

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการออกแบบสายอากาศที่ทำงานได้สองความถี่โดยใช้สายอากาศเพียงตัวเดียว (dual frequency operation) สำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ระบบการสื่อสารแบบเคลื่อนที่ เป็นต้น ซึ่งต้องการการรับส่งสัญญาณแบบสองความถี่หรือมากกว่าสองความถี่ และเมื่อนำสายอากาศที่ทำงานได้สองความถี่โดยใช้สายอากาศเพียงตัวเดียวเปรียบเทียบกับสายอากาศที่ทำงานความถี่เดียวแต่มีความกว้างแถบครอบคลุมตลอดทั้งสองแถบความถี่ พบว่าสายอากาศที่ทำงานได้สองความถี่โดยใช้สายอากาศเพียงตัวเดียวมีข้อดี คือ สามารถกำหนดเฉพาะความถี่รีโซแนนซ์ที่ต้องการนำไปใช้ในงานลักษณะสองความถี่ได้โดยตรงกับความถี่รีโซแนนซ์ที่ต้องการ ทำให้ประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้สายอากาศที่ทำงานในลักษณะความถี่กว้างแถบที่กว้าง

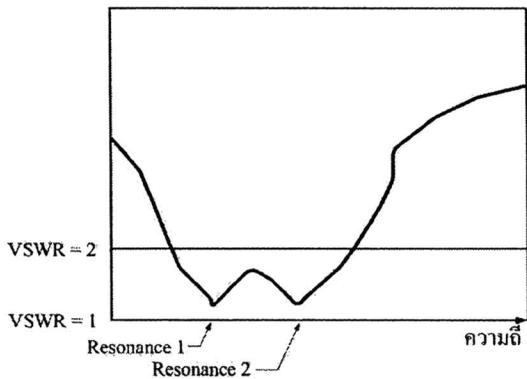
3.1 สายอากาศไมโครสตริปสองความถี่

สำหรับการออกแบบให้สายอากาศหนึ่งตัวไปเป็นสายอากาศสองความถี่ เริ่มต้นจากการออกแบบให้สายอากาศทำงานที่ความถี่เพียงความถี่เดียว แต่ให้มีแถบความถี่ที่กว้าง เพื่อเป็นการเตรียมสองความถี่ไว้ให้มีการเชื่อมต่อกัน (couple) ทำให้ได้สายอากาศแถบกว้าง (wide band operation) จากรูปที่ 3.1 แสดงสายอากาศไมโครสตริปที่ถูกออกแบบให้มีการทำงานในลักษณะสองความถี่โดยตรง และการทำงานแบบแถบกว้างเมื่อความถี่รีโซแนนซ์สองความถี่เชื่อมต่อกัน

การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปเพื่อทำให้เกิดการทำงานในลักษณะสองความถี่ มีด้วยกันหลายเทคนิควิธี ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึง 3 เทคนิค ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ (1) เทคนิคการกำหนดให้สายอากาศทำงานในโหมดตั้งฉากบน โครงสร้างของสายอากาศแพทช์ที่มีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Antar, Ittipiboon, and Bhattachatyya, 1995) หรือบนแพทช์รูปวงกลม (Murakami, Chujo, Chiba, and Frujise, 1993) (2) เทคนิคการวางสายอากาศหลายชั้น (multi-patch) คือ สามารถใช้สายอากาศรูปร่างวงกลม สี่เหลี่ยมผืนผ้า และสามเหลี่ยม (Long, Walton, 1979) หรือวงแหวน (Dahale, Lee, and Wong, 1987) โดยรูปแบบการวางเป็นชั้น ๆ ได้มีการนำไปใช้กับสายอากาศเพื่อต้องการเพิ่มความถี่กว้างแถบให้กว้างขึ้น ที่การทำงานความถี่เดียวโดยมีการป้อนกำลังงานที่แพทช์หลักตำแหน่งเดียวเท่านั้น และให้มีการเชื่อมต่อไปยังแพทช์ที่อยู่ด้านบน (Wang, Fralich, Wu, and Litva, 1990) จากนั้นมีการทดลองนำวัสดุฐานรองชนิดเดียวกันมาวางซ้อนกันหลายชั้น (Crog, and Pozar, 1992) และ (3) เทคนิคการใช้โหนด เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากมีหลายรูปแบบ เช่น การเพิ่มตัวปรับสายท่อนสั้น (Richards, Davidson, and Long, 1985) การบาก

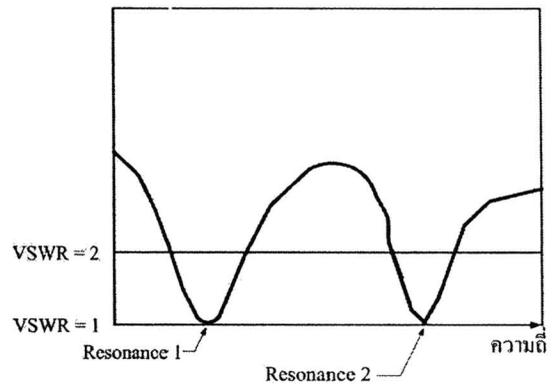
(Sanchez-Hernandez, and Robertson, 1995) การลัดวงจร (Schaubert, Ferrar, Sindoris, and Hayes, 1981) ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Waterhouse, and Shuley, 1992) และการใช้โหลดแบบร็อง (Maci, Gentili, and Avitabile, 1993) (Yazidi, Himdi, and Daniel, 1993) และ (Maci, Biffi Gentili, Piazzesi, and Salvador, 1995) แพทช์รูปร่างกลม (Murakami, Chujo, Chiba, and Frujise, 1993)

การทำงานแบบแถบกว้างเมื่อความถี่รีโซแนนซ์
สองความถี่เชื่อมต่อกันเป็นแถบเดียว



(ก) ค่า VSWR ของการเกิดความกว้างแถบกว้าง

ลักษณะการทำงานสองความถี่

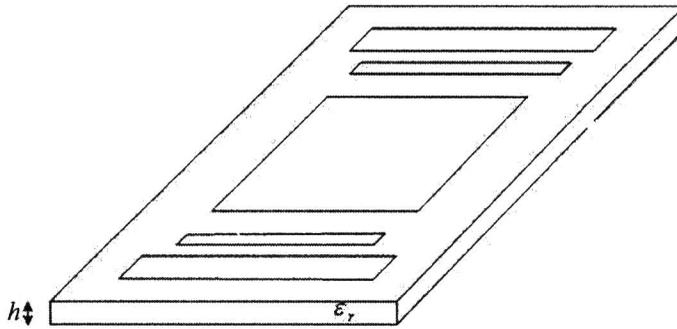


(ข) ค่า VSWR ของการเกิดความกว้างแถบสองความถี่

รูปที่ 3.1 ค่า VSWR ของการเกิดความกว้างแถบกว้างและความถี่สองความถี่

สายอากาศไมโครสตริปได้รับความนิยม เพราะมีน้ำหนักเบา ราคาถูก แต่มีข้อเสียในเรื่องความถี่แถบที่แคบ ดังนั้นเมื่อออกแบบให้สายอากาศมีการทำงานแบบสองความถี่ได้แล้ว แต่ความถี่แถบไม่เพียงพอสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน จึงได้มีงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคใหม่ๆ ขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องการเพิ่มความถี่แถบหลายเทคนิค และมีเทคนิคหนึ่งที่ทำให้ความถี่แถบของสายอากาศไมโครสตริปเพิ่มขึ้นจากเดิม 10-20% คือ เทคนิคการเพิ่มองค์ประกอบปรสิต (parasitic element) ในชั้นเดียวกัน (Aanandan, 1986) ในโครงสร้างระนาบร่วม (coplanar geometry) จากรูปที่ 3.2 แสดงองค์ประกอบปรสิตไดโพลที่มีความยาวแตกต่างกันถูกนำมาวางด้านหน้าและด้านหลังของสายอากาศแพทช์หลักที่ทำหน้าที่แผ่พลังงาน ซึ่งองค์ประกอบปรสิตนี้จะถูกระตุ้นโดยการเชื่อมต่อกับแพทช์หลัก และเนื่องจากตำแหน่งองค์ประกอบปรสิตถูกนำมาวางในลักษณะสมมาตรทั้งสองด้าน โดยมีแพทช์หลักวางอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของสายอากาศ ดังนั้นการแผ่กำลังงานสูงสุดจะตั้งฉากกับระนาบของสายอากาศและระนาบที่เกิดโพลาไรซ์ตรงข้ามซึ่งมีค่าต่ำ (Zurcher, and Gardiol,

1995) จากการที่องค์ประกอบปรสิตและแพทช์หลักมีความถี่โซแนนซ์ที่ความถี่ต่าง ๆ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมากจึงสามารถที่จะรวมเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มความกว้างแถบของสายอากาศ แต่เทคนิคนี้มีข้อเสีย คือ สายอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นราคาของสายอากาศจึงแพงขึ้น และการสร้างสายอากาศทำได้ยากขึ้น

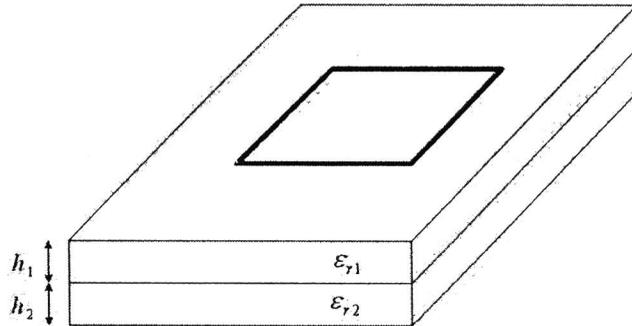


รูปที่ 3.2 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปแบบระนาบร่วม

สำหรับเทคนิคอื่น ๆ ที่เป็นการเพิ่มความกว้างแถบของสายอากาศไมโครสตริป คือ การใช้สายอากาศสองตัวหรือมากกว่า ให้มีการเชื่อมต่อระหว่างสายอากาศที่นำมาวางซ้อนกันเป็นชั้น (stack) (Lee, and Bobinchak, 1987) แสดงดังรูป 3.3 โดยโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการวางซ้อนเป็นชั้น ๆ สามารถเลือกขนาดของสายอากาศแต่ละชั้นให้มีขนาดแตกต่างกันได้ เพื่อเพิ่มความกว้างแถบหรือเพื่อให้ได้การทำงานของสายอากาศแบบแถบคู่ (Zurcher, and Gardiol, 1995) จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าแพทช์ที่อยู่ต่ำกว่าจะถูกป้อนกำลังงานโดยตรง ส่วนแพทช์ที่อยู่ด้านบนจะเป็นการเชื่อมต่อความกว้างแถบของสายอากาศ ซึ่งสามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อความสูงของสายอากาศเพิ่มขึ้น สำหรับสายอากาศที่ใช้เทคนิคแบบนี้มีข้อเสีย คือ ความสูงของสายอากาศเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นเมื่อพิจารณาวิธีการเพิ่มความกว้างแถบแล้วเทคนิคนี้น่าสนใจเพราะยังคงอยู่ในแนวความคิดแบบชั้นเดียวแพทช์เดียว (single-layer single-patch)

เทคนิคการป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศไมโครสตริปเพื่อทำให้เกิดโพลาไรซ์แบบวงกลมบนโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปมี 2 เทคนิคได้แก่ (1) การป้อนกำลังงานแบบแหล่งจ่ายคู่ (dual feed) เป็นการป้อนกำลังงานให้กับตัวสายอากาศไมโคร สตริปโดยใช้ตัวป้อนกำลังงานสองตัวขึ้นไป โดยกำหนดให้แหล่งจ่ายหรือตัวป้อนกำลังงานทั้งสองตั้งฉากกัน และแหล่งจ่ายทั้งสองมีขนาดแรงดันเท่ากัน แต่เฟสต่างกัน 90 องศา เช่นแหล่งจ่ายแรกมีขนาดเท่ากับ $1\angle 0^\circ$ ดังนั้นแหล่งจ่ายตัวที่สองจะต้องมีขนาดแรงดันเท่ากับ $1\angle 90^\circ$ เพื่อกำหนดโพลาไรซ์แบบ LHCP (Left Hand

Circularly Polarization) หรือ RHCP (Right Hand Circularly Polarization) ซึ่งต้องออกแบบแหล่งจ่ายผ่านตัวแบ่งกำลังไฟฟ้า (power divider) ก่อนจ่ายให้กับสายอากาศไมโครสตริป และ (2) การป้อนกำลังงานเดี่ยว (single feed) สามารถแทนการป้อนกำลังงานแบบคู่ด้วยการป้อนกำลังงานแหล่งจ่ายเดี่ยวได้ โดยการป้อนกำลังงานในแนวเส้นทแยงมุมของแพทช์

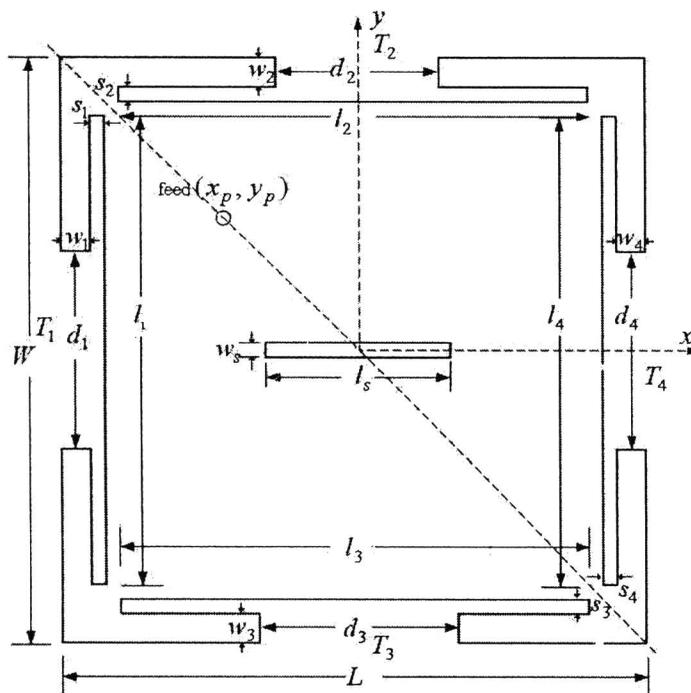


รูปที่ 3.3 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปกับเทคนิคการวางซ้อน

สำหรับการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปทำงานสองความถี่ในงานวิจัยนี้ได้เริ่มต้นพิจารณาจากสายอากาศไมโครสตริปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กำหนดให้มีขนาดความกว้างและความยาวตามขนาดของความถี่ด้านต่ำกว่า สายอากาศไมโครสตริปสองความถี่นี้ได้ออกแบบความถี่รีโซแนนซ์ให้ตรงกับการนำไปใช้ในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b/g (Wi-Fi) ที่ความถี่ 2.45 GHz และความถี่ด้านสูงกว่ามีความถี่รีโซแนนซ์ให้ตรงกับความถี่การนำไปใช้ในระบบสื่อสารแบบไร้สาย และมีแถบตามมาตรฐาน IEEE 802.11a ที่ความถี่ 5.25 GHz และ 5.8 GHz จึงกำหนดความถี่ใช้งานคือ 2.45 GHz และ 5.8 GHz ดังนั้นการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสองความถี่ต้องมีแถบความกว้างครอบคลุมดังนี้ แถบที่ 1 มีแถบความกว้างแถบตั้งแต่ความถี่ 2.40 GHz ถึงความถี่ 2.4835 GHz หรือ 3.40 % และแถบที่ 2 มีแถบความกว้างแถบตั้งแต่ความถี่ 5.725 GHz ถึงความถี่ 5.875 GHz หรือ 2.58 %

3.2 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปสองความถี่แบบโพลาริซเซชันวงกลม

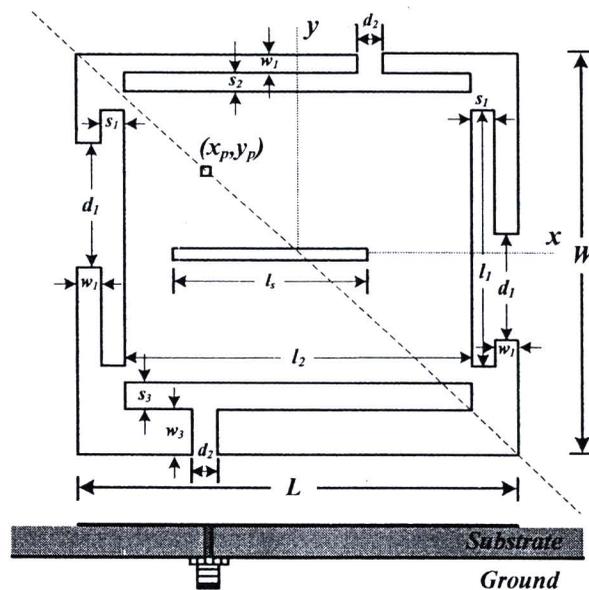
สายอากาศไมโครสตริปที่ทำงานสองความถี่และมีโพลาริซเซชันในลักษณะเชิงวงกลมที่มีการป้อนกำลังงานแบบแหล่งจ่ายเดี่ยวนั้นได้มีการนำเสนอโดย (Yang, and Wong, 2001) ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงการทำงานสองความถี่ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการป้อนกำลังงานแบบแหล่งจ่ายเดี่ยวด้วยโพรบตามแนวเส้นทแยงมุมเพื่อให้เกิดโพลาริซเซชันเชิงวงกลม เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้ คือ โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปมีรูปร่างสี่เหลี่ยมชั้นเดียว (single layer) แสดงดังรูปที่ 3.4 มีความกว้าง W และความยาว L ตามความถี่รีโซแนนซ์ด้านต่ำกว่า วางบนวัสดุฐานรองที่มีความสูง h มีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (relative permittivity) ϵ_r และมีการเพิ่มโหลดแบบร่องรูปตัวที (T) ที่ขอบทั้ง 4 ด้านของแพทช์ ส่วนของลักษณะรูปร่างโหลดแบบร่องรูปตัวทีที่ T_1, T_2, T_3 และ T_4 นั้นมีพารามิเตอร์ดังนี้ d, w, s และ l จะกำหนดขนาดของ $l \gg s$ เมื่อพิจารณาต่อไปพบว่ารูปร่างโหลดแบบร่องรูปตัวทีที่ T_1, T_2, T_3 และ T_4 นั้นมีผลกระทบต่อ การปรับละเอียด (fine-adjusting) เพื่อรับกวนโหมด TM_{30}



รูปที่ 3.4 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปสองความถี่แบบโพลาริซเซชันวงกลม

เนื่องจากการใส่โหลดแบบร่องรูปตัวทีนั้น นอกจากจะทำให้แพทช์ถูกกระตุ้น
เส้นทางการเดินของกระแสเชิงผิว (current distribution) ของโหมด TM_{10} แล้วยังทำให้เกิดโหมด TM_{30}
ซึ่งในโหมด TM_{30} นี้มีแบบรูปการแผ่พลังงานเกิดขึ้นคล้ายกับโหมด TM_{10} (Maci และคณะ, 1995)
และการเพิ่มร่องกลางที่มีขนาดแคบ ๆ ขนาด $l_s \times w_s$ ($l_s \gg w_s$) ในตำแหน่งกลางของแพทช์สี่เหลี่ยม
ตามแนวเส้นกึ่งกลางของแกน x ทำให้ถูกรบกวนทั้งสองโหมดและสามารถแยกทั้งสองโหมดนี้ให้เป็น
โหมดใกล้จางหาย (near-degenerate mode) เพื่อเกิดการ ทำงานเป็นแบบสองความถี่และป้อนกำลัง
งานแบบโพรบเดียวที่ตำแหน่ง (x_p, y_p) ตามแนวเส้นทแยงมุมของแพทช์ สามารถกระตุ้นทำให้เกิด
การแผ่พลังงานแบบ RHCP และ LHCP ได้

3.3 สายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมมูล



รูปที่ 3.5 สายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมมูล

จากรูปที่ 3.5 แสดงสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิคโหลดแบบไม่สมมูล
(อุษา คงเมือง, 2549) โดยมีค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ คือ ค่าสูญเสียแทนเจนต์ (δ) เท่ากับ 0.02
ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r) ของวัสดุฐานรอง คือ FR4 เท่ากับ 4.4 ความสูงมาตรฐานของวัสดุฐานรอง (h)
เท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร จำนวนสองแผ่นเพื่อเพิ่มความหนาของวัสดุฐานรองเป็น 3.2 มิลลิเมตร ตามที่ได้
ออกแบบไว้ เพื่อให้ได้ความกว้างแถบเพิ่มมากขึ้นเพียงพอสำหรับการนำไปใช้งาน โดยมีขนาดของ
ระนาบกราวด์เท่ากับ 75×75 ตารางมิลลิเมตร ดังนั้น จะได้



$h = 3.2$ มิลลิเมตร ตำแหน่งการป้อน $(x_p, y_p) = (-8.2, 6.275)$ มิลลิเมตร $L = 36.724$ มิลลิเมตร
 $W = 31.231$ มิลลิเมตร $d_1 = 9.067$ มิลลิเมตร $d_2 = 2.014$ มิลลิเมตร $d_3 = 2.015$ มิลลิเมตร
 $d_4 = 8.059$ มิลลิเมตร $w_1 = 2.015$ มิลลิเมตร $w_2 = 1.511$ มิลลิเมตร $w_3 = 3.525$ มิลลิเมตร
 $w_4 = 2.014$ มิลลิเมตร $w_5 = 1.007$ มิลลิเมตร $l_s = 15.830$ มิลลิเมตร $l_1 = 19.948$ มิลลิเมตร
 $l_2 = 28.665$ มิลลิเมตร $l_3 = 28.665$ มิลลิเมตร $l_4 = 19.948$ มิลลิเมตร $s_1 = 2.015$ มิลลิเมตร
 $s_2 = 1.410$ มิลลิเมตร $s_3 = 2.017$ มิลลิเมตร และ $s_4 = 2.015$ มิลลิเมตร

3.4 สรุป

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมพบว่าสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิค โหลดแบบไม่สมดุล มีอัตราขยายที่ค่อนข้างต่ำและมีลักษณะแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่สมมาตรทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำสายอากาศดังกล่าวมาทำการจัดแถวลำดับเพื่อเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศและหาวิธีการปรับปรุงแบบรูปการแผ่พลังงานให้มีความสมมาตรโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IE3D เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศซึ่งโปรแกรม IE3D ที่ใช้ในการจำลองปัญหาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของปัญหา เป็นโปรแกรมที่มีความถูกต้องเที่ยงตรงของการจำลองผลขึ้นอยู่กับขนาดของกริดเซลล์ ถ้าขนาดของกริดเซลล์ยิ่งเล็กลงจะทำให้มีความถูกต้องแม่นยำเพิ่มมากขึ้น แต่ระยะเวลาใช้ในการจำลองผลก็จะเพิ่มตามมากขึ้นด้วยดังที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป

