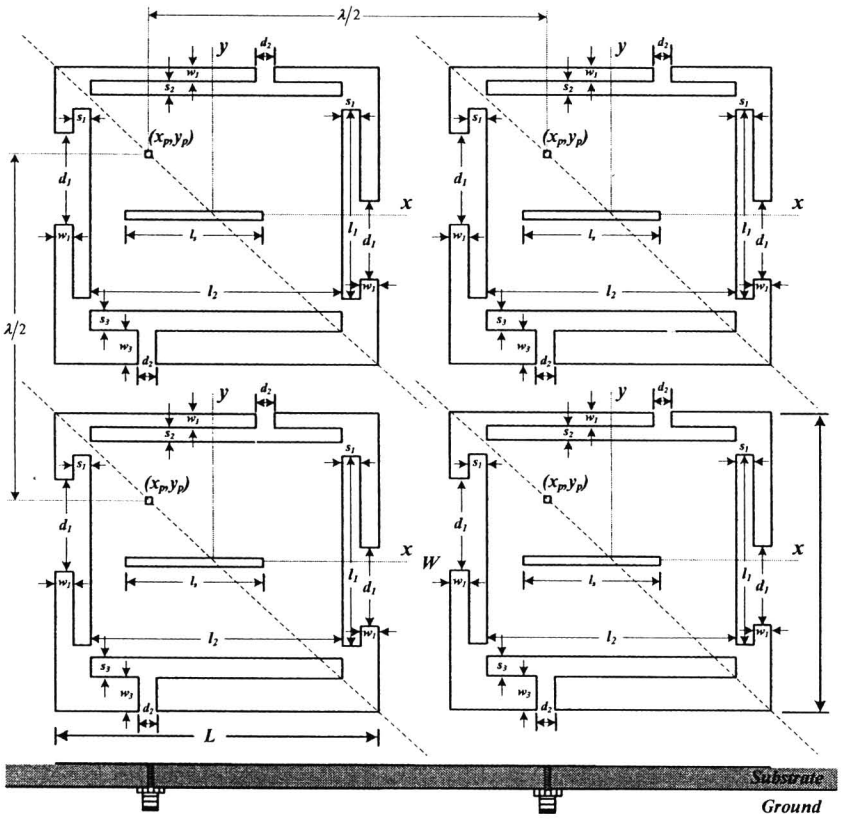
บทที่ 4

การวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศ

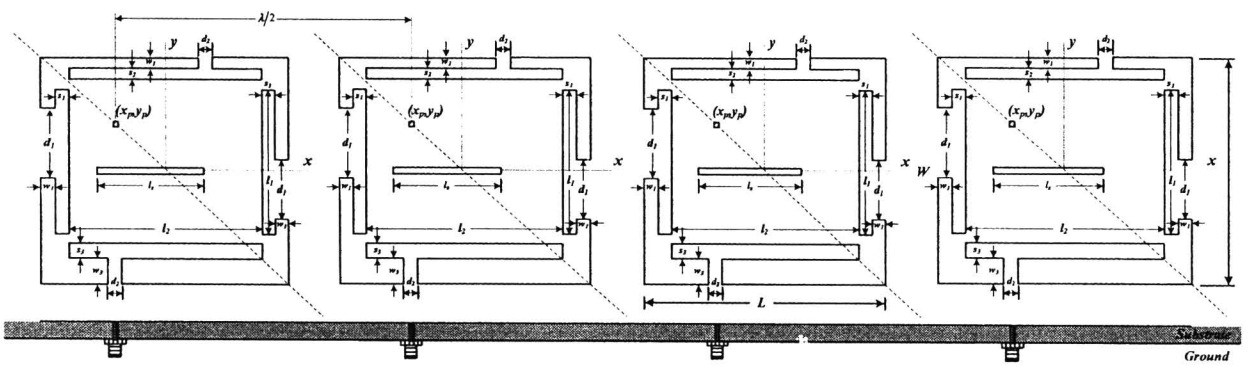
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศแถวลำดับให้อัตราขยายด้านหน้าโดยใช้แผ่นไมโครสตริปด้วยที-สลิดโหลดแบบไม่สมดุล ซึ่งได้ศึกษารูปแบบของการจัดแถวลำดับ การปรับระยะห่างระหว่างสายอากาศของสายอากาศแถวลำดับ และการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิดโหลดในแต่ละด้านของสายอากาศ โดยได้ทำการจำลองโครงสร้างสายอากาศด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D ซึ่งเป็นโปรแกรมการแก้ปัญหาทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยวิธีโมแมนต์ (Method of Moments : MoM) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศ ก่อนที่จะได้ทำการสร้างสายอากาศแถวลำดับต้นแบบขึ้นมา ซึ่งจะได้กล่าวในบทต่อไป

4.1 ศึกษารูปแบบของการจัดแถวลำดับของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิดโหลดแบบไม่สมดุล

ในการจัดแถวลำดับของสายอากาศนั้นผู้วิจัยได้ทำการออกแบบรูปแบบของแถวลำดับหลายรูปแบบ ได้แก่ (1) แบบ 2×2 (2) แบบ 4×1 และ (3) แบบ 1×4 แสดงดังรูปที่ 4.1(ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/2$ หรือ 61.22 มิลลิเมตร โดยกำหนดขนาดของระนาบกราวด์เท่ากับ 75×205 ตารางมิลลิเมตร พบว่าการจัดแถวลำดับของสายอากาศแบบ 1×4 จะให้อัตราขยายด้านหน้ามากที่สุดและสามารถครอบคลุมพื้นที่ในการใช้งานที่กว้างกว่า และเมื่อพิจารณาผลที่ได้พบว่าการนำสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิดโหลดแบบไม่สมดุลมาจัดแถวลำดับนั้นทำให้ได้อัตราขยายที่เพิ่มขึ้น แต่แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแถวลำดับมีระดับโหลบข้าง (side lobe) ที่สูงและไม่สมมาตร แสดงดังรูป 4.2(ก) และรูปที่ 4.2(ข) แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแถวลำดับ

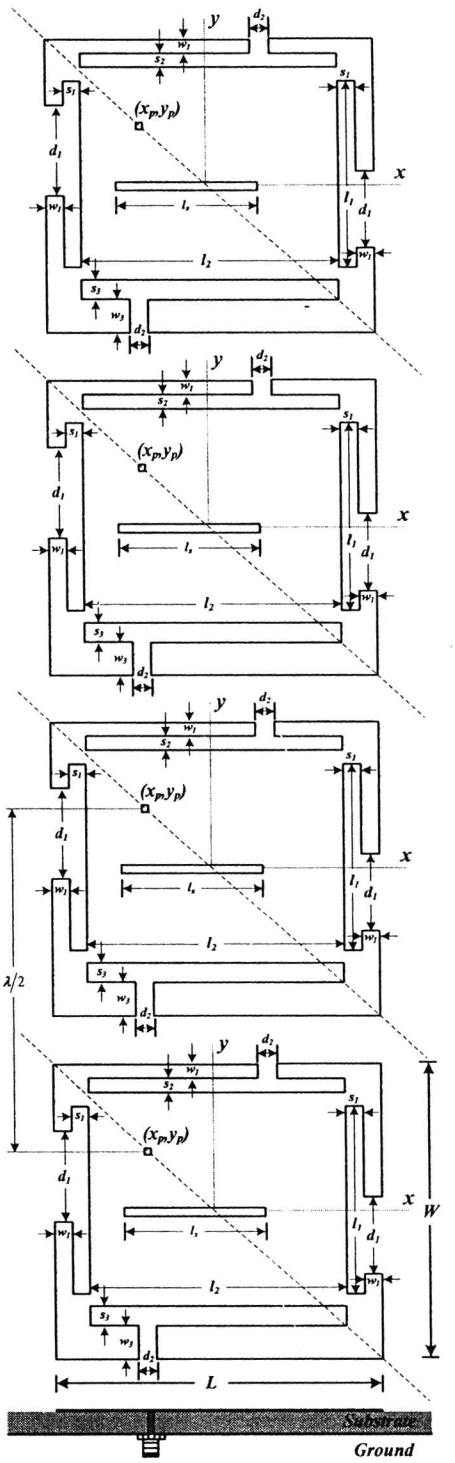


(ก) แบบ 2×2



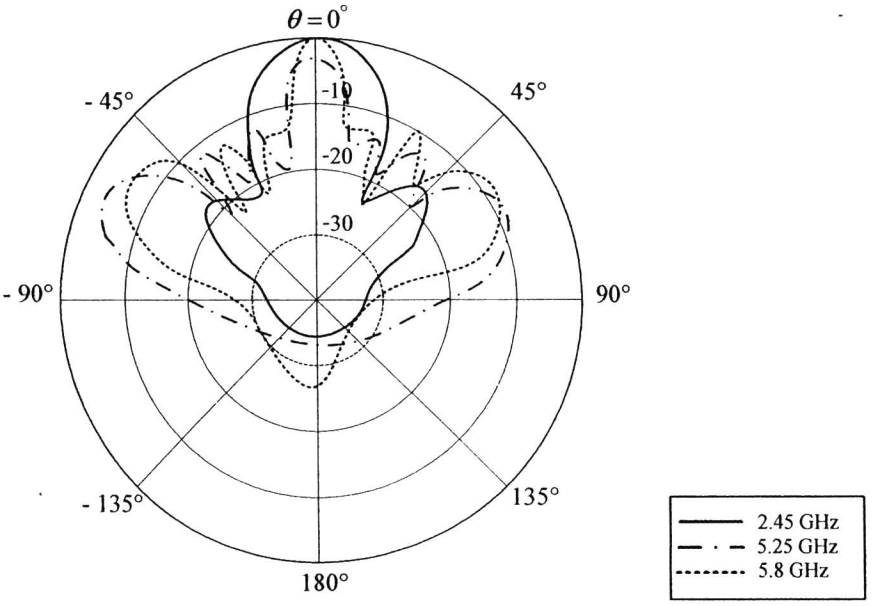
(ข) แบบ 4×1

รูปที่ 4.1 รูปแบบการจัดแถวลำดับของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิดโหลด
แบบไม่สมดุล โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/2$

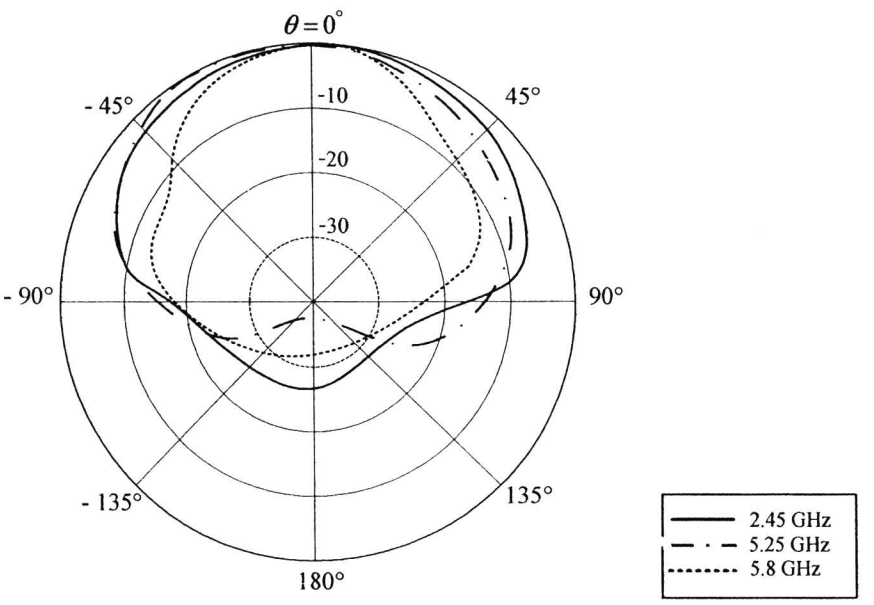


(ค) แบบ 1×4

รูปที่ 4.1 รูปแบบการจัดแถวลำดับของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิดโหลด แบบไม่สมดุล โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/2$ (ต่อ)



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

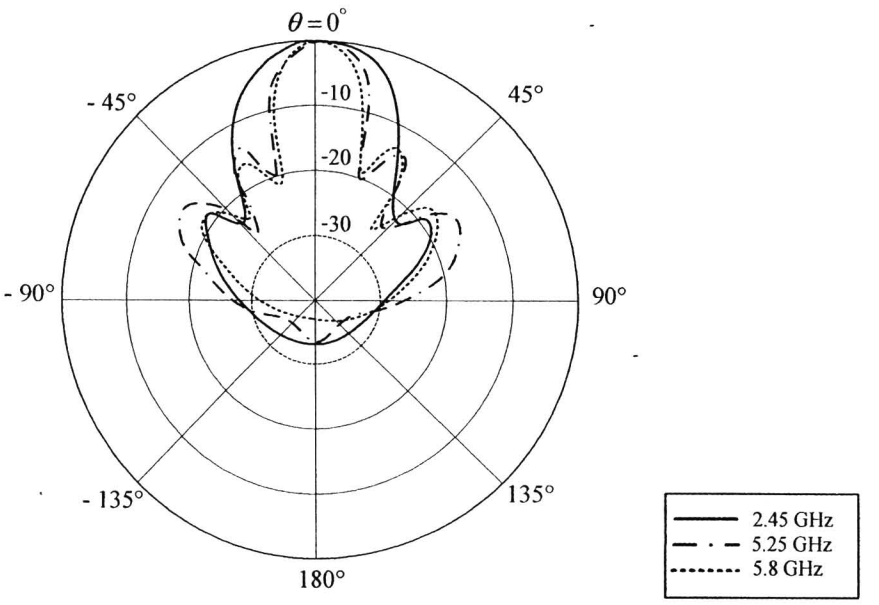


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

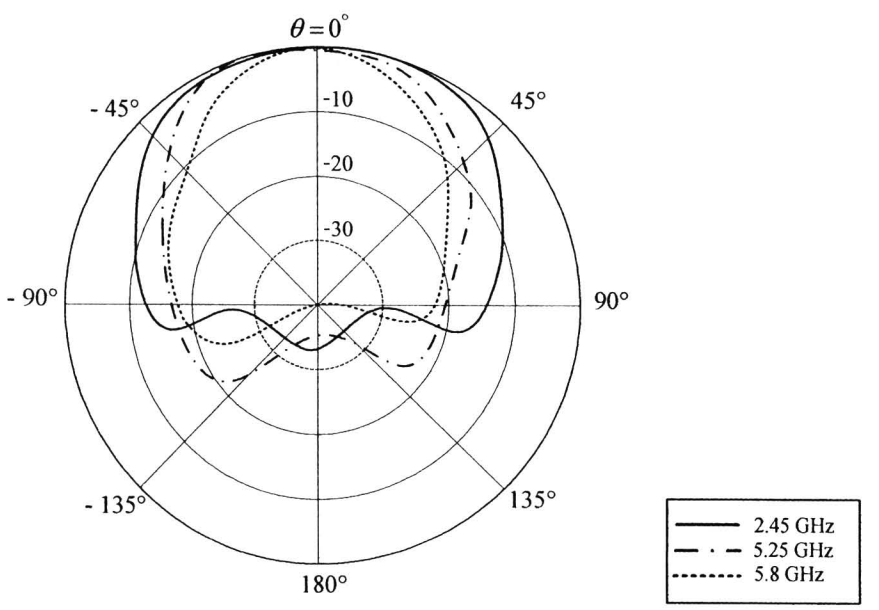
รูปที่ 4.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับ
ที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/2$

4.2 ศึกษาการปรับระยะห่างระหว่างสายอากาศของสายอากาศแถวลำดับให้อัตราขยายด้านหน้าโดยใช้แผ่นไมโครสตริปด้วยที-สลิดโหลดแบบไม่สมดุล

จากการจำลองผลสายอากาศแถวลำดับโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิดโหลดแบบไม่สมดุลแบบ 1×4 โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/2$ พบว่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับมีระดับโหลบข้างที่สูงและไม่สมมาตร ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับหาระยะห่างระหว่างสายอากาศที่เหมาะสมในการจัดแถวลำดับ เพื่อลดระดับโหลบข้างและเพื่อปรับปรุงให้แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับมีความสมมาตร ได้กำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับค่าดังต่อไปนี้ คือ λ $\lambda/2$ $\lambda/3$ และ $\lambda/4$ โดยพิจารณาจากการทำให้เหมาะที่สุด (optimization) จากผลการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D พบว่าที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/3$ หรือ 40.82มิลลิเมตร แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับมีระดับโหลบข้างที่ต่ำที่สุด โดยที่ระยะห่างน้อยกว่า $\lambda/3$ คือ ที่ระยะห่าง $\lambda/4$ จะทำให้สายอากาศซ้อนทับกัน และที่ระยะห่างมากกว่า $\lambda/3$ คือ ที่ระยะห่าง λ และ $\lambda/2$ แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับยังมีระดับโหลบข้างที่สูงอยู่ ถึงแม้ว่าจะได้ทำการปรับหาระยะห่างระหว่างสายอากาศที่เหมาะสมในการจัดแถวลำดับแล้ว พบว่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับนั้นได้ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยมีระดับโหลบข้างที่ลดลง แต่ยังมีลักษณะของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่สมมาตรรูปที่ 4.3 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/3$ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีระดับโหลบข้างที่ต่ำกว่ารูปที่ 4.2



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

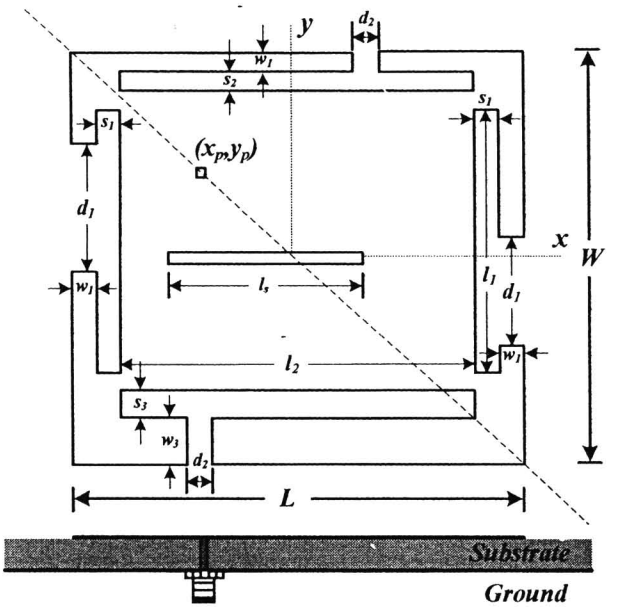


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

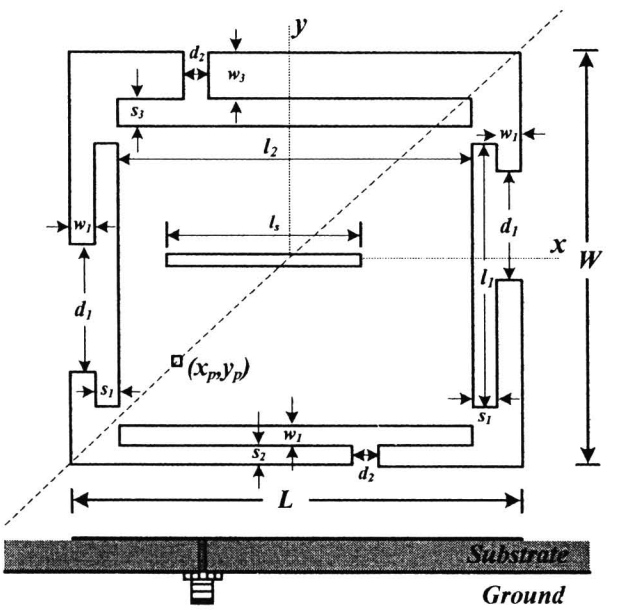
รูปที่ 4.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับ
ที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศ เท่ากับ $\lambda/3$

4.3 ศึกษาการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิดโหลดในแต่ละด้านของสายอากาศ

จากการจำลองผลสายอากาศแถวลำดับโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิดโหลดแบบไม่สมดุลแบบ 1×4 โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $\lambda/3$ พบว่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับมีระดับโหลบข้างที่ลดลง แต่ยังมีลักษณะของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่สมมาตร ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิดโหลดในแต่ละด้านของสายอากาศเพื่อปรับปรุงแบบรูปการแผ่พลังงานให้มีความสมมาตร จ เกการศึกษาการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิดโหลดในแต่ละด้านของสายอากาศสามารถแบ่งรูปแบบของสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิดโหลดแบบไม่สมดุลได้ 2 รูปแบบ คือ สายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิดโหลดแบบไม่สมดุลรูปแบบ ก เป็นสายอากาศรูปแบบเดิม และสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิดโหลดแบบไม่สมดุลรูปแบบ ข เป็นสายอากาศที่มีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิดโหลดในแต่ละด้านของสายอากาศ รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบสายอากาศทั้ง 2 รูปแบบ จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิดโหลดในแต่ละด้านของสายอากาศดังรูปแบบ ข จะส่งผลให้เกิดการสลับด้านกันของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าเมื่อเทียบกับรูปแบบ ก และแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กไม่มีการเปลี่ยนแปลง ยังคงมีลักษณะเหมือนรูปแบบ ก รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศรูปแบบ ก และสายอากาศรูปแบบ ข ตามลำดับ

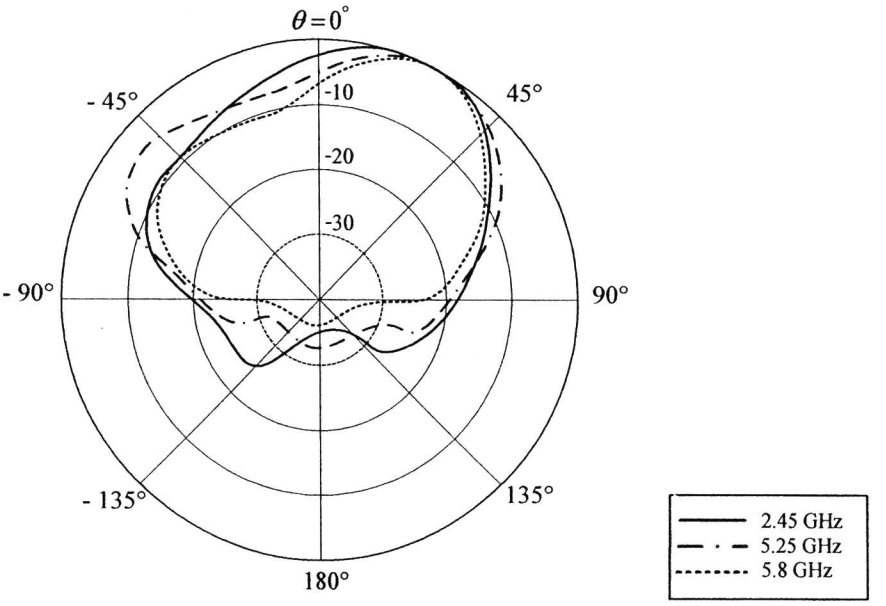


(ก) สายอากาศรูปแบบ ก

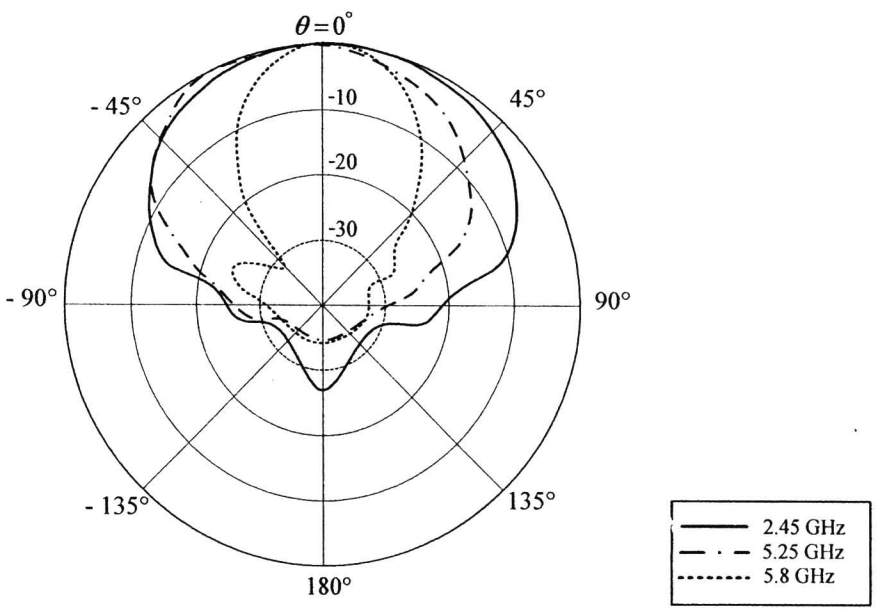


(ข) สายอากาศรูปแบบ ข

รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบสายอากาศไมโครสตริปด้วยที-สลิดโหลดแบบไม่สมดุลทั้ง 2 รูปแบบ

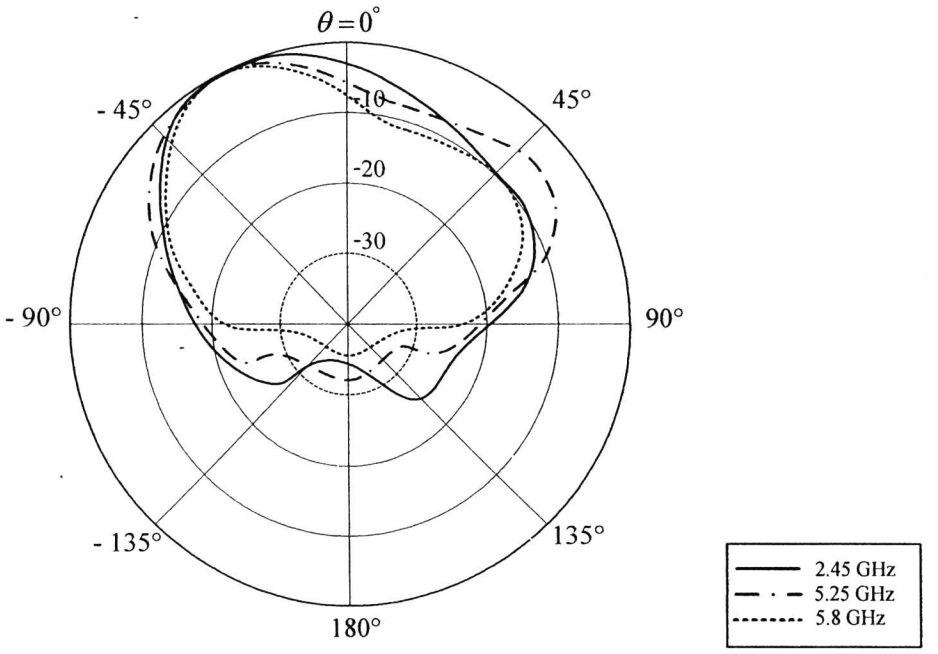


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

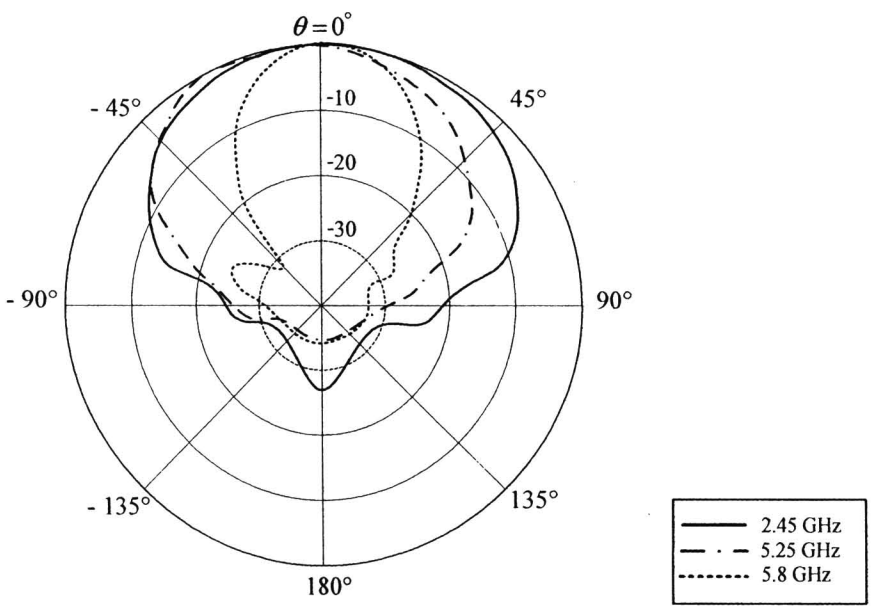


(ข)ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศรูปแบบ ก

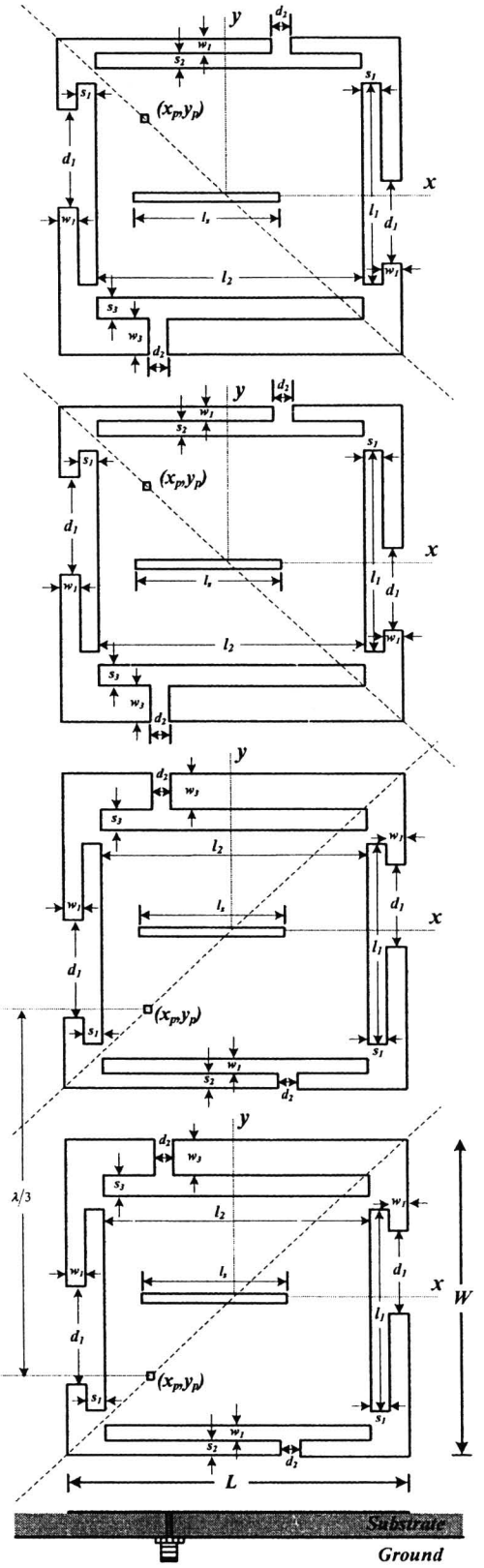


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



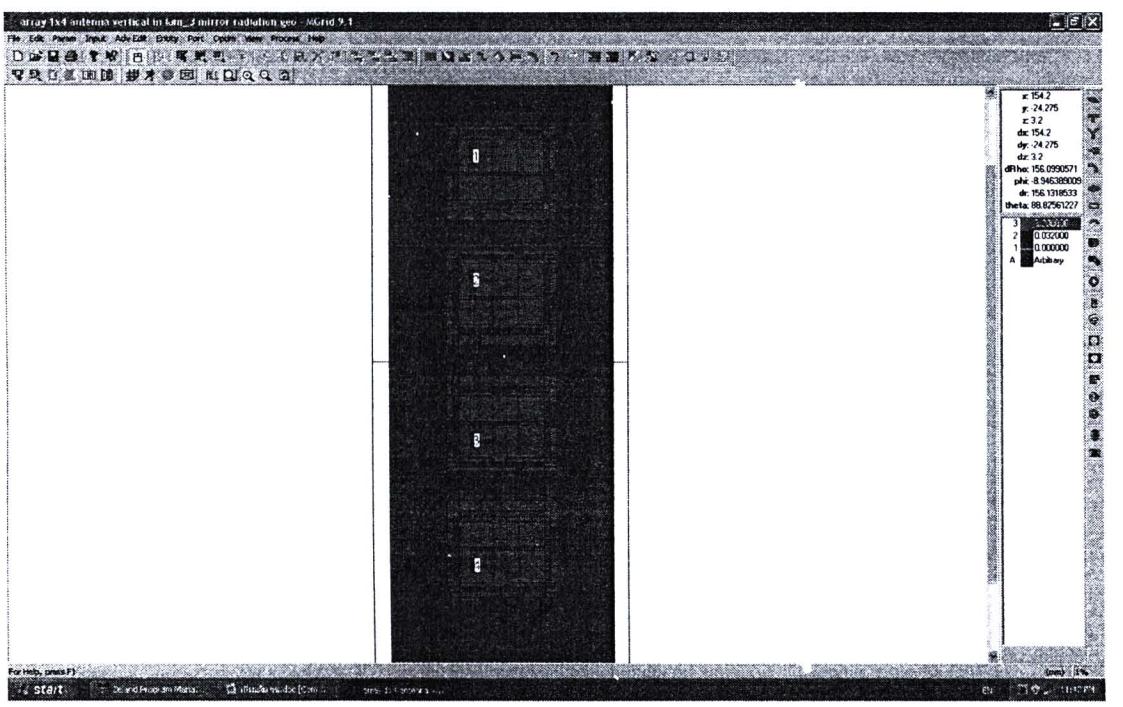
(ข)ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศรูปแบบ ข

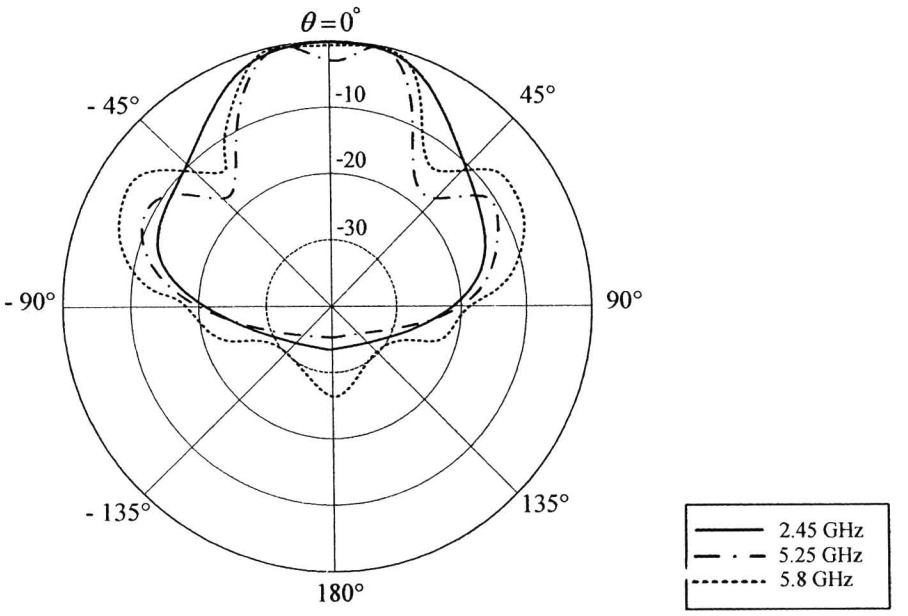


รูปที่ 4.7 การจัดวางแถวลำดับของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ

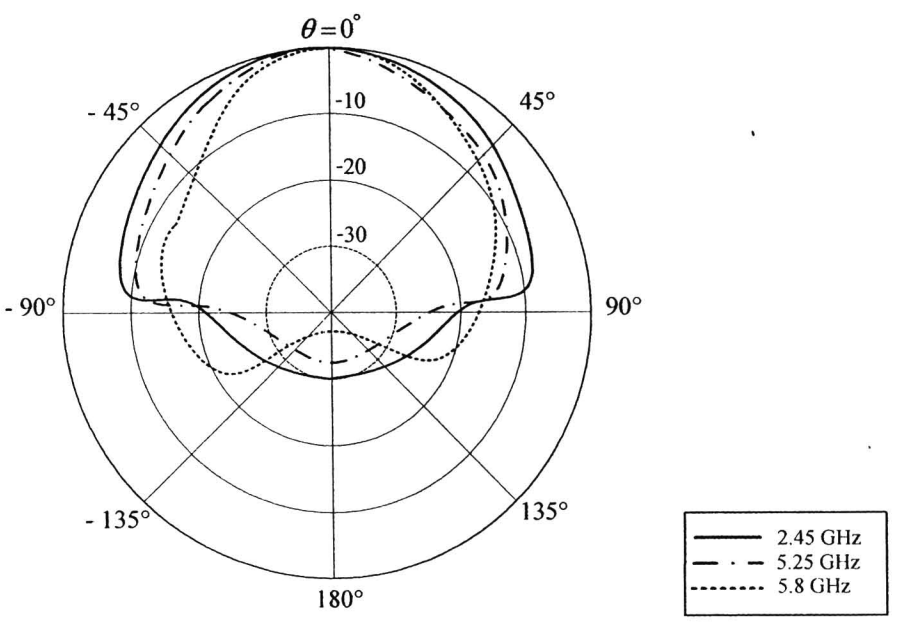
จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิดโหลดในแต่ละด้านของสายอากาศ ทำให้ได้แนวคิดในการปรับปรุงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิดโหลดแบบไม่สมดุลแบบ 1×4 โดยทำการจัดวางสายอากาศไมโครสตริปดังรูปที่ 4.7 เป็นสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ จากรูปที่ 4.8 แสดงการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D จากการจำลองผลพบว่า สายอากาศแถวลำดับต้นแบบมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่สมมาตรทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ 4.9 มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่มีค่าต่ำกว่า -10 dB ในสามแถบความถี่ใช้งาน ได้แก่ แถบความถี่ที่ 2.45 GHz มีความกว้างแถบ 100 MHz (2.41-2.51 GHz) แถบความถี่ที่ 5.25 GHz มีความกว้างแถบ 160 MHz (5.22-5.38 GHz) และแถบความถี่ที่ 5.8 GHz มีความกว้างแถบ 400 MHz (5.54-5.94 GHz) ซึ่งสอดคล้องกับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่มีค่าต่ำกว่า 2 ในสามแถบความถี่ใช้งานเช่นกัน แสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ สำหรับค่าความต้านทานด้านเข้าและค่ารีแอกแตนซ์ด้านเข้าของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบพบว่ามีค่าประมาณ 50 โอห์ม และ 0 โอห์ม ในสามแถบความถี่ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ และค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบแสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.8 การจำลองผลสายอากาศแถวลำดับต้นแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D

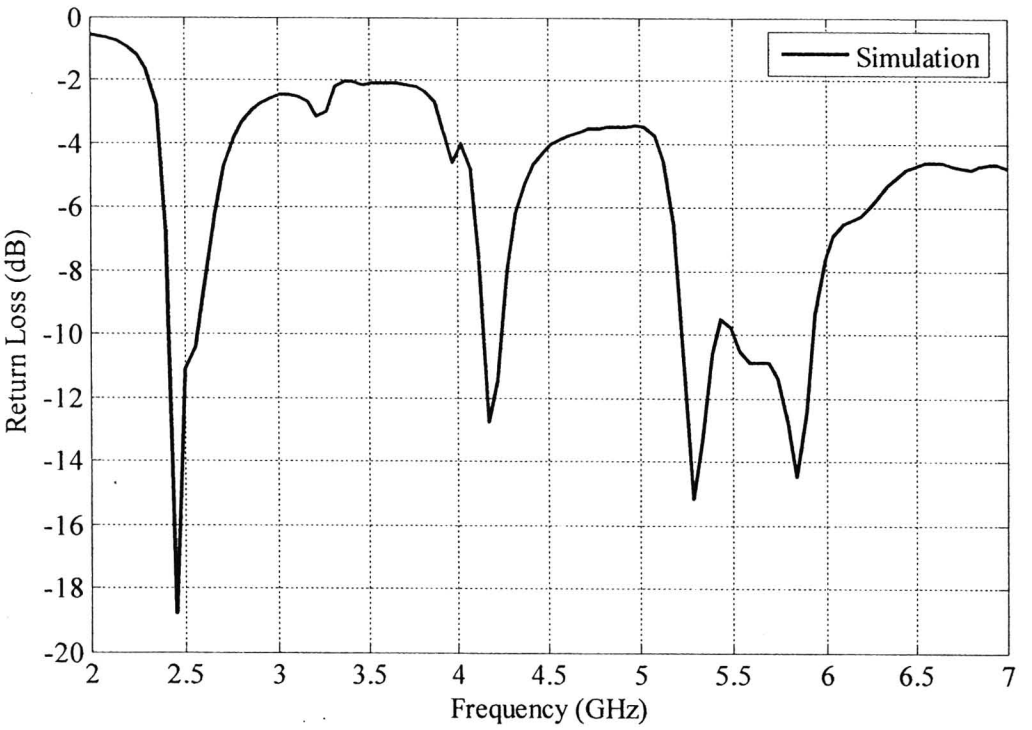


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

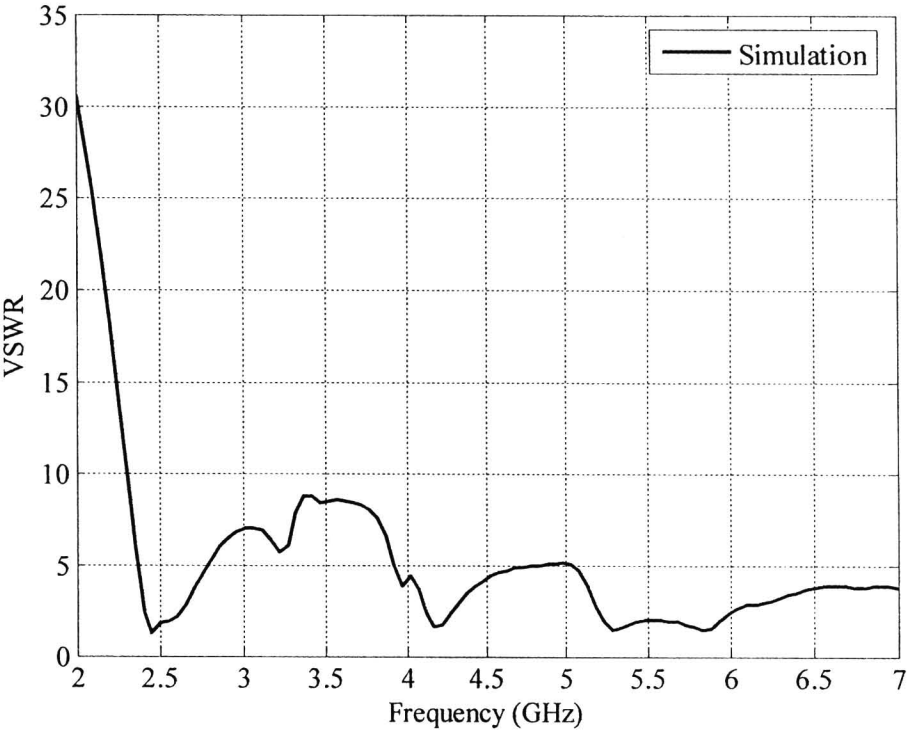


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

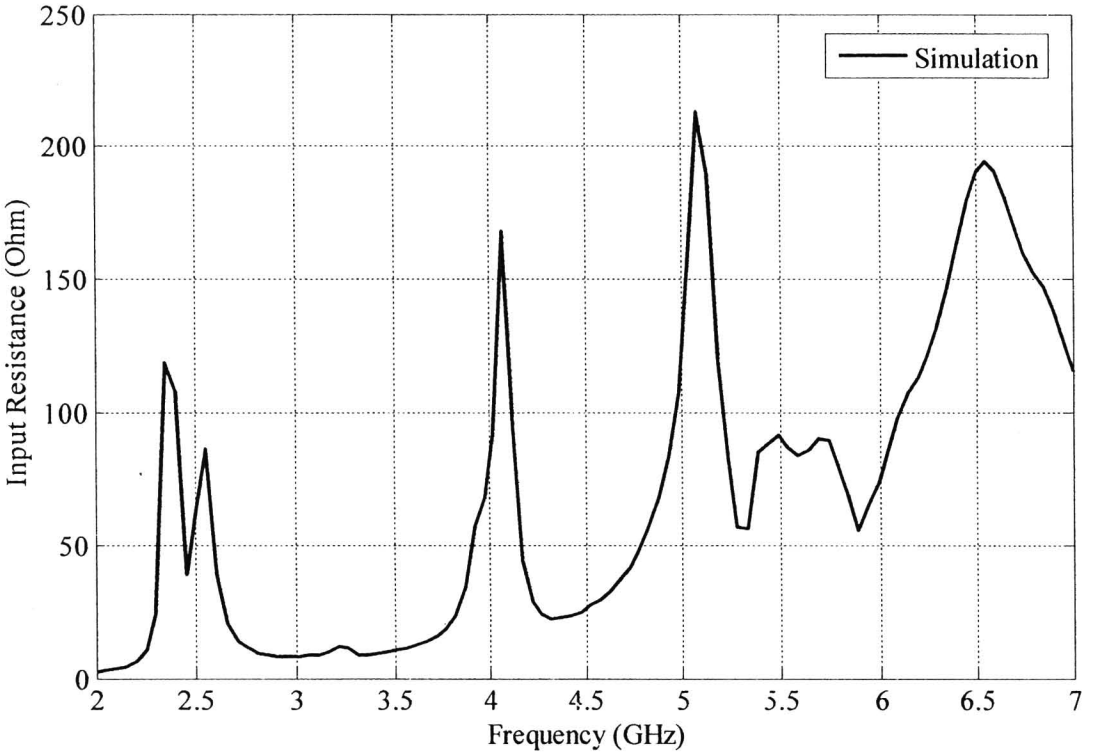
รูปที่ 4.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ



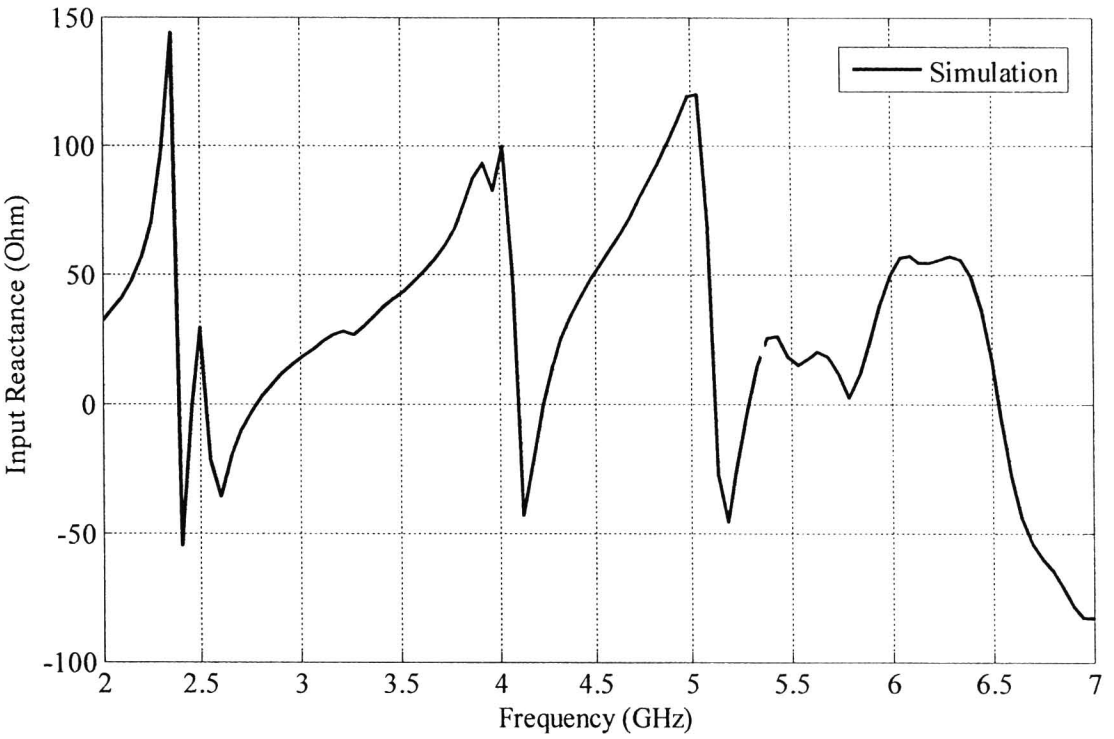
รูปที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ
จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D



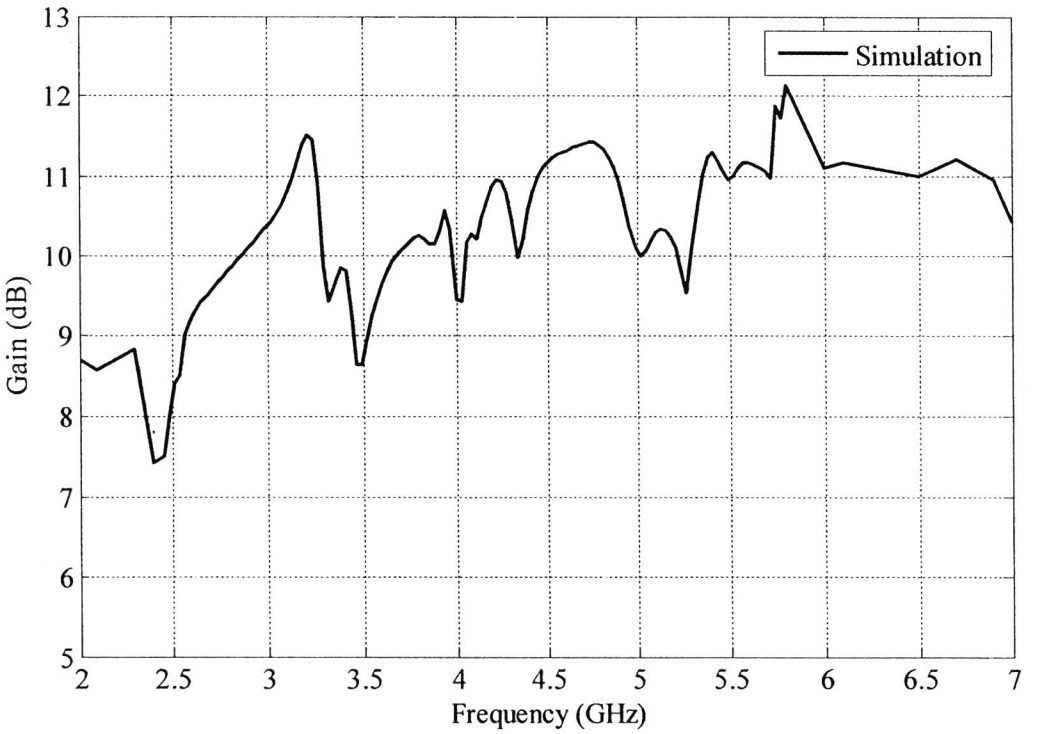
รูปที่ 4.11 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งสายอากาศแถวลำดับต้นแบบจากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D



รูปที่ 4.12 ค่าความต้านทานด้านเข้าของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ
จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D



รูปที่ 4.13 ค่ารีแอกแตนซ์ด้านเข้าของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบ
จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D



รูปที่ 4.14 ค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบจากการจำลองผล
ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D

ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับต้นแบบจากการจำลองผลด้วยโปรแกรม
สำเร็จรูป IE3D

ความถี่ (GHz)	อัตราขยาย (dB)
2.45	7.5
5.25	9.6
5.80	12.2

จากหัวข้อที่กล่าวข้างต้น ทำให้ได้สายอากาศแถวลำดับโดยใช้ไมโครสตริปด้วยที-สลิดโหลดแบบไม่สมดุลเป็นสายอากาศแถวลำดับต้นแบบที่มีอัตราขยายด้านหน้าและมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่สมมาตรทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ซึ่งตรงกับวัตถุประสงค์ในการออกแบบเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบเครื่อข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ต้องการพื้นที่ให้บริการครอบคลุมเป็นบริเวณกว้างในระนาบอะซิมุธ จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนในการสร้างสายอากาศแถวลำดับต้นแบบซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในบทที่ 5

4.4 สรุป

สำหรับการออกแบบสายอากาศแถวลำดับให้อัตราขยายด้านหน้าโดยใช้แผ่นไมโครสตริปด้วยที-สลิดโหลดแบบไม่สมดุล ให้เป็นไปตามวัตุประสงค์นั้น ขั้นตอนแรกได้ทำการออกแบบรูปแบบของการจัดแถวลำดับเพื่อให้สายอากาศมีอัตราขยายสูง จากนั้นปรับระยะห่างระหว่างสายอากาศของสายอากาศแถวลำดับเพื่อให้มีระดับโหลบข้างที่ต่ำ และในขั้นตอนสุดท้ายคือ ปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสลิดโหลดในแต่ละด้านของสายอากาศเพื่อให้สายอากาศมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่สมมาตร โดยได้ทำการจำลองโครงสร้างสายอากาศด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D ซึ่งเป็นโปรแกรมการแก้ปัญหาทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อศึกษาความเป็น ไปได้ของสายอากาศ ก่อนที่จะได้ทำการสร้างสายอากาศแถวลำดับต้นแบบขึ้นมา