสอบอัตราขยาย (Gain) และความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW).....	57
สรุป.....	58
บทที่ 6 บทสรุป	
สรุปผลการวิจัย	59
ข้อเสนอแนะ	60
บรรณานุกรม	61
ประวัติผู้วิจัย	64

สารบัญภาพ

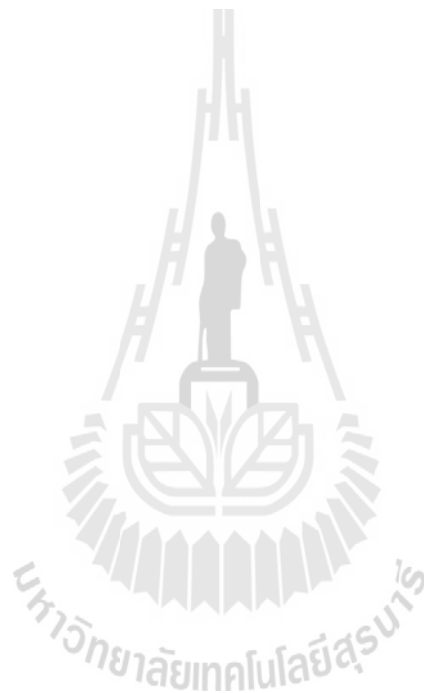
	หน้า
รูปที่ 1.1 การประยุกต์ใช้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปลำคลื่นกว้างกับการสื่อสารระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายในห้องขนาดใหญ่	2
รูปที่ 1.2 สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป	3
รูปที่ 1.3 สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปที่มีสายอากาศเส้นร่องแบบริ้วเป็นตัวป้อน	4
รูปที่ 3.1 สายอากาศแถวลำดับแบบไมโครสตริป	11
รูปที่ 3.2 สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิก	11
รูปที่ 3.3 สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป	12
รูปที่ 3.4 การแผ่กระจายคลื่นในสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิกและสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป	14
รูปที่ 3.5 การประวิงเฟสในสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป	14
รูปที่ 3.6 การประวิงเฟสเนื่องจากการเลื่อนตัวป้อนสัญญาณและหน้าคลื่น	15
รูปที่ 3.7 การปรับขนาดของแผ่นสะท้อน	16
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแผ่นสะท้อนกับเฟสสะท้อน	16
รูปที่ 3.9 การปรับความยาวของสตัป	17
รูปที่ 3.10 การปรับมุมการวางของแผ่นสะท้อน	18
รูปที่ 3.11 สายอากาศร่องแบบริ้วรูปแบบต่าง ๆ	19
รูปที่ 3.12 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศเส้นร่องแบบริ้ว	19
รูปที่ 3.13 โครงสร้างสายอากาศร่องแบบริ้ว	20
รูปที่ 3.14 เทคนิคการป้อนกำลังงานให้สายอากาศร่องแบบริ้ว	22
รูปที่ 3.15 การป้อนกำลังด้วยเส้นไมโครสตริป	23
รูปที่ 4.1 รูปทรงเรขาคณิตของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน	24
รูปที่ 4.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของตัวป้อนแบบปากแตรปิรามิด	25
รูปที่ 4.3 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของตัวป้อน	27
รูปที่ 4.4 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อประสิทธิภาพความริ้ว	28
รูปที่ 4.5 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อประสิทธิภาพการล้น	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อประสิทธิภาพอะเพอร์เจอร์ ของสายอากาศแกลลัดับสะท้อน	29
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศแกลลัดับสะท้อนเมื่อไม่พิจารณาการบดบังของตัวป้อน	29
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของสายอากาศแกลลัดับสะท้อนเมื่อพิจารณาการบดบังของตัวป้อน	30
รูปที่ 4.9 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแกลลัดับ สะท้อนแบบเจาะจงทิศทาง	31
รูปที่ 4.10 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแกลลัดับ สะท้อนแบบจัดลำคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	32
รูปที่ 4.11 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแกลลัดับ สะท้อนแบบจัดลำคลื่นรูปวงกลม	34
รูปที่ 4.12 ผลการจำลองแบบสายอากาศร่องแบบรีเวด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO กรณีไม่มีแผ่นสะท้อนด้านหน้า	38
รูปที่ 4.13 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า A_1	39
รูปที่ 4.14 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า F_w	39
รูปที่ 4.15 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า L_g	40
รูปที่ 4.16 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า R	41
รูปที่ 4.17 ผลกระทบต่อลำคลื่นหลังเพิ่มแผ่นสะท้อนด้านหน้า	42
รูปที่ 4.18 ผลการจำลองแบบหลังปรับพารามิเตอร์ของสายอากาศครั้งที่ 1	43
รูปที่ 4.19 ผลการจำลองแบบสายอากาศที่นำเสนอ	46
รูปที่ 4.20 กำลังโคไซน์ของตัวป้อนที่ออกแบบ	47
รูปที่ 4.21 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแกลลัดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทางเมื่อใช้ ตัวป้อนที่ออกแบบ	48
รูปที่ 4.22 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแกลลัดับสะท้อนแบบจัดลำคลื่นรูป สี่เหลี่ยมผืนผ้าเมื่อใช้ตัวป้อนที่ออกแบบ	49
รูปที่ 4.23 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแกลลัดับสะท้อนแบบจัดลำคลื่นรูปวงกลม เมื่อใช้ตัวป้อนที่ออกแบบ	50

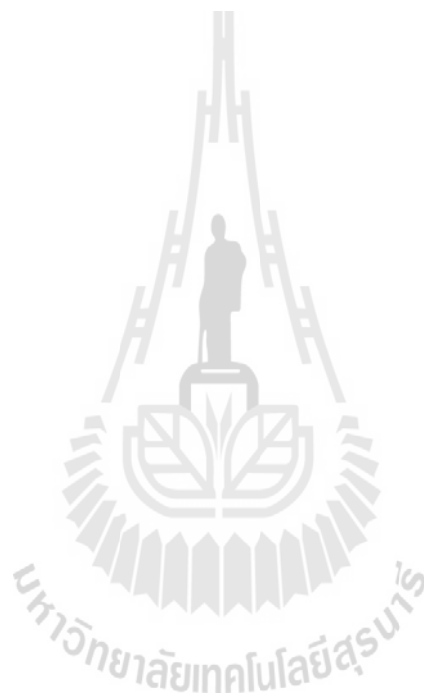
สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.1 สายอากาศป้อนต้นแบบ	53
รูปที่ 5.2 ผลการวัดค่า S11	54
รูปที่ 5.3 วิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน	55
รูปที่ 5.4 การทดสอบสายอากาศในห้อง Chamber ร่วมกับเครื่อง Network Analysis	55
รูปที่ 5.5 ผลวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน	56



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์อ้างอิงของสายอากาศร่องแบบเรียว	37
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบเรียวหลังปรับพารามิเตอร์	44
ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราขยายจากผลการจำลองสายอากาศร่องแบบเรียว	46
ตารางที่ 5.1 คุณลักษณะของสายอากาศป้อน	57



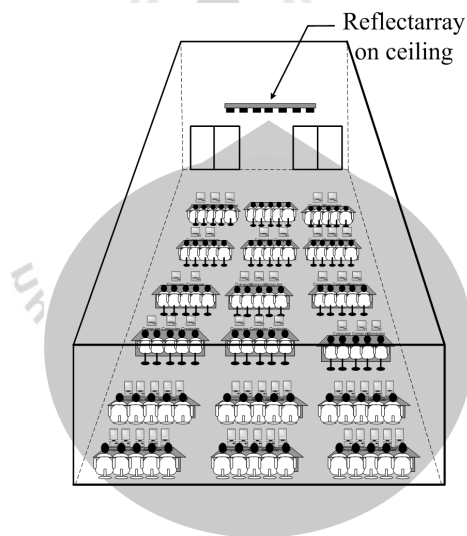
บทที่ 1

บทนำ

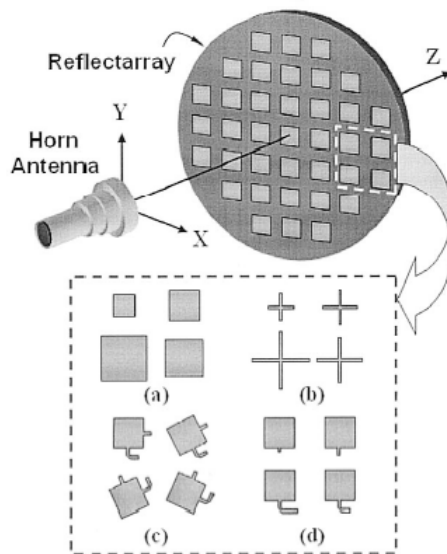
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันเทคโนโลยีโทรคมนาคมมีการพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วมากในหลาย ๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เทคโนโลยีทางการสื่อสารไร้สาย เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ที่มีการพัฒนามาตรฐานจาก 2G ไปเป็น 3G และกำลังมุ่งไปสู่ 4G ในอนาคตข้างหน้า เทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบแพ็คเกจ (General Packet Radio Service: GPRS) ถือได้ว่าเป็นมาตรฐานของ 2.5G ที่จะช่วยให้โทรศัพท์มือถือสามารถให้บริการโมบายล์อินเทอร์เน็ตได้ นอกจากนี้เทคโนโลยีหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างสูงในขณะนี้คือ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ซึ่งเป็นระบบเชื่อมโยงระหว่างคอมพิวเตอร์หรือเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ใช้สายเข้าด้วยกัน หรือการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต 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) และแลนดการ์ดไร้สาย ส่วนใหญ่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทาง ซึ่งสายอากาศประเภทนี้ได้แก่ สายอากาศแบบไดโพลเส้นตรง (linear dipole) สายอากาศแบบร่อง (slot antenna) สายอากาศแบบบ่วง (loop antenna) สายอากาศไมโครสตริป (microstrip antenna) เป็นต้น ในการติดตั้งจุดเข้าถึงเครือข่าย จะถูกติดตั้งที่บริเวณผนังของห้องหรืออาคาร เนื่องจากสายอากาศ

ดังกล่าวมีการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง 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 ซึ่งลำคลื่นที่ส่งลงมาจะมีลักษณะครอบคลุมพื้นที่เป็นวงกลม ดังนั้นผู้ใช้งานระบบ WLAN ที่อยู่ภายในห้องนี้จะสามารถเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงเครือข่ายได้โดยใช้สายอากาศเพียงตัวเดียว นอกจากนี้สายอากาศดังกล่าวยังมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์กับดาวเทียมวงโคจรต่ำได้อีกด้วย เนื่องจากลำคลื่นให้พื้นที่ครอบคลุมเป็นบริเวณกว้าง ทำให้ระยะเวลาในการสื่อสารระหว่างดาวเทียมและสถานีฐานบนพื้นดินได้นานขึ้น



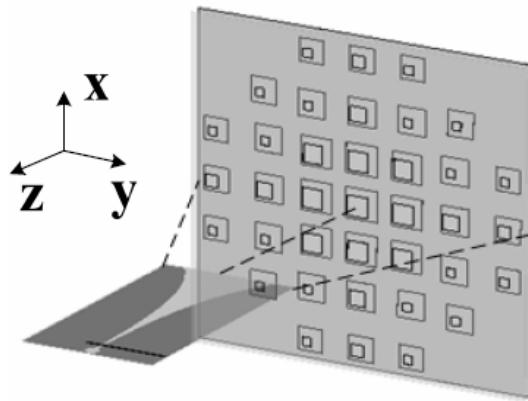
รูปที่ 1.1 การประยุกต์ใช้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปลำคลื่นกว้างกับการสื่อสารระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายในห้องขนาดใหญ่



รูปที่ 1.2 สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป

รูปที่ 1.2 แสดงสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นตัวสะท้อนที่มีลักษณะแบนราบ (planar reflector) โดยตัวสะท้อนประกอบด้วยแถวลำดับของแพทช์ หรือแถวลำดับสะท้อน (reflectarray) และส่วนที่สองเป็นตัวป้อนสัญญาณซึ่งมักใช้เป็นสายอากาศปากแตร (horn antenna) ติดตั้งอยู่ด้านหน้าตัวสะท้อน โดยประสิทธิภาพของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปจะขึ้นอยู่กับแบบรูปการแผ่พลังงาน (pattern) ของตัวป้อนและแผ่นสะท้อน แต่สายอากาศปากแตรจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานตกกระทบบนตัวสะท้อนไม่สม่ำเสมอ โดยกำลังงานตกกระทบบจะลดลงอย่างรวดเร็วจากบริเวณศูนย์กลางตัวสะท้อนไปยังบริเวณขอบตัวสะท้อน ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอะเพอร์เจอร์ (aperture efficiency) ให้กับสายอากาศแถวลำดับสะท้อน งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการออกแบบตัวป้อนสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้สายอากาศเส้นร่องแบบเรียว (tapered slot-line antenna) ซึ่งเป็นการพัฒนาสายอากาศแถวลำดับสะท้อนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเน้นออกแบบให้แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวป้อนมีคลื่นตกกระทบบนตัวสะท้อนสม่ำเสมอ นอกจากนั้น โดยทั่วไปสายอากาศแถวลำดับสะท้อนจะถูกออกแบบให้มีลำคลื่นแคบ เพื่อให้มีสภาพเจาะจงทิศทางสูง ทำให้สามารถเลื่อนตำแหน่งตัวป้อนให้เหมาะสมได้โดยไม่บังคับทิศทางการแผ่กระจายคลื่น แต่ถ้าออกแบบให้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนมีลำคลื่นกว้างเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานในระบบ WLAN ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การใช้สายอากาศเส้นร่องแบบเรียวเป็นตัวป้อนกำลังสามารถช่วยลดการบังคับการแผ่กระจายคลื่นได้ด้วย และข้อดีของสายอากาศเส้นร่องแบบเรียวอีกอย่างคือให้ความกว้างแถบที่กว้าง จึงเหมาะสำหรับนำมาเป็นตัวป้อนสัญญาณของสายอากาศแถวลำดับ

สะท้อนเพื่อใช้งานในระบบ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE 801 a,b,g รูปที่ 1.3 แสดงสายอากาศแถวลำดับสะท้อนที่มีตัวป้อนเป็นสายอากาศเส้นร่องแบบรีว โดยการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศสามารถหาคำตอบได้จากการใช้โปรแกรมจำลองผลสำเร็จรูป CST Microwave studio จากนั้นจะทำการสร้างสายอากาศต้นแบบ เพื่อนำไปวัดทดสอบคุณลักษณะเปรียบเทียบความแม่นยำจากโปรแกรมจำลองผลต่อไป



รูปที่ 1.3 สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปที่มีสายอากาศเส้นร่องแบบรีวเป็นตัวป้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาวิธีการพัฒนาและออกแบบตัวป้อนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อน เพื่อใช้งานกับการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

1.2.2 นำโปรแกรมสำเร็จรูป CST Microwave studio มาจำลองแบบและวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศป้อน

1.2.3 สร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อศึกษาผลจากการวัดทดสอบ โดยเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากระเบียบวิธีโมเมนต์

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 เมื่อทำการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้สายอากาศเส้นร่องแบบรีว จะทำให้การบดบังการแผ่กำลังงานลดลง

1.3.2 เส้นร่องแบบรีวทำให้ความกว้างแถบ (bandwidth) เพิ่มขึ้น

1.3.3 เมื่อคลื่นตกกระทบบนตัวสะท้อนสม่ำเสมอ จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนเพิ่มสูงขึ้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 จำลองผลสายอากาศป้อนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CST Microwave studio
- 1.4.2 ศึกษาวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศป้อนแบบเส้นร่องแบบเรียบ
- 1.4.3 สร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อเปรียบเทียบผลจากการวัดและผลทางทฤษฎี

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 แนวทางการดำเนินงาน

- ศึกษาและสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศแถวลำดับสะท้อนและสายอากาศเส้นร่องแบบเรียบ
- ศึกษาระบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อน ซึ่งประกอบด้วยตัวสะท้อนและสายอากาศป้อนสัญญาณ
- จำลองผลเพื่อหาการสูญเสียย้อนกลับ (return loss) และสนามที่ได้จากตัวป้อน และหาสนามที่ได้จากระบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อน
- วิเคราะห์สมรรถนะของสายอากาศป้อนเส้นร่องแบบเรียบ เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีลักษณะเหมาะสมเป็นตัวป้อนสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อน เพื่อประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสารไร้สาย
- สร้างสายอากาศต้นแบบและวัดทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศ
- วิเคราะห์ เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดทดสอบและผลทางทฤษฎี รวมทั้งสรุปผลงานวิจัย
- จัดทำบทความสำหรับนำเสนอผลการวิจัยและส่งเสริมพิมพ์
- จัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

1.5.2 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการระบบสื่อสารไร้สาย ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 4 (F4) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) รุ่น Pentium4 ฮาร์ดดิสก์ (HD) 80 Gbytes หน่วยความจำ (RAM) 512 Mbytes
2. โปรแกรม MATLAB™
3. เครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 8722D 50MHz-40GHz
4. Antenna Positioner

1.5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. เก็บรวบรวมข้อมูลของสายอากาศจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
2. เก็บข้อมูลที่ได้อาจจากการหาคุณสมบัติของสายอากาศจากการจำลองแบบเปรียบเทียบกับ

ผลการวัดและทดสอบสายอากาศต้นแบบ

1.5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการเปรียบเทียบคุณสมบัติสายอากาศจากการจำลองแบบกับผลการวัดและทดสอบสายอากาศต้นแบบ ได้แก่ แบบรูปการแผ่กำลังงาน ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง และอัตราขยายของสายอากาศ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้เน้นการคิดค้นและพัฒนาวิธีการออกแบบตัวป้อนกำลังงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายอากาศแฉวลำดับสะท้อนไมโครสตริป

1.6.1 การวิเคราะห์ขนาดและรูปร่างของร่องแบบรีเวดด้วยโปรแกรม CST Microwave studio ให้ได้ความถี่ที่ต้องการ โดยพิจารณาถึงค่าการสูญเสียย้อนกลับ ความกว้างแถบ และแบบรูปการแผ่พลังงานที่เหมาะสมเป็นสายอากาศป้อนกำลังงานสำหรับสายอากาศแฉวลำดับสะท้อน เพื่อใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 801 a,b,g

1.6.2 เมื่อทำการสร้างสายอากาศต้นแบบและวัดทดสอบคุณสมบัติ พบว่าสายอากาศที่ได้มีคุณลักษณะเป็นไปตามทฤษฎี และให้คุณสมบัติเหมาะสมเป็นตัวป้อนกำลังงานสำหรับสายอากาศแฉวลำดับสะท้อน

1.6.3 ได้สายอากาศต้นแบบที่สามารถพัฒนาเป็นสายอากาศหลักสำหรับจุดเข้าถึงเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย หรือสายอากาศที่ใช้ในสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในห้องขนาดใหญ่ หรือสายอากาศสำหรับดาวเทียมวงโคจรต่ำ

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

สายอากาศแฉวลำดับสะท้อนไมโครสตริปได้มีการศึกษาวิจัยกันมานานพอสมควร โดยเริ่มจากการออกแบบแผ่นสะท้อนด้วยเทคนิคการจัดเฟส เพื่อให้ได้การทำงานที่เหมือนกับผิวโค้งของสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลาที่มีการป้อนสัญญาณเข้าที่ด้านหน้าตัวสะท้อน ดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 โดยสมรรถนะของระบบสายอากาศจะขึ้นอยู่กับแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศป้อนและแผ่นสะท้อนเป็นหลัก ซึ่งสายอากาศป้อนที่นิยมใช้งานทั่วไปคือ สายอากาศปากแตร และท่อนำคลื่น แต่สายอากาศดังกล่าวจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานตกกระทบบนแฉวลำดับสะท้อนไม่สม่ำเสมอ โดยกำลังงานตกกระทบจะลดลงอย่างรวดเร็วจากบริเวณศูนย์กลางตัวสะท้อนไปยังบริเวณขอบตัวสะท้อน ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักในงานวิจัยนี้คือการคิดค้นและพัฒนาวิธีการออกแบบตัวป้อนสำหรับสายอากาศแฉวลำดับสะท้อนลำคลื่นกว้าง เพื่อให้แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวป้อนมีคลื่นตกกระทบตัวสะท้อนสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการสำรวจและศึกษาปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการวิจัยที่เกี่ยวข้อง ระเบียบวิธีที่เคยถูกนำมาใช้ ผลการดำเนินการวิจัย ตลอดจนข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อที่จะนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักที่ได้ตั้งไว้ โดยฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนั้นเป็นฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูล IEEE และฐานข้อมูล IEICE นอกจากนี้ยังได้ทำการสืบค้นงานวิจัยจากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากห้องสมุดของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศ ผลการสืบค้นที่ได้จะใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป

2.2 ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 สายอากาศแฉวลำดับสะท้อนไมโครสตริป

จากการสืบค้นปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศแฉวลำดับสะท้อนไมโครสตริปในฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียงดังได้กล่าวถึงข้างต้นตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน สามารถสรุปได้โดยย่อดังนี้ Munson [1] เสนอการวิเคราะห์แฉวลำดับสะท้อนเป็นกลุ่มแรกด้วยอะเพอร์เจอร์สี่เหลี่ยมผืนผ้า จากนั้น Huang [2] จึงเสนอหลักการและทำการวิเคราะห์แฉวลำดับสะท้อนด้วยอะเพอร์เจอร์วงกลม โดยเน้นศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของสายอากาศ ต่อมา Pozar และ Targonki [3-5] เสนอการออกแบบสายอากาศแฉวลำดับสะท้อนด้วยการปรับขนาดของแผ่นสะท้อน จากบทความที่กล่าวมาทั้งหมดจะเน้นศึกษาเฉพาะสายอากาศแฉวลำดับสะท้อนที่มีโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear

Polarization) ดังนั้น D.C. Chang [6-7] จึงเสนอเทคนิคการปรับเฟสด้วยการปรับความยาวของสลับโดยใช้สลับสองตัววางตำแหน่งแตกต่างกัน 90° และบทความ [8-9] ใช้เทคนิคการปรับมุมการวางของแผ่นสะท้อน จึงทำให้สายอากาศมีโพลาไรซ์เชิงวงกลม (Circularly Polarization) ส่วน R.D. Javor และ K. Chang [10] เสนอวิธี Bonding Wire ตามความยาวสลับ และ T.N. Chang [11] เสนอหลักการปรับสลับโดยใช้ Proximity-Couple [11] และปรับเฟสด้วย QUAD-EMC [12] สำหรับบทความ [13-14] เสนอการออกแบบให้สายอากาศทำงานได้สองความถี่ (Dual Band) นอกจากนั้นยังสามารถออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปให้สามารถปรับมุมลำคลื่น และสามารถควบคุมลำคลื่นให้แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานครอบคลุมพื้นที่รับบริการได้ตามลักษณะภูมิประเทศด้วย [15-16] นอกจากนั้นยังมีการเพิ่มความกว้างแถบด้วยการทำสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบหลายเลเยอร์ (Layer) [17] โดยในงานวิจัยที่กล่าวมาจะออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปโดยใช้สายอากาศปากแตรเป็นตัวป้อน ทำให้คลื่นที่แผ่กระจายจากตัวสะท้อนถูกบังคับบางส่วน ดังนั้น J.A. Encinar and J.A. Zornoza [16] และ D. Pilz and W. Menzel [18] จึงลดการสูญเสียเนื่องจากการบังคับของตัวป้อนสัญญาณด้วยหลักการ Offset Feed และ Folded ตามลำดับ

2.2.2 สายอากาศเส้นร่องแบบเรียบ

สำหรับงานวิจัยนี้เน้นการคิดค้นและพัฒนาวิธีการออกแบบตัวป้อนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปลำคลื่นกว้าง [19] เพื่อใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่มีพื้นที่ครอบคลุมห้วงขนาดใหญ่ โดยเลือกสายอากาศเส้นร่องแบบเรียบเป็นตัวป้อนกำลังงาน ซึ่งสายอากาศเส้นร่องแบบเรียบเป็นสายอากาศไมโครสตริปอีกประเภทหนึ่งที่มีแถบความถี่กว้าง โดยสายอากาศร่องแบบเรียบมีหลายแบบ ได้แก่ เส้นโค้งแบบเอกโพแนนเชียล เส้นโค้งสัมผัส เส้นโค้งพาราโบลา เส้นตรง เส้นตรงต่อเนื่อง เส้นโค้งแบบเอกโพแนนเชียลต่อเนื่อง ขึ้นบันไดต่อเนื่อง และเส้นตรงไม่ต่อเนื่อง [23-24] นอกจากนั้นสายอากาศยังสามารถออกแบบและสร้างได้ง่ายบนแผ่น PCB และมีความง่ายสำหรับการปรับสมดุลของอิมพีแดนซ์ (Impedance matching) ในการป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริป (Microstrip line) [25] ดังนั้นสายอากาศร่องแบบเรียบจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความเหมาะสมทั้งในด้านของวัสดุอุปกรณ์และราคา สำหรับใช้งานเป็นตัวป้อนในสายอากาศแถวลำดับสะท้อนลำคลื่นกว้าง โดยงานวิจัยแรกที่ตีพิมพ์เกี่ยวกับสายอากาศร่องแบบเรียบ คือ สายอากาศวิวดิบินซ์สเตเรตที่เป็นอะลูมิเนียม [26] โดยการออกแบบให้ช่องเปิดของปลายสายอากาศต้องมีขนาดใหญ่กว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น เนื่องจากสายอากาศร่องแบบเรียบมีคุณลักษณะเป็นแถบกว้าง ซึ่งสามารถทำให้ความกว้างแถบเพิ่มขึ้นได้อีกโดยการเพิ่มไดอิเล็กตริกของซับสเตรต [27] การใช้บ้านเพื่อปรับสมดุลระหว่างจุดป้อนกำลังงานและสายอากาศ [28] ส่งผลให้มีอัตราการขยายที่ค่อนข้างต่ำ [29] จึง

ได้ทำการควบคุมการเลื่อนเฟสด้วย PiezoElectric Transducer (PET) ในระนาบสนามแม่เหล็ก นอกจากนี้ Elsherbini [30] ได้นำเสนอถึงวิธีในการเพิ่มอัตราขยาย ด้วยการลดความกว้างลำคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กให้แคบลง เพื่อให้เกิดความสมมาตรของแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น โดยการเพิ่มแท่งโพลีสไตรีน (Polystyrene rod) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกมากมาย ที่ได้ศึกษาถึงพารามิเตอร์ที่สำคัญของสายอากาศร่องแบบรีว เช่น ศึกษาเปรียบเทียบข้อดีที่ เหมาะสมสำหรับสายอากาศแอนติโพดอลวิวอลดี (Antipodal Vivaldi antenna) [31] ระหว่าง RO3006 และ FR4 โดยได้พิจารณาผลของการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นระยะไกล (Far field pattern) การตอบสนองของเฟส (Phase response) กลุ่มถ่วง (Ground delay) และอัตราขยาย พบว่าข้อดีที่เด่นชัดที่เป็น FR4 มีความเหมาะสม เนื่องจากให้ผลที่ดี และมีง่ายในการออกแบบ การศึกษาถึงรูปร่างที่แตกต่างกันของสายอากาศร่องแบบรีวที่โค้งแบบเอกโพเนนเชียลคู่ (Dual Exponentially Tapered Slot Antenna: DETSA) [32] ผลคือ รูปร่างที่แตกต่างกันของร่องแบบรีวก็จะมีผลต่อแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นทั้งในระนาบ E และระนาบ H

2.3 สรุป

เนื่องจากสมรรถนะของระบบสายอากาศแฉก ลำดับสะท้อนจะขึ้นอยู่กับแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศป้อนและแผ่นสะท้อนเป็นหลัก ซึ่งสายอากาศป้อนที่นิยมใช้งานทั่วไปคือสายอากาศปากแตร และท่อนำคลื่น แต่สายอากาศดังกล่าวจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานตกกระทบบนแฉก ลำดับสะท้อนไม่สม่ำเสมอ โดยกำลังงานตกกระทบบนจะลดลงอย่างรวดเร็วจากบริเวณศูนย์กลางตัวสะท้อนไปยังบริเวณขอบตัวสะท้อน ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักในงานวิจัยนี้คือการคิดค้นและพัฒนาวิธีการออกแบบตัวป้อนสำหรับสายอากาศแฉก ลำดับสะท้อนลำคลื่นกว้าง เพื่อให้แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวป้อนมีคลื่นตกกระทบบนตัวสะท้อนสม่ำเสมอ จากการศึกษาปรัศน์วรรณกรรมพบว่า สายอากาศร่องแบบรีวเป็นสายอากาศที่เหมาะสม เนื่องจาก ออกแบบง่ายและไม่บดบังลำคลื่น ซึ่งวิธีการออกแบบจะกล่าวถึงในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 3

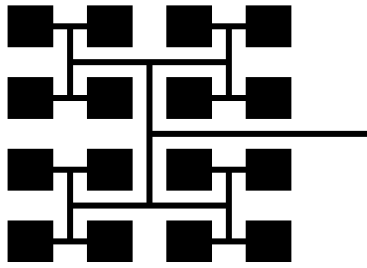
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

3.1 บทนำ

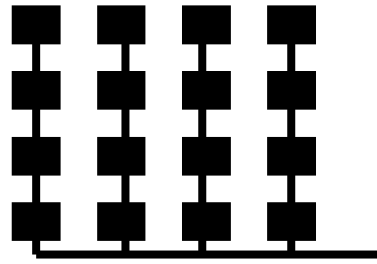
ในบทนี้จะนำเสนอทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศแฉวลำดับสะท้อนไมโครสตริป โดยจะกล่าวถึงคุณลักษณะของสายอากาศแฉวลำดับสะท้อน การคำนวณหาการประวิงเฟสและเฟสสะท้อน การออกแบบแผ่นสะท้อน และสายอากาศร่องแบบรีข

3.2 คุณลักษณะของสายอากาศแฉวลำดับสะท้อน

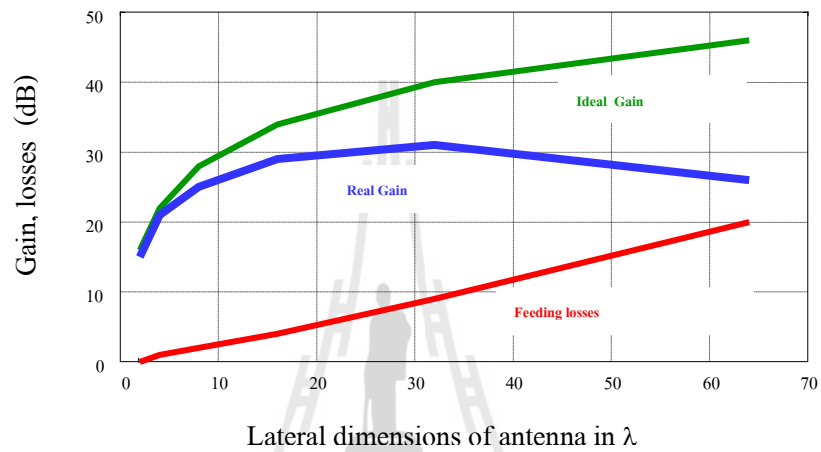
สายอากาศสำหรับใช้งานในระบบการสื่อสารควรมีคุณสมบัติดังนี้ คือให้อัตราขยายสูง มีการสูญเสียต่ำ ขนาดเล็กกะทัดรัด สร้างได้ง่าย และราคาต่ำ โดยสายอากาศแฉวลำดับแบบไมโครสตริปถือเป็นสายอากาศที่มีคุณสมบัติเหมาะสม แต่สายอากาศดังกล่าวมีระบบป้อนสัญญาณ (Feed) ที่ซับซ้อน เกิดการสูญเสียภายในตัวป้อน และยังมีความกว้างแถบ (Bandwidth) แคบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 นอกจากนี้สายอากาศแฉวลำดับแบบไมโครสตริปแล้ว สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิกก็เป็นสายอากาศอีกชนิดที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ตัวสะท้อน (Reflector) และตัวป้อนสัญญาณซึ่งมักใช้เป็นแบบสายอากาศปากแตร (Horn Antenna) สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิกโดยทั่วไปจะมีการป้อนสัญญาณดังรูปที่ 3.2 ซึ่งมีสภาพเจาะงทศทางสูง เหมาะสำหรับเป็นสายอากาศเพื่อใช้ในสถานีภาคพื้นดินสำหรับติดต่อกับดาวเทียม หรือการสื่อสารด้วยคลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น แต่เนื่องจากสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิกมีขนาดใหญ่และมีผิวโค้ง ดังนั้นจึงมีการออกแบบสายอากาศแฉวลำดับสะท้อนไมโครสตริปที่มีลักษณะราบเรียบ แต่สามารถให้คุณสมบัติเช่นเดียวกับตัวสะท้อนพาราโบลิก นอกจากนั้นสายอากาศแฉวลำดับสะท้อนไมโครสตริปยังมีน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย และเคลื่อนย้ายสะดวกด้วย รูปที่ 3.3 แสดงสายอากาศแฉวลำดับสะท้อนไมโครสตริป



ก. ระบบป้อนแบบขนาน



ข. ระบบป้อนแบบอนุกรม

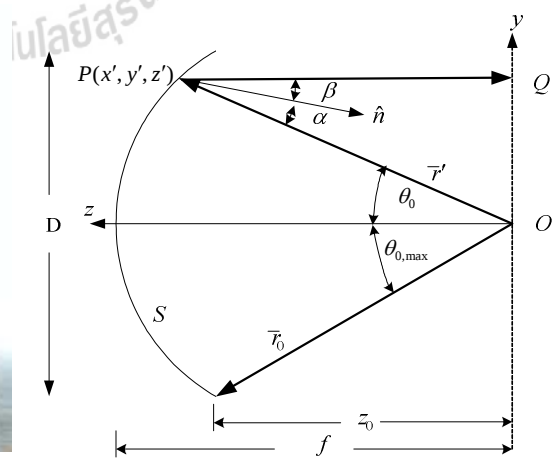


ค. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแถวลำดับกับการสูญเสีย

รูปที่ 3.1 สายอากาศแถวลำดับแบบไมโครสตริป

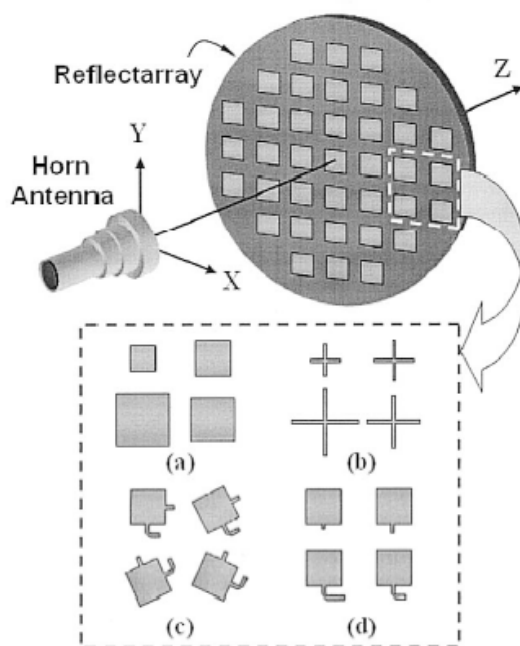


ก.



ข.

รูปที่ 3.2 สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิก



รูปที่ 3.3 สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป

3.2.1 หลักการสะท้อนคลื่นของสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิก

รูปที่ 3.2 แสดงการแผ่กระจายคลื่นในสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิกที่มีการป้อนสัญญาณเข้าที่ด้านหน้าของตัวสะท้อน โดยคลื่นเดินทางจากจุดป้อนสัญญาณไปยังตัวสะท้อนพาราโบลิก และสะท้อนกลับไปยังสนามระยะไกล เราสามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$OP + PQ = 2f = \text{ค่าคงที่} \quad (3.1)$$

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

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

เมื่อ f คือ ระยะโฟกัส

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

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของตัวสะท้อนพาราโบลิก

3.2.2 หลักการสะท้อนคลื่นของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป

จากสมการ (3.1) สรุปได้ว่า สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิคที่มีการป้อนสัญญาณเข้าที่ด้านหน้าของตัวสะท้อนทำให้คลื่นเดินทางไปยังบริเวณสนามระยะไกลมีเฟสเท่ากัน ไม่ว่าคลื่นจะตกกระทบที่ตำแหน่งใดของตัวสะท้อนก็ตาม แต่ถ้าแทนที่สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิคด้วยสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4 จะทำให้คลื่นเกิดการประวิงเฟส (Phase Delay) ในสนามระยะไกล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการจัดเฟสแผ่นสะท้อนในสายอากาศแถวลำดับสะท้อน เพื่อชดเชยเฟสดังกล่าว จึงทำให้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับตัวสะท้อนพาราโบลิค

โดยทั่วไป สายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปใช้หลักการออกแบบแผ่นสะท้อนไมโครสตริปหรือแผ่นสะท้อนไดโพลให้มีการประวิงเฟส (Phase Delay) เสมือนตามลักษณะผิวโค้งของสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิค เราสามารถคำนวณหาการประวิงเฟสเนื่องจากคลื่นเดินทางจากตัวป้อนสัญญาณไปยังสายอากาศแถวลำดับสะท้อน แล้วสะท้อนกลับไปยังระยะสนามระยะไกลได้ดังนี้

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

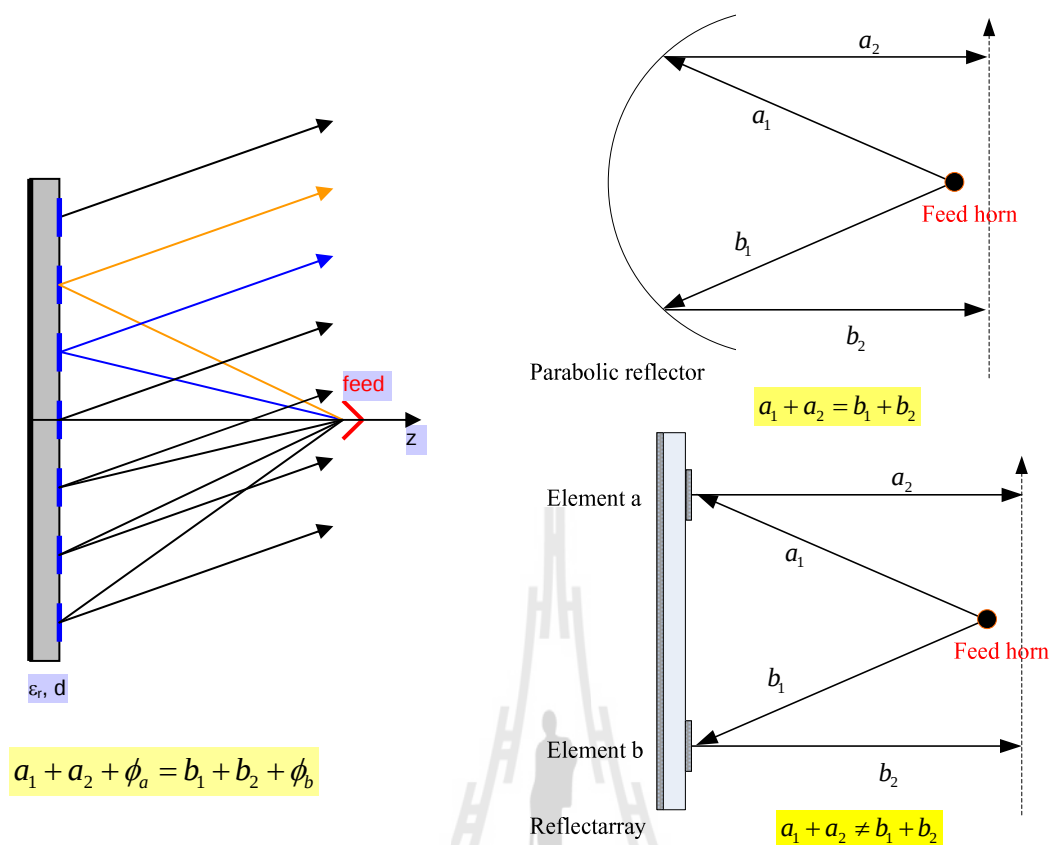
เมื่อ r คือระยะทางที่คลื่นเดินทาง และ λ_0 คือความยาวคลื่นในอากาศว่าง สำหรับการประวิงเฟสสามารถคำนวณหาได้จากผลต่างระหว่างระยะการแผ่กระจายคลื่นของแผ่นสะท้อนใดๆ กับแผ่นสะท้อนอ้างอิง โดยที่ m และ n คือแผ่นสะท้อนใดๆ ในแนวแกน x และ y ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

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

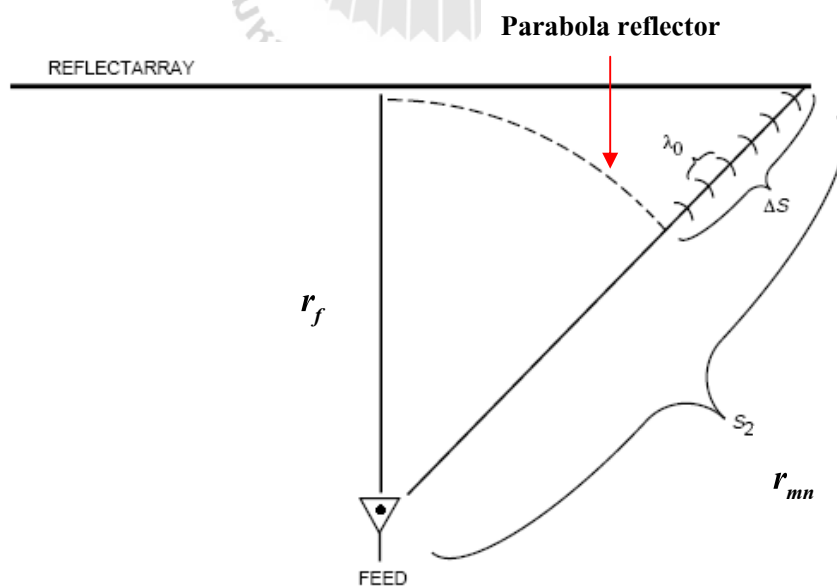
ดังนั้นเฟสสะท้อนของแผ่นสะท้อนใดๆ ψ_{mn} คือ

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

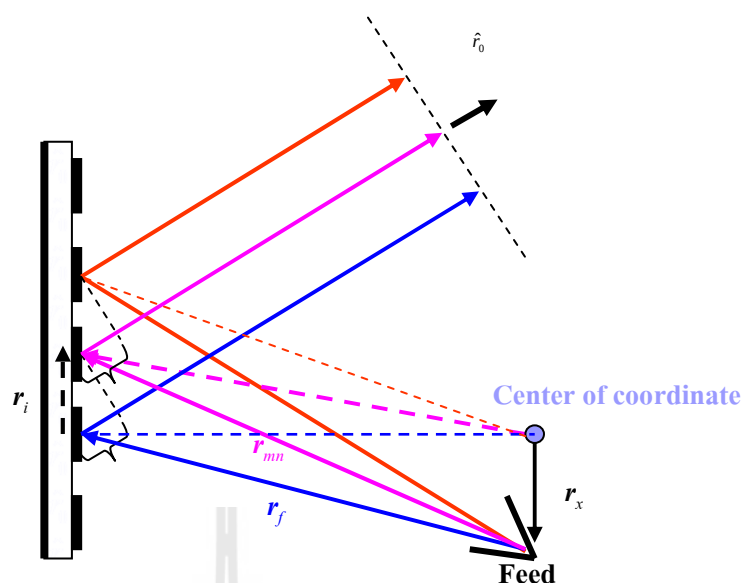
เมื่อ $N = 0, 1, 2, 3, \dots$



รูปที่ 3.4 การแผ่กระจายคลื่นในสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลา
และสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป



รูปที่ 3.5 การประวิงเฟสในสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป



รูปที่ 3.6 การประวิงเฟสเนื่องจากการเลื่อนตัวป้อนสัญญาณและหน้าคลื่น

ถ้าหน้าคลื่น (Wavefront) และตัวป้อนสัญญาณปรับเลื่อนออกจากจุดศูนย์กลางของระบบพิกัดของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เราสามารถหาเฟสสะท้อนได้จาก

$$k_0 [r_{mn} + \vec{r}_i \cdot \hat{r}_0] - \psi_{mn} = 2\pi N \quad (3.6)$$

โดยที่

$$\vec{r}_i \cdot \hat{r}_0 = m d_x \sin \theta \cos \phi + n d_y \sin \theta \sin \phi \quad (3.7)$$

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

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

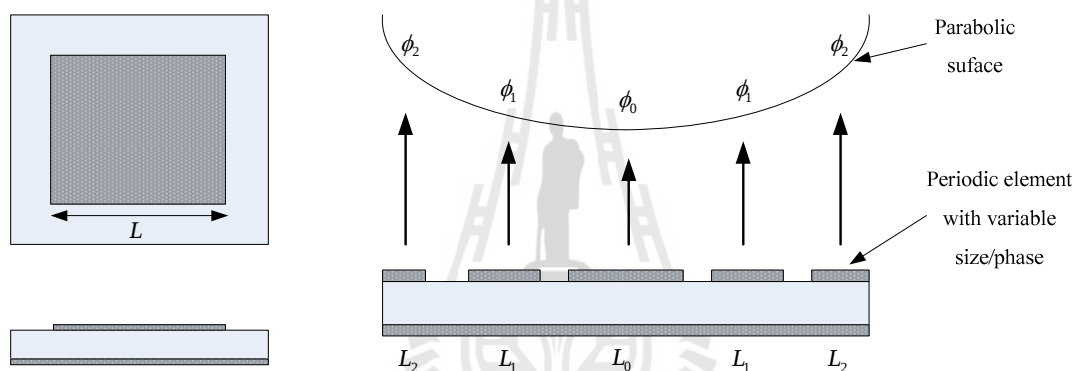
3.3 เทคนิคการออกแบบแผ่นสะท้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริป

เทคนิคการหาเฟสสะท้อนโดยการออกแบบแผ่นสะท้อนไมโครสตริปด้วยเทคนิคการจัดเฟสที่นิยมนำมาใช้มี 3 วิธีคือ

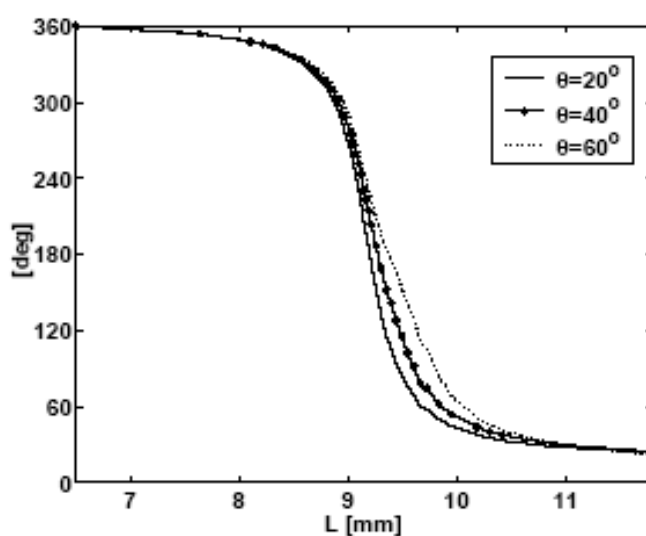
1. การปรับขนาดของแผ่นสะท้อน
2. การปรับความยาวของสตัป
3. การปรับมุมการวางของแผ่นสะท้อน

3.3.1 การปรับขนาดของแผ่นสะท้อน

การปรับขนาดของแผ่นสะท้อนใช้หลักการปรับความยาวของแผ่นสะท้อนในด้านที่มีผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์ เมื่อความถี่ปฏิบัติการของแผ่นสะท้อนเปลี่ยนจะส่งผลให้การประวิงเฟสในแผ่นสะท้อนเปลี่ยนแปลงด้วย จากผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เฟสสะท้อนจะเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น และเราสามารถปรับความยาวของแผ่นสะท้อนได้ไม่เกิน $\pm 5\%$ จากความยาว ณ ความถี่เรโซแนนซ์เท่านั้น ทำให้เฟสสะท้อนไม่ครบ 360° ดังนั้นจึงควรออกแบบการจัดเฟสด้วยการปรับขนาดของแผ่นสะท้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนร่วมกับเทคนิคอื่น รูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8 แสดงการจัดเฟสด้วยการปรับขนาดของแผ่นสะท้อน และความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแผ่นสะท้อนกับเฟสสะท้อน ตามลำดับ ซึ่งการหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแผ่นสะท้อนกับเฟสสะท้อนนี้จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.7 การปรับขนาดของแผ่นสะท้อน



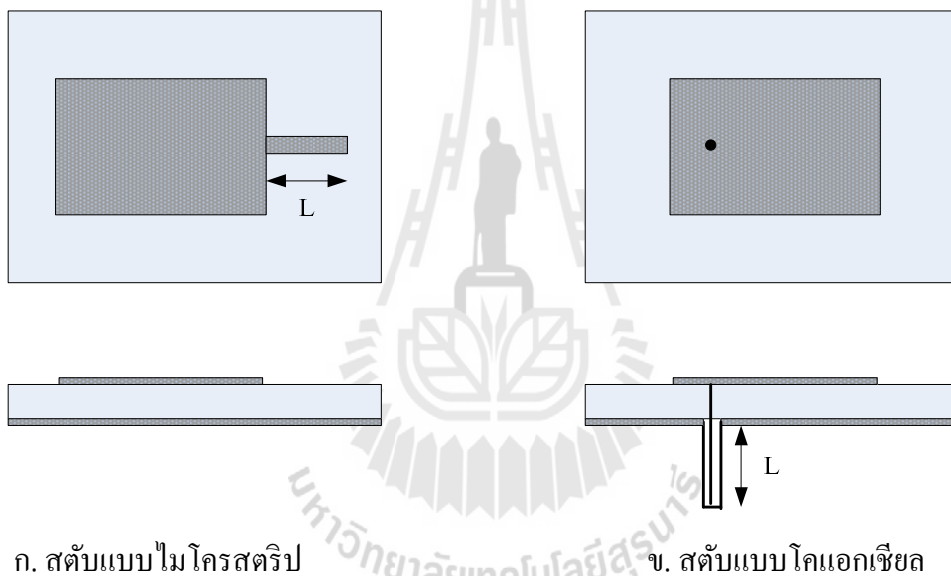
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแผ่นสะท้อนกับเฟสสะท้อน

3.3.2 การปรับความยาวของสัดับ

การจัดเฟสด้วยการปรับความยาวของสัดับ แสดงดังรูปที่ 3.9 โดยการปรับความยาวของสัดับจะให้ผลของการประวิงเฟสเป็นเชิงเส้น ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ (3.9) เมื่อความยาวของสัดับเปลี่ยน จะส่งผลให้การประวิงเฟสของแผ่นสะท้อนเปลี่ยน แต่สายอากาศแถวลำดับสะท้อนที่มีการจัดเฟสวิธีนี้จะมีการสูญเสียเนื่องจากตัวสัดับ โดยสัดับที่นำมาใช้มี 3 แบบคือ

1. สัดับไมโครสตริปที่ต่อกับด้านข้างของแผ่นสะท้อน (Edge of Patch)
2. สัดับไมโครสตริปที่ต่อแบบการเชื่อมร่วมอะเพอร์เจอร์ (Aperture Coupled Patch)
3. สัดับโคแอกเซียล

$$\psi_{mn} = 2 \times \text{Electrical length} \quad (3.9)$$

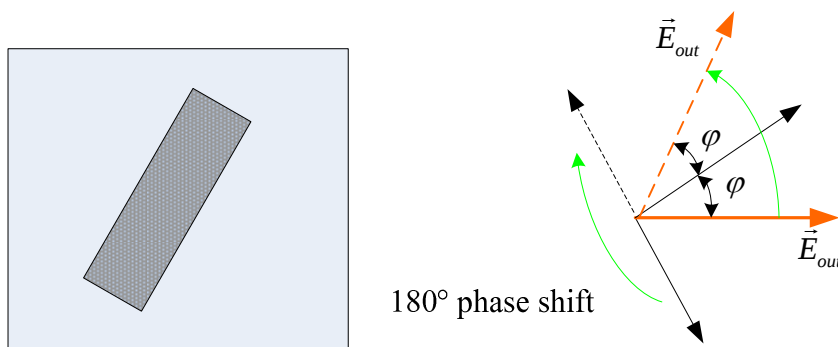


รูปที่ 3.9 การปรับความยาวของสัดับ

3.4.3 การปรับมุมการวางของแผ่นสะท้อน

การจัดเฟสด้วยการปรับมุมการวางของแผ่นสะท้อน แสดงดังรูปที่ 3.10 ซึ่งมุมของแผ่นสะท้อนสามารถปรับได้ 180° และการประวิงเฟสจะมีค่าเป็นสองเท่าของมุมของแผ่นสะท้อน ดังสมการ (3.10) หลักการจัดเฟสวิธีนี้เหมาะสำหรับสายอากาศแถวลำดับที่มีโพลาริเซชันวงกลม

$$\psi_{mn} = 2 \times \text{Rotation of patch} \quad (3.10)$$

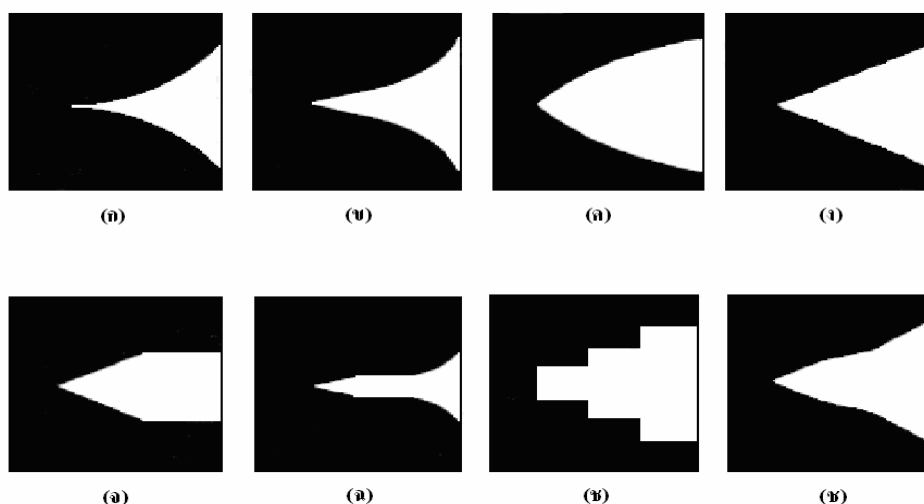


รูปที่ 3.10 การปรับมุมการวางของแผ่นสะท้อน

นอกจากการจัดเฟสแผ่นสะท้อนทั้ง 3 วิธีนี้ ยังมีการจัดเฟสแบบอื่น ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เช่น การปรับร่องแผ่นสะท้อน และการใช้วาล์วเร็กเตอร์ไดโอด เป็นต้น

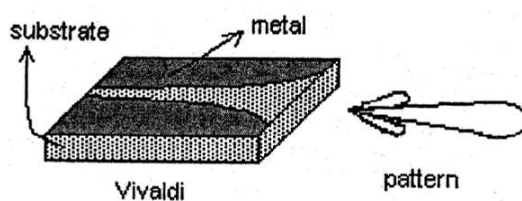
3.4 ตัวป้อนสัญญาณ

สำหรับงานวิจัยนี้เน้นการคิดค้นและพัฒนาวิธีการออกแบบตัวป้อนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปลากล้นกว้าง [19] เพื่อใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่มีพื้นที่ครอบคลุมห้องขนาดใหญ่ โดยเลือกสายอากาศเส้นร่องแบบริ้วเป็นตัวป้อนกำลังงาน ซึ่งสายอากาศเส้นร่องแบบริ้วเป็นสายอากาศไมโครสตริปชนิดหนึ่งที่มีข้อดีหลายประการ อาทิเช่น มีโครงสร้างที่ง่าย น้ำหนักเบา ออกแบบ สร้างและติดตั้งเพื่อใช้งานได้ง่าย และสามารถใช้งานร่วมกับ MICs (Microwave Integrated Circuits) ได้ เนื่องจากสายอากาศดังกล่าวมีลักษณะเป็นเส้นร่องแบบริ้วจึงเหมาะสำหรับการใช้งานซึ่งต้องการความถี่ปฏิบัติการที่มีความกว้างแถบที่กว้าง สายอากาศเส้นร่องแบบริ้ว มีหลายรูปแบบ แสดงดังรูปที่ 3.11 ซึ่งลักษณะของร่องแบบริ้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แบบเส้นโค้ง และแบบเส้นตรง และสามารถแบ่งย่อยได้อีก 8 ประเภทคือ เส้นโค้งแบบเอกโปเนนเชียล (Exponential Tapered Slot Antenna or Vivaldi antenna) เส้นโค้งสัมผัส (Tangential Tapered Slot Antenna) เส้นโค้งพาราโบลา (Parabolic Tapered Slot Antenna) เส้นตรง (Linear Tapered Slot Antenna) เส้นตรงต่อเนื่อง (Linear-constant Tapered Slot Antenna) เส้นโค้งแบบเอกโปเนนเชียลต่อเนื่อง (Exponential-constant Tapered Slot Antenna) ขั้วบันไดต่อเนื่อง (Step-constant Tapered Slot Antenna) และเส้นตรงไม่ต่อเนื่อง (Broken-linear Tapered Slot Antenna) โดยสายอากาศเส้นร่องแบบริ้วมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแสดงดังรูปที่ 3.12 จะเห็นได้ว่ามีลำคลื่นแผ่กระจายออกมาที่บริเวณความกว้างของร่องเท่านั้น



รูปที่ 3.11 สายอากาศร่อบแบบเรียวรูปแบบต่าง ๆ

- (ก) ร่อบเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียล (ข) ร่อบเรียวแบบเส้นโค้งลัมพล์
(ค) ร่อบเรียวแบบเส้นโค้งพาราโบลา (ง) ร่อบเรียวแบบเส้นตรง
(จ) ร่อบเรียวแบบเส้นตรงคงที่ (ฉ) ร่อบเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียลคงที่
(ช) ร่อบเรียวแบบขั้นบันไดคงที่ (ซ) ร่อบเรียวแบบเส้นตรงไม่ต่อเนื่อง

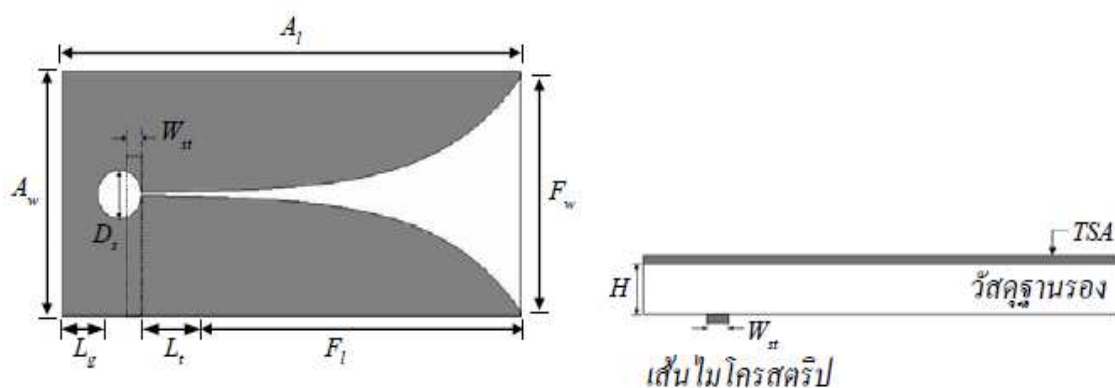


รูปที่ 3.12 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศเส้นร่อบแบบเรียว

3.4.1 โครงสร้างของสายอากาศร่อบแบบเรียว

สายอากาศร่อบแบบเรยวนั้นมีด้วยกันหลายรูปแบบดังได้กล่าวในข้างต้น โดยทุกรูปแบบจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่เหมือนกัน จะแตกต่างกันก็เพียงแต่พื้นที่ของการแผ่พลังงานเท่านั้นเนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลในการออกแบบสายอากาศร่อบแบบเรียวรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีเพียงสายอากาศร่อบแบบเรียวที่เป็นร่อบเรียวแบบเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียลและร่อบเรียวแบบเส้นตรงเท่านั้นที่ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง[25] งานวิจัยนี้ได้นำสายอากาศร่อบแบบเรียวที่มีรูปร่างของร่อบเรียวแบบโค้งแบบเอกซ์โพเนนเชียลหรือสายอากาศวีวาลดี สำหรับการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของความกว้างลำคลื่นกับมุมการเปิดที่ชัดเจนและแบบรูปของอิลิเมนต์จะมีจุดศูนย์ (null) น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับร่อบเรียวแบบเส้นตรง [24] รูปที่ 3.13 แสดงโครงสร้างของสายอากาศ

ร่องแบบเรียว ซึ่งร่องเรียวที่เป็นโค้งแบบเอกซ์โพเนนเชียลถูกสร้างบนแผ่นโลหะและมีวัสดุฐานรอง
คั่นกลางระหว่างร่องเรียวและเส้นป้อนไมโครสตริป ซึ่งวัสดุฐานรองดังกล่าวมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ϵ_r
และมีความหนา H



(ก) ด้านหน้า

(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 3.13 โครงสร้างสายอากาศร่องแบบเรียว

(ก) ด้านหน้า

(ข) ด้านบน

3.4.2 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบเรียว

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.13 สามารถหาได้จาก [24] เมื่อ

A_l คือ ความยาวของสายอากาศ (antenna length) ควรมีย่านค่ามากกว่าความยาวคลื่น

A_w คือ ความกว้างของสายอากาศ (antenna width) ควรมีย่านค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น
ที่ความถี่ต่ำสุด

F_l คือ ความยาวของร่อง (flared slotline length) ควรมีค่าเท่ากับความยาวคลื่นที่ความถี่ต่ำสุด

F_w คือ ความกว้างของร่อง (flared slotline width) ควรมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่
ความถี่ต่ำสุด

D_s คือ เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมของสตัป (diameter of circular slot stub) ควรมีค่าเท่ากับหนึ่ง
ในสี่ของความยาวคลื่นของร่อง

L_t คือ ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง (length of uniform section of slotline)

L_g คือ ความยาวชดเชยด้านหลังสตัป (backwall offset)

W_{st} คือ ความกว้างของเส้นไมโครสตริป (microstrip line width)

H คือ ความสูงของวัสดุฐานรอง (substrate height)

เราสามารถคำนวณหาสมการความโค้งเอกซ์โพเนนเชียลได้จากสมการ

$$y = c_1 e^{Rz} + c_2 \quad (3.11)$$

โดยที่

$$c_1 = \frac{y_1 - y_2}{e^{Rz_2} - e^{Rz_1}}$$

และ

$$c_2 = \frac{y_1 e^{Rz_2} - y_2 e^{Rz_1}}{e^{Rz_2} - e^{Rz_1}}$$

เมื่อ

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

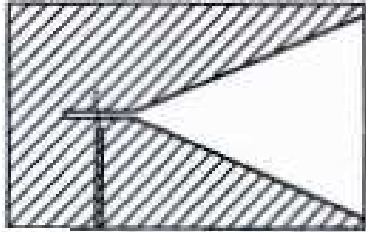
$P_2(y_2 - z_2)$ คือ จุด $(y_2 - z_2)$ จุดสุดท้ายของเส้นโค้งเอกซ์โพเนนเชียล

3.4.3 วิธีการป้อนกำลังงาน

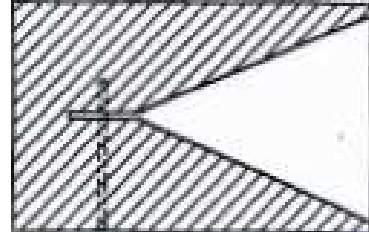
โดยส่วนมากแล้วสายอากาศร่องแบบรีวจะมีลักษณะของร่อง (slotline) ที่มีการแผ่อก ทำให้การป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศร่องแบบรีวต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงระหว่างร่องและการส่งผ่านไปยังตัวกลาง (transmission media) ดังนั้นร่องของสายอากาศจะต้องเชื่อมต่อกับจุดป้อนกำลังงานของสายอากาศ สำหรับวิธีในการป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศร่องแบบรีวนั้นมีด้วยกัน 7 วิธี 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-to-slot) หรือแบบร่อง (notch) (6) การป้อนกำลังงานด้วยไมโครสตริปไปยังจุดเชื่อมไมโครสตริป (microstrip-to-coupled microstrip feed) และ (7) การป้อนกำลังงานด้วยเส้นสตริป (stripline feed) แสดงดังรูปที่ 3.14

สำหรับงานวิจัยนี้ใช้วิธีการป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริปเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ทั้งการออกแบบและการแมตช์สายอากาศ รูปที่ 3.15 แสดงการป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริปไปยังร่อง

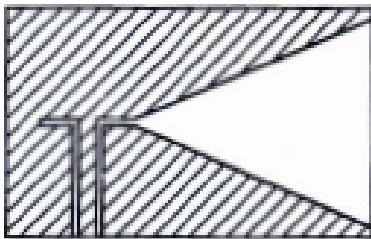
ของสายอากาศ โดยที่ λ_s คือ ความยาวคลื่นของร่อง (slot wavelength) และ λ_m คือ ความยาวคลื่นของไมโครสตริป (microstrip wavelength)



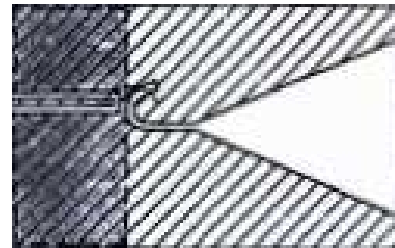
(ก) เส้นแกนร่วม



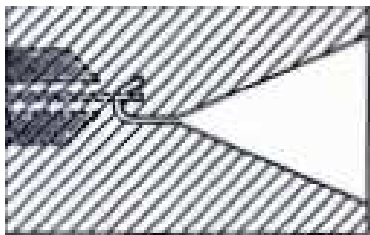
(ข) เส้นไมโครสตริป



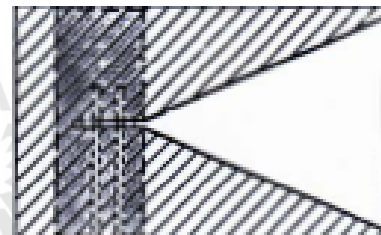
(ค) CPW



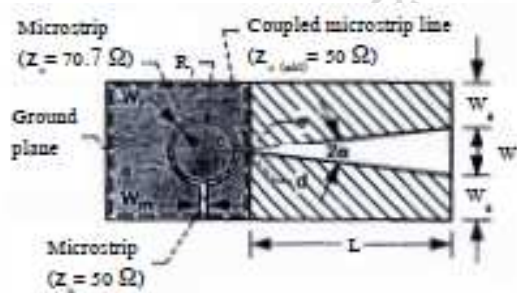
(ง) GCPW



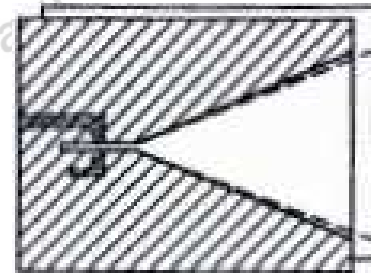
(จ) FCPW/center-strip



(ฉ) FCPW/notch

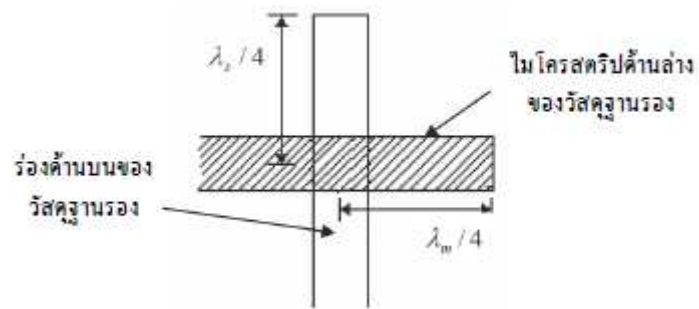


(ซ) ไมโครสตริปไปยังจุดเชื่อม



(ช) เส้นสตริป

รูปที่ -3.14 เทคนิคการป้อนกำลังงานให้สายอากาศร่องแบบเรียบ



รูปที่ 3.15 การป้อนกำลังด้วยเส้นไมโครสตริป

3.5 สรุป

การออกแบบสายอากาศร่องแบบเรียวสำหรับทำหน้าที่เป็นตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับ สะท้อนไมโครสตริปจะวิเคราะห์จากสมการ (3.11) ซึ่งจะกล่าวถึงในบทที่ 4 ต่อไป



บทที่ 4

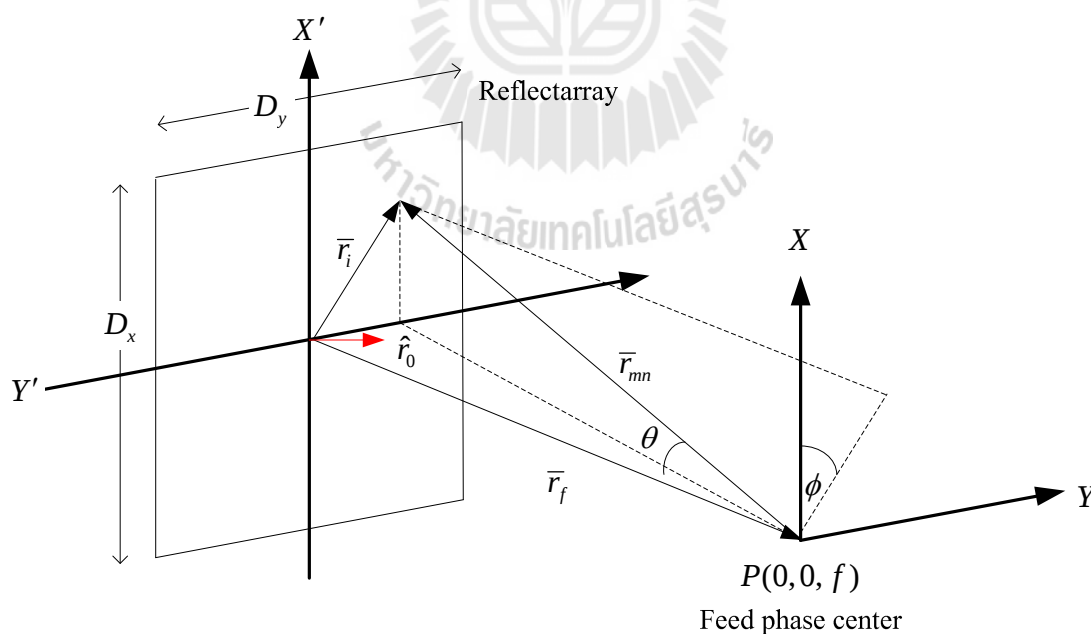
การออกแบบตัวป้อนสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อน

4.1 บทนำ

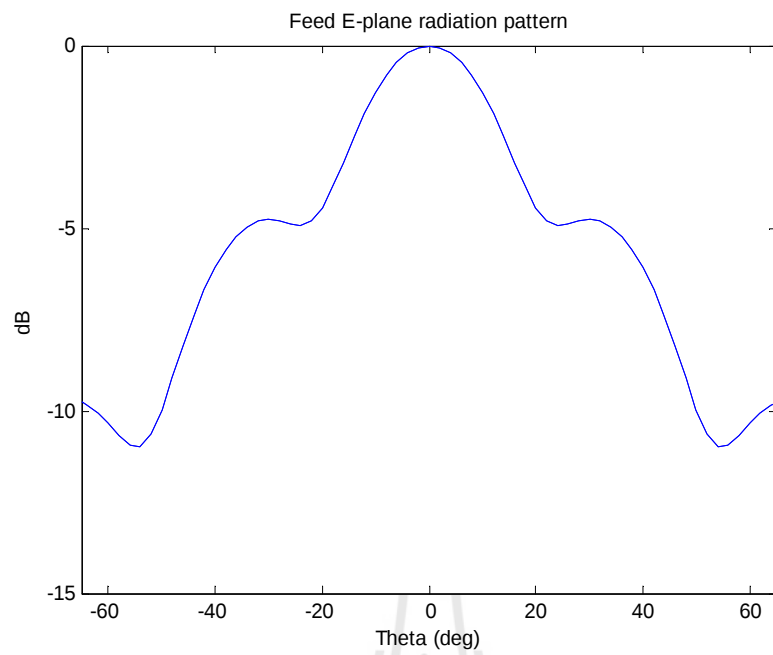
ในบทนี้จะนำเสนองานวิจัยการออกแบบตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้สายอากาศร่องแบบรีว โดยจะศึกษาแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศป้อนและสนามตกกระทบบนแถวลำดับสะท้อน และการศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อประสิทธิภาพของสายสายอากาศแถวลำดับสะท้อน และทำการออกแบบสายอากาศป้อนที่เหมาะสมต่อไป

4.2 การศึกษาแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศป้อนและสนามตกกระทบบนแถวลำดับสะท้อน

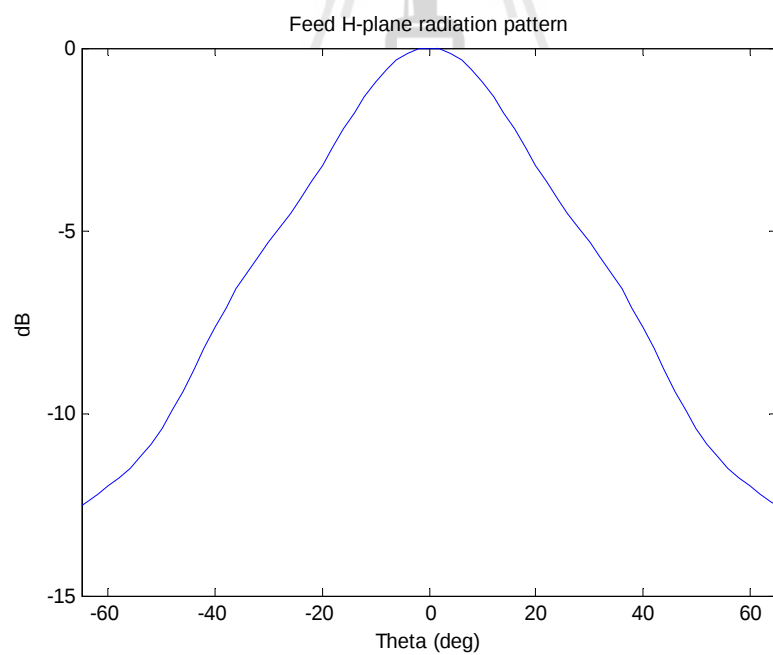
จากการศึกษาการออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนที่ผ่านมาพบว่า สายอากาศป้อนที่นิยมนำมาใช้ในสายอากาศตัวสะท้อนคือ สายอากาศปากแตรปิรามิด รูปที่ 4.1 แสดงรูปทรงเรขาคณิตของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน โดยมีตัวป้อนแบบสายอากาศปากแตรปิรามิดวางในแนวแกน z ที่จุด $P(0,0,f)$ ทำหน้าที่แผ่การกระจายสนามไปยังแถวลำดับสะท้อนแบบไมโครสตริปขนาด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



รูปที่ 4.1 รูปทรงเรขาคณิตของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของตัวป้อนแบบปากแตรปิรามิด

แบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อนด้วยสายอากาศปากแตรแบบปิรามิด แสดงดังสมการ (4.1)

$$\begin{aligned} E_\theta &= j \frac{k_0 E_0 e^{-jk_0 r}}{4\pi r} \sin \phi |F(\theta, \phi)| e^{j\psi(\theta, \phi)} \\ E_\phi &= j \frac{k_0 E_0 e^{-jk_0 r}}{4\pi r} \cos \phi |F(\theta, \phi)| e^{j\psi(\theta, \phi)} \end{aligned} \quad (4.1)$$

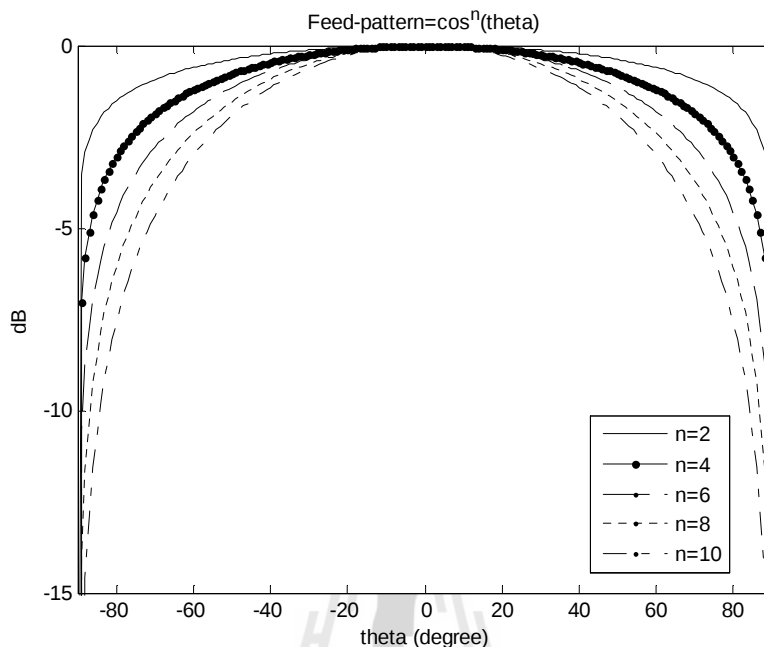
โดยมีตัวแปรที่ต้องพิจารณาคือ $|F(\theta, \phi)|$ และ $\psi(\theta, \phi)$ ในเทอมของอินทิกรัลเฟรสเนล (Fresnel Integral) โคไซน์และไซน์ตามลำดับ และตัวป้อนปากแตรปิรามิดนี้จะถูกออกแบบให้สนามตกกระทบบนแฉลัดับสะท้อนสูงที่สุดบริเวณกลางแผ่นสะท้อน เมื่อพิจารณาระดับพูซัง อัตราขยาย และการสูญเสียเนื่องจากคลื่นของตัวป้อนแผ่กำลังงานล้น (spillover) จากขอบตัวสะท้อน สำหรับการปรับตำแหน่งการป้อนจะพิจารณาจากทฤษฎีของแบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เช่น ถ้าพิจารณาออกแบบโดยกำหนดให้บริเวณขอบของแฉลัดับสะท้อนมีคลื่นตกกระทบลดลงจากตำแหน่งกึ่งกลางแผ่นสะท้อน 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 โดยจุดเฟสอ้างอิงที่จุดกึ่งกลางแฉลัดับสะท้อน จะทำให้เกิดสนามแผ่กระจายไปที่ใกล้เคียงๆ หน้คลื่นทรงกลมเนื่องจากเฟสด้านหน้าที่แตกต่างกันระหว่างระนาบสนามไฟฟ้ากับระนาบสนามแม่เหล็ก จะทำให้มีศูนย์กลางเฟสที่แตกต่างกันสองระนาบ และศูนย์กลางเฟสของระนาบสนามไฟฟ้ากับระนาบสนามแม่เหล็กหาได้จาก $\psi(\theta, \phi)$ ที่ตำแหน่งจากอะเพอร์เจอร์ปิรามิดไปยังตัวป้อน และตำแหน่งตัวป้อนมีระยะโฟกัสเท่ากับ 25 เซนติเมตร และเราจำเป็นต้องพิจารณาระยะทางที่คลื่นตกกระทบจากหน้าคลื่นทรงกลมไปยังแฉลัดับสะท้อน ดังรูปที่ 4.2 โดยมีเฟสศูนย์กลางที่ความถี่ปฏิบัติการ

สนามตกกระทบในแนวสัมผัสของแฉลัดับสะท้อนจะอยู่ในแนวแกน x และแกน y เราสามารถแสดงเฉพาะสนามไฟฟ้าในองค์ประกอบของ x และมีระนาบโพลาไรซ์แบบโหมด TM ได้ดังสมการ (4.2) โดยมีมุมตกกระทบ $(\theta_0, \phi_0) = (\theta_i, 0)$ และสนามสนามไฟฟ้าของแผ่นสะท้อน i ใดๆ ถูกนอร์มอลไลซ์จากสนามที่อิลิเมนต์กึ่งกลางแฉลัดับสะท้อน

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

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

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



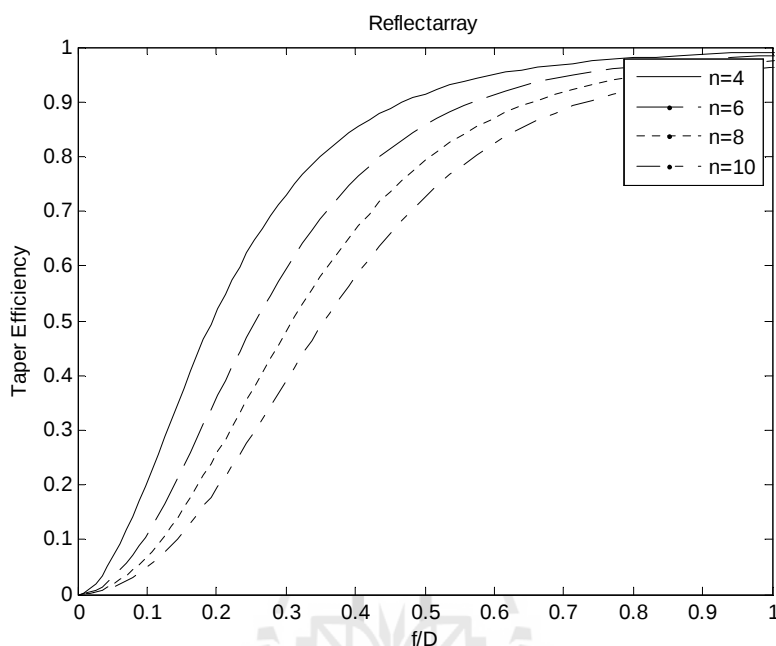
รูปที่ 4.3 ผลกระทบของกำลัง โคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อน

4.3 การศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อประสิทธิภาพของสายอากาศแฉวลำดับสะท้อน

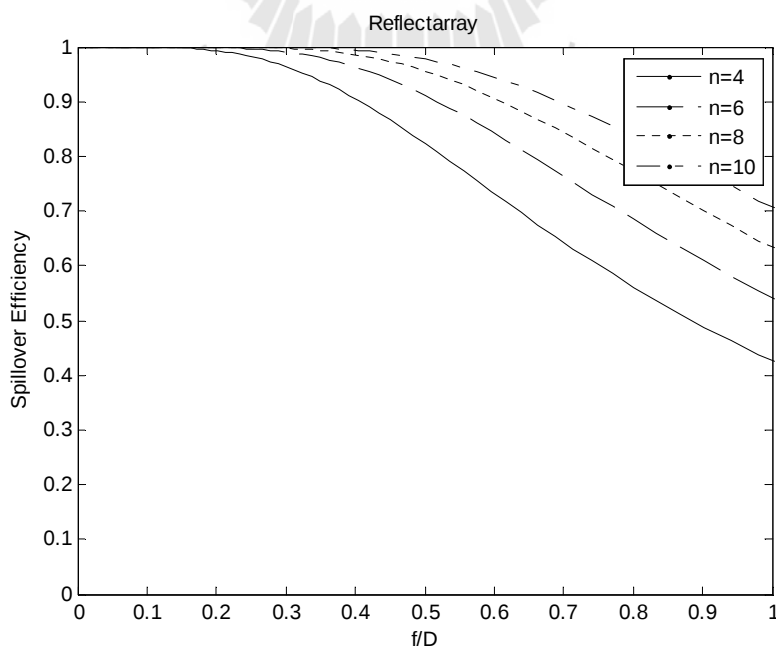
การเลือกอัตราส่วนระหว่างระยะโฟกัสต่อขนาดสายอากาศ (f/D) ที่ดีที่สุดสำหรับสายอากาศแฉวลำดับสะท้อน จะต้องพิจารณาจากหลายตัวแปร ถ้าเลือกให้ f/D มีค่ามาก จะทำให้ระนาบหน้าคลื่นทรงกลมตกกระทบบนครอบคลุมพื้นที่ผิวของสายอากาศแฉวลำดับสะท้อน และทำให้โพลาริซัฟิมีค่าต่ำสุด แต่มีข้อเสียคือจะทำให้เกิดการสูญเสียจากการล้น นอกจากนั้นยังเกิดการผิดรูปของแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเนื่องจากการบล็อกอะเพอร์เจอร์ของตัวป้อนด้วย ถ้าเลือกให้ f/D มีค่าน้อย การบล็อกอะเพอร์เจอร์ของตัวป้อนจะลดลง แต่จะเกิดปัญหาการแมตช์อะเพอร์เจอร์ เช่น ถ้าออกแบบสายอากาศแฉวลำดับสะท้อนโดยใช้แบบรูปการแผ่พลังงานในรูปที่ 4.2 เป็นตัวป้อน และเลือกใช้ $f/D_x = 0.866$ โดยที่ $D_x = 0.30\text{ m}$ และ $D_y = 0.30\text{ m}$ ซึ่งจะทำให้มีมุมตกกระทบสูงสุดในระนาบ x, z และ y, z เท่ากับ 30° เป็นต้น

จากรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงกำลังโคไซน์ ($\cos^n \theta$) ที่มีผลต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อน ถ้าต้องการออกแบบให้สายอากาศแฉวลำดับสะท้อนมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงจำเป็นต้องพิจารณาทั้งความเรียว (taper) ของแบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อน และการสูญเสียเนื่องจากคลื่นของตัวป้อนแผ่กำลังงานล้น (spillover) จากขอบตัวสะท้อน รูปที่ 4.4 ถึง 4.6 แสดงผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อ

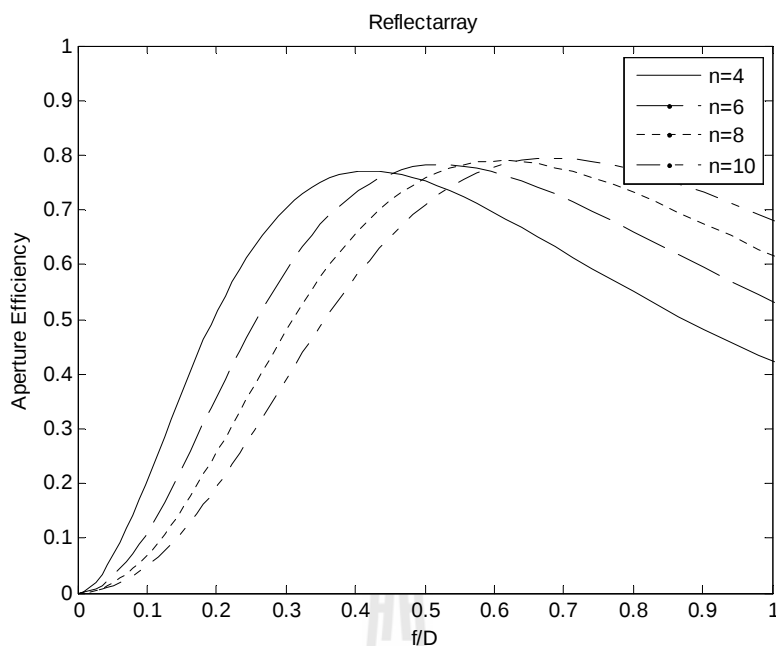
การสูญเสียจากความเร็วของแบบรูปการแผ่กำลังงาน การสูญเสียจากการล้น และประสิทธิภาพอะเพอร์เจอร์ของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนตามลำดับ ซึ่งพบว่า ตัวป้อนที่มีกำลังโคไซน์ต่ำจะมีการสูญเสียจากความเร็วของแบบรูปการแผ่กำลังงานต่ำด้วย แต่จะมีการสูญเสียจากการล้นสูง เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพอะเพอร์เจอร์ (aperture efficiency) พบว่าประสิทธิภาพการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนจะขึ้นกับค่า f/D ด้วย



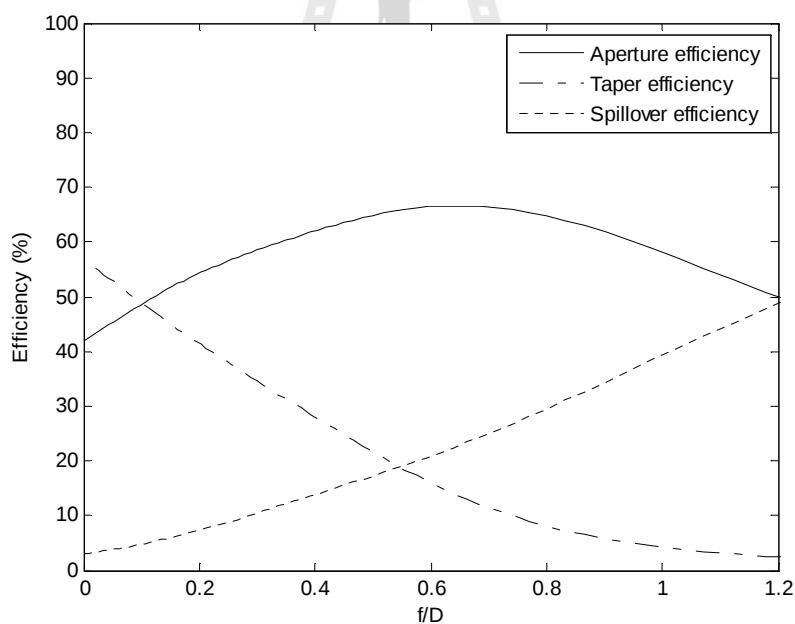
รูปที่ 4.4 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อประสิทธิภาพความเร็ว



รูปที่ 4.5 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อประสิทธิภาพการล้น



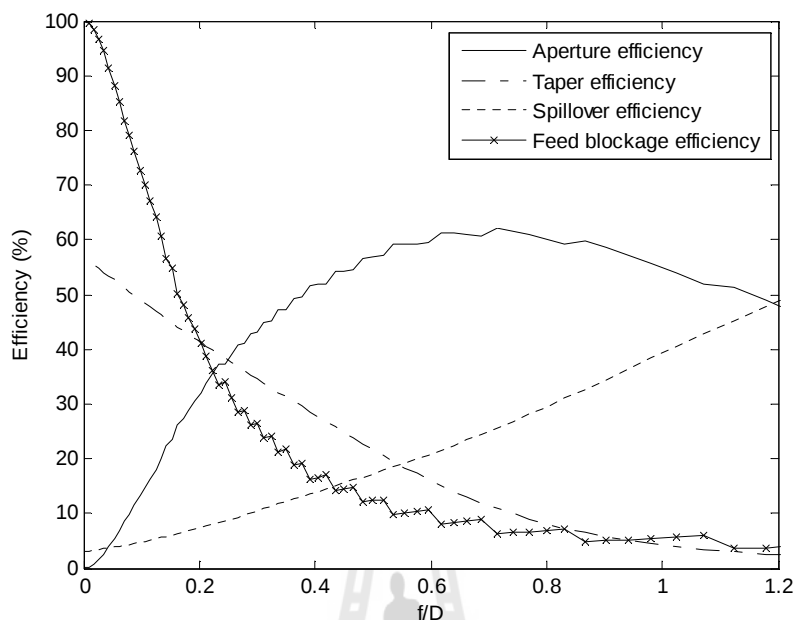
รูปที่ 4.6 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อประสิทธิภาพอะเพอร์เจอร์
ของสายอากาศแกลวลำดับสะท้อน



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศแกลวลำดับสะท้อนเมื่อไม่พิจารณาการบดบังของตัวป้อน

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

ลดลงเหลือเพียง 60% เท่านั้น ดังนั้นการออกแบบตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนที่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของสายอากาศเพิ่มขึ้นได้



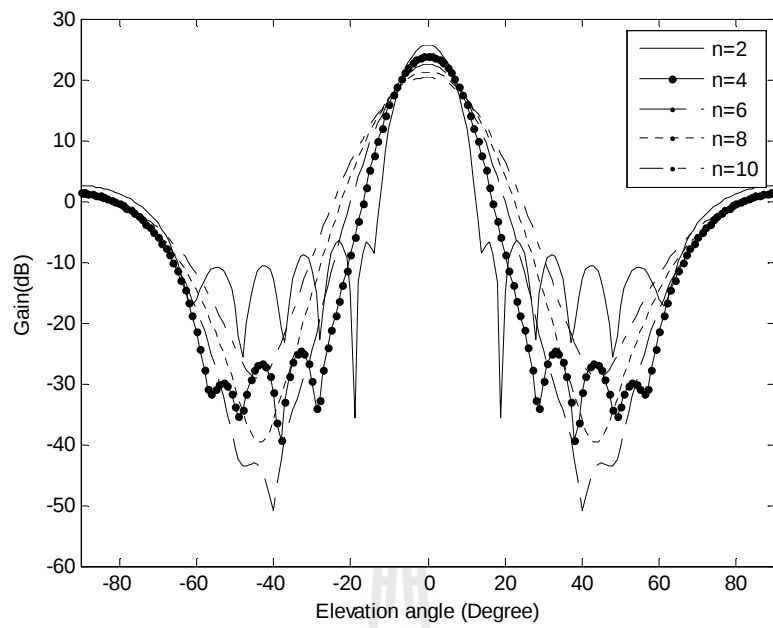
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนเมื่อพิจารณาการบดบังของตัวป้อน

4.4 การศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน

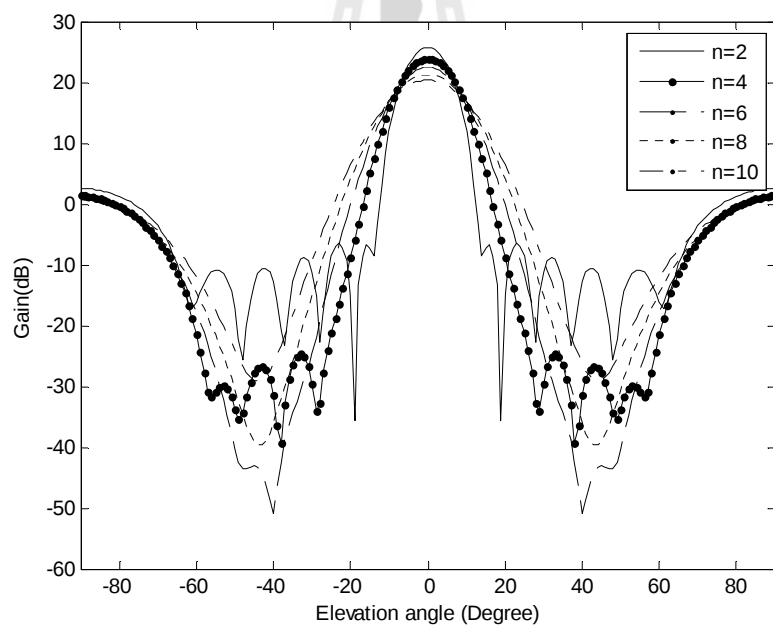
ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนทั้งกรณีสายอากาศแบบเจาะจงทิศทางและแบบจัดลำคลื่น

4.4.1 สายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทาง

สำหรับการออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนเพื่อทดแทนสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิก จะมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง ถ้ากำหนดให้ไม่เกิดการสูญเสียเนื่องจากการล้น พบว่าตัวป้อนที่มีกำลังโคไซน์ต่ำทั้งระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กจะให้สนามตกกระทบผิวสะท้อนใกล้เคียงกันทุกจุด ส่งผลให้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนมีอัตราขยายสูง โดยลักษณะลำคลื่นจะแคบและชี้ไปยังตำแหน่ง 0 องศา ถ้าค่ากำลังโคไซน์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราขยายเพิ่มสูงขึ้น รูปที่ 4.9 แสดงผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทาง



(ก) ระบายสนามไฟฟ้า



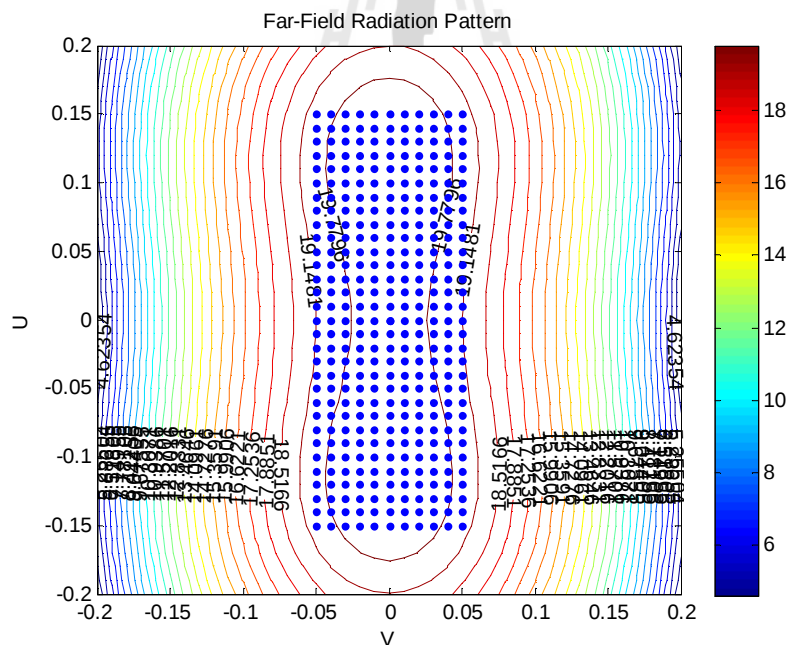
(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.9 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงาน
ของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทาง

4.4.2 สายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำดับคลื่น

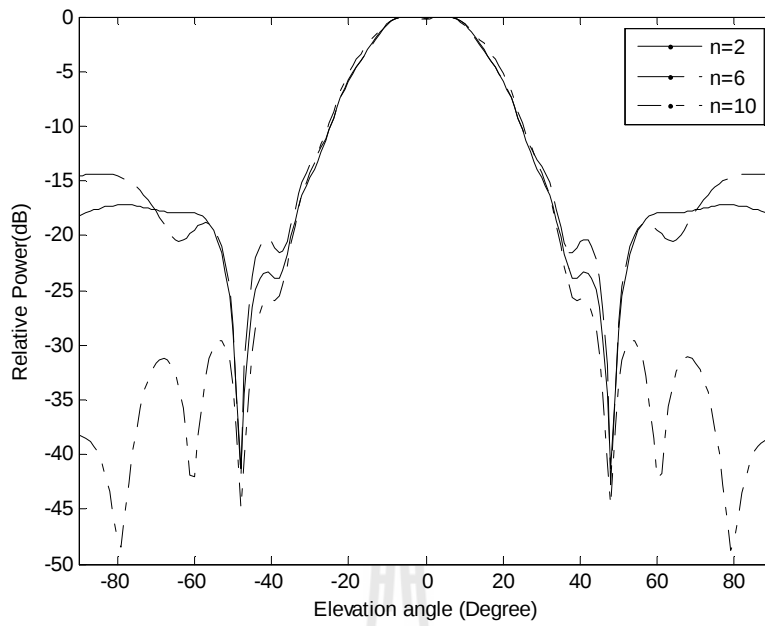
การออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำดับคลื่นมักนิยมออกแบบให้มีลำดับคลื่นครอบคลุมพื้นที่บริการ และกำหนดให้อัตราขยายเป็นไปตามที่ต้องการ โดยเราสามารถพิจารณาลักษณะพื้นที่ให้บริการแบบเรขาคณิตอย่างง่ายได้ เช่น วงกลม สี่เหลี่ยม เป็นต้น สำหรับลักษณะพื้นที่ที่มีความซับซ้อน เช่น ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย เป็นต้น ในหัวข้อนี้จะพิจารณาเฉพาะผลกระทบของกำลังโคไซน์ที่มีผลต่อลักษณะพื้นที่ครอบคลุมอย่างง่ายเท่านั้น โดยกำหนดให้อัตราขยายมีค่าเท่ากับ 20 dB รูปที่ 4.10 ถึง 4.11 แสดงผลการจำลองแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อน พบว่า กำลังโคไซน์ค่าต่างๆจะให้แบบรูปการแผ่กำลังงานที่ต้องการใกล้เคียงกัน แต่กำลังโคไซน์ต่ำจะใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่า

รูปที่ 4.10 แสดงแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนที่มีการจัดลำดับคลื่นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยลักษณะลำดับคลื่นจะกว้างในระนาบสนามไฟฟ้า และลำดับคลื่นแคบในระนาบสนามแม่เหล็ก เมื่อ $u = \frac{x}{R} \sin \theta \cos \phi$ และ $v = \frac{y}{R} \sin \theta \sin \phi$ เป็นพิกัดจุดสังเกต ส่วน R เป็นระยะสนามระยะไกล

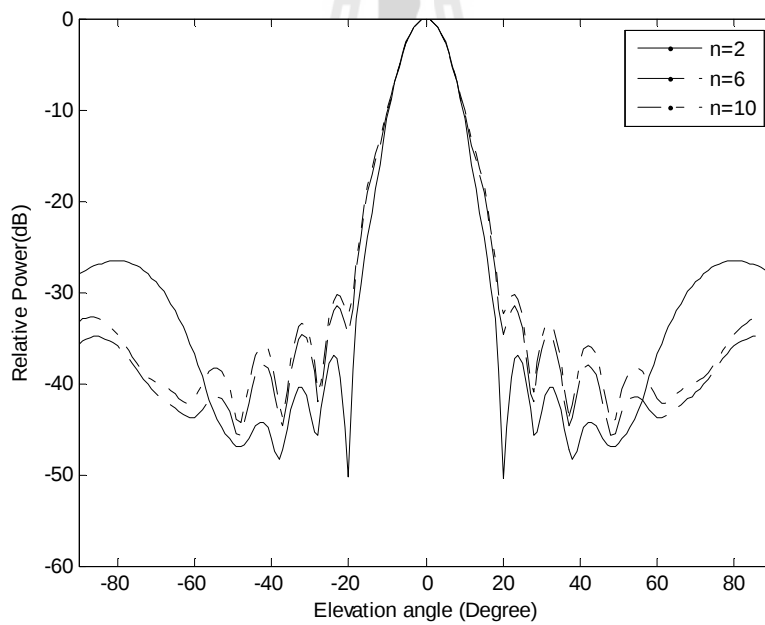


(ก) ลักษณะพื้นที่ครอบคลุม

รูปที่ 4.10 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำดับคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

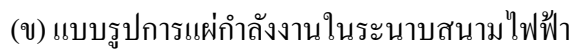
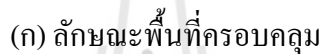


(ข) แบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า

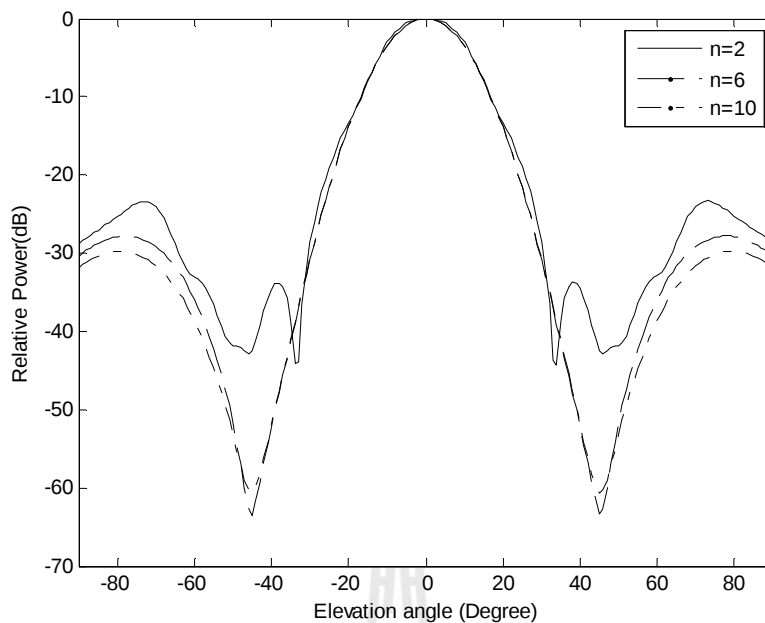


(ค) แบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.10 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงาน
ของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำดับคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ต่อ)



รูปที่ 4.11 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงาน
ของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำดับรูปร่างกลม



(ค) แบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.11 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงาน
ของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำคลื่นรูปวงกลม (ต่อ)

4.5 การออกแบบและจำลองผลสายอากาศร่องแบบเรียบเพื่อเป็นตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CST

จากการศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมา พบว่า ตัวป้อนที่เหมาะสมสำหรับสายอากาศแถวลำดับสะท้อนคือ สายอากาศที่มีกำลังโคไซน์ต่ำหรือมีลำคลื่นกว้างนั่นเอง และตัวป้อนควรมีขนาดเล็ก ไม่บดบังคลื่นที่สะท้อนออกมาจากตัวสะท้อน จากการศึกษานวัตกรรมกรรมในบทที่ 2 พบว่า สายอากาศที่เหมาะสมในการออกแบบตัวป้อนคือสายอากาศร่องแบบเรียบ เนื่องจากไม่บดบังคลื่น แต่สายอากาศดังกล่าวมักมีปัญหาการสูญเสียจากความเรียบของแบบรูปของตัวป้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการปรับรูปแบบสายอากาศร่องแบบเรียบให้มีกำลังโคไซน์ต่ำ

4.5.1 การคำนวณค่าพารามิเตอร์อ้างอิงต่างๆ ของสายอากาศร่องแบบเรียบ

จากบทที่ 3 สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์อ้างอิงต่าง ๆ ของสายอากาศร่องแบบเรียบได้ ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงในการออกแบบสายอากาศร่องแบบเรียบ

เมื่อกำหนดให้ความถี่ปฏิบัติการคือ 5.2 GHz และป้อนกำลังงานด้วยเส้นไมโครสตริป 50 โอห์ม จะได้ $f = 5.2 \text{ GHz}$, $H = 1.6 \text{ mm}$, $Z_0 = 50 \Omega$, $\epsilon_r = 4.5$ และ

1. ความยาวของร่อง หรือ F_l หาได้จาก

$$F_l = \lambda_0 = \frac{3 \times 10^8}{5.2 \times 10^9} = 57.69 \text{ mm}$$

2. ความกว้างของร่อง F_w

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

3. ความยาวของสายอากาศ A_l

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

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

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

5. เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมของสตัป หาได้จาก

$$D_s = \frac{\lambda_g}{4} = 6.79 \text{ mm}$$

6. ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง หรือ L_t และ ความยาวชดเชยด้านหลังสตัป หรือ L_g เมื่อกำหนดให้ $L_t = L_g$ จะได้

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

7. ความกว้างของเส้นไมโครสตริป W_{st} หาได้จาก

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

และ

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

เมื่อ $H = 1.6 \text{ mm}$ จะได้ $W_{st} = 3.02 \text{ mm}$

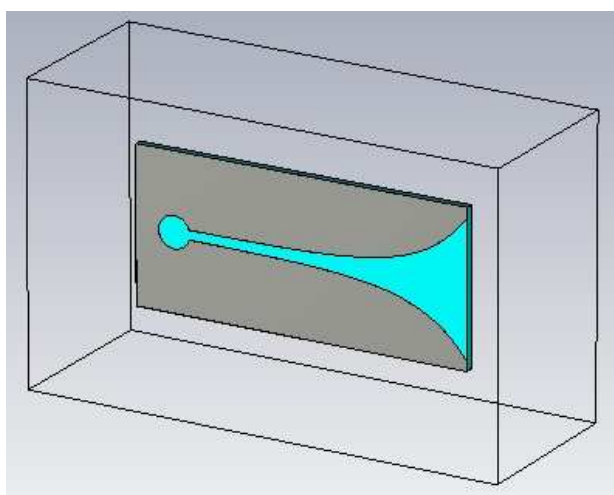
4.5.2 การจำลองแบบสายอากาศตามค่าการคำนวณโดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO

ผลจากการจำลองแบบสายอากาศร่องแบบเรียวด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ดังแสดงรูปที่ 4.12 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ โดยสายอากาศทำงานที่ความถี่ประมาณ 2.88 GHz และ 5.1 GHz ตามลำดับ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับค่าที่เหมาะสม เพื่อให้ได้สายอากาศร่องแบบเรียวที่มีความกว้างแถบครอบคลุมช่วงความถี่ปฏิบัติการที่ 5.2 GHz โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับค่าที่เหมาะสม ได้แก่ ความยาวของ

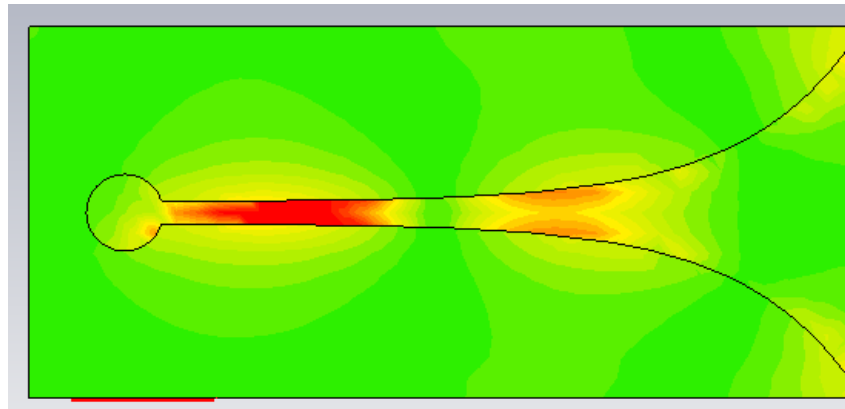
สายอากาศ (antenna length : A_l) ความกว้างของร่อง (flared slotline width : F_w) ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของสตัป (Diameter of stub : D_s) อัตราความโค้งของร่องเรียวเอกซ์โพเนนเชียล (exponential opening rate : R) อัตราความโค้งของแผ่นสะท้อน (r) และตำแหน่งของแผ่นสะท้อน (x) ซึ่งจะพิจารณาการปรับค่าที่เหมาะสมจากค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์อ้างอิงของสายอากาศร่องแบบเรียว

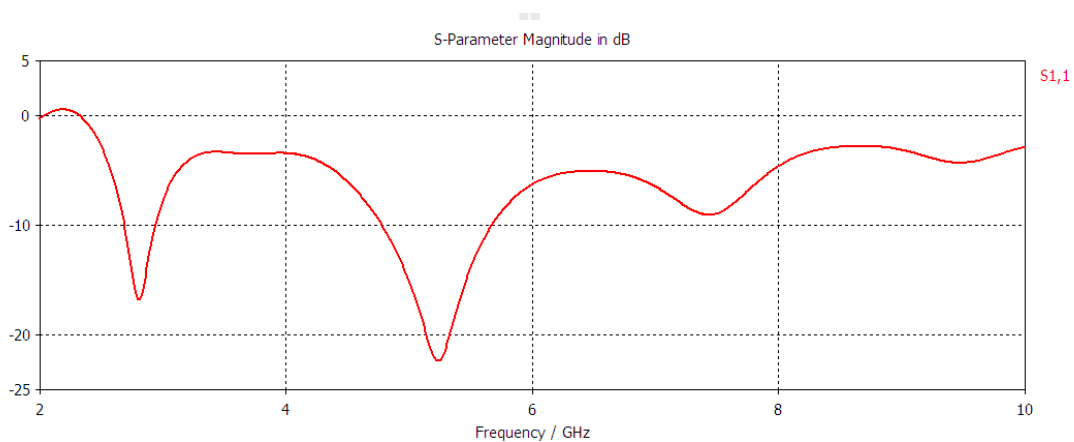
พารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบเรียว	ขนาด (mm)
A_l : ความยาวของสายอากาศ	72.11
A_w : ความกว้างของสายอากาศ	32.85
F_l : ความยาวของร่อง	57.69
F_w : ความกว้างของร่อง	28.85
R : อัตราความโค้งของร่องเรียวเอกซ์โพเนนเชียล	0.1
L_g : ความยาวขดเชยด้านหลังสตัป	3.82
L_t : ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง	3.82
H : ความสูงของวัสดุฐานรอง	1.6
D_s : เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมของสตัป	6.79
W_{st} : ความกว้างของเส้นไมโครสตริป	3.02
r : อัตราความโค้งของแผ่นสะท้อน	0.1
L : ความยาวของแผ่นสะท้อน	35
W : ความกว้างของแผ่นสะท้อน	8



(ก) แบบจำลองสายอากาศ



(ข) การแผ่สนามไฟฟ้าของสายอากาศ



(ค) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ

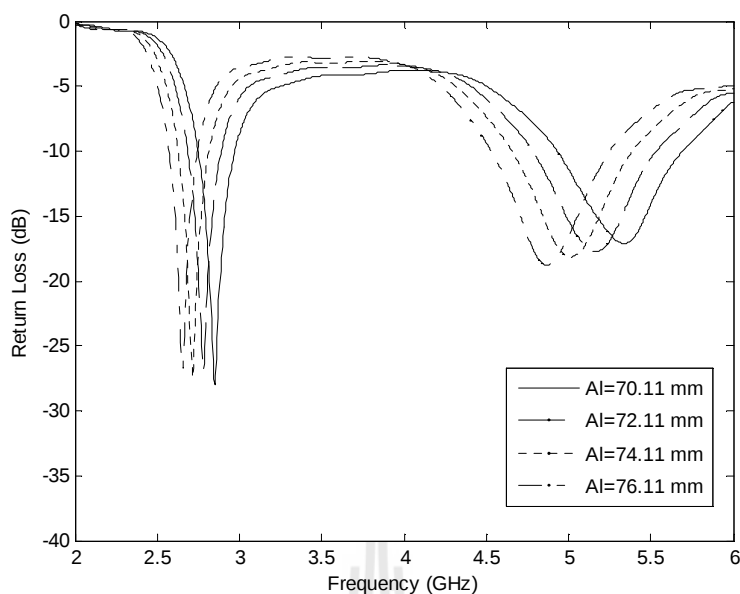
รูปที่ 4.12 ผลการจำลองแบบสายอากาศร่องแบบรีวด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO

กรณีไม่มีแผ่นสะท้อนด้านหลัง

4.5.3 การศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบรีว

1. ความยาวของสายอากาศ

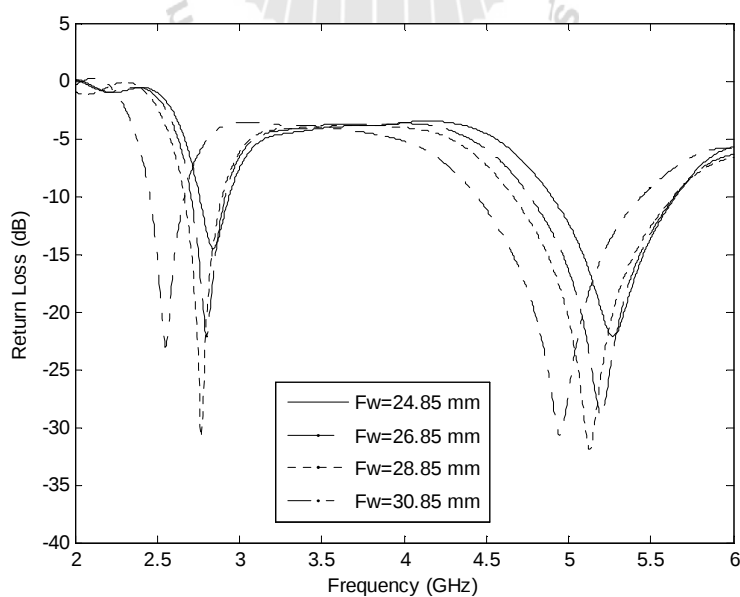
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของสายอากาศ หรือ A_1 เท่ากับ 70.11 มิลลิเมตร 72.11 มิลลิเมตร 74.11 มิลลิเมตร และ 76.11 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ จากการจำลองพบว่าเมื่อสายอากาศร่องแบบรีวมีความยาวเพิ่มมากขึ้นจะทำให้สายอากาศมีความถี่เรโซแนนซ์ลดลง แสดงได้ดังรูปที่ 4.13 ดังนั้นจึงเลือกค่าความยาวของสายอากาศเท่ากับค่าอ้างอิงเดิมคือ 72.11 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.13 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า A_l

2. ความกว้างของร่อง

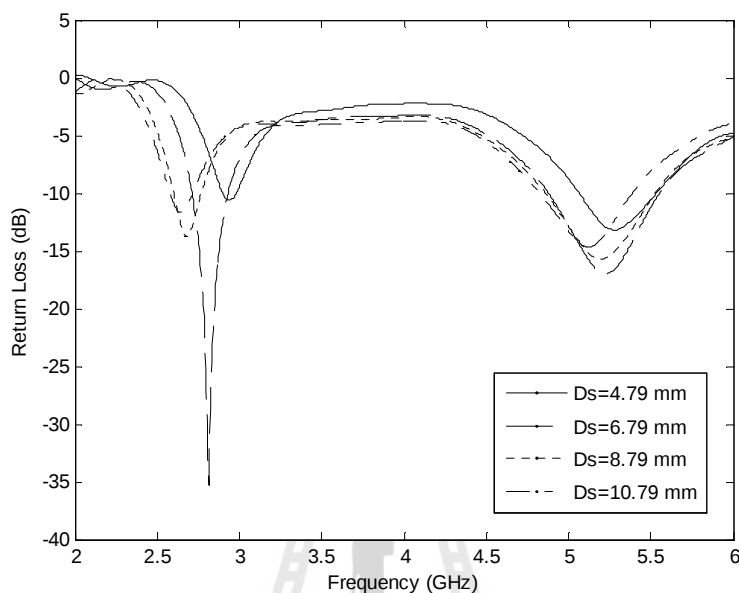
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของร่อง หรือ F_w เท่ากับ 24.85 มิลลิเมตร 26.85 มิลลิเมตร 28.85 มิลลิเมตร และ 30.85 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ พบว่าเมื่อค่า F_w เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับดีขึ้นเนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ในการแผ่กระจายพลังงาน แต่ถ้า F_w เพิ่มมากขึ้นจะพบว่าความถี่ปฏิบัติการในช่วงความถี่กลางจะเลื่อนไปยังความถี่ที่ต่ำลง แต่จากการจำลองผลจะเห็นว่าเมื่อ F_w เท่ากับ 26.85 มิลลิเมตร มีผลของค่าการสูญเสียย้อนกลับดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า F_w

3. ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางสตัป

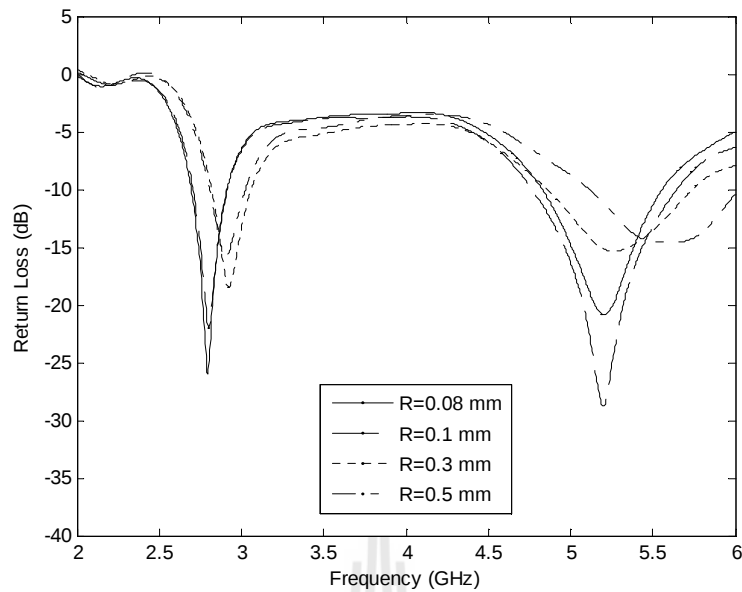
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางสตัปเท่ากับ 4.79 มิลลิเมตร 6.79 มิลลิเมตร 8.79 มิลลิเมตร และ 10.79 โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ จากการจำลองผล พบว่าเมื่อค่า D_s ที่ทำให้สายอากาศแมตซ์ที่ความถี่ 5.2 GHz คือ D_s เท่ากับ 6.79 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.15 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า L_g

4. อัตราความโค้งของเส้นร่องเอ็กโปเนนเชียล

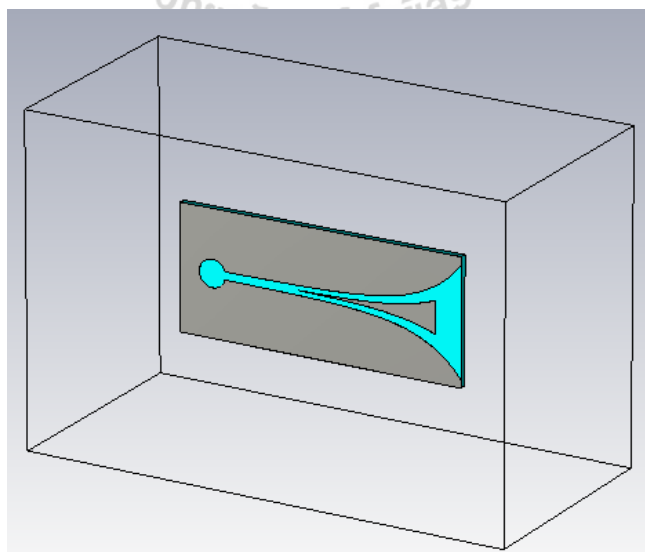
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราความโค้งของร่องเรียวเอกซ์โพเนนเชียลหรือ R เท่ากับ 0.08 0.1 0.3 และ 0.5 โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ จากการจำลองผลพบว่า เมื่อค่า R เพิ่มขึ้น ทำให้แถบความถี่กว้างมากขึ้น จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าที่ค่า R เท่ากับ 0.1 จะให้ผลของค่าการสูญเสียย้อนที่ดีที่สุด พบว่าได้ความถี่ปฏิบัติการอยู่ในช่วงความถี่ 4.74-5.64 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนน้อยกว่า -10 dB



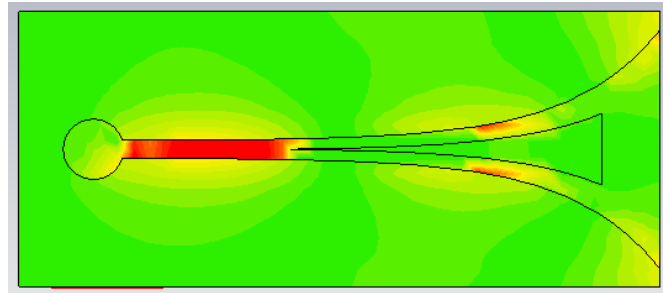
รูปที่ 4.16 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า R

5. เพิ่มแผ่นสะท้อนและศึกษาอัตราความโค้งและตำแหน่งของแผ่นสะท้อน

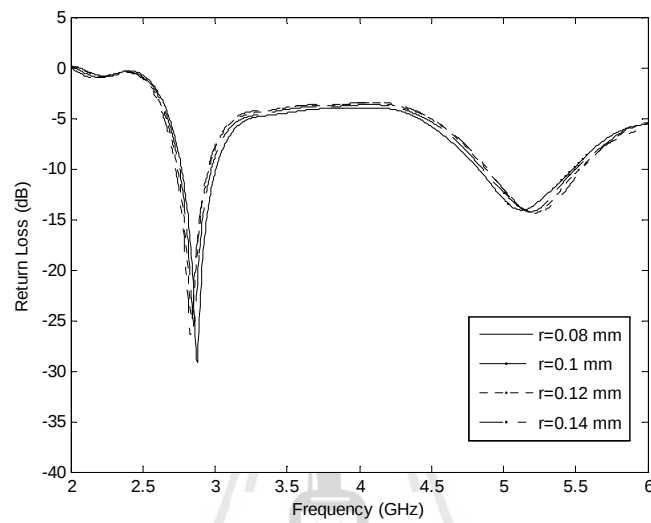
ผลการจำลองสายอากาศรูปแบบเรียวเมื่อเพิ่มส่วนสะท้อนด้านหน้า ดังแสดงในรูปที่ 4.17(ก) จะเห็นว่า แผ่นสะท้อนส่งผลต่อความถี่เรโซแนนซ์เล็กน้อย และสามารถสะท้อนคลื่นบริเวณกึ่งกลางลำคลื่นได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.17(ข) การวางตำแหน่งแผ่นสะท้อนที่เหมาะสมจะส่งผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ รูปที่ 4.17(ค) และ (ง) แสดงผลกระทบของอัตราความโค้งของแผ่นสะท้อนและตำแหน่งของแผ่นสะท้อน



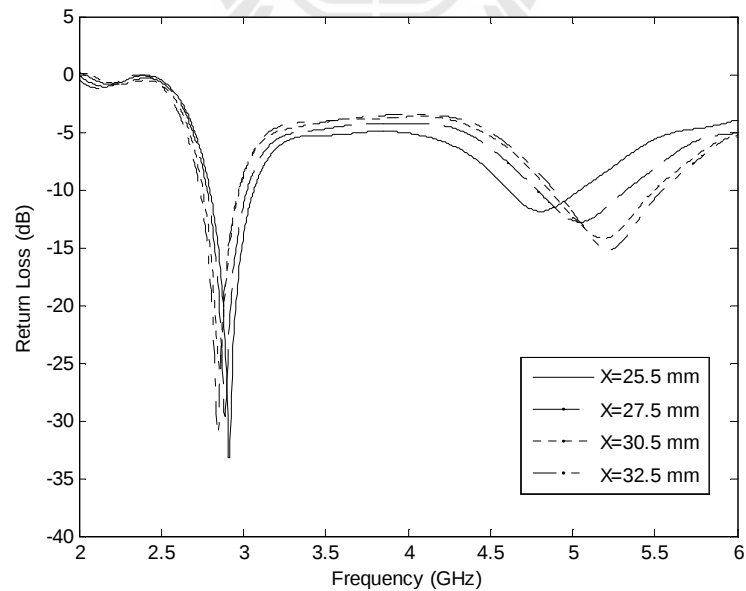
(ก) แบบจำลองสายอากาศ



(ข) การแผ่สนามไฟฟ้าของสายอากาศ

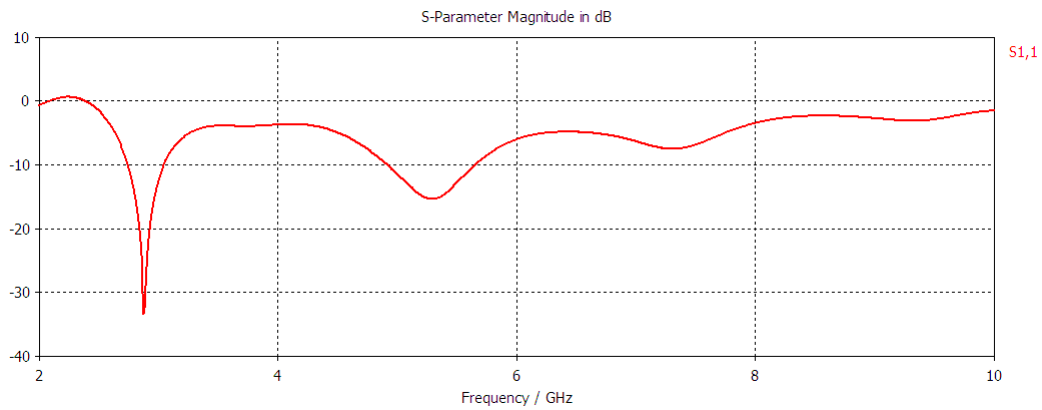


(ค) ปรับอัตราความโค้งของแผ่นสะท้อน

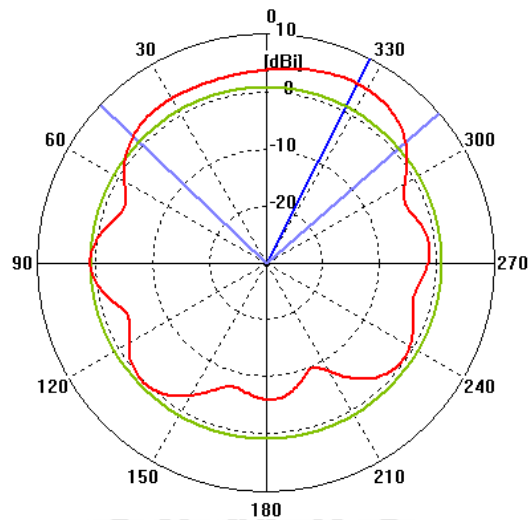


(ง) ปรับระยะของแผ่นสะท้อน

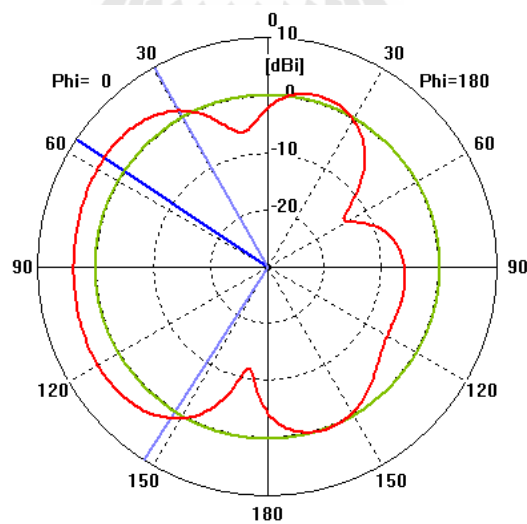
รูปที่ 4.17 ผลกระทบต่อค่าคลื่น เมื่อเพิ่มแผ่นสะท้อนด้านหน้า



(ก) การสูญเสียย้อนกลับ



(ข) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า



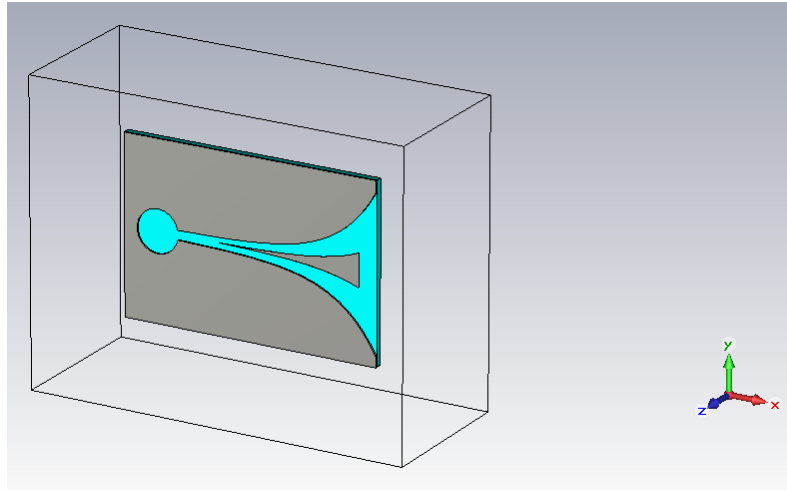
(ค) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.18 ผลการจำลองแบบหลังปรับพารามิเตอร์ของสายอากาศครั้งที่ 1

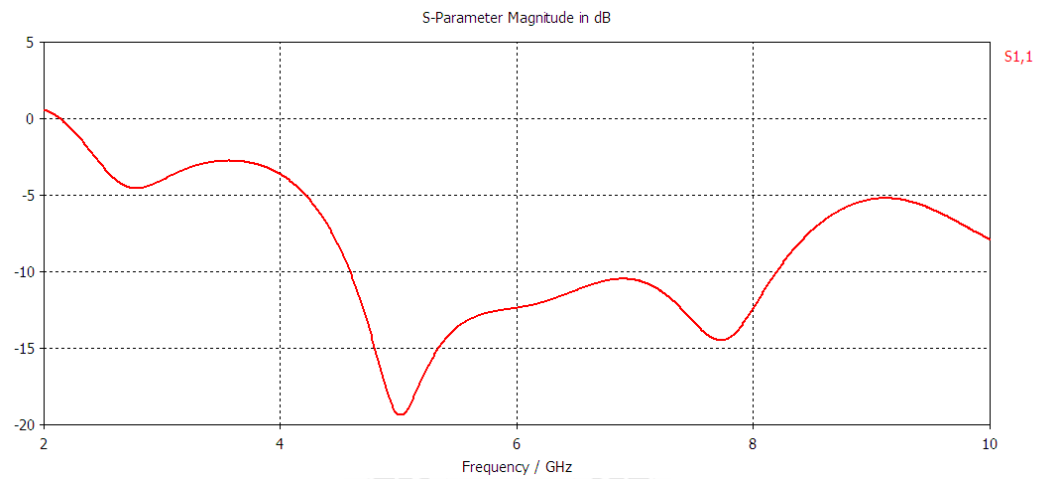
จากการปรับค่าพารามิเตอร์สามารถสรุปค่าพารามิเตอร์สำหรับการปรับครั้งแรกได้ดังตารางที่ 4.2 เนื่องจากสายอากาศร่องแบบรีวที่ออกแบบมีแผ่นสะท้อนด้านหน้าเพื่อแบ่งกำลังงาน และสายอากาศสามารถทำงานได้สองความถี่ โดยสายอากาศแมตซ์ที่ความถี่ 2.88 GHz และ 5.2 GHz จึงทำให้สายอากาศมีอัตราขยายเท่ากับ 5.26 dB ถ้าต้องการให้อัตราขยายเพิ่มสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องลดความถี่ปฏิบัติการด้านความถี่ต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงปรับขนาดของสายอากาศใหม่อีกครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.19 แสดงผลการจำลองสายอากาศร่องแบบรีว จะเห็นว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าน้อยกว่า -10 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 4.59 GHz ถึง 8.17 GHz ดังรูปที่ 4.19(ข) อัตราส่วนคลื่นนิ่งมีค่าต่ำกว่า 2 ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 4.59 GHz ถึง 8.17 GHz เช่นกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.19(ค) สำหรับแบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ 4.19(ง) และ (จ) ตามลำดับ โดยผลการจำลองที่ได้มีอัตราขยายดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบรีวหลังปรับพารามิเตอร์

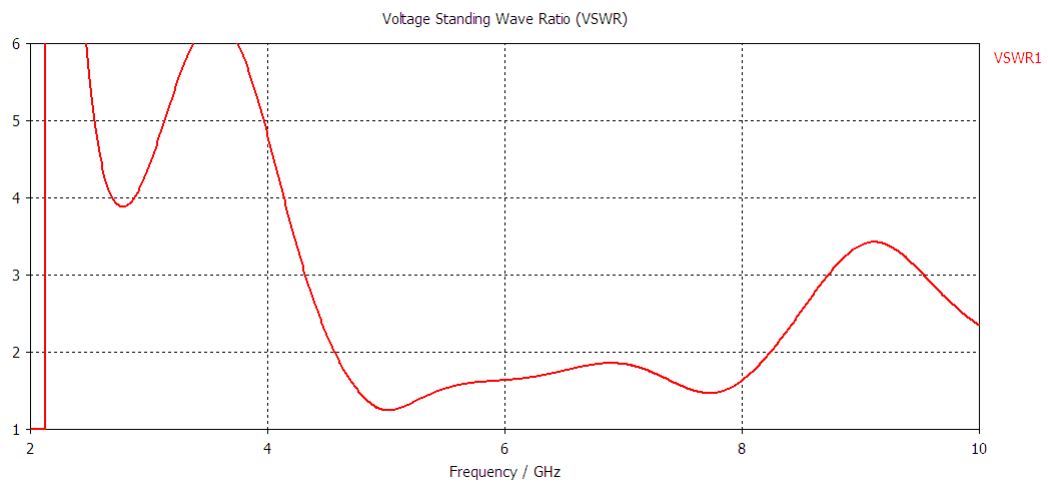
พารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบรีว	ขนาด (mm)	
	ปรับครั้งที่ 1	ปรับครั้งที่ 2
A_l : ความยาวของสายอากาศ	72.11	63.03
A_w : ความกว้างของสายอากาศ	30.85	42.82
F_l : ความยาวของร่อง	57.68	45.79
F_w : ความกว้างของร่อง	26.85	37.62
R : อัตราความโค้งของร่องรีวเอกซ์โพเนนเชียล	0.1	0.1
L_g : ความยาวขดเชยด้านหลังสตัป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



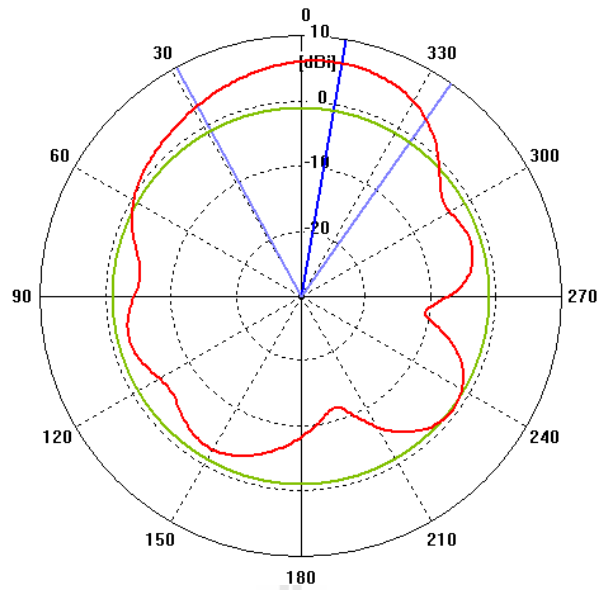
(ก)



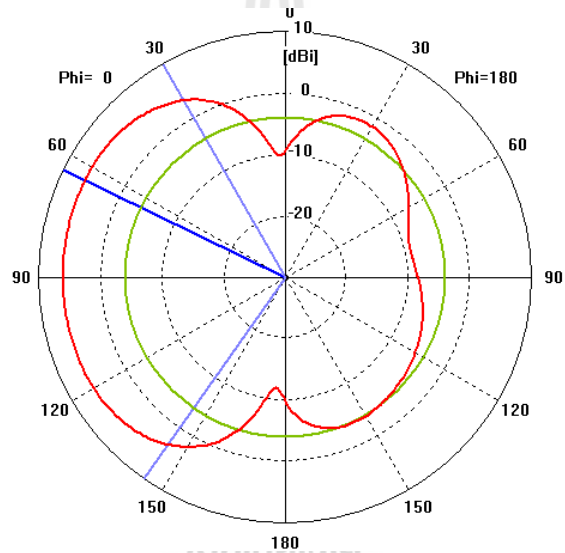
(ข) การสูญเสียย้อนกลับ



(ค) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง



(ง) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า

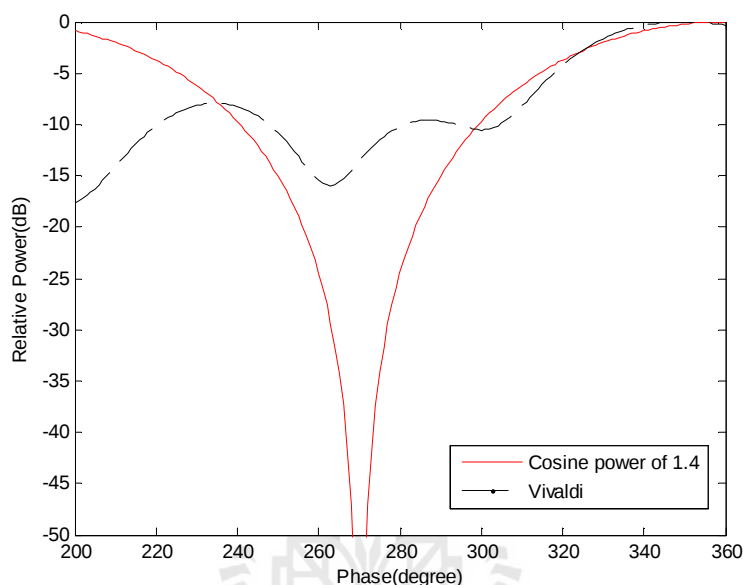
(จ) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก
รูปที่ 4.19 ผลการจำลองแบบสายอากาศที่นำเสนอ

ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราขยายจากการจำลองสายอากาศร่องแบบรีข

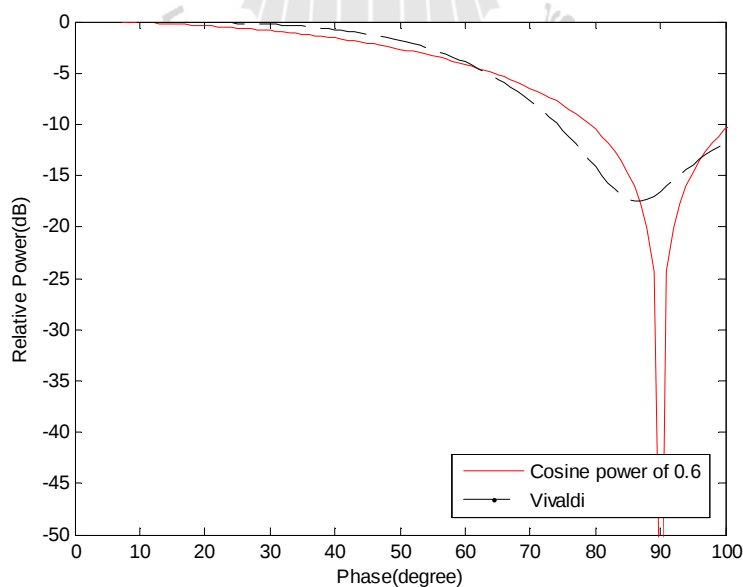
สายอากาศ	อัตราขยาย (dB)
ใช้พารามิเตอร์อ้างอิง	5.37
หลังปรับพารามิเตอร์ครั้งที่ 1	5.26
หลังปรับพารามิเตอร์ครั้งที่ 2	6.44

4.6 การออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้ตัวป้อนจากสายอากาศร่องแบบเรียบที่ได้ออกแบบ

การออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปโดยใช้ตัวป้อนที่ออกแบบไว้ในหัวข้อ 4.4 โดยกำหนดให้ขนาดตัวสะท้อนมีค่าเท่ากับ 0.35 เมตร และตัวป้อนวางที่ตำแหน่งกึ่งกลางตัวสะท้อน ห่างจากตัวสะท้อนด้วยระยะโฟกัสเท่ากับ 0.14 เมตร เมื่อพิจารณาแบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อน ในรูปที่ 4.20 สามารถหาค่าส่งโคไซน์ของตัวป้อนได้เท่ากับ $n=1.4$ และ $n=0.6$ ในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กตามลำดับ



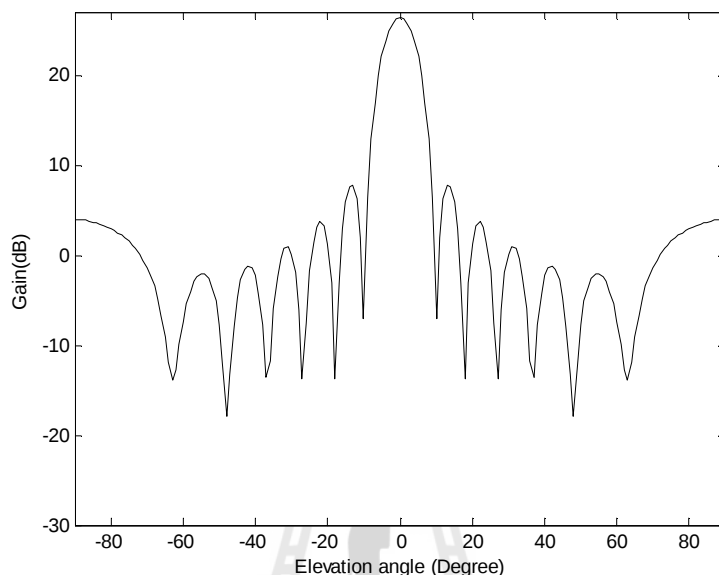
(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



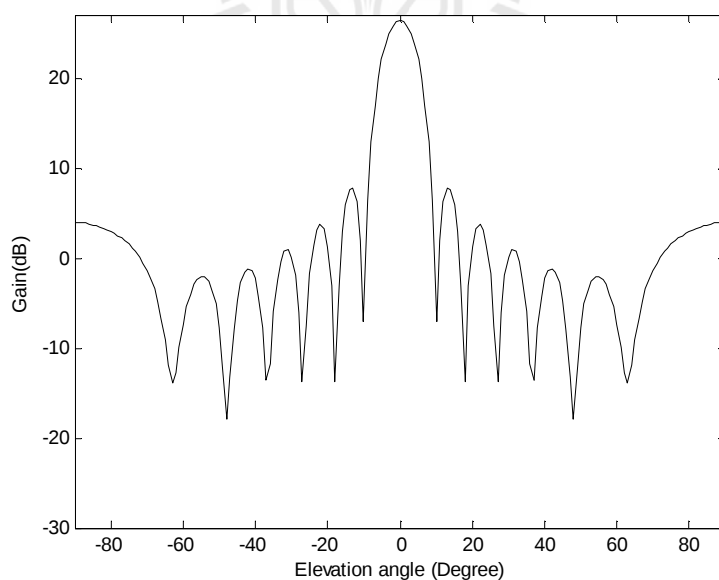
(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.20 ค่าส่งโคไซน์ของตัวป้อนที่ออกแบบ

เมื่อนำสายอากาศร่องแบบเรียบมาใช้ป้อนกำลังงานให้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนทั้งแบบเจาะจงทิศทางและแบบจัดลำดับคลื่น สามารถแสดงแบบรูปการแผ่กำลังงานได้ดังรูปที่ 4.21 ถึง 4.23 ซึ่งพบว่าสายอากาศแถวลำดับสะท้อนให้อัตราขยายเท่ากับ 26.45, 20.32 และ 20.15 dB สำหรับสายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง แบบจัดลำดับคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และแบบจัดลำดับคลื่นรูปวงกลมตามลำดับ

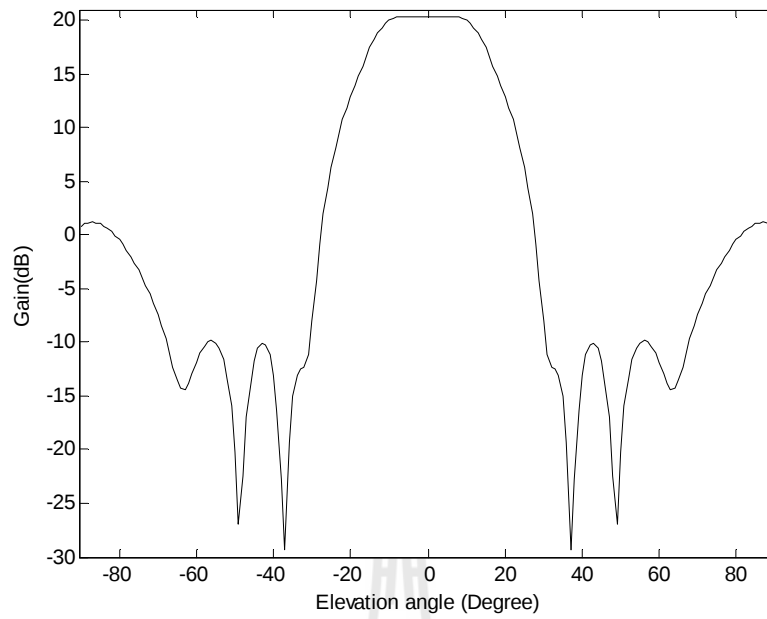


(ก) ระบายสนามไฟฟ้า

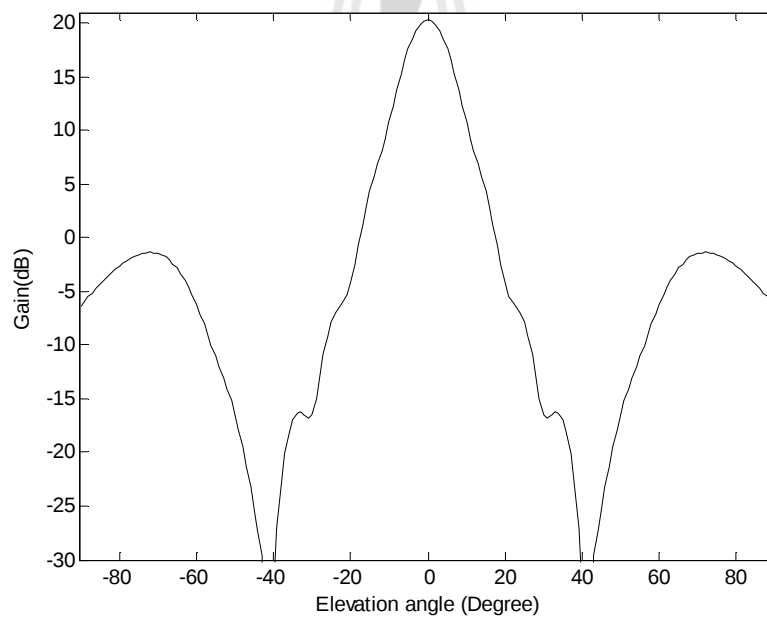


(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.21 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทาง
เมื่อใช้ตัวป้อนที่ออกแบบ

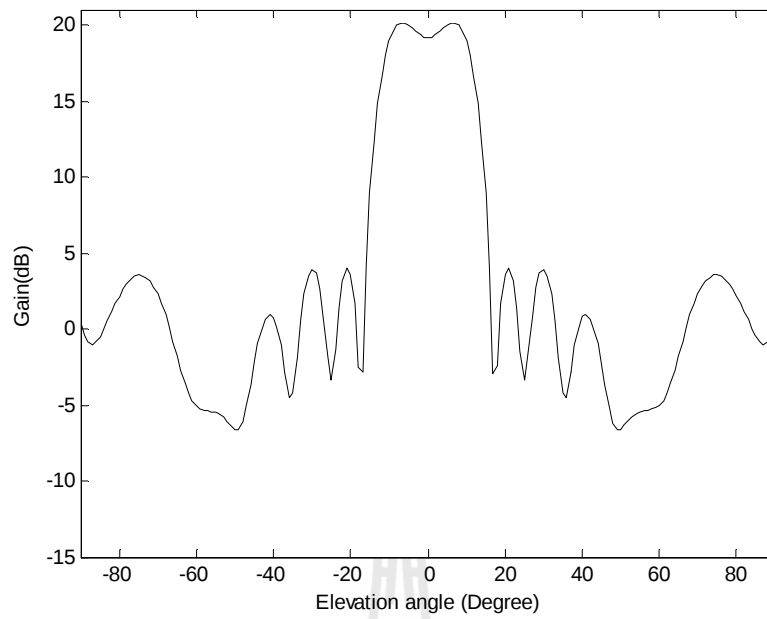


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

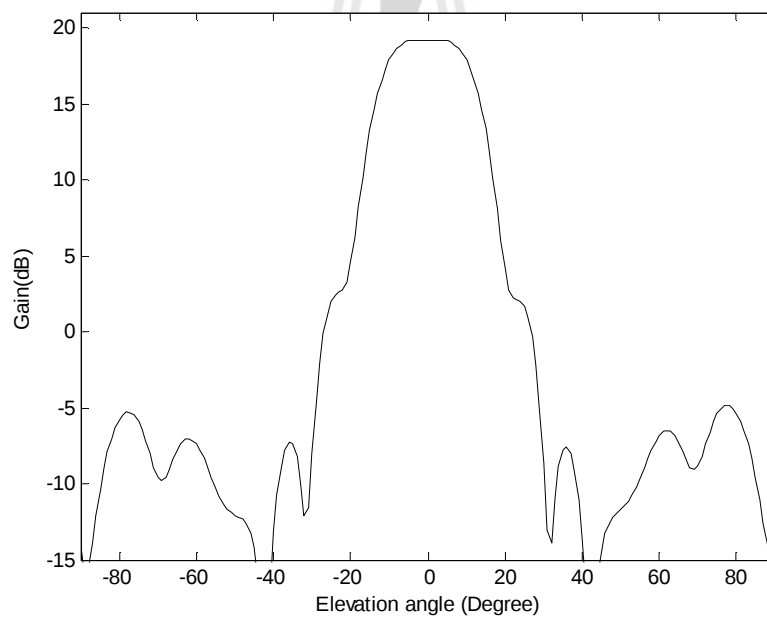


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.22 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำดับคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
เมื่อใช้ตัวป้อนที่ออกแบบ



(ก) ระบายสนามไฟฟ้า

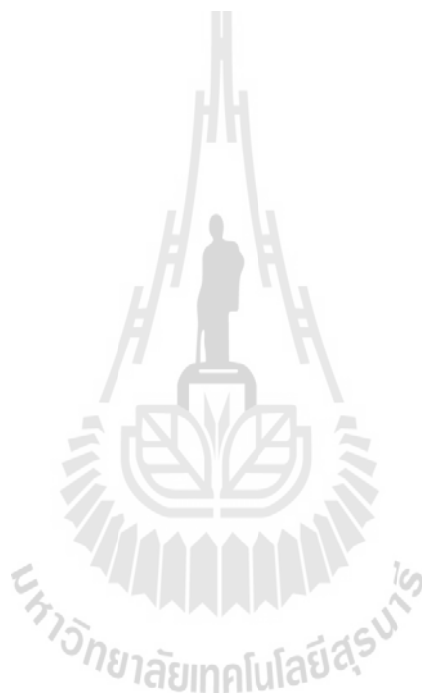


(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.23 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแฉกลำดับสะท้อนแบบจัดลำคลื่นรูปวงกลม
เมื่อใช้ตัวป้อนที่ออกแบบ

4.7 สรุป

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



บทที่ 5

ผลการวัดทดลอง

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการนำทฤษฎีและหลักการทั้งหมดที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมาช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ ในโครงสร้างสายอากาศที่นำเสนอนี้เป็นตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปที่มีลำคลื่นกว้าง โดยจะอธิบายถึงวิธีการสร้างสายอากาศต้นแบบ จากนั้นนำสายอากาศต้นแบบมาวัดทดสอบคุณลักษณะ ได้แก่ แบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก อัตราขยายของสายอากาศ ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง เป็นต้น

5.2 วิธีการสร้างสายอากาศต้นแบบ

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกใช้สายอากาศร่องแบบเรียบในการนำมาสร้างตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนต้นแบบ โดยใช้แผ่นไมโครสตริปชนิด FR4 ซึ่งมีความหนา 1.6 มิลลิเมตร และมีค่าสภาพยอม $\epsilon_r = 4.5$ ที่ความถี่ปฏิบัติการ 5.2 GHz

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 จนได้ขนาดและรูปแบบของตัวป้อนของสายอากาศตามที่ต้องการ โดยผลจากการจำลองจะมีนามสกุลแฟ้มข้อมูลคือ CST ซึ่งจะต้องนำไฟล์ออก (export file) จากโปรแกรมสำเร็จรูป CST และบันทึกข้อมูลนามสกุลแฟ้มข้อมูลที่ได้อีก คือ ชื่อแฟ้มข้อมูลนามสกุล DXF เมื่อได้แฟ้มข้อมูลแล้ว ได้นำไปจัดแต่งรูปร่างของสายอากาศด้วยโปรแกรม Auto CAD 2008 ก่อนนำไปตัดสติ๊กเกอร์โดยใช้โปรแกรม CorelDRAW 9 เพื่อนำไปใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ แสดงดังรูปที่ 5.1 ซึ่งได้ใช้แผ่นไมโครสตริปชนิด FR4 จากนั้นนำสายอากาศป้อนต้นแบบต่อเข้ากับหัวต่อชนิด SMA 50 โอห์ม



(ก) ด้านหน้า



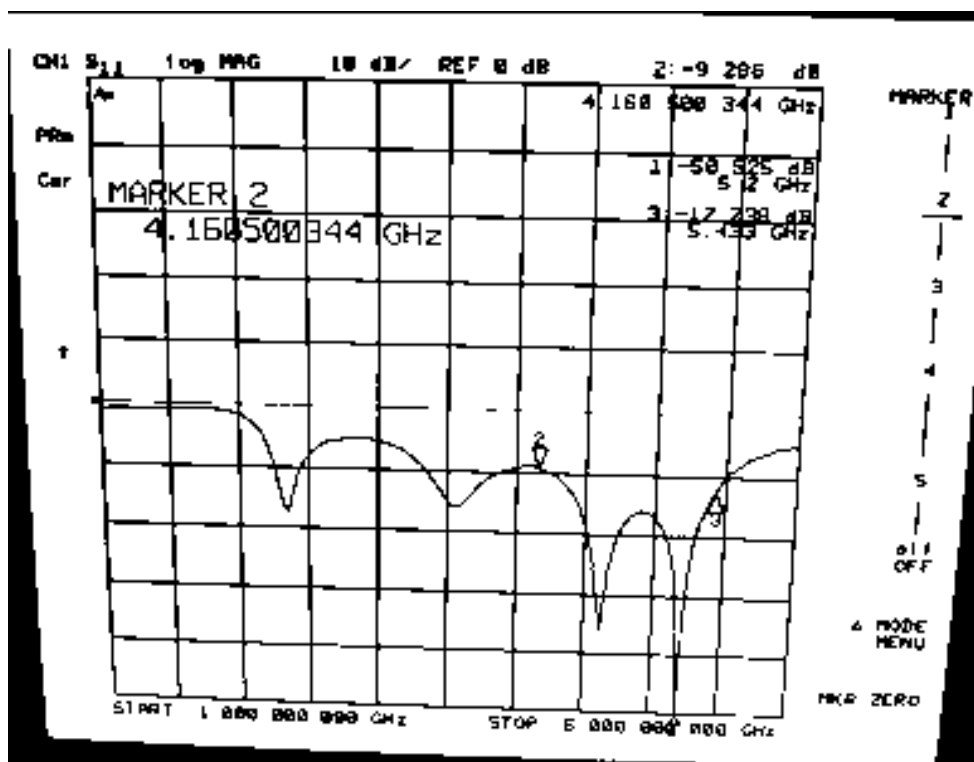
(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 5.1 สายอากาศป้อนต้นแบบ

5.3 ผลการวัดทดสอบการสูญเสียย้อนกลับ

สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาการแมตช์อิมพีแดนซ์ด้านเข้า คือ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) หรือในรูปของพารามิเตอร์ S_{11} ในการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ S_{11} หมายถึงการสะท้อนกลับของกำลังไฟฟ้าด้านเข้า (port 1) ของสายอากาศ ซึ่งขนาดของ S_{11} อาจจะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 dB ถึง ลบอนันต์ (negative infinity dB) ถ้ามีค่าเท่ากับ 0 dB แสดงว่าไม่แมตช์อย่างสมบูรณ์ และ

ถ้ามีค่าเป็นลบอนันต์ แสดงว่ามีการแมตซ์ที่สมบูรณ์ดีที่สุด ในงานประยุกต์ต่าง ๆ ค่าของ S_{11} จะยอมรับได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ซึ่งจะสอดคล้องกับค่า SWR เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า แสดงว่ามีการแมตซ์ที่ดี จากรูปที่ 5.2(ก) แสดงกราฟค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศต้นแบบในรูปของพารามิเตอร์ S_{11} จากรูปจะสังเกตได้ว่าสายอากาศต้นแบบที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นมีค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 4.6 GHz ถึง 5.5 GHz

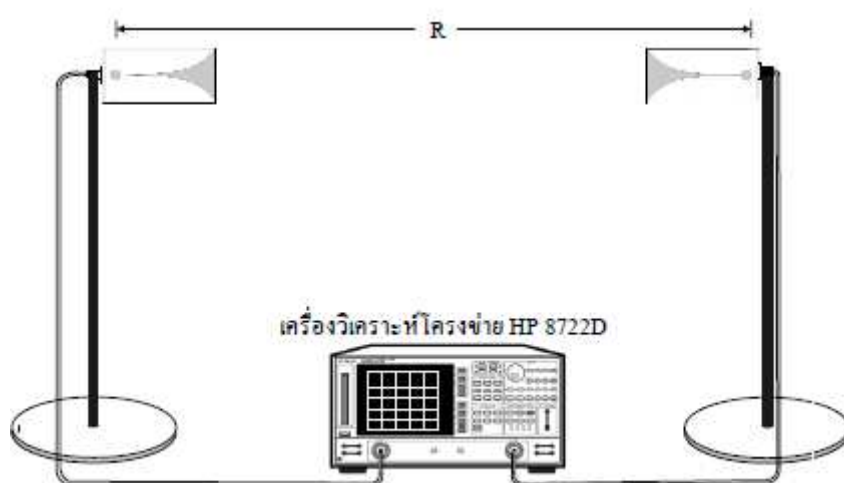


รูปที่ 5.2 ผลการวัดค่า S_{11}

5.4 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

จากรูปที่ 5.3 แสดงวิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยทำการทดสอบในระยะสนามระยะไกล คือ $R \geq 2D^2/\lambda$ ซึ่ง R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศทดสอบและสายอากาศอ้างอิงโดยการทดสอบนี้ได้กำหนดให้ระยะทางมีค่าคงที่ที่ความถี่สูงสุดมีค่าเท่ากับ 18.5 เซนติเมตร และ D คือขนาดความกว้างของร่องเรียวยของสายอากาศซึ่งมีค่าเท่ากับ 42.82 เซนติเมตร ซึ่งในที่นี้ได้ใช้สายอากาศร่องแบบเรียว โดยมีความถี่ปฏิบัติการอยู่ที่ 4.16 GHz ถึง 5.5 GHz หนึ่งอิลิเมนต์มาเป็นสายอากาศอ้างอิงทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่ง และสายอากาศต้นแบบที่นำมาทดสอบทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาครับ ซึ่งจะมีการหมุนรอบแนวแกนหมุนเพื่อรับคลื่นจากมุม 0 องศาจนถึงมุม 360 องศา จะทำให้สายอากาศมี

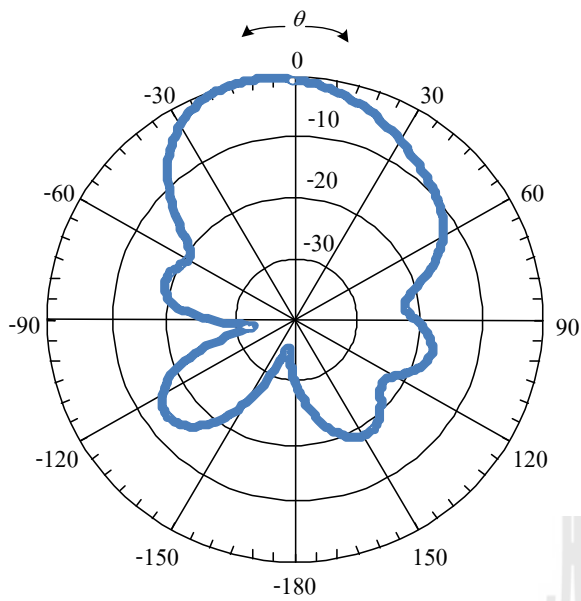
แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กที่กว้าง ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ รูปที่ 5.5 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศต้นแบบ ซึ่งผลจากการวัดทดสอบมีความสอดคล้องกันกับผลการจำลองแบบทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก



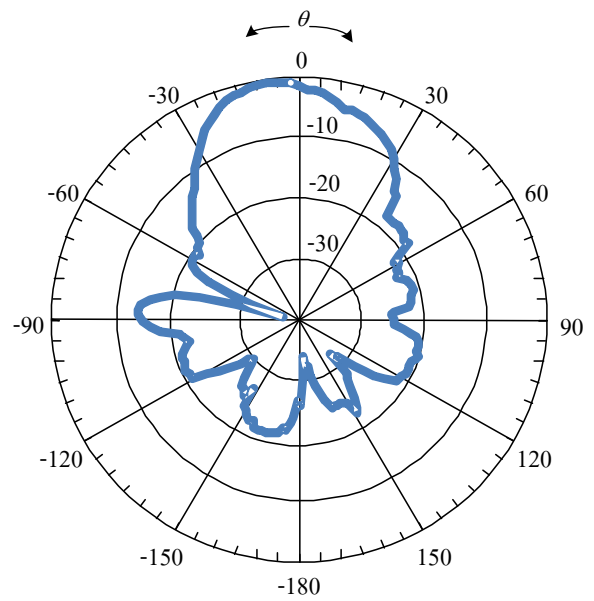
รูปที่ 5.3 วิธีการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน



รูป 5.4 การทดสอบสายอากาศในห้อง Chamber ร่วมกับเครื่อง Network Analysis

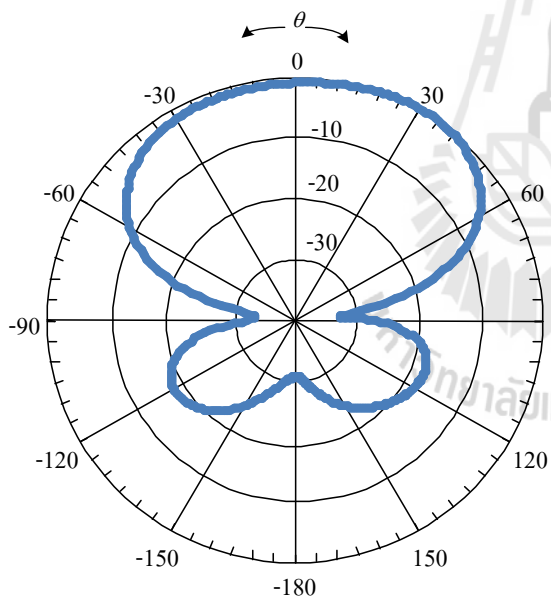


ผลการจำลองแบบ

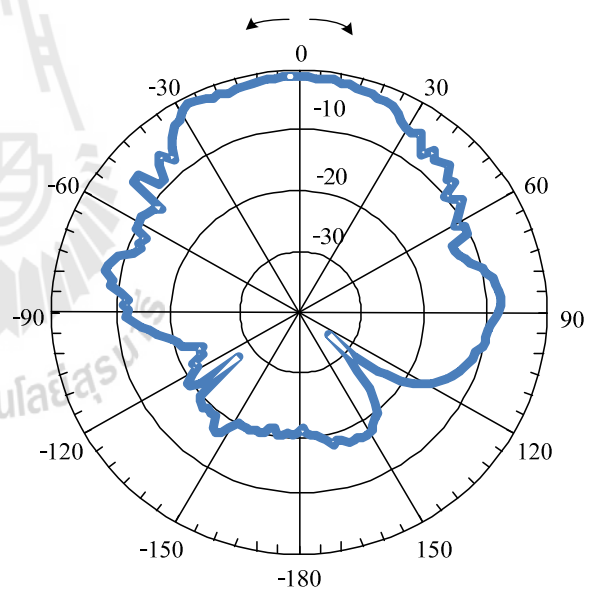


ผลวัดทดสอบ

(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



ผลการจำลองแบบ



ผลวัดทดสอบ

(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูป 5.5 ผลวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน

5.5 ผลการวัดทดสอบอัตราขยาย (Gain) และความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW)

สำหรับการวัดอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ ในขั้นตอนแรกได้ทำการวัดอัตราขยายของสายอากาศรูปแบบเรียบ เพื่อหาอัตราขยายของสายอากาศเพียงอีลิเมนต์เดียว แสดงดังรูปที่ 5.4 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สายอากาศสองตัว (two-antenna method) ที่มีลักษณะเหมือนกันสำหรับการวัดทดสอบ โดยตัวหนึ่งใช้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งและอีกตัวหนึ่งที่เหลือจะเป็นสายอากาศภาครับ จากนั้นใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission equation) เป็นพื้นฐานในการคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศหนึ่งอีลิเมนต์ โดยสมการการส่งผ่านของฟรีสที่นำมาใช้ คือ

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

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

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

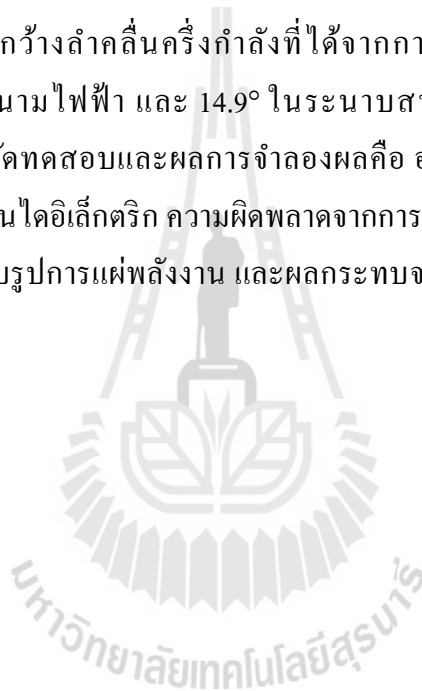
ตารางที่ 5.1 คุณลักษณะของสายอากาศป้อน

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 เนื่องจากการสูญเสียในไดอิเล็กตริก

5.6 สรุป

ในบทนี้แสดงการออกแบบ การสร้าง และการวัดทดสอบสายอากาศ ทั้งนี้เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองแบบและการวัดทดสอบว่ามีความสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศที่พิจารณา ได้แก่ แบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยายสูงสุด และความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศป้อนของสายอากาศแฉวลำดับสะท้อน พบว่าผลที่ได้จากการวัดทดสอบและการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST มีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ผลการวัดทดสอบอัตราขยายสูงสุด 5.3 dB ดังในตารางที่ 5.1 นั่นคืออัตราขยายสูงสุดจากการวัดมีค่าต่ำกว่าการจำลองผลประมาณ 1 dB สำหรับผลการวัดความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ 48° และ 100° ตามลำดับ ผลจากการจำลองผลด้วย CST มีค่าเท่ากับ 63.8° และ 114.9° ตามลำดับ โดยความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ได้จากการวัดมีค่าน้อยกว่าการจำลองผลประมาณ 15.8° ในระนาบสนามไฟฟ้า และ 14.9° ในระนาบสนามแม่เหล็ก ซึ่งสาเหตุของการคลาดเคลื่อนระหว่างผลการวัดทดสอบและผลการจำลองผลคือ อาจเกิดจากความสูญเสียในระบบสายอากาศ เช่น ความสูญเสียในไดอิเล็กตริก ความผิดพลาดจากการจัดวางสายอากาศป้อนจะทำให้เกิดการเลื่อนเชิงตำแหน่งของแบบรูปการแผ่พลังงาน และผลกระทบจากสภาพแวดล้อมขณะวัดทดสอบสายอากาศ เป็นต้น



บทที่ 6

บทสรุป

บทนี้จะกล่าวถึงสรุปผลการออกแบบและผลการวัดทดสอบตัวป้อนของสายอากาศแกลวลำดับสะท้อน และแสดงข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป

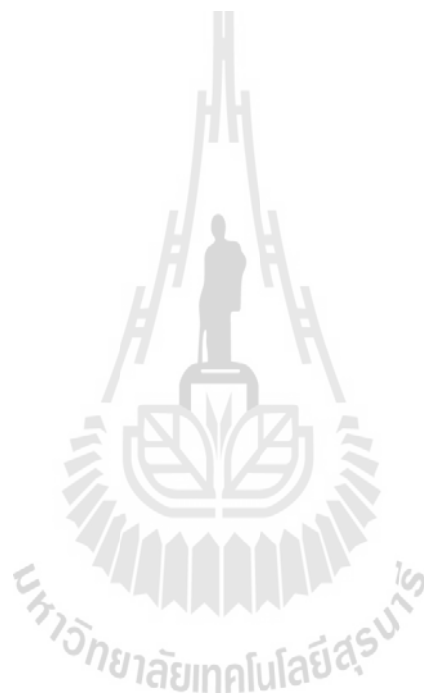
6.1. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ได้ดำเนินการศึกษาวิธีการออกแบบตัวป้อนของสายอากาศแกลวลำดับสะท้อน โดยศึกษาจากผลกระทบของกำลังโคไซน์ที่มีต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกจากสายอากาศแกลวลำดับสะท้อน ทั้งผลของประสิทธิภาพอะเพอร์เจอร์ การสูญเสียจากการสั้น การสูญเสียเนื่องจากความเร็วของแบบรูปการแผ่พลังงานของตัวป้อน การสูญเสียจากการบดบังคลื่น และอัตราขยาย ทำให้สามารถทราบคุณลักษณะของตัวป้อนที่เหมาะสมของสายอากาศแกลวลำดับสะท้อน คือ ตัวป้อนควรมีกำลังโคไซน์ต่ำหรือมีค่าคลื่นกว้างนั่นเองซึ่งส่งผลให้สายอากาศแกลวลำดับสะท้อนมีอัตราขยายสูง

ในการคำนวณและวิเคราะห์หาคุณลักษณะของตัวป้อนโดยใช้สายอากาศร่องแบบรีเวจ จะเริ่มจากสมการ (3.11) จากนั้นจึงวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อความถี่เรโซแนนซ์ที่ 5.2 GHZ และเพิ่มแผ่นสะท้อนด้านหน้าเพื่อแบ่งกำลังงาน ทำให้คลื่นตกกระทบบนผิวตัวสะท้อนทุกจุดมีค่าใกล้เคียงกัน ผลการออกแบบพบว่าตัวป้อนมีกำลังโคไซน์เท่ากับ 1.4 และ 0.6 ในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตามลำดับ ส่งผลให้สายอากาศแกลวลำดับสะท้อนมีอัตราขยายเท่ากับ 26.46 dB รายละเอียดของการจำลองผล รวมทั้งผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้โดยละเอียดในบทที่ 4 จากนั้นได้สร้างสายอากาศต้นแบบ ในการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวป้อนต้นแบบได้พิจารณา ระยะห่างระหว่างสายอากาศป้อนกับตัวสะท้อนเท่ากับ 14 เซนติเมตร พบว่า แบบรูปการแผ่พลังงานมีความสอดคล้องกันทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก โดยผลของการวัดทดสอบและการจำลองผลด้วย CST สามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 5.1 ซึ่งสาเหตุของการคลาดเคลื่อนระหว่างผลการวัดทดสอบและผลการจำลองผล คือ อาจเกิดจากความสูญเสียในระบบสายอากาศ เช่น ความสูญเสียในสายส่ง ความผิดพลาดจากการจัดวางตำแหน่งตัวสะท้อนและสายอากาศป้อนจะทำให้เกิดการเลื่อนเชิงตำแหน่งของแบบรูปการแผ่พลังงาน และผลกระทบจากสภาพแวดล้อมขณะวัดทดสอบสายอากาศ เป็นต้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการจำลองแบบและการวัดทดสอบสายอากาศ พบว่า แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวป้อนมีพูด้านหลัง เนื่องจากการเพิ่มแผ่นสะท้อนด้านหลัง ทำให้คลื่นกระจายไปบริเวณขอบสายอากาศและเกิดเป็นคลื่นผิว จึงควรมีการลดคลื่นผิวดังกล่าว

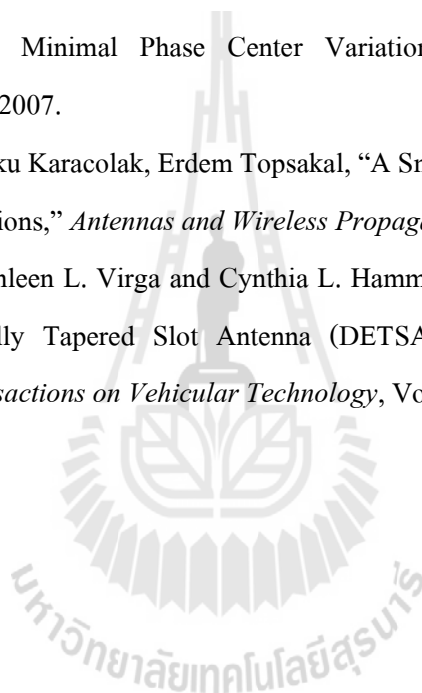


บรรณานุกรม

- [1] Munson, "Microstrip reflectarray for satellite communication and radar cross-section enhancement or reduction, " US Patent 4,684,952.
- [2] J. Huang, "Microstrip reflectarray antenna for SCANSCAT radar application, " JPL publication 90-45, Nov. 15, 1990.
- [3] D.M. Pozar and T.A. Metzler, "Analysis of a reflectarray antenna using microstrip patches of variable size," IEE Electron. Lett., Vol. 29, No.8, 1993, pp. 657-658.
- [4] S.D. Targonski and D.M. Pozar, "Analysis and design of a microstrip reflectarray using patches of variable size," IEEE AP-S/URSI Symp. Dig., Seattle, WA, 1994, pp 1820-1823.
- [5] D.M. Pozar, S.D. Targonski, and H.D. Syrigos "Design of millimeter wave microstrip reflectarray," IEEE Tran. On Antenna and Propagation, Vol.45, No.2, 1997, pp. 287-296.
- [6] D.C. Chang and M.C. Huang, "Microstrip reflectarray antenna with offset feed," IEE Electron. Lett., Vol. 29, No.16, 1992, pp. 1489-1491.
- [7] D.C. Chang and M.C. Huang, "Multiple-polarization microstrip reflectarray antenna with high efficiency and low cross-polarization," IEEE Tran. On Antenna and Propagation, Vol.43, No.8, 1995, pp. 829-834.
- [8] J. Huang and R.J. Pogorzelski, "A Ka-band microstrip reflectarray with elements having variable rotation angles," IEEE Tran. On Antenna and Propagation, Vol.46, No.5, 1998, pp. 650-656.
- [9] D.C.Chang and M.C.Huang, "Multiple-polarization microstrip reflectarray antenna with high efficiency and low cross-polarization," IEEE Tran. On Antenna and Propagation, Vol.43, No.8, 1995, pp. 829-834.
- [10] R.D. Javor, X.D. Wu, and K. Chang, "Design ang performance of a microstrip reflectarray antenna," IEEE Tran. On Antenna and Propagation, Vol.43, No.9, 1995, pp. 932-939.
- [11] T.N.Chang and Y.C.Wei, "Proximity-coupled microstrip reflectarray," IEEE Tran. On Antenna and Propagation, Vol.52, No.2, 2004, pp. 631-635.
- [12] T.N.Chang and H.Suchen, "Microstrip reflectarray with QUAD-EMC element," IEEE Tran. On Antenna and Propagation, Vol.53, No.6, 2005, pp. 1993-1997.

- [13] C. Han, C. Rodenbeck, J. Huang, and K. Chang, "A C/Ka dual frequency dual layer circularly polarized reflectarray antenna with microstrip ring elements," *IEEE Tran. On Antenna and Propagation*, Vol.52, No.11, 2004, pp. 2871-2876.
- [14] C. Han, J. Huang, and K. Chang, "A high offset-fed X/Ka-dual band reflectarray using thin membranes," *IEEE Tran. On Antenna and Propagation*, Vol.53, No.9, 2005, pp. 2792-2798.
- [15] D.M. Pozar, S.D. Targonski, and R. Pokuls, "A shaped-beam microstrip patch reflectarray," *IEEE Tran. On Antenna and Propagation*, Vol.47, No.7, 1999, pp. 1167-1173.
- [16] J.A. Encinar and J.A. Zornoza, "Three-layer printed reflectarray for contoured beam space application," *IEEE Tran. On Antenna and Propagation*, Vol.52, No.5, 2004, pp. 1138-1148.
- [17] J.A. Encinar, "Design of two-layer printed reflectarray using patches of variable size," *IEEE Tran. On Antenna and Propagation*, Vol.49, No.10, 2001, pp. 1403-1410.
- [18] D. Pilz and W. Menzel, "Folded reflectarray antenna," *IEE Electron. Lett.*, Vol. 34, No.9, 1998, pp. 832-833.
- [19] P. Krachodnok and R. Wongsan. "Design of Broad-Beam Microstrip Reflectarray," *WSEAS Transactions on Communication*. Issue 3, Vol. 7, March 2008, pp 180-187.
- [20] I-Fong Chen, Chia-Mei Peng, Sheng-Chieh Liang, "Single Layer Printed Monopole Antenna for Dual ISM-Band Operation," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 53(2): 1270-1273, 2005.
- [21] Taguchi, M., Egashira, S., Tanaka, K., "Sleeve Antenna with Ground Wires," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 39(1): 1-7, 1991.
- [22] James, J.D., and Hall, P.S. *Handbook of Microstrip Antenna*, Vol.1. London, 1989.
- [23] Raviprakash Rajaraman, "Design of A Wideband Vivaldi Antenna Array for the Snow Radar," *Technical Report CReSIS*, 2001.
- [24] 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.
- [25] Kai Fong Lee and Wei Chen, "Advance in Microstrip and Printed Antennas," *A Wiley-Interscience Publication*, John Wiley and Sons, INC., 1997.
- [26] P. J. Gibson, "The Vivaldi Aerial," *Proc. 9th European, Microwave Conference*, pp. 101-105, 1979.

- [27] Sreenivas Kasturi and Daniel H. Schaubert, "Effect of Dielectric Permittivity on Infinite Arrays of Single-Polarized Vivaldi Antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2006.
- [28] E. De Lera, E. Garcia, E. Rajo, D. Segovia, "A coplanar Vivaldi antenna with wide band balun proposal for the low frequency band of the SKA: approach to the FPA solution," *IEEE MELECON*, 2006.
- [29] Sang-Gyu Kim and Kai Chang, "Ultra Wideband 8 to 40 GHz Beam Scanning Phased Array using Antipodal Exponentially -Tapered Slot Antennas," *IEEE MTT-S Digest*, 2004.
- [30] Adel Elsherbini, Cemin Zhang, Song Lin, Michael Kuhn, Aladin Kamel, Aly E. Fathy and Hadia Elhennawy, "UWB Antipodal Vivaldi Antennas with Protruded Dielectric Rods for Higher Gain, Symmetric Patterns and Minimal Phase Center Variations," *Antennas and Propagation International Symposium*, 2007.
- [31] Aaron Zachary Hood, Tutku Karacolak, Erdem Topsakal, "A Small Antipodal Vivaldi Antenna for Ultra Wide Band Applications," *Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2007.
- [32] Marc C. Greenberg, Kathleen L. Virga and Cynthia L. Hammond, "Performance Characteristics of the Dual Exponentially Tapered Slot Antenna (DE TSA) for Wireless Communications Applications," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 52, No. 2, 2003.



ประวัติผู้เขียน

ปิยาภรณ์ กระจอดนอก เกิดเมื่อ 9 กันยายน 2517 สำเร็จการศึกษาวិชากรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี 2540 และต่อมาได้ศึกษาระดับปริญญาโทต่อด้วยทุนส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษเป็นอาจารย์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยสำเร็จการศึกษาวิชากรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า(ไฟฟ้าสื่อสาร) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเมื่อปี 2550 ได้สำเร็จการศึกษาวิชากรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี งานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ เทคโนโลยีสายอากาศ

