

สายอากาศช่องเปิดแถบกว้างที่ป้อนด้วยCPW

Simple-Shape of Wideband Slot Antenna fed by CPW

ผศ. โกศล นิธิโสภา รศ.ดร.นำยุทธ สงค์ธนาพิทักษ์ รศ.นภพินท์ อนันตรศิริชัย

Asst.Prof.Kosol Nithisopa Assoc.Prof.Dr.Numyoot Songthanapitak Assoc.Prof.Noppin Anantrasirichai

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้นมาจากงานวิจัย เรื่อง “การออกแบบสายอากาศช่องเปิดที่ป้อนด้วยCPWสำหรับการใช้งานความถี่แถบกว้าง” ที่ความถี่ 2.4 GHz ซึ่งได้นำเสนอในการประชุมงานวิจัย PIERS 2007 Beijing CHINA โครงสร้างของสายอากาศจะประกอบด้วยช่องเปิด 2 ช่อง วางอยู่บนระนาบเดียวกันกับกราวด์ ใช้วัสดุฐานรองดูรอยด์ RT/5880 ความหนา 1.575 มิลลิเมตร ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก 2.2 ผลที่ได้คือแถบความถี่ 0.6 GHz (2.1-2.7 GHz) และ 0.9 GHz (4.9-5.8 GHz) เพื่อใช้กับการสื่อสารไร้สายสำหรับแถบความถี่ตามมาตรฐาน IEEE802.11b/g(2.4-2.4835GHz) IEEE802.11a(5.15-5.35GHz) IEEE802.11j (4.90-5.091 GHz) และPublic Safety Frequency(4.940-4.990 GHz) ในการออกแบบสายอากาศในครั้งนี้เพื่อศึกษาวิจัยหาผลที่ได้ที่ดีที่สุดจากการจำลองการทำงาน โดยใช้โปรแกรม IE3D เพื่อดูค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ แบนด์วิดท์ และแบบรูปการแผ่พลังงาน เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างและพัฒนาแบบสายอากาศขึ้นมา โดยใช้ตัวนำแทรกเข้าไปในช่องเปิดของสายอากาศทั้งสองข้าง มีการออกแบบโครงสร้างและการจำลองการทำงานสายอากาศสองชนิดคือ ชนิดตัวนำเส้นตรงและชนิดตัวนำรูปตัวแอล

คำสำคัญ : สายอากาศช่องเปิด สายนำสัญญาณระนาบร่วม ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ แบนด์วิดท์ แบบรูปการแผ่พลังงาน

ABSTRACT

This research aimed are developed from “Design CPW Fed Slot Antenna for Wideband Applications” designed at frequency 2.4GHz was presented in PIERS 2007 Beijing CHINA. The prototype antenna consists of 2 slots on a ground plane of duroid RT/5880 substrate, the thickness = 1.575 millimeters, dielectric constant = 2.2. The simulation result of bandwidths are 0.6 GHz(2.1-2.7 GHz) and 0.9 GHz(4.9 GHz-5.8 GHz). This antenna are designed for WLAN band, standard frequency IEEE802.11b/g (2.4-2.4835 GHz), IEEE802.11a (5.15-5.35 GHz), IEEE802.11j (4.9-5.091 GHz) and Public safety frequency (4.94-4.990 GHz). This design simple-shape CPW fed slot antenna for study research best result by simulation. The program is IE3D for return loss, bandwidth and radiation pattern for construction and developing . The new design and simulation of slot antenna by inserted the conductor into both side of slot with two type are straight line and L line.

Keyword : Slot antenna , Coplanar Waveguide , Dielectric constant , Return Loss , Bandwidth , Radiation Pattern

คำนำ

สายอากาศไมโครสตริป เป็นรูปแบบหนึ่งของสายอากาศซึ่งสามารถใช้ในการส่งหรือรับสัญญาณ การสร้างสายอากาศชนิดนี้มีต้นทุนต่ำ น้ำหนักเบา และมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในการสื่อสารแบบไร้สาย สายอากาศไมโครสตริปแบ่งตามโครงสร้างพื้นฐานออกเป็น 4 รูปแบบคือสายอากาศแบบไดโพล (Dipole-antenna) สายอากาศแบบแผ่น (Patch-antenna) สายอากาศแบบช่องเปิด (Slot-antenna) และสายอากาศไมโครสตริปแบบคลื่นเดินทาง สำหรับสายอากาศแบบช่องเปิดเป็นสายอากาศชนิดหนึ่งที่มีความนิยม เนื่องจากเป็นสายอากาศที่ออกแบบได้ง่าย แบบรูปการแผ่สนามระยะไกลสามารถกำหนดได้ทั้งแบบทิศทางเดียว (Uni-direction) และสองทิศทาง (bi-direction) ขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน และสายอากาศช่องเปิดนั้นสามารถใช้รูปแบบการป้อนสัญญาณได้หลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็น CPW (Coplanar Waveguide) สายโคแอกเชียลโพรบ (Coaxial Probe) และไมโครสตริป (Microstrip line) เป็นต้น จากการศึกษางานวิจัยต่างๆในเรื่องสายนำสัญญาณระนาบร่วม CPW ซึ่ง CPW มีการป้อนสัญญาณระหว่างช่องเปิดทั้งสองข้าง ที่อยู่บนระนาบเดียวกันกับกราวด์ ทำให้เห็นข้อได้เปรียบคือเป็นสายอากาศที่ให้แถบความถี่กว้าง ออกแบบโดยใช้รูปแบบง่าย โดยการใช้การปรับขนาดช่องเปิดทั้งสองข้าง และความยาวสายป้อนสัญญาณ

สำหรับสายนำสัญญาณระนาบร่วม CPW แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

1. สายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง (Conventional CPW)
2. สายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดมีกราวด์ด้านล่าง (Conductor backed CPW)
3. สายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดไมโครแมชชีน (Micromachined CPW) แบ่งออกเป็น 2 แบบ

3.1 Microshield line

3.2 Micromachine Groove

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ออกแบบสายอากาศที่มีโครงสร้างพื้นฐานอย่างง่าย
2. ออกแบบสายอากาศให้มีแบนด์วิดท์กว้าง

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด ที่มีสายนำสัญญาณระนาบร่วม CPW ด้วยรูปแบบจำลองโครงสร้างทางระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยการเลือกใช้โปรแกรม IE3D ซึ่งมีการแทรกตัวนำเข้าไปในช่องเปิดทั้งสองข้าง จากนั้นศึกษาว่าใช้รูปแบบใดที่ทำให้ได้ผลดีที่สุด สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างของสายอากาศช่องเปิดในวิทยานิพนธ์นี้มี 2 แบบคือ แบบที่ 1 เพิ่มตัวนำที่มีรูปร่างเป็นเส้นตรงขนาดเท่ากันเข้าไปในช่องเปิดทั้งสองข้าง แบบที่ 2 เพิ่มตัวนำที่มีรูปร่างเป็นตัวแอลขนาดเท่ากันเข้าไปในช่องเปิดทั้งสองข้าง หลังจากนั้นทำการจำลองการทำงาน เพื่อเลือกสายอากาศที่มีค่าการสูญเสียย้อนกลับมากที่สุด มาทำการปรับความยาวและความกว้างของช่องเปิดและของตัวนำ จากนั้นวิเคราะห์คุณลักษณะบางตัวที่สำคัญของสายอากาศ คือ S_{11} พารามิเตอร์ หรือเรียกว่าค่าการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ อินพุตอิมพีแดนซ์ (Input Impedance) การแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสายอากาศในลักษณะสองมิติ (xz - plane) (yz - plane) และสามมิติ (xyz plane)

การออกแบบสายอากาศแบบช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในการหาค่าความยาวคลื่นสัมพัทธ์แสดงดังสมการ

$$\lambda g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{eff} \approx \frac{\epsilon_r + 1}{2} \quad (2)$$

เมื่อ λ_0 คือ ความยาวคลื่นในอากาศที่ความถี่ออกแบบ

λ_g คือ ความยาวคลื่นที่นำเข้าไปที่ความถี่ออกแบบ

ϵ_r คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง

ϵ_{eff} คือ ค่าประสิทธิผลของค่าคงตัวไดอิเล็กตริก

สำหรับการออกแบบสายอากาศ เลือกใช้การจำลองของวัสดุฐานรอง (substrate) แบบ RT/Duroid 5880 ซึ่งใช้พารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ϵ_r เท่ากับ 2.2

ความหนาวัสดุฐานรอง $h = 1.575$ มม.

ค่าความนำของวัสดุตัวนำทองแดง σ เท่ากับ 5.8×10^7 s/m

การออกแบบสายอากาศเริ่มจาก ความกว้างของตัวป้อนไมโครสตริป (w) ออกแบบเพื่อแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ 50 โอห์ม ด้วยสมการ

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} [\ln(B - 1)] + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \quad (3)$$

$$\text{เมื่อ } B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}}$$

ค่าความยาวคลื่น λ_g ในวัสดุฐานรองของสายอากาศ คำนวณจากสมการ

$$\lambda g = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (4)$$

เมื่อ ϵ_{eff} ค่าประสิทธิผลของค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (effective dielectric constant) คำนวณจากสมการ

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2} \quad (5)$$

จากสูตรใช้ความถี่ 2.4 GHz ได้ค่า guide wavelength 98.81 มม.

ผลการทดลองและวิจารณ์

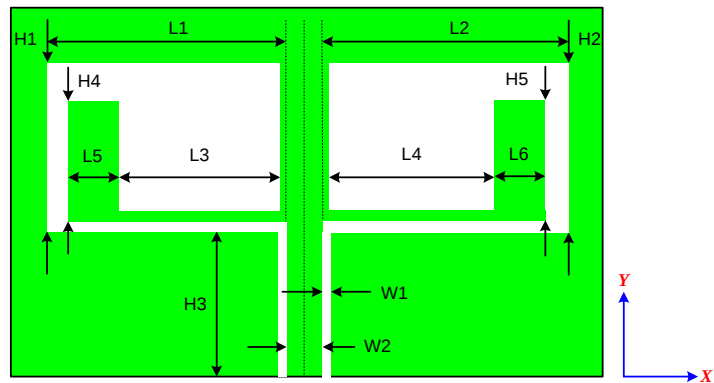
การออกแบบและจำลองสายอากาศ โดยโครงสร้างของสายอากาศที่ทำการวิเคราะห์มีลักษณะสายอากาศแบบช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยเริ่มจากแบบแรกเป็นสายอากาศแบบช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบบที่สองจะทำการเจาะส่วนด้านบนและแบบที่สามทำการเจาะส่วนด้านล่างทำการปรับแขนส่วนล่าง

การออกแบบสายอากาศแบบที่ 1 : ให้ช่องเปิดทั้งสองข้างมีความยาวและความกว้างเท่ากัน แทรกตัวนำรูปตัว L เข้าไปทั้งสองข้าง พารามิเตอร์ต่างๆมีค่าดังนี้

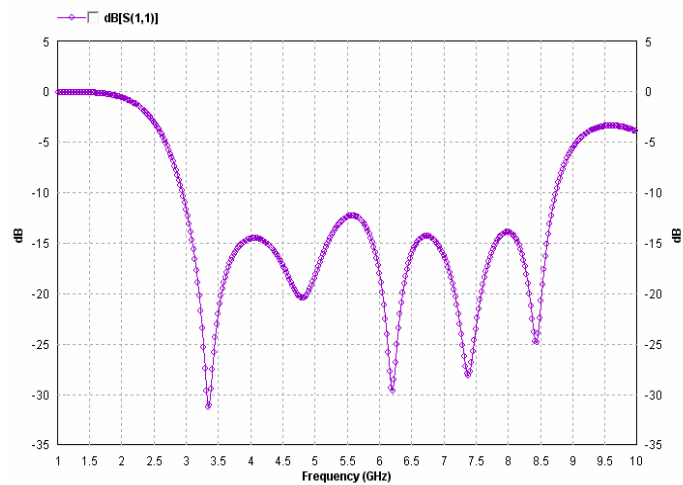
$$H1 = H2 = 18 \text{ มม.} \quad H3 = 14 \text{ มม.} \quad H4 = H5 = 13 \text{ มม.}$$

$$L1 = L2 = 24.3 \text{ มม.} \quad L3 = L4 = 15.3 \text{ มม.} \quad L5 = L6 = 6.2 \text{ มม.}$$

$$W1 = 0.5 \text{ มม.} \quad W2 = 3 \text{ มม.}$$



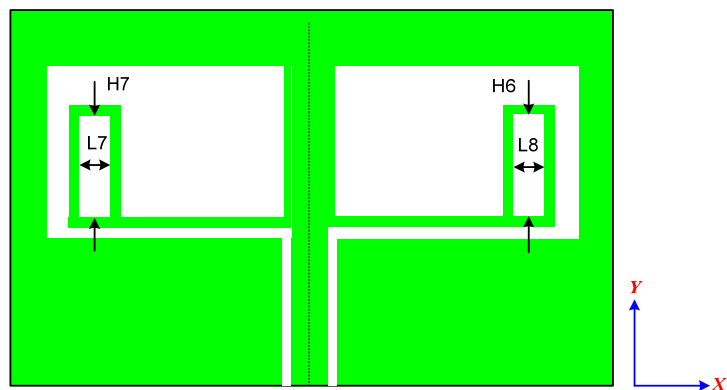
ผลการจำลองการทำงานที่ return loss -10 dB ได้ค่าแบนด์วิดท์ 5.75 GHz (2.95GHz – 8.7GHz)



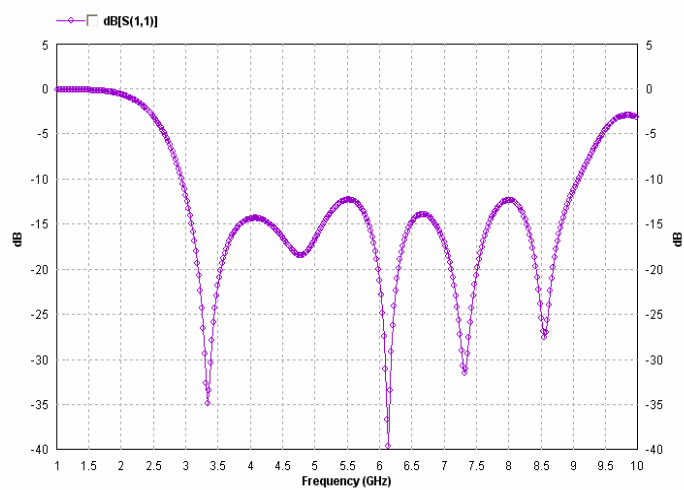
การออกแบบสายอากาศแบบที่ 2 : เปิดช่องในตัวนำรูปตัว L ทั้งสองข้างเป็นรูปสี่เหลี่ยม พารามิเตอร์ต่างๆมีค่าดังนี้

$$H6 = H7 = 10.6 \text{ มม.}$$

$$L7 = L8 = 3.8 \text{ มม.}$$



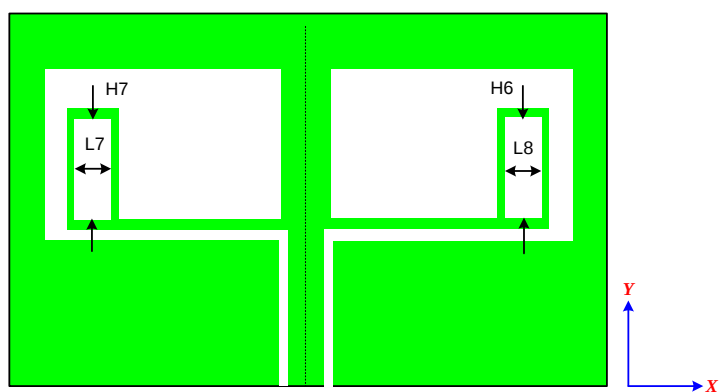
ผลการจำลองการทำงานที่ return loss -10 dB ได้ค่าแบนด์วิดท์ 6.15 GHz (2.95 GHz – 9.1 GHz)



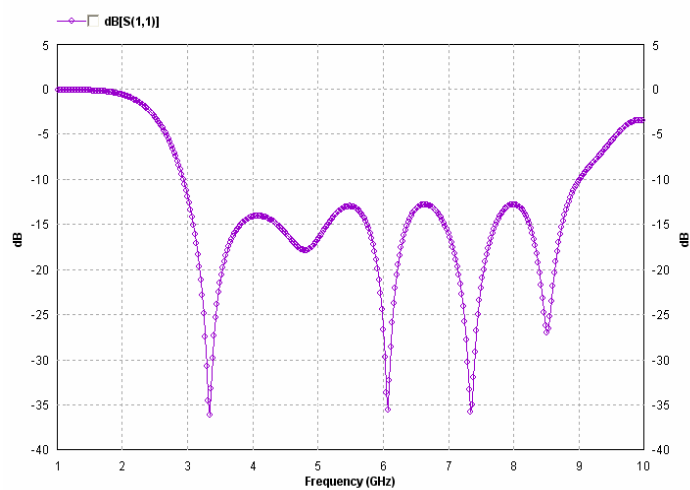
การออกแบบสายอากาศแบบที่ 3 : เปิดช่องในตัวนำรูปตัว L ทั้งสองข้างเป็นรูปสี่เหลี่ยม พารามิเตอร์ต่างๆมีค่าดังนี้

$H6 = H7 = 10.3$ มม.

$L7 = L8 = 4.4$ มม.



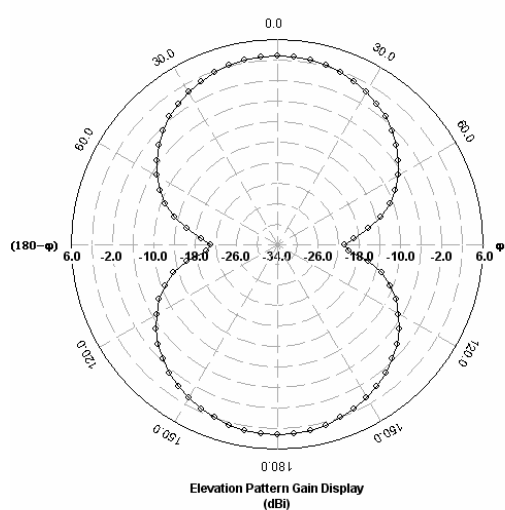
ผลการจำลองการทำงานที่ return loss -10 dB ได้ค่าแบนด์วิดท์ 6.05 GHz (2.95 GHz – 9 GHz)



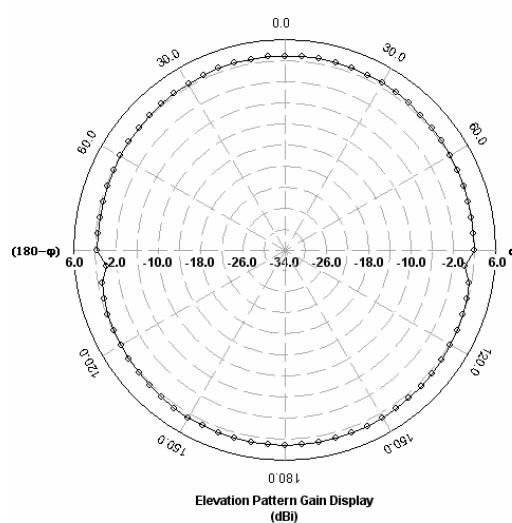
ตารางผลการจำลองการทำงาน

	<i>L5</i> (มม.)	<i>L6</i> (มม.)	<i>L7</i> (มม.)	<i>L8</i> (มม.)	<i>H4</i> (มม.)	<i>H5</i> (มม.)	<i>H6</i> (มม.)	<i>H7</i> (มม.)	<i>Bandwidth(-10dB)</i> (GHz)
แบบที่1	6.2	6.2	—	—	13	13	—	—	5.75
แบบที่2	6.2	6.2	3.8	3.8	13	13	10.6	10.6	6.15
แบบที่3	6.2	6.2	4.4	4.4	13	13	10.3	10.3	6.05

การจำลองแบบรูปการแผ่พลังงาน 2Dและ3D สายอากาศแบบช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบที่ 3

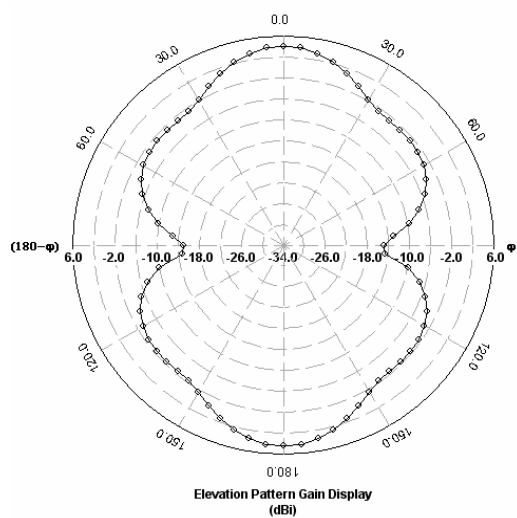


(a) xz-plane

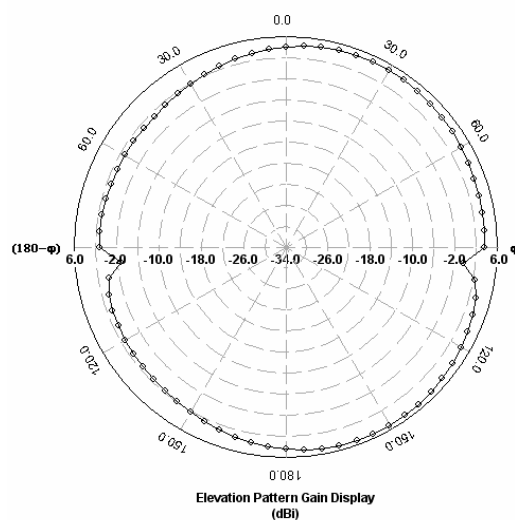


(b) yz-plane

2D Radiation pattern at frequency 3.34 GHz .

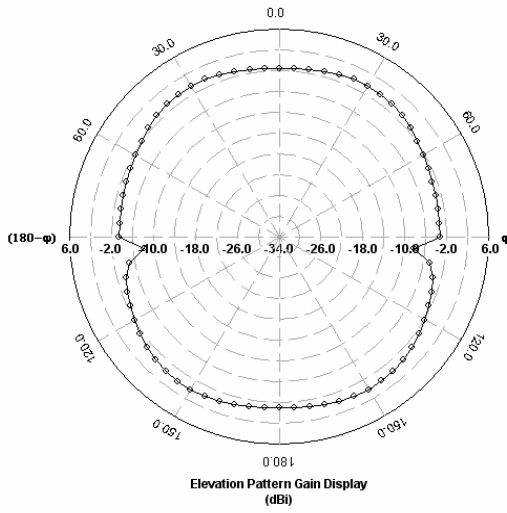


(a) yz-plane

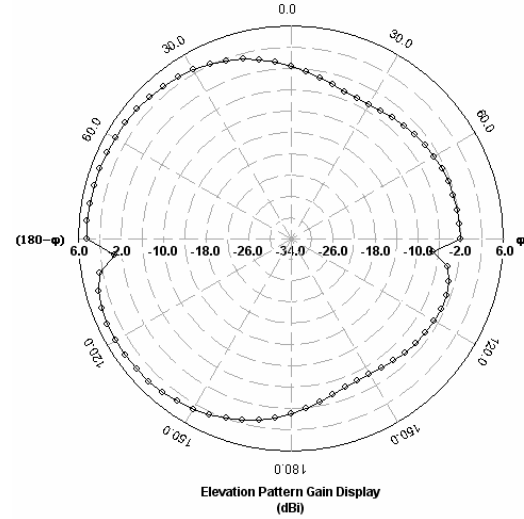


(b) xz-plane

2D Radiation pattern at frequency 6.07 GHz .

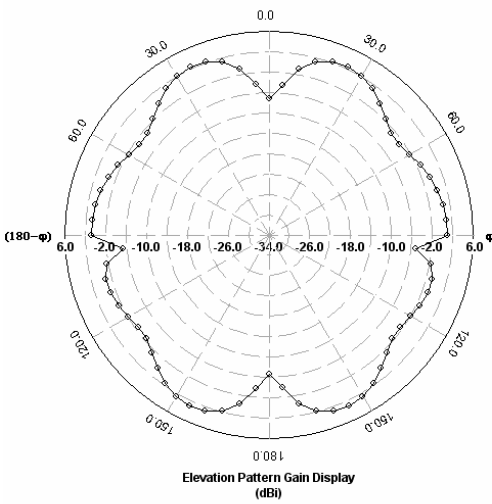


(a) xz-plane

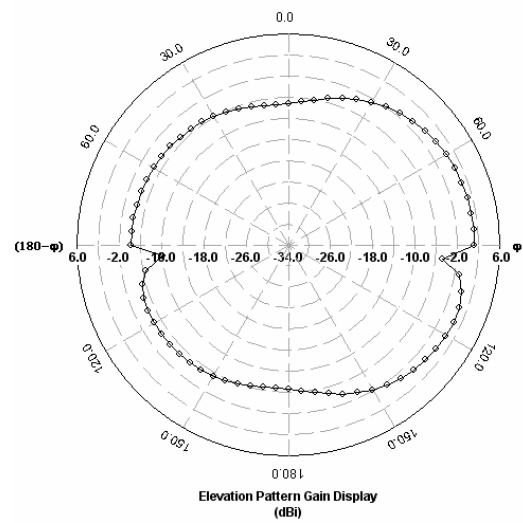


(b) yz-plane

2D Radiation pattern at frequency 7.33 GHz .

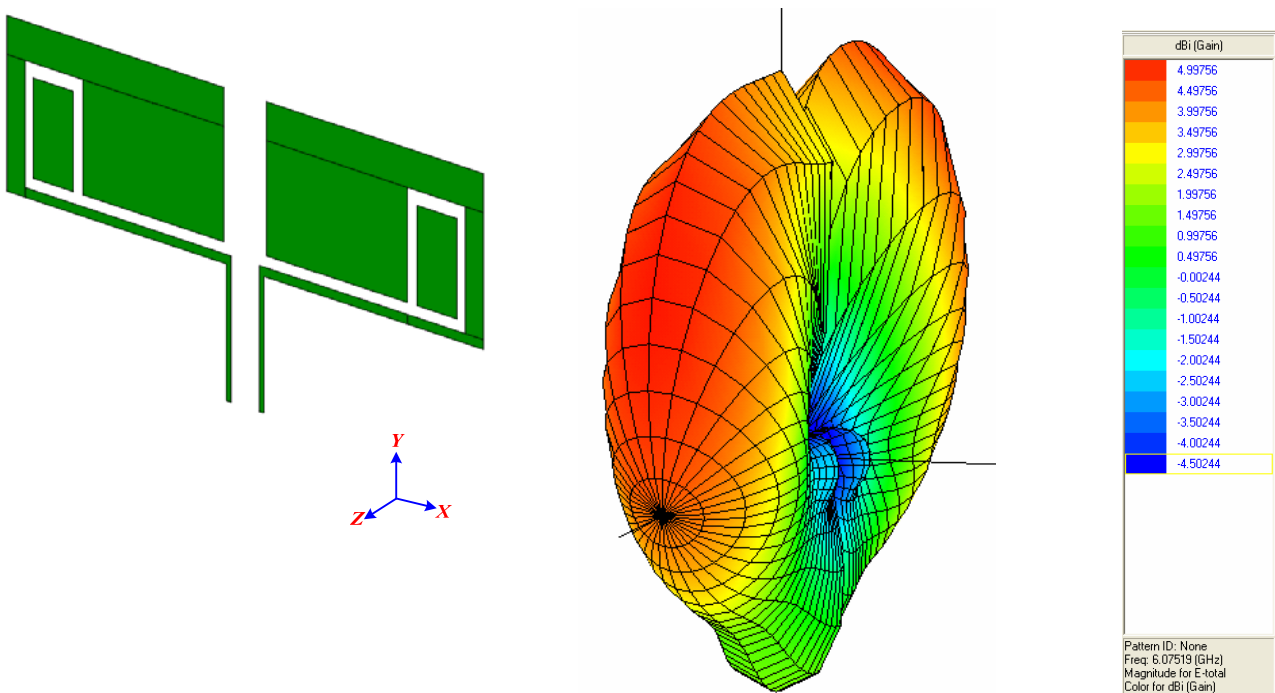
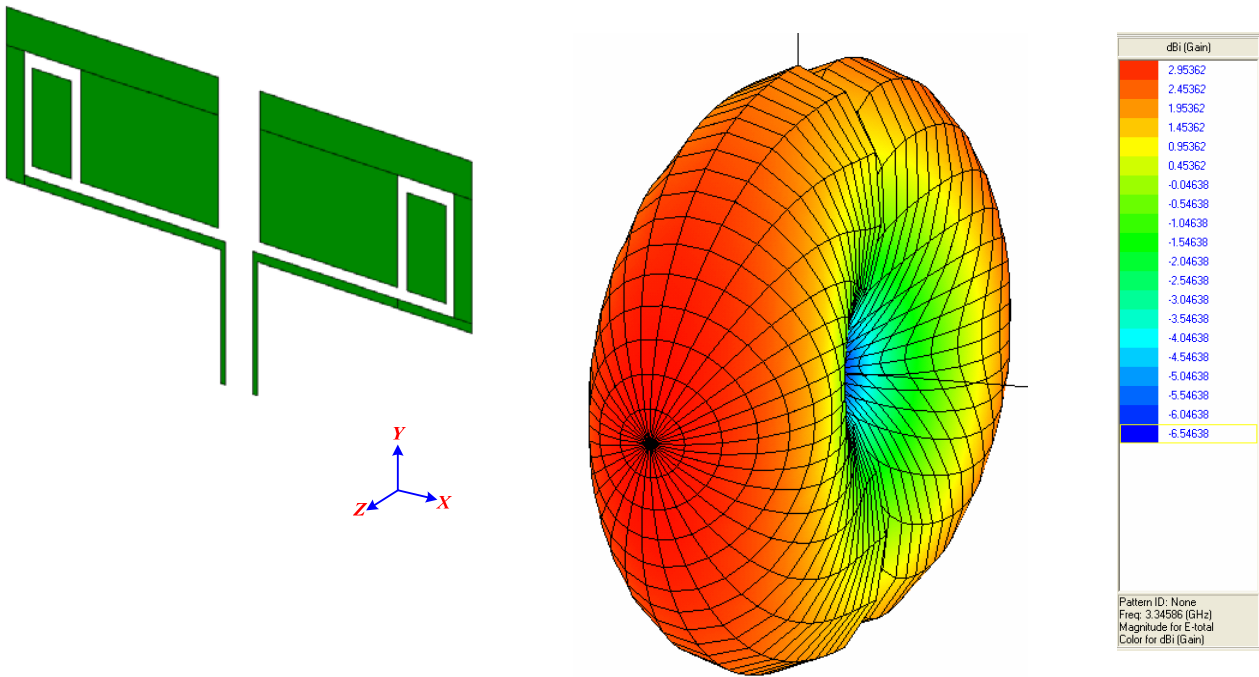


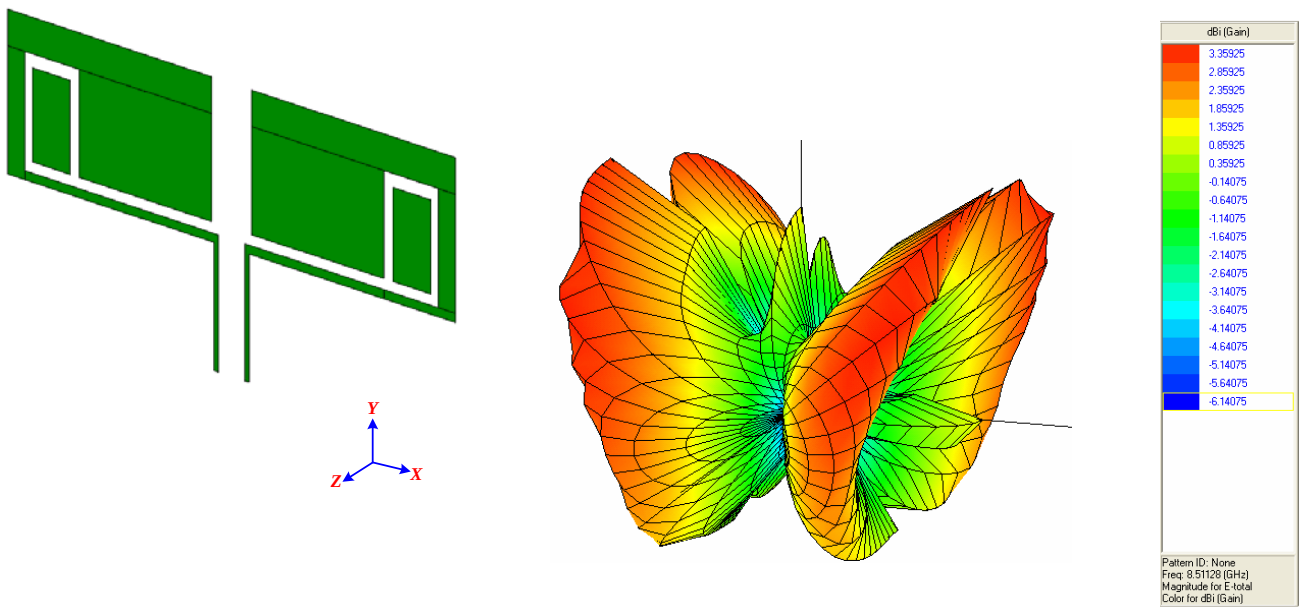
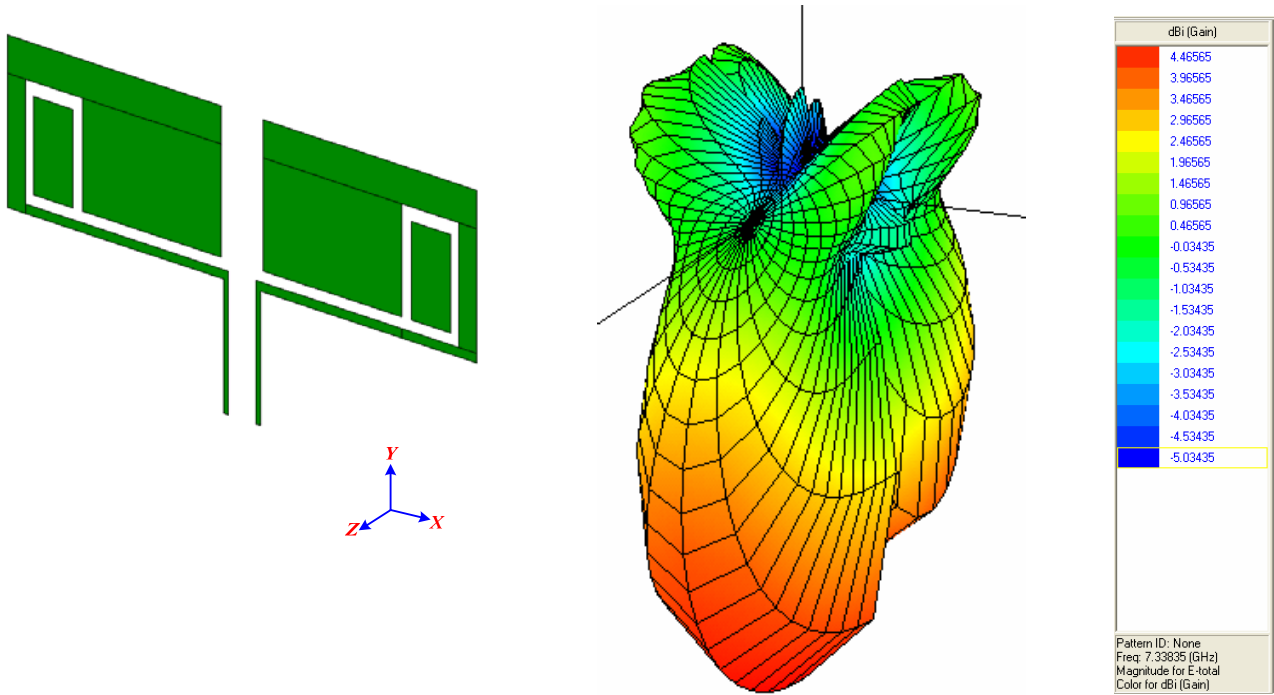
(a) xz-plane



(b) yz-plane

2D Radiation pattern at frequency 8.51 GHz .





สรุป

การออกแบบสายอากาศช่องเปิดที่ป้อนด้วย CPW โดยใช้โครงสร้างพื้นฐานอย่างง่าย การปรับขนาดความกว้างและความยาวของช่องเปิด รวมทั้งการแทรกตัวนำเข้าไปในช่องเปิดทั้งสองข้าง เพื่อให้มีการใช้งานแบบ wideband ค่า bandwidth 6.05 GHz (2.95 – 9.0 GHz)

เอกสารอ้างอิง

1. R. N. Simons. Coplanar Waveguide Circuits, Components, and Systems. New York : John Wiley & Son, 2001.
2. C. A. Balanis. Antenna Theory Analysis and Design. Singapore : John Wiley & Son, 1997.
3. Benson, F. A. and T. M. Benson, Fields Waves and Transmission Lines, Chaman & Hall, 1991.
4. Jeerasak Chuangchai and Prayoot Akkaraekthalin, "A Wideband Slot Antenna Array with CPW-fed Inductively coupled structure" EECON30
5. Giaffret, L., J.-M. Laheurte, and A. Papiernik, "Study of various shapes of the coupling slot in CPW-fed microstrip antenna," IEEE Trans. Antennas Propagat, Vol. 45, No. 4, 642–647, 1997.
6. Bhobe, A. U. and C. L. Holloway, "Wide-band slot antennas with CPW-feed line: hybride and log-periodic design," IEEE Trans. Antennas Propagat, Vol. 52, No. 10, 2545–2554, 2004.
7. Wang, C.-J., Member, IEEE, J.-J. Lee, and R.-B. Huang, Member, IEEE, "Experimental studies of a miniaturized CPW-fed slot antenna with the dual-frequency operation," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 2, 2003.