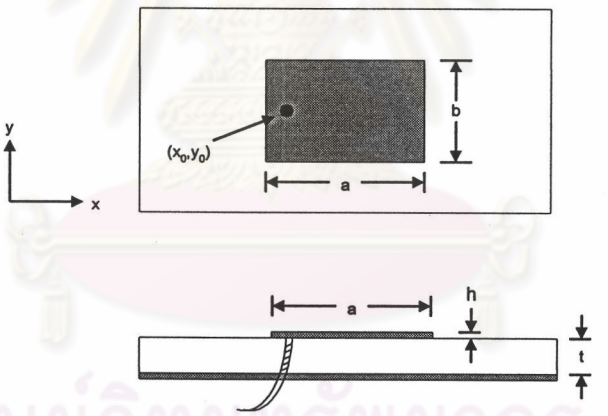
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

บทนี้นำเสนอผลที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปและแผงสายอากาศไมโครสตริปด้วยแบบจำลองชนิดโพรงตามขั้นตอนการวิเคราะห์ในบทที่ 2 และ 3 โดยใช้โปรแกรมแมทแคด (Mathcad) เวอร์ชัน 6.0 พลัสและโปรแกรมแมทแลบ (Matlab) เวอร์ชัน 4.2 c ซึ่งเป็นโปรแกรมแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์บนวินโดว์ 3.11 มาใช้ในการประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพีซีที่มีซีพียูคือเพนเทียม 120 หน่วยความจำหลัก 32 เมกกะไบต์และเนื้อที่ว่างบนฮาร์ดดิสท์ 120 เมกกะไบต์จากเนื้อที่ทั้งหมด 560 เมกกะไบต์

<u>การทวนสอบวิธีการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองชนิดโพรง</u>

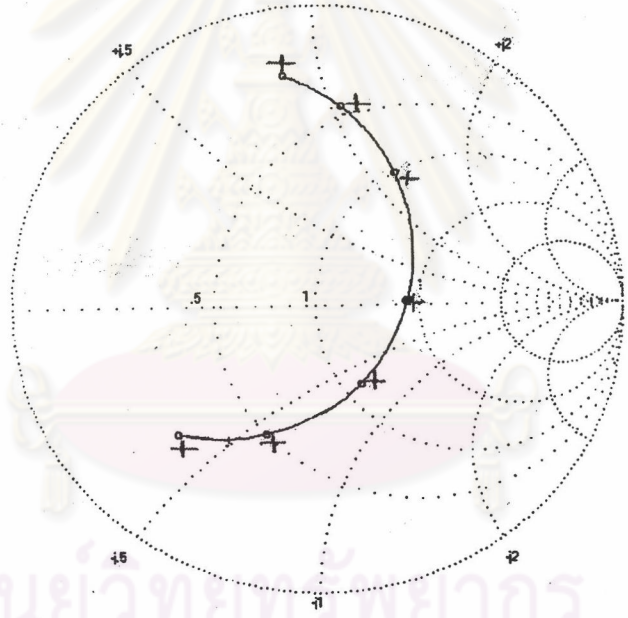


รูป 4.1 ระบบพิกัดของสายอากาศที่ศึกษา

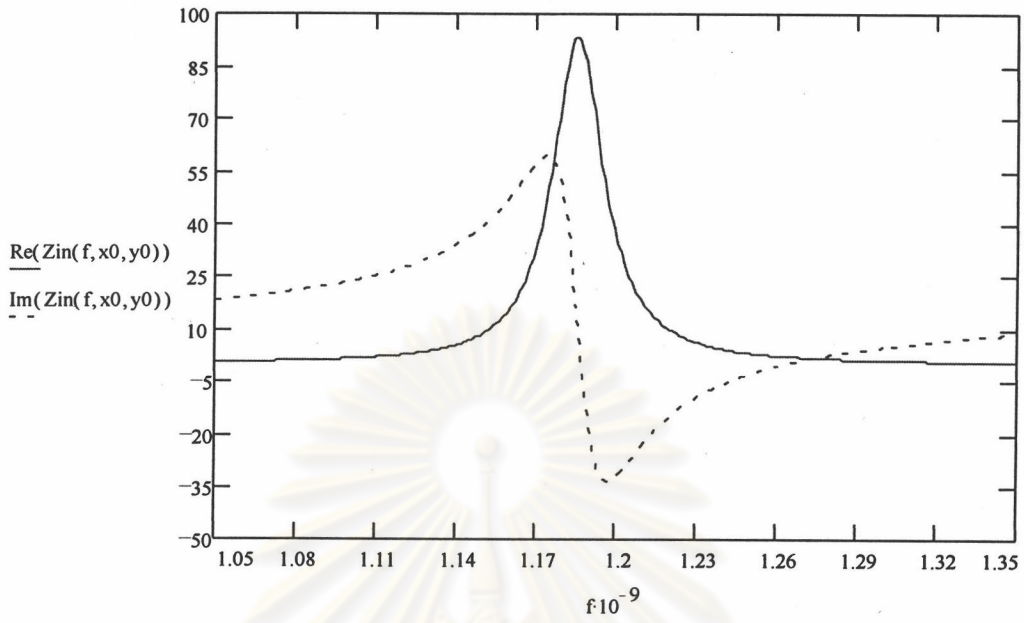
สายอากาศที่ใช้ในการทวนสอบนี้เป็นสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากที่มีระบบพิกัดดังรูป 4.1

1. <u>สายอากาศสำหรับการทวนสอบแบบที่ 1</u> สายอากาศที่ใช้ทวนสอบนี้เป็นสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำงานในย่านความถี่แอ็ล ขนาดแผ่นสายอากาศ axb เท่ากับ 7.6x11.43 ซม.^{2} ความหนาของแผ่นฐานไดอิเล็กตริก t มีค่าเท่ากับ 0.159 ซม. ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ε_r และค่าแทนเจนต์การสูญเสีย tanδ มีค่าเท่ากับ 2.64 และ 0.003 ตามลำดับ ใช้ระบบป้อนกำลังแบบสายแกนร่วมซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าเท่ากับ d_0 เท่ากับ 0.127 ซม. จ่ายกระแส ณ ตำแหน่ง (x_0,y_0) เท่ากับ (0.76 ซม., 6.1 ซม.) ดังรูป 4.1

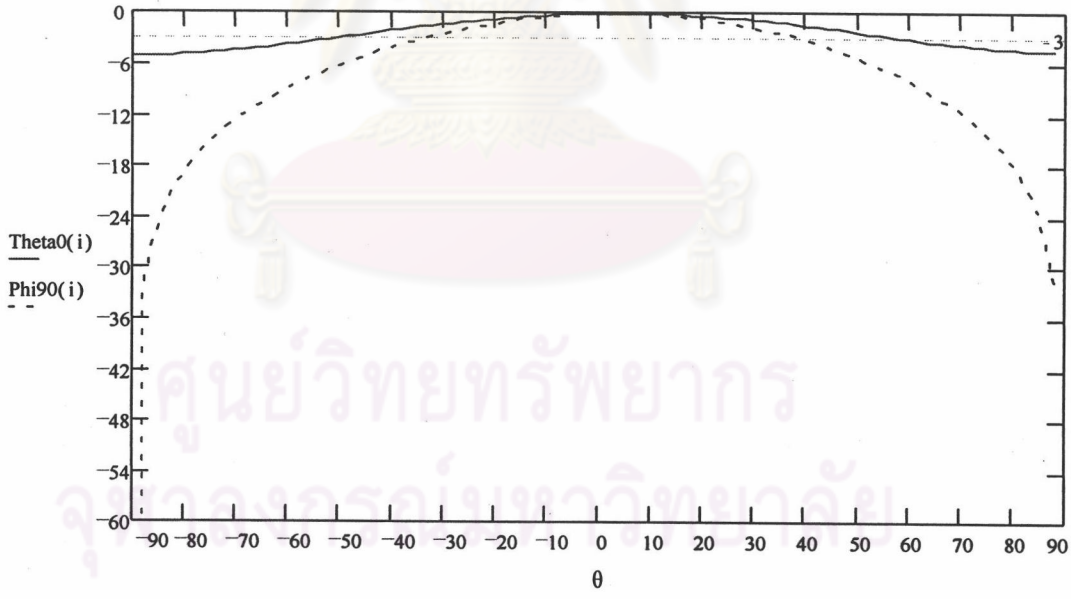
Deshpande และ Bailey (1982) ได้ใช้วิธีเชิงเลขหาค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศซึ่งได้ผลดังรูป 4.2 (เส้น +) และได้ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศมีค่าประมาณ 1.188 จิกะเฮิรตซ์ โดยที่ผลจากแบบจำลองชนิดโพรง (รูป 4.2 เส้น —) ได้ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศมีค่าประมาณ 1.187 จิกะเฮิรตซ์ และอิมพีแดนซ์ขาเข้าที่ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าเท่ากับ 91.3 โอห์ม ซึ่งประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ โหมดกระแสตรง โหมดเด่นคือโหมด (1,0) โหมด (0,1) และโหมดอันดับสูงมีค่าเท่ากับ 0.003-j1.047, 91.298-j13.391, 0.002-j0.043 และ 0.004-j0.043 ตามลำดับ ส่วนในรูป 4.3 และ 4.4 เป็นอิมพีแดนซ์ขาเข้าเทียบกับความถี่ของสายอากาศและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองชนิดโพรงตามลำดับ โดยที่แบบรูปการแผ่พลังงานมีค่าความกว้างลำเท่ากับ 90 และ 70 องศาในระนาบ 0 และ 90 องศาตามลำดับ



รูป 4.2 อิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 1
— ผลที่ได้จากแบบจำลองชนิดโพรง
+ ที่มา: Deshpande และ Bailey (1982)



รูป 4.3 อิมพีแดนซ์ขาเข้าเทียบกับความถี่ของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 1
ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองชนิดโพรง

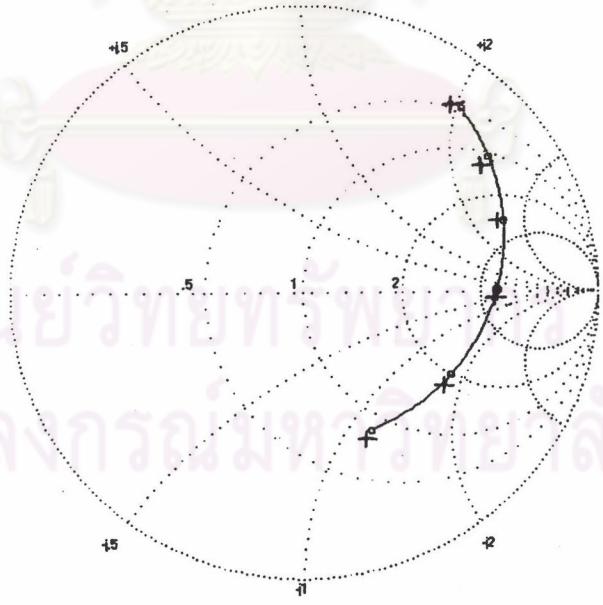


รูป 4.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 1
ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองชนิดโพรง

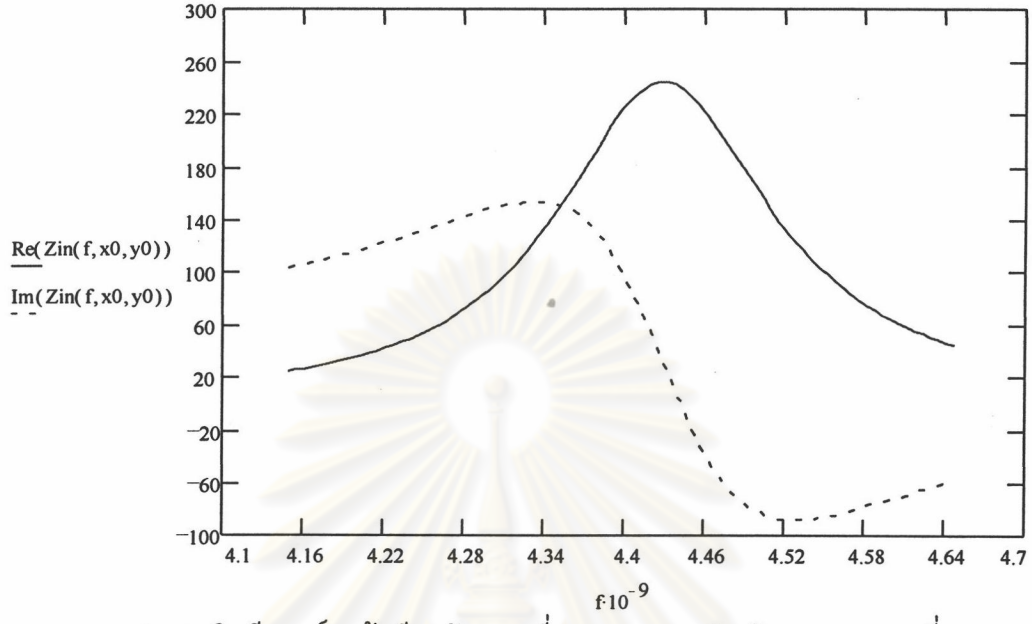
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. <u>สายอากาศสำหรับการทวนสอบแบบที่ 2</u> สายอากาศที่ใช้ทวนสอบนี้เป็นสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทำงานในย่านความถี่ซี ขนาดแผ่นสายอากาศ axb เท่ากับ 2.01x2.01 ซม.^{2} ความหนาของแผ่นฐานไดอิเล็กตริก t มีค่าเท่ากับ 0.159 ซม. ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ε_r และค่าแทนเจนต์การสูญเสีย $\tan\delta$ มีค่าเท่ากับ 2.55 และ 0.002 ตามลำดับ ใช้ระบบป้อนกำลังชนิดสายแกนร่วมซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าเท่ากับ d_0 เท่ากับ 0.127 ซม. จ่ายกระแส ณ ตำแหน่ง (x_0,y_0) เท่ากับ (0.13 ซม., 1.01 ซม.)

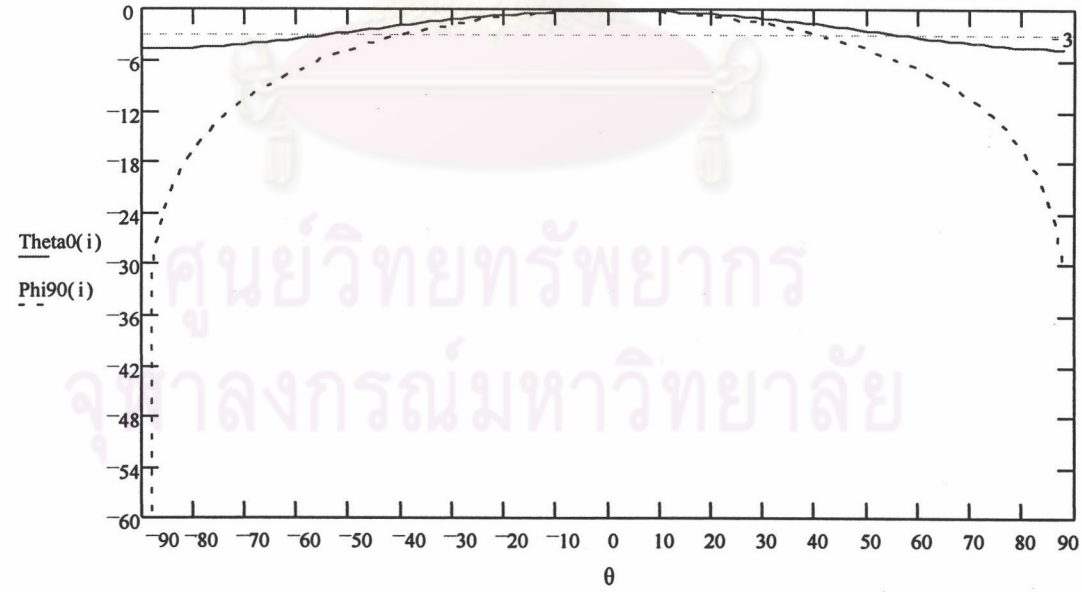
Deshpande และ Bailey (1982) ได้ใช้วิธีเชิงเลขหาค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศซึ่งได้ผลดังรูป 4.5 (เส้น +) และได้ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศมีค่าประมาณ 4.43 จิกะเฮิรตซ์ โดยที่ผลจากแบบจำลองชนิดโพรง (รูป 4.5 เส้น —) ได้ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศมีค่าประมาณ 4.44 จิกะเฮิรตซ์ และอิมพีแดนซ์ขาเข้าที่ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าเท่ากับ 239.7 โอห์ม ซึ่งประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ โหมดกระแสตรง โหมดเด่นคือโหมด (1,0) โหมด (0,1) และโหมดอันดับสูงมีค่าเท่ากับ 0.012-j6.245, 239.6-j29.893, 0.015-j0.002 และ 0.004+j17.436 ตามลำดับ ส่วนในรูป 4.6 และ 4.7 เป็นอิมพีแดนซ์ขาเข้าเทียบกับความถี่ของสายอากาศและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 2 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองชนิดโพรงตามลำดับ โดยที่แบบรูปการแผ่พลังงานมีค่าความกว้างลำเท่ากับ 90 และ 70 องศาในระนาบ 0 และ 90 องศาตามลำดับ



รูป 4.5 อิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 2
— ผลที่ได้จากแบบจำลองชนิดโพรง
+ ที่มา: Deshpande และ Bailey (1982)



รูป 4.6 อิมพีแดนซ์ขาเข้าเทียบกับความถี่ของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 2
ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองชนิดโพรง

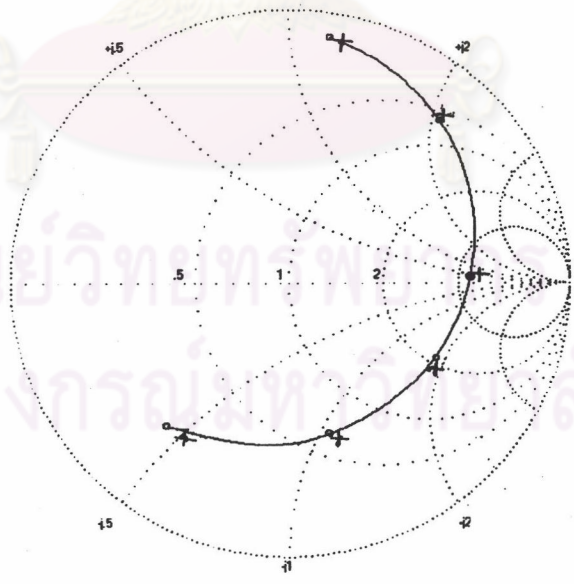


รูป 4.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 2
ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองชนิดโพรง

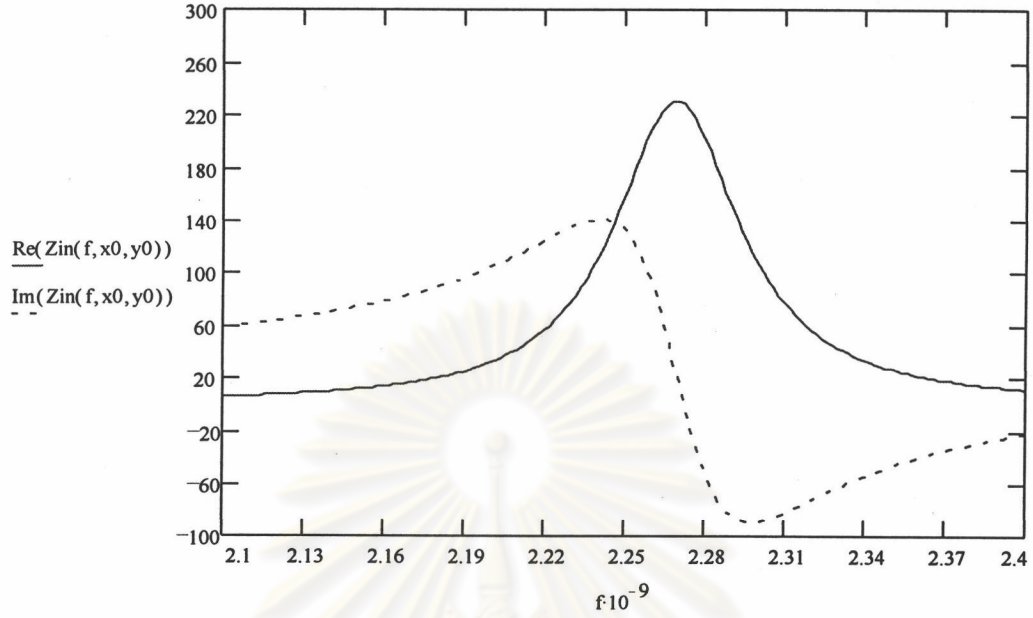
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. <u>สายอากาศสำหรับการทวนสอบแบบที่ 3</u> สายอากาศที่ใช้ทวนสอบนี้เป็นสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทำงานในย่านความถี่เอส ขนาดแผ่นสายอากาศ axb เท่ากับ 4.02x4.02 ซม.^{2} ความหนาของแผ่นฐานไดอิเล็กตริก t มีค่าเท่ากับ 0.159 ซม. ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ε_r และค่าแทนเจนต์การสูญเสีย $\tan\delta$ มีค่าเท่ากับ 2.55 และ 0.002 ตามลำดับ ใช้ระบบป้อนกำลังแบบสายนำสัญญาณไมโครสตริปที่มีอิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติ 50 โอห์ม กว้าง 0.45 ซม. และจ่ายกระแส ณ ตำแหน่ง (x_0,y_0) เท่ากับ (0, b/2) แต่จะไม่คิดถึงผลของสายนำสัญญาณ และในการวิเคราะห์จะใช้ระบบป้อนกำลังแบบสายแกนร่วมซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าเท่ากับ d_0 เท่ากับ 0.127 ซม. จ่ายกระแส ณ ตำแหน่งเดียวกัน

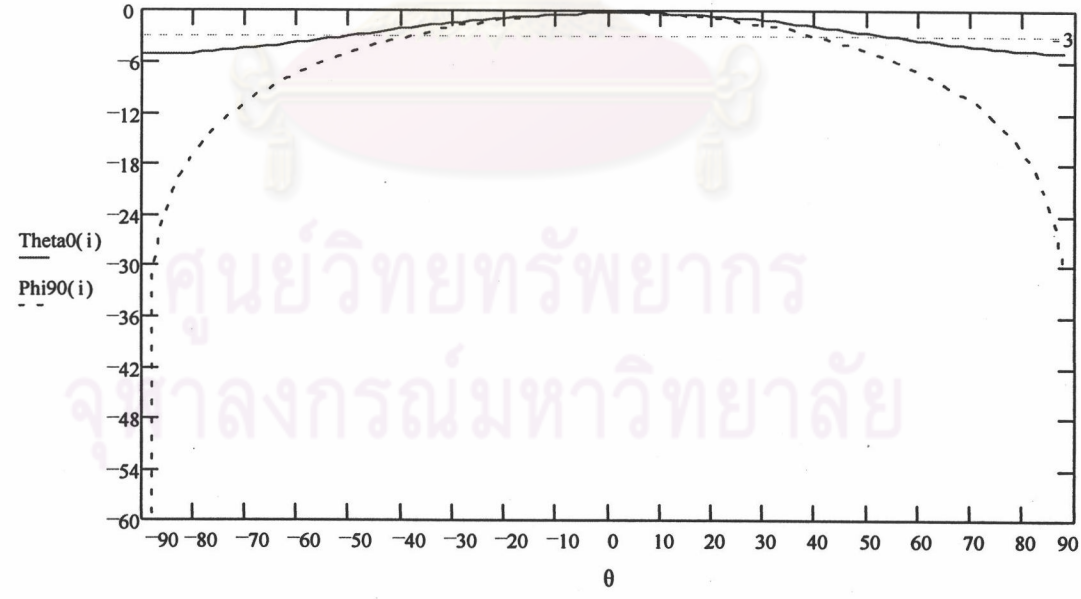
สายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 3 Pozar (1982) ใช้วิธีโมเมนต์ในการวิเคราะห์ผลเทียบกับการวัดดังรูป 4.8 (เส้น +) และได้ค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศมีค่าประมาณ 2.28 จิกะเฮิรตซ์ และที่ความถี่เรโซแนนซ์นี้อิมพีแดนซ์ขาเข้ามีค่าประมาณ 240 โอห์ม โดยที่ผลจากแบบจำลองชนิดโพรง (รูป 4.8 เส้น —) ได้ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศมีค่าประมาณ 2.27 จิกะเฮิรตซ์ และอิมพีแดนซ์ขาเข้าที่ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าเท่ากับ 227.9 โอห์ม ซึ่งประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ โหมดกระแสตรง โหมดเด่นคือโหมด (1,0) โหมด (0,1) และโหมดอันดับสูงมีค่าเท่ากับ 0.006-j3.05 227.882-j28.384 0.013-j0.0004 และ 0.002+j14.693 ตามลำดับ ส่วนในรูป 4.9 และ 4.10 เป็นอิมพีแดนซ์ขาเข้าเทียบกับความถี่ของสายอากาศและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองชนิดโพรงตามลำดับ โดยที่แบบรูปการแผ่พลังงานมีค่าความกว้างลำเท่ากับ 100 และ 80 องศาในระนาบ 0 และ 90 องศาตามลำดับ



รูป 4.8 อิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 3
— ผลที่ได้จากแบบจำลองชนิดโพรง
+ ที่มา: Pozar (1982)



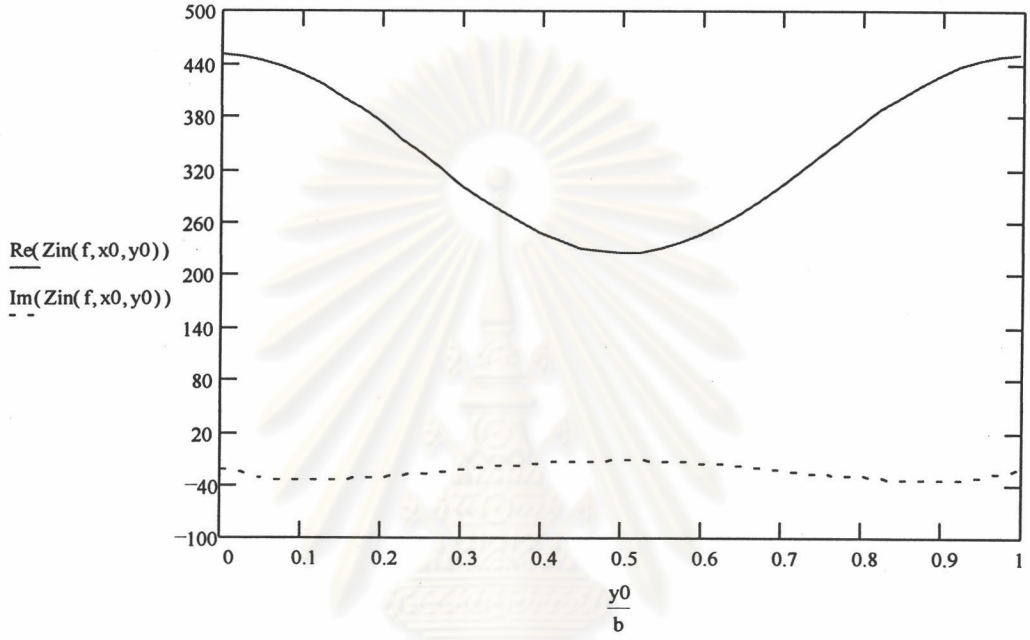
รูป 4.9 อิมพีแดนซ์ขาเข้าเทียบกับความถี่ของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 3
ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองชนิดโพรง



รูป 4.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 3
ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองชนิดโพรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 <u>การวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งการจ่ายกระแส</u> ในหัวข้อนี้จะศึกษาผลที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งการจ่ายกระแส โดยศึกษาที่ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศ ในกรณีที่การเปลี่ยนตำแหน่งยังคงอยู่บนด้านเดิมคือที่ $(0,y_0)$ หรืออยู่ด้านตรงข้ามคือ (a,y_0) ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์ขาเข้ากับตำแหน่งบนแนวแกน y เป็นดังรูป 4.11



รูป 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์ขาเข้ากับตำแหน่งการจ่ายกระแสตามแนวแกน y ของสายอากาศไมโครสตริปสำหรับทวนสอบแบบที่ 3 เมื่อตำแหน่งในแนวแกน x มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 4.02 ซม.

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.11 จะได้ลักษณะสมบัติของสายอากาศดังนี้

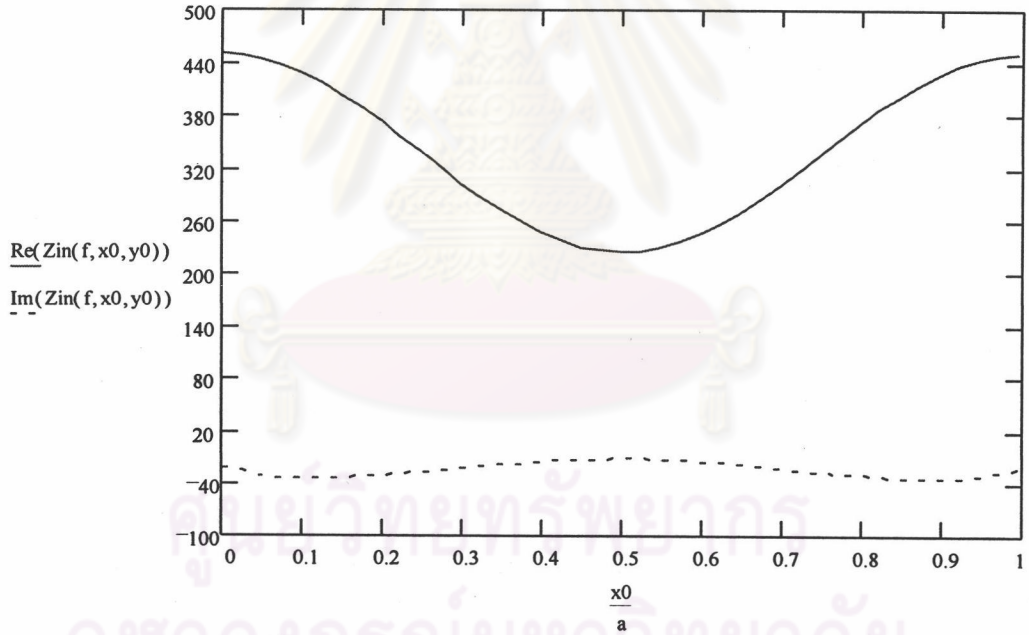
- อิมพีแดนซ์ขาเข้าที่ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าสูงกว่า 227.9 โอห์ม เนื่องจากค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากโหมด (0,1) ที่ถูกกระตุ้นให้มีการแผ่พลังงานออกมาได้ ทำให้ความต้านทานของสายอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น

ในกรณีที่การเปลี่ยนตำแหน่งไปอยู่บนระนาบ x ใดๆ คือที่ $(x_0,0)$ หรืออยู่ด้านตรงข้ามคือ (x_0,b) ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์ขาเข้ากับตำแหน่งบนแนวแกน x เป็นดังรูป 4.12 ซึ่งอิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศเปลี่ยนแปลงดังนี้

- โหมดเด่นของสายอากาศเปลี่ยนเป็นโหมด (0,1) ทำให้โพลาไรเซชันของสายอากาศเปลี่ยนจากแบบเชิงเส้นในแนวแกน y เป็นโพลาไรเซชันแบบเชิงเส้นในแนวแกน x

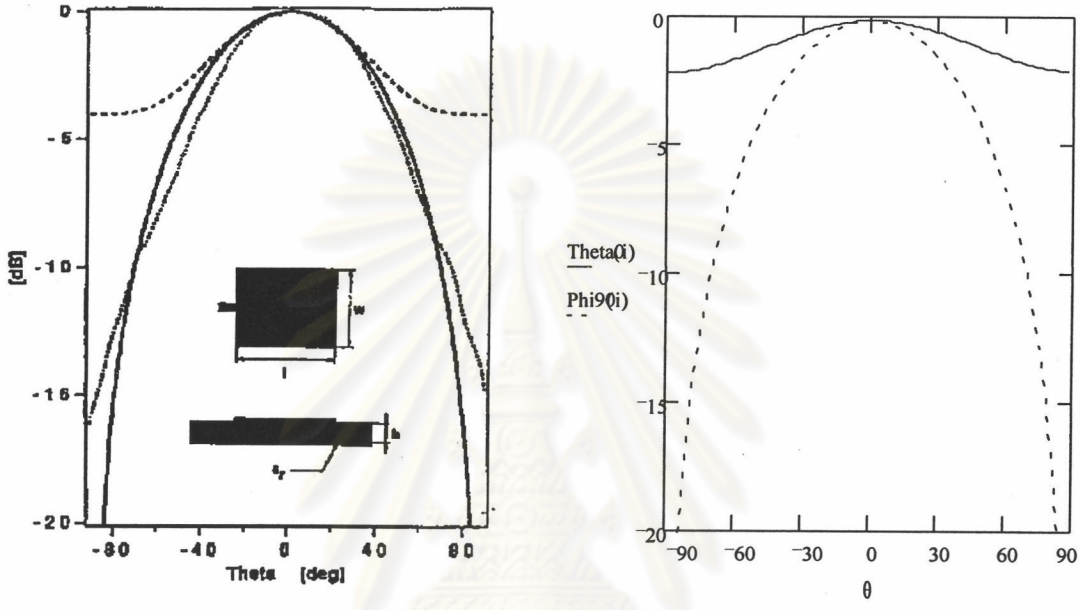
- อิมพีแดนซ์ขาเข้าที่ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าสูงกว่า 227.9 โอห์ม เนื่องจากค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากโหมด (1,0) ที่ถูกกระตุ้นให้มีการแผ่พลังงานออกมาได้ ทำให้ความต้านทานของสายอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น

จากรูป 4.11 และ 4.12 จะเห็นว่าเมื่อจุดจ่ายกระแสเปลี่ยนจากจุดกึ่งกลางของด้านที่มีการแผ่พลังงานจะทำให้เกิดการแผ่พลังงานจากโหมดที่ตั้งฉากกับโหมดเด่นทำให้อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศมีค่าสูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลงเนื่องจากมีการสูญเสียพลังงานในโหมดอื่นนอกจากโหมดเด่นที่ต้องการ ในกรณีที่จุดจ่ายกระแสห่างจากจุดกึ่งกลางด้านที่มีการแผ่พลังงานมากจะส่งผลให้ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศมีค่าเปลี่ยนไปด้วยเนื่องจากค่ารีแอกแตนซ์ที่สูงขึ้น ดังนั้นเพื่อลดการสูญเสียและโพลาไรเซชันไขว้จากโหมดที่ตั้งฉากกับโหมดเด่น การจ่ายกระแสให้แก่สายอากาศไมโครสตริปจึงควรกระทำที่บริเวณจุดกึ่งกลางของด้านที่มีการแผ่พลังงานซึ่งจากรูป 4.11 และ 4.12 จุดที่เหมาะสมในกรณีนี้คือที่บริเวณ 0.45 - 0.55 ของความยาวด้าน



รูป 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์ขาเข้ากับตำแหน่งการจ่ายกระแสตามแนวแกน x ของสายอากาศไมโครสตริปสำหรับทวนสอบแบบที่ 2 เมื่อตำแหน่งในแนวแกน y มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 4.02 ซม.

4. <u>สายอากาศสำหรับการทวนสอบแบบที่ 4</u> สายอากาศที่ใช้ทวนสอบนี้เป็นสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทำงานที่ความถี่ 5.3 จิกกะเฮิร์ต ขนาดแผ่นสายอากาศ axb เท่ากับ 1.712x1.712 ซม.^{2} ความหนาของแผ่นฐานไดอิเล็กตริก t มีค่าเท่ากับ 1.575 มม. ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ε มีค่าเท่ากับ 2.33 และจ่ายกระแส ณ ตำแหน่ง (x_0,y_0) เท่ากับ (0, b/2)



(ก) (ข)

รูป 4.13 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสำหรับทวนสอบแบบที่ 4

(ก) ที่มา: Martin Gimersky และ Jens Bornemann (1992)

(ข) จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองชนิดโพรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ผลกระทบของปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่มีต่อแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริป

ในหัวข้อนี้จะศึกษาพฤติกรรมของปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่มีต่อแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริป ซึ่งจะแบ่งลักษณะของแผงสายอากาศออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบ แต่จะมีลักษณะการวางตัวขององค์ประกอบแตกต่างกันไปเป็น 3 กรณี และแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบวางตัวอยู่ในระนาบเดียวกันโดยมีลักษณะการวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส ($3x3$)

5.1 แผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบ

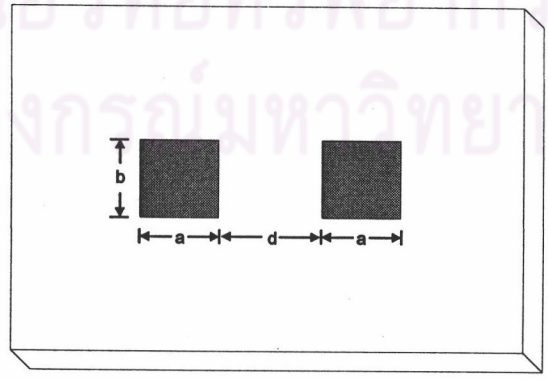
จากหัวข้อต่าง ๆ ข้างต้นนั้นเป็นการทวนสอบวิธีการวิเคราะห์ จึงนำเอาขนาดและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 และสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 มาใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิง โดยที่สายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 นั้นมีลักษณะของแผ่นตัวนำเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า (7.62×11.43 ซม.^{2})และสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 นั้นมีลักษณะของแผ่นตัวนำเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส (4.02×4.02 ซม.^{2}) โดยนำเอาสายอากาศทวนสอบทั้ง 2 แบบนั้นมาจัดวางตัวในลักษณะแผงสายอากาศต่างกันไปเป็น 3 กรณีคือ

กรณีที่ 1 แผ่นตัวนำในแผงสายอากาศจัดวางตัวในลักษณะวางข้าง ๆ กัน (side by side)

กรณีที่ 2 แผ่นตัวนำในแผงสายอากาศจัดวางตัวในลักษณะวางข้าง ๆ กันแต่อยู่ในลักษณะของบนกับล่าง (collinear)

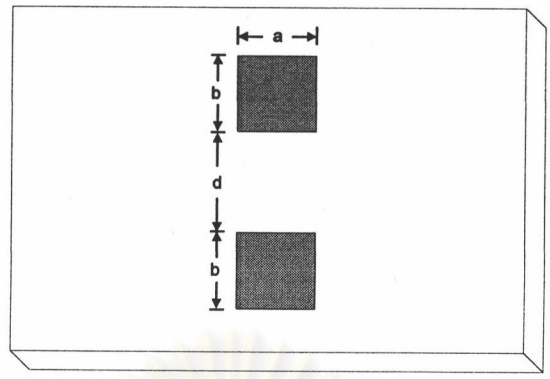
กรณีที่ 3 แผ่นตัวนำในแผงสายอากาศจัดวางตัวในลักษณะวางเป็นขั้นบันไดหรือวางทแยง (straggled หรือ in echelon)

ดังแสดงทั้ง 3 กรณี ดังรูป 4.14

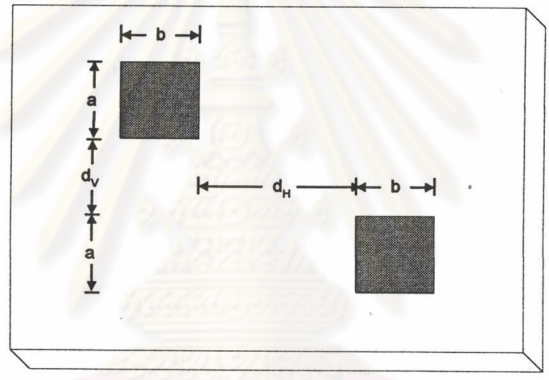


ก. แผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบและมีการจัดวางตัวของแผ่นตัวนำในลักษณะ side by side (กรณีที่ 1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ข. แผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบและมีการจัดวางตัวของแผ่นตัวนำ
ในลักษณะ collinear (กรณีที่ 2)



ค. แผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบและมีการจัดวางตัวของแผ่นตัวนำ
ในลักษณะ straggled หรือ in echelon (กรณีที่ 3)

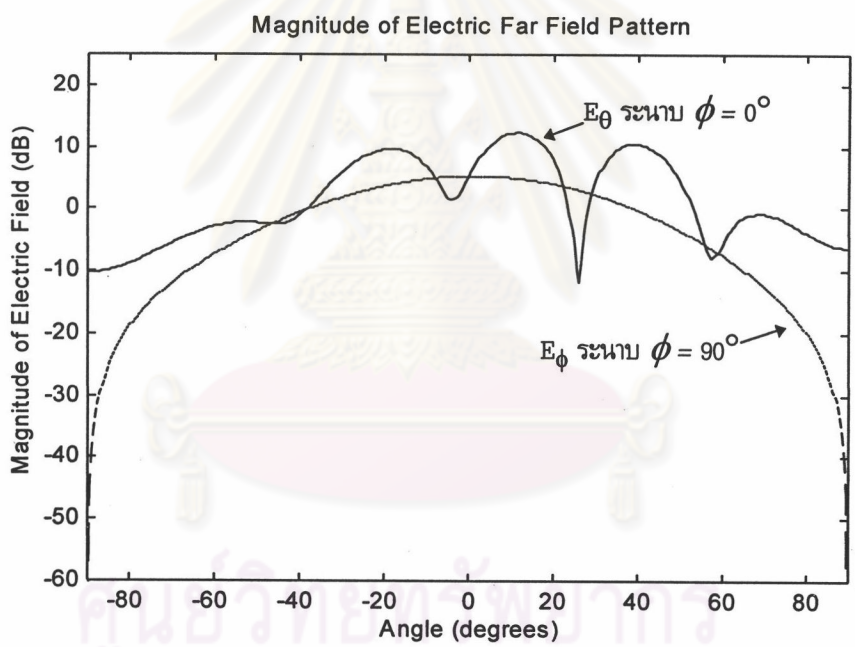
รูป 4.14 การจัดวางตัวของแผ่นตัวนำในแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบ

โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ในบทที่ 2 และ 3 ในการวิเคราะห์แบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง และแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงตามลำดับ และยังรวมถึงการกระจายกระแสซึ่งเกิดมาจากการเหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามที่มาจากการคัปปลิงอีกด้วย

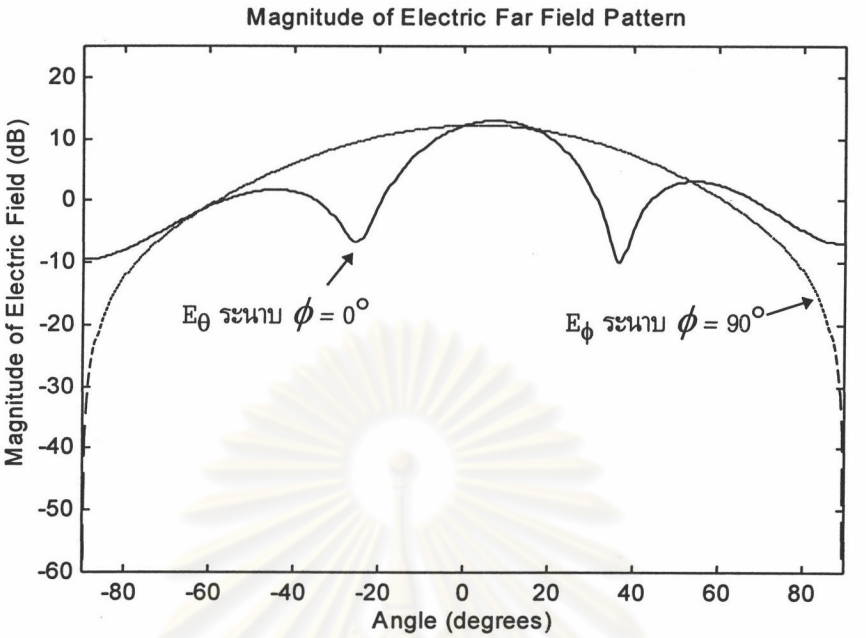
5.1.1 สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 มีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้

สายอากาศมีขนาดแผ่นตัวนำ axb เท่ากับ 7.6x11.43 ซม.^{2} ความหนาของแผ่นฐานไดอิเล็กตริก t มีค่าเท่ากับ 0.159 ซม. ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ε_r และค่าแทนเจนต์การสูญเสีย tanδ มีค่าเท่ากับ 2.64 และ 0.003 ตามลำดับ ใช้ระบบป้อนกำลังแบบสายแกนร่วมซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าเท่ากับ d_0 เท่ากับ 0.127 ซม. จ่ายกระแส ณ ตำแหน่ง (x_0,y_0) ของแต่ละแผ่นตัวนำเท่ากับ (0.76 ซม.,6.1 ซม.) สายอากาศทำงานที่ความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.875 จิกะเฮิรตซ์

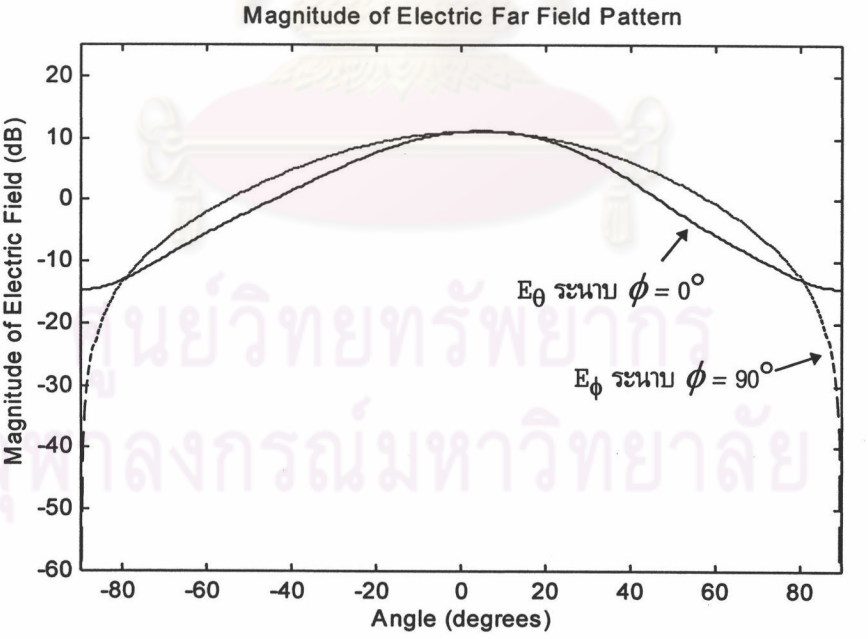
5.1.1.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริป (ไม่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง) ที่มี 2 องค์ประกอบ ทั้ง 3 กรณี สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2})



รูป 4.15 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น

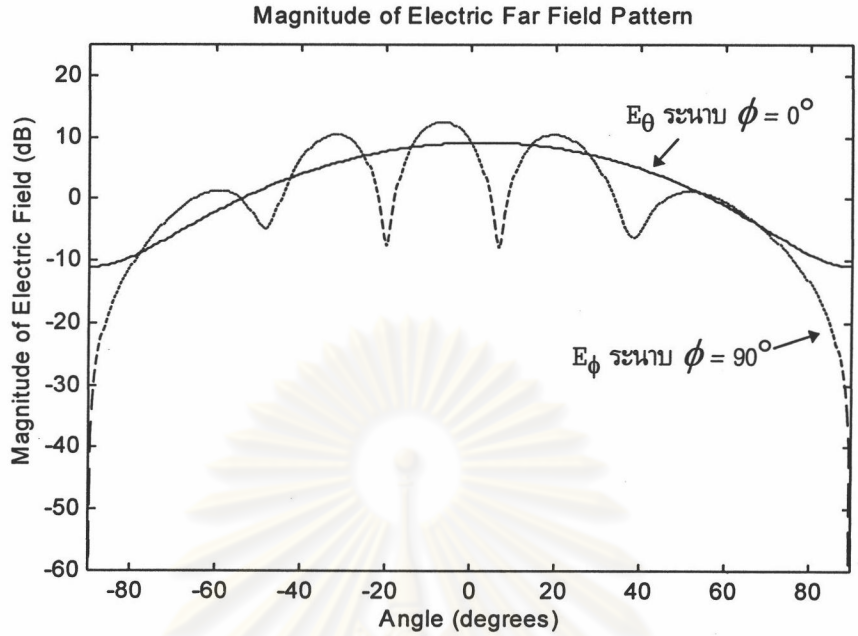


รูป 4.16 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น

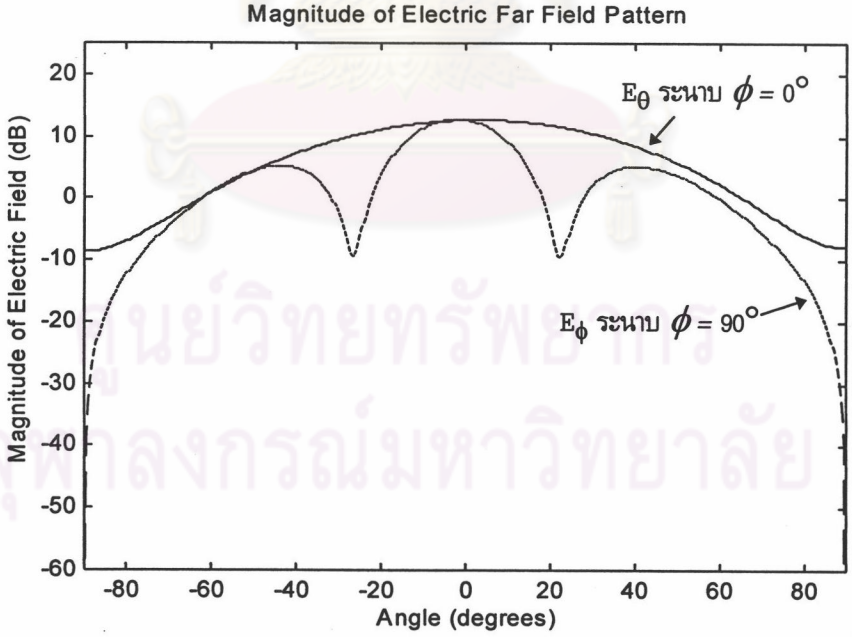


รูป 4.17 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น

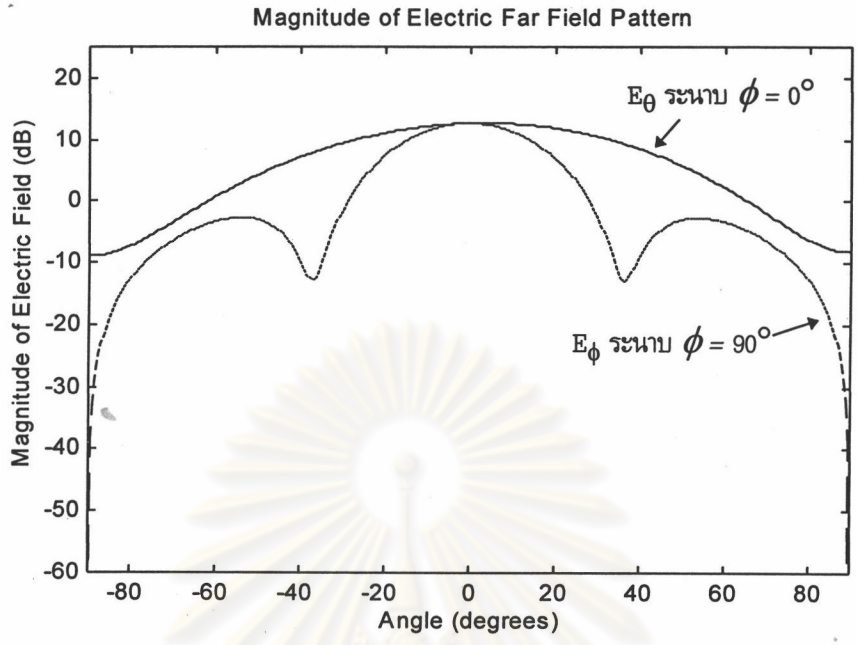
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



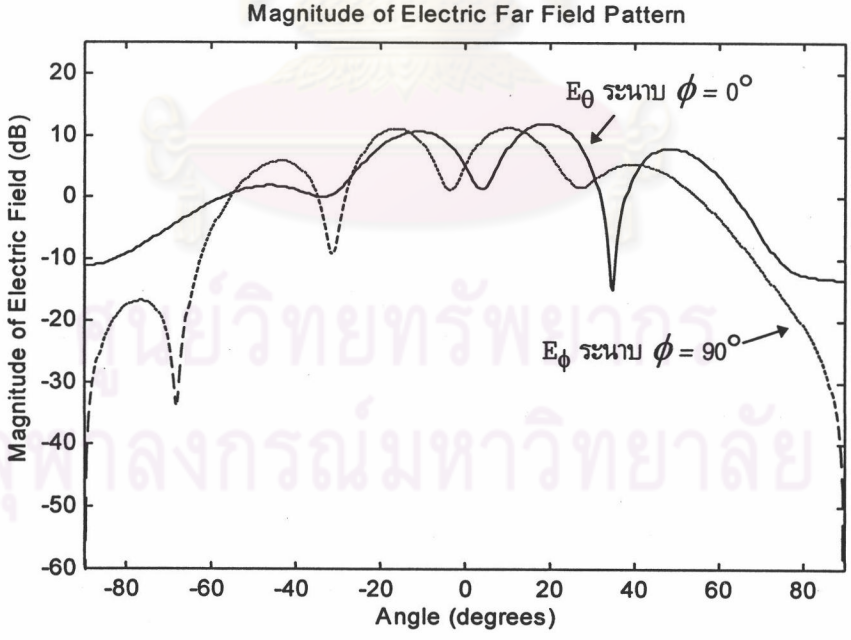
รูป 4.18 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น



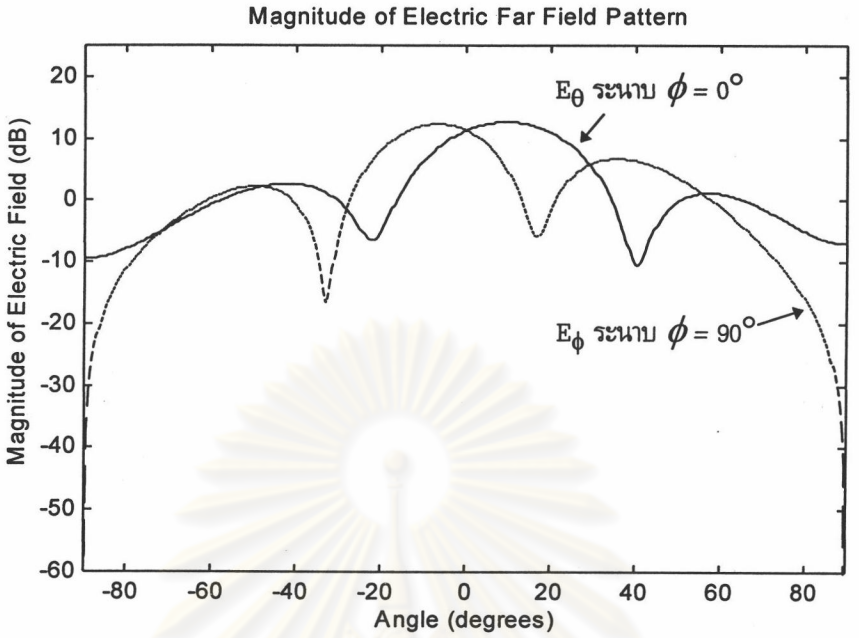
รูป 4.19 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น



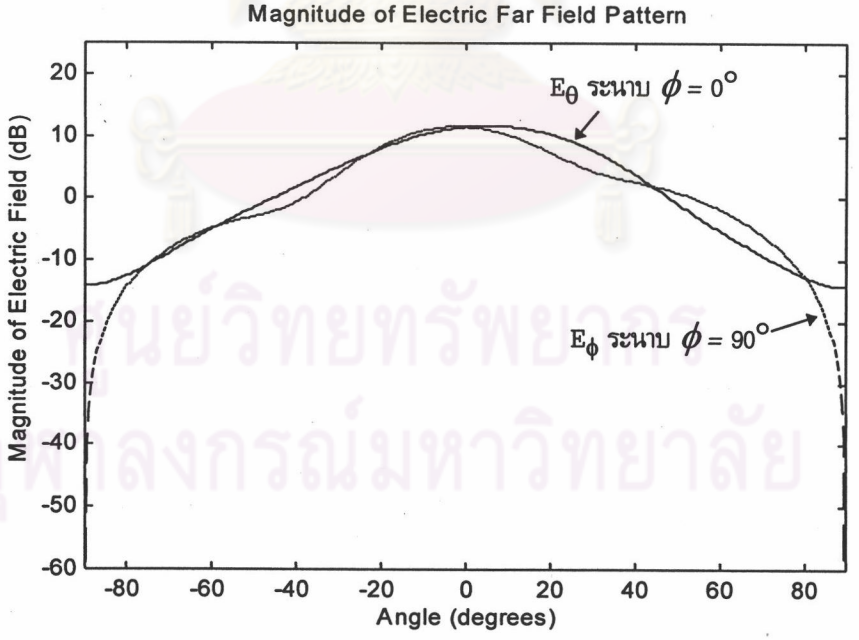
รูป 4.20 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น



รูป 4.21 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น



รูป 4.22 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น



รูป 4.23 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น

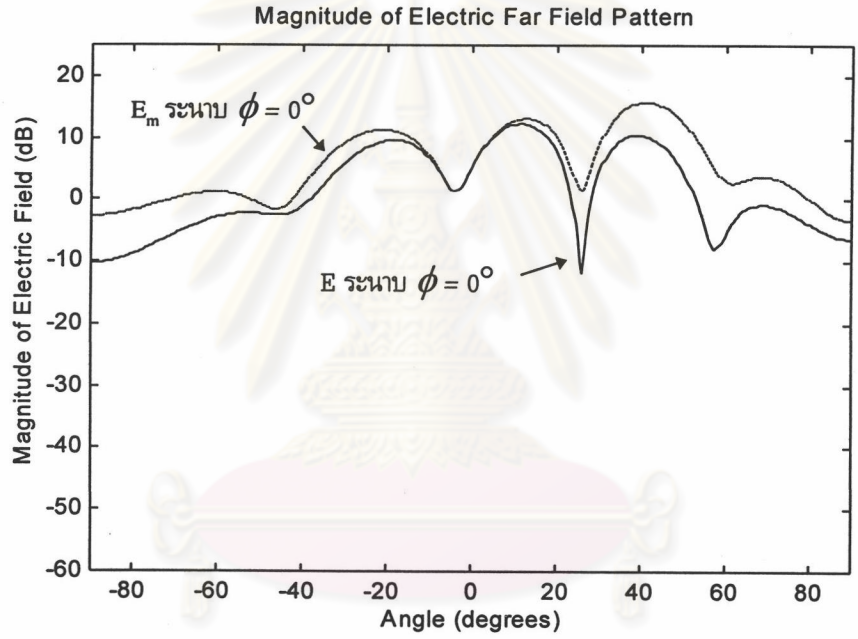
รูป 4.15 ถึงรูป 4.23 เป็นแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบและจัดวางตัวทั้ง 3 กรณี ซึ่งสรุปแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ (จาก 1.5 เท่าของความยาวคลื่นจนถึง 0.125 เท่าของความยาวคลื่น) ดังนี้

- กรณีที่ 1 ระนาบ 0 องศา แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลง กล่าวคือที่ระยะห่างระหว่างตัวนำลดลงจาก 1.5 เป็น 1 เท่าของความยาวคลื่น จำนวนพูของแบบรูปการแผ่พลังงานจะมีจำนวนน้อยลงจาก 4 เหลือ 3 พู และที่ระยะห่างระหว่างตัวนำลดลงจาก 1 เป็น 0.5 เท่าของความยาวคลื่น ระดับของพูข้างก็จะมีค่าลดลงประมาณ 6 dB จนกระทั่งแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นลักษณะที่ไม่มีพูข้าง ที่ระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่นลงไป ส่วนระนาบ 90 องศานั้นแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น

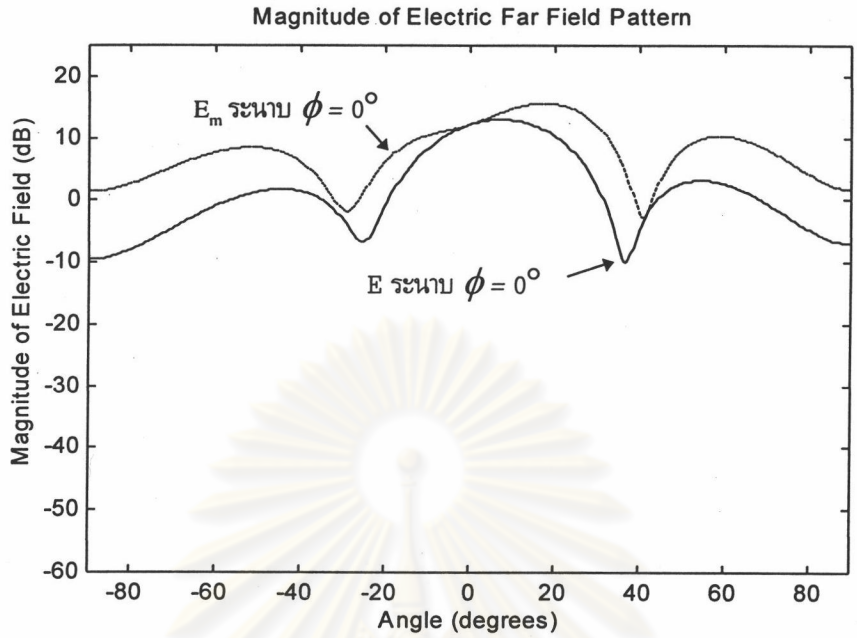
- กรณีที่ 2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงก็จะคล้ายกับกรณีที่ 1 เพียงแต่สลับระนาบกัน ระนาบ 0 องศาจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของแบบรูปการแผ่พลังงานแม้ว่าระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ ส่วนระนาบ 90 องศานั้นจำนวนพูจะน้อยลงแต่จะแตกต่างกับกรณีที่ 1 ตรงที่เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าลดลงจาก 0.5 เป็น 0.25 เป็น 0.125 เท่าของความยาวคลื่นหรือน้อยกว่านั้น แบบรูปการแผ่พลังงานก็ยังคงมีลักษณะที่มีพูข้างอยู่ 2 ข้างเพียงแต่ระดับของพูข้างนั้นจะมีค่าลดลงจากระดับ 5 dB เป็น 1 dB เป็น -4 dB แต่ความกว้างของพูประธานจะมีค่ามากขึ้นเรื่อย ๆ นั่นหมายถึงตำแหน่งเชิงมุมที่คล้ายกับเป็นจุดศูนย์นั้นจะมีค่าเปลี่ยนไปในทางที่ทำให้ความกว้างของพูประธานมีค่าเพิ่มขึ้นกล่าวคือจะเปลี่ยนไปประมาณข้างละ 6 ถึง 8 องศา

- กรณีที่ 3 จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของแบบรูปการแผ่พลังงานอย่างชัดเจนทั้ง 2 ระนาบ ระนาบ 0 องศานั้นจำนวนพูจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่มีพูข้างเลยเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำลดลงจนมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่นเป็นต้นไป ส่วนการลดระดับลงของพูข้างจะเห็นได้ชัดตรงที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำลดลงจาก 0.5 เป็น 0.25 เท่าของความยาวคลื่นคือลดลงประมาณ 6 dB (เพราะแบบรูปการแผ่พลังงานยังคงมีลักษณะที่คล้ายกัน) ส่วนระนาบ 90 องศานั้นก็จะมีลักษณะที่คล้ายกันจำนวนพูจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่มีพูข้างเลยเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำลดลงจนมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่นเป็นต้นไปเช่นเดียวกันกับระนาบ 0 องศา และที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำเป็น 0.125 เท่าของความยาวคลื่น แต่แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะเว้าเข้ามาตรงตำแหน่งเชิงมุมที่ -58 ถึง -22 องศา และ 3 ถึง 45 องศา

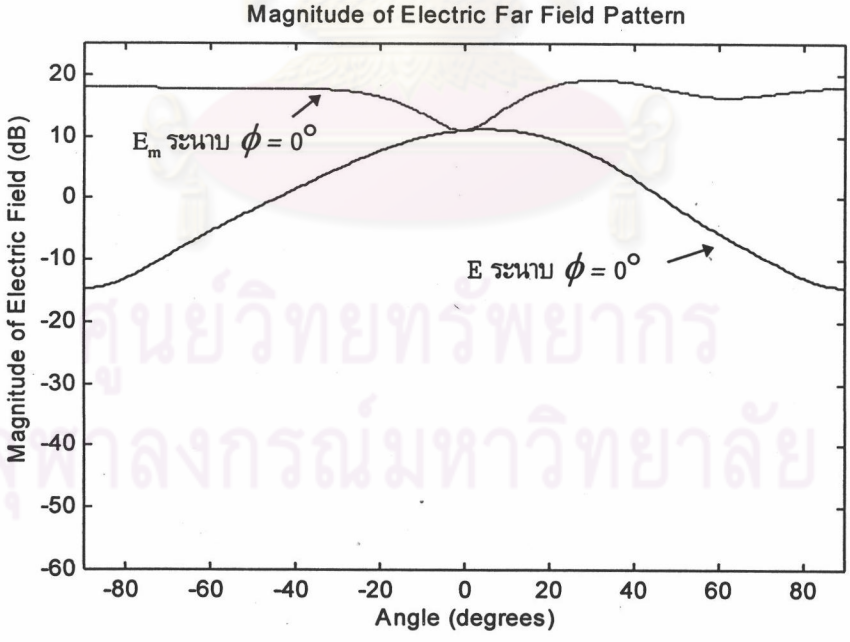
5.1.1.2 ผลกระทบของปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่มีต่อแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบและจัดวางตัวในกรณีที่ 1 (side by side) เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ (จาก 1.5 เท่าของความยาวคลื่นจนถึง 0.125 เท่าของความยาวคลื่น) สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2})



รูป 4.24 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

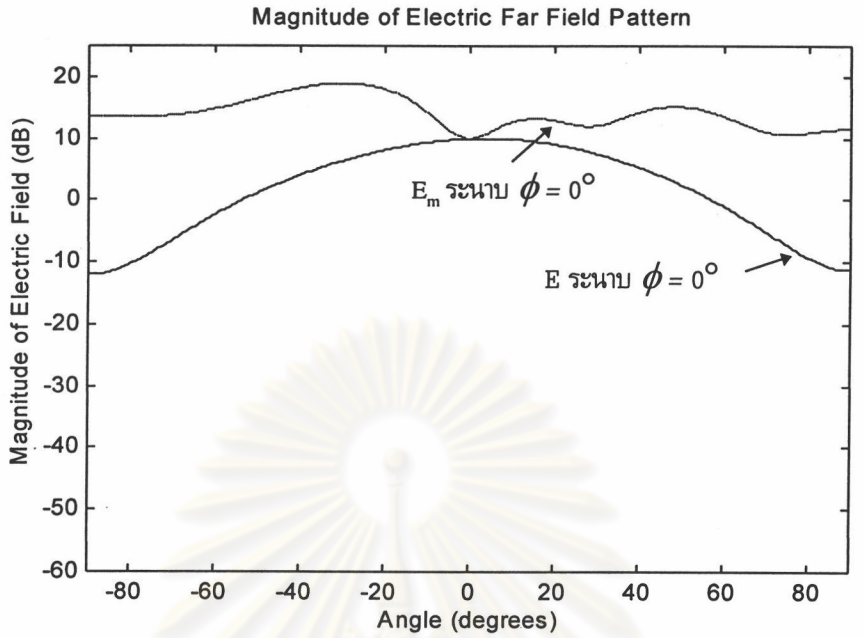


รูป 4.25 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับหนึ่ง 0.5 ของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

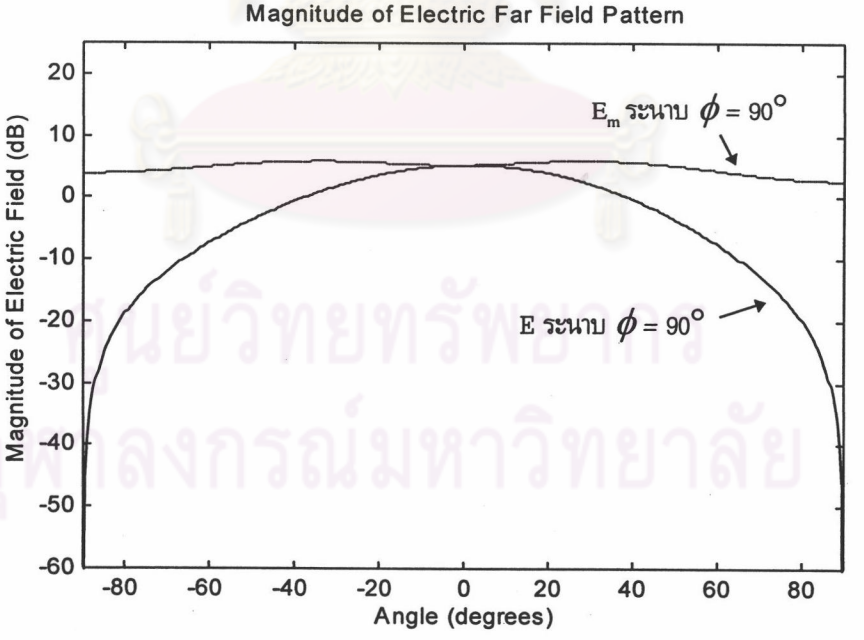


รูป 4.26 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับหนึ่ง 0.125 ของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

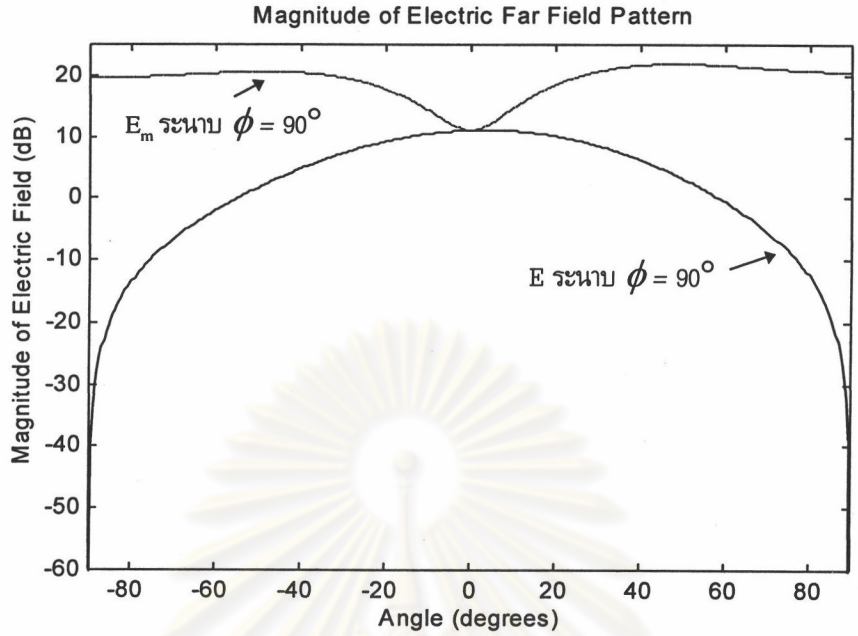
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



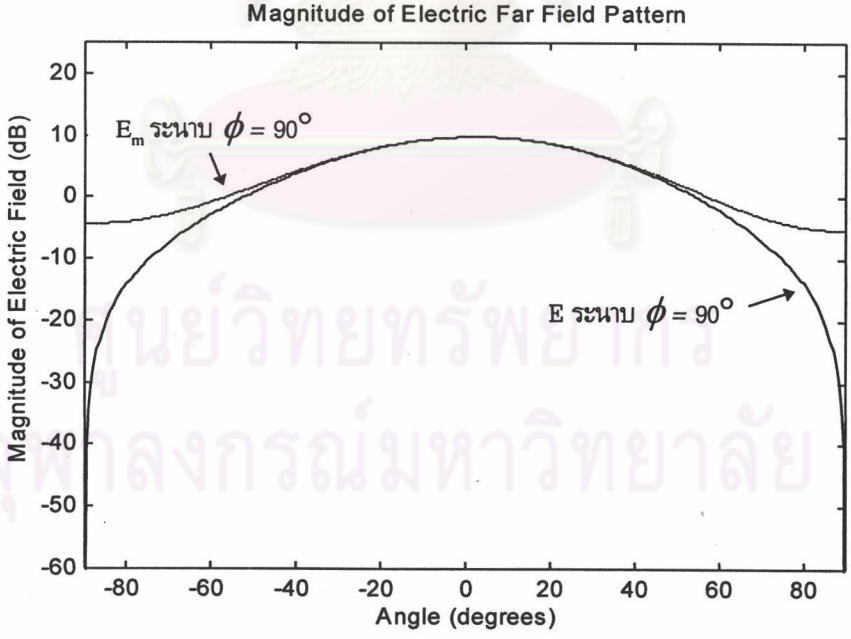
รูป 4.27 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) (คำนึงถึงผลกระทบที่รวมผลขององค์ประกอบนั้น ๆ) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



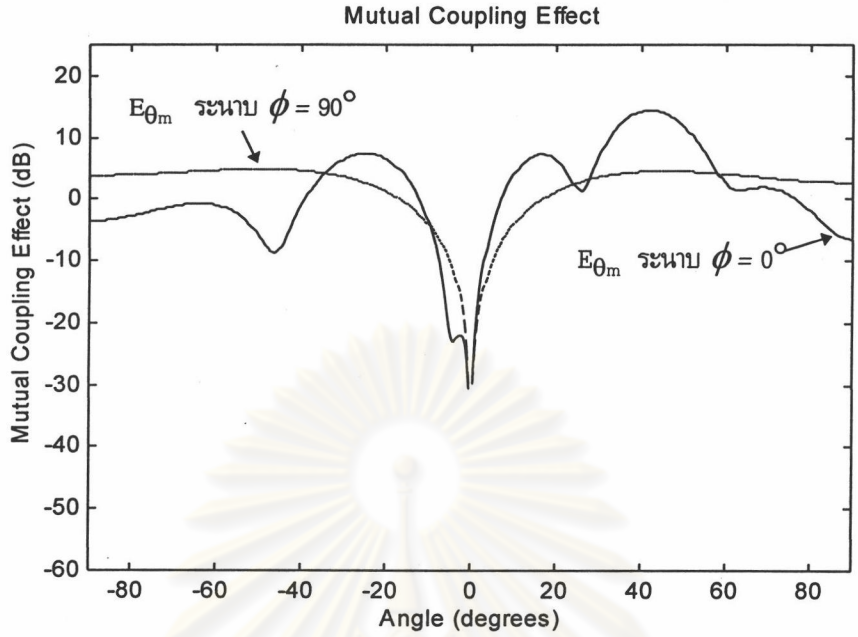
รูป 4.28 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



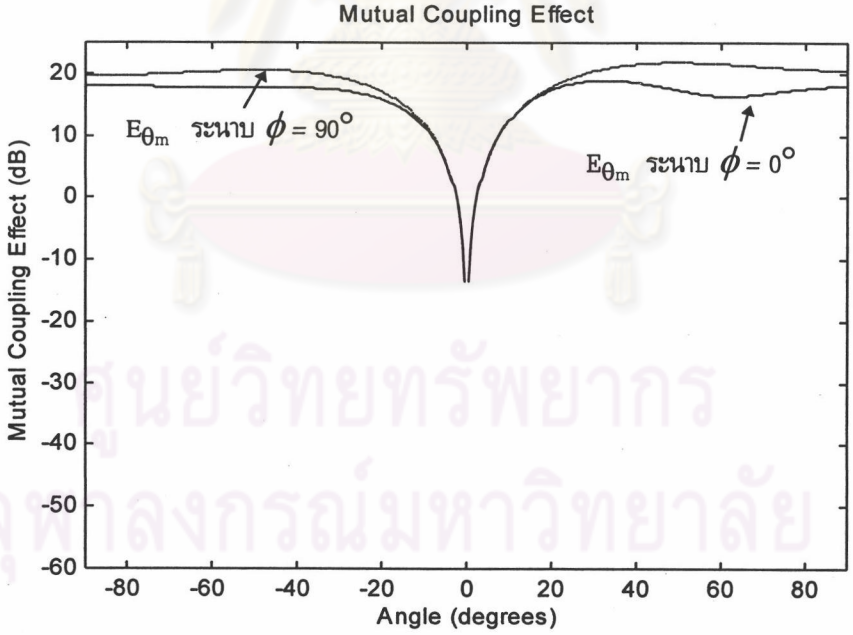
รูป 4.29 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



รูป 4.30 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) (คำนึงถึงผลกระทบที่รวมผลขององค์ประกอบนั้น ๆ) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

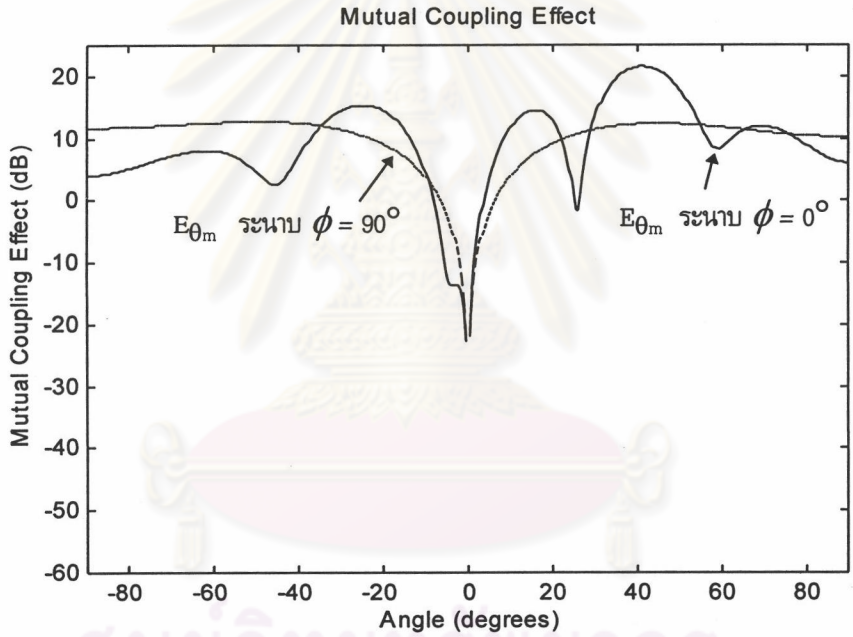


รูป 4.31 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

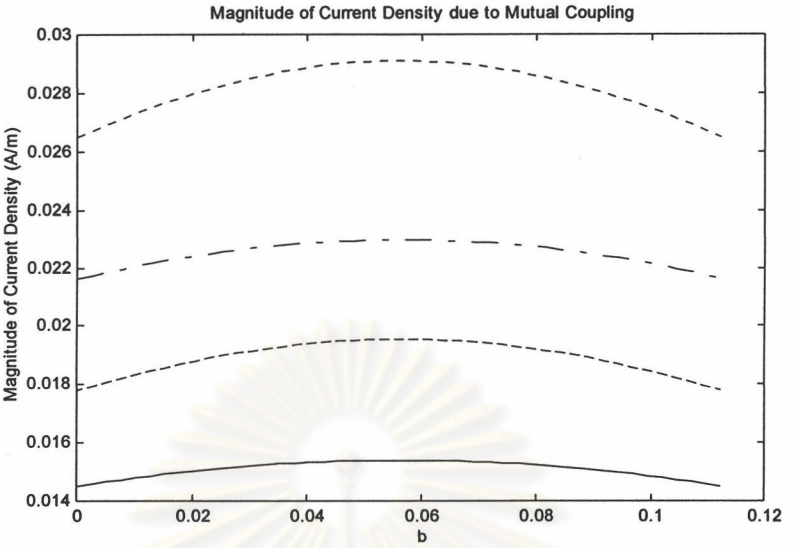


รูป 4.32 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

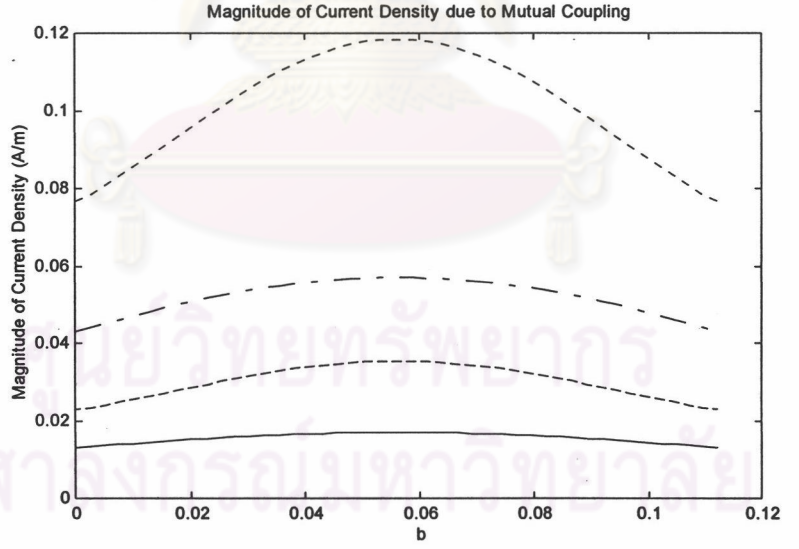
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



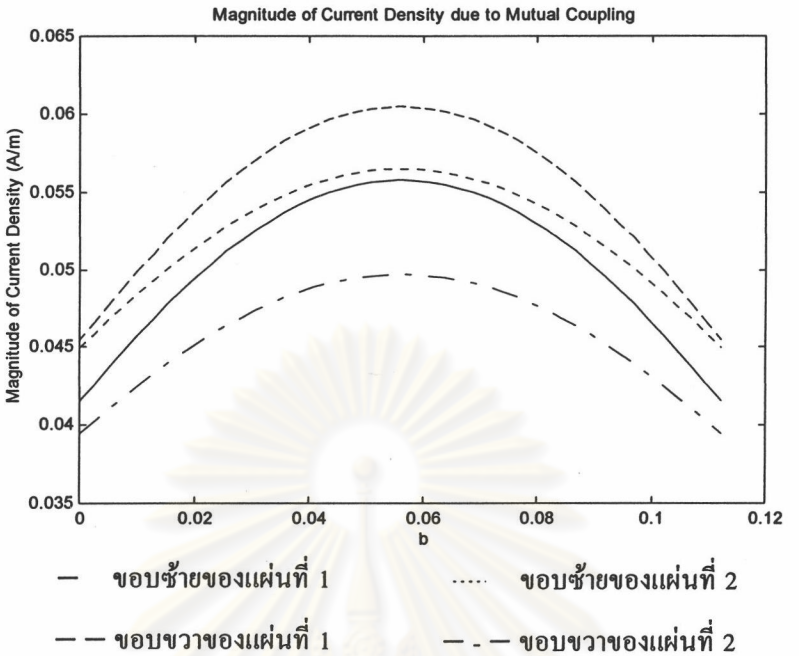
รูป 4.33 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1)
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น
และคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากองค์ประกอบนั้น ๆ (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1)



รูป 4.34 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



รูป 4.35 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



รูป 4.36 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น(คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากองค์ประกอบนั้น ๆ (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

จากรูป 4.24 ถึงรูป 4.30 นั้นจะพบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแบบรูปการแผ่พลังงานเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงเมื่อแผ่นตัวนำในแผงสายอากาศจัดวางตัวในกรณีที่ 1 (side by side) ดังนี้

- ที่ระนาบ 0 องศา แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงโดยรวมแล้วจะมีความผิดเพี้ยนไปจากเดิมคือจะมีระดับที่สูงขึ้นทุก ๆ ตำแหน่งเชิงมุม และจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเข้าใกล้ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศา ระดับของจุดศูนย์จะมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เพิ่มขึ้นในตำแหน่งเชิงมุมเดิม 12 และ 18 dB ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 และ 1 เท่าของความยาวคลื่น ณ.ตำแหน่งเชิงมุมที่ 24 และ 30 องศาตามลำดับ จนกระทั่งระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น จะมีการเลื่อนตำแหน่งของจุดที่คล้ายจะเป็นจุดศูนย์ออกไปประมาณ 5 องศา (ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -25 และ 35 องศาเลื่อนเป็น -30 และ 40 องศาตามลำดับ รวมถึงระดับที่เพิ่มขึ้นประมาณ 5-7 dB ด้วย (รูป 4.25) จนกระทั่งเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเป็น 0.25 และ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีความผิดเพี้ยนไปจากเดิมค่อนข้างมากและตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศาจะมีลักษณะคล้ายเป็นหลุมเกิดขึ้น ส่วนที่ระนาบ 0 องศาที่คิด Self คัปปลิงนั้น จะพบว่ามีการผิดเพี้ยนของแบบรูปการแผ่พลังงานมากกว่าไม่คิด Self คัปปลิง แต่จะไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ที่เห็นได้ชัดก็คือที่ระยะห่างระหว่างแผ่น

ตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่นนั้นที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 ถึง 90 องศานั้น จะเห็นว่าแบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะคล้ายกับแกว่ง ๆ

- ที่ระนาบ 90 องศา การเปลี่ยนแปลงโดยรวมของแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงที่เห็นได้ชัดก็คือแบบรูปการแผ่พลังงานที่ตำแหน่งเชิงมุมที่เข้าใกล้ $\pm$ 90 องศามาก ๆ จากที่จะลดระดับอย่างรวดเร็วจนกลายเป็นจุดศูนย์ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 90 องศาก็จะไม่เป็นอย่างนั้น แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีลักษณะที่คล้าย ๆ เป็นเส้นตรงเกือบเท่ากันทุกตำแหน่งเชิงมุม และจะมีระดับสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง 20 dB ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น แต่บริเวณที่เข้าใกล้ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศา (ระหว่าง -15 ถึง 15 องศา) จะมีการลดระดับลงจนทำให้สังเกตเห็นว่าแบบรูปการแผ่พลังงานนั้นมีลักษณะเป็นหลุมที่แนวเล็งหลัก ส่วนที่ระนาบ 90 องศาที่คิดผลของ Self คัปปลิงนั้นก็แทบจะไม่ต่างจากการไม่คิดผลของ Self คัปปลิง ยกเว้นแต่ที่ระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่าเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่นนั้นระดับของแบบรูปการแผ่พลังงานจะลดลงไปอยู่ที่ -5 dB ทั้งตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 90 องศา ซึ่งจากเดิมอยู่ที่ประมาณ 12 dB

- โดยที่รูป 4.31 ถึงรูป 4.36 เป็นผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงและการกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่เกิดขึ้นที่ขอบต่าง ๆ ของสายอากาศ ที่เหนี่ยวนำให้เกิดสนามที่มาจากการคัปปลิง ซึ่งจะพบว่าผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงนั้นจะมีลักษณะที่แกว่ง ที่ระนาบ 0 องศา แต่ระดับของการแกว่งจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเข้าใกล้ 0.25 เท่าของความยาวคลื่นหรือน้อยกว่านั้นเช่นเดียวกับระดับของแบบรูปการแผ่พลังงานก็จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อย ๆ และจะมีจุดศูนย์อยู่ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศา ส่วนระนาบ 90 องศานั้นก็จะมีจุดศูนย์อยู่ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศาเช่นกันและจะค่อย ๆ เพิ่มระดับไปเรื่อย ๆ จนเกือบคงที่เมื่อเข้าใกล้ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 35 องศา ส่วนในกรณีที่คิด Self คัปปลิงนั้นก็จะมีแนวโน้มที่คล้ายกันกับไม่ได้คิดเพียงแต่จะมีระดับที่สูงกว่า ซึ่งสรุปตำแหน่งเชิงมุมที่มีค่าของระดับของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงสูงสุดเพื่อที่จะเป็นข้อสังเกตว่าตำแหน่งเชิงมุมใดมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด แสดงดังตาราง 4.1 และ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

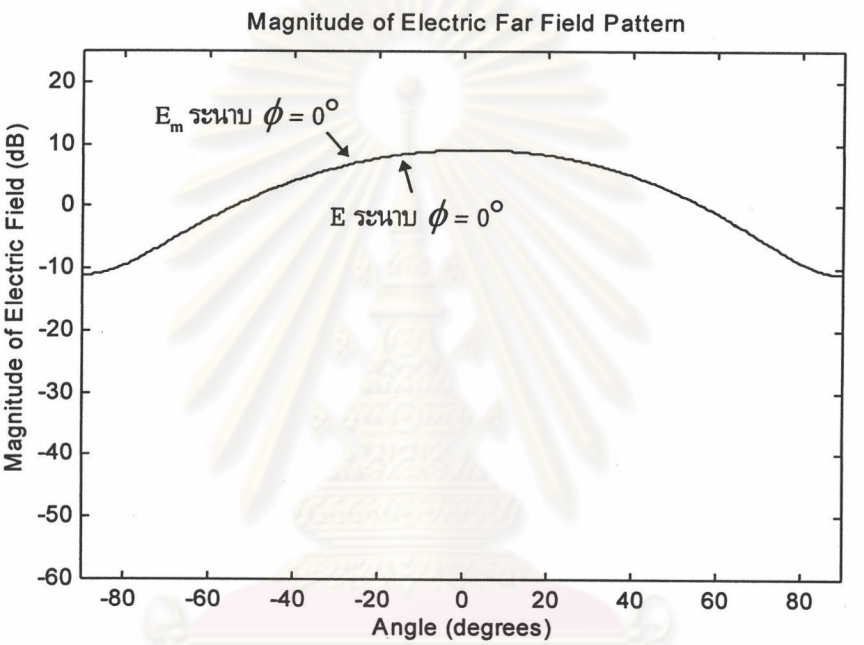
ตาราง 4.1 ตำแหน่งเชิงมุมที่มีระดับสูงสุดของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิง (สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 วางตัวในกรณีที่ 1)

ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	ระนาบ 0 องศา		ระนาบ 90 องศา	
	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)
1.5	43	14	± 35	4
1	50	14	± 35	11
0.5	22	14	± 35	16 — 17
0.25	36	16	± 35	17 — 18
0.125	-40 — -90 40 — 90	18	± 35	20

ตาราง 4.2 ตำแหน่งเชิงมุมที่มีระดับสูงสุดของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิง (สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 วางตัวในกรณีที่ 1 และคิด Self คัปปลิง)

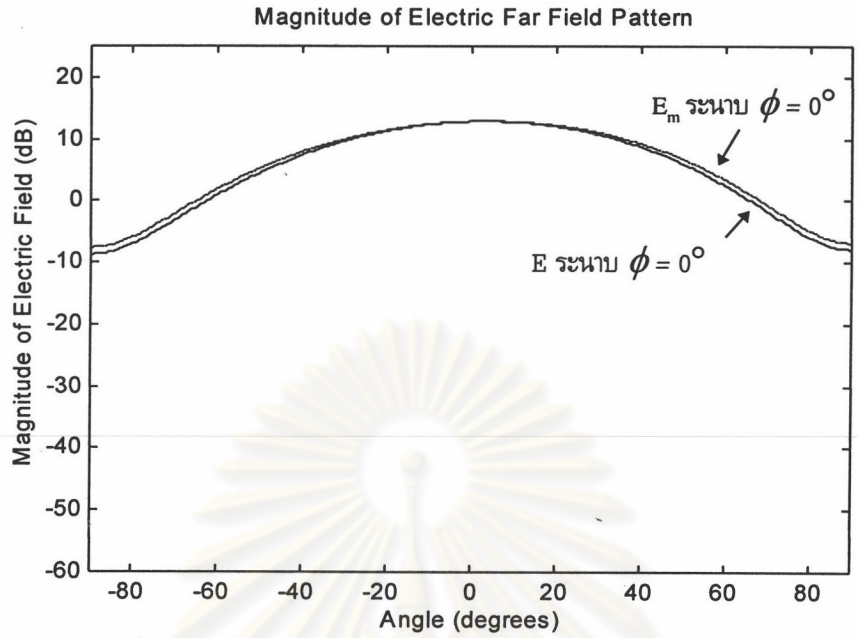
ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	ระนาบ 0 องศา		ระนาบ 90 องศา	
	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)
1.5	41	22	± 35	12
1	90	8	± 35	-5
0.5	20	17	± 35	22
0.25	-30	17	± 35	20
0.125	-40 — -90	≈18	± 35	18

5.1.1.3 ผลกระทบของปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่มีต่อแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบและจัดวางตัวในกรณีที่ 2 (collinear) เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ (จาก 1.5 เท่าของความยาวคลื่นจนถึง 0.125 เท่าของความยาวคลื่น) สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2})

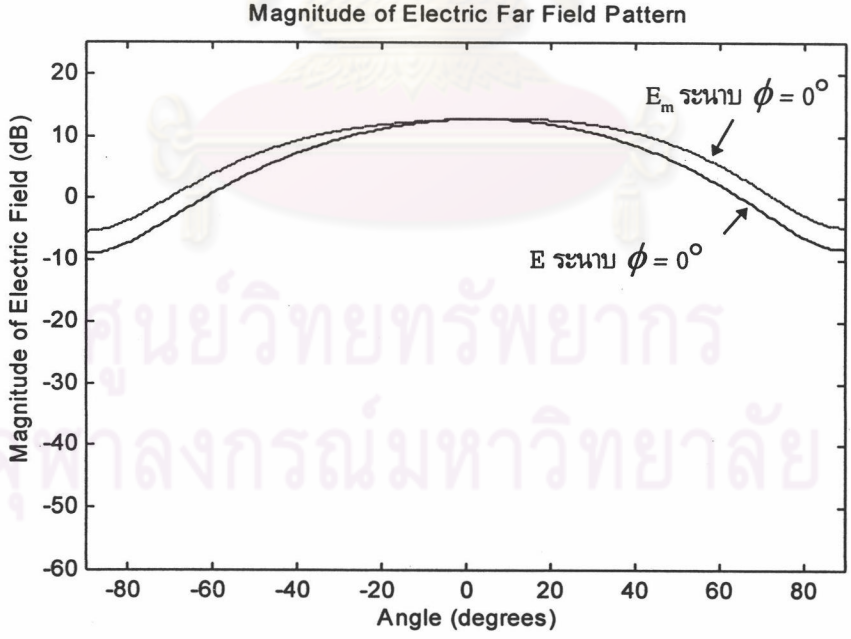


รูป 4.37 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

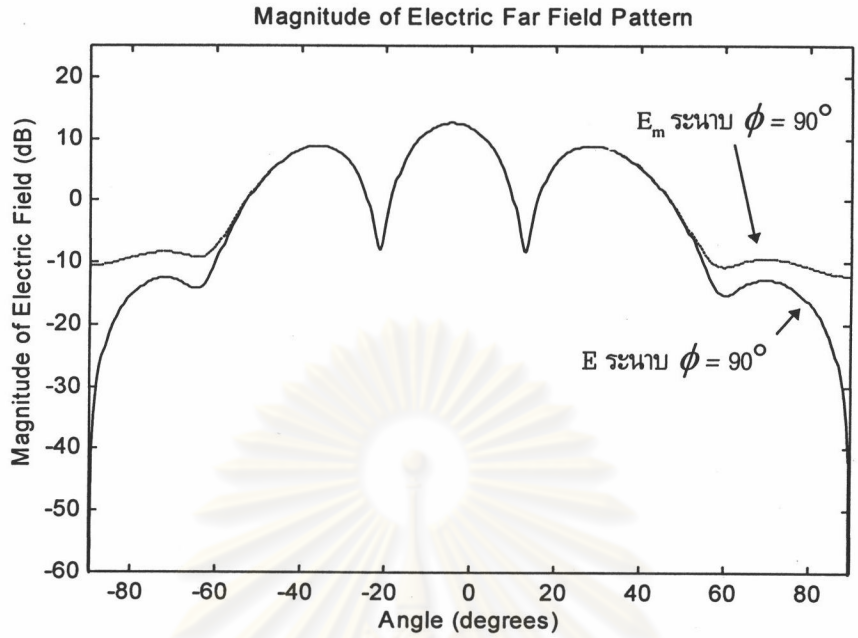


รูป 4.38 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

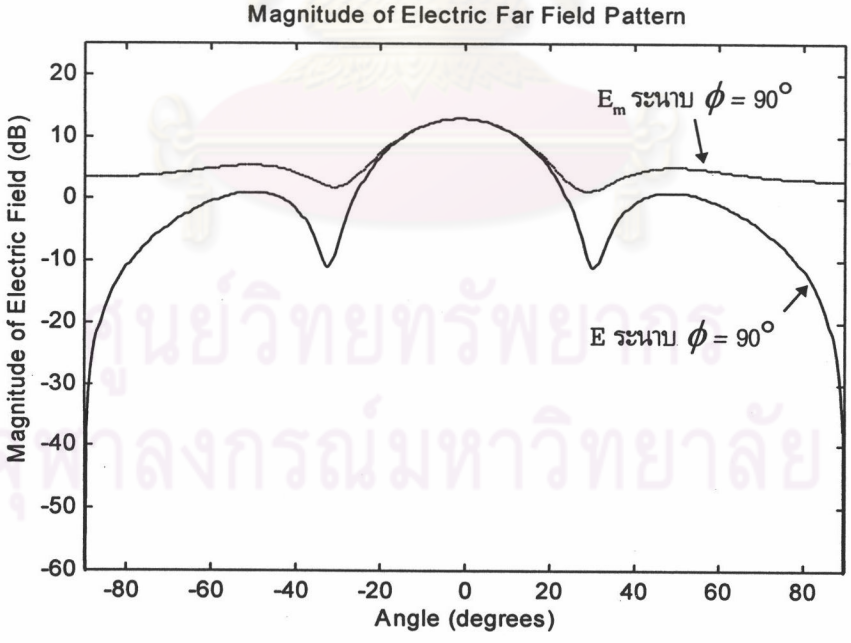


รูป 4.39 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1(7.62×11.43 ซม.^{2}))

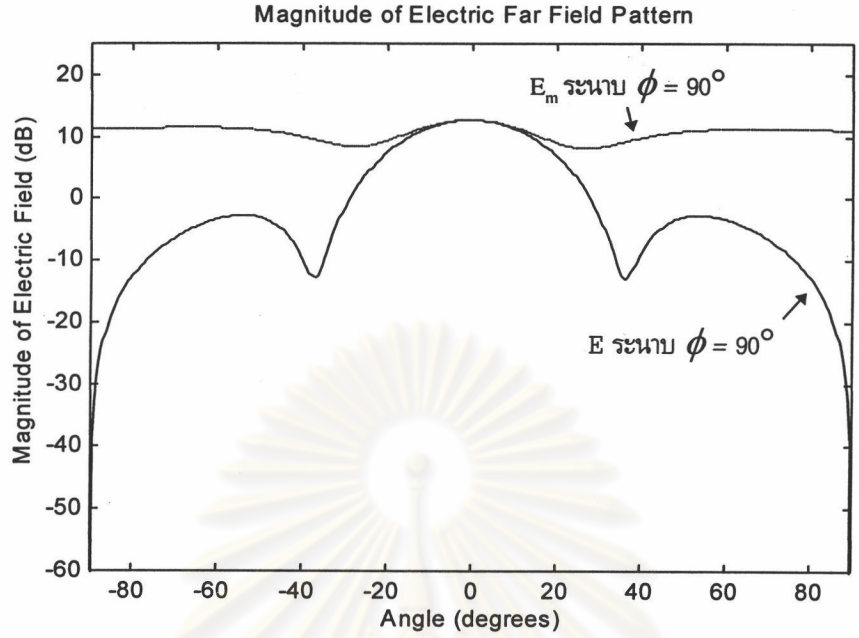
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



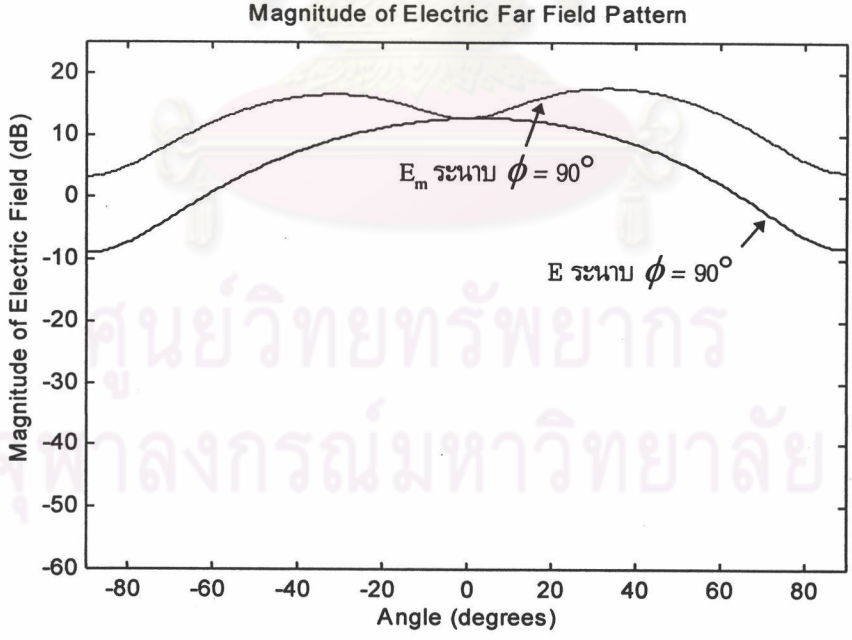
รูป 4.40 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



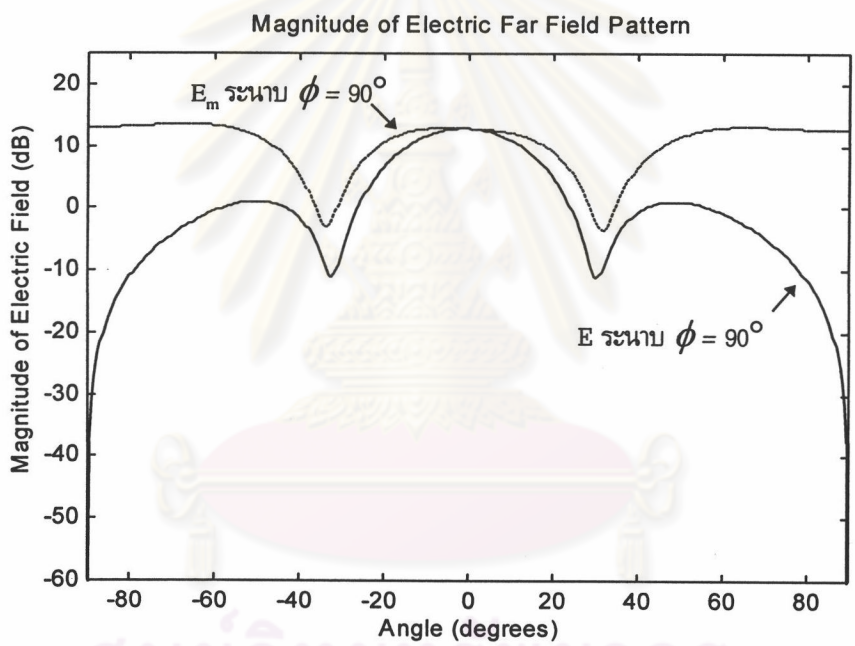
รูป 4.41 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



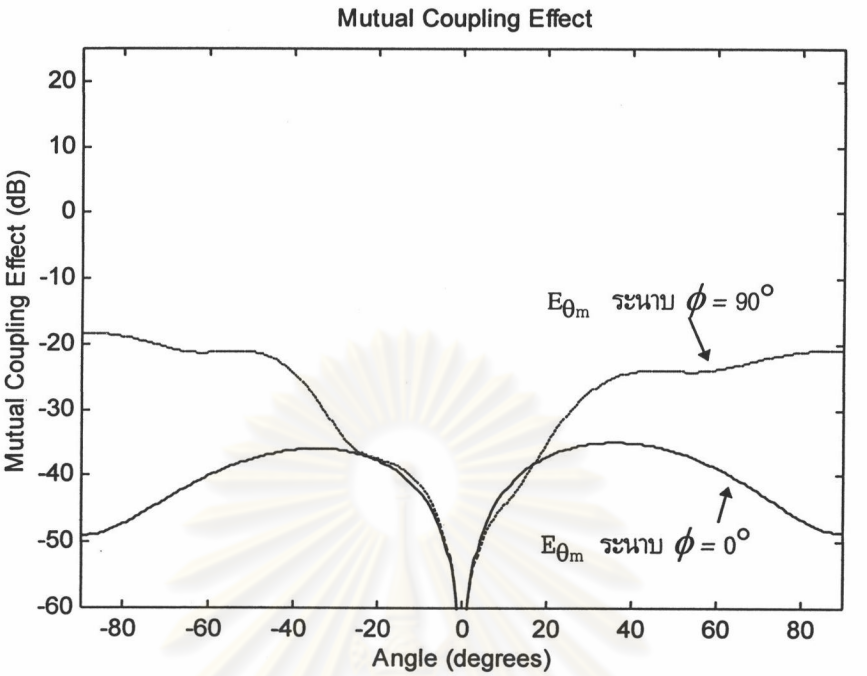
รูป 4.42 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1(7.62×11.43 ซม.^{2}))



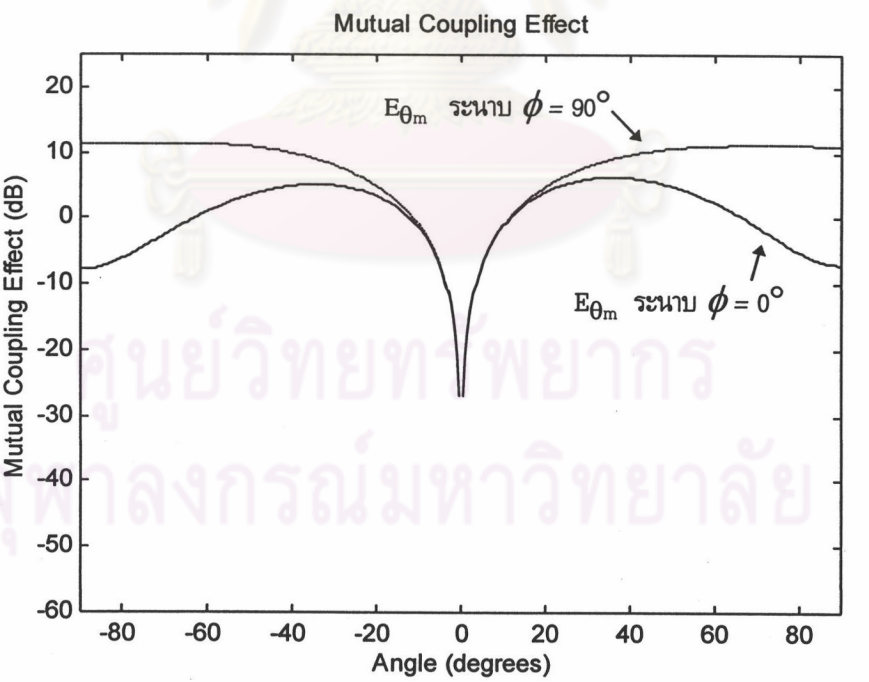
รูป 4.43 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) (คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากองค์ประกอบนั้น ๆ) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



รูป 4.44 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) (คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากองค์ประกอบนั้น ๆ) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

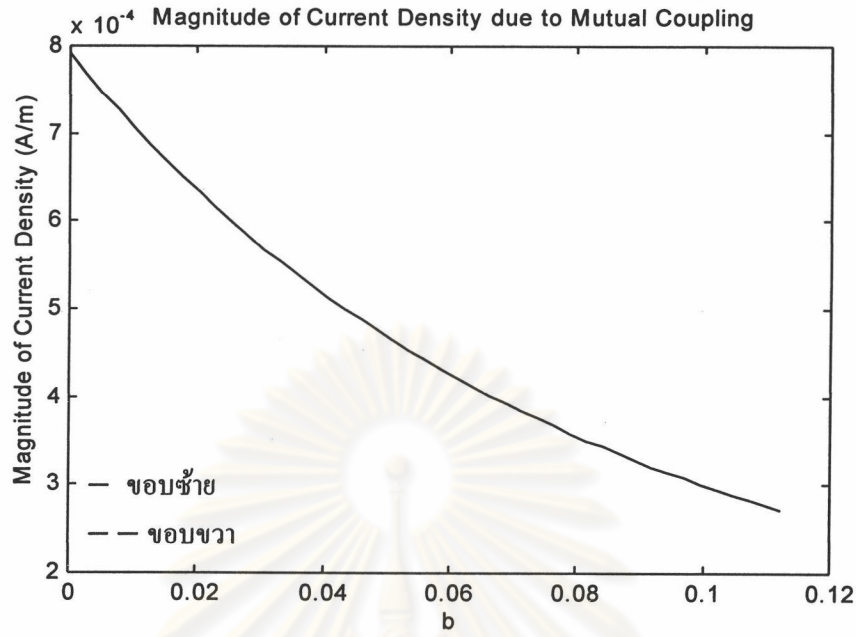


รูป 4.45 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

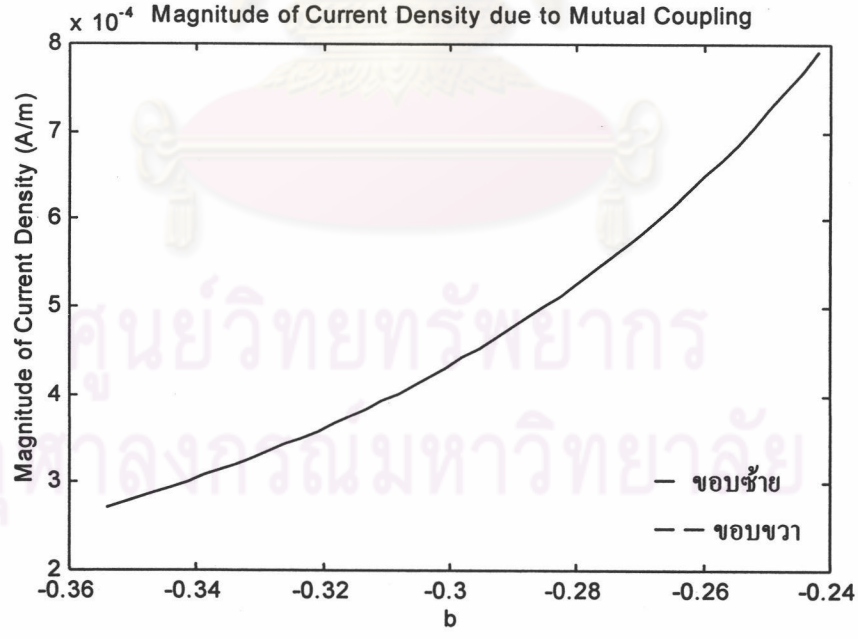


รูป 4.46 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

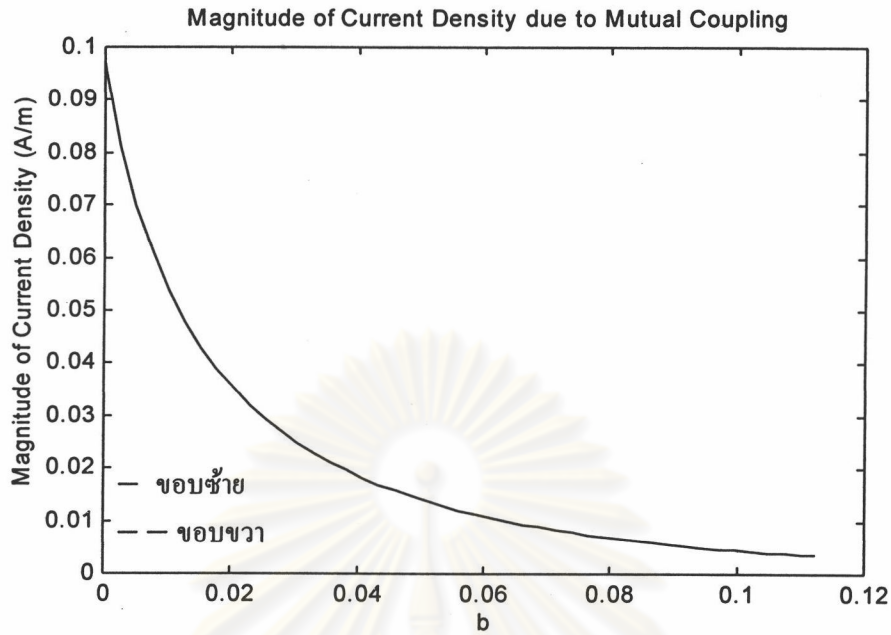


รูป 4.47 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 1)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

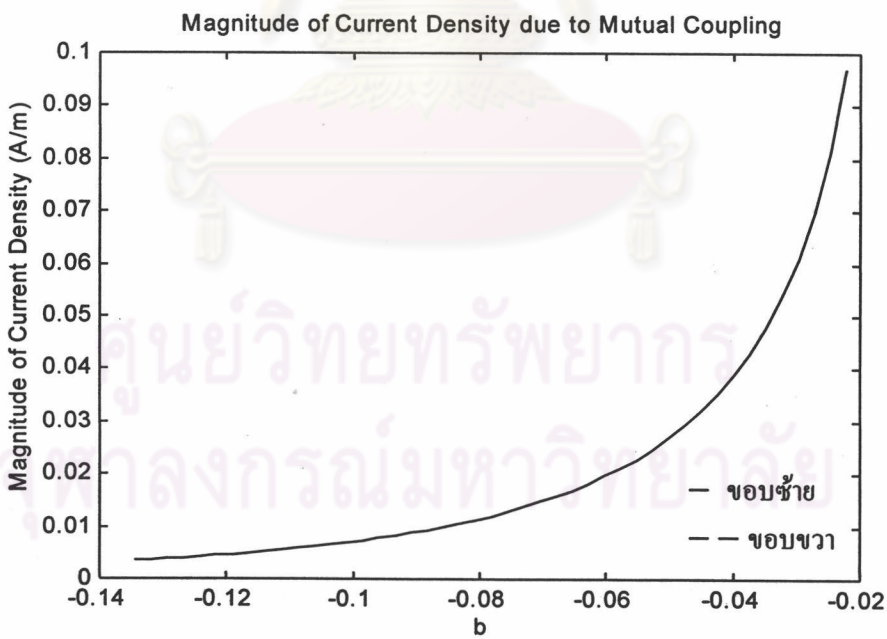


รูป 4.48 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 2)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.49 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 1)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



รูป 4.50 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 2)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

จากรูป 4.37 ถึงรูป 4.44 นั้นจะพบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแบบรูปการแผ่พลังงานเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงเมื่อแผ่นตัวนำในแผงสายอากาศจัดวางตัวในกรณีที่ 2 (collinear) ดังนี้

- ที่ระนาบ 0 องศา พบว่าแบบรูปการแผ่พลังงานมีผลกระทบจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงน้อยมาก ที่ระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่ามาก ๆ (ตั้งแต่ 0.5 เท่าของความยาวคลื่นขึ้นไป) จนกระทั่งเมื่อระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น จะเริ่มสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อแบบรูปการแผ่พลังงาน กล่าวคือแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงนั้นจะมีระดับสูงขึ้นประมาณ 1-2 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -40 ถึง -90 องศา และ 40 ถึง 90 องศา และความเปลี่ยนแปลงจะชัดเจนขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่นคือที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -20 ถึง -90 องศา และ 20 ถึง 90 องศา จะมีระดับสูงขึ้นประมาณ 3-4 dB [EED1] ส่วนที่ระนาบ 0 องศาที่คิด Self คัปปลิงนั้น จะพบว่ามีการเพิ่มระดับของแบบรูปการแผ่พลังงานขึ้นไปประมาณ 10 dB เกือบจะทุกตำแหน่งเชิงมุม ยกเว้นแต่เมื่อตำแหน่งเชิงมุมเข้าใกล้ 0 องศา (ประมาณ -20 ถึง 20 องศา) จะค่อย ๆ ลดระดับลงจนไม่มีการเพิ่มระดับเลยที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศา ทำให้ภาพรวมของแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงนั้นจะมีลักษณะเป็นหลุมที่บริเวณแนวเส็งหลักทุก ๆ ระยะห่าง

- ที่ระนาบ 90 องศา แบบรูปการแผ่พลังงานจะเกิดความผิดเพี้ยนที่ตำแหน่งเชิงมุมไกล ๆ เช่นเมื่อระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่นจะเกิดความผิดเพี้ยนในลักษณะของการเพิ่มระดับที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 80 องศา และเมื่อระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่าเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่นจะเกิดความผิดเพี้ยนที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ประมาณ $\pm$ 56 องศา และจะพบการเพิ่มระดับของตำแหน่งเชิงมุมที่คล้ายเป็นจุดศูนย์เมื่อระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่นแต่ระดับจะเพิ่มประมาณ 2 dB เท่านั้นที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -27 และ 22 องศาและจะเห็นได้ชัดเมื่อระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น ซึ่งการเพิ่มระดับของจุดศูนย์ดังกล่าวจะมีค่าประมาณ 13 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -32 และ 30 องศา จนกระทั่งเมื่อระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่นนั้นแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงนั้นจะคล้าย ๆ เป็นเส้นตรงโดยระดับอยู่ที่ระหว่าง 8-12 dB นั่นหมายถึงแบบรูปการแผ่พลังงานจะไม่มีพูข้างเลย และทุก ๆ ระยะห่างจะพบว่าแบบรูปการแผ่พลังงานที่ตำแหน่งเชิงมุมที่เข้าใกล้ $\pm$ 90 องศามาก ๆ จากที่จะลดระดับอย่างรวดเร็วจนกลายเป็นจุดศูนย์ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 90 องศาก็จะไม่เป็นอย่างนั้นเช่นเดียวกับระนาบ 90 องศาของกรณีที่ 1 ส่วนที่ระนาบ 90 องศาที่คิด Self คัปปลิงนั้น จะเห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่ระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น จะเริ่มเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 20 องศา ไปจนถึงตำแหน่งเชิงมุมที $\pm$ 90 องศาในทางที่เป็นการเพิ่มระดับของแบบรูปการแผ่พลังงาน ระดับของพูข้างก็จะเพิ่มขึ้นมากว่า 10 dB และที่ระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่นตำแหน่งเชิงมุมที่คล้ายเป็นจุดศูนย์ก็จะมีการเลื่อนไปประมาณ 1-2 องศา และจุดคล้ายเป็นจุดศูนย์ก็จะมีระดับสูงขึ้นประมาณ 6-7 dB

- โดยที่รูป 4.45 ถึงรูป 4.50 จะเป็นผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงและการกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่เกิดขึ้นที่ขอบต่าง ๆ ของสายอากาศที่เหนี่ยวนำให้เกิดสนามที่มาจากการคัปปลิง ซึ่งจะพบว่าผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงนั้นจะมีลักษณะที่คล้ายกันทุกระยะห่างทั้งระนาบ 0 องศาและ 90 องศา เพียงแต่จะมีระดับที่สูงขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลง และโดยเฉพาะที่ระนาบ 0 องศานั้น ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงนั้นจะมีค่าน้อยมาก เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่ามาก (ตั้งแต่ 0.5 เท่าของความยาวคลื่นขึ้นไป) คือมีระดับที่ต่ำกว่า -10 dB และทั้งสองระนาบจะมีจุดศูนย์อยู่ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศาเหมือนกัน ส่วนที่คิด Self คัปปลิงนั้น ระนาบ 0 องศา แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะที่คล้ายกับไม่คิด Self คัปปลิง แต่ระดับจะเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 30 dB ส่วนระนาบ 90 องศานั้นนอกจากแบบรูปการแผ่พลังงานจะมีระดับสูงขึ้นแล้วยังมีการแกว่งอีกด้วย ซึ่งสรุปตำแหน่งเชิงมุมที่มีค่าของระดับของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงสูงสุดเพื่อที่จะเป็นข้อสังเกตว่าตำแหน่งเชิงมุมใดมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดแสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตาราง 4.3 ตำแหน่งเชิงมุมที่มีระดับสูงสุดของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิง (สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 วางตัวในกรณีที่ 2)

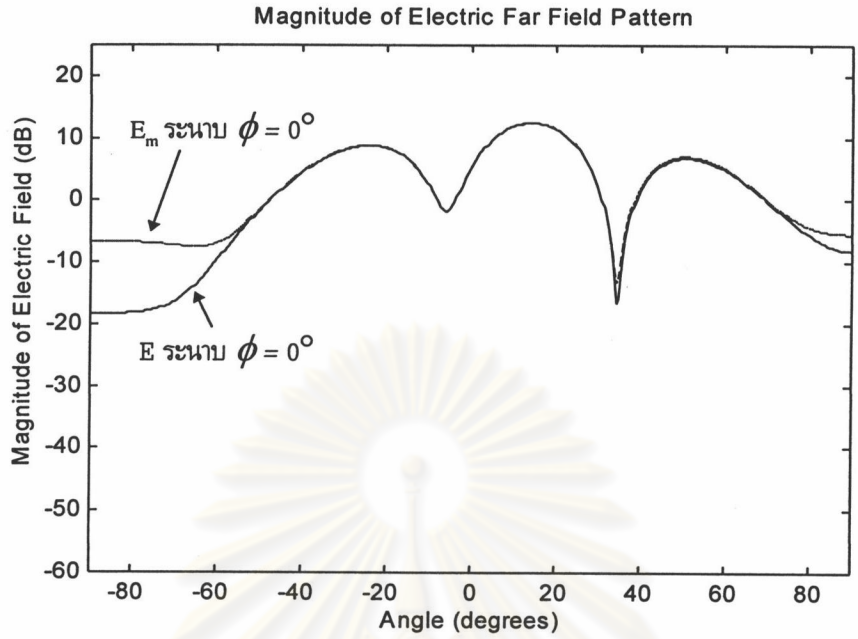
ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	ระนาบ 0 องศา		ระนาบ 90 องศา	
	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)
1.5	± 30	-37	± 90	-18 — -21
1	± 30	-24	± 90	-11 — -13
0.5	± 30	-12	± 90	-1 — -2
0.25	± 30	-2	-40 — -90 40 — 90	3
0.125	± 30	4	-50 — -90 50 — 90	11 — 12

ตาราง 4.4 ตำแหน่งเชิงมุมที่มีระดับสูงสุดของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิง (สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 วางตัวในกรณีที่ 2 และคิด Self คัปปลิง)

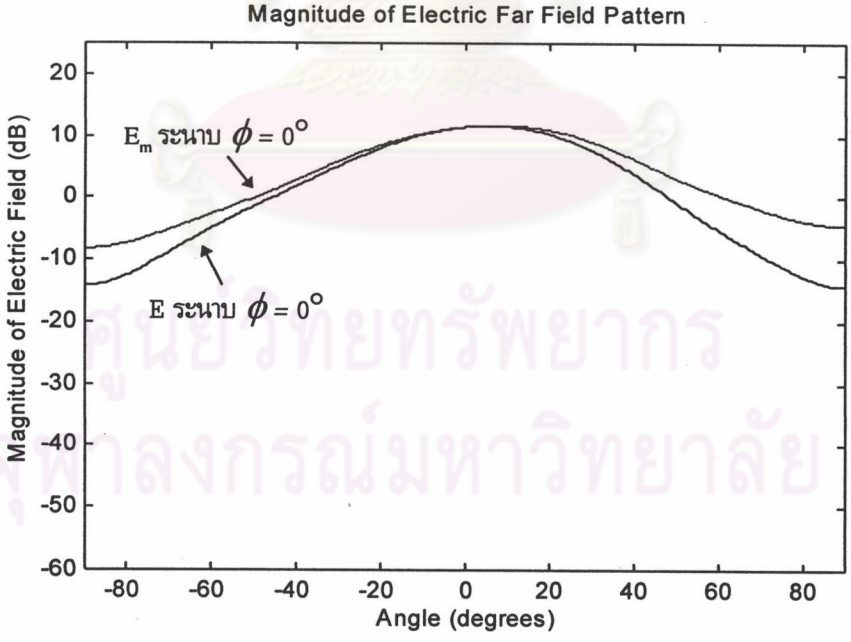
ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	ระนาบ 0 องศา		ระนาบ 90 องศา	
	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)
1.5	± 35	10	-64	12
1	± 34	13	-40	-5
0.5	36	13	-54	22
0.25	36	16	-60 — -90 60 — 90	13
0.125	37	17	± 22	13

5.1.1.4 ผลกระทบของปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่มีต่อแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบและจัดวางตัวในกรณีที่ 3 (straggled หรือ in echelon) เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ (จาก 1.5 เท่าของความยาวคลื่นจนถึง 0.125 เท่าของความยาวคลื่น) สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}) (ผลการคำนวณแสดงอยู่ในหน้าถัดไป)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

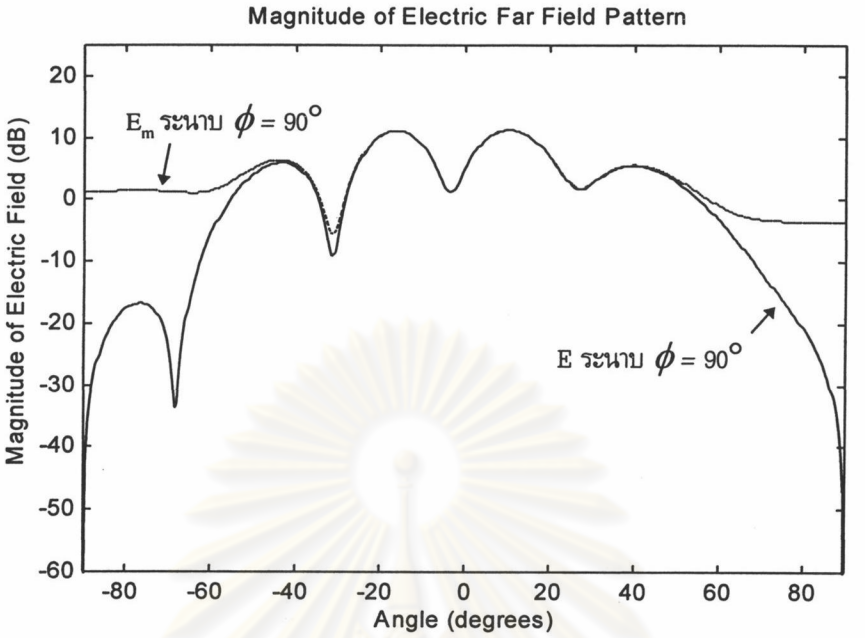


รูปที่ 4.51 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

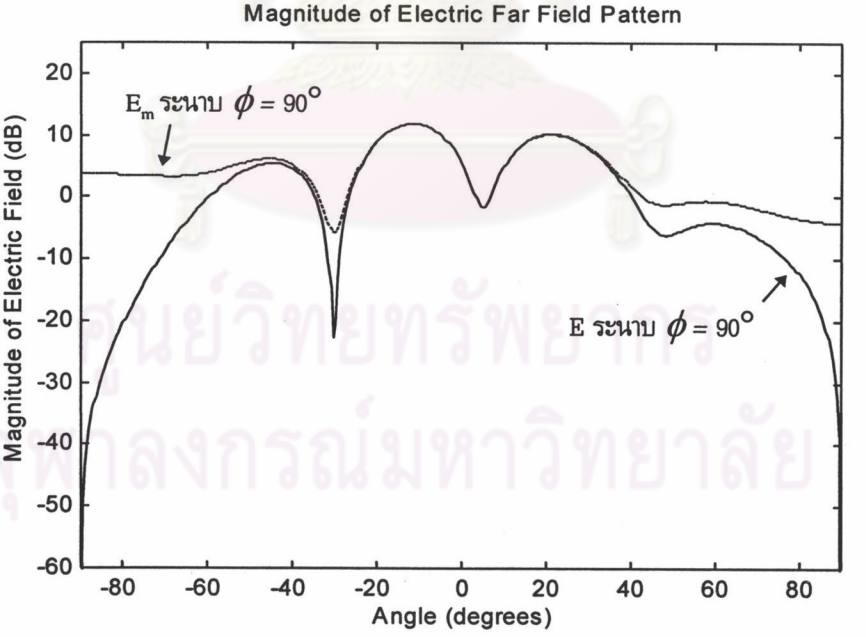


รูปที่ 4.52 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

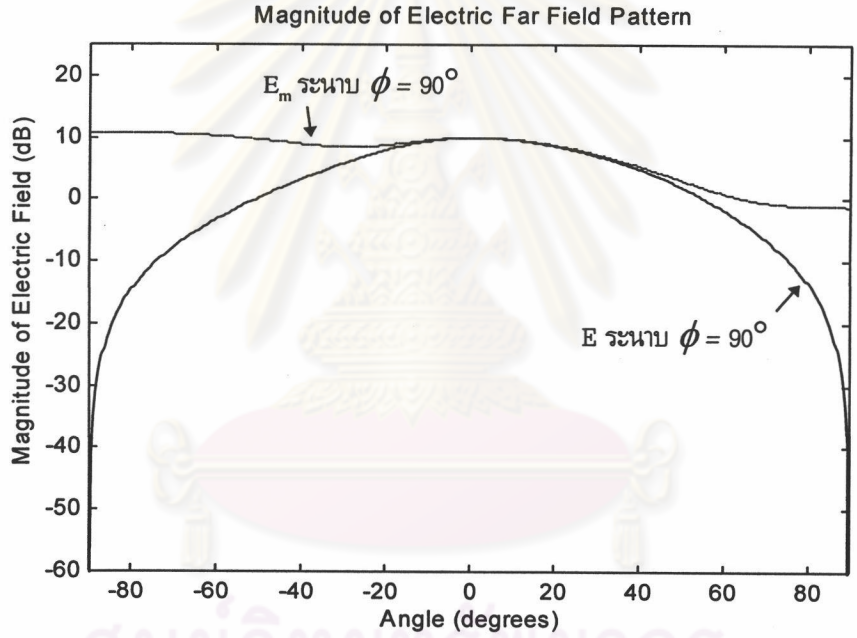
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



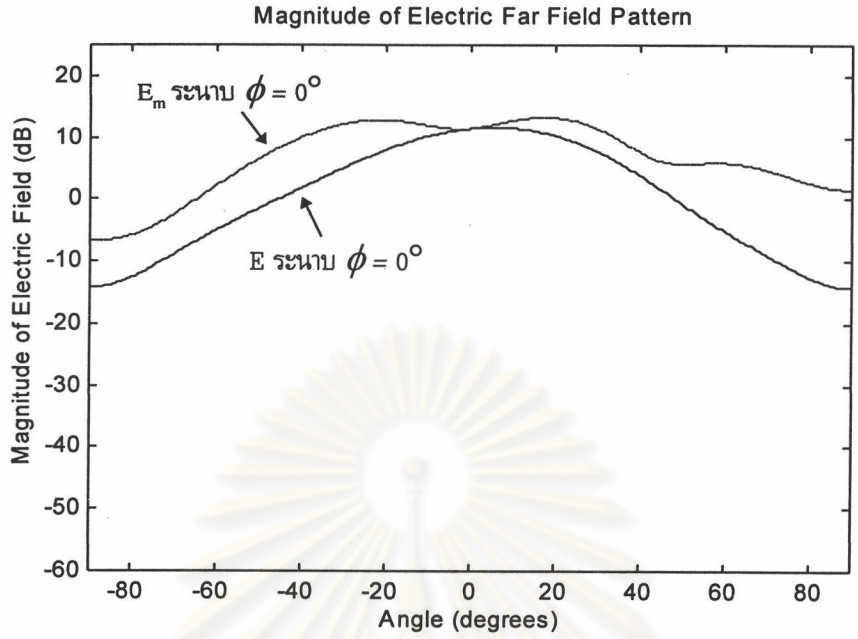
รูปที่ 4.53 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



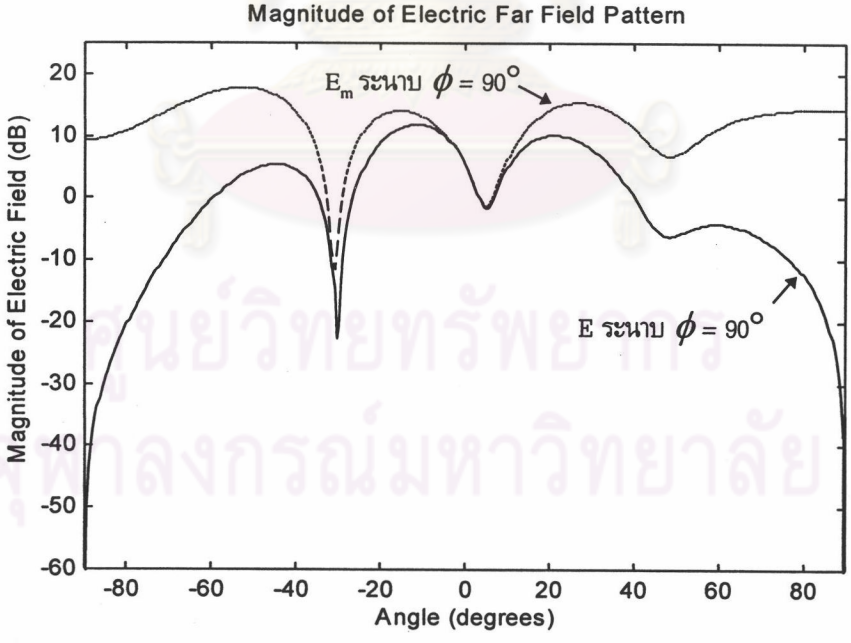
รูปที่ 4.54 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



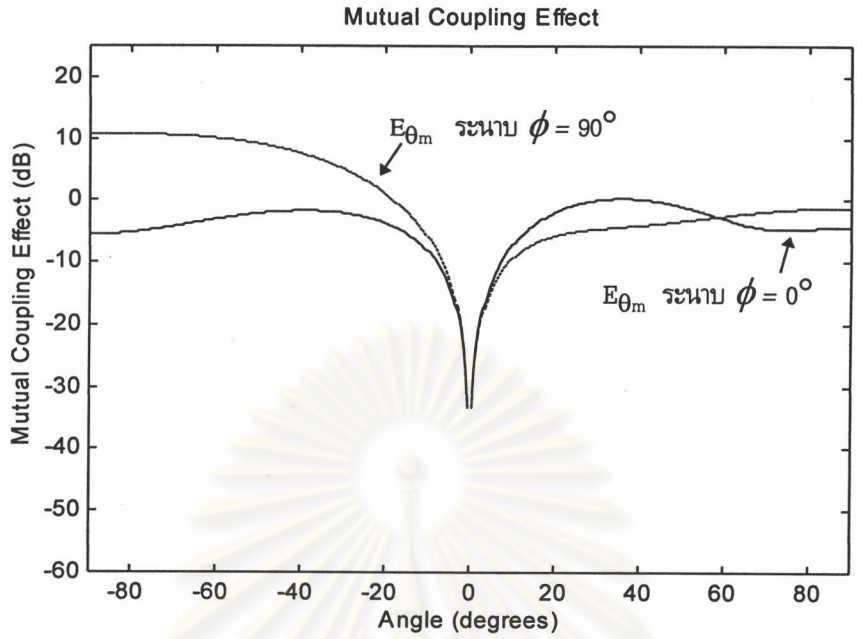
รูปที่ 4.55 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



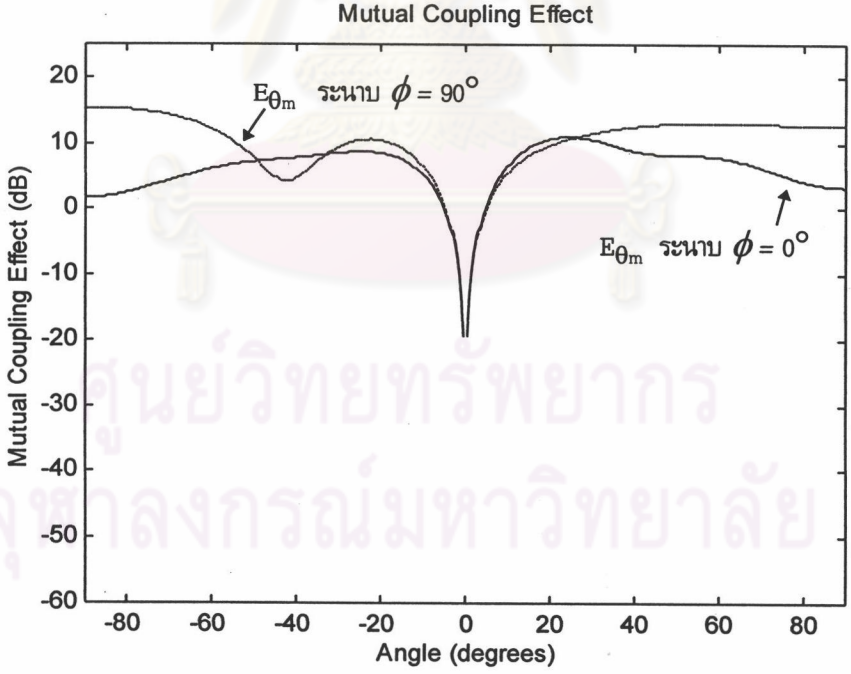
รูปที่ 4.56 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง(ระนาบ 0 องศา) (คำนึงถึงผลกระทบที่รวมผลขององค์ประกอบนั้น ๆ) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1)



รูปที่ 4.57 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) (คำนึงถึงผลกระทบที่รวมผลขององค์ประกอบนั้น ๆ) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1)

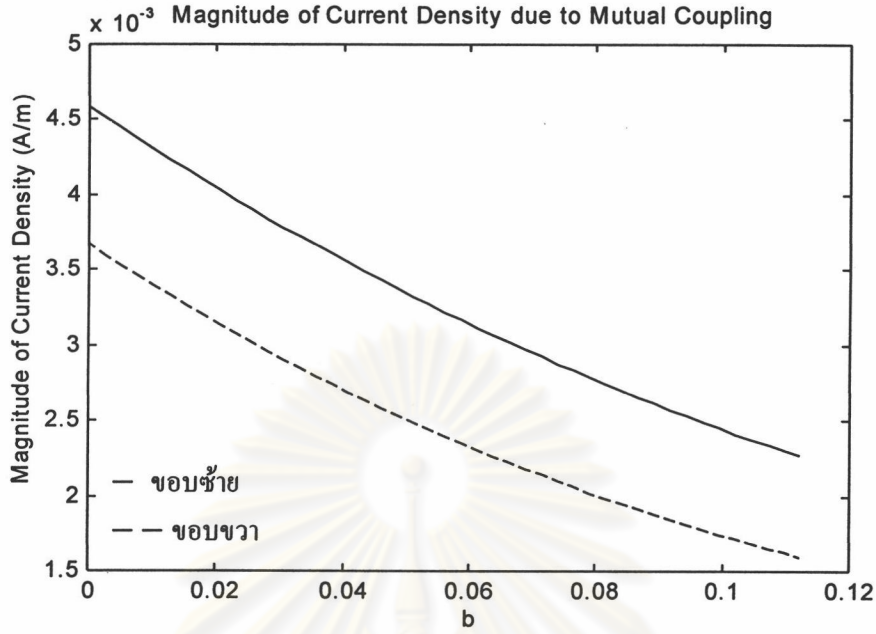


รูปที่ 4.58 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

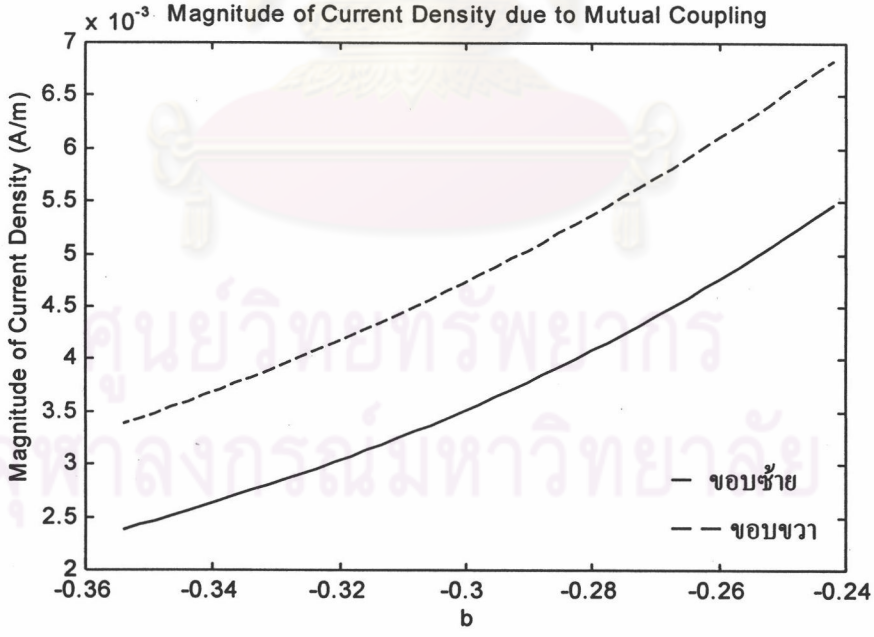


รูปที่ 4.59 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น และคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากองค์ประกอบนั้น ๆ (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

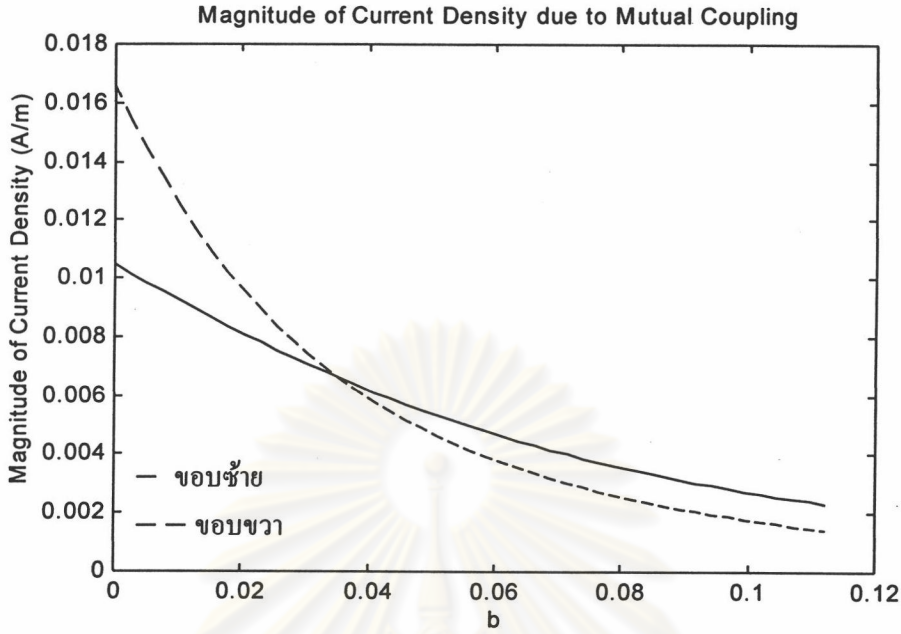


รูป 4.60 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 1)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

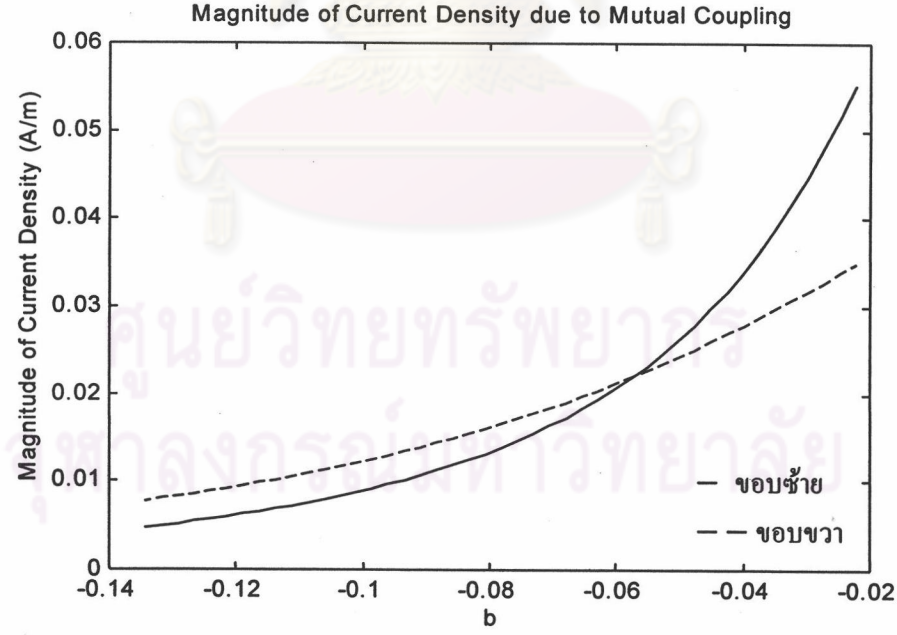


รูป 4.61 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 2)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.62 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 1)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



รูป 4.63 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 2)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

จากรูป 4.51 ถึงรูป 4.57 นั้นจะพบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแบบรูปการแผ่พลังงานเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงเมื่อแผ่นตัวนำในแผงสายอากาศจัดวางตัวในกรณีที่ 3 (straggled หรือ in echelon) ดังนี้

- ที่ระนาบ 0 องศา แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงนั้นจะมีความผิดเพี้ยนเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเชิงมุมไกล ๆ ตั้งแต่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น คือที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 70 ถึง 90 องศาจะมีระดับที่เพิ่มขึ้นประมาณ 5 dB และเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่นนั้นตำแหน่งเชิงมุมที่เริ่มเพี้ยนจะอยู่ที่ -55 และ 75 องศาจะมีระดับที่เพิ่มขึ้นประมาณ 11 dB และ 2-3 dB ตามลำดับและจะเริ่มสังเกตเห็นถึงการเพิ่มระดับของจุดศูนย์ขึ้น 2-3 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุมเดียวกันคือที่ 34 องศา และเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยกว่า 1 เท่าของความยาวคลื่นแบบรูปการแผ่พลังงานจะเริ่มผิดเพี้ยนทุก ๆ ตำแหน่งเชิงมุม ยกเว้นตำแหน่งเชิงมุมที่เข้าใกล้ตำแหน่ง 0 องศา ส่วนระดับที่เพิ่มขึ้นจะอยู่ในช่วง 2- 12 dB ส่วนที่ระนาบ 0 องศาที่คิดผลของ Self คัปปลิงนั้นการเปลี่ยนแปลงโดยทั่วไปของแบบรูปการแผ่พลังงานก็คือการมีระดับที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3 - 16 dB ทุก ๆ ตำแหน่งเชิงมุม ยกเว้นตำแหน่งเชิงมุมที่เข้าใกล้ 0 องศา จนกระทั่งเริ่มเห็นว่าเป็นหลุมที่แนวเล็งหลักเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น

- ที่ระนาบ 90 องศา ที่ตำแหน่งเชิงมุม $\pm$ 90 องศา แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงนั้นจะไม่เป็นจุดศูนย์อีกต่อไปทุก ๆ ระยะห่างเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 และ 2 จะมีระดับที่สูงขึ้นมาเรื่อย ๆ แปรผันตามระยะห่างที่ลดลง และจุดที่คล้ายเป็นจุดศูนย์จะมีระดับสูงขึ้นมา 3 dB ณ ตำแหน่งเชิงมุมที่ -30 องศาที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่นและจะเห็นได้ชัดที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่นจุดศูนย์ที่อยู่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -30 องศาจากอยู่ระดับที่ -22 dB เปลี่ยนไปเป็น -6 dB ซึ่งเพิ่มขึ้น 16 dB และเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่นแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีลักษณะเป็นเส้นที่มีความชันลดลงจาก 11 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -90 องศาเป็น -1 dB dB ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 90 องศาเช่นเดียวกันกับที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่นจะลดลงจาก 12 dB เป็น -7 dB ณ ตำแหน่งเชิงมุมเดียวกัน ส่วนที่ระนาบ 90 องศาที่คิดผลของ Self คัปปลิงนั้นแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงก็จะมีลักษณะที่ไม่แตกต่างจากที่ไม่คิด Self คัปปลิง เพียงแต่จะมีระดับที่สูงกว่าทุก ๆ ระยะห่าง

- โดยที่รูป 4.58 ถึงรูป 4.63 จะเป็นผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงและการกระจายกระแส ($\bar{J}$) ที่เกิดขึ้นที่ขอบต่าง ๆ ของสายอากาศที่เหนี่ยวนำให้เกิดสนามที่มาจากการคัปปลิง จะพบว่าที่ระนาบ 0 องศานั้นเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าตั้งแต่ 1 เท่าของความยาวคลื่นขึ้นไปจะมีค่าสูงสุดของระดับของแบบรูปการแผ่พลังงานค่อนข้างน้อยคือประมาณ -8 dB แต่จะมีลักษณะแกว่ง และเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยกว่า 0.5 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานจะไม่แกว่งและจุดสูงสุดจะอยู่ที่ 0-3 dB และเป็นศูนย์

ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศาทุกระยะห่าง ส่วนที่ระนาบ 90 องศาผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงก็จะมีลักษณะที่ระดับจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อตำแหน่งเชิงมุมมีค่าเข้าใกล้ 0 องศาและเป็นศูนย์ในที่สุดเช่นเดียวกัน ส่วนที่คิดผลของ Self คัปปลิงนั้น ทั้งสองระนาบจะมีการแกว่งและมีระดับที่มากขึ้น ซึ่งสรุปตำแหน่งเชิงมุมที่มีค่าของระดับของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงสูงสุดเพื่อที่จะเป็นข้อสังเกตว่าตำแหน่งเชิงมุมใดมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด แสดงดังตาราง 4.5 และ
4.6

ตาราง 4.5 ตำแหน่งเชิงมุมที่มีระดับสูงสุดของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิง (สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 วางตัวในกรณีที่ 3)

ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	ระนาบ 0 องศา		ระนาบ 90 องศา	
	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)
1.5	47	-8	-90	2
1	50	-5	-90	4
0.5	58	-2	± 90	4 — 5
0.25	38	0	-90	11
0.125	30	3	-90	13

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.6 ตำแหน่งเชิงมุมที่มีระดับสูงสุดของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิง (สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 วางตัวในกรณีที่ 3 และคิด Self คัปปลิง)

ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	ระนาบ 0 องศา		ระนาบ 90 องศา	
	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)
1.5	50	15	-48	17
1	52	16	-53	18
0.5	21	12	46	15
0.25	24	12	-90	15
0.125	-25 และ 21	12	-90	18

และที่ระนาบ 0 องศาของทั้ง 3 กรณี สามารถสรุปความแตกต่างของระดับของแบบรูปการแผ่พลังงาน ณ. ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 90 องศา ดังตาราง 4.7

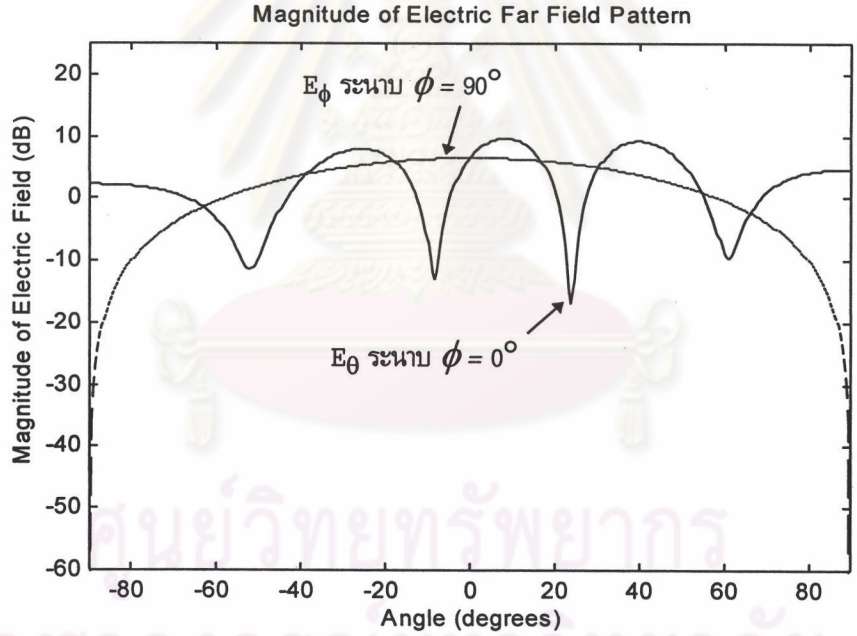
ตาราง 4.7 การเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับของแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 90 องศา (dB) สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1

ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	กรณีที่ 1		กรณีที่ 1 (คิด Self Coupling)		กรณีที่ 2		กรณีที่ 2 (คิด Self Coupling)		กรณีที่ 3		กรณีที่ 3 (คิด Self Coupling)	
	-90	90	-90	90	-90	90	-90	90	-90	90	-90	90
1.5	7	3	13	12	0	0	9	9	1	3-4	11	6
1	28	33	29	34	0	0	9	9	12	3	16	8
0.5	11	8	16	15	0	0	9	9	1	3	10	10
0.25	26	23	25	23	1-2	1-2	9	9	7	7	10	12
0.125	32	32	32	31	3-4	3-4	11	11	5	9	6	15

5.1.2 สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 ที่มีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้

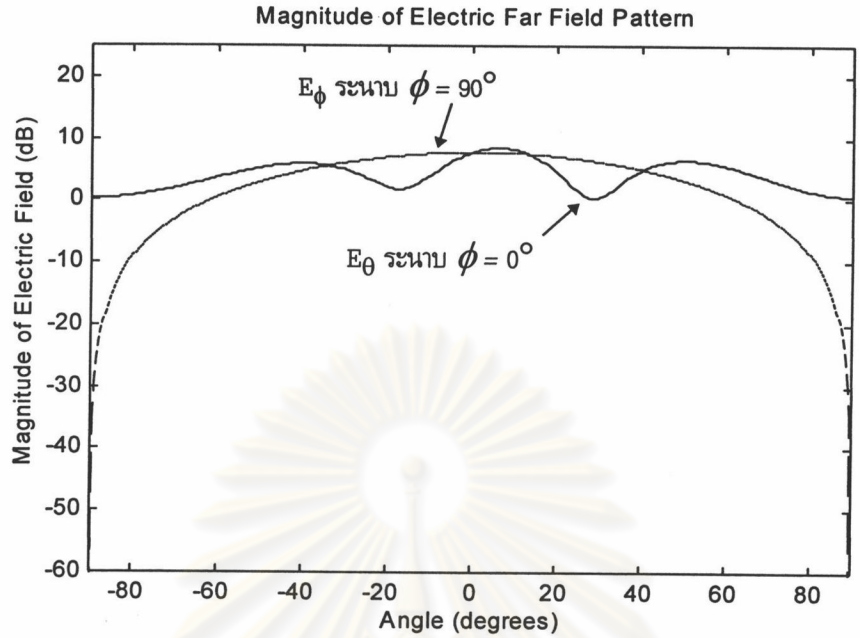
สายอากาศมีขนาดแผ่นตัวนำ axb เท่ากับ 4.02x4.02 ซม.^{2} ความหนาของแผ่นฐานไดอิเล็กตริก t มีค่าเท่ากับ 0.159 ซม. ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ε_r และค่าแทนเจนต์การสูญเสีย tanδ มีค่าเท่ากับ 2.55 และ 0.002 ตามลำดับ ใช้ระบบป้อนกำลังแบบสายแกนร่วมซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าเท่ากับ d_0 เท่ากับ 0.127 ซม. จ่ายกระแส ณ ตำแหน่ง (x_0,y_0) ของแต่ละแผ่นตัวนำเท่ากับ (0 ซม., 2.01 ซม.) สายอากาศทำงานที่ความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.272 จิกะเฮิรตซ์

5.1.2.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริป (ไม่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง) ที่มี 2 องค์ประกอบ ทั้ง 3 กรณี สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02x4.02 ซม.^{2})

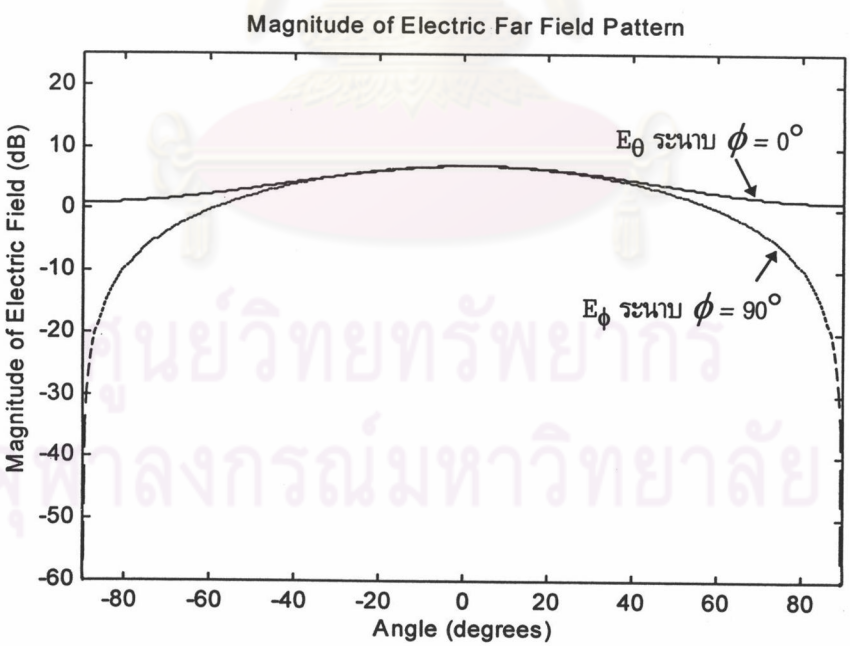


รูป 4.64 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

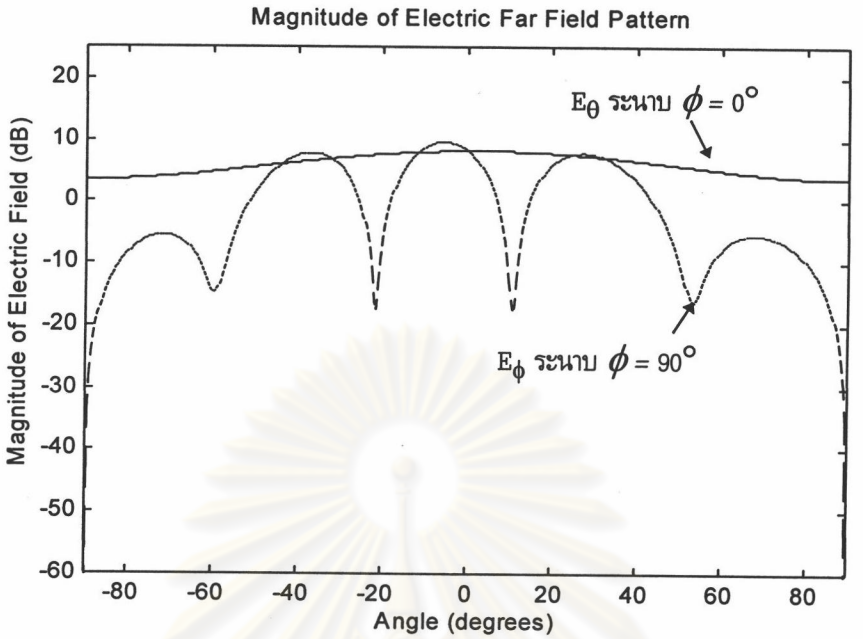


รูป 4.65 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น

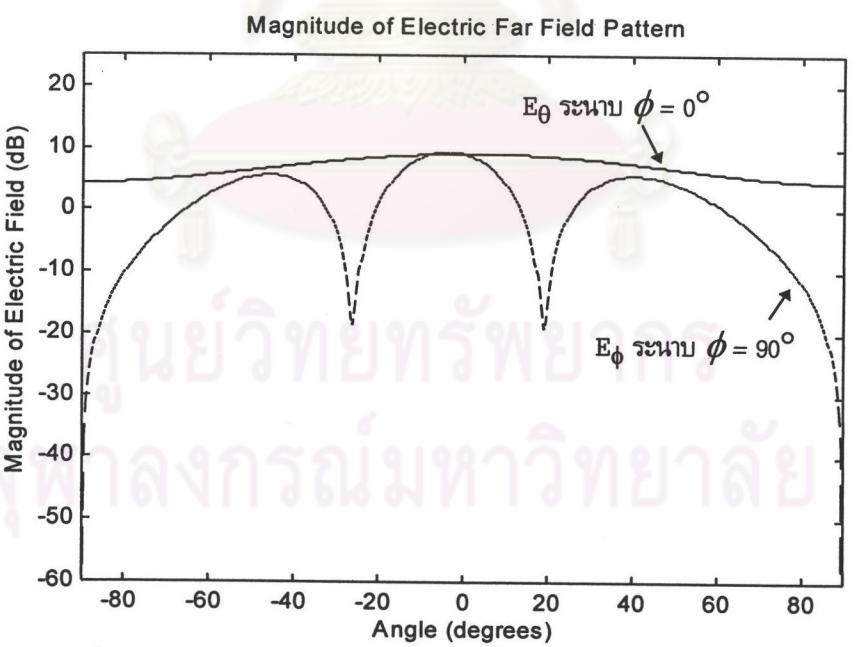


รูป 4.66 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

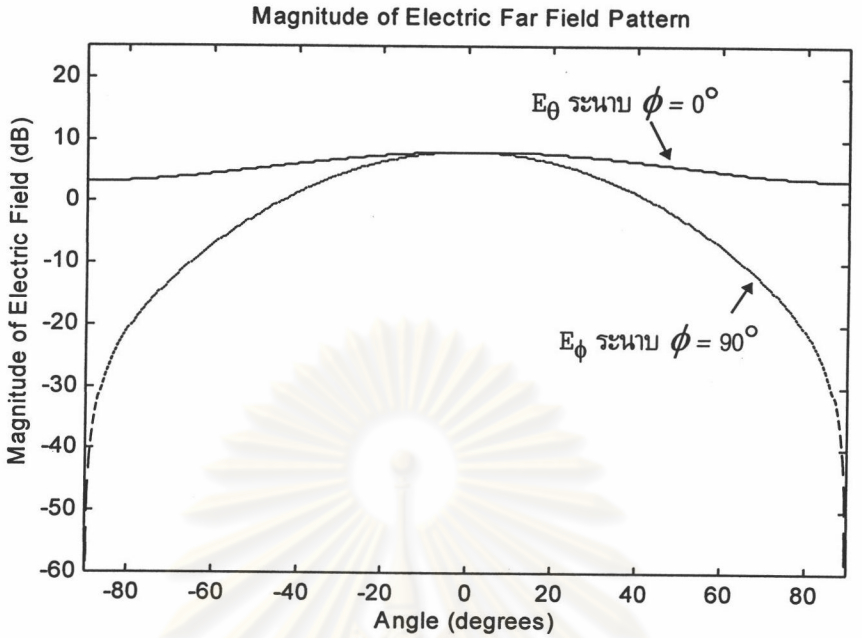


รูป 4.67 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น

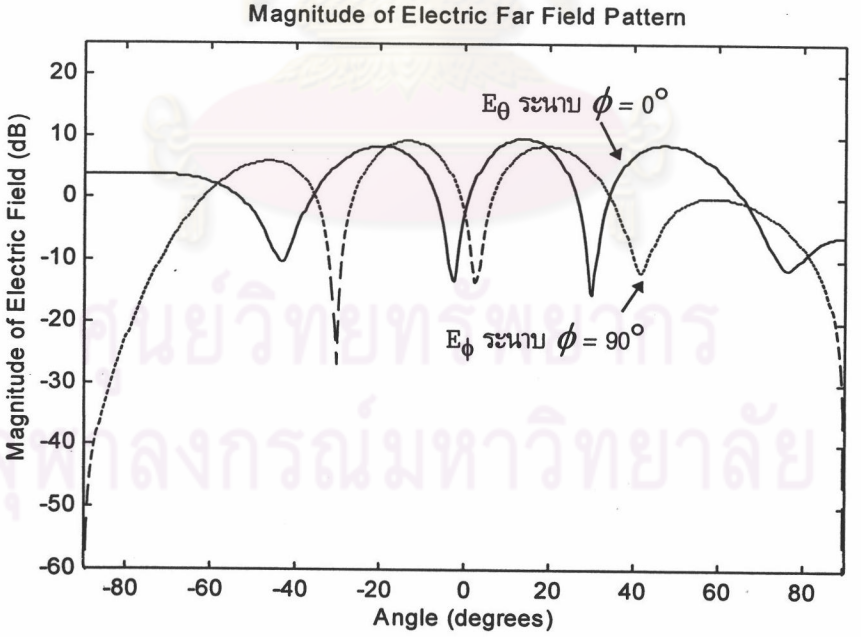


รูป 4.68 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

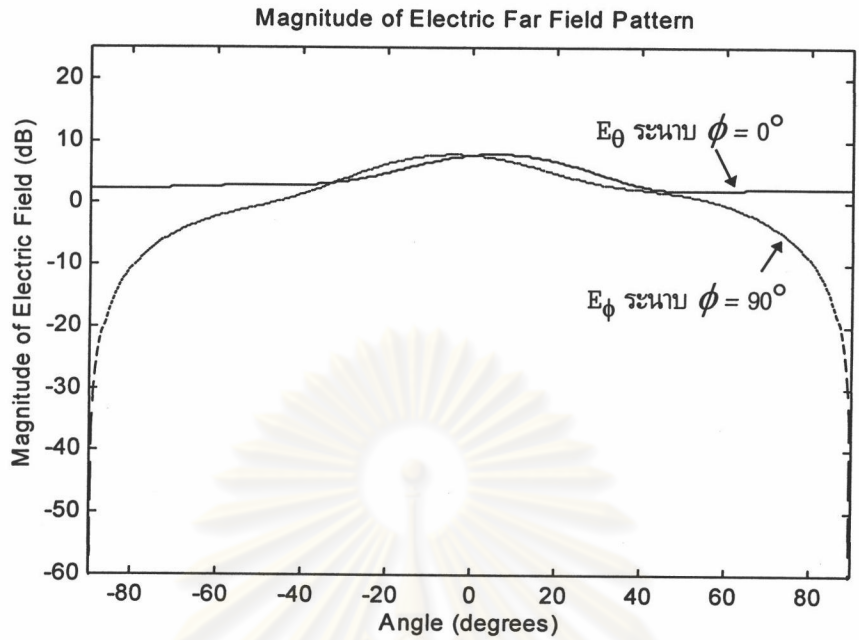


รูป 4.69 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น

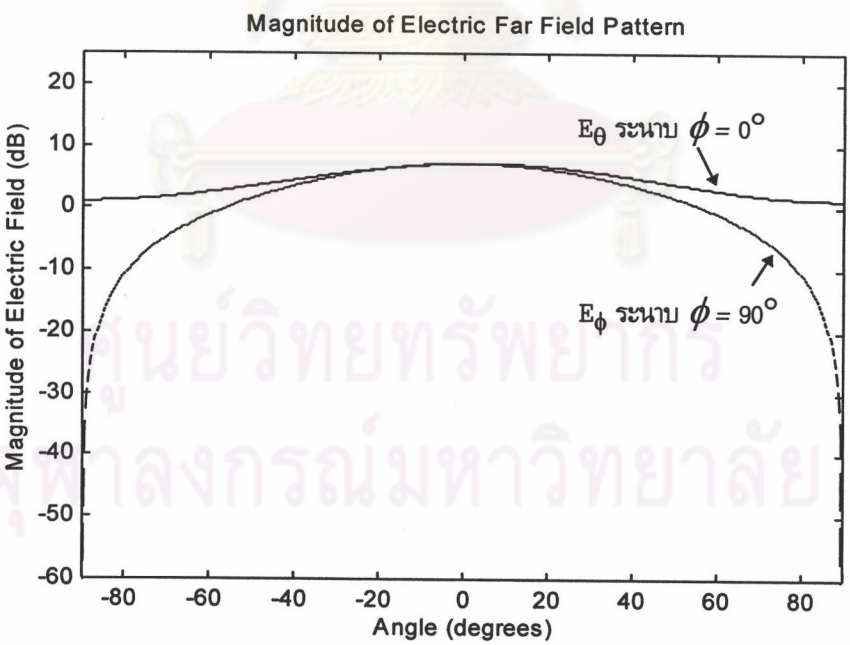


รูป 4.70 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.71 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น



รูป 4.72 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3)
ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2})
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

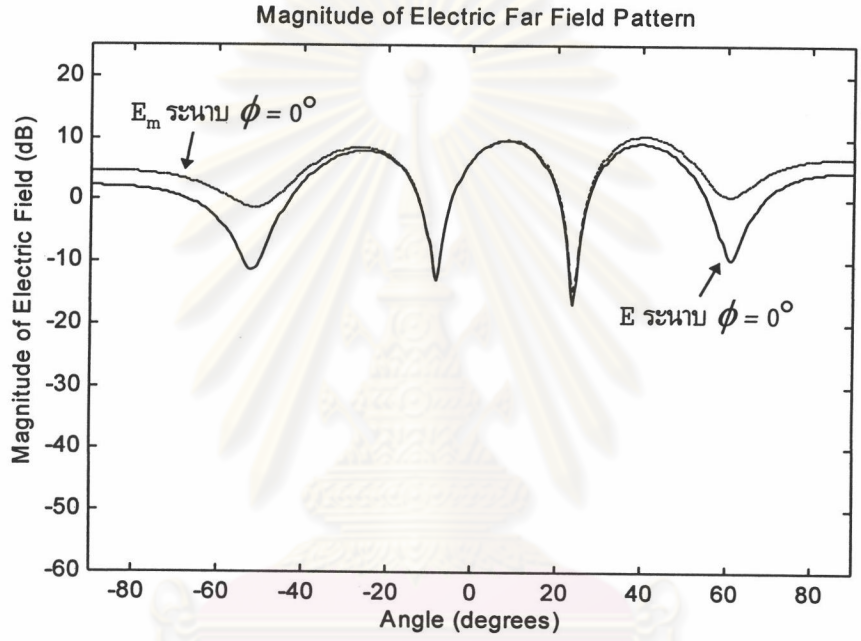
- รูป 4.64 ถึงรูป 4.72 เป็นแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบและจัดวางตัวทั้ง 3 กรณี ซึ่งสรุปแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ (จาก 1.5 เท่าของความยาวคลื่นจนถึง 0.125 เท่าของความยาวคลื่น) ดังนี้

- กรณีที่ 1 ระนาบ 0 องศา แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลง จำนวนพูข้างจะน้อยลงรวมถึงทุกตำแหน่งเชิงมุมแบบรูปการแผ่พลังงานจะมีระดับอยู่ในช่วง 0 ถึง 9 dB แต่ยังคงคล้ายกับมีพูข้างอยู่และพูข้างนั้นมีระดับที่สูงเกือบเท่าพูประธาน เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าลดลงจาก 1.5 เป็น 1 เท่าของความยาวคลื่น และแบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะคล้ายเป็นเส้นตรงแต่จะมีระดับที่สูงขึ้นเมื่อเข้าใกล้ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศารวมถึงจะไม่มีพูข้าง เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยกว่า 1 เท่าของความยาวคลื่น ส่วนระนาบ 90 องศานั้นแบบรูปการแผ่พลังงานแทบจะไม่ต่างกันเลยทุกระยะห่าง แต่ระดับสูงสุดของแต่ละระยะห่างจะแตกต่างกันไม่เกิน 3 dB

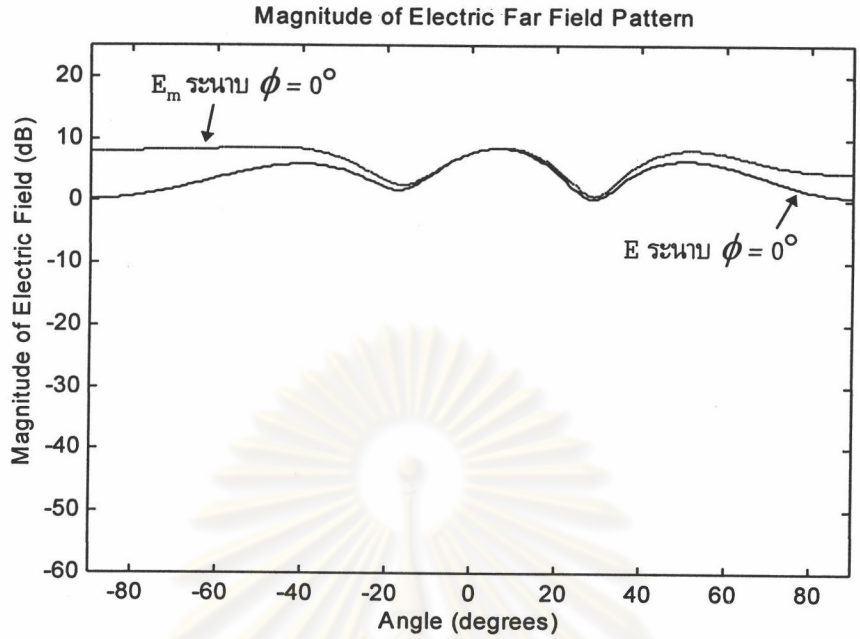
- กรณีที่ 2 ระนาบ 0 องศานั้นมีความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแบบรูปการแผ่พลังงานน้อยมากจนแทบไม่สามารถสังเกตเห็นได้ กล่าวคือทุกระยะห่างแบบรูปการแผ่พลังงานจะมีรูปร่างที่เหมือนกันแต่ระดับจะต่างกันเพียง 1-2 dB พบความเปลี่ยนแปลงของแบบรูปการแผ่พลังงานได้ชัดที่ระนาบ 90 องศาซึ่งจะสลับกับกรณีที่ 1 เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าลดลงจาก 1.5 เป็น 1 เท่าของความยาวคลื่น จำนวนพูทั้งหมดของแบบรูปการแผ่พลังงานจะลดลงจาก 5 พูเหลือ 3 พู เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าลดลงจาก 1 เป็น 0.5 เป็น 0.125 เท่าของความยาวคลื่นระดับของพูข้างจะลดลงจาก 7 เป็น -2 เป็น -23 dB รวมถึงการทำให้พูประธานมีความกว้างขึ้นจนกระทั่งแบบรูปการแผ่พลังงานจะที่ไม่มีพูข้างเลยที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น

- กรณีที่ 3 เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ จะพบความเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดทั้ง 2 ระนาบ ที่ระนาบ 0 องศา แบบรูปการแผ่พลังงานจะค่อย ๆ ลดระดับการแกว่งลง จากที่มีลักษณะที่มีพูข้างแต่พูข้างมีระดับที่สูง จนกระทั่งไม่มีพูข้างเลยที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น และแบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะเป็นคล้ายเส้นตรงเพียงแต่เมื่อเข้าใกล้ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศาจะมีระดับที่สูงขึ้นกว่าใกล้ตำแหน่งเชิงมุมไกล ๆ 1-2 dB ส่วนระนาบ 90 องศานั้น แบบรูปการแผ่พลังงานมีลักษณะที่มีพู 4 พู ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานก็จะไม่มีพูข้างเลย แต่จะมีลักษณะที่แกว่งอยู่ในช่วง -2 ถึง 8 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -55 ถึง 32 องศา และจะไม่มีการแกว่งอีกเมื่อระยะห่างมีค่าลดลง จนกระทั่งที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานก็จะมีลักษณะคล้ายกับระนาบ 90 องศาของแบบรูปการแผ่พลังงานของกรณีที่ 1

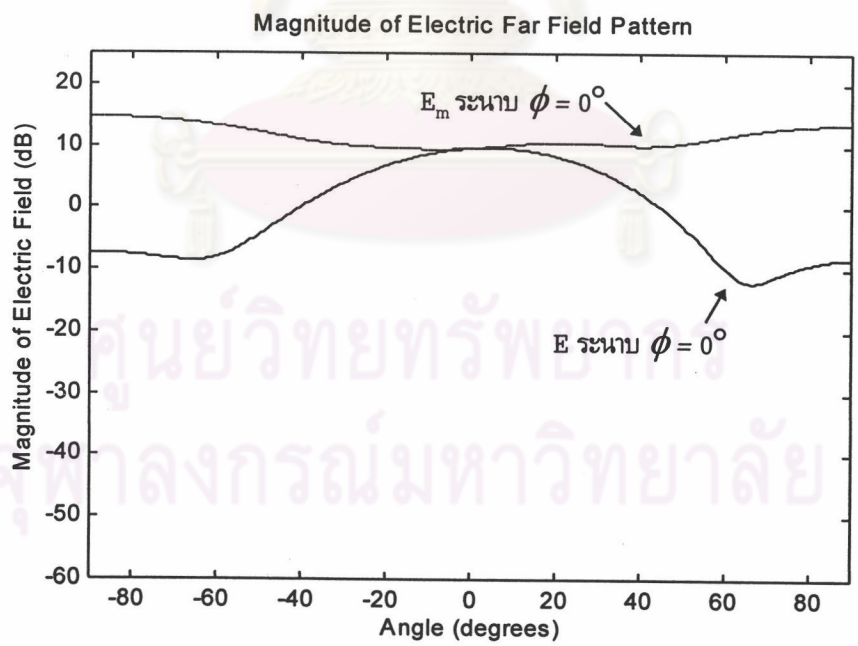
5.1.2.2 ผลกระทบของปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่มีต่อแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบและจัดวางตัวในกรณีที่ 1 (side by side) เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ (จาก 1.5 เท่าของความยาวคลื่นจนถึง 0.125 เท่าของความยาวคลื่น) สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2})



รูป 4.73 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น . (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

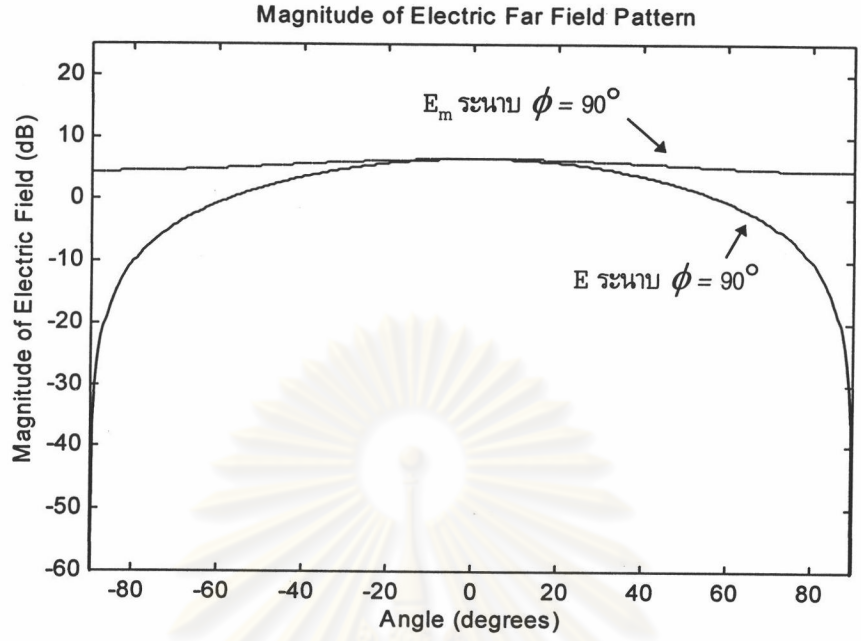


รูป 4.74 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

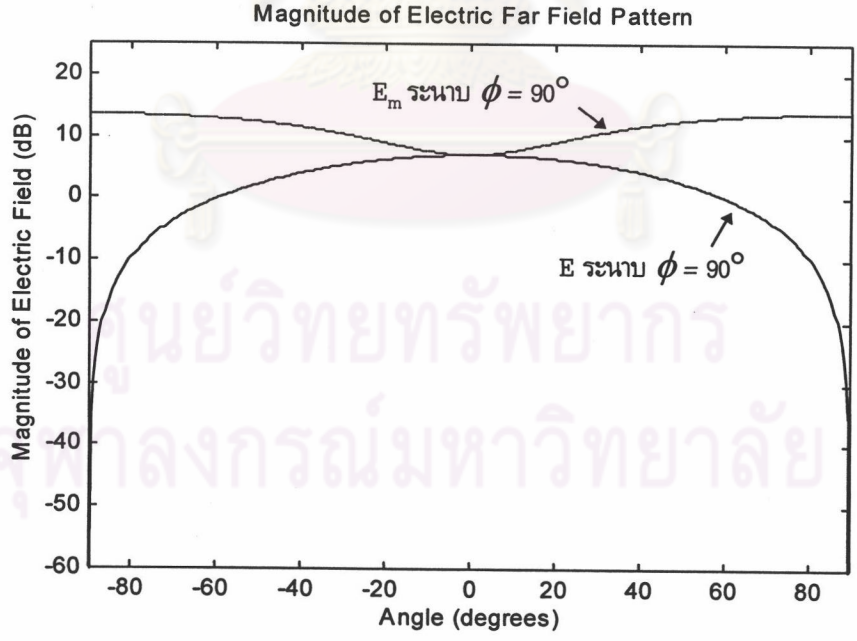


รูป 4.75 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

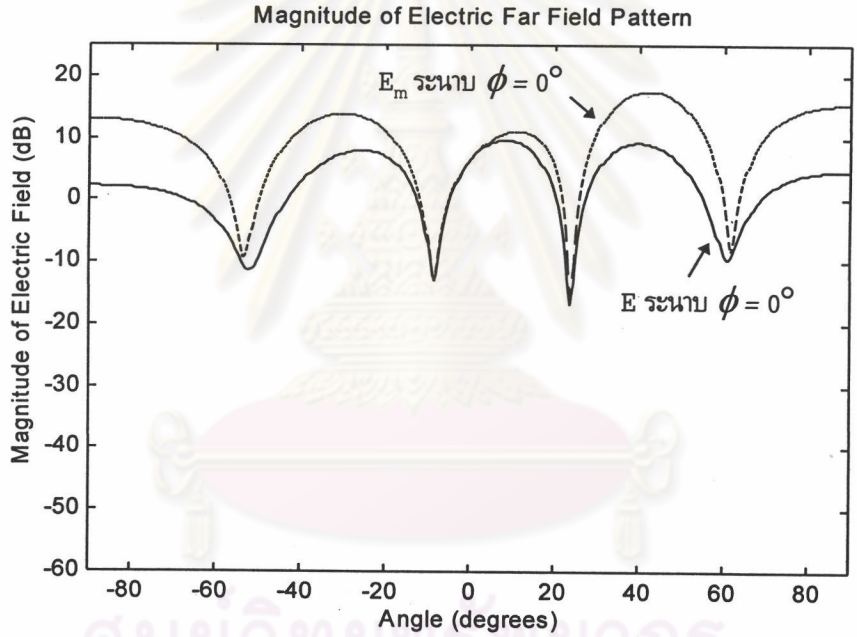
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



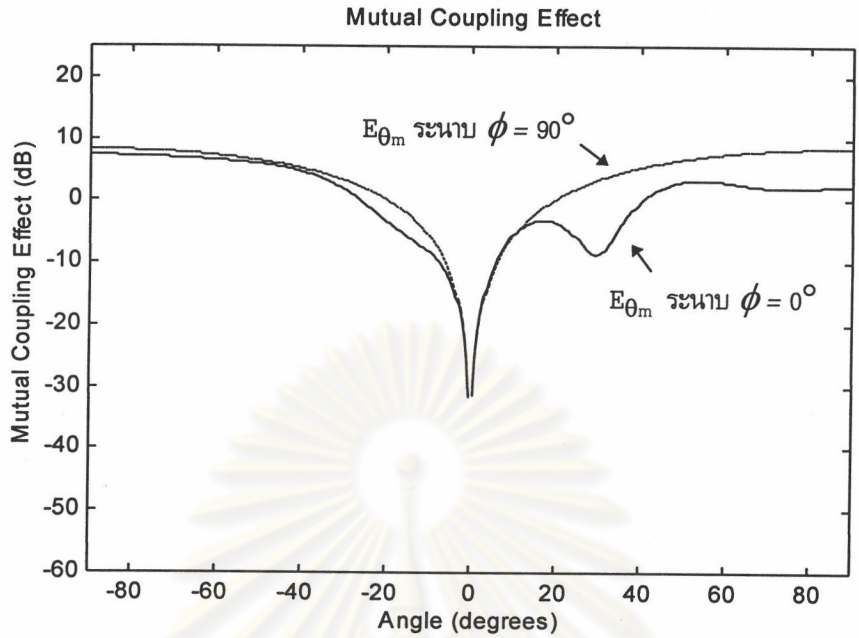
รูป 4.76 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) เทียบกับ แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))



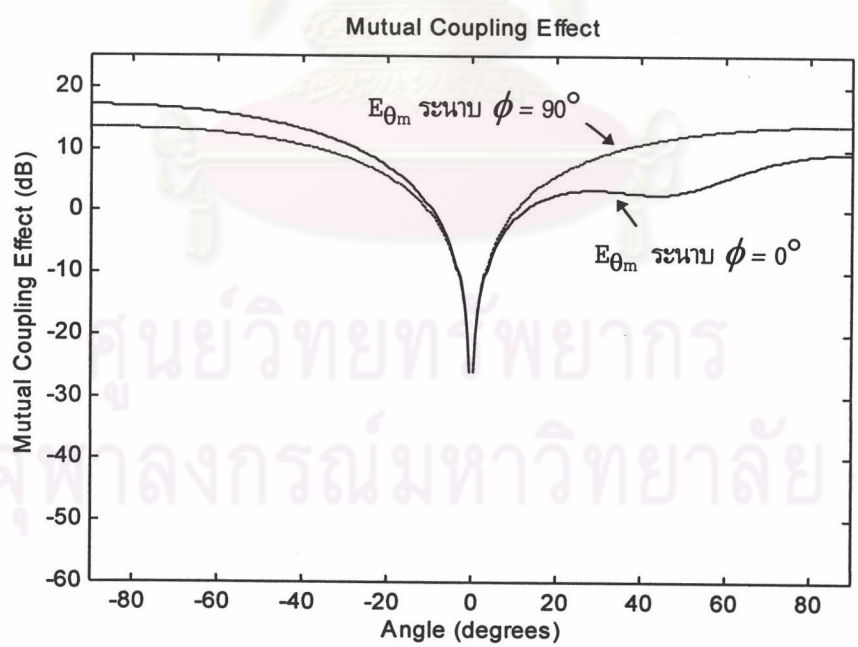
รูป 4.77 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) เทียบกับ แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))



รูป 4.78 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) (คำนึงถึงผลกระทบที่รวมผลขององค์ประกอบนั้น ๆ) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

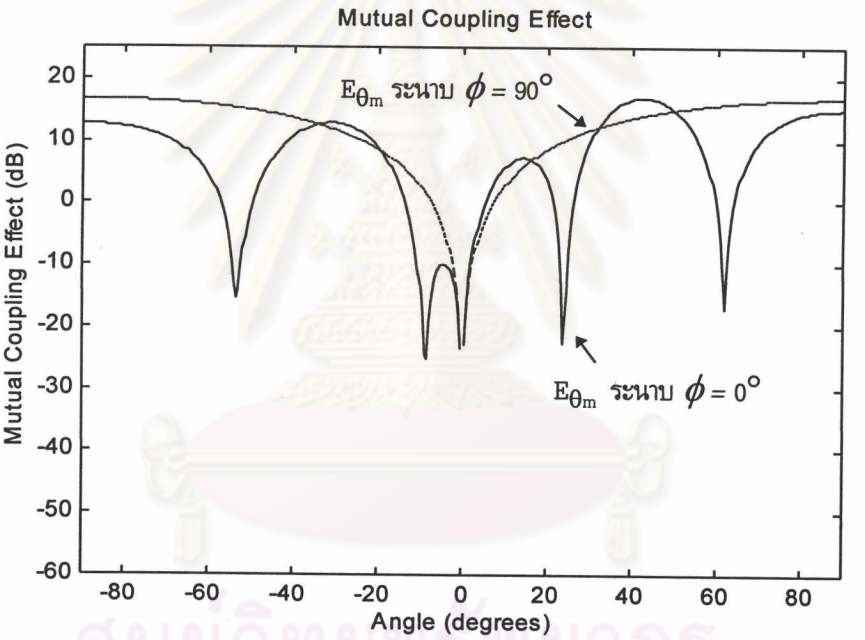


รูป 4.79 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))

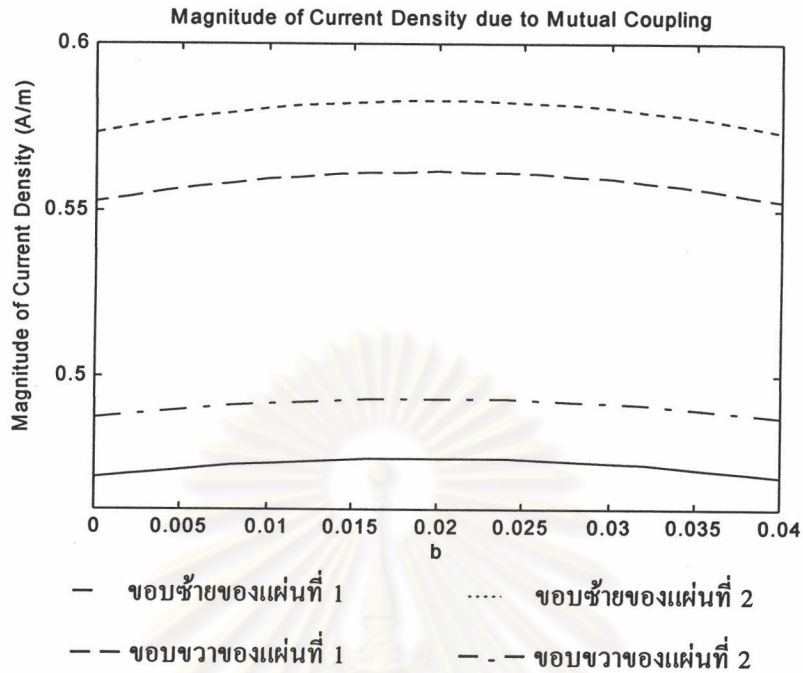


รูป 4.80 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))

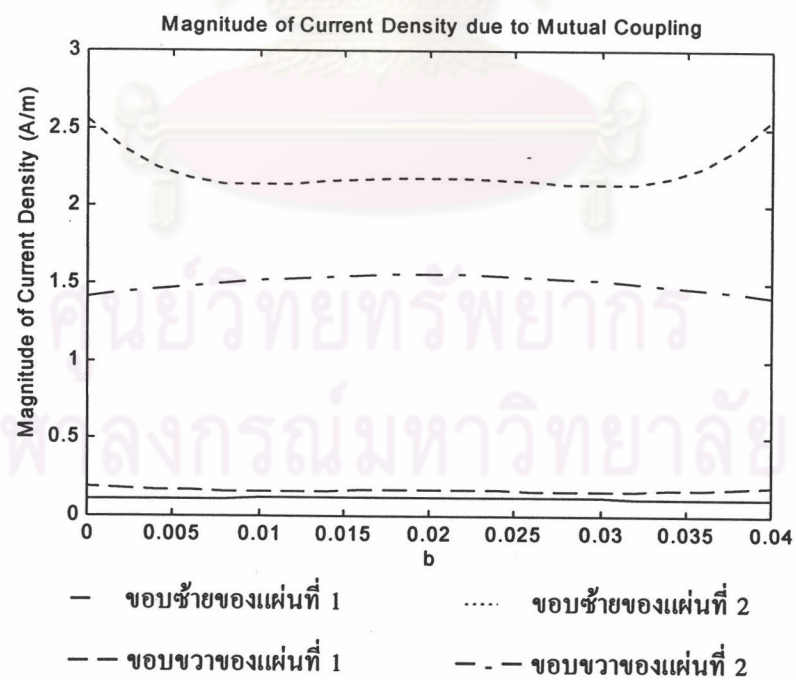
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.81 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1)
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น
และคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากองค์ประกอบนั้น ๆ (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3)

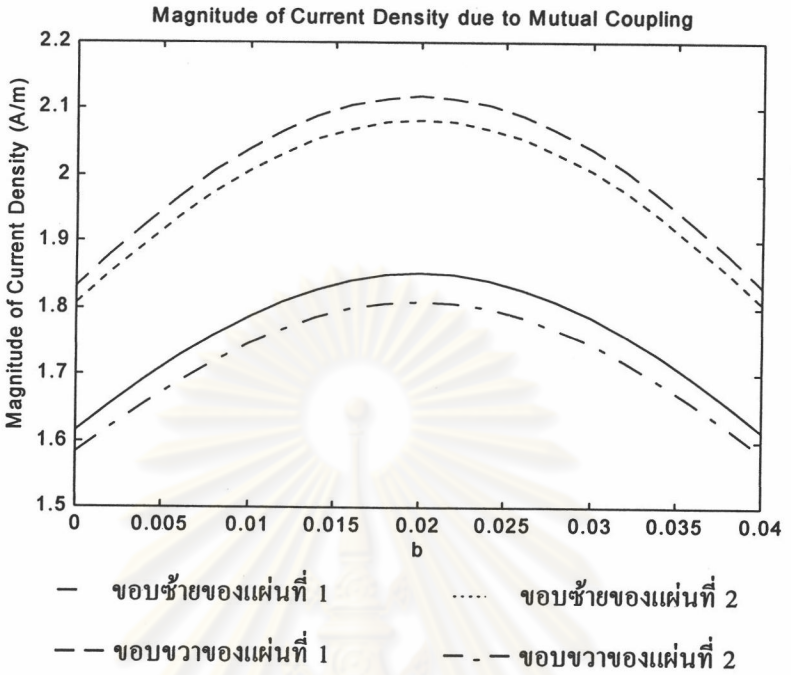


รูป 4.82 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ ที่ขอบของแผ่นตัวนำของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))



รูป 4.83 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ ที่ขอบของแผ่นตัวนำของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.84 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 1) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น(คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากองค์ประกอบนั้น ๆ (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))

จากรูป 4.73 ถึงรูป 4.77 นั้นจะพบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแบบรูปการแผ่พลังงานเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงเมื่อแผ่นตัวนำในแผงสายอากาศจัดวางตัวในกรณีที่ 1 (side by side) ดังนี้

- ที่ระนาบ 0 องศา แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงโดยรวมแล้วจะมีความผิดเพี้ยนไปจากเดิมคือจะมีระดับที่สูงขึ้นทุก ๆ ตำแหน่งเชิงมุม และจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเข้าใกล้ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศา ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่นนั้นตำแหน่งเชิงมุมที่มีลักษณะเป็นหลุมที่ -53 และ 60 องศานั้นจะมีการเพิ่มระดับขึ้นไปประมาณ 10 dB เท่า ๆ กัน และเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่นแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีความผิดเพี้ยนจากปกติค่อนข้างมากกล่าวคือจะมีลักษณะคล้ายเป็นเส้นตรงทุกตำแหน่งเชิงมุมและมีระดับที่สูงสุดต่างจากระดับที่ต่ำที่สุดประมาณ 3 dB แบบรูปการแผ่พลังงานจะอยู่ที่ระดับประมาณ 11-14 dB ซึ่งระดับจะเพิ่มจากแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง 20 dB ที่ประมาณตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 60ถึง $\pm$ 90 องศา ส่วนระนาบ 0 องศาที่คิด Self คัปปลิงนั้น แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีความผิดเพี้ยนมากขึ้น เช่น ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่นนั้นก็จะเริ่มสังเกตเห็นว่าจุดศูนย์ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -53 และ 60 องศาก็จะเลื่อนไปอยู่ที่ -56 และ 62 องศาตามลำดับและ

เพิ่มระดับขึ้นประมาณ 2 dB ส่วนจุดศูนย์ที่อยู่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 7 และ 25 องศานั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง เพราะ 2 ตำแหน่งดังกล่าวอยู่ใกล้ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศา ส่วนที่ระยะห่างอื่น ๆ ความผิดเพี้ยนก็จะคล้ายกับที่ไม่คิด Self คัปปลิงแต่จะมีระดับที่สูงกว่า

- ที่ระนาบ 90 องศานั้น ความเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดที่สุดก็คือ ณ. ตำแหน่งเชิงมุมที่เข้าใกล้ $\pm$ 90 องศามาก ๆ นั้นจากที่ลดระดับลงจนกลายเป็นจุดศูนย์ แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงก็จะไม่เป็นอย่างนั้น จะมีลักษณะคล้ายเป็นเส้นตรงทุกตำแหน่งเชิงมุม จนกระทั่งเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจากที่มีลักษณะคล้ายเป็นเส้นตรงทุกตำแหน่งเชิงมุม เว้นแต่ตำแหน่งเชิงมุมที่มีค่าเข้าใกล้ 0 องศาจะมีระดับที่ลดลงเมื่อเทียบกับตำแหน่งเชิงมุมอื่น จนทำให้แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีลักษณะคล้ายเป็นหลุมบริเวณแนวเล็งหลัก และจะสังเกตเห็นได้ชัดขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงไปอีก (0.25 หรือ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น) ส่วนระนาบ 90 องศาที่คิด Self คัปปลิงนั้น แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงนั้น ทุกระยะห่างจะมีลักษณะที่คล้ายกับแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่คิด Self คัปปลิงที่มีระยะห่างน้อย ๆ (น้อยกว่า 0.25 เท่าของความยาวคลื่นลงไป) แต่จะมีระดับที่สูงกว่าทุก ๆ ตำแหน่งเชิงมุมขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ

- รูป 4.78 ถึงรูป 4.84 เป็นผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงและการกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่เกิดขึ้นที่ขอบต่าง ๆ ของสายอากาศ ที่เหนี่ยวนำให้เกิดสนามที่มาจากการคัปปลิง ซึ่งจะพบว่าที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น ที่ระนาบ 0 องศา ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงนั้นจะมีลักษณะแกว่งที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 10 ถึง 42 องศาซึ่งระดับของแบบรูปการแผ่พลังงานจะเริ่มคงที่เมื่อตำแหน่งเชิงมุมมีค่าเท่ากับ - 60 ถึง - 90 และ 60 ถึง 90 องศาที่ 7 และ 2 dB ตามลำดับ ระดับของการแกว่งจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่นที่ตำแหน่งเชิงมุมเดิมเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานจะไม่มีการแกว่งและจะค่อย ๆ ลดลงจาก 18 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -90 องศา จนกระทั่งเมื่อตำแหน่งเชิงมุมใกล้ 0 องศา ระดับจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าเป็นศูนย์ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศาเช่นเดียวกันกับทุกระยะห่าง และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงตำแหน่งเชิงมุมที่ 1 ถึง 20 องศา หลังจากนั้นระดับจึงเริ่มเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงระหว่าง 5 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 20 ถึง 90 องศาที่ระดับ 5-10 dB ส่วนระนาบ 90 องศานั้นทุก ๆ ระยะห่างจะมีลักษณะที่คล้ายกันกล่าวคือระดับจะค่อย ๆ ลดลงจากตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 90 องศา จนกระทั่งเมื่อตำแหน่งเชิงมุมที่มีค่าเข้าใกล้ 0 องศา ระดับจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าเป็นศูนย์ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศา จะแตกต่างกันตรงระดับของแบบรูปการแผ่พลังงาน เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยระดับก็จะมีค่ามาก ส่วนในกรณีที่คิด Self คัปปลิงนั้น ที่ระนาบ 0 องศาจะมีการแกว่งที่มากขึ้นกว่าเดิมที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น ส่วนที่ระยะห่างอื่นก็จะมีลักษณะที่คล้ายกับกรณีไม่คิด Self คัปปลิงแต่จะมี

ระดับที่สูงกว่า ส่วนระนาบ 90 องศานั้นก็จะมีลักษณะที่คล้ายกับกรณีไม่คิด Self คัปปลิงแต่จะมีระดับที่สูงกว่าทุก ๆ ระยะห่างเช่นกัน ซึ่งสามารถสรุปตำแหน่งเชิงมุมที่มีค่าของระดับของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงสูงสุดเพื่อที่จะเป็นข้อสังเกตว่าตำแหน่งเชิงมุมใดมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ดังตาราง 4.8 และ 4.9

ตาราง 4.8 ตำแหน่งเชิงมุมที่มีระดับสูงสุดของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิง (สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 วางตัวในกรณีที่ 1)

ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	ระนาบ 0 องศา		ระนาบ 90 องศา	
	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)
1.5	43	5	± 70 — ± 90	5
1	-70 — -90	7	± 70 — ± 90	8
0.5	-60 — -90	12	± 60 — ± 90	12
0.25	± 74 — ± 90	15	64 — 90	17
0.125	-66	17	66	14

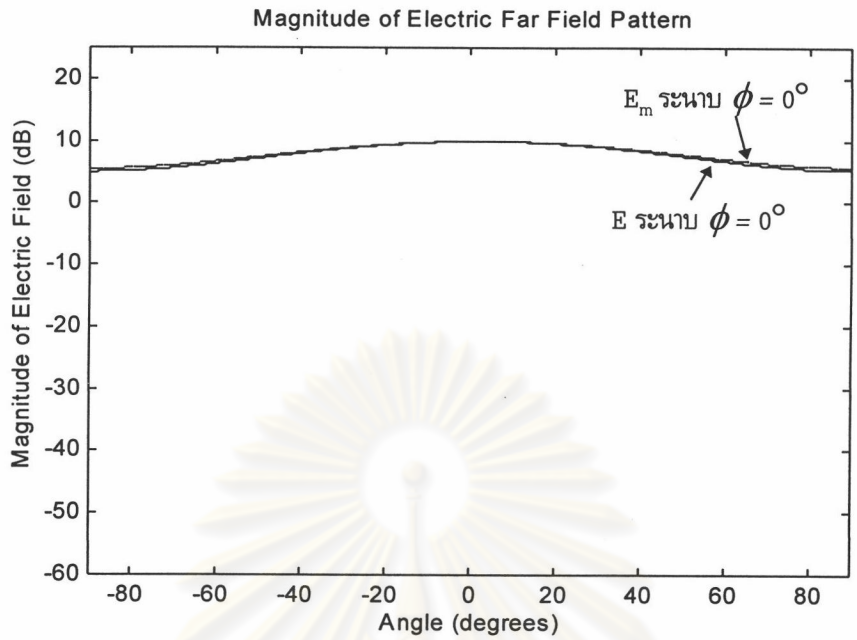
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.9 ตำแหน่งเชิงมุมที่มีระดับสูงสุดของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิง (สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 วางตัวในกรณีที่ 1 และคิด Self คัปปลิง)

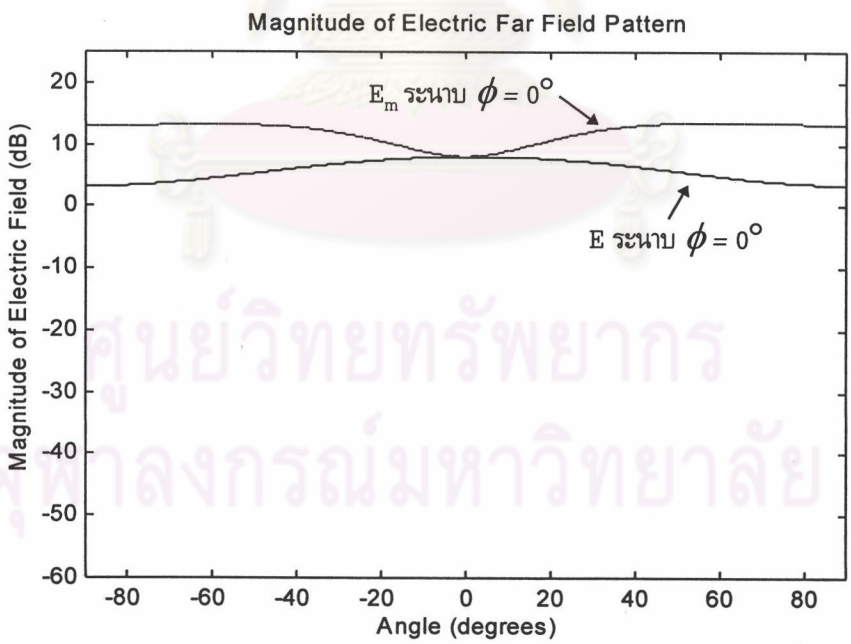
ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	ระนาบ 0 องศา		ระนาบ 90 องศา	
	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)
1.5	42	17	± 74 — ± 90	17
1	55	11	± 70 — ± 90	11
0.5	-75 — -90	17	± 70 — ± 90	20
0.25	-33 — -55	15	± 70 — ± 90	21
0.125	-60 — -90	20	± 70 — ± 90	16

5.1.2.3 ผลกระทบของปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่มีต่อแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบและจัดวางตัวในกรณีที่ 2 (collinear) เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ (จาก 1.5 เท่าของความยาวคลื่นจนถึง 0.125 เท่าของความยาวคลื่น)) สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}) (ผลการคำนวณแสดงอยู่ในหน้าถัดไป)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

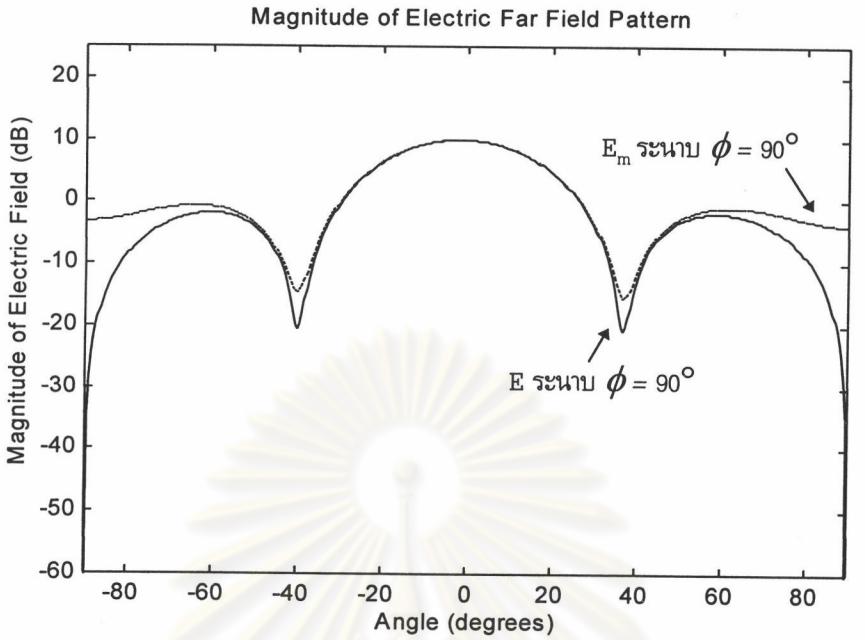


รูป 4.85 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

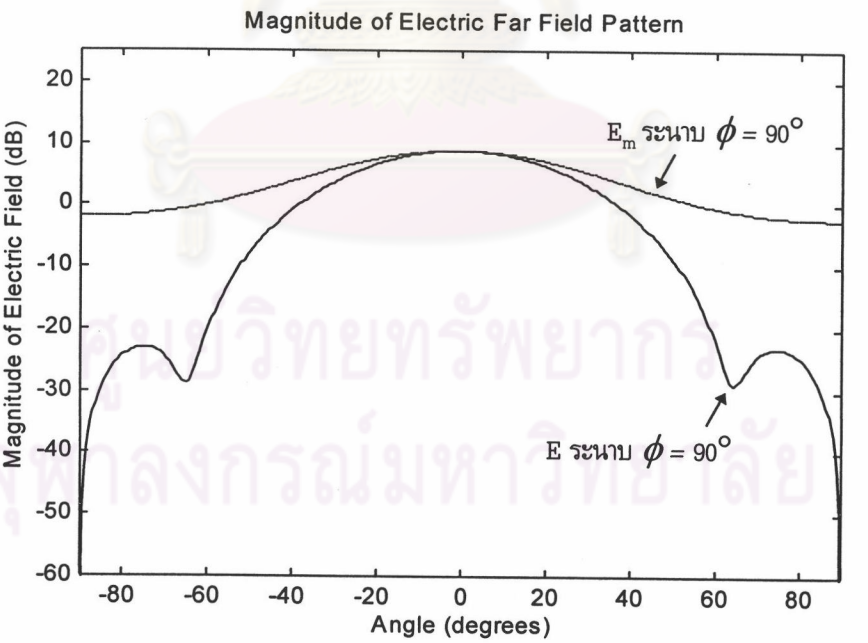


รูป 4.86 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

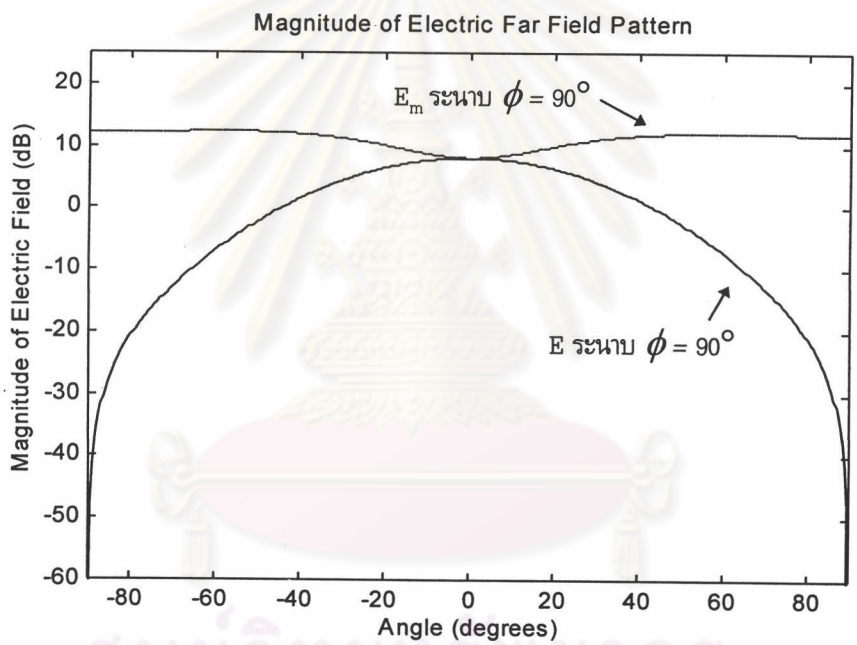
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



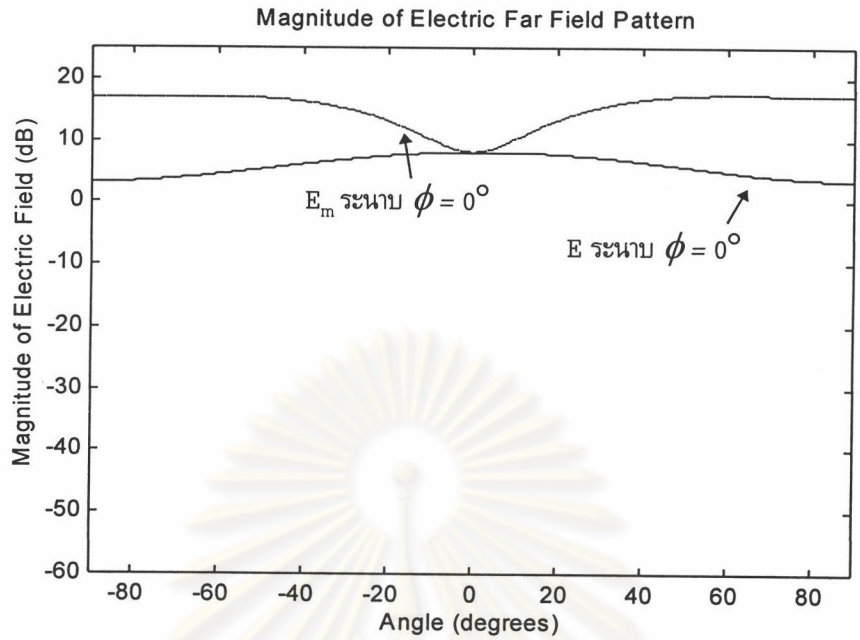
รูป 4.87 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))



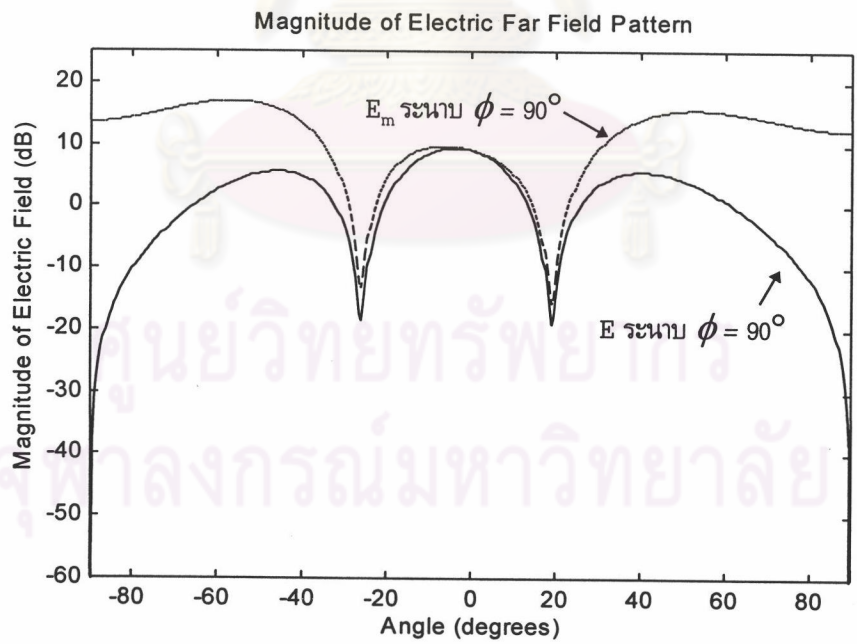
รูป 4.88 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))



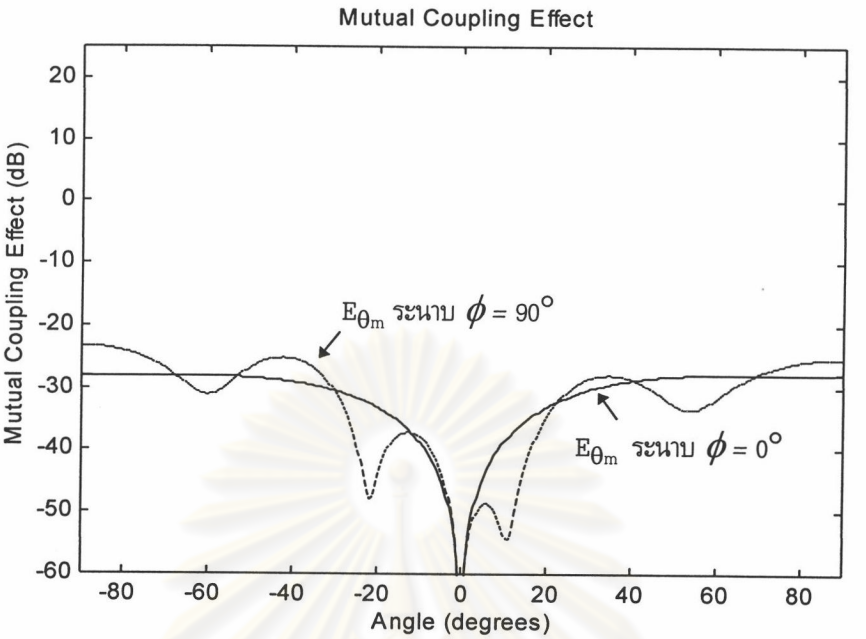
รูป 4.89 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))



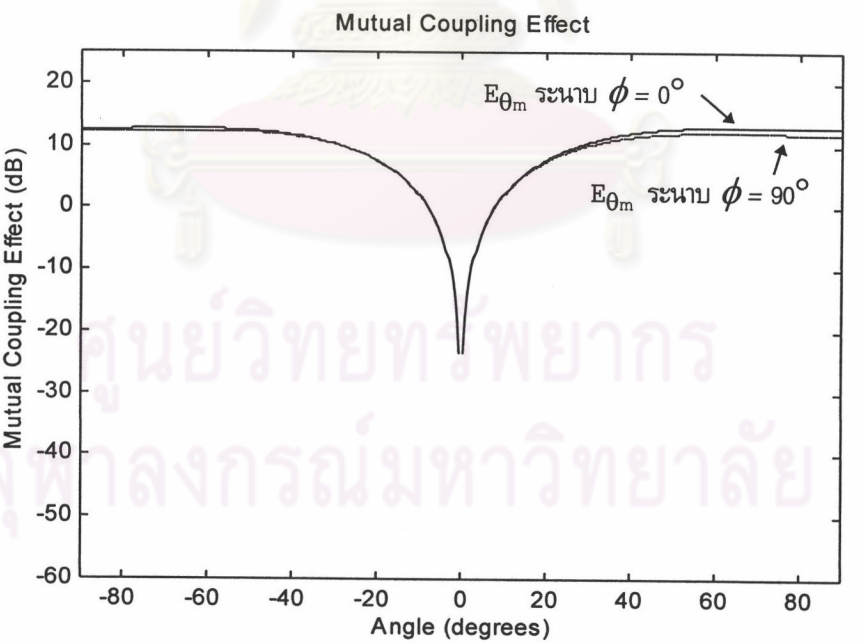
รูป 4.90 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) (คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากองค์ประกอบนั้น ๆ) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))



รูป 4.91 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) (คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากองค์ประกอบนั้น ๆ)โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

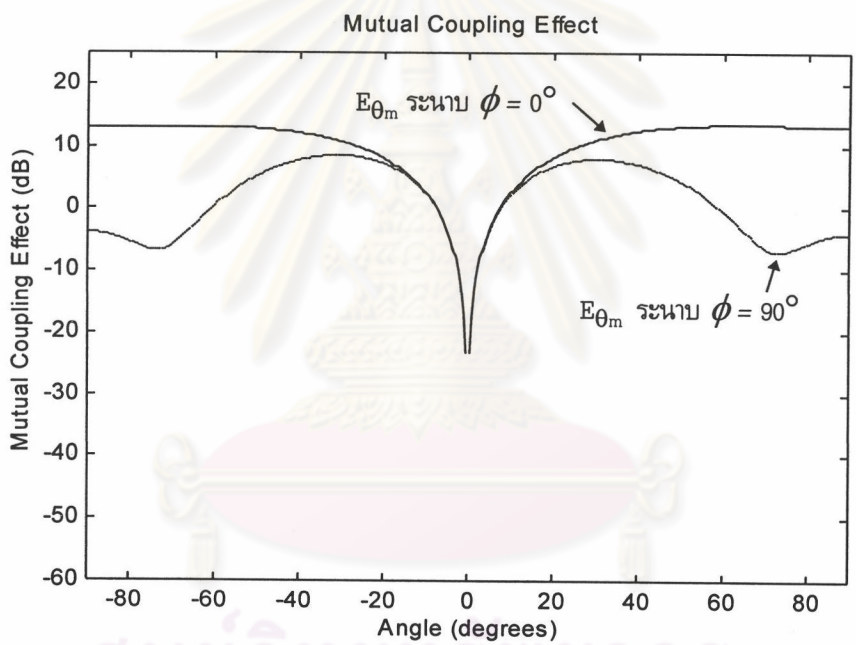


รูป 4.92 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

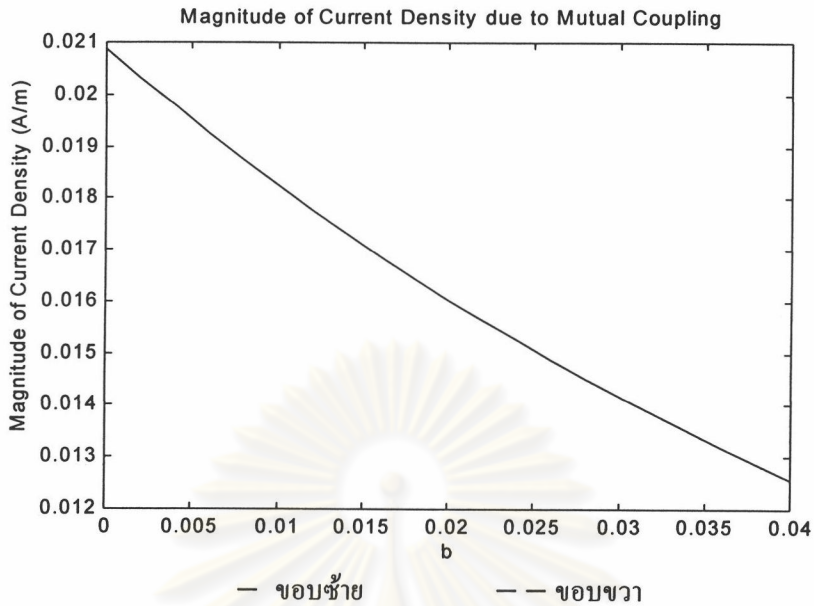


รูป 4.93 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

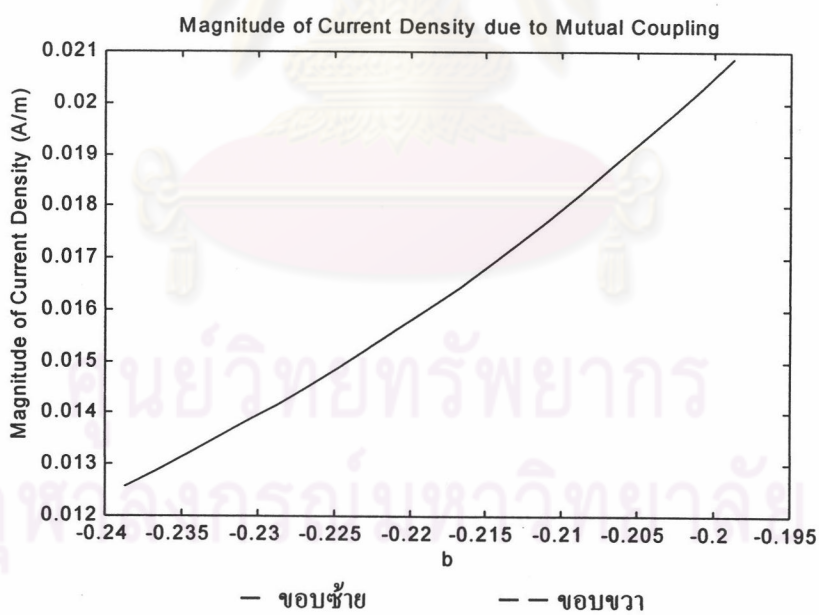
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



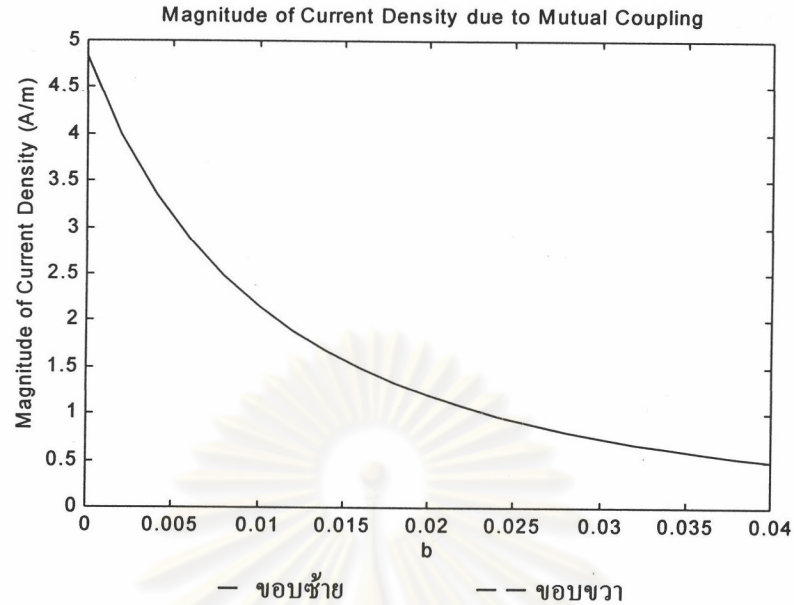
รูป 4.94 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2)
โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น
และคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากองค์ประกอบนั้น ๆ (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3)



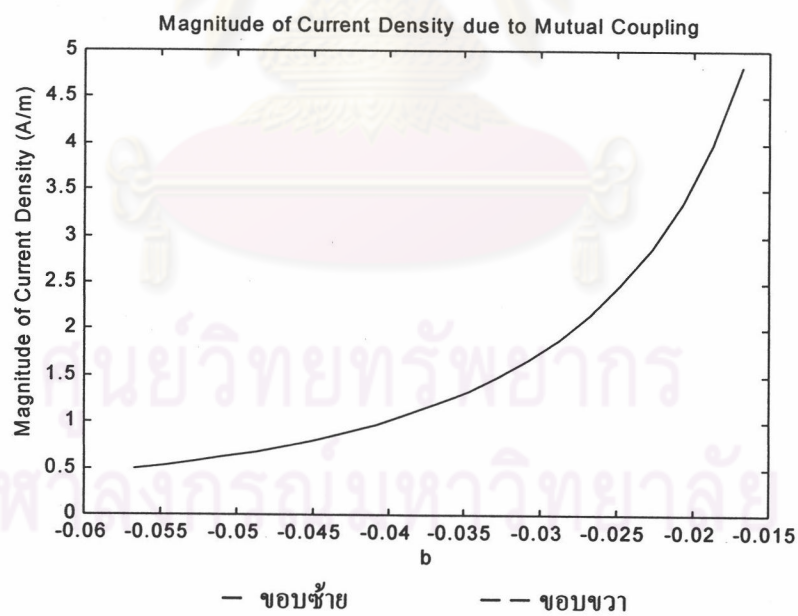
รูป 4.95 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 1)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))



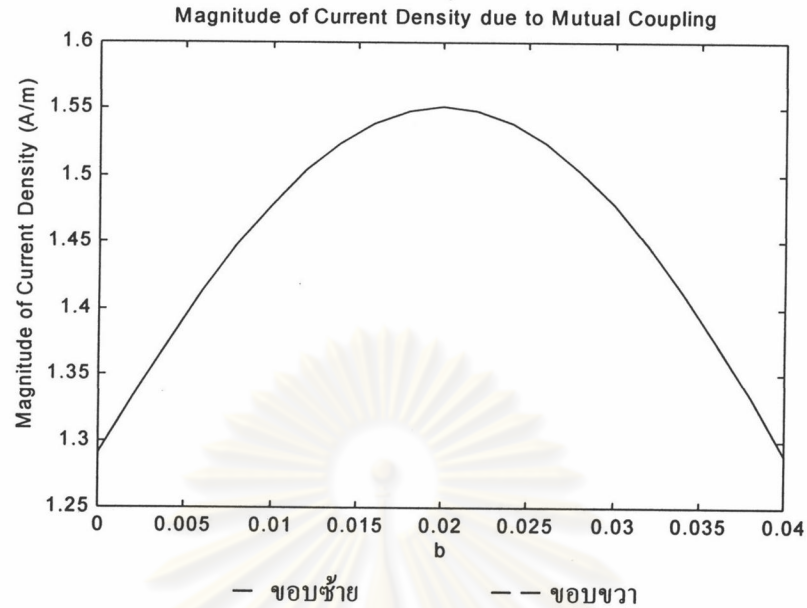
รูป 4.96 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 2)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))



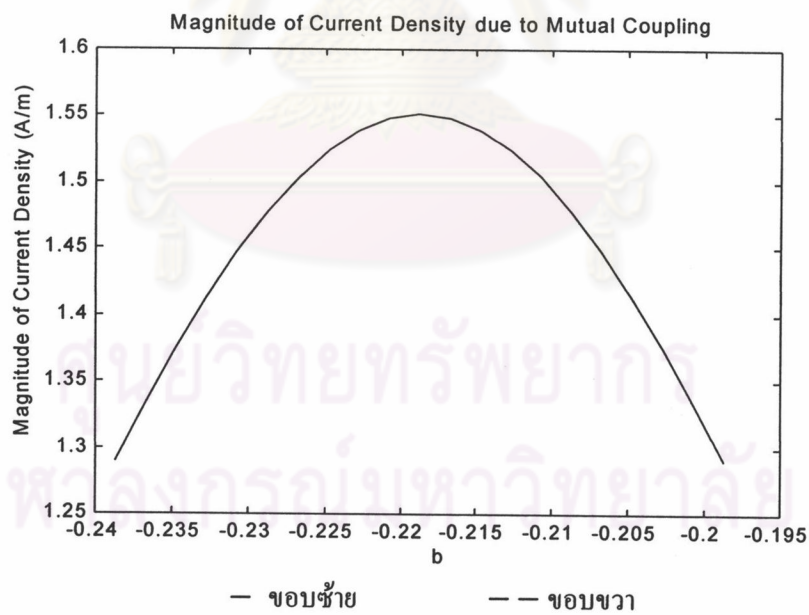
รูป 4.97 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 1)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))



รูป 4.98 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 2)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))



รูป 4.99 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 1)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น(คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากองค์ประกอบนั้น ๆ (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))



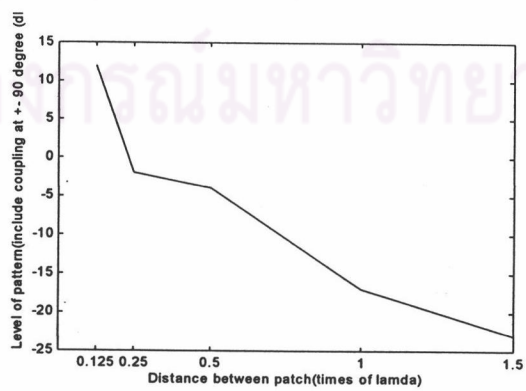
รูป 4.100 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 2)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 2) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น(คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากองค์ประกอบนั้น ๆ (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูป 4.85 ถึงรูป 4.91 นั้นจะพบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแบบรูปการแผ่พลังงานเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงเมื่อแผ่นตัวนำในแผงสายอากาศจัดวางตัวในกรณีที่ 2 (collinear) ดังนี้

- ที่ระนาบ 0 องศา ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 และ 1 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานไม่มีผลกระทบจากมิวชวลคัปปลิง จนกระทั่งเริ่มสังเกตเห็นผลกระทบที่มีต่อแบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น ซึ่งเป็นความเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก กล่าวคือทุกตำแหน่งเชิงมุมจะมีความแตกต่างของระดับของแบบรูปการแผ่พลังงานเพียง 0.5-1 dB เท่านั้น และจะเห็นผลกระทบที่มากขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีระดับที่สูงขึ้นจาก 0 จนถึง 5 dB ณ.ตำแหน่ง 0 องศา ไปจนถึง $\pm$ 90 องศาตามลำดับ และที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น ระดับที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมิวชวลคัปปลิงจะค่อย ๆ ลดลงจาก 10 ถึง 0 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุม $\pm$ 90 ถึง 0 องศาตามลำดับ จนสามารถเรียกได้ว่าแบบรูปการแผ่พลังงานมีลักษณะเป็นหลุมที่แนวเล็งหลัก ส่วนระนาบ 0 องศาที่คิด Self คัปปลิงนั้น แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีลักษณะที่คล้ายกันทุกระยะห่างกล่าวคือแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีระดับสูงกว่าประมาณ 10 dB เว้นแต่ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่นจะสูงกว่าประมาณ 14 dB ทุกตำแหน่งเชิงมุม ยกเว้นตำแหน่งเชิงมุมที่เข้าใกล้ 0 องศาจะค่อย ๆ ลดระดับที่สูงขึ้นลงมาจนกระทั่งไม่ต่างกันเมื่อตำแหน่งเชิงมุมมีค่าเข้าใกล้ 0 องศามาก ๆ ทำให้แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจึงมีลักษณะคล้ายเป็นหลุมที่บริเวณแนวเล็งหลักทุก ๆ ระยะห่าง

- ที่ระนาบ 90 องศา ความเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็นได้ชัดที่สุดทุก ๆ ระยะห่างก็คือแบบรูปการแผ่พลังงานที่ตำแหน่งเชิงมุมที่เข้าใกล้ $\pm$ 90 องศามาก ๆ จากที่จะลดระดับอย่างรวดเร็วจนกลายเป็นจุดศูนย์ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 90 องศาก็จะไม่เป็นอย่างนั้น จะมีระดับของแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงแสดงดังรูป

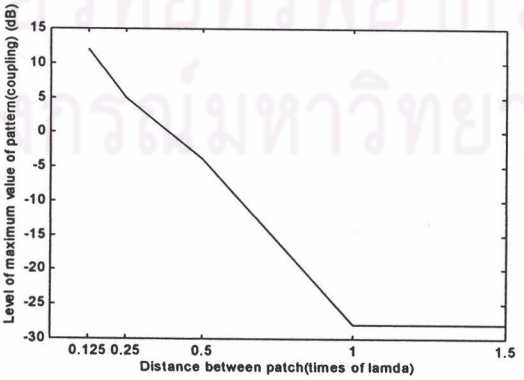


รูป 4.101 กราฟแสดงระดับของแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง ณ. ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 90 องศากับระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนความเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นก็คือที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น จุดศูนย์จากที่อยู่ที่ระดับ -21 dB ณ.ตำแหน่งเชิงมุมที่ -40 และ 37 องศา ก็จะเลื่อนระดับขึ้นไปอยู่ที่ -15 dB และเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงก็จะมีลักษณะที่ไม่มีพูข้างและจะมีระดับที่สูงขึ้นกล่าวคือจะอยู่ที่ระหว่าง -2 ถึง 9 dB ทุกตำแหน่งเชิงมุม ในขณะที่แบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงนั้นมีพูข้าง 2 พูอยู่ที่ระดับ -23 dB ณ.ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 65 องศา ส่วนที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่นแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีลักษณะคล้ายเป็นเส้นตรงอยู่ที่ประมาณ 12 dB ทุกตำแหน่งเชิงมุมเว้นแต่ตำแหน่งเชิงมุมที่เข้าใกล้ 0 องศาจะค่อย ๆ ลดระดับลงมาอยู่ที่ 8 dB ดังนั้นแบบรูปการแผ่พลังงานจึงมีลักษณะคล้ายเป็นหลุมที่บริเวณแนวเส็งหลัก ส่วนระนาบ 90 องศาที่คิด Self คัปปลิงนั้น แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีความผิดเพี้ยนมากขึ้นทุกระยะห่างและทุกตำแหน่งเชิงมุมเว้นแต่ตำแหน่งเชิงมุมที่เข้าใกล้ 0 องศามาก ๆ เท่านั้น ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 1 0.5 และ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น ระดับสูงสุดของพูข้างจะสูงขึ้นไปประมาณ 7 ถึง 20 dB ทำให้ระดับของพูข้างสูงกว่าระดับของพูประธาน (ยกเว้นที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น เพราะว่าแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีลักษณะที่ไม่มีพูข้างแล้ว)

- รูป 4.92 ถึงรูป 4.100 เป็นผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงและการกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่เกิดขึ้นที่ขอบต่าง ๆ ของสายอากาศ ที่เหนี่ยวนำให้เกิดสนามที่มาจากการคัปปลิง ซึ่งจะพบว่าที่ระนาบ 0 องศาและระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 และ 1 เท่าของความยาวคลื่น ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงนั้นจะมีระดับที่ต่ำกว่า -18 dB ทุกตำแหน่งเชิงมุมและจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเข้าใกล้ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศามาก ๆ จนเป็นจุดศูนย์ในที่สุดที่ตำแหน่ง 0 องศาและที่ระยะห่างระหว่างตัวนำอื่น ๆ ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงก็จะมีลักษณะดังกล่าวเช่นกันจะต่างกันตรงที่ระดับสูงสุดเท่านั้นแล้ว ซึ่งระดับสูงสุดจะค่อนข้างคงที่และจะอยู่ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 40 ถึง $\pm$ 90 องศา ดังรูป



รูป 4.102 กราฟแสดงระดับสูงสุดของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิง
ณ. ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 40 ถึง $\pm$ 90 องศากับระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนที่ระนาบ 90 องศานั้น เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่ามาก ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงนั้นจะมีลักษณะที่แกว่งและระดับสูงสุดก็จะไม่เกิน -5 dB จนกระทั่งเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าตั้งแต่ 0.25 เท่าของความยาวคลื่นลงไป แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะที่คล้ายกับระนาบ 0 องศาเพียงแต่ระดับจะต่างกัน และเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่นผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงก็จะมีลักษณะที่เกือบจะเหมือนกันทั้ง 2 ระนาบไม่ว่าจะเป็นรูปร่างหรือระดับของแบบรูปการแผ่พลังงานก็ตาม ส่วนในกรณีที่คิด Self คัปปลิงนั้น ระนาบ 0 องศาผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงนั้นจะมีลักษณะที่เหมือนกับกรณีไม่คิดทุกตำแหน่งเชิงมุม เพียงแต่จะมีระดับอยู่ที่ประมาณ 12-13 dB ทุก ๆ ระยะห่าง ส่วนระนาบ 90 องศานั้น ก็จะมีการแกว่งที่เพิ่มขึ้นรวมถึงระดับก็จะสูงขึ้นโดยรวมอยู่ในช่วงประมาณ 10 - 15 dB และเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าตั้งแต่ 0.25 เท่าของความยาวคลื่นแบบรูปการแผ่พลังงานก็จะเริ่มไม่มีการแกว่ง และจะมีรูปร่างที่คล้ายกันแต่ระดับจะแตกต่างกัน 2- 3 dB ณ.ตำแหน่งเชิงมุมที่ประมาณ $\pm$ 30 ถึง $\pm$ 90 องศาที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าตั้งแต่ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น ซึ่งสรุปตำแหน่งเชิงมุมที่มีค่าของระดับของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงสุงสุดเพื่อที่จะเป็นข้อสังเกตเห็นว่าตำแหน่งเชิงมุมใดมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด แสดงดังตาราง 4.10 และ 4.11

ตาราง 4.10 ตำแหน่งเชิงมุมที่มีระดับสูงสุดของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิง (สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 วางตัวในกรณีที่ 2)

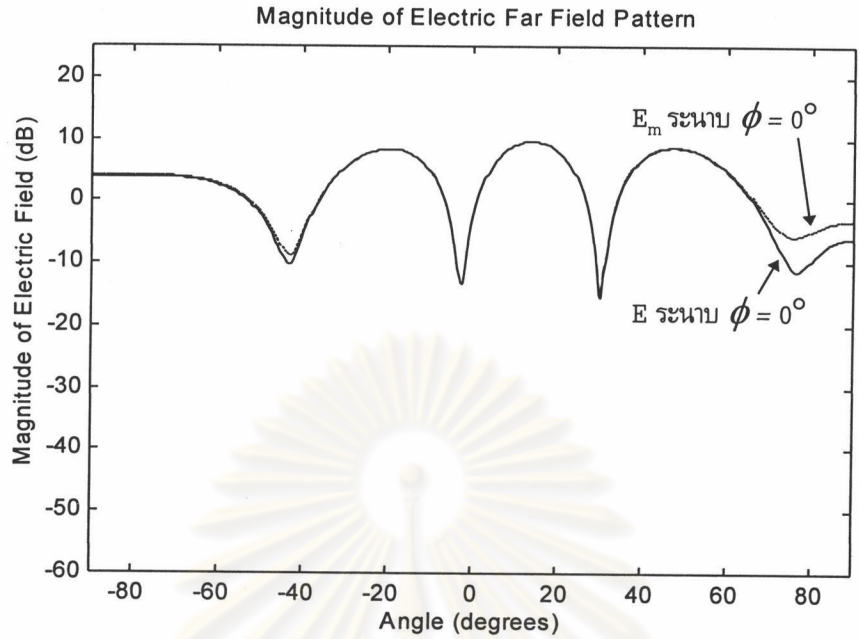
ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	ระนาบ 0 องศา		ระนาบ 90 องศา	
	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)
1.5	$\pm$ 53 — $\pm$ 90	-28	-85 — -90	-23
1	$\pm$ 50 — $\pm$ 90	-18	-57 — -68	-16
0.5	$\pm$ 50 — $\pm$ 90	-5	-75 — -90	-3
0.25	$\pm$ 50 — $\pm$ 90	5	$\pm$ 28 — $\pm$ 42	2
0.125	$\pm$ 46 — $\pm$ 90	12	$\pm$ 46 — $\pm$ 90	12—13

ตาราง 4.11 ตำแหน่งเชิงมุมที่มีระดับสูงสุดของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิง (สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 วางตัวในกรณีที่ 2 และคิด Self คัปปลิง)

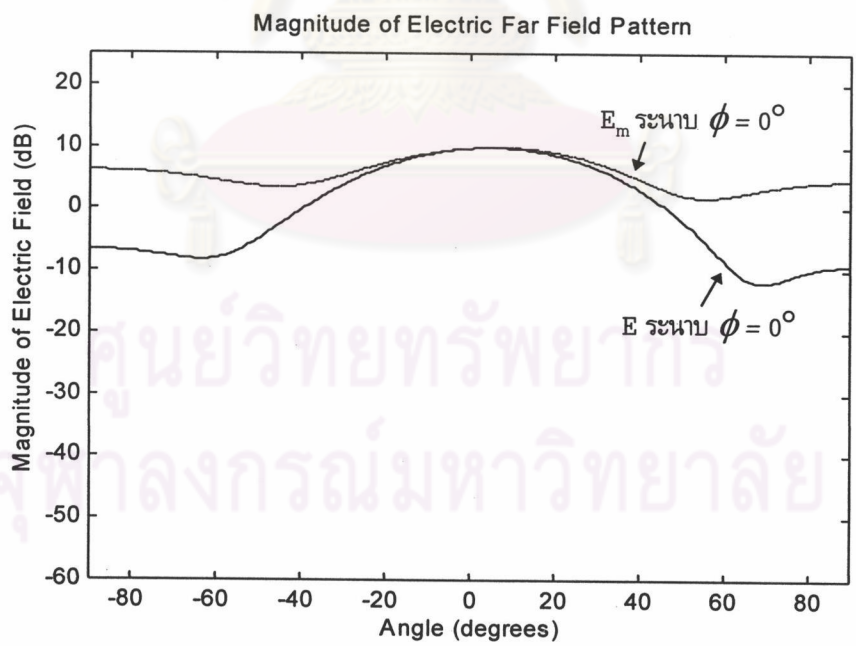
ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	ระนาบ 0 องศา		ระนาบ 90 องศา	
	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)
1.5	± 50 — ± 90	12	-85 — -90	17
1	± 50 — ± 90	13	-56	17
0.5	± 50 — ± 90	13	-80 — -90	16
0.25	± 50 — ± 90	13	± 51	8
0.125	± 50 — ± 90	17	± 50 — ± 90	13—14

5.1.2.4 ผลกระทบของปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่มีต่อแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบและจัดวางตัวในกรณีที่ 3 (straggred หรือ in echelon) เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ (จาก 1.5 เท่าของความยาวคลื่นจนถึง 0.125 เท่าของความยาวคลื่น) สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}) (ผลการคำนวณแสดงอยู่ในหน้าถัดไป)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

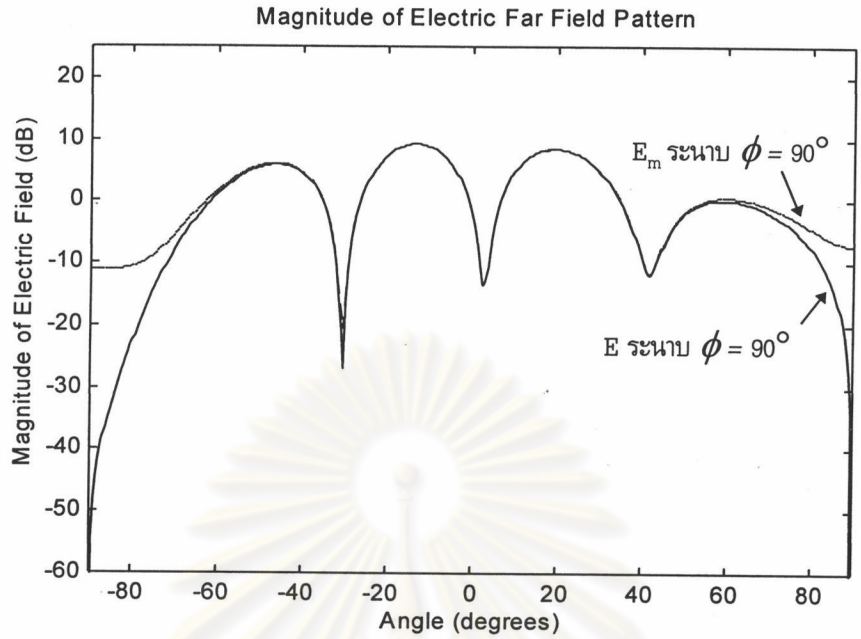


รูป 4.103 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

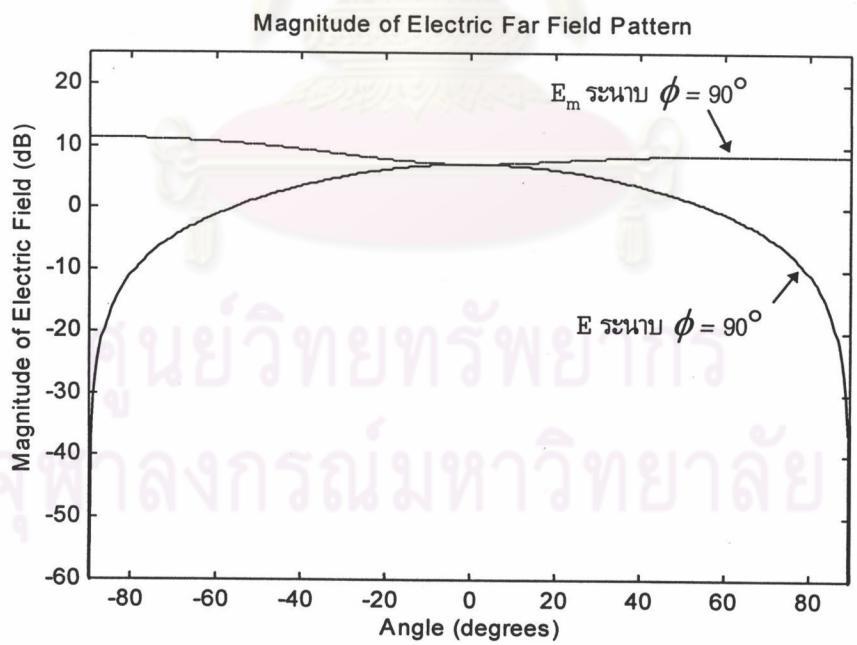


รูป 4.104 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

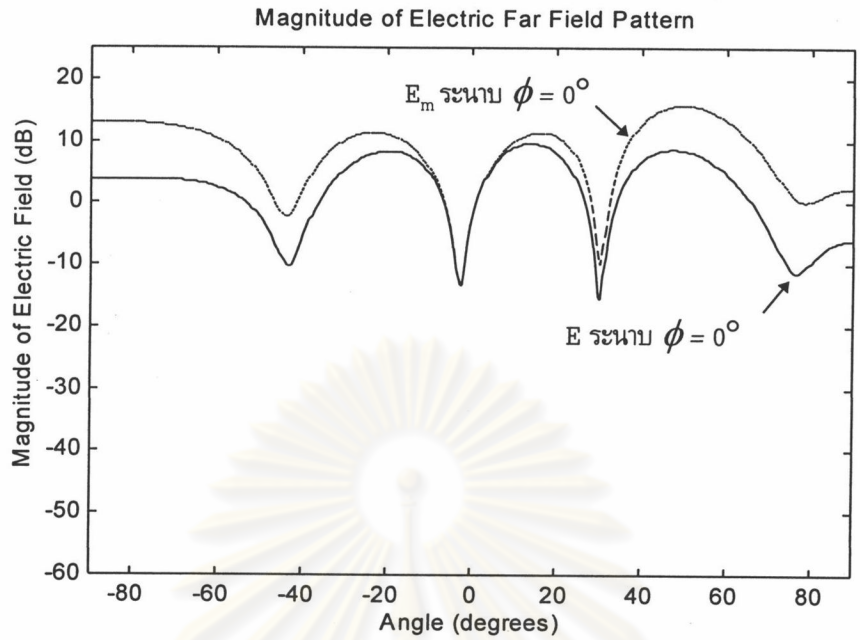
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



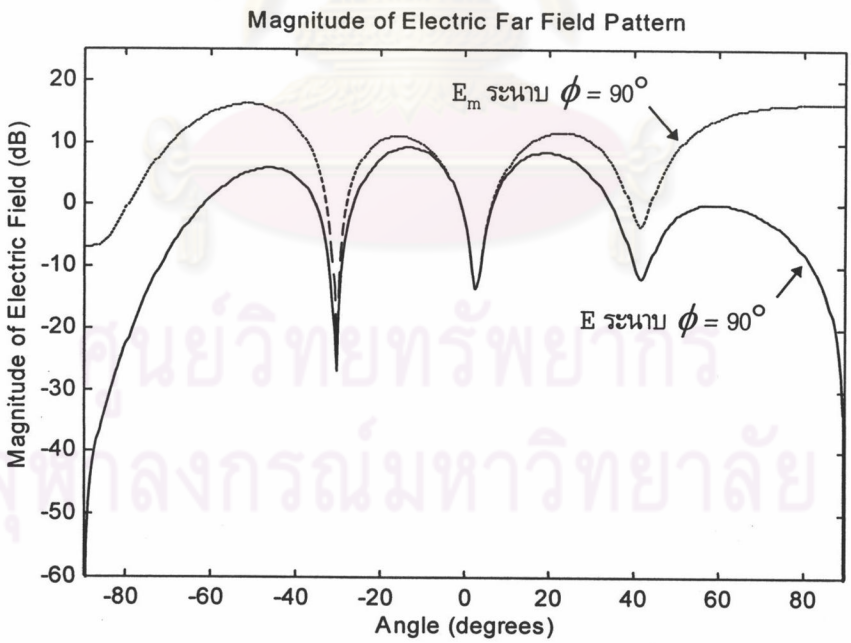
รูป 4.105 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))



รูป 4.106 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

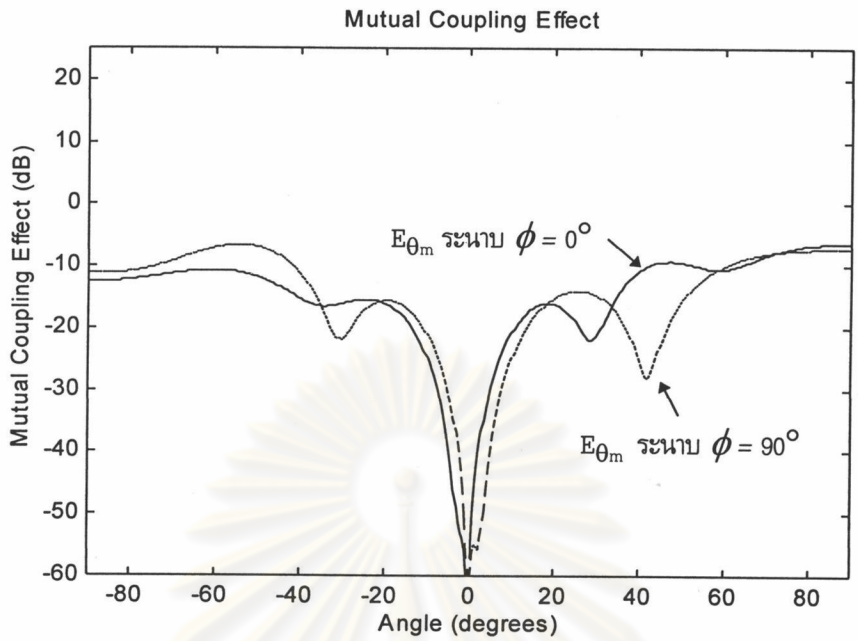


รูป 4.107 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) (คำนึงถึงผลกระทบที่รวมผลขององค์ประกอบนั้น ๆ) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3)

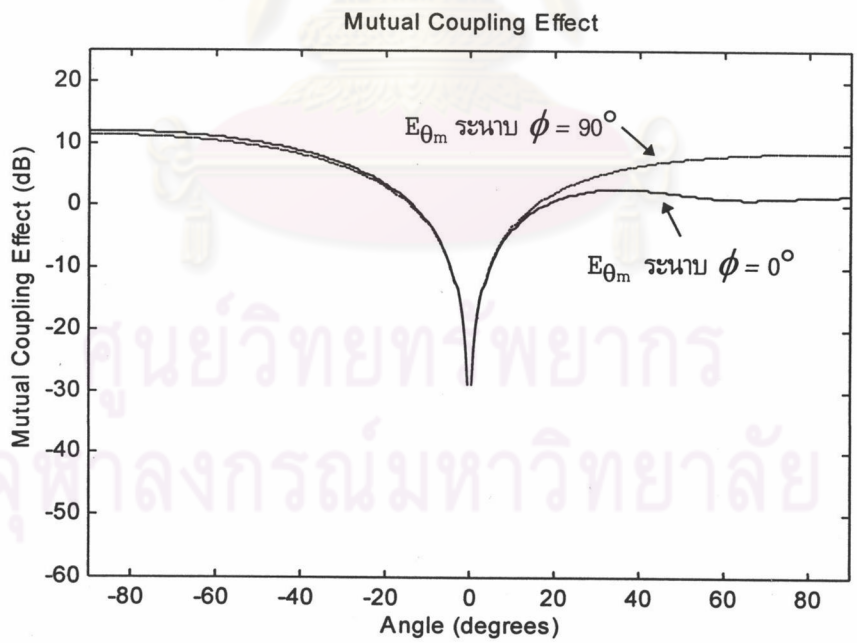


รูป 4.108 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) (คำนึงถึงผลกระทบที่รวมผลขององค์ประกอบนั้น ๆ) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

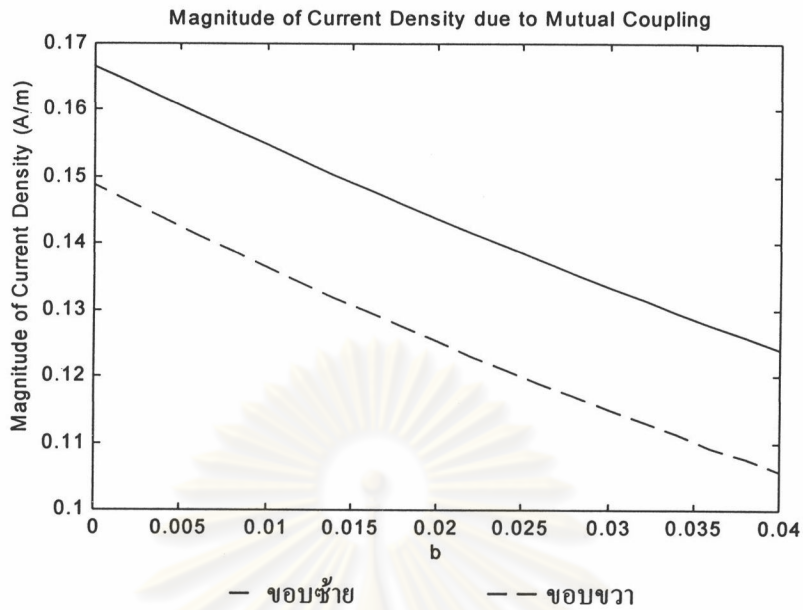


รูป 4.109 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

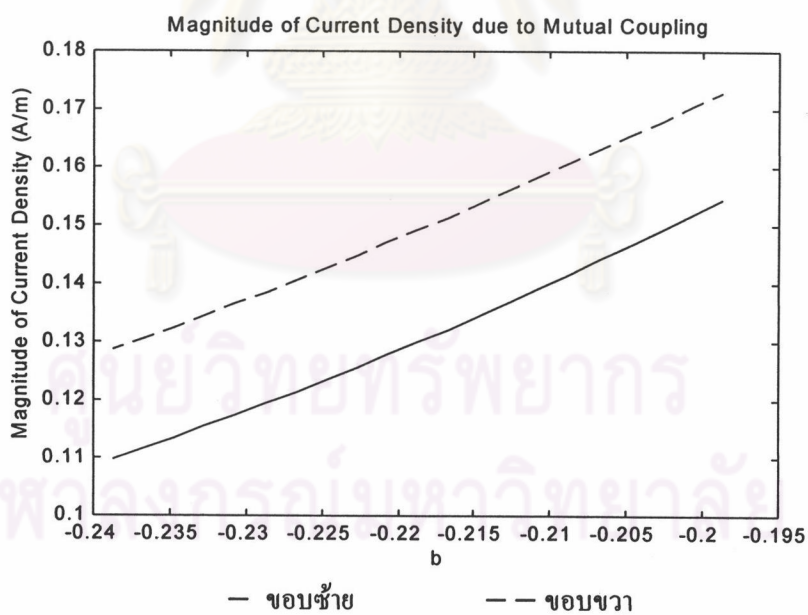


รูป 4.110 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

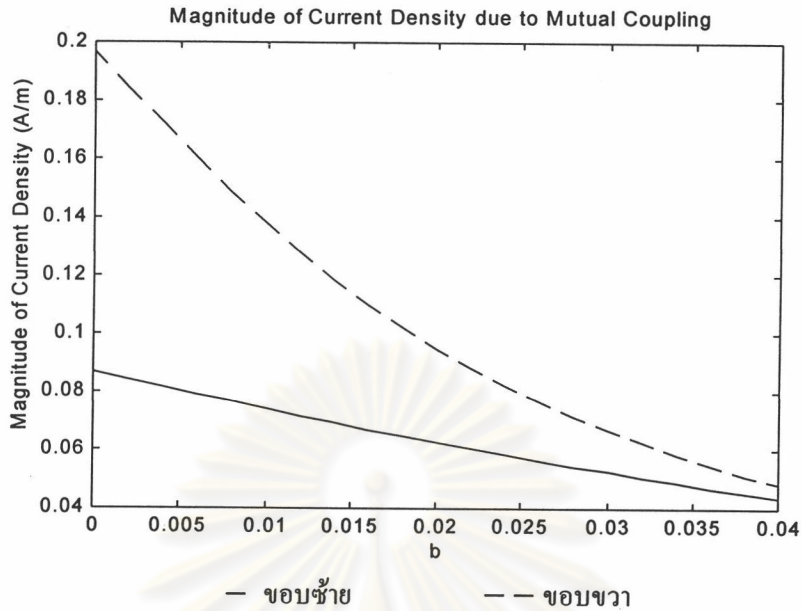
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



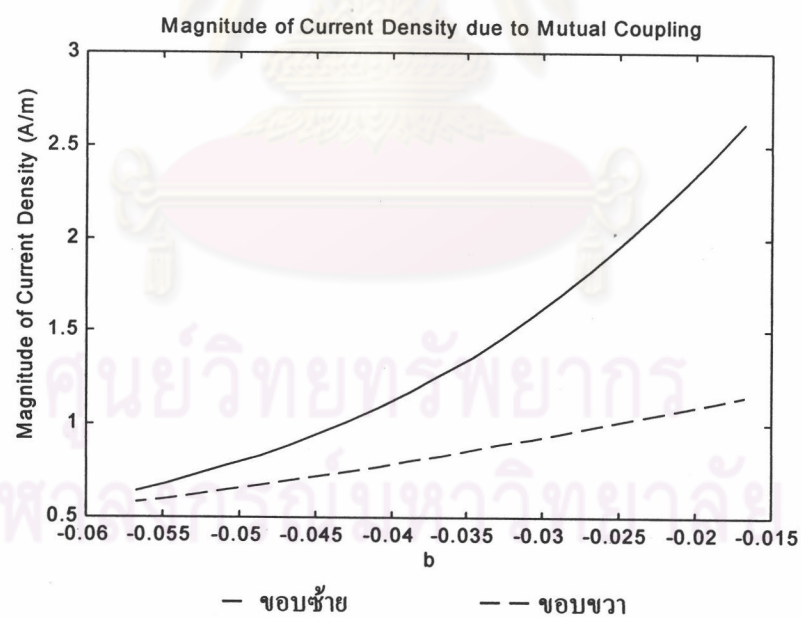
รูป 4.111 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 1)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))



รูป 4.112 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 2)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))



รูป 4.113 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 1)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))



รูป 4.114 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 2)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป (กรณีที่ 3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2}))

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูป 4.103 ถึงรูป 4.108 นั้นจะพบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแบบรูปการแผ่พลังงานเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงเมื่อแผ่นตัวนำในแผงสายอากาศจัดวางตัวในกรณีที่ 3 (straggled หรือ in echelon) ดังนี้

- ที่ระนาบ 0 องศา ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่า 1.5 เท่าของความยาวคลื่นจะพบความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแบบรูปการแผ่พลังงานที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -43 องศา ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เป็นหลุม จะมีการเพิ่มระดับขึ้นไปพอสังเกตเห็นได้ประมาณ 1-2 dB และที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 67 ถึง 90 องศา แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีระดับเพิ่มขึ้นประมาณ 3-4 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุมดังกล่าว และเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่า 1 และ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีระดับที่เพิ่มขึ้น 1-3 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -60 ถึง -90 องศาและ -30 ถึง -90 องศาตามลำดับ และจะมีระดับที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 5-12 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ไกลจากตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศา(มากกว่า $\pm$ 20 องศา) เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่า 0.25 และ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น ส่วนระนาบ 0 องศาที่คิด Self คัปปลิงนั้น แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีลักษณะที่มีระดับเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติทุกทุกระยะห่างและทุก ๆ ตำแหน่งเชิงมุมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 5-10 dB ส่วนการเปลี่ยนแปลงของจุดศูนย์จะพบได้ที่ระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่นที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -43 และ 30 องศา ระดับของจุดศูนย์จะเพิ่มขึ้นประมาณ 5-7 dB ณ.ตำแหน่งเชิงมุมดังกล่าว

- ที่ระนาบ 90 องศา ความเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะคล้ายกับกรณีที่ 2 และสังเกตเห็นได้ชัดที่สุดทุก ๆ ระยะห่างก็คือแบบรูปการแผ่พลังงานที่ตำแหน่งเชิงมุมที่เข้าใกล้ $\pm$ 90 องศามาก ๆ จากที่จะลดระดับอย่างรวดเร็วจนกลายเป็นจุดศูนย์ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 90 องศาก็จะไม่เป็นอย่างนั้น แต่จะแตกต่างกับกรณีที่ 2 ตรงที่จะเกิดความผิดเพี้ยนในลักษณะที่ระดับเพิ่มขึ้นตั้งแต่ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 60 องศา ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่า 1.5 1 และ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น และเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงจนถึง 0.125 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีลักษณะคล้ายเป็นเส้นตรงอยู่ที่ระดับ 8-12 dB โดยที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศาจะมีระดับที่น้อยที่สุดก็คือ 8 dB ส่วนระนาบ 0 องศาที่คิด Self คัปปลิงนั้น แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีลักษณะที่มีระดับเพิ่มขึ้นทุกตำแหน่งเชิงมุม ยกเว้นตำแหน่งเชิงมุมที่เข้าใกล้ 0 องศามาก ๆ เช่นที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่า 1.5 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานจะเริ่มผิดเพี้ยนตั้งแต่ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 10 ถึง $\pm$ 90 องศา ทำให้มีการเลื่อนระดับของจุดศูนย์ขึ้นจากระดับ -12 และ -15 dB เป็น 3 และ 9 dB ณ. ตำแหน่งเชิงมุมที่ -43 และ 30 องศาตามลำดับ ส่วนระนาบ 90 องศาที่คิด Self คัปปลิงนั้น แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะค่อนข้างต่างจากปกติมากกล่าวคือทุกค่าระยะห่างระดับของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 40 ถึง $\pm$ 90 องศาจะสูงกว่าที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 20 ถึง 0 องศาอยู่ในช่วงประมาณ 10 -15 dB

- รูป 4.109 ถึงรูป 4.114 เป็นผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงและการกระจายกระแส $(\vec{J})$ ที่เกิดขึ้นที่ขอบต่าง ๆ ของสายอากาศ ที่เหนี่ยวนำให้เกิดสนามที่มาจากการคัปปลิง ซึ่งจะพบว่าจะมีลักษณะที่คล้ายกันกับกรณีอื่น ๆ ทั้ง 2 ระนาบกล่าวคือระดับจะค่อย ๆ ลดลงจากตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 90 องศา จนกระทั่งเมื่อตำแหน่งเชิงมุมที่มีค่าเข้าใกล้ 0 องศา ระดับจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าเป็นศูนย์ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศา จะแตกต่างกันตรงระดับของแบบรูปการแผ่พลังงาน เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยระดับก็จะมีค่ามาก ซึ่งสรุปตำแหน่งเชิงมุมที่มีค่าของระดับของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงสูงสุดเพื่อที่จะเป็นข้อสังเกตว่าตำแหน่งเชิงมุมใดมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด แสดงดังตาราง4.12 และ 4.13 และที่ระนาบ 0 องศาของทั้ง 3 กรณีสามารถสรุปความแตกต่างของระดับของแบบรูปการแผ่พลังงาน ณ. ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 90 องศา ดังตาราง 4.14

ตาราง 4.12 ตำแหน่งเชิงมุมที่มีระดับสูงสุดของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิง (สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 วางตัวในกรณีที่ 3)

ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	ระนาบ 0 องศา		ระนาบ 90 องศา	
	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)
1.5	32 — 90	-6	-55	-7
1	-75 — -90	-4	-75 — -90	-2
0.5	-70 — -90	2	-70 — -90	2
0.25	-75 — -90	7	-38	3
0.125	-70 — -90	12	-70 — -90	11

ตาราง 4.13 ตำแหน่งเชิงมุมที่มีระดับสูงสุดของผลกระทบของมิวชวลคัปปลิง (สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 วางตัวในกรณีที่ 3 และคิด Self คัปปลิง)

ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	ระนาบ 0 องศา		ระนาบ 90 องศา	
	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)	ตำแหน่งเชิงมุมที่เกิดระดับสูงสุด (องศา)	ระดับสูงสุด (dB)
1.5	50	15	80 — 90	17
1	54 — 64	14	-65 — -90	17
0.5	-67 — -90	14	80 — 90	17
0.25	30	12	-30	12
0.125	-55 — -90	17	60 — 90	18

ตาราง 4.14 การเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับของแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 2 องค์ประกอบที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 90 องศา (dB) สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3

ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ(จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	กรณีที่ 1		กรณีที่ 1 (คิด Self Coupling)		กรณีที่ 2		กรณีที่ 2 (คิด Self Coupling)		กรณีที่ 3		กรณีที่ 3 (คิด Self Coupling)	
	-90	90	-90	90	-90	90	-90	90	-90	90	-90	90
1.5	3	3	11	11	0	0	10	10	0.5	3	9	8
1	8	4	10	6	0	0	10	10	2	0	10	10
0.5	10	0	15	10	0.5	0.5	10	10	3	0.5	11	11
0.25	23	22	21	20	4	4	10	10	13	13	5	14
0.125	17	9	19	9	10	10	14	14	12	3	16	8

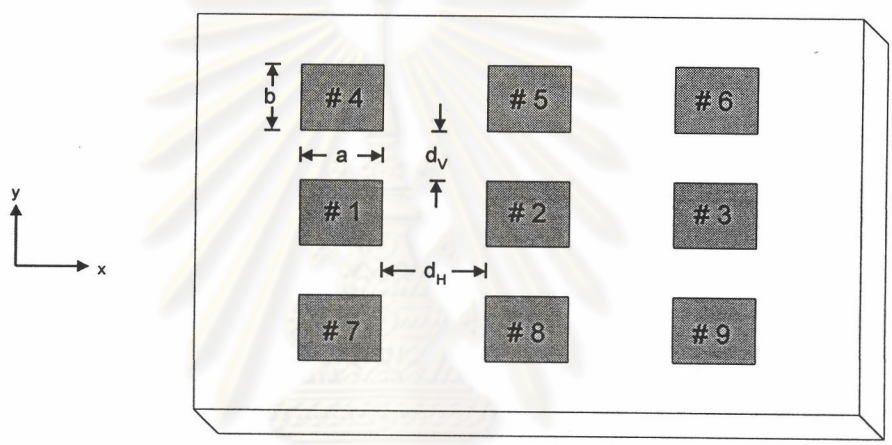
5.2 แผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบวางตัวอยู่ในระนาบเดียวกันโดยมีลักษณะการวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส ($3x3$)

ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ

5.2.1 ใช้สายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}) ในการเป็นแผงสายอากาศขนาด ($3x3$)

5.2.2 ใช้สายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02x4.02 ซม.^{2}) ในการเป็นแผงสายอากาศขนาด ($3x3$)

โดยมีการจัดวางตัวของแผ่นตัวนำดังรูป



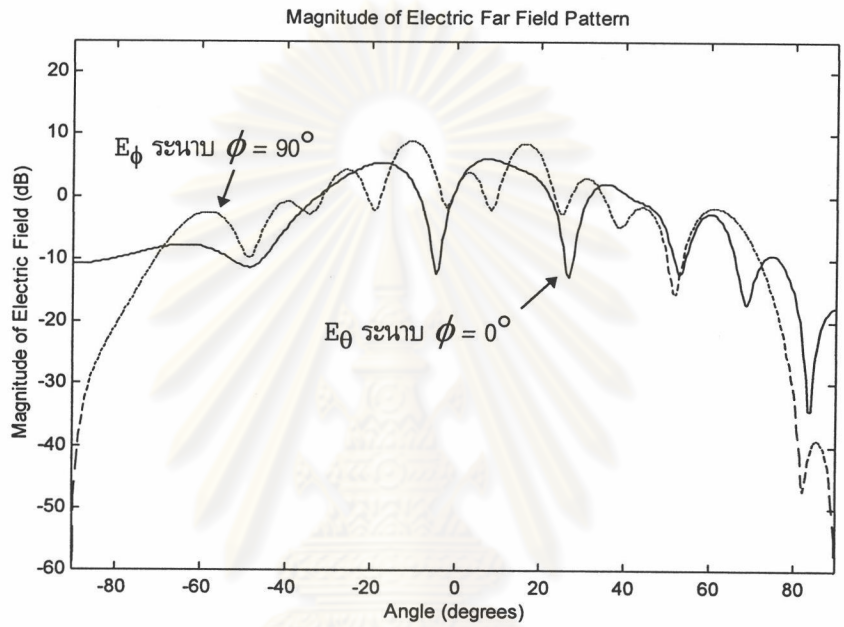
รูป 4.115 การจัดวางตัวของแผ่นตัวนำในแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบวางตัวอยู่ในระนาบเดียวกันโดยมีลักษณะการวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส ($3x3$)

โดยที่ d_V คือระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำในแนวแกนตั้ง

โดยที่ d_H คือระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำในแนวแกนนอน

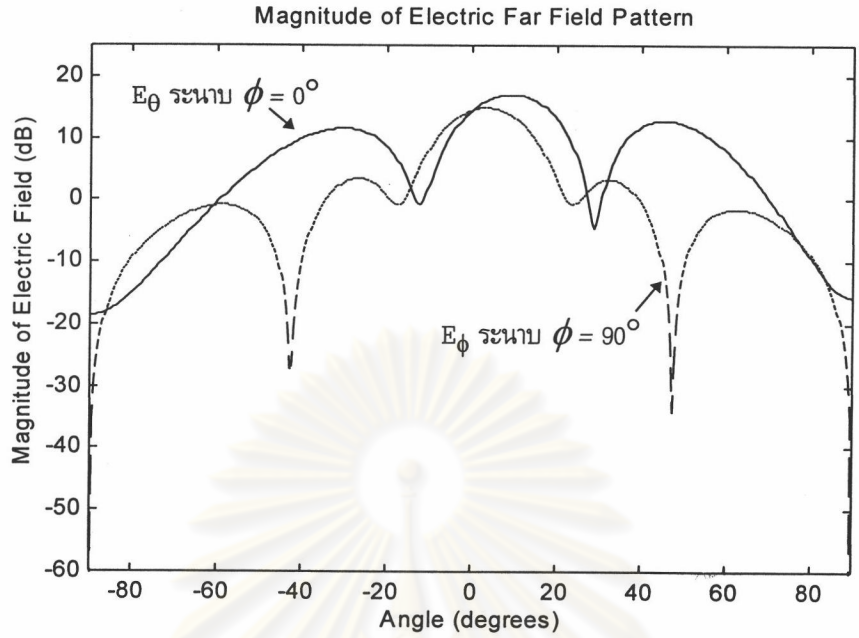
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.1.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริป (ไม่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง) ที่มี 9 องค์ประกอบวางตัวอยู่ในระนาบเดียวกันโดยมีลักษณะการวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส $(3x3)$ สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2})

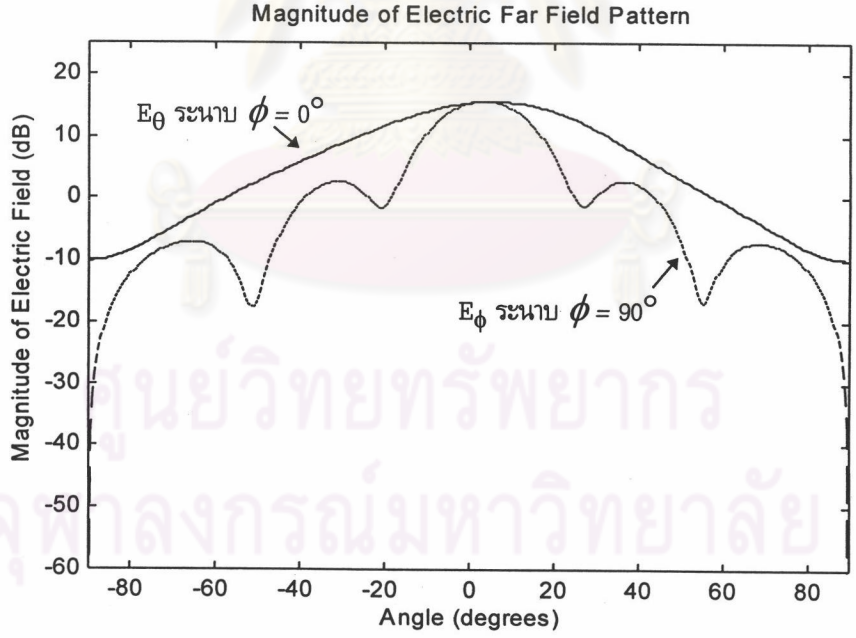


รูป 4.116 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ $(3x3)$ ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.117 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ (3x3) ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น



รูป 4.118 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ (3x3) ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น

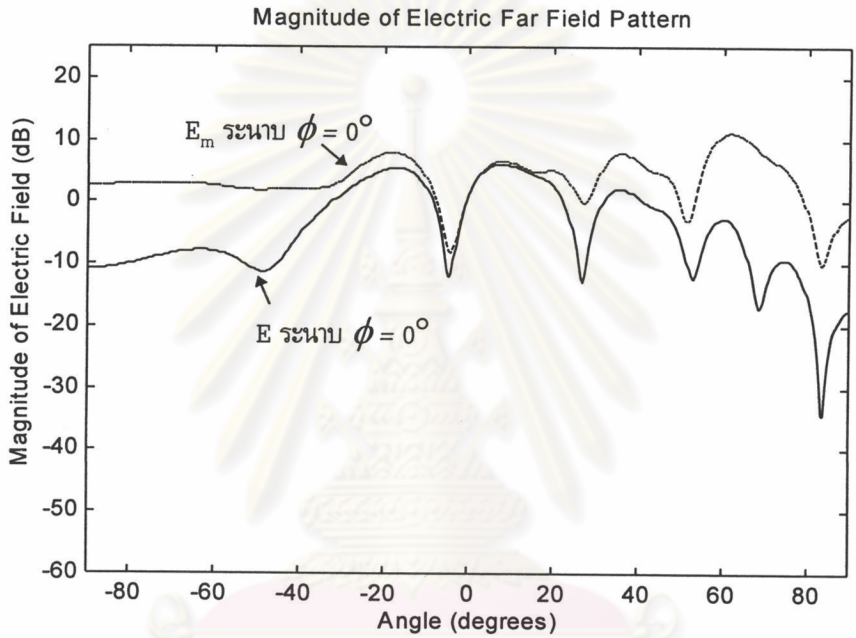
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 4.116 ถึงรูป 4.118 เป็นแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี ที่มี 9 องค์ประกอบวางตัวอยู่ในระนาบเดียวกันโดยมีลักษณะการวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส $(3x3)$ ซึ่งสรุปแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ (จาก 1.5 เท่าของความยาวคลื่นจนถึง 0.125 เท่าของความยาวคลื่น) ดังนี้

- ที่ระนาบ 0 องศา ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะที่มีอยู่หลายพูในช่วงตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 ถึง 90 องศาและระดับของพูจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเข้าใกล้ตำแหน่งเชิงมุมที่ 90 องศาโดยจะมีระดับอยู่ที่ -18 dB ส่วนตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 ถึง -90 องศานั้นจะคล้ายกับว่าจะมีอยู่พูเดียวและจะมีระดับอยู่ที่ประมาณ -8 ถึง -12 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -45 ถึง -90 องศา ดังนั้นโดยรวมแบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะที่ไม่สมมาตร และจำนวนพูของแบบรูปการแผ่พลังงานจะลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่าน้อยลงจนเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะเป็น 3 พู โดยที่ระดับสูงสุดของพูข้างจะอยู่ที่ประมาณ 12- 13 dB ในขณะที่ระดับของพูประธานอยู่ที่ 17 dB และเมื่อระยะห่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะที่ไม่มีพูข้างและจะมีระดับสูงสุดอยู่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 5 องศาที่ระดับ 15 dB
- ที่ระนาบ 90 องศา ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะที่เป็นระลอกมากกว่าที่จะเป็นพูและจะลดระดับจนเป็นศูนย์ ณ.ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 90 องศาและจะมีลักษณะที่ค่อนข้างจะสมมาตรและลักษณะที่เป็นระลอกจะลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น แต่จะยังคงเป็นระลอกอยู่บางช่วงคือ ณ ตำแหน่งเชิงมุมระหว่าง -20 ถึง 20 องศาที่ระดับ 4-10 dB และที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.5 0.25 และ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น จะให้แบบรูปการแผ่พลังงานที่มีลักษณะคล้ายกัน จะมีตำแหน่งเชิงมุมที่ประมาณ 0 องศาเป็นตำแหน่งที่มีการแผ่พลังงานสูงสุด

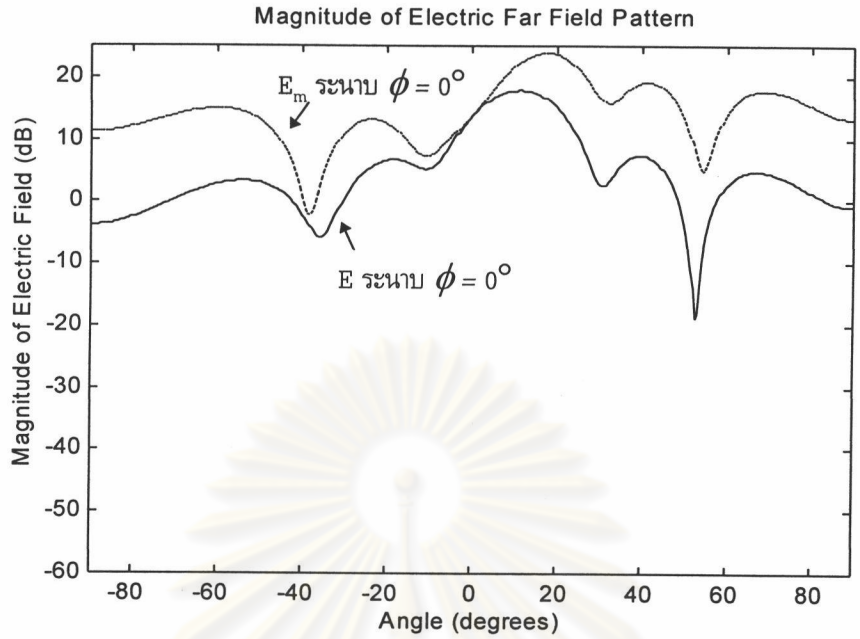
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.1.2 ผลกระทบของปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่มีต่อแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริป ที่มี 9 องค์ประกอบวางตัวอยู่ในระนาบเดียวกันโดยมีลักษณะการวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส $(3x3)$ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ (จาก 1.5 เท่าของความยาวคลื่นจนถึง 0.125 เท่าของความยาวคลื่น) สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2})

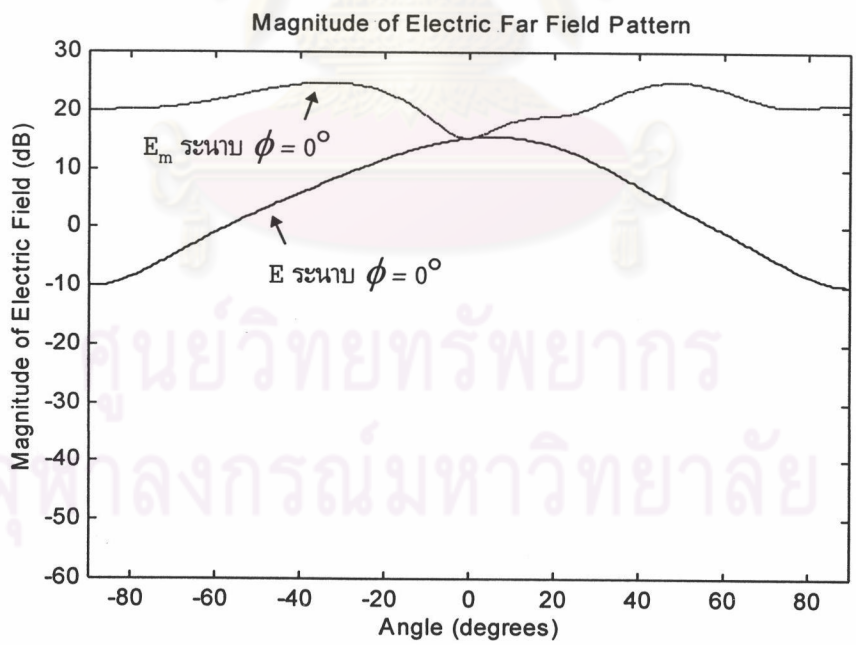


รูป 4.119 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ $(3x3)$ เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

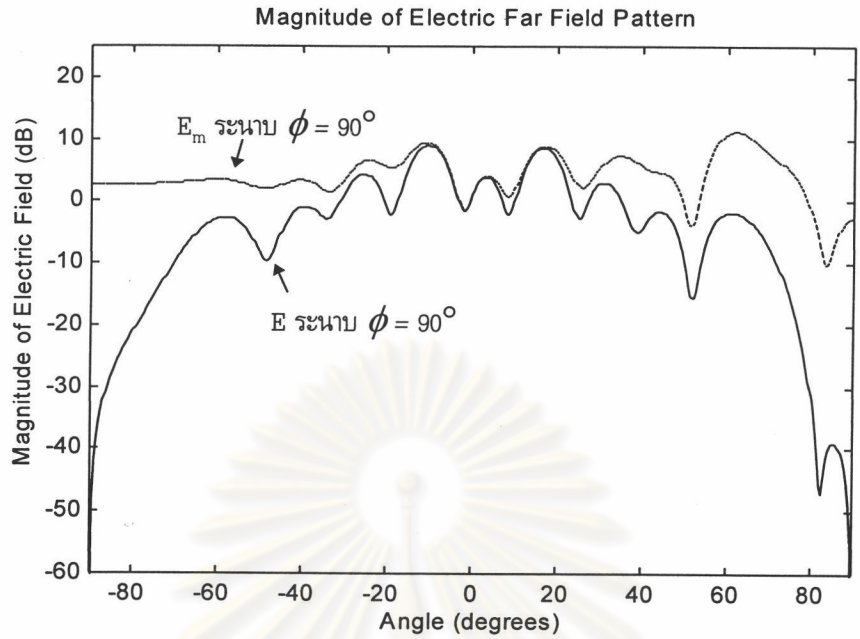


รูป 4.120 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ ($3x3$) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

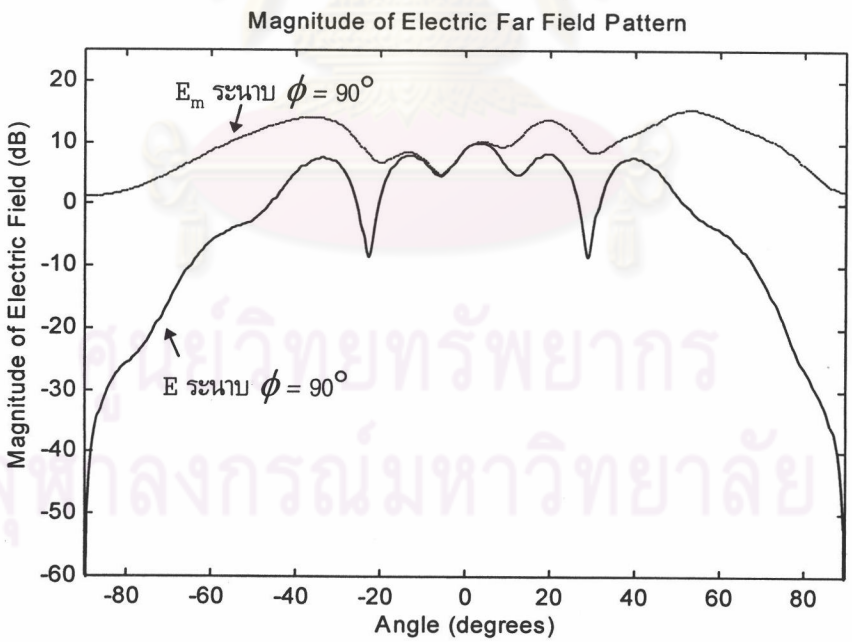


รูป 4.121 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ ($3x3$) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

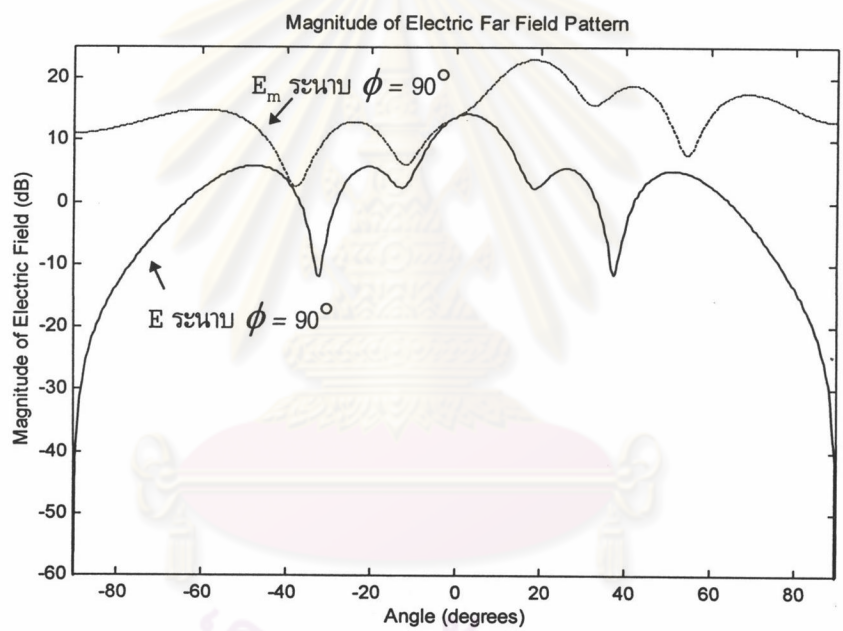
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



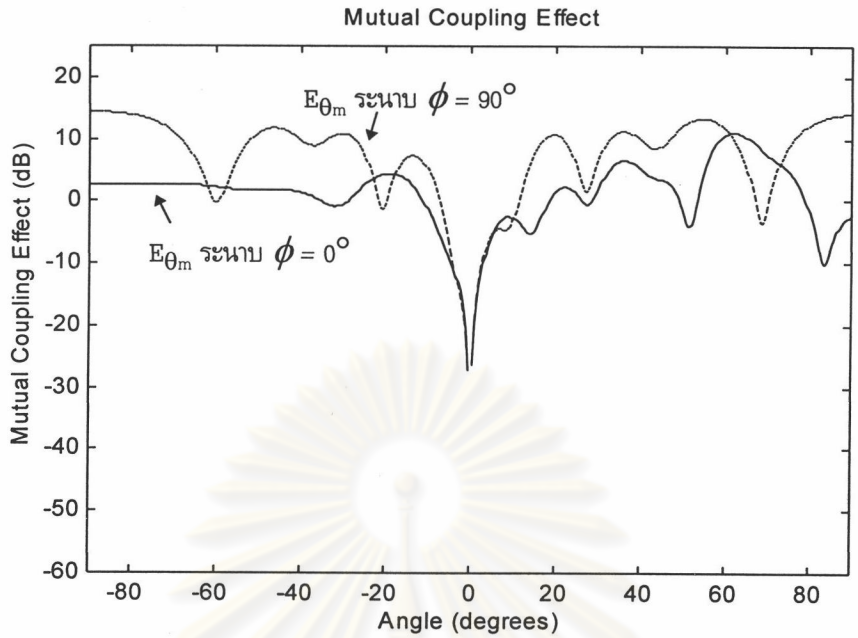
รูป 4.122 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ ($3x3$) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



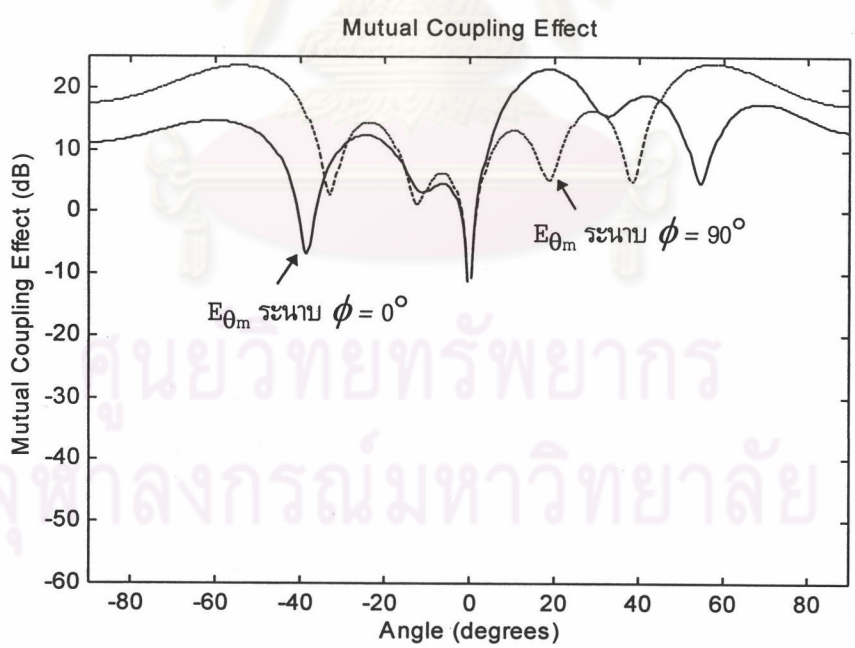
รูป 4.123 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ ($3x3$) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



รูป 4.124 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ (3x3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

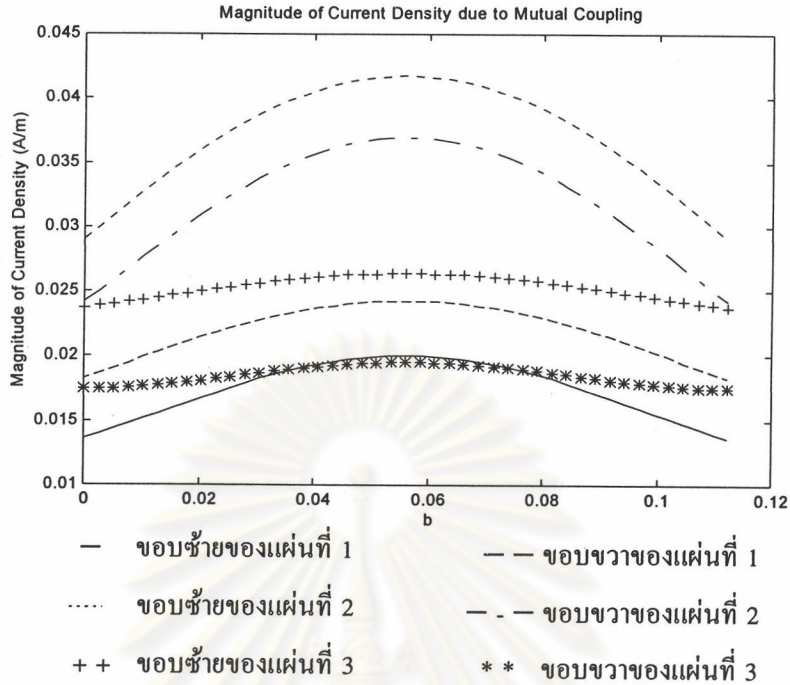


รูป 4.125 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ (3x3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

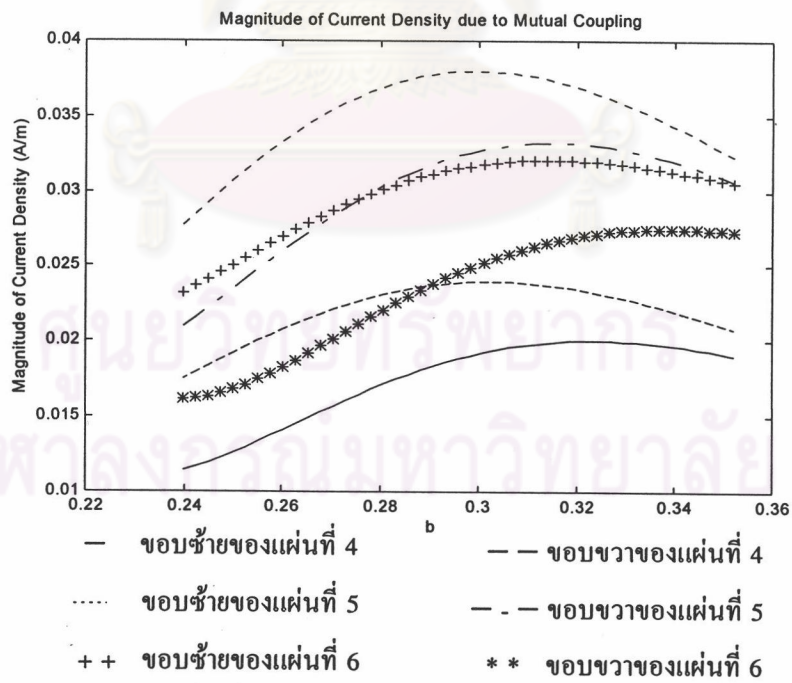


รูป 4.126 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ (3x3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

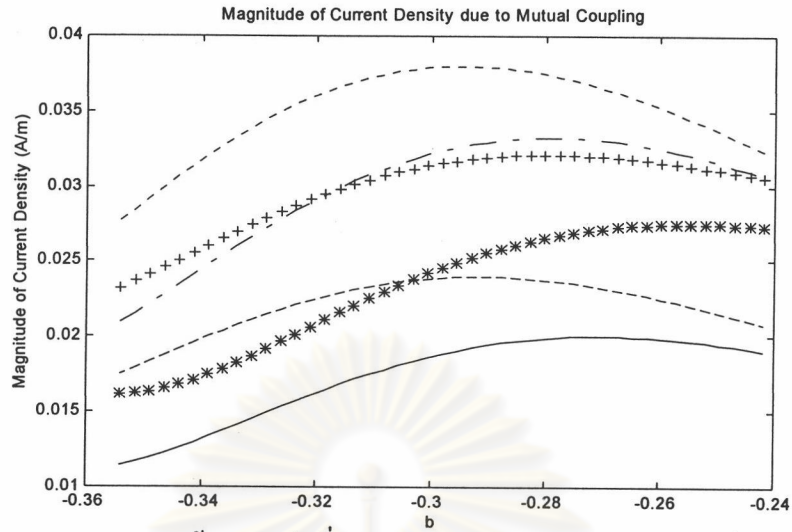
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



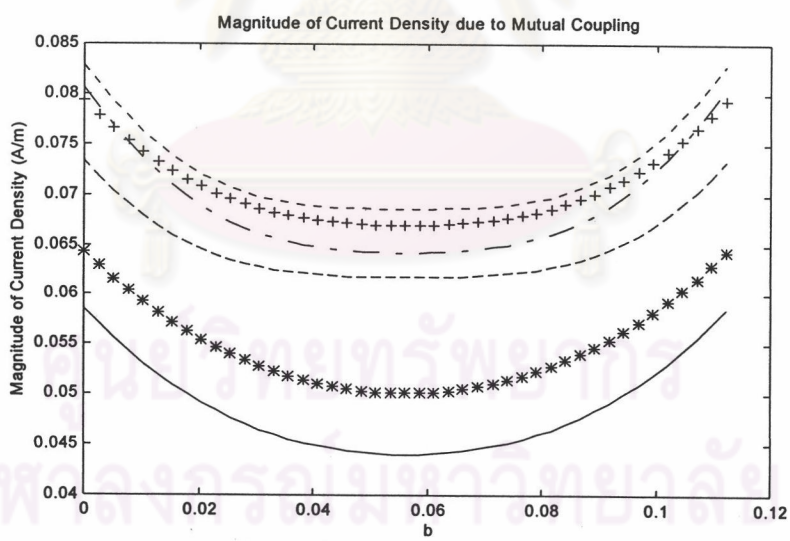
รูป 4.127 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 1 2 และ 3)ของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



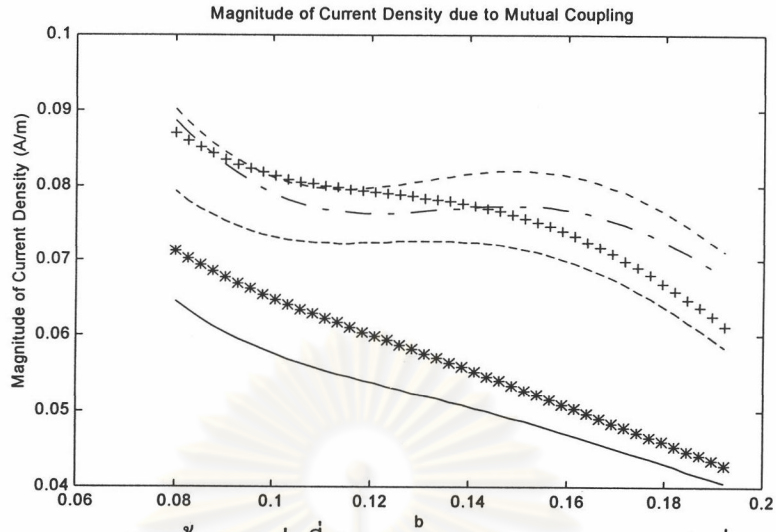
รูป 4.128 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 4 5 และ 6)ของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



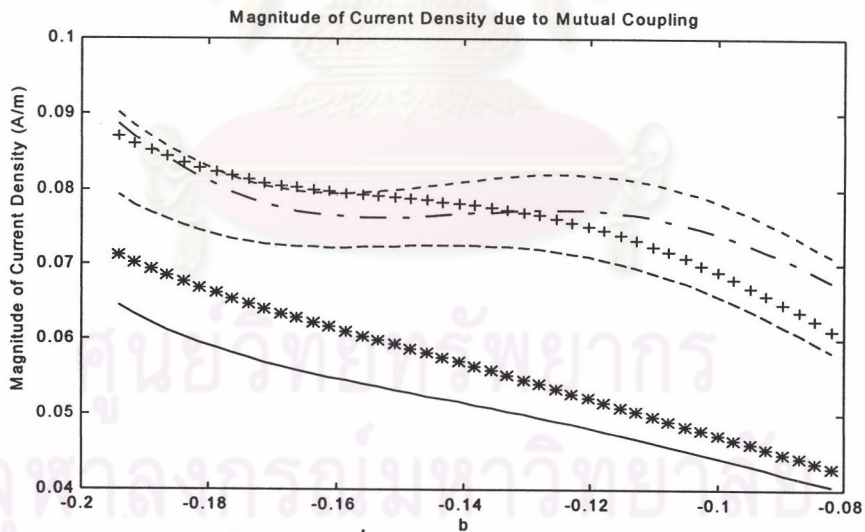
รูป 4.129 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 7 8 และ 9)ของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



รูป 4.130 การกระจายกระแส ($\vec{J}$) ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 1 2 และ 3)ของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



รูป 4.131 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 4 5 และ 6)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป ที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))



รูป 4.132 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 7 8 และ 9)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป ที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 1 (7.62×11.43 ซม.^{2}))

จากรูป 4.119 ถึงรูป 4.126 นั้นจะพบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแบบรูปการแผ่พลังงานเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงเมื่อแผ่นตัวนำในแผงสายอากาศจัดวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส $(3x3)$ ดังนี้

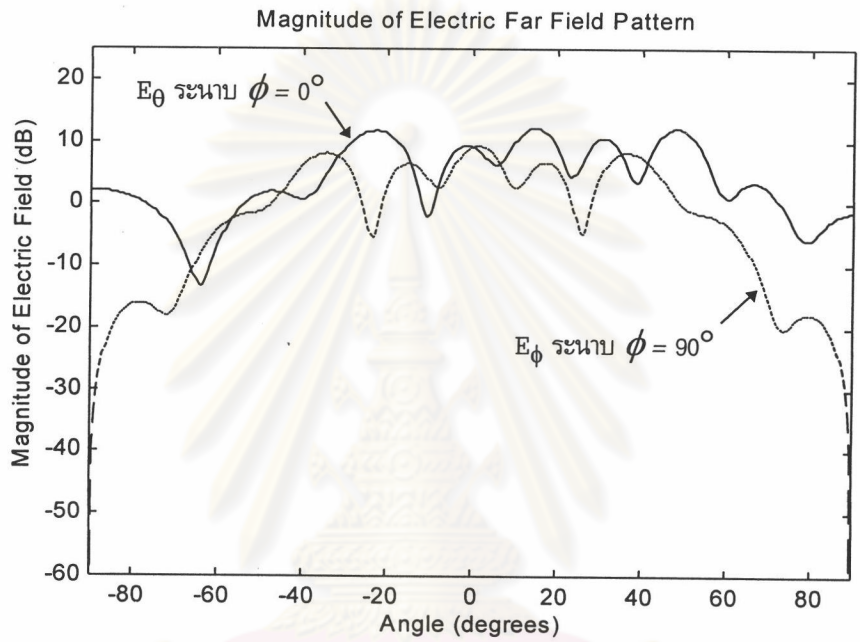
- ที่ระนาบ 0 องศา แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงนั้น จะมีความเปลี่ยนแปลงเกือบจะทุกตำแหน่งเชิงมุมในลักษณะที่มีระดับเพิ่มขึ้นเว้นแต่ระหว่างตำแหน่งเชิงมุมที่ -3 ถึง 3 องศาทุก ๆ ระยะห่างกล่าวคือที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น ระดับที่เพิ่มขึ้นจะอยู่ในช่วง 1-24 dB แล้วแต่ตำแหน่งเชิงมุม โดยที่ตำแหน่งเชิงมุมที่มีลักษณะเป็นหลุมที่ -5 27 52 และ 84 องศา จะมีระดับเพิ่มขึ้น 3 12 10 และ 24 dB ตามลำดับและจะยังคงอยู่ที่ตำแหน่งเชิงมุมเดิม ส่วนตำแหน่งเชิงมุมที่เป็นหลุมอีกตำแหน่งที่ประมาณ 68 dB จะมีระดับเพิ่มขึ้น 25 dB ดังนั้นแบบรูปการแผ่พลังงานจะไม่เป็นหลุมที่ตำแหน่งเชิงมุมดังกล่าวและตั้งแต่ตำแหน่งเชิงมุมที่ประมาณ -50 ถึง -90 องศา แบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีระดับที่ต่างจากแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงอยู่ประมาณ 8-12 dB ส่วนที่ระยะห่างระหว่างตัวนำมีค่าเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น ตำแหน่งเชิงมุมที่เคยมีลักษณะเป็นหลุมจะมีระดับเพิ่มขึ้น 8 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -15 องศาเนื่องจากมิวชวลคัปปลิงและตำแหน่งเชิงมุมที่มีลักษณะเห็นระลอกที่ระหว่างตำแหน่งเชิงมุมที่ 27 ถึง 50 องศาก็จะมีระดับเพิ่มขึ้นทำให้แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงนั้นไม่เป็นระลอกที่ตำแหน่งเชิงมุมดังกล่าวและตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 40 องศานั้นจะมีความเปลี่ยนแปลงระดับเพิ่มขึ้นประมาณ 5 dB และจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง 20 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุม $\pm$ 90 องศา เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่นแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีลักษณะที่คล้ายกับแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงแต่จะมีระดับที่เพิ่มขึ้นเกือบทุกตำแหน่งเชิงมุมและตำแหน่งเชิงมุมที่มีลักษณะเป็นหลุม (-36 และ 53 องศา) นอกจากจะมีระดับที่เพิ่มขึ้นแล้วจะมีการเลื่อนตำแหน่งประมาณ 2-3 องศา ความยาวคลื่นแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงโดยรวมแล้วจะมีระดับที่เพิ่มขึ้นประมาณ 1-22 dB โดยที่ตำแหน่งเชิงมุมที่เข้าใกล้ $\pm$ 90 องศานั้นจะเป็นตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงมาก และเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าลดลงจนเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น จากแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงที่มีลักษณะมี 3 พูโดยจะไม่มีพูประธาน ผลของมิวชวลคัปปลิงจะทำให้แบบรูปการแผ่พลังงานคล้ายกับมีพู 2 พูและที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศานั้นจะไม่ใช่ทิศทางที่มีการแผ่พลังงานสูงสุดอีกต่อไปแต่จะเป็นตำแหน่งเชิงมุมที่ 45 องศาเช่นเดียวกับที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น ตำแหน่งเชิงมุมที่มีการแผ่พลังงานสูงสุดจะอยู่ที่ -28 และ 47 องศา ที่ระดับ 26 dB ในขณะที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศาอยู่ที่ระดับ 15 dB

- ที่ระนาบ 90 องศา ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น จากแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงที่มีลักษณะเป็นระลอกและจะลดระดับลงเรื่อย ๆ จนเป็นศูนย์ที่ $\pm$ 90 องศา เมื่อรวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีระดับที่เพิ่มขึ้นประมาณ 1-15 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุมระหว่าง -70 ถึง

70 องศา ส่วนตำแหน่งเชิงมุมอื่นจะมีระดับที่เพิ่มมากกว่า 15 dB ทำให้ตำแหน่งเชิงมุมที่ ± 90 องศานั้นจะไม่เป็นศูนย์อีกต่อไปจะมีระดับอยู่ที่ -3 และ 3 dB ตามลำดับ ส่วนที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น พบว่าที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ไกลจาก 0 องศาออกไป แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงก็จะมีระดับที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นตำแหน่งเชิงมุมที่มีลักษณะเป็นหลุมที่ -23 และ 29 องศาก็จะไม่เป็นหลุมเพราะจะมีระดับที่เพิ่มขึ้นประมาณ 15-17 dB และที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น รูปร่างของแบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะที่คล้าย ๆ กัน แต่นอกจากจะมีระดับที่เพิ่มขึ้นแล้วจะมีการเลื่อนตำแหน่งของจุดที่เป็นหลุมด้วยคือตำแหน่งเชิงมุมที่ -32 และ 37 องศาจะเลื่อนไปอยู่ที่ -38 และ 55 องศา รวมถึงจากเดิมจะอยู่ที่ระดับ -12 dB ทั้งสองตำแหน่ง จะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ 3 และ 8 dB ตามลำดับ ส่วนที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 และ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น จากแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงที่มีลักษณะของพูข้างข้างละ 2 พูและมีพูประธาน 1 พู ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศาเป็นจุดที่มีการแผ่ระดับพลังงานสูงสุด และระดับของพูข้างจะลดลงเรื่อย ๆ ที่ตำแหน่งเชิงมุมไกล ๆ แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น) จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงว่ามีพูทั้งหมด 2 พู แต่จะไม่มีพูประธาน ส่วนที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น จะมีลักษณะคล้ายเป็นเส้นที่มีการลดและเพิ่มระดับอยู่ในช่วง 10 dB และทั้งสองระยะห่างดังกล่าว ตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศาเป็นจุดที่ไม่มีการแผ่ระดับพลังงานสูงสุดอีกต่อไป

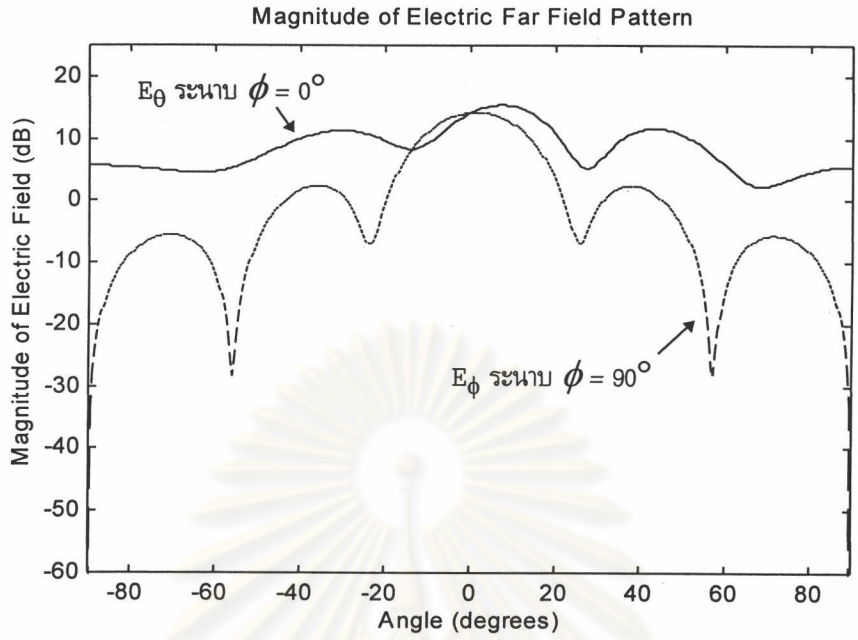
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.2.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริป (ไม่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง) ที่มี 9 องค์ประกอบวางตัวอยู่ในระนาบเดียวกันโดยมีลักษณะการวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส $(3x3)$ สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2})

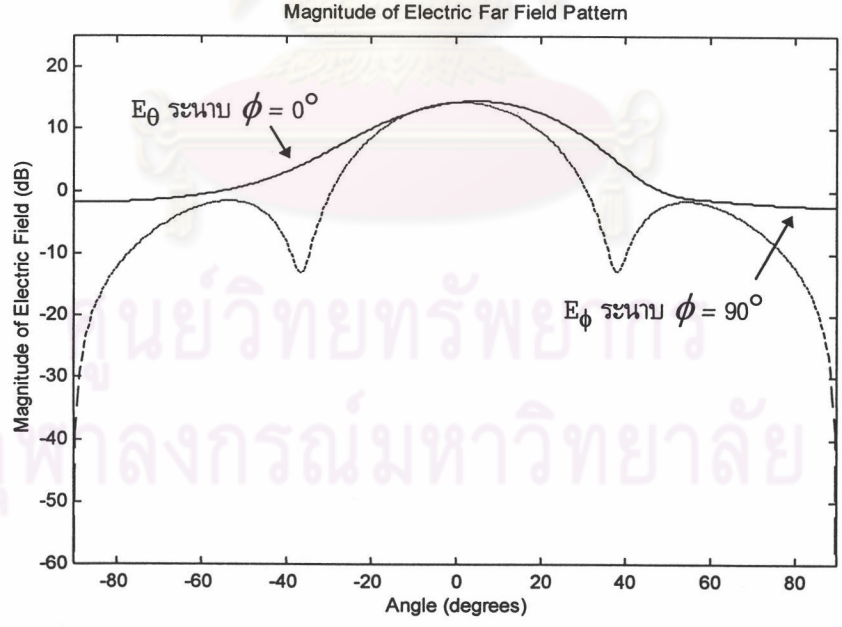


รูป 4.133 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ $(3x3)$ ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.134 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ (3x3) ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น



รูป 4.135 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ (3x3) ที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

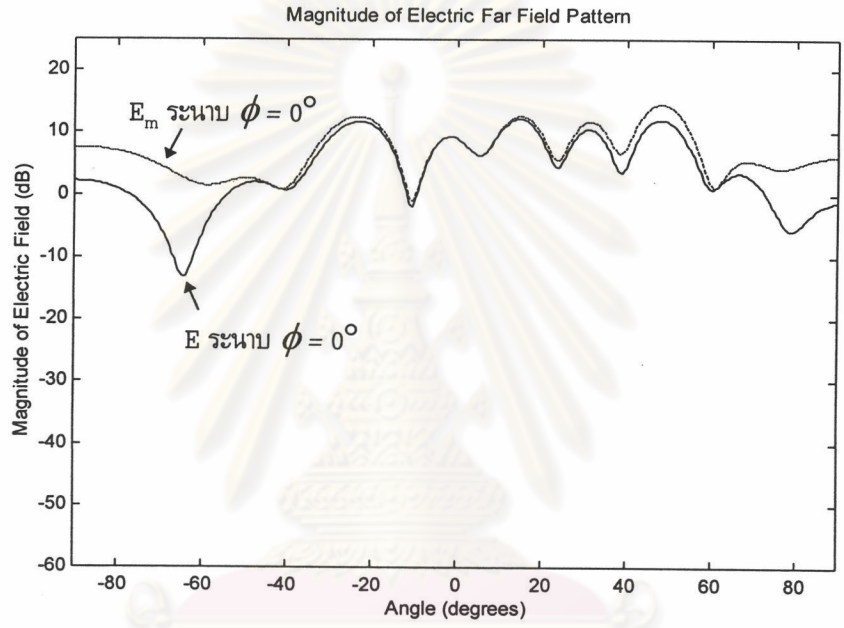
จากรูป 4.133 ถึงรูป 4.135 จะเป็นแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบวางตัวอยู่ในระนาบเดียวกันโดยมีลักษณะการวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส ($3x3$) ซึ่งสรุปแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ (จาก 1.5 เท่าของความยาวคลื่นจนถึง 0.125 เท่าของความยาวคลื่น) ดังนี้

- ที่ระนาบ 0 องศา แบบรูปการแผ่พลังงานที่มีลักษณะเป็นระลอก ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่นนั้น ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่นจะไม่เป็นเช่นนั้น แบบรูปการแผ่พลังงานจะอยู่ที่ระดับระหว่าง 5 ถึง 13 dB และจะมีลักษณะที่คล้ายกับที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะที่เป็นเส้นที่ค่อย ๆ มีระดับเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อตำแหน่งเชิงมุมเข้าใกล้ 0 องศาที่ระดับ 15 dB และจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเข้าใกล้ $\pm$ 90 องศา ระดับจะอยู่ที่ -2 dB และเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำลดลงจนถึง 0.125 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะคล้ายกับมีหลุม 2 หลุมที่ -33 และ 40 องศา จะมีระดับสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่งเชิงมุมประมาณ 0 องศา

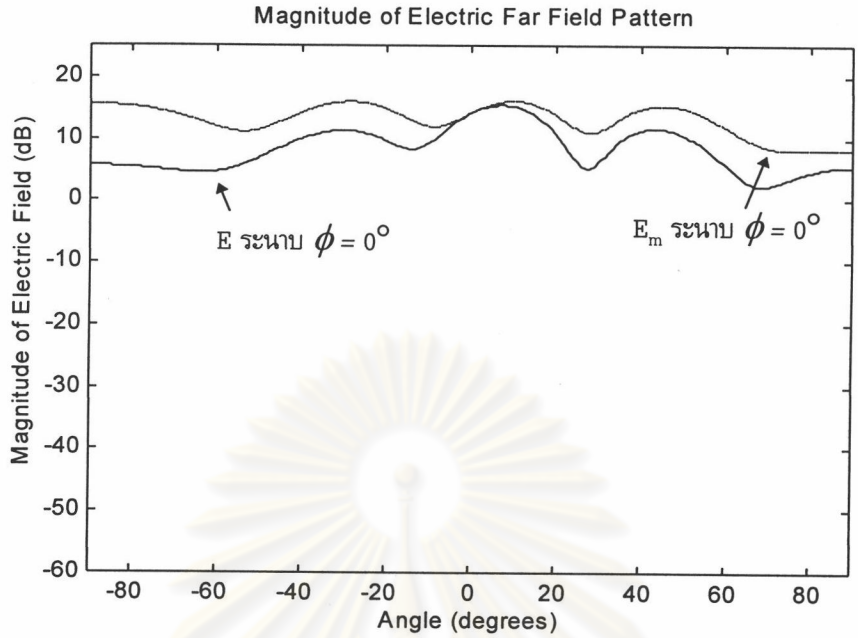
- ที่ระนาบ 90 องศา แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะสมมาตรทุกระยะห่าง และจะมีลักษณะคล้ายกับระนาบ 0 องศา กล่าวคือที่ระยะระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะเป็นระลอก แต่จะต่างกันตรงที่ระดับของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ระนาบ 90 องศานี้จะลดลงเรื่อย ๆ จนเป็นศูนย์ที่ตำแหน่งเชิงมุม $\pm$ 90 องศา ส่วนความเป็นระลอกนั้นจะน้อยลงเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงจนกระทั่งเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะที่มีพูข้างข้างละ 2 พู และพูประธาน 1 พู ส่วนที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 และ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะที่มีพูข้างข้างละ 1 พู และพูประธาน 1 พู โดยที่ระดับสูงสุดของพูข้างที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 จะสูงกว่า 0.125 เท่าของความยาวคลื่นอยู่ 8 dB นอกจากนั้นพูประธานที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 จะกว้างกว่า 0.25 เท่าของความยาวคลื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

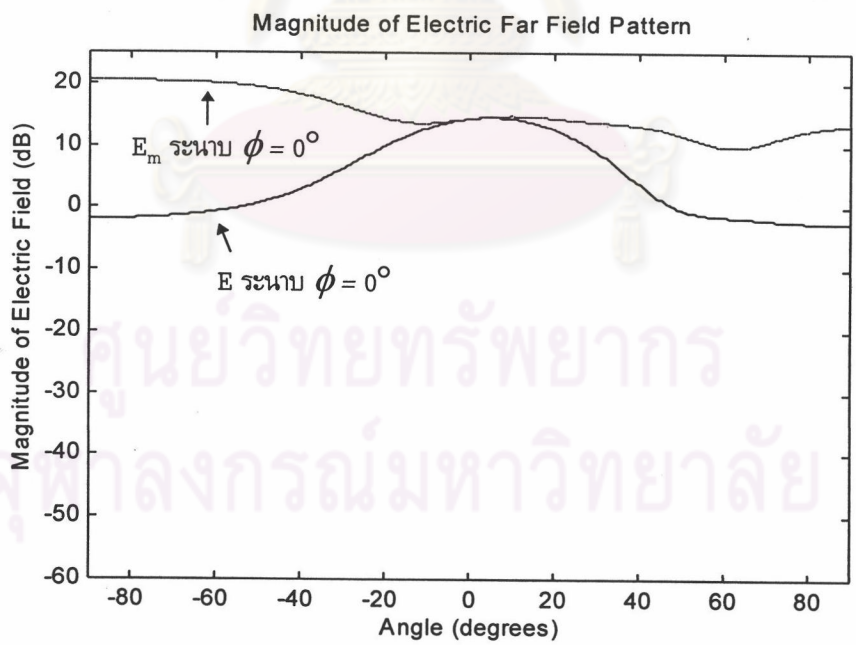
5.2.2.2 ผลกระทบของปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่มีต่อแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริป ที่มี 9 องค์ประกอบวางตัวอยู่ในระนาบเดียวกันโดยมีลักษณะการวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส (3x3) เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ (จาก 1.5 เท่าของความยาวคลื่นจนถึง 0.125 เท่าของความยาวคลื่น) สำหรับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02ซม.^{2})



รูป 4.136 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ (3x3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))

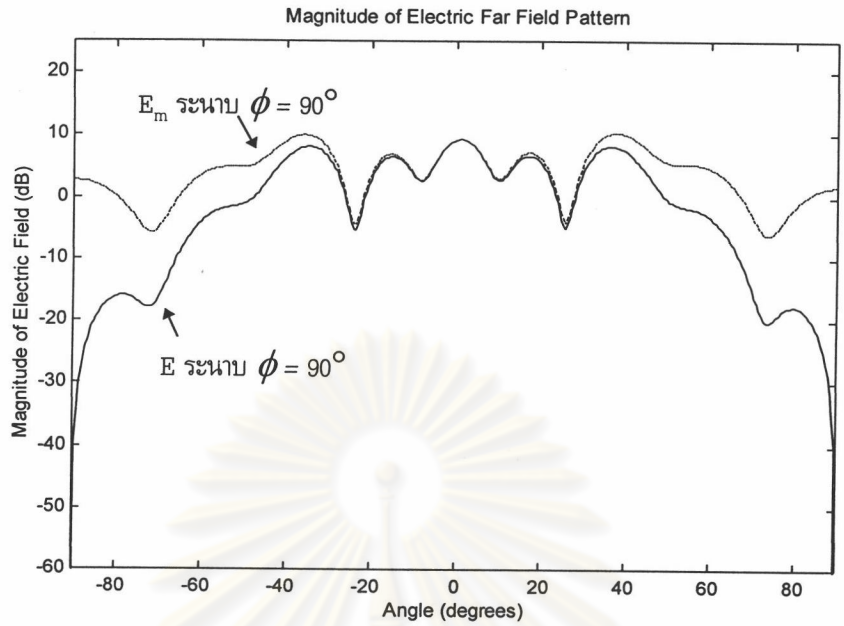


รูป 4.137 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ ($3x3$) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))

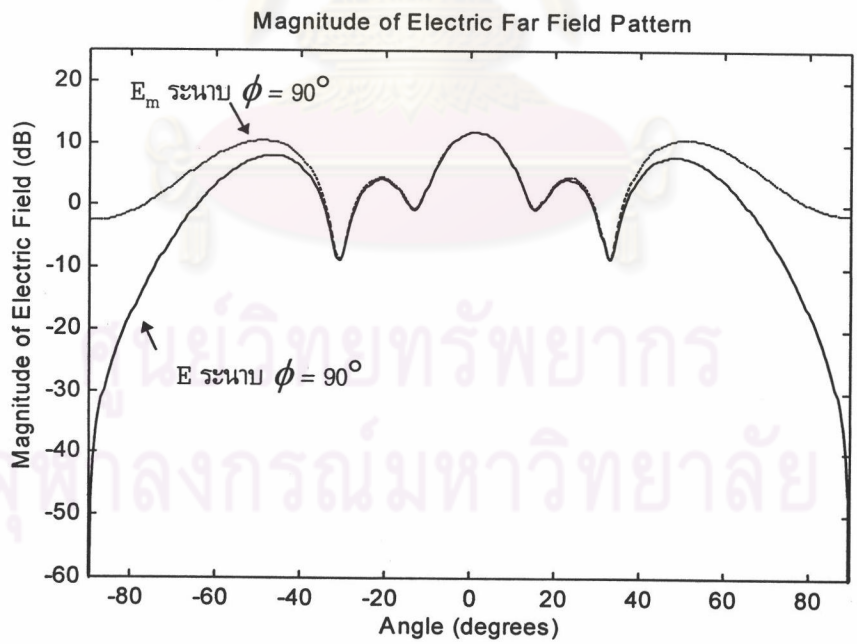


รูป 4.138 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ ($3x3$) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 0 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))

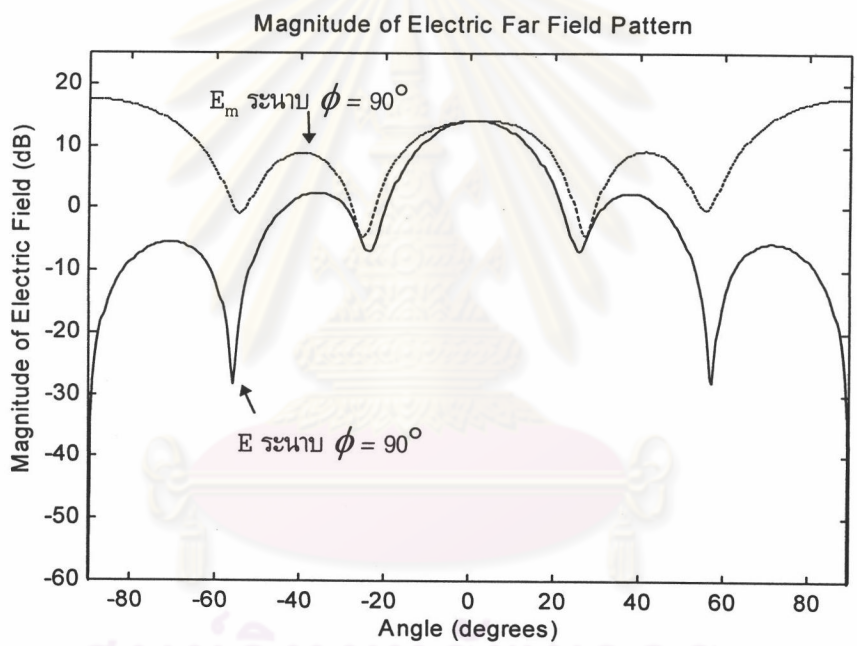
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



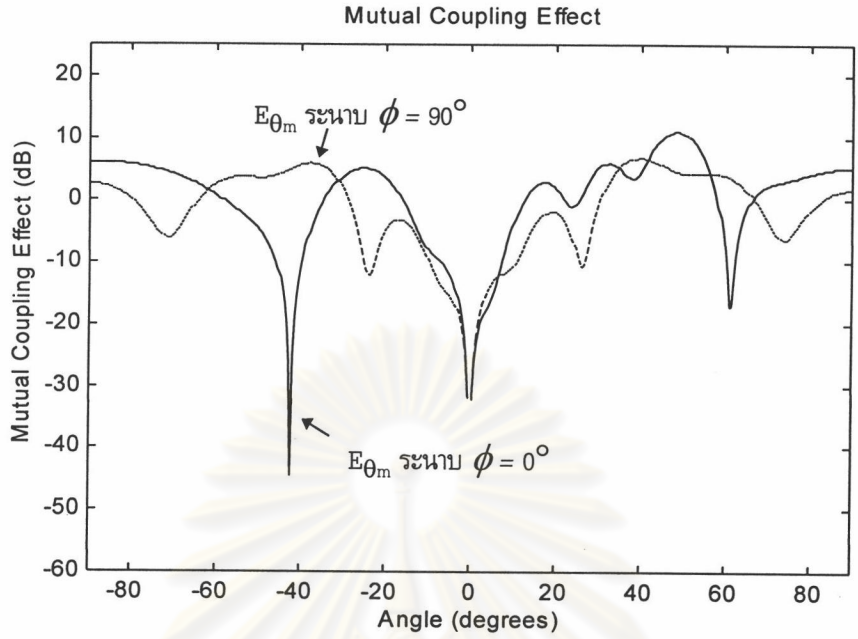
รูป 4.139 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ (3*x*3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))



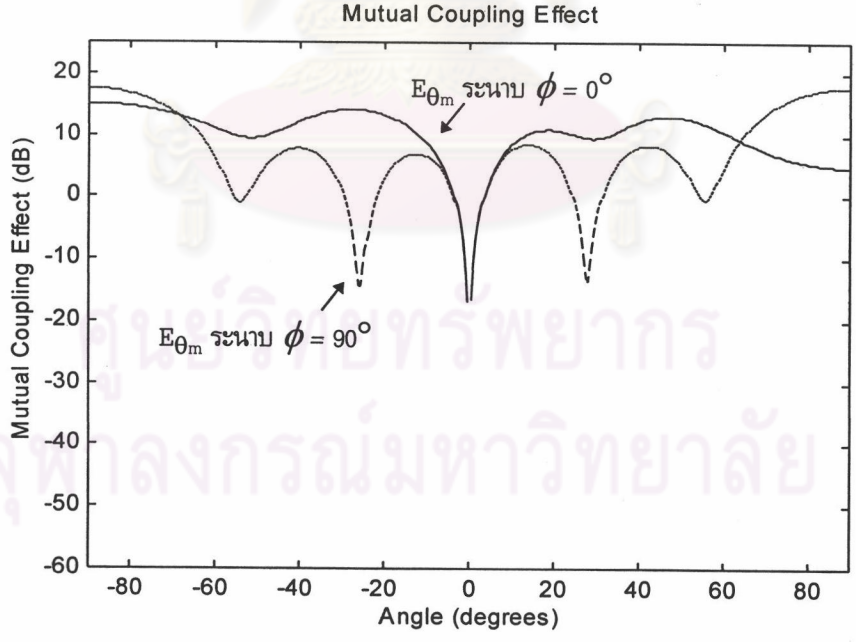
รูป 4.140 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ (3*x*3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))



รูป 4.141 แบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ (3x3) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานระยะสนามไกลที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิง (ระนาบ 90 องศา) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))

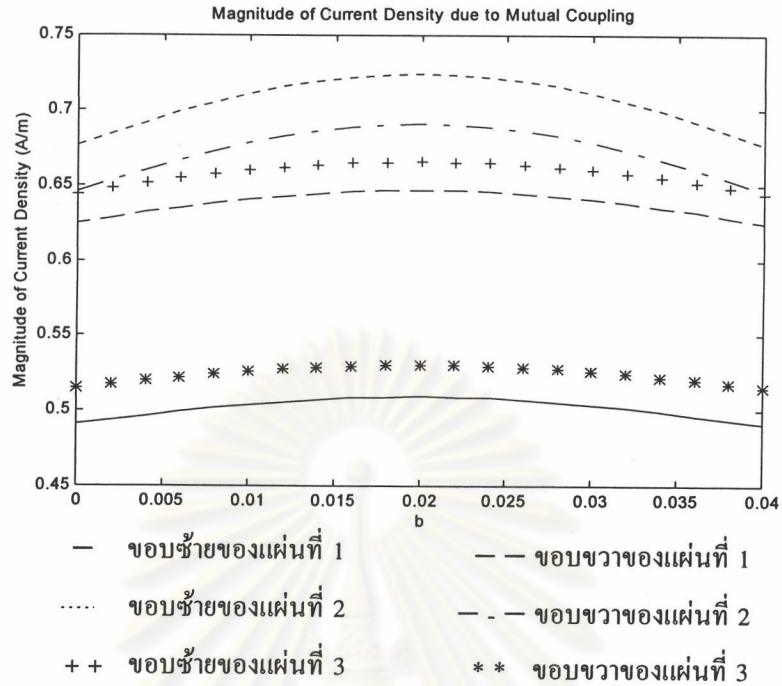


รูป 4.142 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ (3x3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))

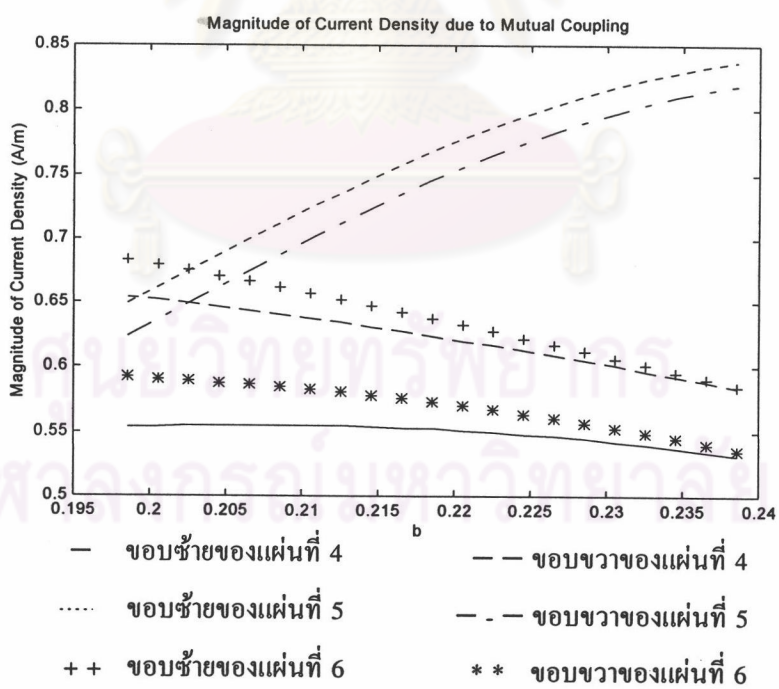


รูป 4.143 ผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะสนามไกลของแผงสายอากาศไมโครสตริป ที่มี 9 องค์ประกอบ (3x3) โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))

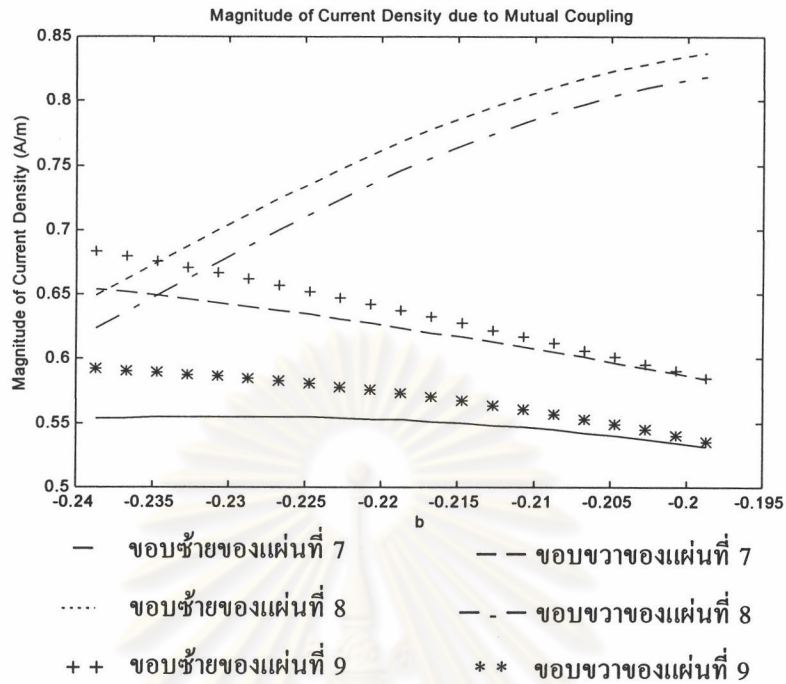
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



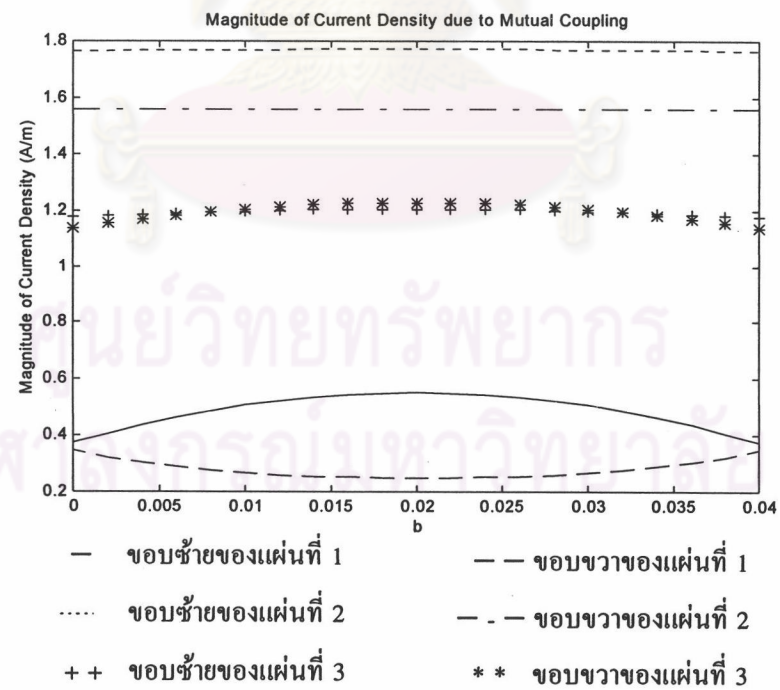
รูป 4.144 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 1 2 และ 3)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป ที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่า ของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))



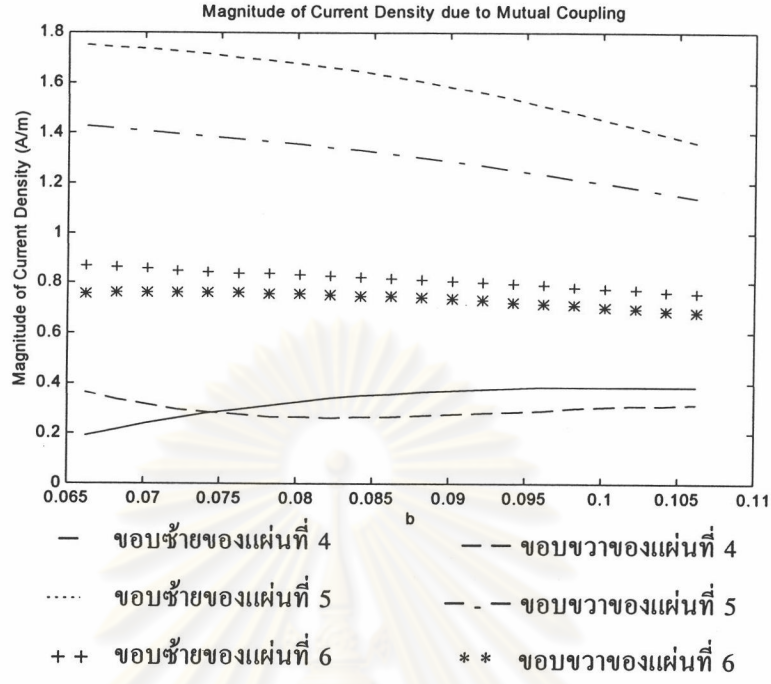
รูป 4.145 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 4 5 และ 6)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป ที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่า ของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))



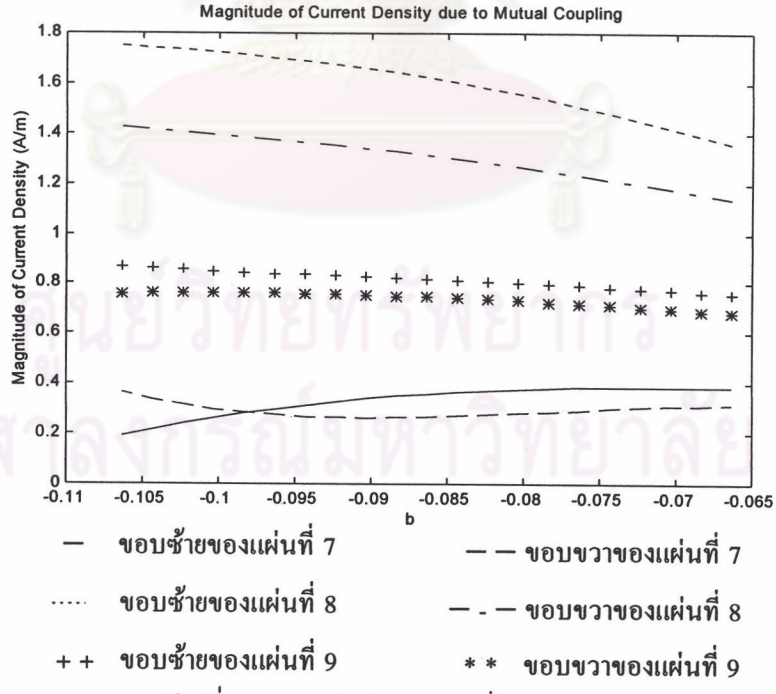
รูป 4.146 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 7 8 และ 9)ของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))



รูป 4.147 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 1 2 และ 3)ของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))



รูป 4.148 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 4 5 และ 6)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป ที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))



รูป 4.149 การกระจายกระแส $(\vec{J})$ ที่ขอบของแผ่นตัวนำ(แผ่นที่ 7 8 และ 9)ของแผงสายอากาศไมโครสตริป ที่เกิดจากมิวชวลคัปปลิง โดยมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบในแนวแกนตั้งและแกนนอนเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่น (ใช้พารามิเตอร์เดียวกับสายอากาศทวนสอบแบบที่ 3 (4.02×4.02 ซม.^{2}))

จากรูป 4.136 ถึงรูป 4.141 นั้นจะพบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแบบรูปการแผ่พลังงานเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงเมื่อแผ่นตัวนำในแผงสายอากาศจัดวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส ($3x3$) ดังนี้

- ที่ระนาบ 0 องศาเมื่อระยะระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น ที่ตำแหน่งเชิงมุมระหว่าง -57 ถึง 68 dB นั้นแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีระดับเพิ่มขึ้นไม่เกิน 3 dB และจะยังคงรักษารูปร่างเดิมไว้ไม่มีการเลื่อนตำแหน่ง ส่วนตำแหน่งเชิงมุมอื่น จะมีระดับที่เพิ่มมากขึ้นอยู่ในช่วง 3 ถึง 15 dB โดยที่ระดับที่เพิ่มขึ้นของแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงที่ 15 dB นั้นจะอยู่ที่ตำแหน่งเชิงมุม -65 องศา ซึ่งจากเดิมเป็นตำแหน่งเชิงมุมที่มีลักษณะเป็นหลุม ส่วนระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่นนั้นแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงทุกตำแหน่งเชิงมุมจะมีระดับเพิ่มขึ้นไม่เกิน 3 dB โดยเฉพาะระหว่างตำแหน่งเชิงมุมที่ -10 ถึง 10 องศา จะไม่มีผลของมิวชวลคัปปลิงเลย ส่วนแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่นจะมีลักษณะที่คล้ายกับกรณีที่มีค่าเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่น แต่ระดับที่เพิ่มขึ้นของแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะสูงกว่า กล่าวคืออยู่ในช่วง 0 ถึง 8 dB โดยที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ -5 ถึง 5 องศา จะไม่มีผลของมิวชวลคัปปลิง ส่วนที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่นนั้น แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงจะมีลักษณะเป็นเส้นที่ค่อย ๆ ลดระดับจาก 21 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุม -90 องศาลงไปเรื่อย ๆ จนถึงระดับที่ 13 dB ที่ตำแหน่งเชิงมุม 90 องศา และตำแหน่งเชิงมุมที่ 0 องศาจะไม่ใช่ตำแหน่งที่มีการแผ่พลังงานสูงสุดอีกต่อไปเช่นเดียวกับกรณีที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น

- ที่ระนาบ 90 องศา เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น แบบรูปการแผ่พลังงานจะเริ่มมีผลของมิวชวลคัปปลิงระหว่างตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 28 องศาไปจนถึง $\pm$ 90 องศาในลักษณะที่มีระดับเพิ่มขึ้น โดยรวมจะมีลักษณะรูปร่างคล้ายกับแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงเพียงแต่ที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ $\pm$ 90 องศานั้นจะไม่เป็นศูนย์ ซึ่งที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1 เท่าของความยาวคลื่นก็จะมีลักษณะที่คล้ายกัน แต่จะต่างกันตรงที่ตำแหน่งเชิงมุมระหว่าง -35 ถึง 35 องศาจะไม่มีผลของมิวชวลคัปปลิง ส่วนที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่นจะเห็นความเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนไม่ว่าจะเป็นระดับของพูข้างที่สูงขึ้นจนมาอยู่ที่ระดับ 9 และ 18 dB จนทำให้ระดับของพูข้างนั้นสูงกว่าระดับของพูประธาน ระดับของจุดศูนย์ที่เพิ่มขึ้นประมาณ 25 dB ณ ตำแหน่งเชิงมุม $\pm$ 57 องศา และการเลื่อนตำแหน่งของตำแหน่งที่เป็นหลุมที่ $\pm$ 25 องศาเป็น $\pm$ 27 องศา (รวมถึงการมีระดับที่เพิ่มขึ้นประมาณ 2 dB ด้วย) และเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความยาวคลื่นนั้น แบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงก็จะมีการเลื่อนตำแหน่งเช่นกันรวมถึงระดับของพูข้างที่สูงขึ้นมาจนเกือบเท่ากับระดับของพูประธานและที่ตำแหน่งเชิงมุม $\pm$ 90 องศา จะไม่เป็นศูนย์เช่นกัน ส่วนที่ระยะห่าง

ระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.125 เท่าของความยาวคลื่น จากแบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่รวมผลของมิวชวลคัปปลิงที่มีพูข้าง 2 พูนั้นเมื่อรวมผลของมิวชวลคัปปลิงแล้วแบบรูปการแผ่พลังงานจะมีลักษณะเป็นเส้นที่อยู่ระหว่างระดับ 8 ถึง 11 dB โดยที่ตำแหน่งเชิงมุมที่ใกล้จุด 0 องศาจะมีระดับที่มากกว่าตำแหน่งเชิงมุมอื่น ๆ

จากผลการวิเคราะห์ที่ผ่านมาพบว่าปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงนั้นมีผลกระทบต่อแบบรูปการแผ่พลังงานไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มหรือลดระดับของอัตราขยาย การเลื่อนตำแหน่งของตำแหน่งเชิงมุมที่เป็นแนวเล็งหลักหรือจุดศูนย์ การบานออกของพูหรือลำคลื่นในแบบรูปการแผ่พลังงาน เป็นต้น ซึ่งสามารถสรุประดับของอัตราขยายสูงสุดที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อคิดผลของมิวชวลคัปปลิงทั้งในเชิงขนาดและตำแหน่งไว้ดังนี้

ตาราง 4.15 ระดับของอัตราขยายสูงสุดที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อคิดผลของมิวชวลคัปปลิง

ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2	
	ระนาบ 0° (dB)	ระนาบ 90° (dB)	ระนาบ 0° (dB)	ระนาบ 90° (dB)
1.5	0—3	0—2	0	0
1	0—3	4	0	0
0.5	5	4—8	0	0
0.25	6—8	9	0	0
0.125	9—15	10	4—5	4—5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.15 (ต่อ) ระดับของอัตราขยายสูงสุดที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อคิดผลของมิวชวลคัปปลิง

ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (จำนวนเท่าของความยาวคลื่น)	กรณีที่ 3		(3x3)	
	ระนาบ 0° (dB)	ระนาบ 90° (dB)	ระนาบ 0° (dB)	ระนาบ 90° (dB)
1.5	0	0	4—5	2
1	0	0	2	2
0.5	0	0	2—3	4
0.25	0	0	6—10	10
0.125	5	4—5	12—14	11

ข้อสังเกต สำหรับอัตราขยายที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในกรณีที่ 1 นั้นเป็นการเลื่อนตำแหน่งของจุดที่มีอัตราขยายสูงสุด (แนวเล็งหลัก) ด้วยซึ่งทำให้แบบรูปการแผ่พลังงานมีความผิดเพี้ยนมากกล่าวคือ เมื่อคิดผลของมิวชวลคัปปลิงแล้วแบบรูปการแผ่พลังงานจะเป็นหลุมที่ตำแหน่งเชิงมุมที่เป็นแนวเล็งหลักนั้น ๆ แต่สำหรับในกรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3 นั้นพบว่า ณ ตำแหน่งเชิงมุมที่เป็นแนวเล็งหลักนั้นอัตราขยายจะไม่เปลี่ยนแปลงแต่จะเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่งเชิงมุมอื่นซึ่งจะมีระดับไม่สูงเท่ากับระดับของแนวเล็งหลัก ซึ่งในกรณีที่ 2 ความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้นกับแบบรูปการแผ่พลังงานนั้นโดยรวมแล้วจะมีผลกระทบน้อยกว่ากรณีที่ 3 และในกรณีของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มี 9 องค์ประกอบ (3x3) นั้นพบว่าถ้าระดับการเปลี่ยนแปลงของอัตราขยายมีค่าน้อย เช่นที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 0.5 และ 1 เท่าของความยาวคลื่นนั้นตำแหน่งเชิงมุมที่เป็นแนวเล็งหลักนั้นจะเลื่อนไปประมาณ 2-3 องศา แต่ถ้าระดับการเปลี่ยนแปลงของอัตราขยายมีค่ามากนั้นระดับสูงสุดของแบบรูปการแผ่พลังงานนั้นจะเปลี่ยนไปอยู่ที่ตำแหน่งเชิงมุมอื่นที่ไกลจากตำแหน่งเชิงมุมเดิมที่เป็นแนวเล็งหลักซึ่งทำให้ภาพรวมของแบบรูปการแผ่พลังงานมีความผิดเพี้ยน ส่วนตาราง 4.16 นั้นแสดงตำแหน่งเชิงมุมที่ไม่มีผลกระทบของปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงต่อแบบรูปการแผ่พลังงานที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำต่าง ๆ ของทุกกรณีที่กล่าวมาข้างต้น

ตาราง 4.16 ตำแหน่งเชิงมุมที่ไม่มีผลกระทบของมิวชวลคัปปลิง
ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำต่าง ๆ

กรณีที่ 1 ระนาบ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 1 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 1.5 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 2 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 2.5 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 3 λ (องศา)
0	- 20 — 20	- 25 — 25	- 40 — 40	- 45 — 45	- 50 — 50
90	- 5 — 5	- 10 — 10	- 30 — 30	- 30 — 30	- 40 — 40

กรณีที่ 2 ระนาบ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 1 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 1.5 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 2 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 2.5 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 3 λ (องศา)
0	- 90 — 90	- 90 — 90	- 90 — 90	- 90 — 90	- 90 — 90
90	- 60 — 60	- 80 — 80	- 85 — 85	- 90 — 90	- 90 — 90

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.16 (ต่อ) ตำแหน่งเชิงมุมที่ไม่มีผลกระทบของมิวชวลคัปปลิง
ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำต่าง ๆ

กรณีที่ 3 ระนาบ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 1 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 1.5 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 2 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 2.5 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 3 λ (องศา)
0	- 70 — 70	- 75 — 75	- 80 — 80	- 80 — 80	- 85 — 85
90	- 60 — 60	- 60 — 60	- 65 — 65	- 65 — 65	- 70 — 70

(3x3) ระนาบ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 1 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 1.5 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 2 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 2.5 λ (องศา)	ระยะห่าง (d) เท่ากับ 3 λ (องศา)
0	- 30 — 30	- 35 — 35	- 35 — 35	- 40 — 40	- 50 — 50
90	- 25 — 25	- 40 — 40	- 50 — 50	- 55 — 55	- 70 — 70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย