

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากสำหรับการสื่อสารไร้สาย เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีการแผ่พลังงานสนามระยะไกลแบบรอบทิศทาง (Omnidirectional) และได้สายอากาศที่สามารถใช้งานได้ 2 ความถี่ สำหรับการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศนั้น จะใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแบบผลต่างสลับเนื่องจำกัดในโดเมนเวลา (FDTD Method) มาทำการวิเคราะห์และคำนวณ นอกจากนี้ในงานวิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมการคำนวณสายอากาศด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแบบ FDTD ด้วยโปรแกรมภาษาฟอร์แทรน (Fortran Language Programming) เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์คุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศให้ครบถ้วนและได้ดียิ่งขึ้น โดยเพิ่มการคำนวณในส่วนของอัตราขยายของสายอากาศ และประสิทธิภาพของสายอากาศ สำหรับสายอากาศที่ทำการวิเคราะห์จะประกอบไปด้วยสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบ 1 ช่องเปิด สายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบแถวลำดับ 2 ช่องเปิด และสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบแถวลำดับ 4 ช่องเปิด ซึ่งสายอากาศแบบสุดท้ายนี้จะทำการวัดทดสอบจากสายอากาศจริงเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองสายอากาศ

5.1 สรุปผลการออกแบบและวิเคราะห์

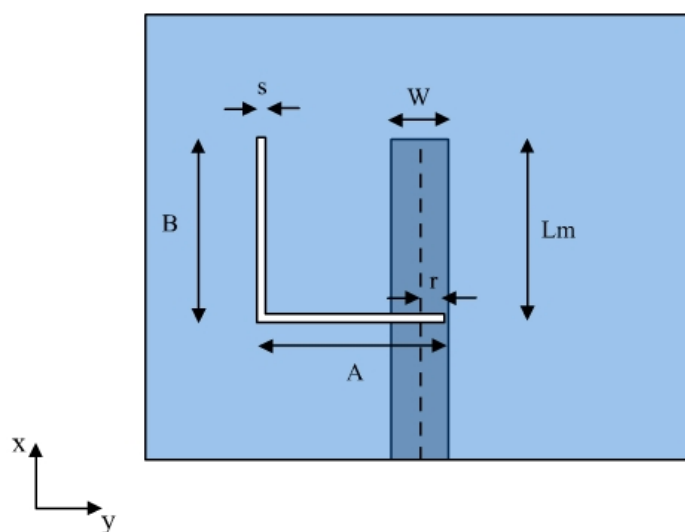
ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากสำหรับการสื่อสารไร้สาย โดยใช้วัสดุฐานรอง FR4 ที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายตามท้องตลาด ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก	ϵ_r	= 4.5
ความหนาวัสดุฐานรอง	h	= 1.6 mm
ค่าความนำของวัสดุตัวนำ (ทองแดง)	σ	= 5.8×10^7 s/m
ค่าความหนาของวัสดุตัวนำ	t	= 0.035 mm
ค่าตัวประกอบการกระจาย	$\tan \delta$	= 0.02

การวิเคราะห์สายอากาศในเชิงทฤษฎีด้วยวิธีแบบจำลองโครงสร้างของสายอากาศที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการใช่วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขแบบผลต่างสลับเนื่องในโดเมนเวลา (FDTD) โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณและวิเคราะห์ ซึ่งในการออกแบบรูปจำลองโครงสร้างของสายอากาศได้กำหนดขนาดของหนึ่งหน่วยเซลล์ในทิศทาง z คือ $\Delta z = 0.16$ มิลลิเมตร ขนาดของหนึ่งหน่วยเซลล์ในทิศทาง x และ y คือ $\Delta x = \Delta y = 0.1$ มิลลิเมตร สำหรับใน

ส่วนของการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้สำหรับคำนวณนั้น จะพัฒนาในส่วนของแบบรูปอัตราขยายในการแผ่พลังงานระยะไกลของสายอากาศ และการคำนวณประสิทธิภาพของสายอากาศ เพื่อนำมาช่วยในการวิเคราะห์

สำหรับการวิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์นี้ จะเป็นการวิเคราะห์คุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบ 1 ช่องเปิด สายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบแถวลำดับ 2 ช่องเปิด และสายอากาศ ไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบแถวลำดับ 4 ช่องเปิด ดังรูปที่ 5.1-5.4



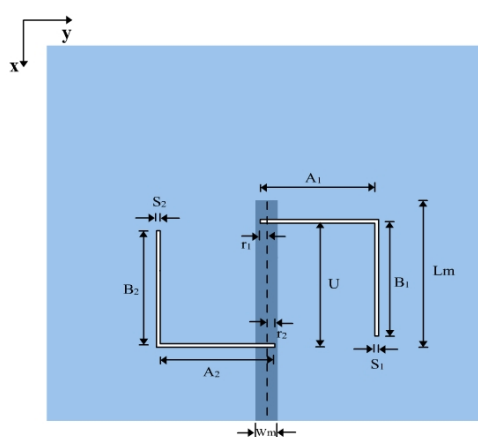
รูปที่ 5.1 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบ 1 ช่องเปิด

จากรูปที่ 5.1 แสดงโครงสร้างและพารามิเตอร์ของสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบ 1 ช่องเปิด โดยโครงสร้างของสายอากาศประกอบไปด้วยช่องเปิดมุมฉากที่ถูกวางอยู่บนระนาบกราวด์ ในการออกแบบสายอากาศนั้นจะออกแบบให้ความยาวรวมของช่องเปิดเป็นตัวกำหนดให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการ ส่วนความกว้างของช่องเปิด (S) จะเป็นตัวกำหนดแบนด์วิดท์ของสายอากาศ สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ทำแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศก็คือ ความยาว L_m กับ ระยะ r โดยสายอากาศจะถูกออกแบบที่ความถี่เรโซแนนซ์ 2.45 GHz เพื่อที่จะนำไปใช้ในระบบ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g ที่มีแบนด์วิดท์ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 2.4-2.4835 GHz

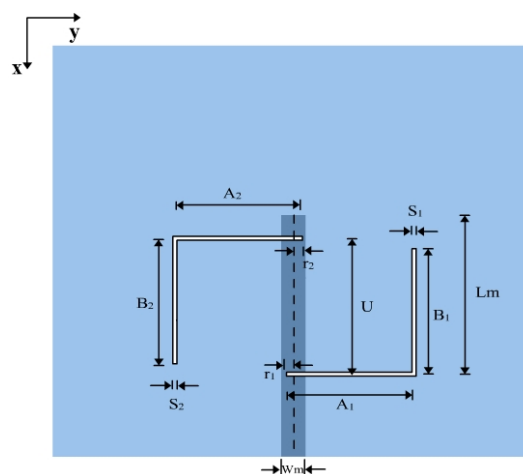
จากตารางที่ 5.1 แสดงคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้จากการจำลองซึ่งทำให้เห็นว่าสายอากาศแบบช่องเปิดเดี่ยวจะทำให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ตีประมาณความถี่ 2.45 GHz ตามที่ออกแบบไว้ โดยสายอากาศแบบนี้จะผลิตความถี่ได้ หนึ่งความถี่เท่านั้น สำหรับสายอากาศแบบนี้จะมีอัตราขยายของสายอากาศที่ 3.09 dBi และประสิทธิภาพของสายอากาศประมาณ 99.67 %

ตารางที่ 5.1 คุณลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบ 1 ช่องเปิด

ความถี่เรโซแนนซ์	2.453 GHz
S_{11} พารามิเตอร์	-34.85 dB
อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง	1.037 : 1
อินพุตอิมพีแดนซ์	$48.5 - j0.967$ โอห์ม
แบนด์วิดท์	2.4 – 2.5 GHz
ประสิทธิภาพของสายอากาศ	99.67 %
อัตราขยายของสายอากาศ	3.09 dBi



รูปที่ 5.2 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบแถวลำดับ 2 ช่องเปิดรูปแบบที่ 1



รูปที่ 5.3 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบแถวลำดับ 2 ช่องเปิดรูปแบบที่ 2

รูปที่ 5.2-5.3 แสดงโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบแถวลำดับ 2 ช่องเปิด ซึ่งอยู่ในรูปแบบที่ 1 และ รูปแบบที่ 2 โดยในการออกแบบจะวางช่องเปิดมุมฉาก 2 ช่องเปิดเป็นแถวลำดับ ก็คือ มีช่องเปิดตัวที่ 1 อยู่ขอบด้านล่างของระนาบกราวด์ของสายอากาศ และช่องเปิดตัวที่ 2 อยู่ที่ยอดด้านบนของระนาบกราวด์ของสายอากาศ โดยทั้งสองรูปแบบนั้นจะมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมือนกันแต่จะกลับด้านช่องเปิดซึ่งกันและกัน โดยที่ความยาวรวมของช่องเปิดจะมีค่าประมาณ $0.56 \lambda_g$ จากการวิเคราะห์สายอากาศแบบนี้ พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ r_1 , r_2 , L_m และ พารามิเตอร์ u โดยจะเห็นได้ว่าการปรับค่าของ L_m จะมีผลกับการเกิดความถี่ที่สอง แต่ความถี่นี้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ และพารามิเตอร์ r_1 และ r_2 จะมีผลกับแมตซ์ซิ่งของสายอากาศ

ตารางที่ 5.2 คุณลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบแถวลำดับ 2 ช่องเปิด

สายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบแถวลำดับ 2 ช่องเปิด	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2
ความถี่เรโซแนนซ์	2.45 GHz	2.45 GHz
S_{11} พารามิเตอร์	-40.35 dB	-39.75 dB
อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง	1.019 : 1	1.021 : 1
อินพุตอิมพีแดนซ์	$50.95 - j0.1893$ โอห์ม	$51.04 - j0.06$ โอห์ม
แบนด์วิดท์	2.39 – 2.492 GHz	2.39 – 2.493 GHz
ประสิทธิภาพของสายอากาศ	99.98 %	99.98 %
อัตราขยายของสายอากาศ	3.88 dBi	3.88 dBi

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบแถว 2 ช่องเปิดนี้จะมีอัตราขยายของสายอากาศมากกว่าสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบ 1 ช่องเปิด โดยทั้ง 2 รูปแบบจะมีอัตราขยายอยู่ที่ 3.88 dBi และจะมีประสิทธิภาพของสายอากาศประมาณ 99.98 % ดังนั้นจากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าสายอากาศแบบนี้มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ดีในความถี่เรโซแนนซ์ 2.45 GHz และยังสามารถทำให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์ที่สองที่ 4.61 GHz อีกด้วย แต่ในช่วงความถี่ที่สองนี้ยังไม่มีข้อกำหนดมาตรฐานย่านความถี่ในการที่จะนำไปใช้งานระบบการสื่อสารไร้สาย

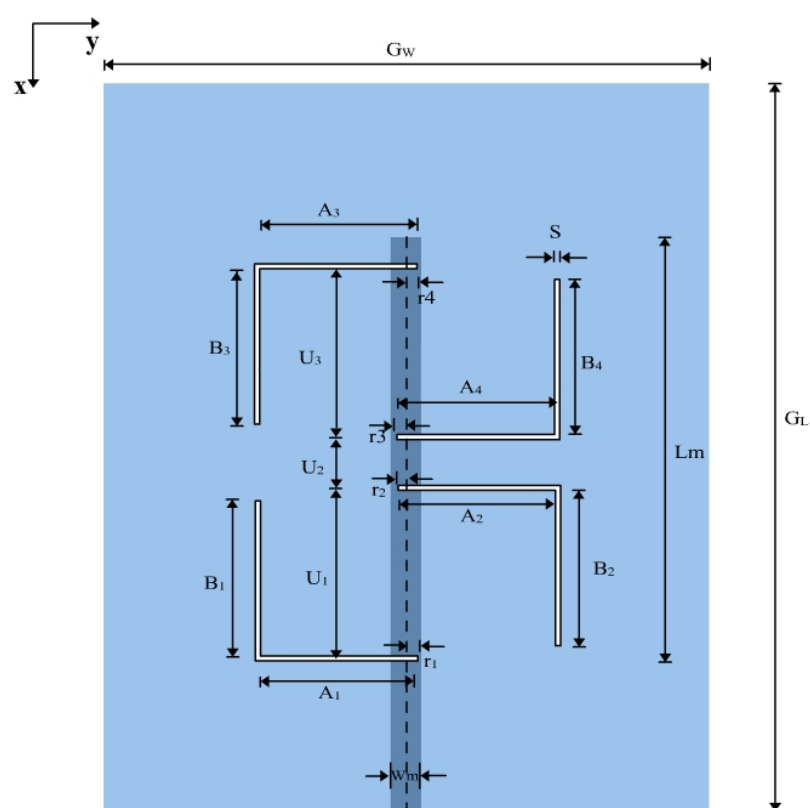
รูปที่ 5.4 แสดงโครงสร้างและพารามิเตอร์ของสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบแถวลำดับ 4 ช่องเปิด โดยหลักในการออกแบบจะใช้จากการออกแบบสายอากาศแถวลำดับแบบ 2 ช่องเปิดทั้งสองรูปแบบมาใช้เพื่อที่จะทำให้สายอากาศมีความถี่เรโซแนนซ์ 2 ความถี่ และมีแบบ

รูปการแผ่พลังงานระยะไกลเป็นแบบรอบทิศทาง ซึ่งจากการออกแบบสายอากาศแถวลำดับ 4 ช่องเปิดจะมีพารามิเตอร์เพิ่มขึ้นมา 3 พารามิเตอร์ก็คือ

U_1 คือ ระยะระหว่างช่องเปิดที่ 1 กับช่องเปิดที่ 2

U_2 คือ ระยะระหว่างช่องเปิดที่ 2 กับช่องเปิดที่ 4

U_3 คือ ระยะระหว่างช่องเปิดที่ 3 กับช่องเปิดที่ 4

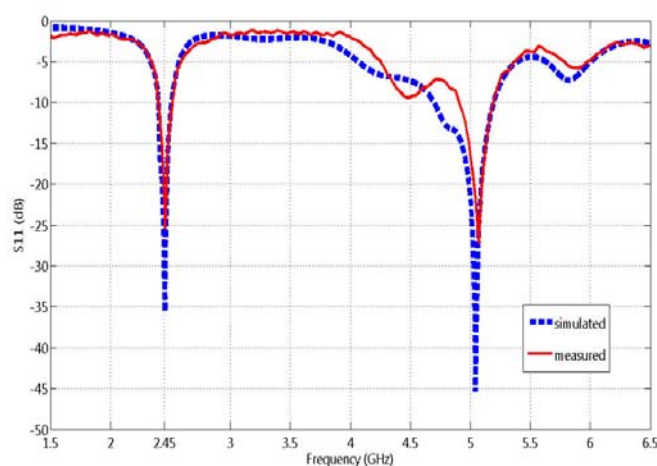


รูปที่ 5.4 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบแถวลำดับ 4 ช่องเปิด

ตารางที่ 5.3 คุณลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบแถวลำดับ 4 ช่องเปิดที่ได้จากการจำลอง

คุณลักษณะของสายอากาศ	ความถี่ต่ำ	ความถี่สูง
ความถี่เรโซแนนซ์	2.45 GHz	5.043 GHz
S_{11} พารามิเตอร์	-35.79 dB	-43.11 dB
อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง	1.034 : 1	1.011 : 1
อินพุตอิมพีแดนซ์	48.37 - j0.055 โอห์ม	49.8 + j0.4961 โอห์ม
แบนด์วิธ	2.4 - 2.512 GHz	4.698 - 5.2 GHz
ประสิทธิภาพของสายอากาศ	99.97 %	81.33 %
อัตราขยายของสายอากาศ	3.74 dBi	3.77 dBi

จากตารางที่ 5.3 แสดงให้เห็นว่า สายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแถวลำดับ 4 ช่องเปิด จะทำให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์ที่ใช้งานได้สองความถี่ คือ ความถี่ 2.45 GHz และ 5.043 GHz โดยที่ความถี่แรกจะเป็นความถี่ที่ออกแบบไว้ ส่วนความถี่ที่สองจะเป็นความถี่ที่เกิดจากฮาร์โมนิกของความถี่แรก ซึ่งย่านความถี่ที่สองนี้จะสามารถนำไปใช้งานในมาตรฐาน IEEE 802.11j และ public safety รวมทั้งยังสามารถออกแบบให้มีความถี่ที่สองเป็นย่าน 5.2 GHz สำหรับใช้งานตามมาตรฐาน IEEE802.11a ได้เช่นกัน โดยทำการจัดวางช่องเปิดสายอากาศให้เหมาะสม แต่จากตารางจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของสายอากาศในความถี่ที่สองน้อยกว่าความถี่แรกเนื่องจากความถี่ที่สองเป็นฮาร์โมนิกของความถี่แรกส่วนอัตราขยายของสายอากาศนั้นจะมีค่าอยู่ประมาณ 3.7 dBi ทั้งสองความถี่ โดยในความถี่ 2.45 GHz ตามที่ออกแบบนั้น สายอากาศแบบนี้จะมีอัตราขยายที่มากกว่าสายอากาศ 1 ช่องเปิด แต่จะน้อยกว่า 2 ช่องเปิดเล็กน้อย โดยในการออกแบบช่องเปิดแบบนี้จะทำให้มีแบบรูปการแผ่พลังงานระยะไกลที่เป็นแบบรอบทิศทางมากกว่า 1 ช่องเปิดและ 2 ช่องเปิด



รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบ S_{11} พารามิเตอร์ของสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบแถวลำดับ 4 ช่องเปิดจากการจำลองเทียบกับการวัดทดสอบ

ตารางที่ 5.4 คุณลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากแบบแถวลำดับ 4 ช่องเปิดที่ได้จากการวัดทดสอบ

คุณลักษณะของสายอากาศ	ความถี่ต่ำ	ความถี่สูง
ความถี่เรโซแนนซ์	2.4575 GHz	5.07 GHz
S_{11} พารามิเตอร์	-25.4130 dB	-27.2560 dB
อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง	1.1207 : 1	1.101 : 1
อินพุตอิมพีแดนซ์	44.059 + j1.4395 โอห์ม	45.877 - j1.4395 โอห์ม
แบนด์วิดท์	2.4025 – 2.5124 GHz	4.9 – 5.2 GHz
อัตราขยาย	3.5 dBi	3.3 dBi

จากรูปที่ 5.5 และ ตารางที่ 5.4 จะเห็นได้ว่า การวัดทดสอบสายอากาศจริงจะได้ผลที่ใกล้เคียงเมื่อเทียบกับการจำลอง โดยความถี่เรโซแนนซ์ที่วัดได้คือ 2.4575 GHz และ 5.07 GHz และมีแบนด์วิดท์ที่ครอบคลุมความถี่ที่ใช้งานในระบบการสื่อสารไร้สาย รวมทั้งยังมีอัตราขยายของสายอากาศเท่ากับ 3.5 dBi ที่ความถี่ด้านต่ำ และ 3.3 dBi ที่ความถี่ด้านสูง

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากหัวข้อที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าสายอากาศช่องเปิดมุมฉากแบบ 1 ช่องเปิด จะสามารถทำให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์ 1 ความถี่ได้ง่าย แต่ถ้าเป็นสายอากาศช่องเปิดมุมฉากแบบแถวลำดับ 2 ช่องเปิด และแบบ 4 ช่องเปิดจะมีความถี่เรโซแนนซ์ 2 ความถี่ แต่ความถี่ที่สองของช่องเปิดมุมฉากแถวลำดับ 2 ช่องเปิดจะไม่อยู่ในมาตรฐานของระบบการสื่อสารไร้สายในยุคปัจจุบัน แต่อัตราขยายของสายอากาศช่องเปิดมุมฉากแถวลำดับ 2 ช่องเปิดจะมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแบบ 1 ช่องเปิด และแบบ 4 ช่องเปิด สำหรับสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากเหล่านี้จะมีแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศแบบรอบทิศทาง โดยสายอากาศแบบ 4 ช่องเปิดจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลเป็นแบบรอบทิศทางมากที่สุด จะเห็นได้ว่าการจัดวางสายอากาศแบบแถวลำดับทั้งแบบ 2 ช่องเปิด และแบบ 4 ช่องเปิด เมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบ 1 ช่องเปิด จะทำให้ได้คุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศที่ดีขึ้นไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศ การให้ได้สายอากาศสองความถี่ รวมทั้งการทำให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลเป็นแบบรอบทิศทางเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากรูปแบบของสายอากาศที่ทำการวิเคราะห์ทั้งหมดนี้จะให้โพราไลเซชันเป็นแบบเส้นตรง ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาให้สายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดมุมฉากให้มีโพราไลเซชันเป็นแบบวงกลม ก็มีความเป็นไปได้โดยการจัดวางช่องเปิดของแถวลำดับให้เหมาะสมกับเฟสของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายในสายอากาศ