

บทที่ 4

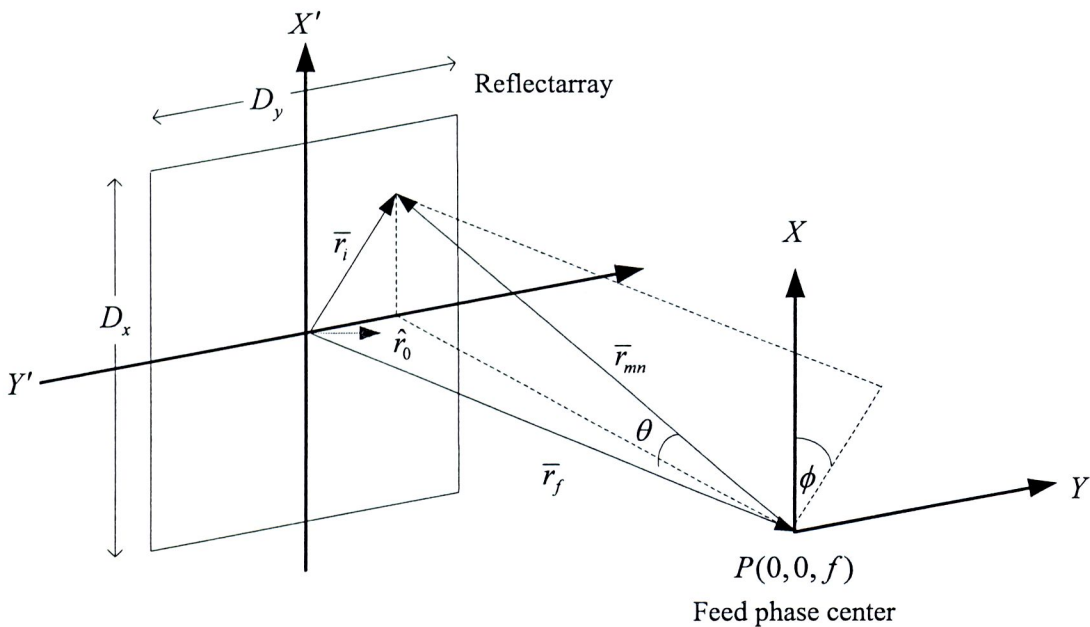
การออกแบบตัวป้อนสำหรับสายอากาศแฉกลำดับสะท้อน

4.1 บทนำ

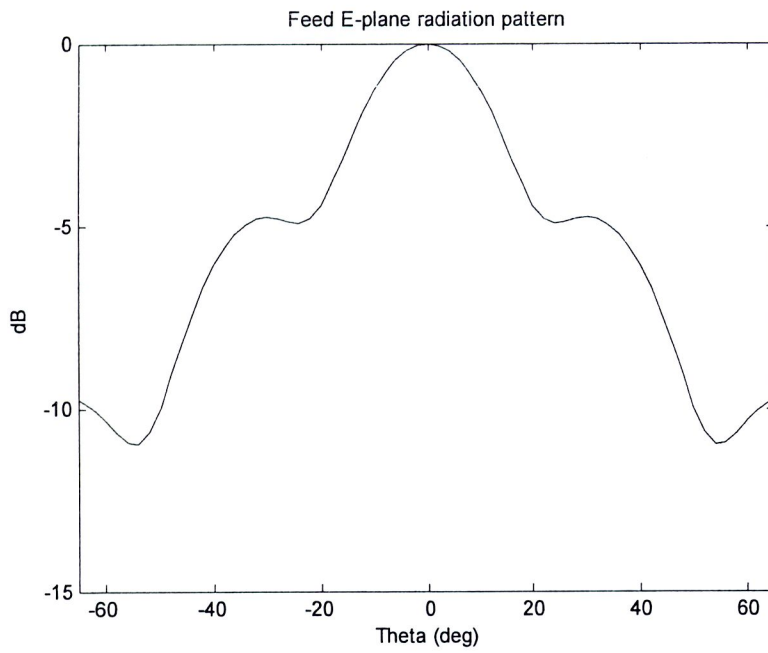
ในบทนี้จะนำเสนองานวิจัยการออกแบบตัวป้อนของสายอากาศแฉกลำดับสะท้อนโดยใช้สายอากาศร่องแบบเรียบ โดยจะศึกษาแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศป้อนและสนามตกกระทบบนแฉกลำดับสะท้อน และการศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อประสิทธิภาพของสายสายอากาศแฉกลำดับสะท้อน และทำการออกแบบสายอากาศป้อนที่เหมาะสมต่อไป

4.2 การศึกษาแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศป้อนและสนามตกกระทบบนแฉกลำดับสะท้อน

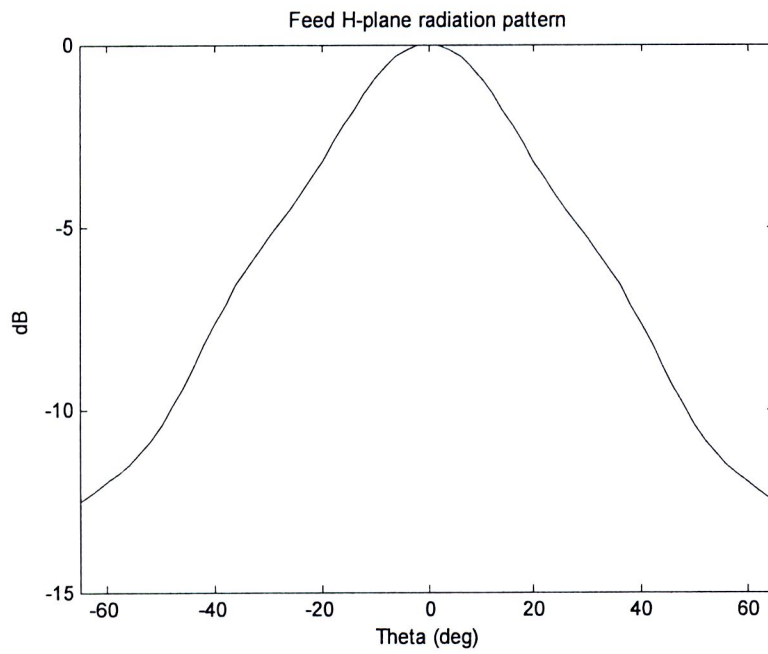
จากการศึกษาการออกแบบสายอากาศแฉกลำดับสะท้อนที่ผ่านมาพบว่า สายอากาศป้อนที่นิยมนำมาใช้ในสายอากาศตัวสะท้อนคือ สายอากาศปากแตรปิรามิด รูปที่ 4.1 แสดงรูปทรงเรขาคณิตของสายอากาศแฉกลำดับสะท้อน โดยมีตัวป้อนแบบสายอากาศปากแตรปิรามิดวางในแนวแกน z ที่จุด $P(0,0,f)$ ทำหน้าที่แผ่การกระจายสนามไปยังแฉกลำดับสะท้อนแบบไมโครสตริปขนาด $D_x \times D_y$ โดยระนาบ E - plane ของตัวป้อนวางในระนาบ x, z



รูปที่ 4.1 รูปทรงเรขาคณิตของสายอากาศแฉกลำดับสะท้อน



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของตัวป้อนแบบปากเตรปี่รามิด

แบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อนด้วยสายอากาศปากแตรแบบปิรามิด แสดงดังสมการ (4.1)

$$\begin{aligned} E_\theta &= j \frac{k_0 E_0 e^{-jk_0 r}}{4\pi r} \sin \phi |F(\theta, \phi)| e^{j\psi(\theta, \phi)} \\ E_\phi &= j \frac{k_0 E_0 e^{-jk_0 r}}{4\pi r} \cos \phi |F(\theta, \phi)| e^{j\psi(\theta, \phi)} \end{aligned} \quad (4.1)$$

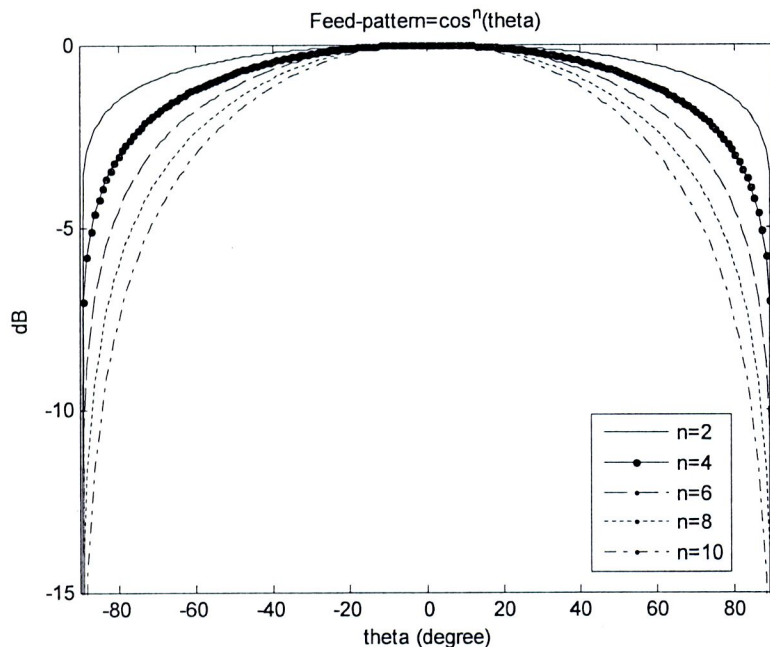
โดยมีตัวแปรที่ต้องพิจารณาคือ $|F(\theta, \phi)|$ และ $\psi(\theta, \phi)$ ในเทอมของอินทิกรัลเฟรสเนล (Fresnel Integral) โคไซน์และไซน์ตามลำดับ และตัวป้อนปากแตรปิรามิดนี้จะถูกออกแบบให้สนามตกกระทบบนแถวลำดับสะท้อนสูงที่สุดบริเวณกลางแผ่นสะท้อน เมื่อพิจารณาระดับพูข้าง อัตราขยาย และการสูญเสียเนื่องจากคลื่นของตัวป้อนแผ่กำลังงานล้น (spillover) จากขอบตัวสะท้อน สำหรับการปรับตำแหน่งการป้อนจะพิจารณาจากทฤษฎีของแบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เช่น ถ้าพิจารณาออกแบบโดยกำหนดให้บริเวณขอบของแถวลำดับสะท้อนมีคลื่นตกกระทบลดลงจากตำแหน่งกึ่งกลางแผ่นสะท้อน 4.773 dB สำหรับระนาบสนามไฟฟ้า ($\theta = 30^\circ$) และ 5.33 dB สำหรับระนาบสนามแม่เหล็ก ($\theta = 30^\circ$) โดยตัวแปร $\psi(\theta, \phi)$ ซึ่งเป็นตัวแปรเฟสที่อะเพอร์เจอร์ปิรามิด สามารถพิจารณาแยกอิสระสำหรับจุดอ้างอิงเฟส θ และ ϕ ได้ โดยจุดเฟสอ้างอิงที่จุดกึ่งกลางแถวลำดับสะท้อน จะทำให้เกิดสนามแผ่กระจายไปที่ใกล้ๆ หน้าคลื่นทรงกลมเนื่องจากเฟสด้านหน้าที่แตกต่างกันระหว่างระนาบสนามไฟฟ้ากับระนาบสนามแม่เหล็ก จะทำให้มีศูนย์กลางเฟสที่แตกต่างกันสองระนาบ และศูนย์กลางเฟสของระนาบสนามไฟฟ้ากับระนาบสนามแม่เหล็กหาได้จาก $\psi(\theta, \phi)$ ที่ตำแหน่งจากอะเพอร์เจอร์ปิรามิดไปยังตัวป้อน และตำแหน่งตัวป้อนมีระยะโฟกัสเท่ากับ 25 เซนติเมตร และเราจำเป็นต้องพิจารณาระยะทางที่คลื่นตกกระทบจากหน้าคลื่นทรงกลมไปยังแถวลำดับสะท้อน ดังรูปที่ 4.2 โดยมีเฟสศูนย์กลางที่ความถี่ปฏิบัติการ

สนามตกกระทบในแนวสัมผัสของแถวลำดับสะท้อนจะอยู่ในแนวแกน x และแกน y เราสามารถแสดงเฉพาะสนามไฟฟ้าในองค์ประกอบของ x และมีระนาบโพลาไรซ์แบบโหมด TM ได้ดังสมการ (4.2) โดยมีมุมตกกระทบ $(\theta_0, \phi_0) = (\theta_i, 0)$ และสนามสนามไฟฟ้าของแผ่นสะท้อน i ใดๆ ถูกนอร์มอลไลซ์จากสนามที่อิมิเนนตีกึ่งกลางแถวลำดับสะท้อน

$$\bar{E}_i^{inc} = \frac{|\bar{r}_f|}{|\bar{r}_i - \bar{r}_f|} \frac{F(\theta_i, \phi_i)}{F(\theta = 0, \phi = 0)} e^{-jk_0(|\bar{r}_i - \bar{r}_f| - |\bar{r}_f|)} \cdot [\cos \phi \hat{a}_\theta + \sin \phi \hat{a}_\phi] \quad (4.2)$$

โดยที่ $\bar{r}_i$ เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งของแผ่นสะท้อนใดๆ และ $\bar{r}_f$ เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งอ้างอิงซึ่งคิดเฟส ณ ศูนย์กลางตัวป้อน

รูปที่ 4.3 แสดงกำลังโคไซน์ ($\cos^n \theta$) ที่มีผลต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อน พบว่าถ้าเลขกำลังโคไซน์ของสายอากาศมีค่าน้อย จะส่งผลให้ตัวป้อนมีลำคลื่นกว้าง และกำลังงานบริเวณคลื่นตกกระทบทุกจุดบนตัวสะท้อนจะมีค่าใกล้เคียงกัน



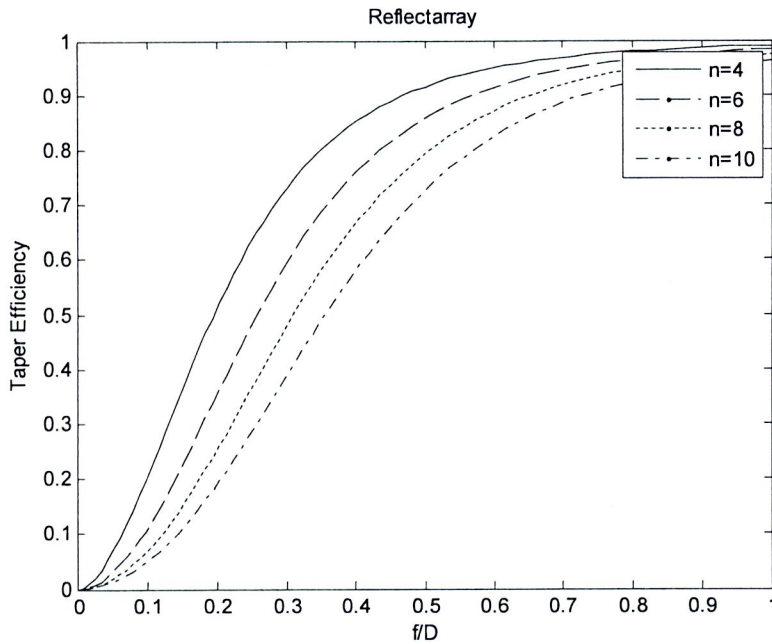
รูปที่ 4.3 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อน

4.3 การศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อประสิทธิภาพของสายอากาศแฉวลำดับสะท้อน

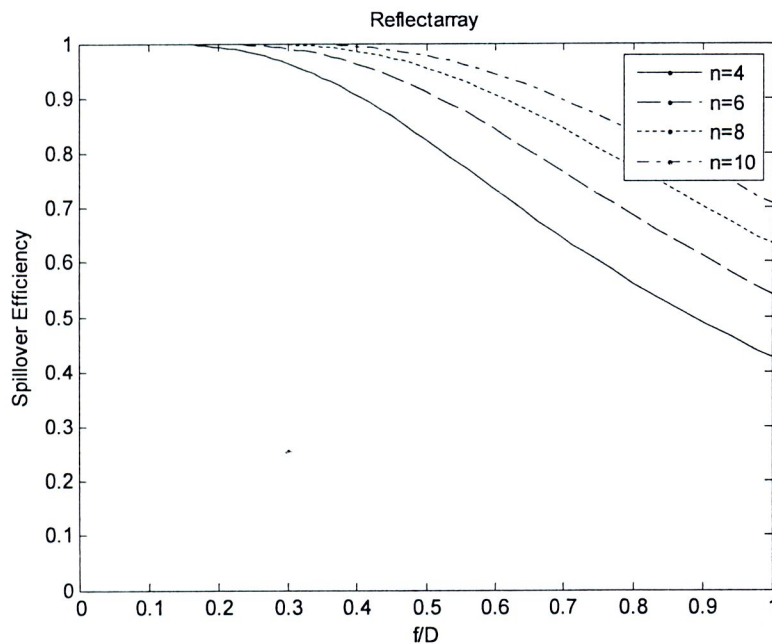
การเลือกอัตราส่วนระหว่างระยะโฟกัสต่อขนาดสายอากาศ (f/D) ที่ดีที่สุดสำหรับสายอากาศแฉวลำดับสะท้อน จะต้องพิจารณาจากหลายตัวแปร ถ้าเลือกให้ f/D มีค่ามาก จะทำให้ระนาบหน้าคลื่นทรงกลมตกกระทบครอบคลุมพื้นที่ผิวของสายอากาศแฉวลำดับสะท้อน และทำให้โพลาริซัฟว์มีค่าต่ำสุด แต่มีข้อเสียคือจะทำให้เกิดการสูญเสียจากการสั่น นอกจากนั้นยังเกิดการผิดรูปของแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเนื่องจากการบล็อกระยะเพอร์เจอร์ของตัวป้อนด้วย ถ้าเลือกให้ f/D มีค่าน้อย การบล็อกระยะเพอร์เจอร์ของตัวป้อนจะลดลง แต่จะเกิดปัญหาการแมตช์ระยะเพอร์เจอร์ เช่น ถ้าออกแบบสายอากาศแฉวลำดับสะท้อนโดยใช้แบบรูปการแผ่พลังงานในรูปที่ 4.2 เป็นตัวป้อน และเลือกให้ $f/D_x = 0.866$ โดยที่ $D_x = 0.30\text{ m}$ และ $D_y = 0.30\text{ m}$ ซึ่งจะทำให้มีมุมตกกระทบสูงสุดในระนาบ x, z และ y, z เท่ากับ 30° เป็นต้น

จากรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงกำลังโคไซน์ ($\cos^n \theta$) ที่มีผลต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อน ถ้าต้องการออกแบบให้สายอากาศแฉวลำดับสะท้อนมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงจำเป็นต้องพิจารณาทั้งความเรียว (taper) ของแบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อน และการสูญเสียเนื่องจากคลื่นของตัวป้อนแผ่กำลังงานสั่น (spillover) จากขอบตัวสะท้อน รูปที่ 4.4 ถึง 4.6 แสดงผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อ

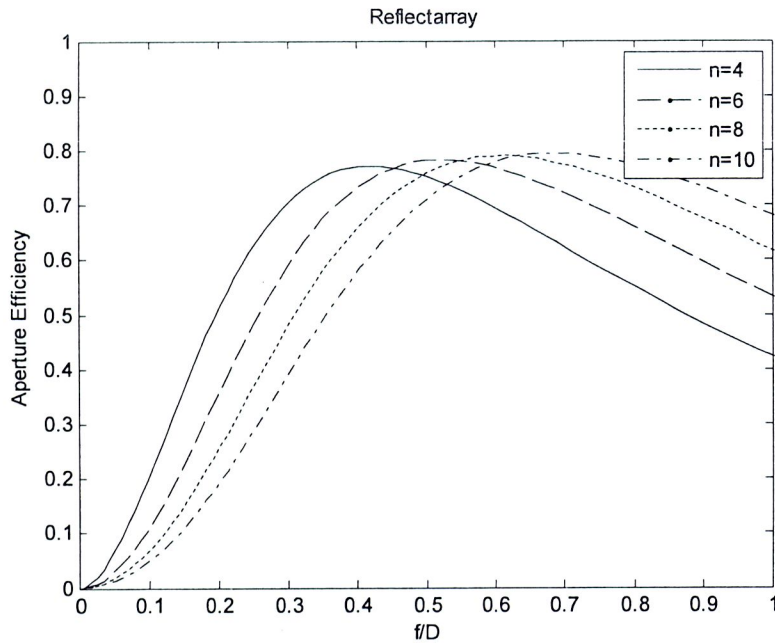
การสูญเสียจากความเร็วของแบบรูปการแผ่กำลังงาน การสูญเสียจากการล้น และประสิทธิภาพอะเพอร์เจอร์ของสายอากาศแกลวลำดับสะท้อนตามลำดับ ซึ่งพบว่า ตัวป้อนที่มีกำลังโคไซน์ต่ำจะมีการสูญเสียจากความเร็วของแบบรูปการแผ่กำลังงานต่ำด้วย แต่จะมีการสูญเสียจากการล้นสูง เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพอะเพอร์เจอร์ (aperture efficiency) พบว่าประสิทธิภาพการแผ่กำลังงานของสายอากาศแกลวลำดับสะท้อนจะขึ้นกับค่า f/D ด้วย



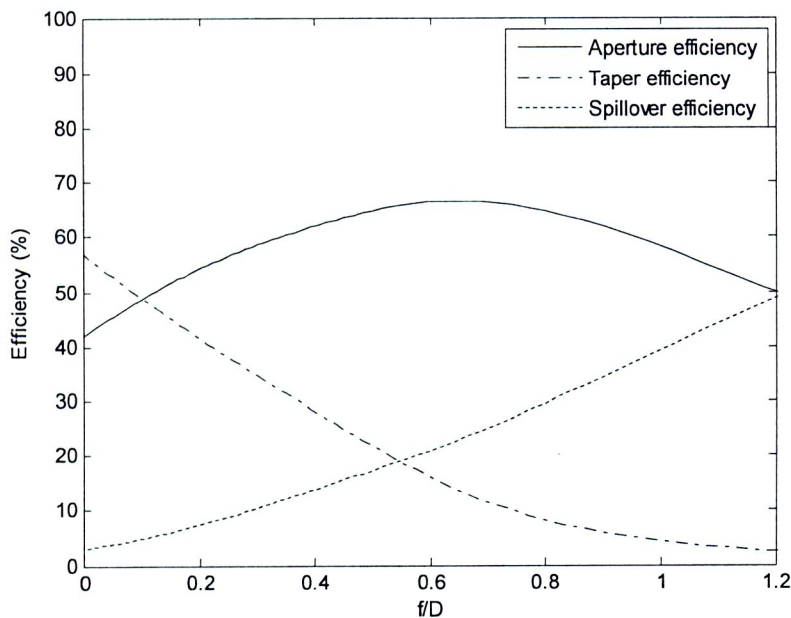
รูปที่ 4.4 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อประสิทธิภาพความเร็ว



รูปที่ 4.5 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อประสิทธิภาพการล้น



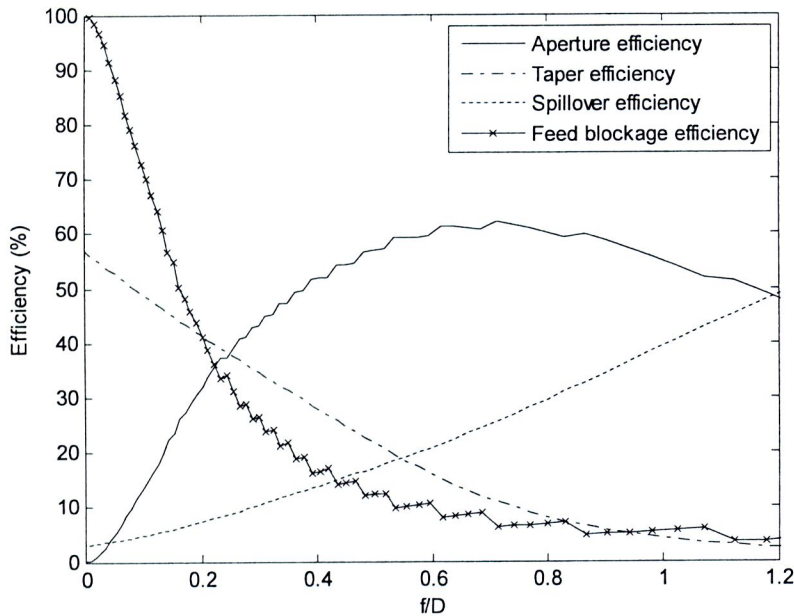
รูปที่ 4.6 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ของตัวป้อนต่อประสิทธิภาพอะเพอร์เจอร์
ของสายอากาศแกลวลำดับสะท้อน



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศแกลวลำดับสะท้อนเมื่อไม่พิจารณาการบดบังของตัวป้อน

รูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงผลกระทบของตัวป้อนที่บดบังการแผ่กำลังงาน ทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลง จากรูปที่ 4.7 ถ้าไม่พิจารณานาขนาดตัวป้อน สายอากาศจะมีประสิทธิภาพอะเพอร์เจอร์ประมาณ 70% แต่ถ้าพิจารณาการบดบังเนื่องจากตัวป้อนดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่าทำให้ประสิทธิภาพ

ลดลงเหลือเพียง 60% เท่านั้น ดังนั้นการออกแบบตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนที่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของสายอากาศเพิ่มขึ้นได้



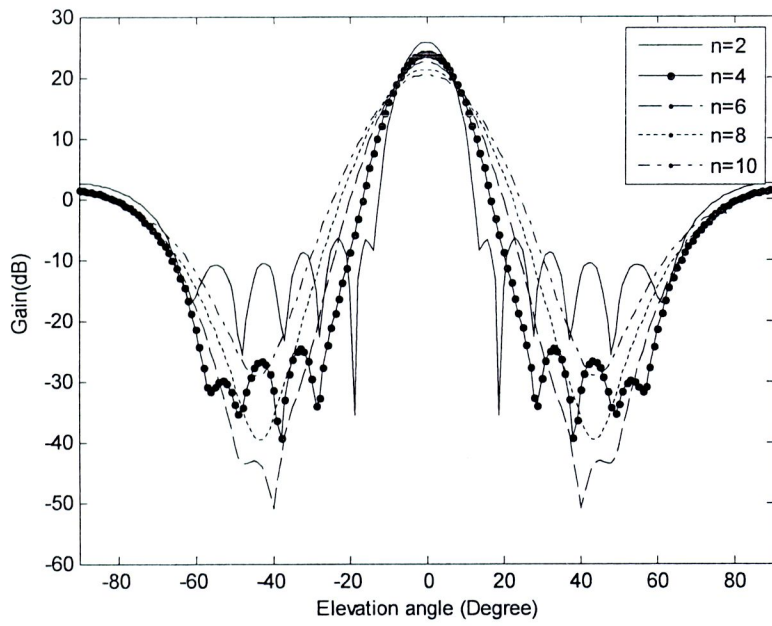
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนเมื่อพิจารณาการบดบังของตัวป้อน

4.4 การศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อน

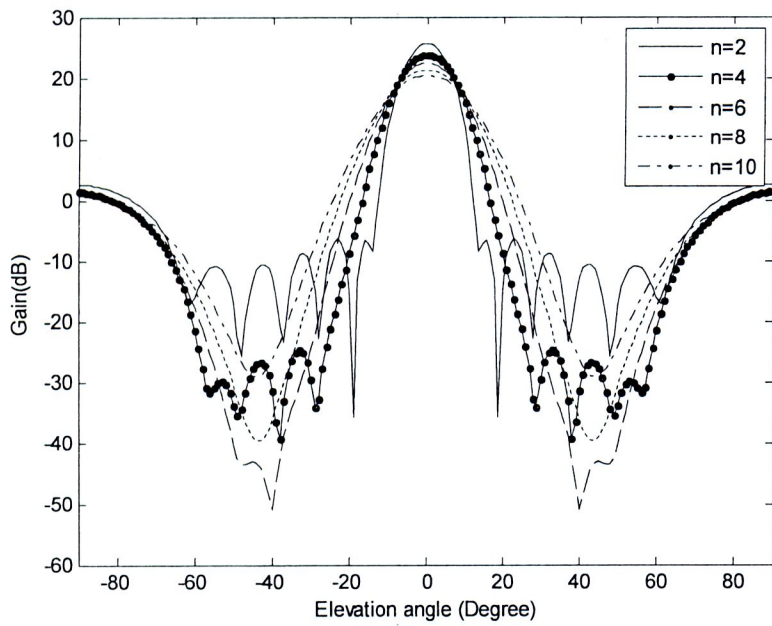
ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนทั้งกรณีสายอากาศแบบเจาะจงทิศทางและแบบจัดลำคลื่น

4.4.1 สายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทาง

สำหรับการออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนเพื่อทดแทนสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิก จะมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง ถ้ากำหนดให้ไม่เกิดการสูญเสียเนื่องจากการล้น พบว่าตัวป้อนที่มีกำลังโคไซน์ต่ำทั้งระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กจะให้สนามตกกระทบผิวสะท้อนใกล้เคียงกันทุกจุด ส่งผลให้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนมีอัตราขยายสูง โดยลักษณะลำคลื่นจะแคบและชี้ไปยังตำแหน่ง 0 องศา ถ้าค่ากำลังโคไซน์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราขยายเพิ่มสูงขึ้น รูปที่ 4.9 แสดงผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทาง



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



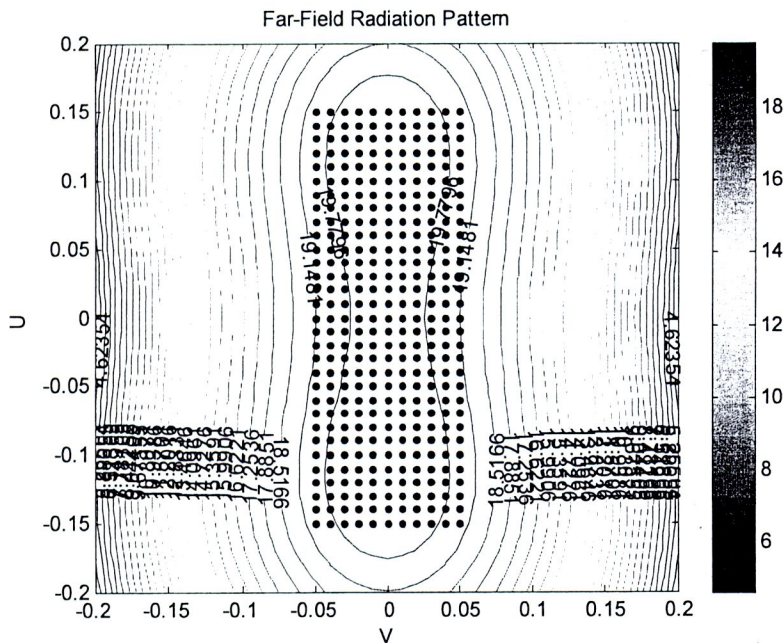
(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.9 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงาน
ของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทาง

4.4.2 สายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำดับคลื่น

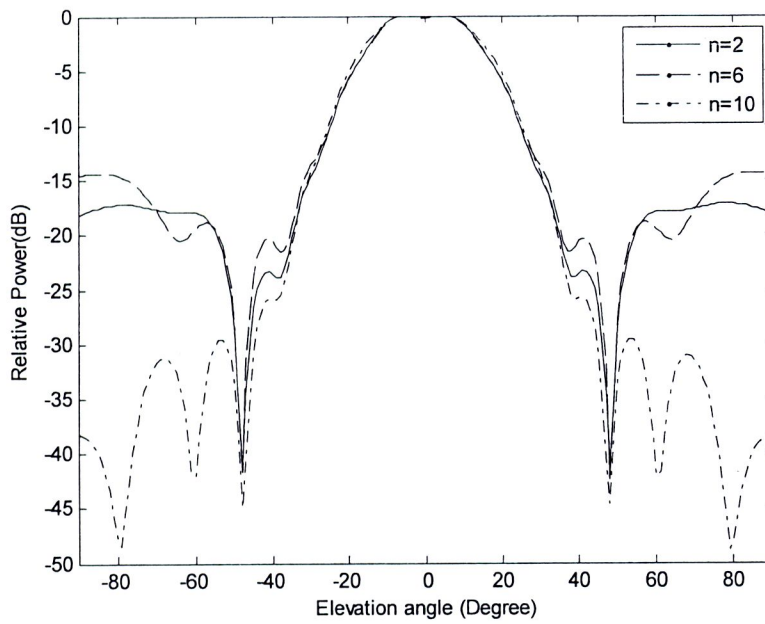
การออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำดับคลื่นมักนิยมออกแบบให้มีลำดับคลื่นครอบคลุมพื้นที่บริการ และกำหนดให้อัตราขยายเป็นไปตามที่ต้องการ โดยเราสามารถพิจารณาลักษณะพื้นที่ให้บริการแบบเรขาคณิตอย่างง่ายได้ เช่น วงกลม สี่เหลี่ยม เป็นต้น สำหรับลักษณะพื้นที่ที่มีความซับซ้อน เช่น ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย เป็นต้น ในหัวข้อนี้จะพิจารณาเฉพาะผลกระทบของกำลังโคไซน์ที่มีผลต่อลักษณะพื้นที่ครอบคลุมอย่างง่ายเท่านั้น โดยกำหนดให้อัตราขยายมีค่าเท่ากับ 20 dB รูปที่ 4.10 ถึง 4.11 แสดงผลการจำลองแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อน พบว่า กำลังโคไซน์ค่าต่างๆ จะให้แบบรูปการแผ่กำลังงานที่ต้องการใกล้เคียงกัน แต่กำลังโคไซน์ต่ำจะใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่า

รูปที่ 4.10 แสดงแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนที่มีการจัดลำดับคลื่นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยลักษณะลำดับคลื่นจะกว้างในระนาบสนามไฟฟ้า และลำดับคลื่นแคบในระนาบสนามแม่เหล็ก เมื่อ $u = \frac{x}{R} \sin \theta \cos \phi$ และ $v = \frac{y}{R} \sin \theta \sin \phi$ เป็นพิกัดจุดสังเกต ส่วน R เป็นระยะสนามระยะไกล

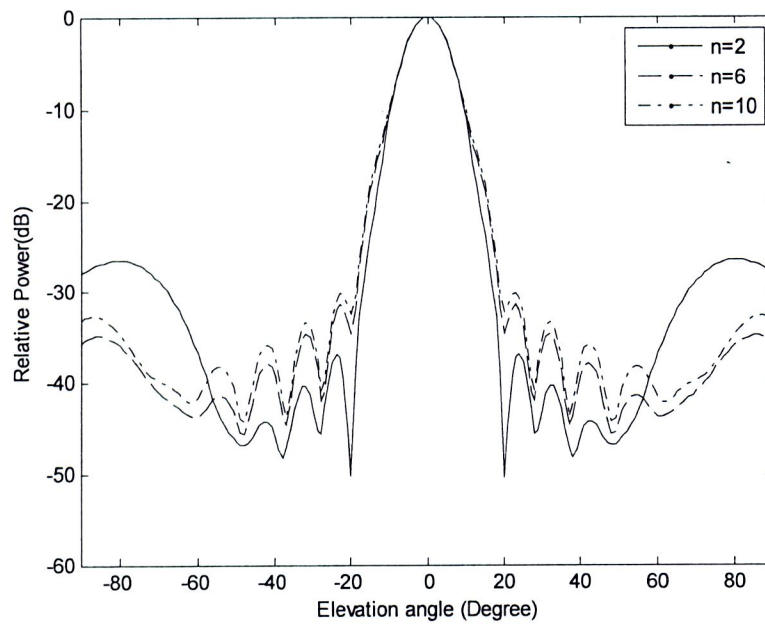


(ก) ลักษณะพื้นที่ครอบคลุม

รูปที่ 4.10 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำดับคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

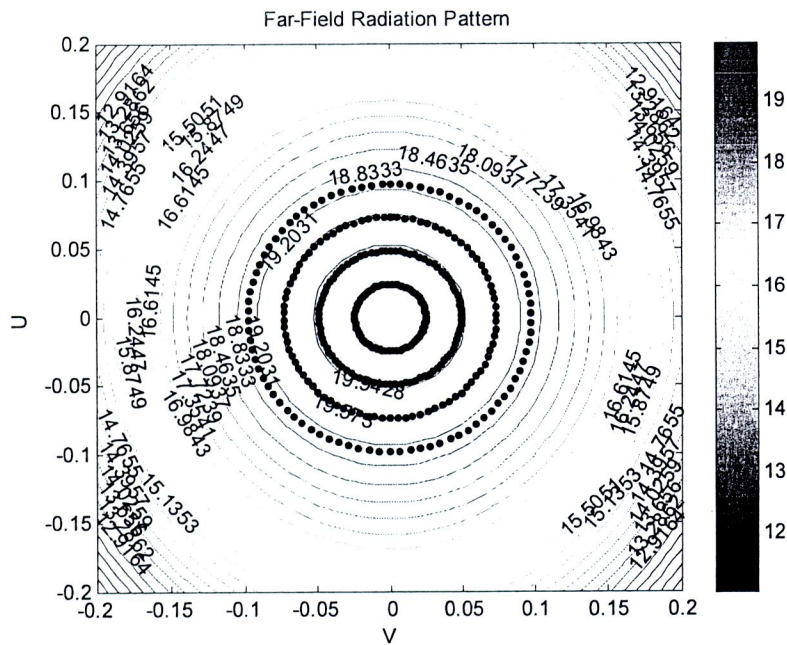


(จ) แบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า

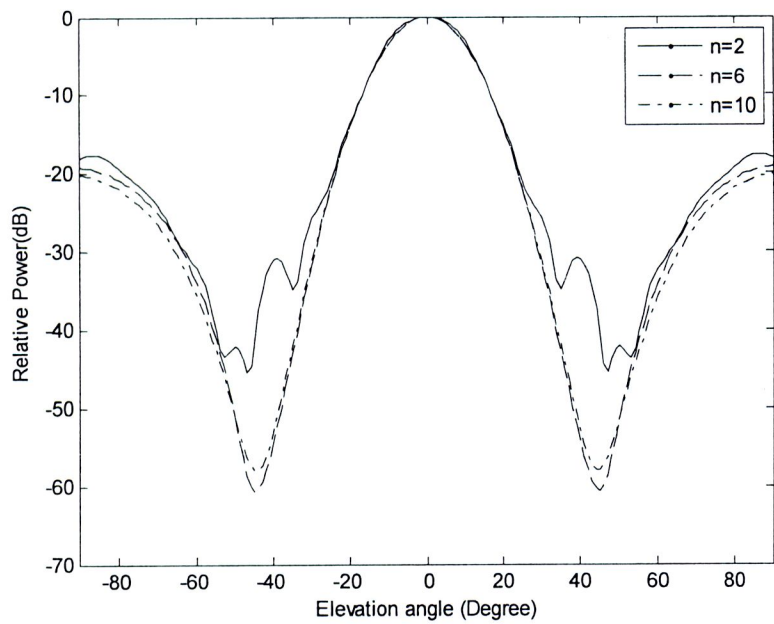


(ค) แบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.10 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงาน
ของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำดับสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ต่อ)



(ก) ลักษณะพื้นที่ครอบคลุม



(ข) แบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า
รูปที่ 4.11 ผลกระทบของกำลังโคไซน์ต่อแบบรูปการแผ่กำลังงาน
ของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบจัดลำดับคลื่นรูปวงกลม

1. ความยาวของร่อง หรือ F_l หาได้จาก

$$F_l = \lambda_0 = \frac{3 \times 10^8}{5.2 \times 10^9} = 57.69 \text{ mm}$$

2. ความกว้างของร่อง F_w

$$F_w = \frac{\lambda_0}{2} = 28.85 \text{ mm}$$

3. ความยาวของสายอากาศ A_l

$$A_l = F_l + \frac{\lambda_0}{4} = 72.11 \text{ mm}$$

4. ความกว้างของสายอากาศ A_w เมื่อกำหนดให้จุดสุดท้ายของร่องเรียว (*end of the tapered*) กว้างเท่ากับ 2 mm จะได้

$$A_w = F_w + 2(\text{end of the tapered}) = 28.85 + 2(2) = 32.85 \text{ mm}$$

5. เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมของสตั๊ป หาได้จาก

$$D_s = \frac{\lambda_g}{4} = 6.79 \text{ mm}$$

6. ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง หรือ L_l และ ความยาวขดเชยด้านหลังสตั๊ป หรือ L_g เมื่อกำหนดให้ $L_l = L_g$ จะได้

$$L_s = L_l = \frac{\frac{\lambda_0}{4} - D_s}{2} = 3.82 \text{ mm}$$

7. ความกว้างของเส้นไมโครสตริป W_{st} หาได้จาก

$$H' = \frac{Z_0 \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{119.9} + \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right) = 1.54$$

และ

$$\frac{W_{st}}{H} = \left(\frac{(\exp H')}{8} - \frac{1}{4 \exp H'} \right)^{-1}$$

เมื่อ $H = 1.6 \text{ mm}$ จะได้ $W_{st} = 3.02 \text{ mm}$

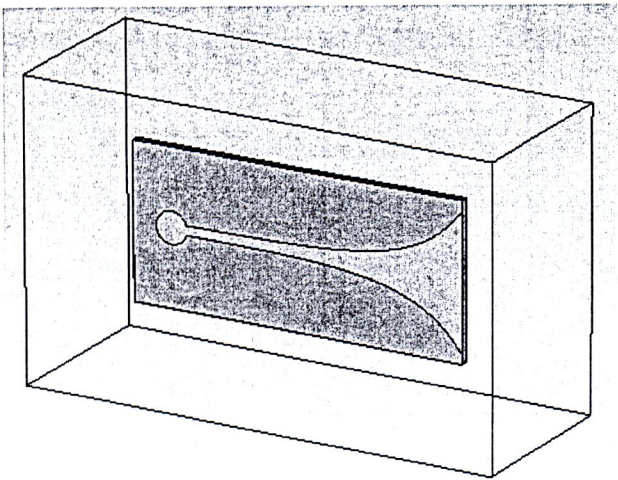
4.5.2 การจำลองแบบสายอากาศตามค่าการคำนวณโดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO

ผลจากการจำลองแบบสายอากาศร่องแบบเรียวด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ดังแสดงรูปที่ 4.12 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ โดยสายอากาศทำงานที่ความถี่ประมาณ 2.88 GHz และ 5.1 GHz ตามลำดับ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับค่าที่เหมาะสม เพื่อให้ได้สายอากาศร่องแบบเรียวที่มีความกว้างแถบครอบคลุมช่วงความถี่ปฏิบัติการที่ 5.2 GHz โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับค่าที่เหมาะสม ได้แก่ ความยาวของ

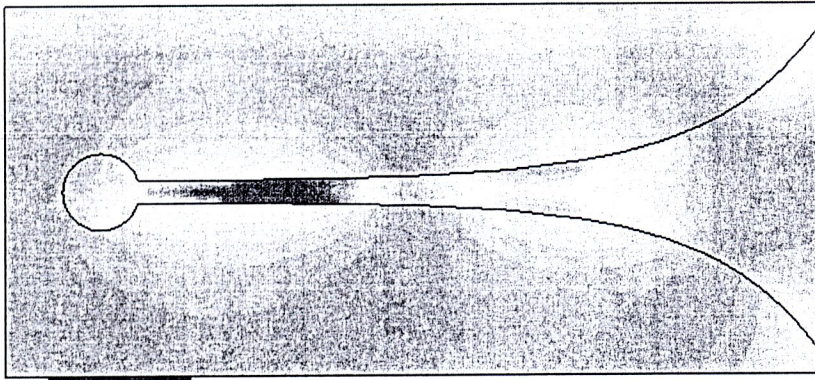
สายอากาศ (antenna length : A_l) ความกว้างของร่อง (flared slotline width : F_w) ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของสตับ (Dimeter of stub : D_s) อัตราความโค้งของร่องเรียวเอกซ์โพเนนเชียล (exponential opening rate : R) อัตราความโค้งของแผ่นสะท้อน (r) และตำแหน่งของแผ่นสะท้อน (x) ซึ่งจะพิจารณาการปรับค่าที่เหมาะสมจากค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์อ้างอิงของสายอากาศร่องแบบเรียว

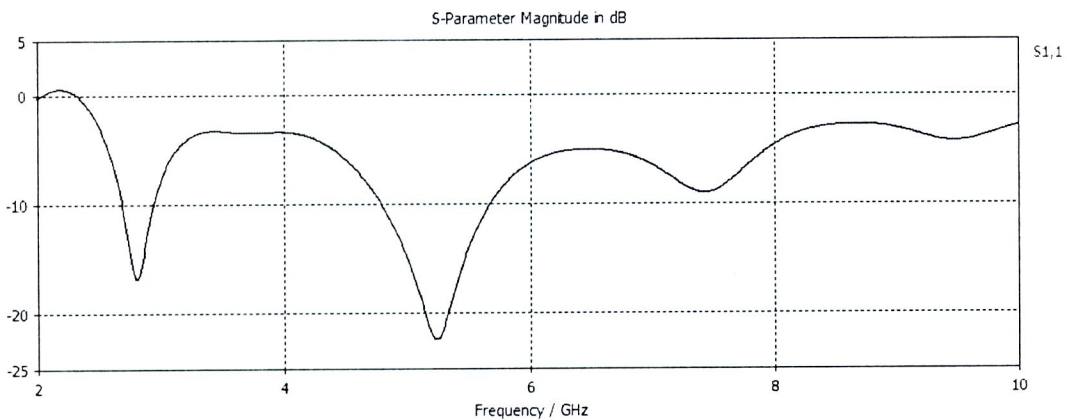
พารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบเรียว	ขนาด (mm)
A_l : ความยาวของสายอากาศ	72.11
A_w : ความกว้างของสายอากาศ	32.85
F_l : ความยาวของร่อง	57.69
F_w : ความกว้างของร่อง	28.85
R : อัตราความโค้งของร่องเรียวเอกซ์โพเนนเชียล	0.1
L_g : ความยาวชดเชยด้านหลังสตับ	3.82
L_i : ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง	3.82
H : ความสูงของวัสดุฐานรอง	1.6
D_s : เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมของสตับ	6.79
W_{st} : ความกว้างของเส้นไมโครสตริป	3.02
r : อัตราความโค้งของแผ่นสะท้อน	0.1
L : ความยาวของแผ่นสะท้อน	35
W : ความกว้างของแผ่นสะท้อน	8



(ก) แบบจำลองสายอากาศ



(ข) การแผ่สนามไฟฟ้าของสายอากาศ



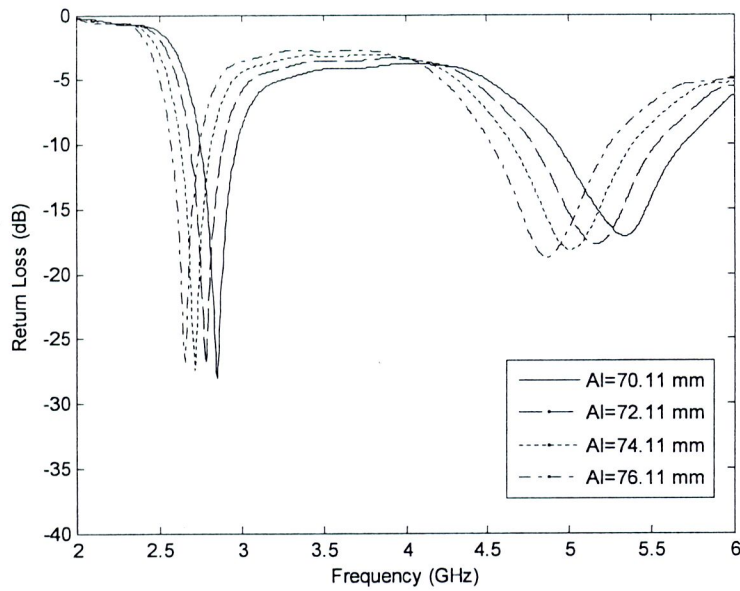
(ค) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ

รูปที่ 4.12 ผลการจำลองแบบสายอากาศร่องแบบเรียบด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO
กรณีไม่มีแผ่นสะท้อนด้านหลัง

4.5.3 การศึกษาผลกระทบพารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบเรียบ

1. ความยาวของสายอากาศ

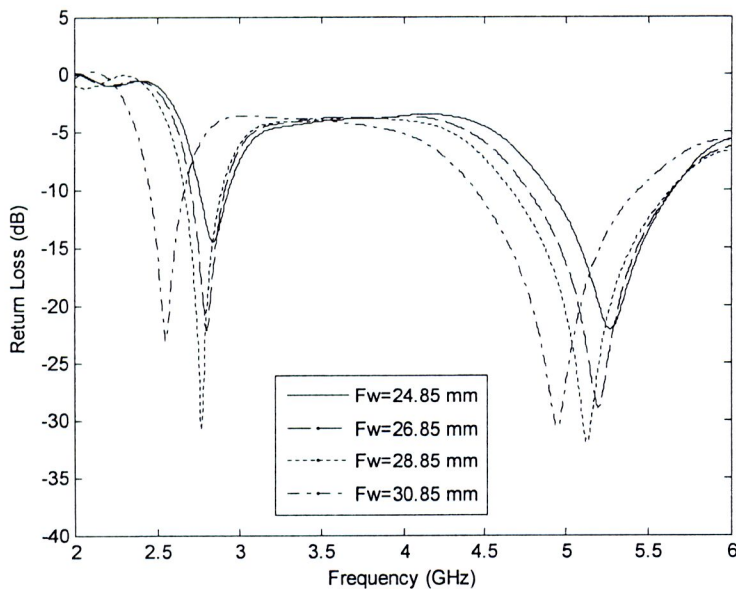
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของสายอากาศ หรือ A , เท่ากับ 70.11 มิลลิเมตร 72.11 มิลลิเมตร 74.11 มิลลิเมตร และ 76.11 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยให้ค่าพารามิเตอร์ อื่น ๆ มีค่าคงที่ จากการจำลองผลพบว่าเมื่อสายอากาศร่องแบบเรียบมีความยาวเพิ่มมากขึ้นจะทำให้สายอากาศมีความถี่เรโซแนนซ์ลดลง แสดงได้ดังรูปที่ 4.13 ดังนั้นจึงเลือกค่าความยาวของสายอากาศเท่ากับค่าอ้างอิงเดิมคือ 72.11 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.13 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า A_l

2. ความกว้างของร่อง

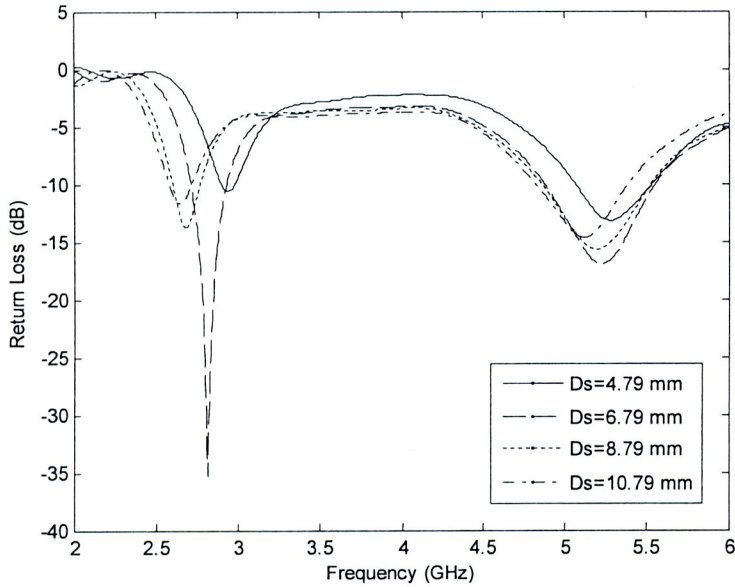
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของร่อง หรือ F_w เท่ากับ 24.85 มิลลิเมตร 26.85 มิลลิเมตร 28.85 มิลลิเมตร และ 30.85 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ พบว่าเมื่อค่า F_w เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับดีขึ้นเนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ในการแผ่กระจายพลังงาน แต่ถ้า F_w เพิ่มมากขึ้นจะพบว่าความถี่ปฏิบัติการในช่วงความถี่กลางจะเลื่อนไปยังความถี่ที่ต่ำลง แต่จากการจำลอง ผลจะเห็นได้ว่าเมื่อ F_w เท่ากับ 26.85 มิลลิเมตร มีผลของค่าการสูญเสียย้อนกลับดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า F_w

3. ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางสตั๊ป

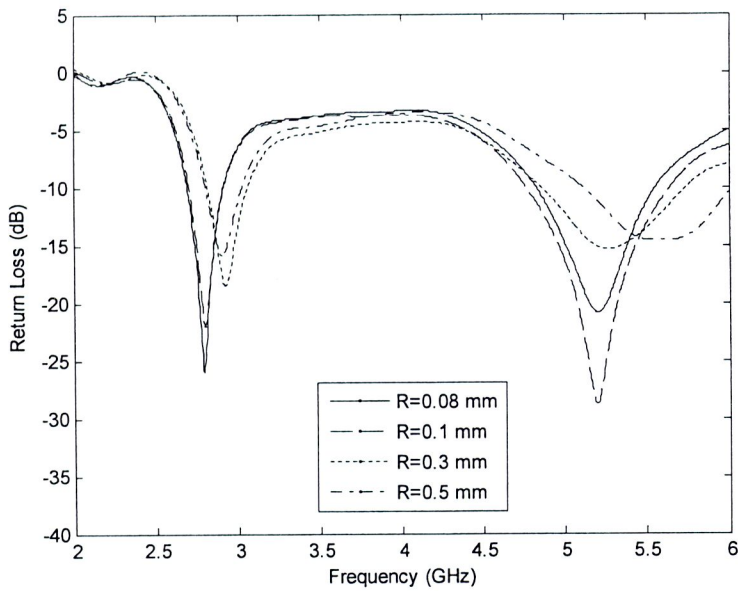
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางสตั๊ปเท่ากับ 4.79 มิลลิเมตร 6.79 มิลลิเมตร 8.79 มิลลิเมตร และ 10.79 โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ จากการจำลองผล พบว่าเมื่อค่า D_s ที่ทำให้สายอากาศแมตซ์ที่ความถี่ 5.2 GHz คือ D_s เท่ากับ 6.79 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.15 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า L_g

4. อัตราความโค้งของเส้นร่องเอ็กโปเนนเชียล

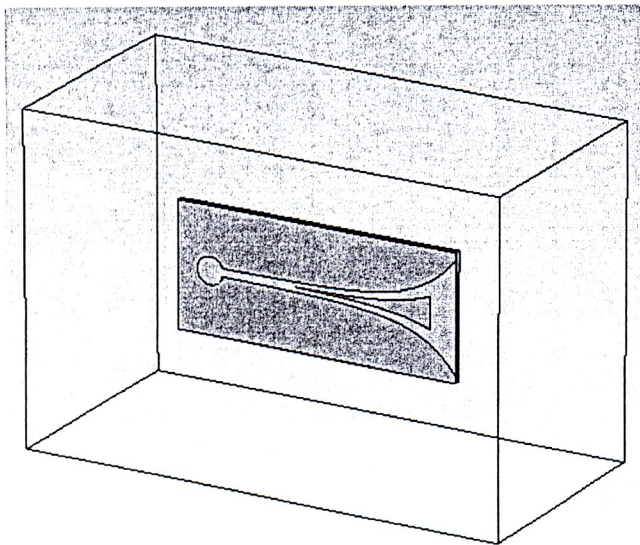
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราความโค้งของร่องเรียวเอกซ์โพเนนเชียลหรือ R เท่ากับ 0.08 0.1 0.3 และ 0.5 โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ จากการจำลองผลพบว่า เมื่อค่า R เพิ่มขึ้น ทำให้แถบความถี่กว้างมากขึ้น จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าที่ค่า R เท่ากับ 0.1 จะให้ผลของค่าการสูญเสียย้อนที่ดีที่สุด พบว่าได้ความถี่ปฏิบัติการในช่วงความถี่ 4.74-5.64 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนน้อยกว่า -10 dB



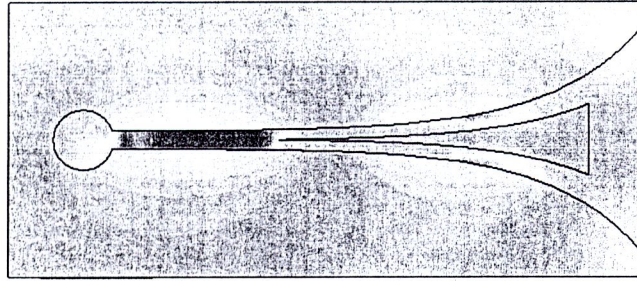
รูปที่ 4.16 ผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์เมื่อปรับค่า R

5. เพิ่มแผ่นสะท้อนและศึกษาอัตราความโค้งและตำแหน่งของแผ่นสะท้อน

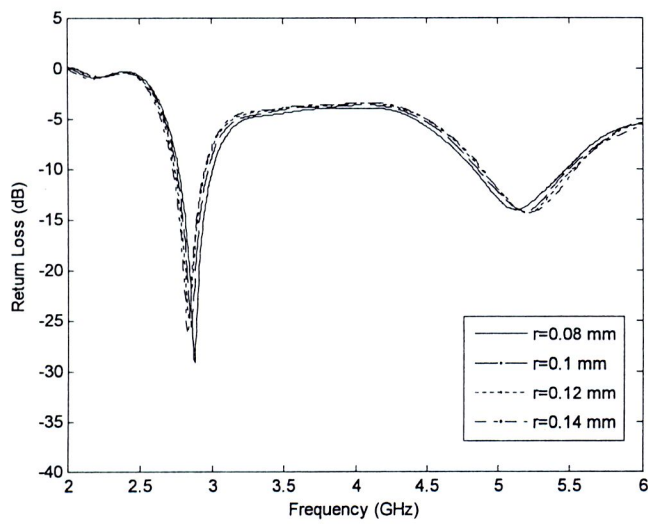
ผลการจำลองสายอากาศแบบเรียวเมื่อเพิ่มส่วนสะท้อนด้านหน้า ดังแสดงในรูปที่ 4.17(ก) จะเห็นว่า แผ่นสะท้อนส่งผลต่อความถี่เรโซแนนซ์เล็กน้อย และสามารถสะท้อนคลื่นบริเวณกึ่งกลางลำคลื่นได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.17(ข) การวางตำแหน่งแผ่นสะท้อนที่เหมาะสมจะส่งผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ รูปที่ 4.17(ค) และ (ง) แสดงผลกระทบของอัตราความโค้งของแผ่นสะท้อนและตำแหน่งของแผ่นสะท้อน



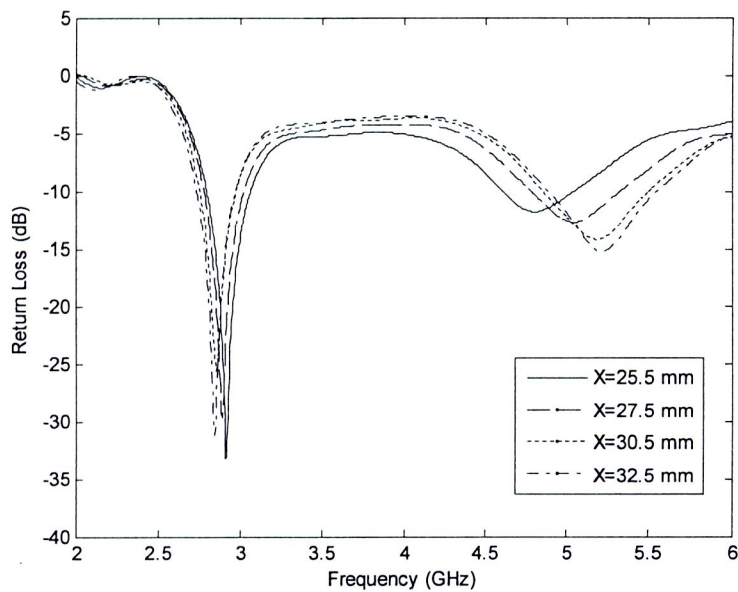
(ก) แบบจำลองสายอากาศ



(ข) การแผ่สนามไฟฟ้าของสายอากาศ

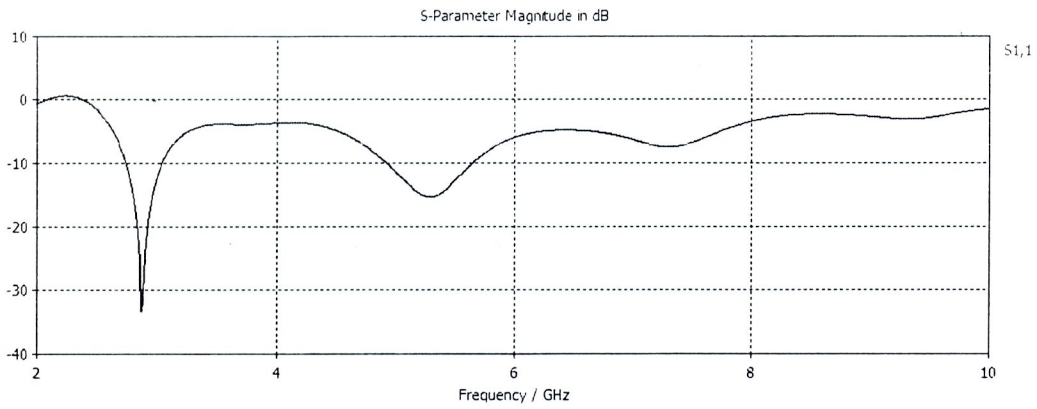


(ค) ปรับอัตราความโค้งของแผ่นสะท้อน

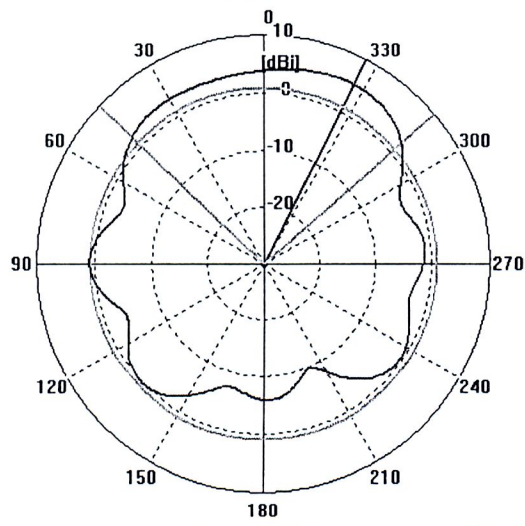


(ง) ปรับระยะของแผ่นสะท้อน

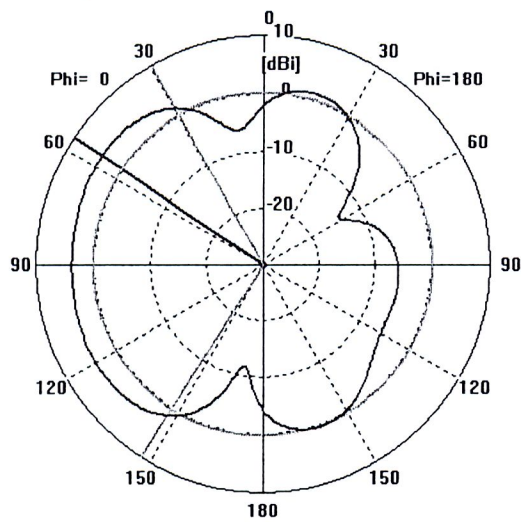
รูปที่ 4.17 ผลกระทบต่อลำคลื่น เมื่อเพิ่มแผ่นสะท้อนด้านหน้า



(ก) การสูญเสียย้อนกลับ



(ข) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า



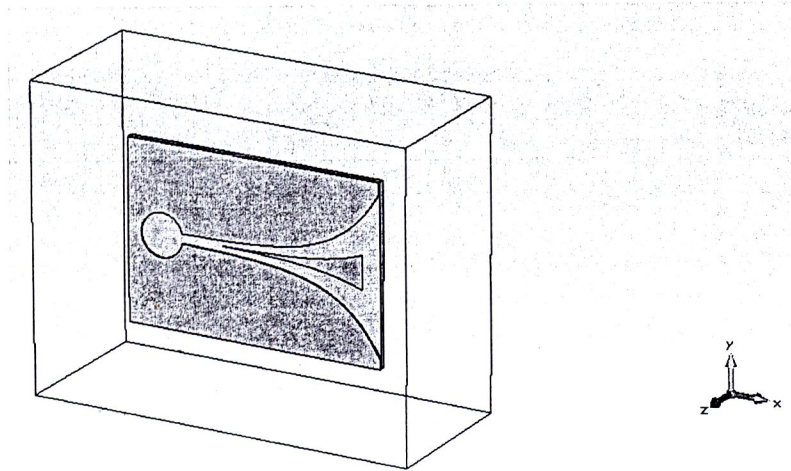
(ค) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.18 ผลการจำลองแบบหลังปรับพารามิเตอร์ของสายอากาศครั้งที่ 1

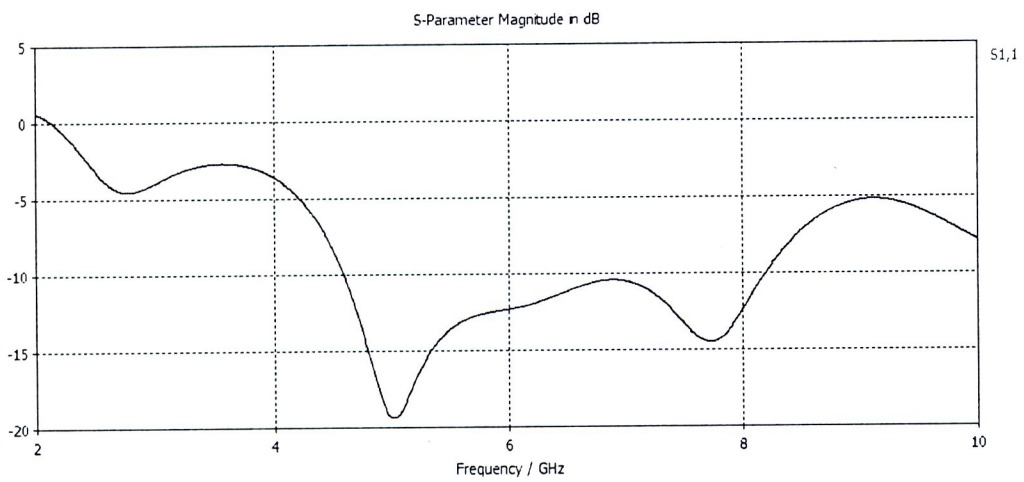
จากการปรับค่าพารามิเตอร์สามารถสรุปค่าพารามิเตอร์สำหรับการปรับครั้งแรกได้ดังตารางที่ 4.2 เนื่องจากสายอากาศร่องแบบรีวที่ออกแบบมีแผ่นสะท้อนด้านหน้าเพื่อแบ่งกำลังงาน และสายอากาศสามารถทำงานได้สองความถี่ โดยสายอากาศแมตซ์ที่ความถี่ 2.88 GHz และ 5.2 GHz จึงทำให้สายอากาศมีอัตราขยายเท่ากับ 5.26 dB ถ้าต้องการให้อัตราขยายเพิ่มสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องลดความถี่ปฏิบัติการด้านความถี่ต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงปรับขนาดของสายอากาศใหม่อีกครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.19 แสดงผลการจำลองสายอากาศร่องแบบรีว จะเห็นว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าน้อยกว่า -10 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 4.59 GHz ถึง 8.17 GHz ดังรูปที่ 4.19(ข) อัตราส่วนคลื่นนิ่งมีค่าต่ำกว่า 2 ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 4.59 GHz ถึง 8.17 GHz เช่นกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.19(ค) สำหรับแบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ 4.19(ง) และ (จ) ตามลำดับ โดยผลการจำลองที่ได้มีอัตราขยายดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบรีวหลังปรับพารามิเตอร์

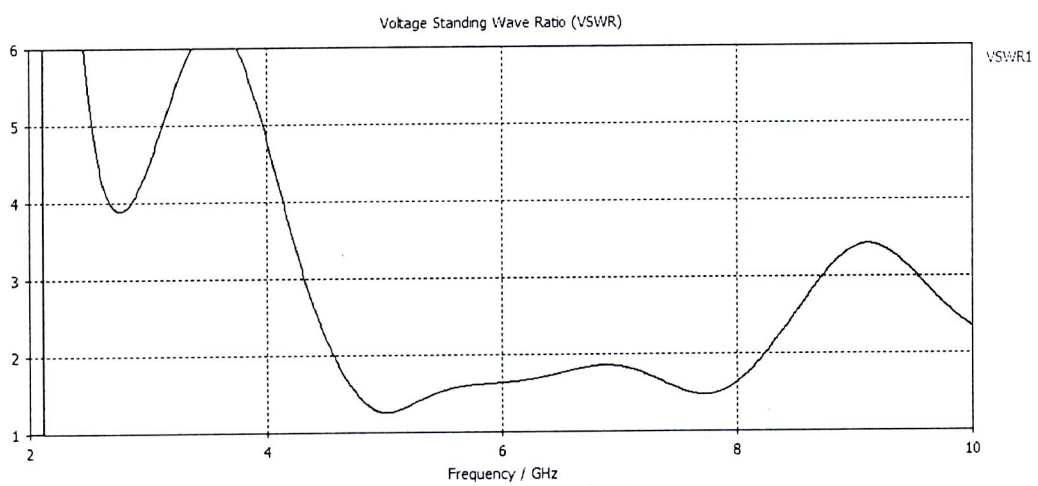
พารามิเตอร์ของสายอากาศร่องแบบรีว	ขนาด (mm)	
	ปรับครั้งที่ 1	ปรับครั้งที่ 2
A_l : ความยาวของสายอากาศ	72.11	63.03
A_w : ความกว้างของสายอากาศ	30.85	42.82
F_l : ความยาวของร่อง	57.68	45.79
F_w : ความกว้างของร่อง	26.85	37.62
R : อัตราความโค้งของร่องรีวเอกซ์โพเนนเชียล	0.1	0.1
L_g : ความยาวชดเชยด้านหลังสตัป	3.82	3.42
L_i : ความยาวของส่วนที่เป็นเส้นตรงของร่อง	3.82	3.42
H : ความสูงของวัสดุฐานรอง	1.6	1.6
D_s : เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมของสตัป	6.79	10.4
W_{st} : ความกว้างของเส้นไมโครสตริป	3.0079	3.00079
r : อัตราความโค้งของแผ่นสะท้อน	0.1	0.1
L : ความยาวของแผ่นสะท้อน	35	35
W : ความกว้างของแผ่นสะท้อน	8	8



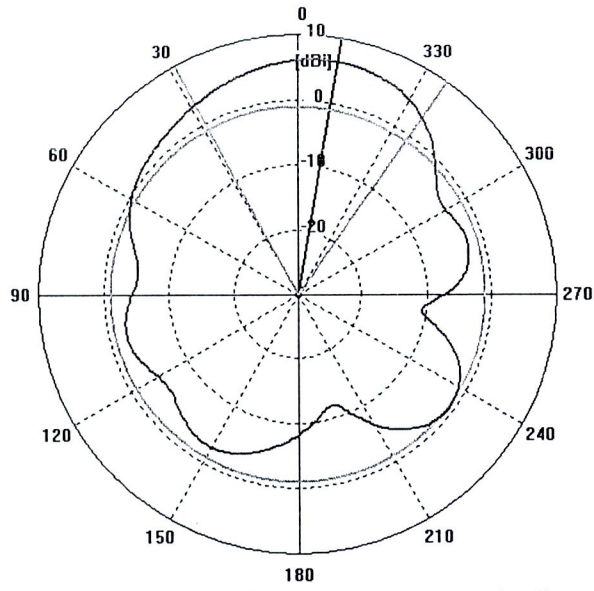
(ก)



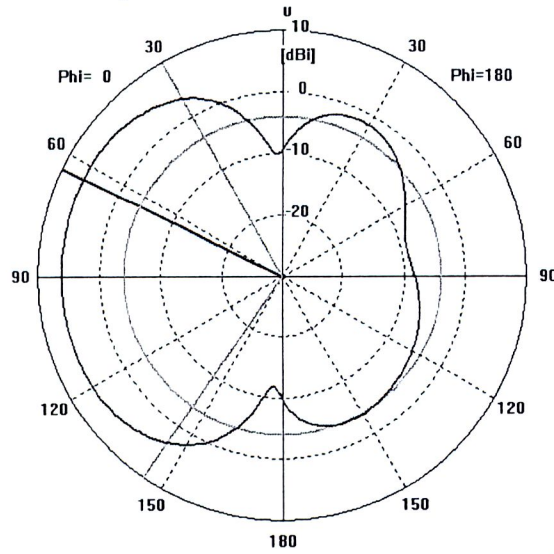
(ข) การสูญเสียย้อนกลับ



(ค) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง



(ง) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า



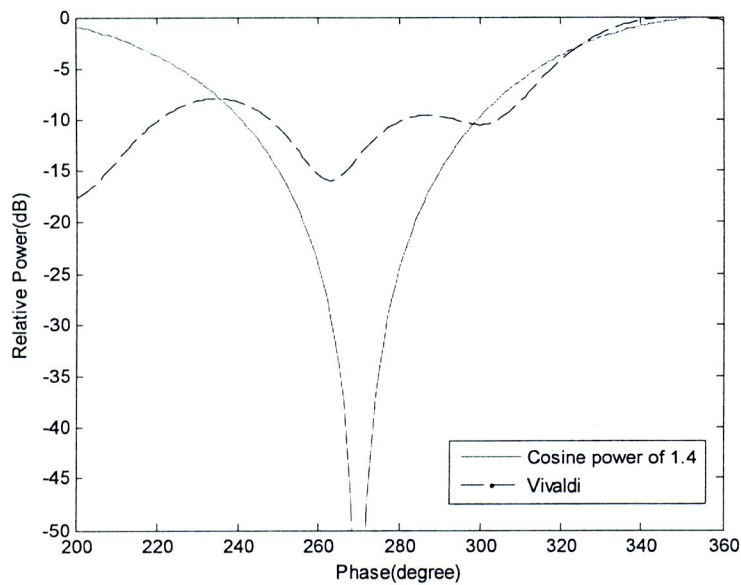
(จ) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก
รูปที่ 4.19 ผลการจำลองแบบสายอากาศที่น่าสนใจ

ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราขยายจากการจำลองสายอากาศร่อนแบบเรียบ

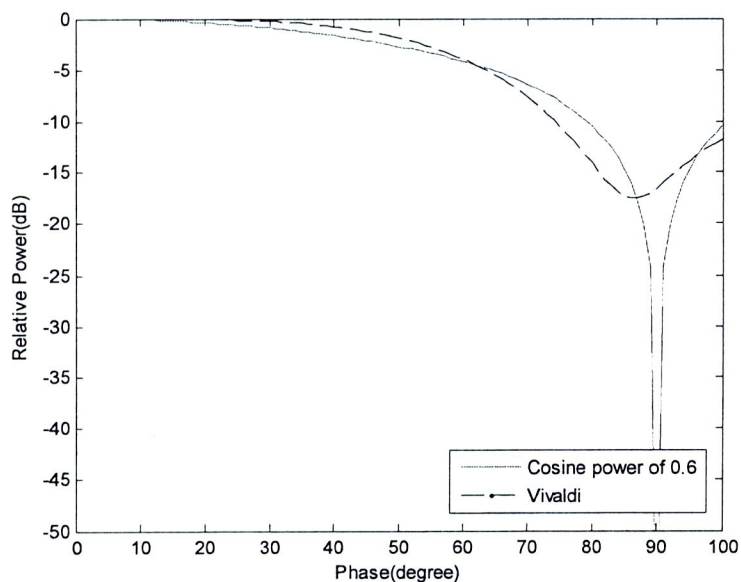
สายอากาศ	อัตราขยาย (dB)
ใช้พารามิเตอร์อ้างอิง	5.37
หลังปรับพารามิเตอร์ครั้งที่ 1	5.26
หลังปรับพารามิเตอร์ครั้งที่ 2	6.44

4.6 การออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้ตัวป้อนจากสายอากาศรูปแบบเรียวที่ได้ออกแบบ

การออกแบบสายอากาศแถวลำดับสะท้อนไมโครสตริปโดยใช้ตัวป้อนที่ออกแบบไว้ในหัวข้อ 4.4 โดยกำหนดให้ขนาดตัวสะท้อนมีค่าเท่ากับ 0.35 เมตร และตัวป้อนวางที่ตำแหน่งกึ่งกลางตัวสะท้อน ห่างจากตัวสะท้อนด้วยระยะโฟกัสเท่ากับ 0.14 เมตร เมื่อพิจารณาแบบรูปการแผ่กำลังงานของตัวป้อน ในรูปที่ 4.20 สามารถหาค่าลึงโคไซน์ของตัวป้อนได้เท่ากับ $n=1.4$ และ $n=0.6$ ในระนาบสนามไฟฟ้าและ ระนาบสนามแม่เหล็กตามลำดับ



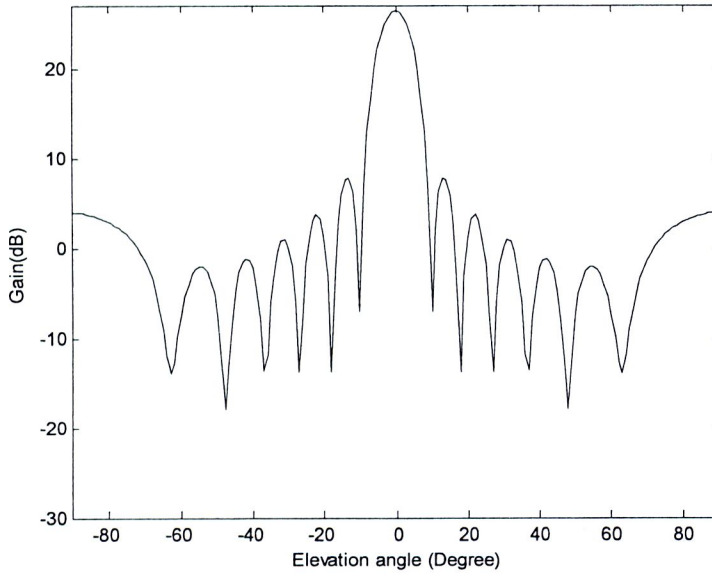
(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



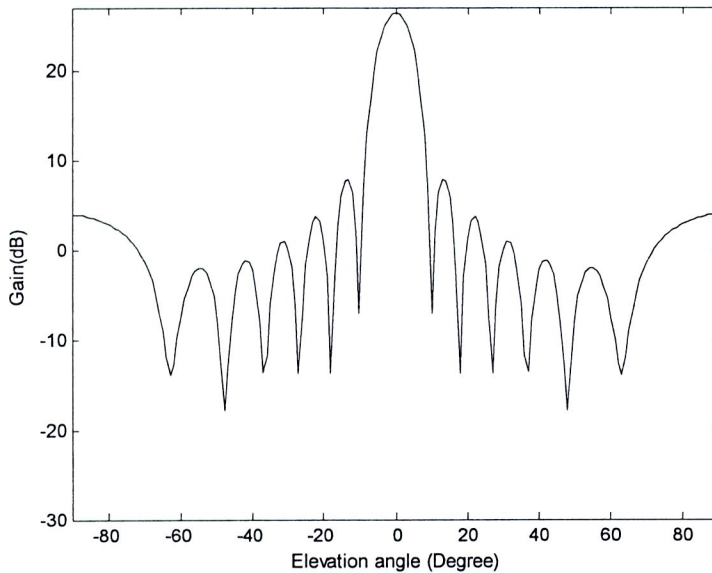
(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.20 กำลังโคไซน์ของตัวป้อนที่ออกแบบ

เมื่อนำสายอากาศร่องแบบเรียวมาใช้ป้อนกำลังงานให้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนทั้งแบบเจาะจงทิศทางและแบบจัดลำคลื่น สามารถแสดงแบบรูปการแผ่กำลังงานได้ดังรูปที่ 4.21 ถึง 4.23 ซึ่งพบว่าสายอากาศแถวลำดับสะท้อนให้อัตราขยายเท่ากับ 26.45, 20.32 และ 20.15 dB สำหรับสายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง แบบจัดลำคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และแบบจัดลำคลื่นรูปวงกลมตามลำดับ

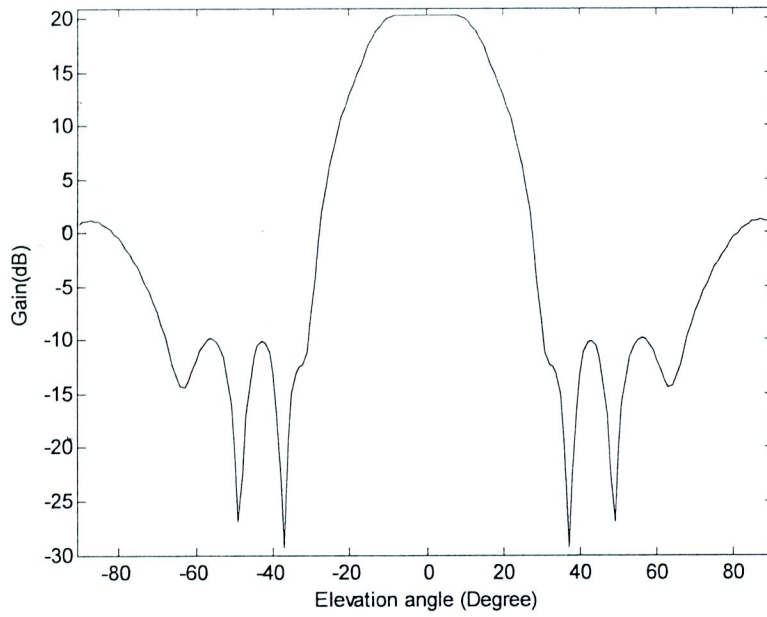


(ก) ระบายสนามไฟฟ้า

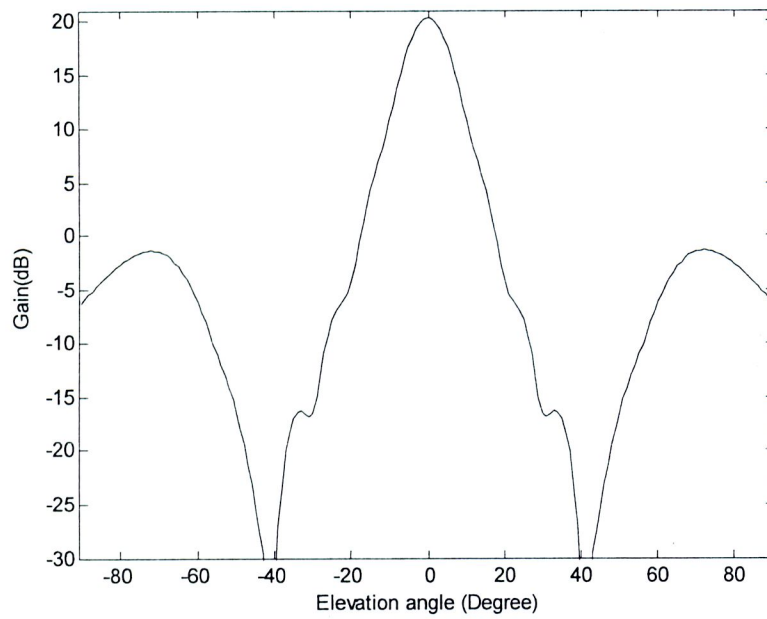


(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.21 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทาง
เมื่อใช้ตัวป้อนที่ออกแบบ

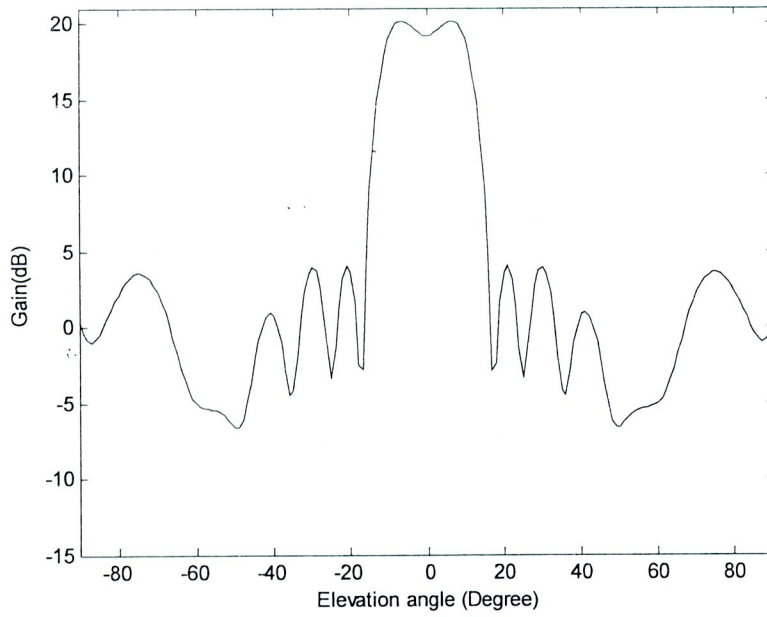


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

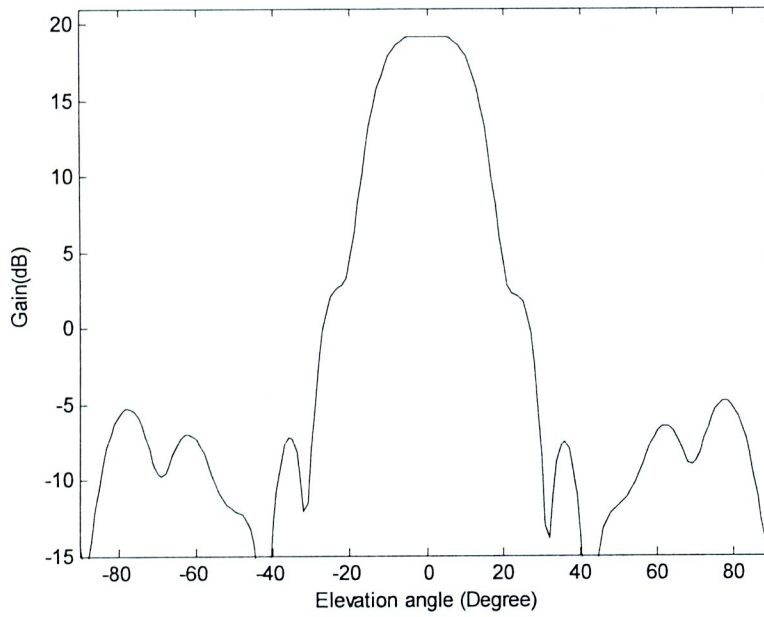


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.22 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแฉวลำดับสะท้อนแบบจัดลำคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
เมื่อใช้ตัวป้อนที่ออกแบบ



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.23 แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแฉวลำดับสะท้อนแบบจัดลำคลื่นรูปวงกลม
เมื่อใช้ตัวป้อนที่ออกแบบ

4.7 สรุป

จากการออกแบบตัวป้อนของสายอากาศแถวลำดับสะท้อนโดยใช้สายอากาศร่องแบบเรียบ และจำลองแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ตามค่าที่ได้คำนวณ พบว่าสายอากาศไม้แมคซ์ จึงทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการ และทำการเพิ่มขึ้นส่วนเพื่อทำให้คลื่นกระจายออกในทิศทางที่ต้องการ ทำให้ได้ตัวป้อนที่เหมาะสม โดยมีกำลังโคไซน์ต่ำ ประมาณ $n=1.4$ และ $n=0.6$ ในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กตามลำดับ เมื่อนำสายอากาศดังกล่าวมาเป็นตัวป้อน จึงทำให้ได้สายอากาศแถวลำดับสะท้อนแบบเจาะจงทิศทางที่อัตราขยายสูงประมาณ 26 dB และจากผลการออกแบบจะนำสายอากาศสร้างเป็นชิ้นงานต้นแบบและวัดทดสอบในบทที่ 5 ต่อไป