

การศึกษาวิธีการทำแมตช์อิมพีแดนซ์ให้กับสายอากาศช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก

Study on matching impedance of right-angle slot antenna

นายโกวิทย์ ดังกะพิภพ *

Mr. Kowit Tangkaphiphop

ผศ. นภพินท์ อนันตรศิริชัย **

Asst. Prof. Noppin Anantrasirichai

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาวิธีการปรับปรุงสายอากาศเพื่อให้มีแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ดีขึ้น โดยการเพิ่มส่วนของช่องเปิดที่เรียกว่า พาราซิติคแบบช่องเปิด ให้กับสายอากาศแบบช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก จากการวิเคราะห์พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้มากกว่าเท่าตัว โดยที่คุณสมบัติอื่น ๆ ของสายอากาศยังเหมือนเดิมทุกประการ โดยสามารถสรุปได้ว่าสายอากาศแบบช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉากที่มีพาราซิติคแบบช่องเปิดในตำแหน่งที่เหมาะสมจะมีแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ดีกว่าสายอากาศแบบช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉากที่ไม่มีพาราซิติคแบบช่องเปิด

Abstract

This paper presents study to improve the matching impedance of antenna by adding parasitic slots in right-angle slot antenna. Simulation results are more double efficient improvement and other characteristics of antenna are similar. It is also shown that the right-angle slot antenna with parasitic slots has matching impedance better than the right-angle slot antenna without parasitic slots.

* นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์

1. บทนำ

ปัจจุบันการสื่อสารในย่านความถี่ไมโครเวฟได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟจะอยู่ในย่านความถี่สูงและมีความยาวคลื่นสั้น จึงทำให้สามารถออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้งานให้มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และมีราคาถูก โดยเฉพาะส่วนสำคัญคือสายอากาศ ซึ่งแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ได้หลายชนิด โดยสายอากาศที่ได้รับความนิยมมากชนิดหนึ่งคือสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่างคือ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูก และสร้างได้ง่ายเนื่องจากมีโครงสร้างพื้นฐานคล้ายกับแผ่นวงจรพิมพ์ และยังสามารถปรับปรุงวัสดุฐานรองเป็นชนิดอื่น ๆ เพื่อให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นได้ โดยประสิทธิภาพของสายอากาศจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่าง ๆ หลายอย่าง คุณสมบัติที่น่าสนใจอย่างหนึ่งคือ แมตซ์อิมพีแดนซ์ ซึ่งสายอากาศหากมีค่าแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ดีจะมีการแพร่กระจายกำลังงานสูงสุด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ ค่าความต้านทานด้านอินพุต (Input Impedance)

ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปสามารถแบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น (Microstrip Patch Antenna) สายอากาศไมโครสตริปแบบไดโพล (Microstrip Dipole Antenna) และสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด (Microstrip Slot Antenna) จากสายอากาศทั้ง 3 รูปแบบนี้ สายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด จะเป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากเป็นสายอากาศที่สามารถออกแบบให้มีค่าแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ดีได้ง่าย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก โดยจะพิจารณาเฉพาะแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ โดยในการวิเคราะห์นี้จะใช้วิธีผลต่างสืบเนื่องจำกัดในโดเมนเวลา (Finite-Difference Time-Domain : FDTD) ซึ่งสามารถนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์ให้ได้ผลที่รวดเร็วยิ่งขึ้น

2. แมตซ์อิมพีแดนซ์

สายอากาศที่มีแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่สมบูรณ์จะเกิดขึ้นเมื่อสายส่งสัญญาณแมตซ์กับโหลด ซึ่งจะทำให้กำลังงานทั้งหมดที่ถูกส่งหรือรับโดยสายอากาศ โดยจะมีค่าการสูญเสียที่ย้อนกลับมา (Return Loss) เป็นศูนย์ โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับ (Reflection Coefficient, Γ_L) แสดงได้ดังสมการ

$$\Gamma_L = \frac{Z_{in} - Z_c}{Z_{in} + Z_c} \quad (1)$$

เมื่อ Z_{in} = ค่าความต้านทานด้านอินพุต (Input Impedance)

Z_c = ค่าความต้านทานด้านคุณสมบัติของสายส่งสัญญาณ (Characteristic Impedance)

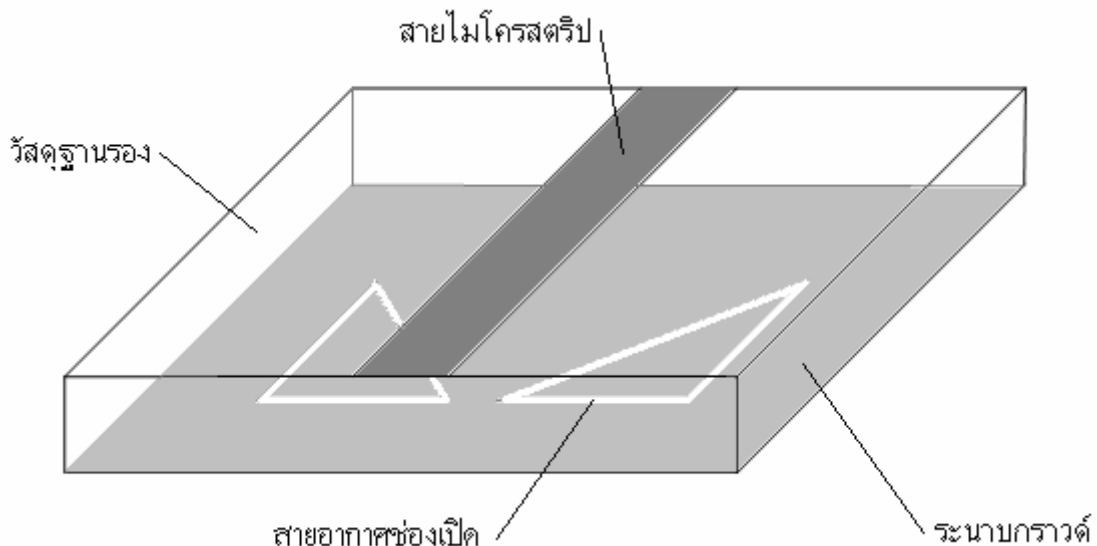
ค่าการสูญเสียสะท้อนกลับจะมีค่าเป็นศูนย์ได้เมื่อค่าความต้านทานด้านอินพุตมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานด้านคุณสมบัติ จากค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับ สามารถที่จะหาอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (Voltage Standing Wave Ratio : VSWR) ได้จากสมการ

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma_L|}{1 - |\Gamma_L|} \quad (2)$$

สายอากาศที่ไม่มีค่าการสูญเสียสะท้อนกลับจะมีค่า VSWR เท่ากับหนึ่ง

3. สายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด

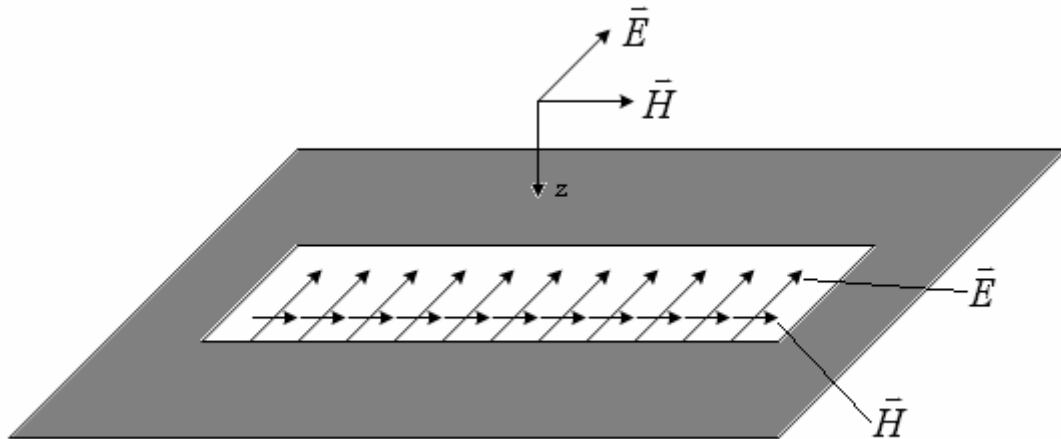
สายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดจะมีส่วนประกอบหลัก ๆ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด

สายไมโครสตริป (Microstrip Line) ที่ใช้งานโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นแถบโลหะแคบ ๆ วางอยู่บนวัสดุรองฐานซึ่งเป็นสารไดอิเล็กตริก และด้านล่างจะเป็นระนาบกราวด์ที่มีสายอากาศช่องเปิดวางอยู่บนระนาบกราวด์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะส่งออกจากสายไมโครสตริปผ่านวัสดุรองฐานที่อยู่ระหว่างกลางไปสู่ระนาบกราวด์ ค่าความต้านทานด้านคุณสมบัติ (Characteristic Impedance) จะขึ้นอยู่กับความกว้างของสายไมโครสตริปและความหนาของวัสดุรองฐาน โดยคุณสมบัติของฐานรองจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์หลายตัว เช่น ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ค่าการสูญเสียที่ผิวสัมผัส การนำความร้อน เป็นต้น

ช่องเปิด (Slot) คือระนาบกราวด์ที่มีการเจาะเป็นช่องเพื่อใช้ในการแผ่กระจายคลื่นในลักษณะต่าง ๆ ตามที่ออกแบบไว้ ถ้ามีคลื่นเคลื่อนที่เข้ามาในทิศทาง z มากกระทบกับระนาบตัวนำที่มีช่องเปิดโดยที่สนามไฟฟ้ามีทิศทางตั้งฉากกับแนวขอบช่องเปิด และสนามแม่เหล็กมีทิศทางเดียวกับแนวขอบของช่องเปิด จะทำให้เกิดทิศทางของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กบริเวณช่องเปิด ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การแผ่กระจายคลื่นจากช่องเปิด

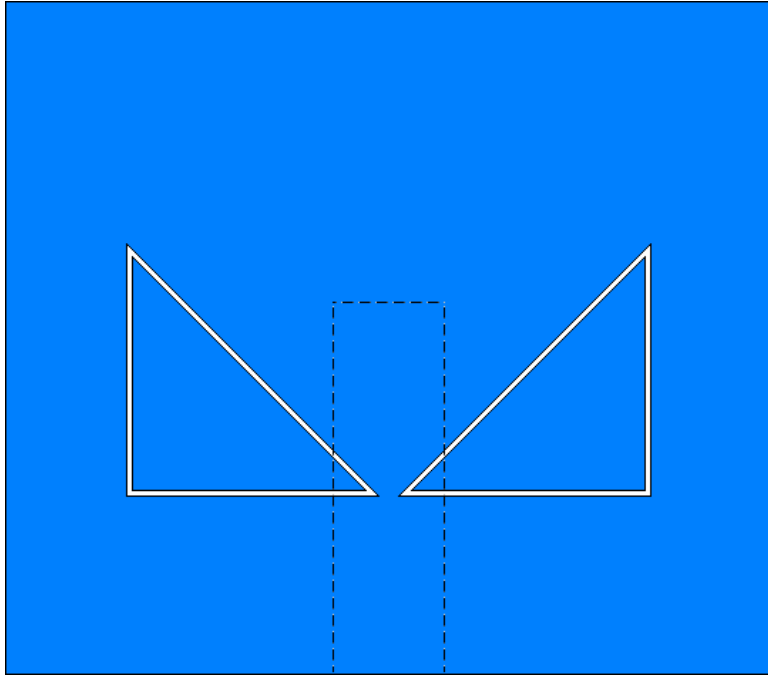
พาราซิติคแบบช่องเปิดจะเป็นช่องเปิดแบบที่ไม่มีการป้อนสัญญาณจากสายไมโครสตริปไปยังพาราซิติคโดยตรง แต่จะใช้ในการปรับแมตซ์อิมพีแดนซ์ให้ได้ค่าที่ดีที่สุด

4. โครงสร้างและการวิเคราะห์ผล

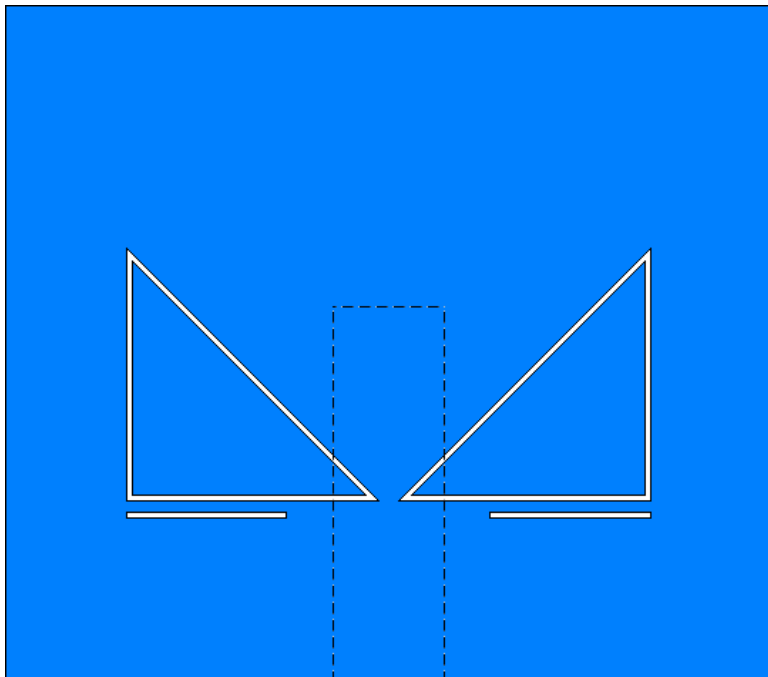
4.1 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด

โครงสร้างของสายอากาศที่จะนำมาทำการวิเคราะห์จะมีลักษณะเป็นช่องเปิดสายอากาศรูปสามเหลี่ยมมุมฉากสองอันหันหน้าเข้าหากันโดยแบบแรกจะมีช่องเปิดสายอากาศเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีพาราซิติค เพื่อใช้เปรียบเทียบเป็นต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 3 แบบที่สองจะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉากสองอันเหมือนกันแบบแรกแต่มีการเพิ่มพาราซิติคแบบช่องเปิดวางขนานกับช่องเปิดสายอากาศด้านล่างดังแสดงในรูปที่ 4 แบบที่สามจะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉากสองอันมีพาราซิติคแบบช่องเปิดวางขนานกับช่องเปิดสายอากาศด้านข้างดังแสดงในรูปที่ 5 และแบบที่สี่จะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉากสองอันมีพาราซิติคแบบช่องเปิดสองคู่วางขนานกับช่องเปิดสายอากาศทั้งด้านล่างและด้านข้างดังแสดงในรูปที่ 6

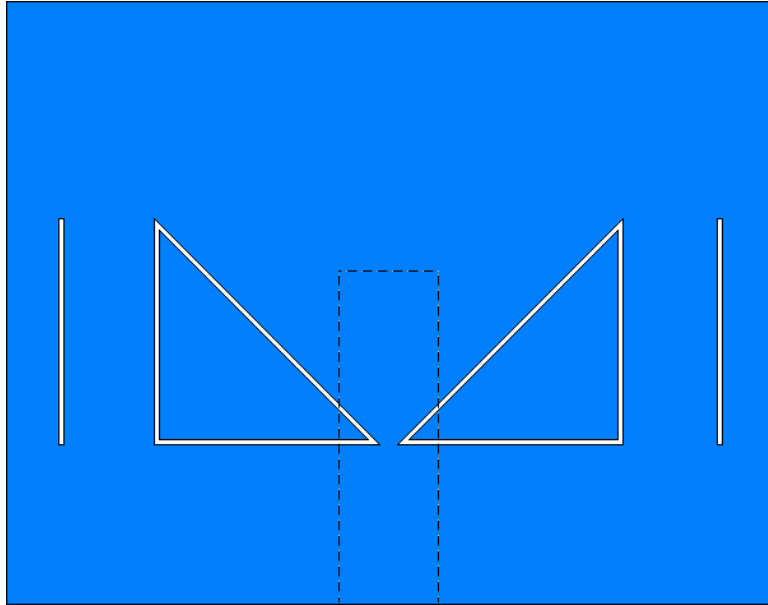
จะเห็นว่าทั้งสี่แบบจะมีลักษณะของช่องเปิดที่เป็นสายอากาศเหมือนกันต่างกันตรงที่มีการเพิ่มพาราซิติคเข้ามาในตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบแมตซ์อิมพีแดนซ์ของแต่ละแบบ



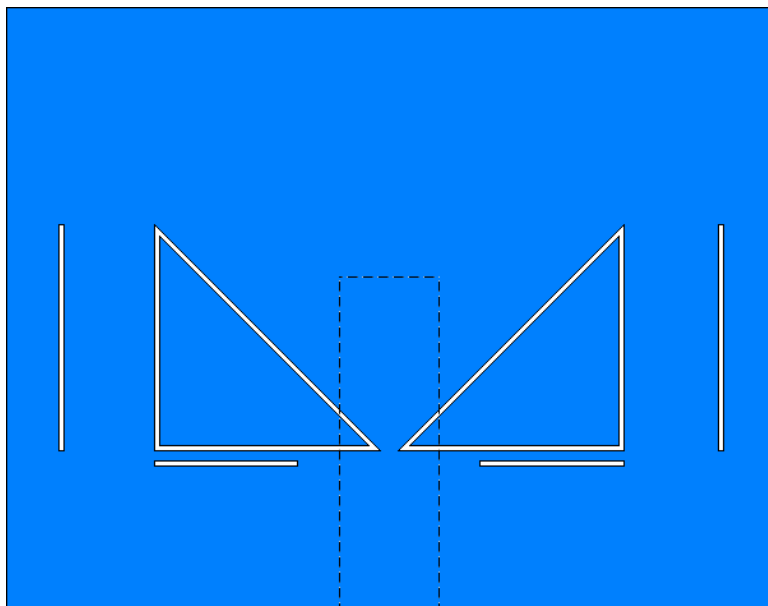
รูปที่ 3 โครงสร้างของสายอากาศที่ไม่มีพาราซิติคแบบช่องเปิด



รูปที่ 4 โครงสร้างของสายอากาศที่มีพาราซิติคแบบช่องเปิดด้านล่าง



รูปที่ 5 โครงสร้างของสายอากาศที่มีพาราซิติคแบบช่องเปิดด้านข้าง

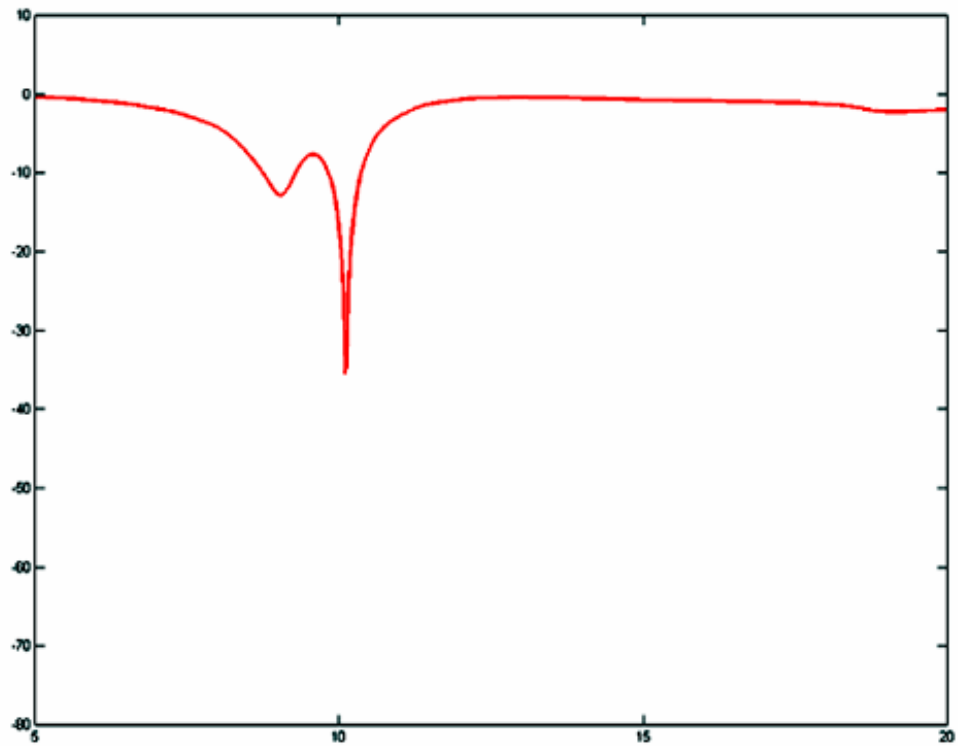


รูปที่ 6 โครงสร้างของสายอากาศที่มีพาราซิติคแบบช่องเปิดทั้งสองด้าน

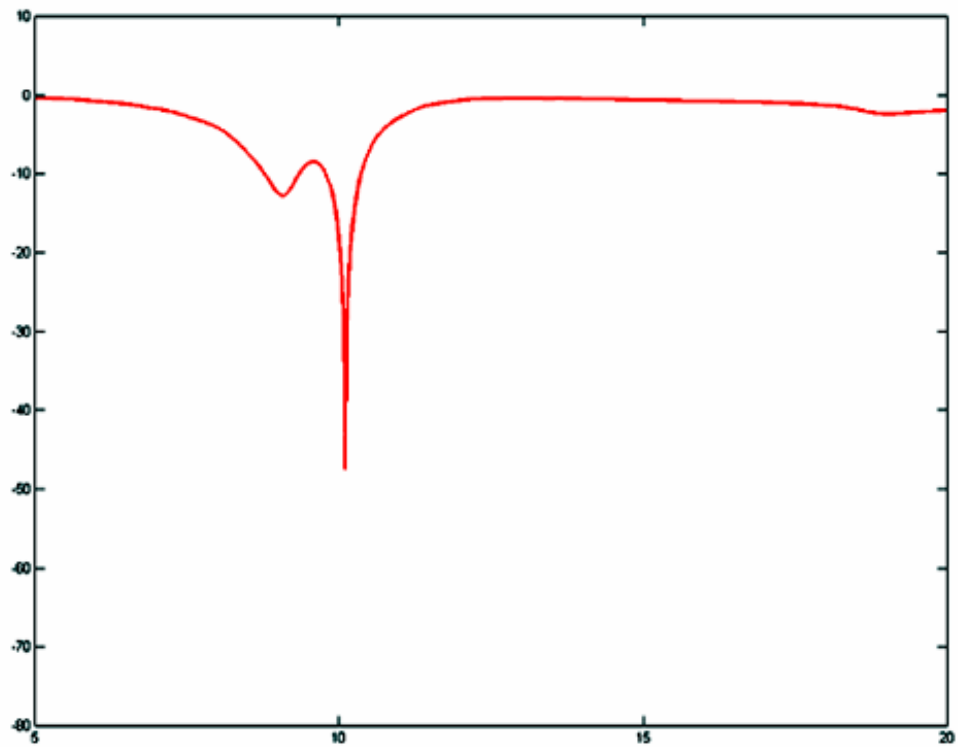
4.2 การวิเคราะห์ผล

ในการวิเคราะห์ในที่นี้จะใช้การจำลองสายอากาศโดยใช้โปรแกรม QFDTD90 ในการวิเคราะห์ โดยโปรแกรมนี้จะใช้หลักการวิเคราะห์แบบวิธีผลต่างสืบเนื่องจำกัดในโดเมนเวลา (Finite-Difference Time-Domain, FDTD)

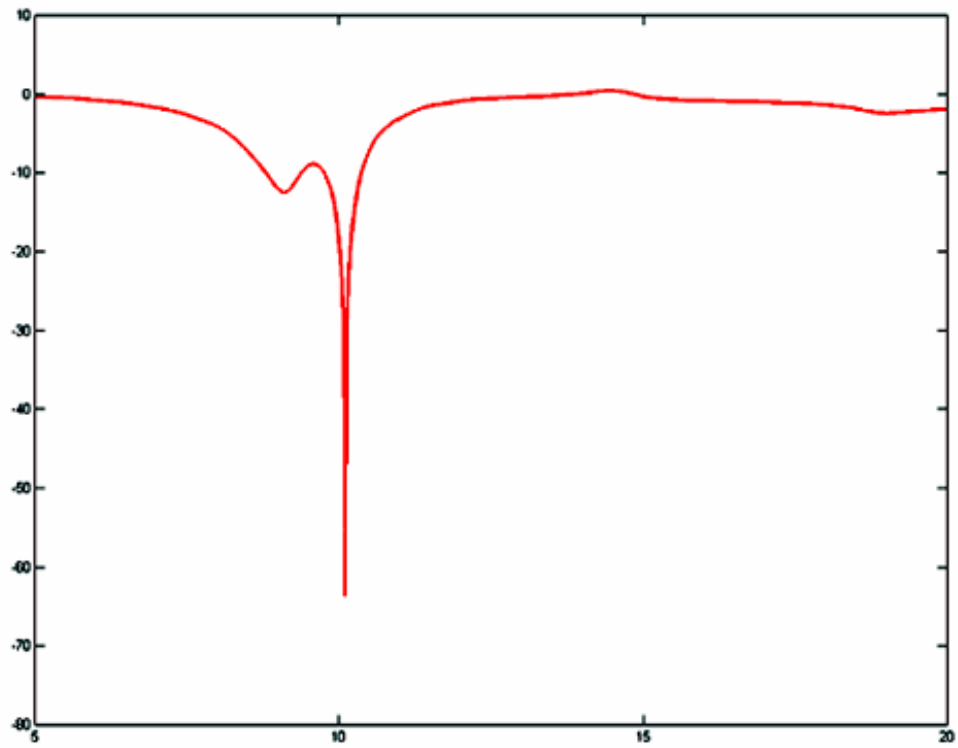
โดยผลการวิเคราะห์จะแสดงค่าการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของสายอากาศแต่ละรูปแบบดังรูปที่ 7 -10 ตามลำดับ



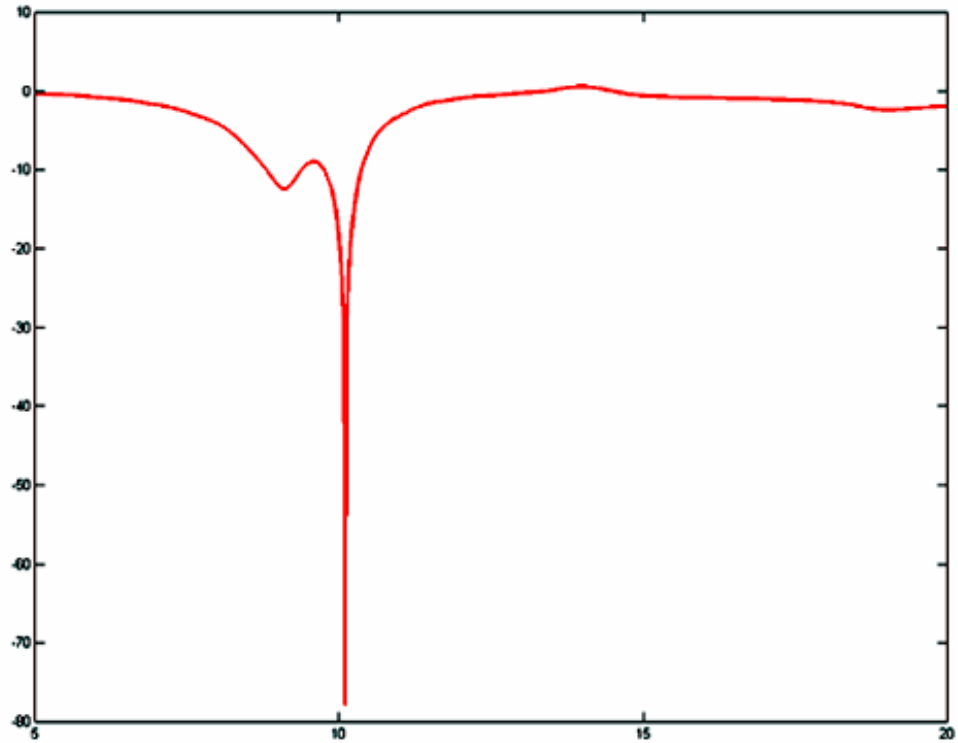
รูปที่ 7 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของสายอากาศที่ไม่มีพาราซิติคแบบช่องเปิด



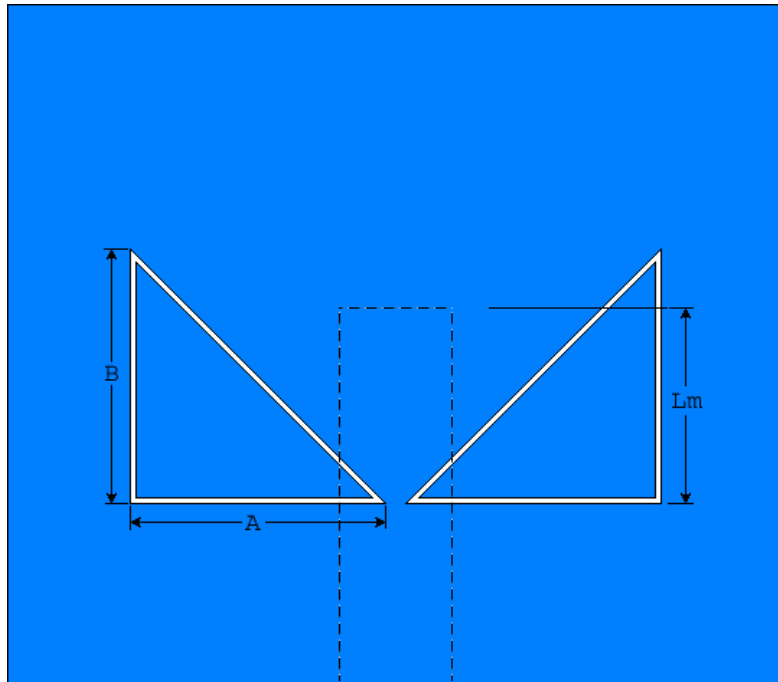
รูปที่ 8 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของสายอากาศที่มีพาราซิติคแบบช่องเปิดด้านล่าง



รูปที่ 9 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของสายอากาศที่มีพาราซิติคแบบช่องเปิดด้านข้าง



รูปที่ 10 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของสายอากาศที่มีพาราซิติคแบบช่องเปิดทั้งสองด้าน



รูปที่ 11 ขนาดโครงสร้างของสายอากาศช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก

ตารางที่ 1 แสดงค่าต่าง ๆ ของโครงสร้างสายอากาศ

พารามิเตอร์		ขนาด (มิลลิเมตร)
A	ความยาวช่องเปิดด้านฐาน	8.1
B	ความยาวช่องเปิดด้านข้าง	8.1
Lm	ระยะระหว่างขอบของ สายส่งกับช่องเปิดด้าน ฐานของสามเหลี่ยม	5.85

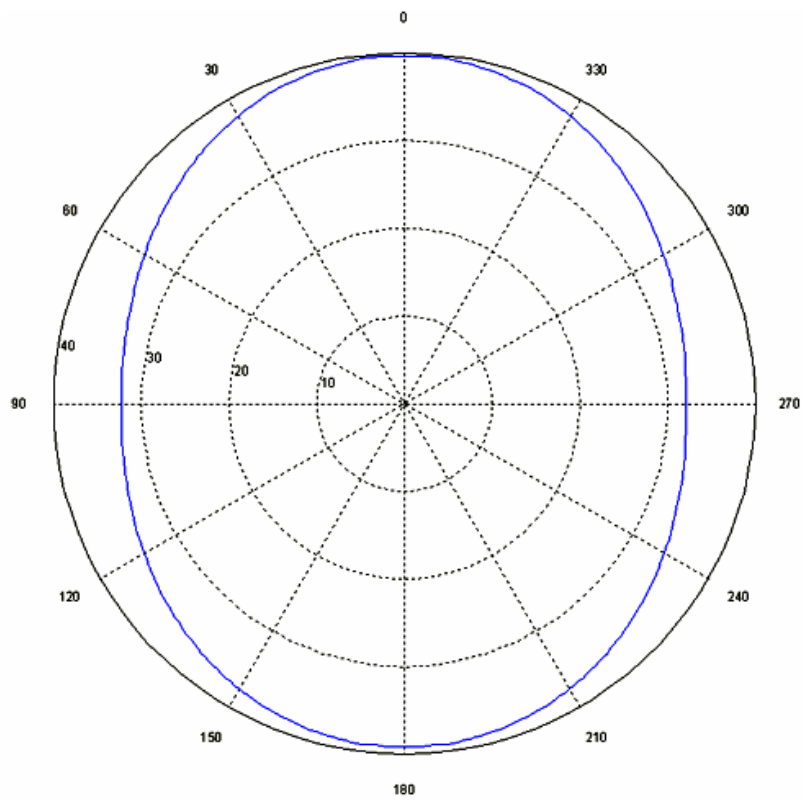
โครงสร้างและขนาดของสายอากาศจะแสดงดังรูปที่ 11 และตารางที่ 1 ส่วนผลการวิเคราะห์สามารถสรุปผลแสดงดังตารางที่ 2

รูปแบบสายอากาศ	การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ (S_{11})	ความถี่เรโซแนนซ์ (fr)	เส้นช่องเปิดแนวนอน			เส้นช่องเปิดแนวตั้ง		
			ความยาวของเส้น	ความกว้างของเส้น	ระยะห่างจากขอบสายอากาศ	ความยาวของเส้น	ความกว้างของเส้น	ระยะห่างจากขอบสายอากาศ
สายอากาศที่ไม่มีพาราซิติคแบบช่องเปิด	- 35.41 dB	10.0974 GHz	-	-	-	-	-	-
สายอากาศที่มีพาราซิติคแบบช่องเปิดด้านล่าง	- 47.411 dB	10.0974 GHz	4.5 mm.	0.15 mm.	0.3 mm.	-	-	-
สายอากาศที่มีพาราซิติคแบบช่องเปิดด้านข้าง	- 63.64 dB	10.0974 GHz	-	-	-	7.65 mm.	0.15 mm.	2.7 mm.
สายอากาศที่มีพาราซิติคแบบช่องเปิดทั้งสองด้าน	- 77.831 dB	10.0974 GHz	4.5 mm.	0.15 mm.	0.3 mm.	7.95 mm.	0.15 mm.	2.7 mm.

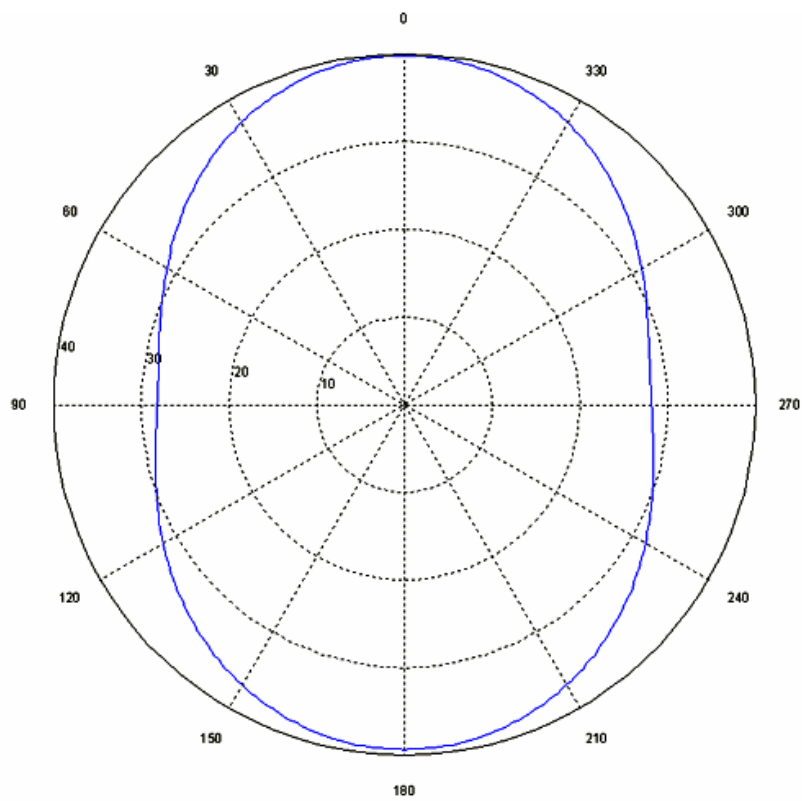
ตารางที่ 2 แสดงค่าต่าง ๆ ของสายอากาศ

จากตารางที่ 2 สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มพาราซิติคแบบช่องเปิดให้กับสายอากาศช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉากในตำแหน่งที่เหมาะสม สามารถที่จะทำให้ค่าการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับลดลงได้ จากการวิเคราะห์สายอากาศแบบช่องเปิดแบบที่สี่จะมีเมตซ์อิมพีแดนซ์ดีกว่าสายอากาศต้นแบบถึง 120 % โดยที่ค่าความถี่เรโซแนนซ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

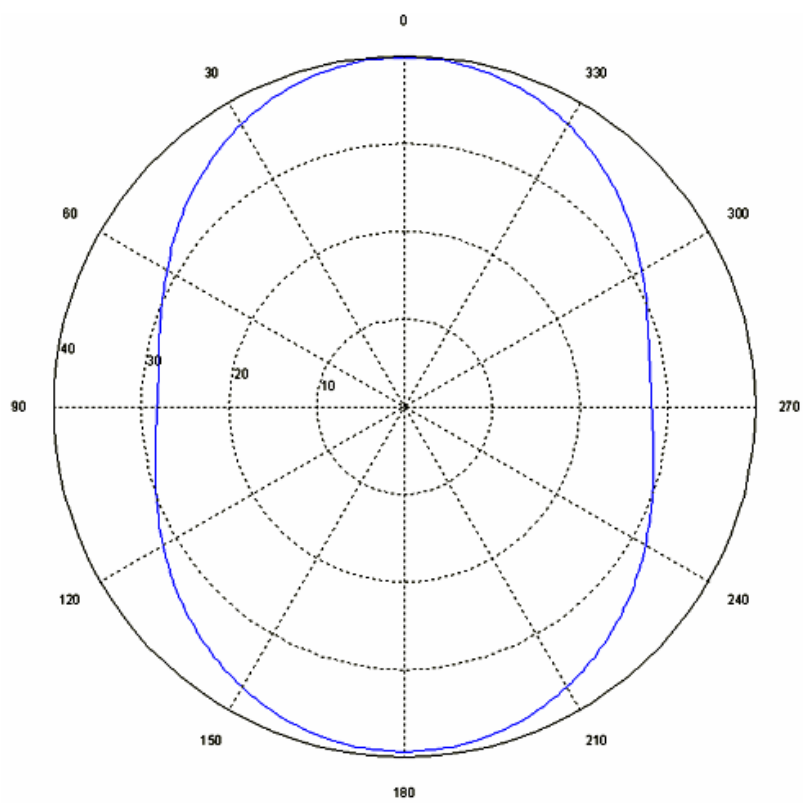
การเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทั้งแบบที่ไม่มีพาราซิติคและแบบที่มีพาราซิติคแบบต่าง ๆ ในระนาบแกน XY และแกน XZ แสดงดังรูปที่ 12 - 19



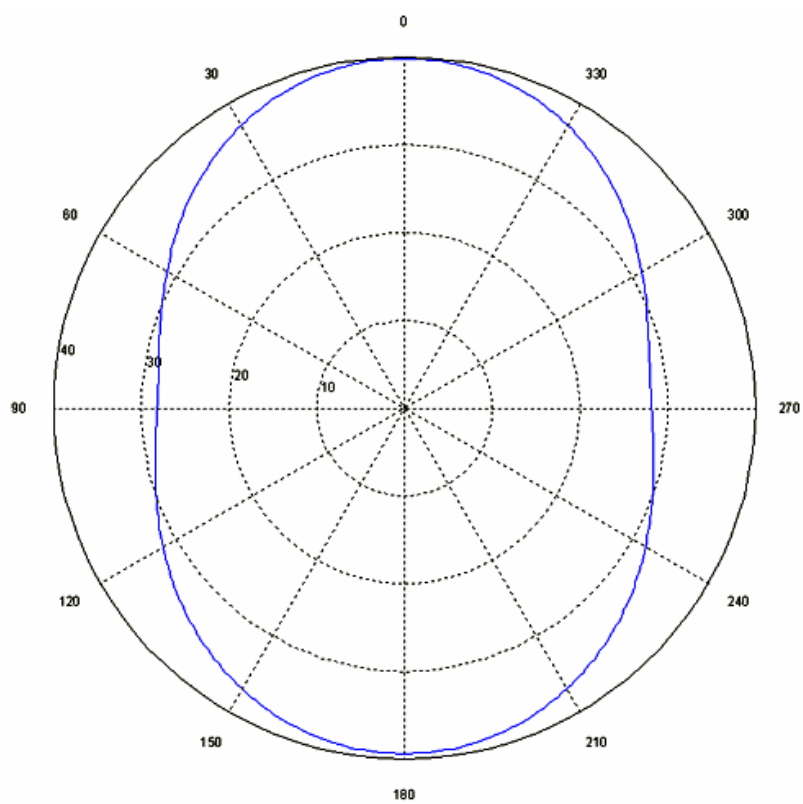
รูปที่ 12 การแพร่กระจายในระนาบ xy ของสายอากาศที่ไม่มีพาราซติคแบบช่องเปิด



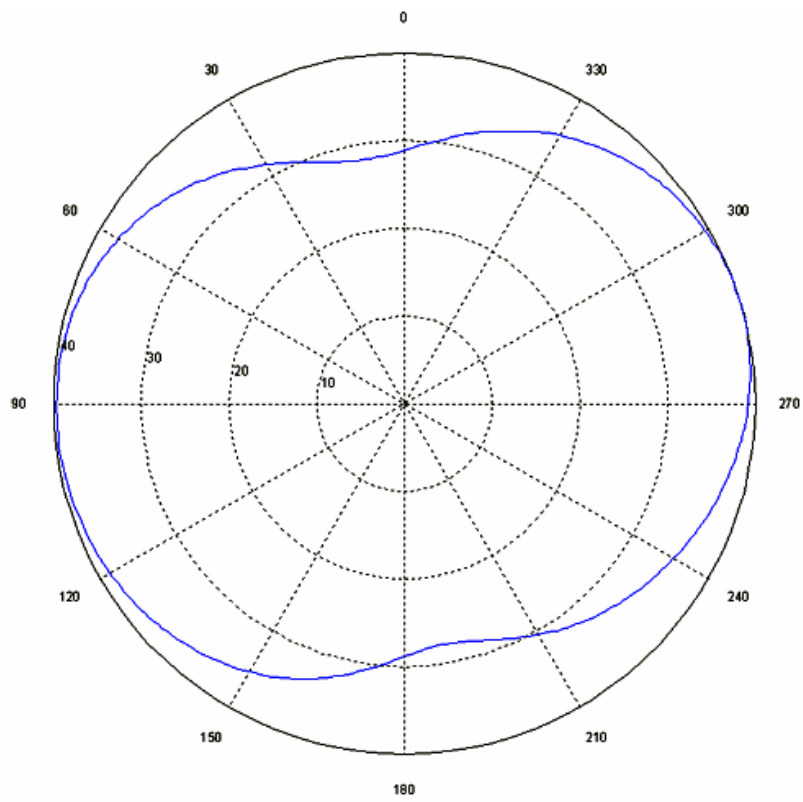
รูปที่ 13 การแพร่กระจายในระนาบ xy ของสายอากาศที่มีพาราซติคแบบช่องเปิดด้านล่าง



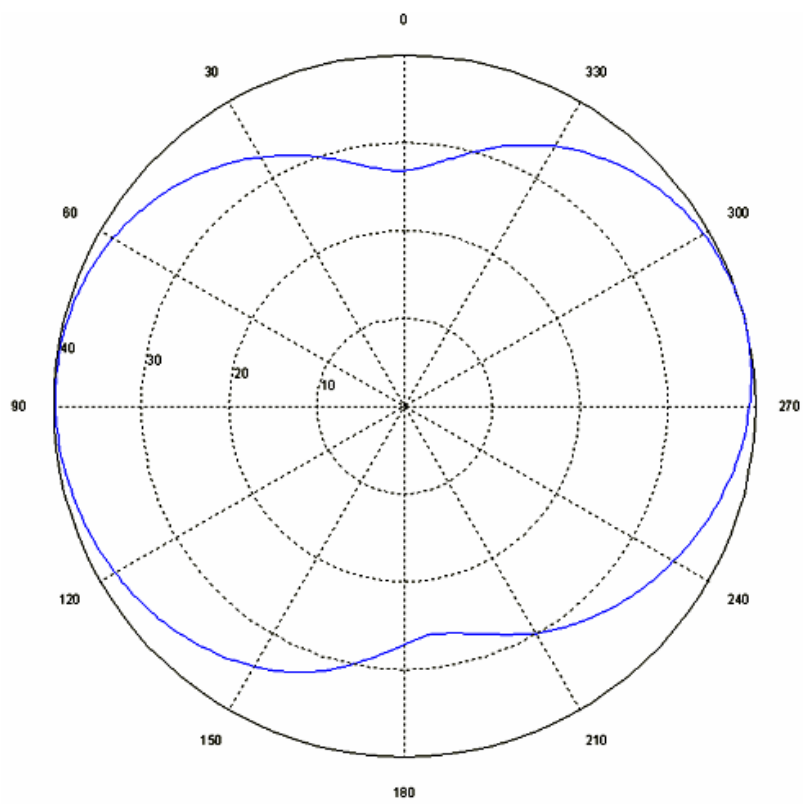
รูปที่ 14 การแพร่กระจายในระนาบ xy ของสายอากาศที่มีพาราซติคแบบช่องเปิดด้านข้าง



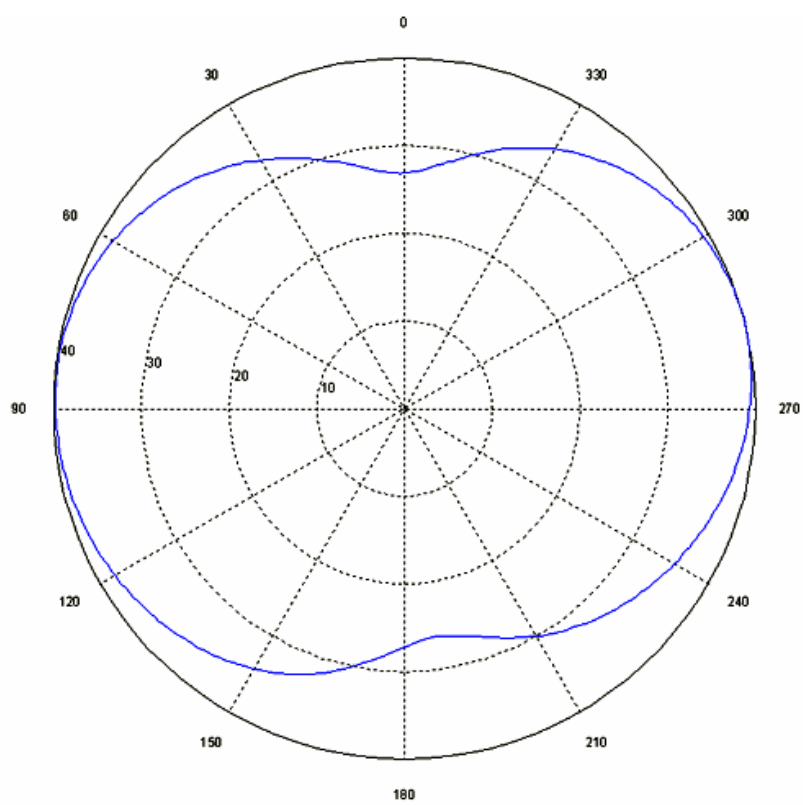
รูปที่ 15 การแพร่กระจายในระนาบ xy ของสายอากาศที่มีพาราซติคแบบช่องเปิดทั้งสองด้าน



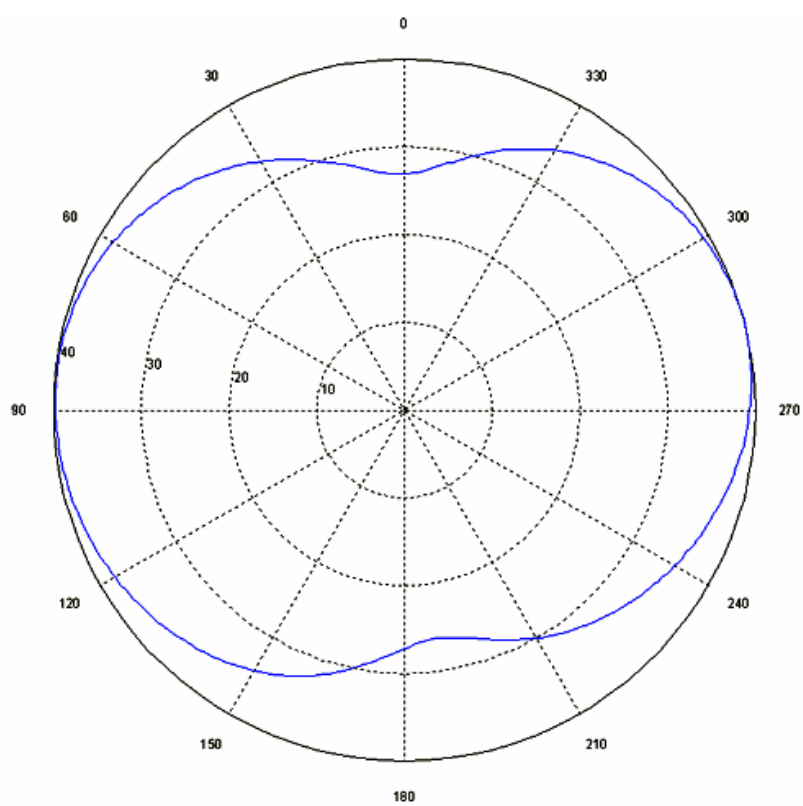
รูปที่ 16 การแพร่กระจายในระนาบ xz ของสายอากาศที่ไม่มีพาราซิติคแบบช่องเปิด



รูปที่ 17 การแพร่กระจายในระนาบ xz ของสายอากาศที่มีพาราซิติคแบบช่องเปิดด้านล่าง

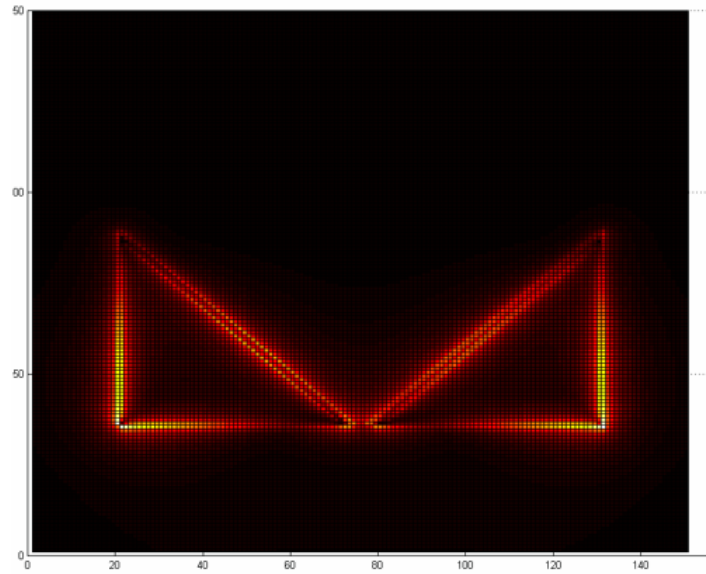


รูปที่ 18 การแพร่กระจายในระนาบ xz ของสายอากาศที่มีพาราซดิกแบบช่องเปิดด้านข้าง

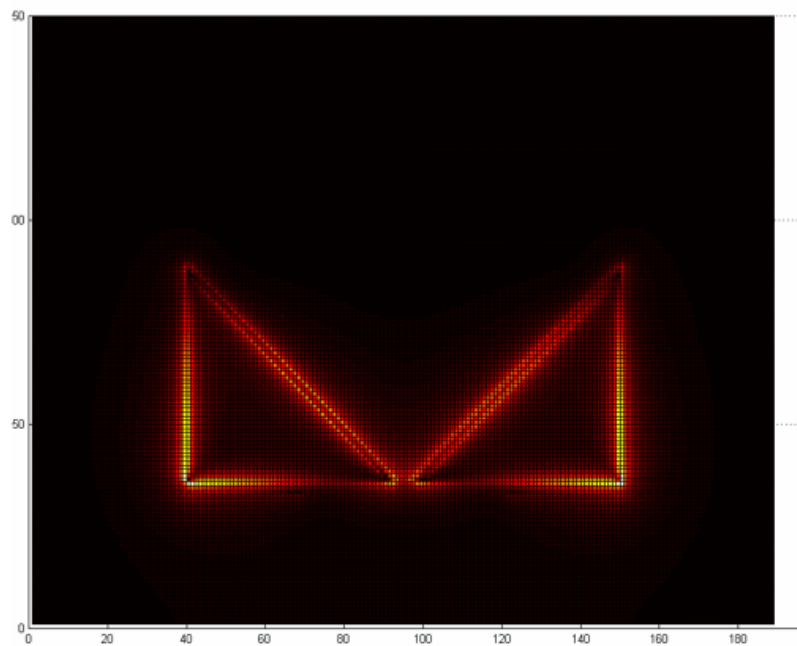


รูปที่ 19 การแพร่กระจายในระนาบ xz ของสายอากาศที่มีพาราซดิกแบบช่องเปิดทั้งสองด้าน

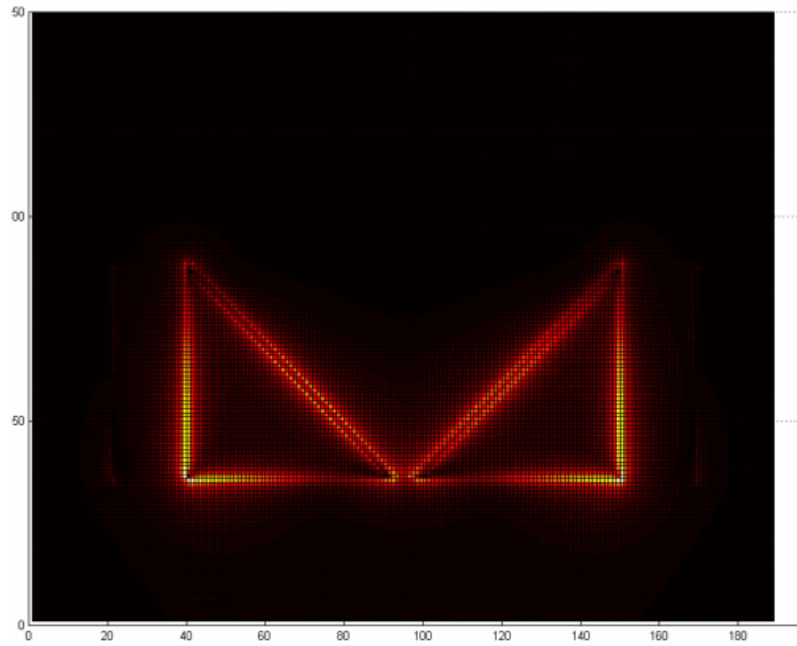
การเปรียบเทียบความหนาแน่นของกระแส (Current Density) จะแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของกระแสจะมีมากบริเวณใกล้ ๆ มุมฉากของสามเหลี่ยม เนื่องจากบริเวณสายอากาศแบบช่องเปิดจะถูกกระตุ้นโดยตรงจากสายไมโครสตริป จึงสามารถแพร่กระจายคลื่นออกไปได้ แต่พาราซิติคแบบช่องเปิดจะถูกกระตุ้นจากสายอากาศแบบช่องเปิดเป็นส่วนใหญ่ เพราะฉะนั้นบริเวณที่เป็นพาราซิติคจะไม่มีการแพร่กระจายคลื่นออกไป



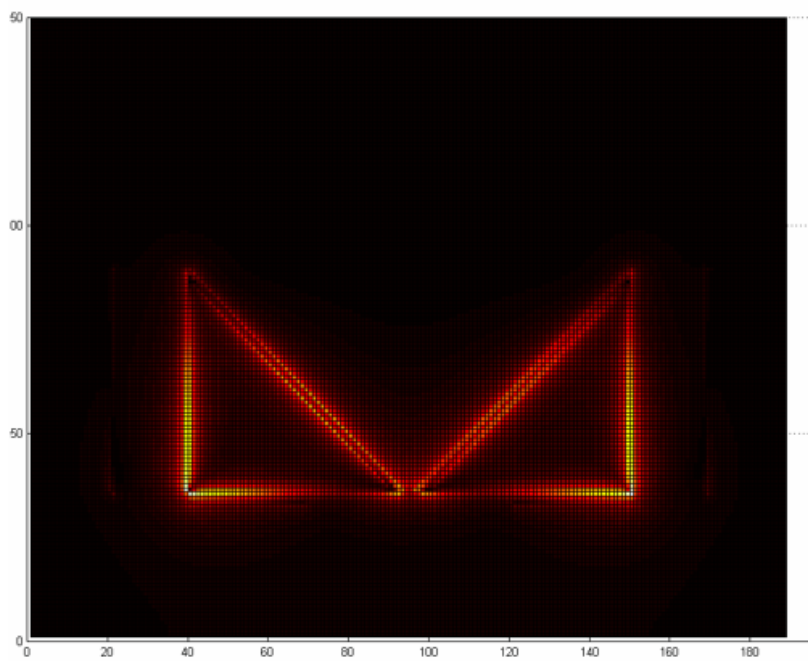
รูปที่ 20 ความหนาแน่นของกระแสของสายอากาศที่ไม่มีพาราซิติคแบบช่องเปิด



รูปที่ 21 ความหนาแน่นของกระแสของสายอากาศที่มีพาราซิติคแบบช่องเปิดด้านล่าง



รูปที่ 22 ความหนาแน่นของกระแสของสายอากาศที่มีพาราคติกรแบบช่องเปิดด้านข้าง



รูปที่ 23 ความหนาแน่นของกระแสของสายอากาศที่มีพาราคติกรแบบช่องเปิดทั้งสองด้าน

5. บทสรุป

การเพิ่มพารามิเตอร์แบบช่องเปิดให้กับสายอากาศช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉากในตำแหน่งที่เหมาะสมจะเป็นการทำให้แมตซ์อิมพีแดนซ์ดีขึ้น โดยจะไปลดค่าการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของสายอากาศลงได้มากกว่าเท่าตัว โดยจะไม่มีผลกระทบต่อพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ เช่น ความถี่เรโซแนนซ์

โดยจากการออกแบบได้มีการออกแบบที่ความถี่ 10 GHz แต่ได้มีความคลาดเคลื่อนไปเล็กน้อย แต่จากการวิเคราะห์จะเน้นในเรื่องแมตซ์อิมพีแดนซ์และการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของสายอากาศ ซึ่งในการใช้งานจริงอาจจะต้องมีการปรับให้ตรงค่าความถี่ที่ต้องการอีกเล็กน้อย

Reference

- [1] Yongxi Qian and Tatsuo Itoh, FDTD Analysis and Design of Microwave Circuits and Antennas Software and Applications, Realize Inc., 1999
- [2] R.Garg, P.Bhartia, I.Bahl and A.Ittipiboon, Microstrip Antenna Design Handbook, Artech House., 2001.
- [3] Kai Fong Lee and Wei Chen, Advances in Microstrip and Printed Antennas, John Wiley & Sons, Inc., 1997
- [4] Yoshimura,Y., "A Microstrip Line Slot Antenna," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-20, pp. 760-762, 1972.