

การศึกษาารูปแบบของสตัปในสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วม

Study of Various Shapes of Feed Line Stub in the CPW-fed Rectangular Slot

Antennas

ประกาศิต ตันตือลงการ และ จีระศักดิ์ ช่างชัย

บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอการศึกษาผลของสตัปบนท่อนำคลื่นแบบระนาบร่วมที่ใช้ป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแบบร่องรูปสี่เหลี่ยม รูปร่างของสตัปที่ศึกษาคือสตัปรูปสามเหลี่ยม สตัปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และสตัปรูปวงกลม จากนั้นแสดงการเปรียบเทียบผลที่เกิดจากสตัปโดยใช้การสูญเสียย้อนกลับซึ่งได้มาจากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมออกแบบสายอากาศย่านความถี่ไมโครเวฟ (IE3D) จากผลของการทดลองสตัปทั้ง 3 แบบแสดงให้เห็นว่ารูปร่างและขนาดของสตัปที่ปลายสายนำสัญญาณมีผลต่อความถี่ใช้งาน อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์และการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ โดยขนาดของสตัปจะทำให้ความถี่ใช้งานของสายอากาศเลื่อนไป เมื่อขนาดของสตัปเท่ากับสตัปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะมีการสูญเสียย้อนกลับสูงสุด สตัปรูปสามเหลี่ยมจะมีค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์มากที่สุด 117.58% เมื่อสตัปมีขนาด 16 มิลลิเมตร สตัปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์สูงสุด 116.49% และสตัปรูปวงกลมจะมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์สูงสุด 112.70%

คำสำคัญ : สตัปรูปสามเหลี่ยม, สตัปรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส, สตัปรูปวงกลม, สายอากาศร่องสี่เหลี่ยม, ท่อนำคลื่นระนาบร่วม

Abstract

The study demonstrates the effects of different stubs shapes on the CPW-fed rectangular slot antenna. A variety of stub shapes including triangular, square, and circular stubs were investigated for their return loss. The commercial software IE3D based on the Method of Moments was used to simulate antenna characteristics. The outcomes revealed that frequency, impedance bandwidth, and return loss were affected by diverse stub structures. Stub sizes led to shifting frequencies. Regarding similar stub size, the 12 mm. square stub instigated the highest return loss and impedance bandwidth 116.49%. Meanwhile the 14 mm. circular stub yielded the most impedance bandwidth 112.70% and the 16 mm. triangular stub generated the highest impedance bandwidth 117.58%.

Keywords : Triangular stub, Square stub, Circular stub, Square slot antenna, Coplanar Waveguide (CPW)-fed

1. บทนำ

เทคโนโลยีทางการติดต่อสื่อสารโทรคมนาคมได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายในย่านความถี่ไมโครเวฟ เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบสื่อสารดาวเทียม และระบบวิทยุสื่อสาร เป็นต้น อีกทั้งยังนำมาใช้ประโยชน์ในงานด้านการศึกษา งานด้านสำรวจทรัพยากร งานด้านธุรกิจ งานด้านการแพทย์และทางการแพทย์ สาขาศาสตร์จัดว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบสื่อสารแบบไร้สาย การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศได้มีการใช้ท่อนำคลื่นระนาบร่วมอย่างแพร่หลายเนื่องจากการมีสูญเสียต่ำ รูปแบบในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศสมมาตร ไม่ต้องเจาะรูเมื่อต้องการลดวงจรเพราะสายนำสัญญาณและส่วนของระนาบกราวด์ (Ground plane) อยู่ด้านเดียวกันและเป็นโครงสร้างที่เหมาะสมกับการใช้งานรวมถึงการจัดสร้างให้มีลักษณะเป็นวงจรรวมอยู่ร่วมกันบนระนาบเดียวกัน (Monolithic Microwave Integrated Circuits, MMIC) [1] และท่อนำคลื่นระนาบร่วมยังทำการแมตช์อิมพีแดนซ์ได้ง่าย เนื่องจากท่อนำคลื่นระนาบร่วมมีข้อได้เปรียบสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป (Microstrip) ตามที่กล่าวมาแล้วนั้น จึงได้มีการศึกษาและทดลองใช้ท่อนำคลื่นระนาบร่วมมาใช้ในการป้อนสายอากาศแบบไมโครสตริป [2-3] และมีผู้วิจัยได้ศึกษาผลกระทบที่เกิดจากรูปแบบของสายนำสัญญาณและแบ่งรูปแบบของการป้อนสัญญาณออกเป็นสายนำสัญญาณที่มีการเชื่อมร่วมแบบตัวเหนี่ยวนำ (Inductively coupled) และการเชื่อมร่วมแบบตัวเก็บประจุ (Capacitively coupled) [4] นอกจากนั้นแล้วท่อนำคลื่นระนาบร่วมยังถูกนำมาใช้กับสายอากาศแบบร่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ใช้สำหรับย่านความถี่กว้าง [5-6] และยังมีผู้วิจัยสายอากาศแบบร่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการป้อนด้วย ท่อนำคลื่นระนาบร่วมกันอย่างแพร่หลาย โดยใช้แผ่นวงจรพิมพ์ ที่มี

ตัวนำด้านเดียวชนิด FR4 เพราะสามารถหาซื้อได้ง่าย มีราคาถูก ง่ายในการออกแบบ และมีแบนด์วิดท์ในการใช้งานกว้าง เมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศที่ออกแบบโดยใช้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดที่เป็นไมโครสตริป ซึ่งแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีตัวนำด้านเดียวชนิด FR4 มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r) = 4.4 ความสูงของ วัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก (h) = 1.6 มิลลิเมตร ความหนาของทองแดง (T_c) = 0.02 มิลลิเมตร และค่าการสูญเสียแทนเจนต์ (Loss Tangent, $\tan \delta$) = 0.002 โดยได้มีผู้วิจัยสายอากาศที่ใช้แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีตัวนำด้านเดียวตามคุณสมบัติดังที่กล่าวมาดังต่อไปนี้คือ สายอากาศมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีร่องจัตุรัสที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วมที่ใช้สตริปเป็นโหนดในการปรับแบนด์วิดท์ [7]

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอ ผลจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสแตมป์ที่ปลายสายนำสัญญาณของสายอากาศแบบร่องสี่เหลี่ยมที่มีต่ออิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ของสายอากาศ ($VSWR \leq 2$) โดยเปรียบเทียบจากการสูญเสียย้อนกลับที่ได้มาจากการจำลองโดยใช้โปรแกรมออกแบบสายอากาศย่านความถี่ไมโครเวฟ (IE3D)

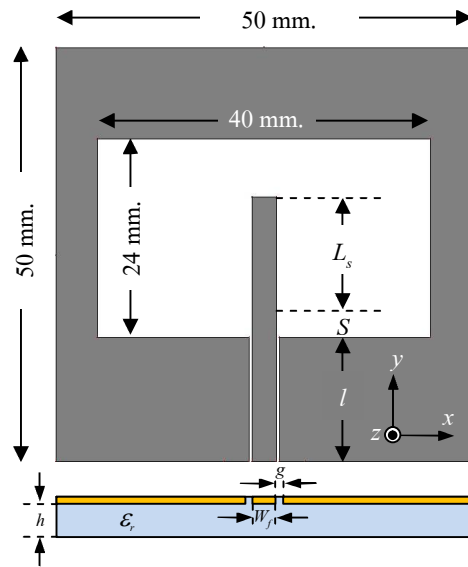
2. การออกแบบสายนำสัญญาณ

โครงสร้างของสายอากาศที่ทำการศึกษาทั้งหมด ถูกออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีตัวนำด้านเดียวชนิด FR4 ความกว้างของร่องมีความยาวเท่ากับความยาวคลื่น (λ_g) ที่ความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งหาได้จาก $(0.78 \sqrt{(1 + \epsilon_r)/2\epsilon_r})\lambda_0$ โดยค่า λ_0 คือความยาวคลื่นในสุญญากาศ กำหนดให้สายอากาศมีขนาด 50×50 มิลลิเมตร และการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศจะป้อนเข้าที่กึ่งกลางทางด้านข้างของสายอากาศ ขนาดของสายนำสัญญาณคือ ความกว้าง (W_p) เท่ากับ 3 มิลลิเมตร ความยาว (L) เท่ากับ 15 มิลลิเมตรและความกว้างของร่องระหว่างสายนำสัญญาณของสายอากาศกับระนาบกราวด์ (g) เท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งขนาด

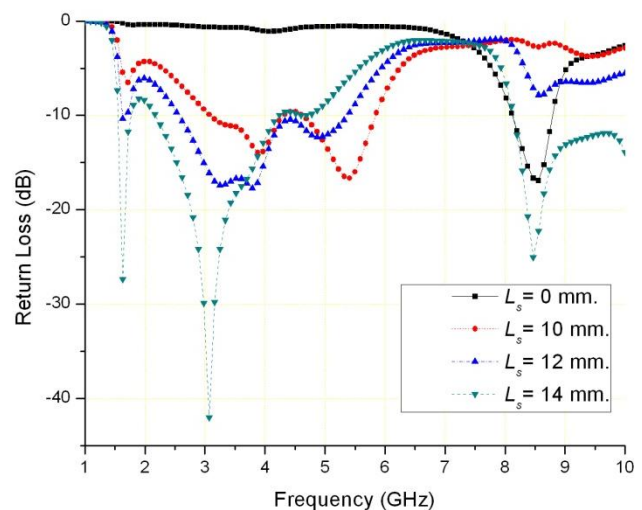
ของสายนำสัญญาณได้มาจากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม LineGauge เมื่อกำหนดความถี่กลางที่ 3.25 GHz อิมพีแดนซ์ของสายอากาศเท่ากับ $50\ \Omega$ และระยะห่างระหว่างสัดกับปลายสายนำสัญญาณ (S) เท่ากับ 3 มิลลิเมตร โดยขนาดของร่องสี่เหลี่ยมที่ใช้ในการออกแบบคือ ความกว้าง 40 มิลลิเมตรและความยาว 24 มิลลิเมตร

3. การศึกษาผลของสัดที่ปลายสายนำสัญญาณ

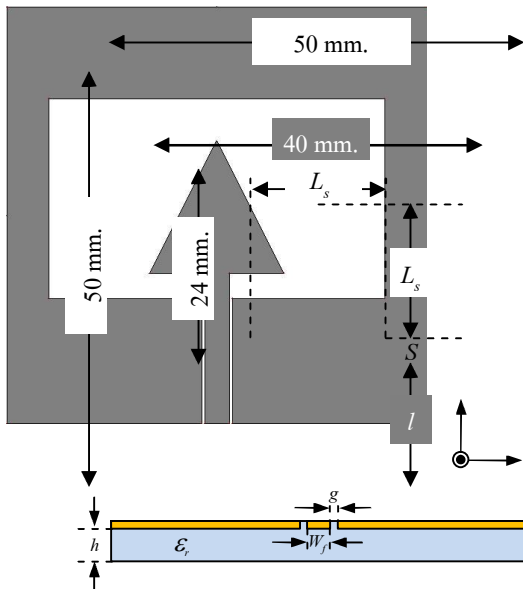
โครงสร้างของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่มีความกว้างเท่ากับสายป้อนซึ่งเป็นโครงสร้างที่ใช้เป็นสายอากาศอ้างอิง (Reference antenna) เพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบผลการจำลองการทำงานกับสัดรูปแบบอื่น ดังแสดงในรูปที่ 1 จากผลการจำลองการทำงานของสายอากาศในรูปที่ 2 เมื่อปรับเปลี่ยนความยาวของ สายนำสัญญาณ (L_s) ของสายอากาศจะพบว่าความถี่ใช้งานของสายอากาศเปลี่ยนแปลงตามค่าความยาวของสายนำสัญญาณ โดยถ้าไม่มีการต่อสัดเพิ่ม ($L_s = 0$ มิลลิเมตร) สายอากาศจะทำงานที่ความถี่กลางเท่ากับ 8.5 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ 16.77 dB และมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์เท่ากับ 664.77 MHz เมื่อเพิ่มความยาวของสัดขึ้นจะทำให้ความถี่ใช้งานของสายอากาศลดลงจนกระทั่งความยาวของท่อนำคลื่นมีค่ามากกว่า 12 มิลลิเมตรจะทำให้สายอากาศทำงานเป็นแบบสองความถี่ (Dual band) และการทำงานของสายอากาศจะเป็นแบบสามความถี่เมื่อเพิ่มความยาวของสัดเท่ากับ 14 มิลลิเมตร โดยสายอากาศทำงานในช่วงความถี่ต่ำคือช่วงความถี่ 1.55-1.77 GHz ค่าการสูญเสียย้อนกลับสูงสุดที่ความถี่ 1.63 GHz เท่ากับ 27.36 dB ช่วงความถี่กลางเท่ากับ 2.18-4.23 GHz ค่าการสูญเสียย้อนกลับสูงสุดที่ความถี่ 3.07 GHz เท่ากับ 42.04 dB และช่วงความถี่สูงเท่ากับ 7.94-10.72 GHz ค่าการสูญเสียย้อนกลับสูงสุดที่ความถี่ 8.59 GHz เท่ากับ 24.60 dB



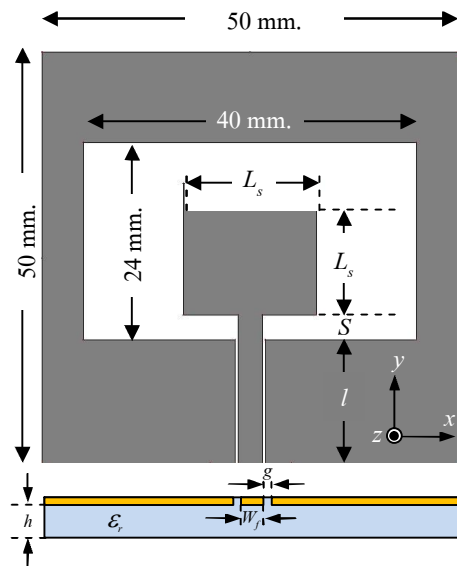
รูปที่ 1 โครงสร้างของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่มีความกว้างเท่ากับสายป้อน



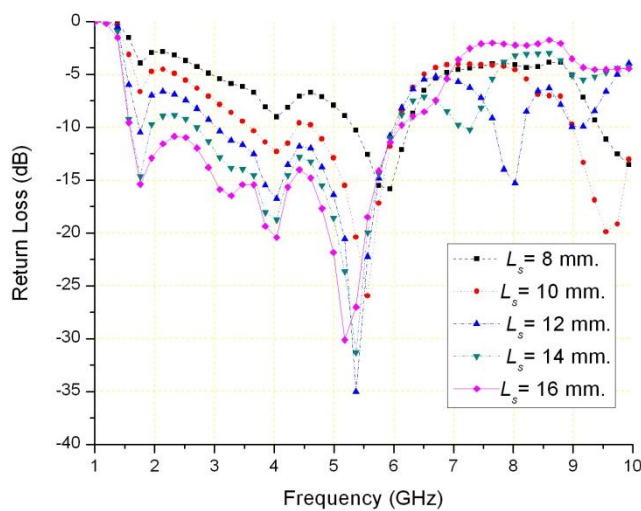
รูปที่ 2 ผลการจำลองการทำงานของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมความกว้างเท่ากับสายป้อน



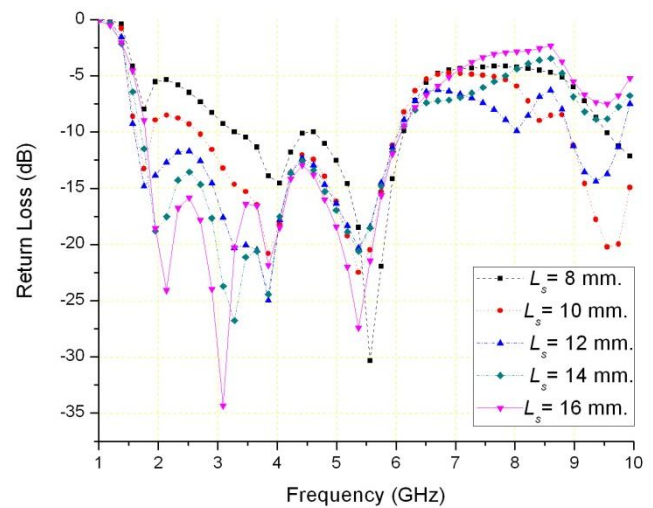
รูปที่ 3 โครงสร้างของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วมที่มีสัดับรูปสามเหลี่ยม



รูปที่ 5 โครงสร้างของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วมที่มีสัดับรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส



รูปที่ 4 ผลการจำลองการทำงานของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่มีสัดับรูปสามเหลี่ยม



รูปที่ 6 ผลการจำลองการทำงานของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่มีสัดับรูปสี่เหลี่ยม

โครงสร้างของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่มีสัดับรูปสามเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 3 ความกว้างและความสูงของสัดับรูปสามเหลี่ยมมีค่าเท่ากับ L_s ผลการจำลองการทำงานของสายอากาศแสดงไว้ในรูปที่ 4 โดยการปรับขนาดของสัดับให้มีค่าตั้งแต่ 8-16 มิลลิเมตรแล้วจำลอง

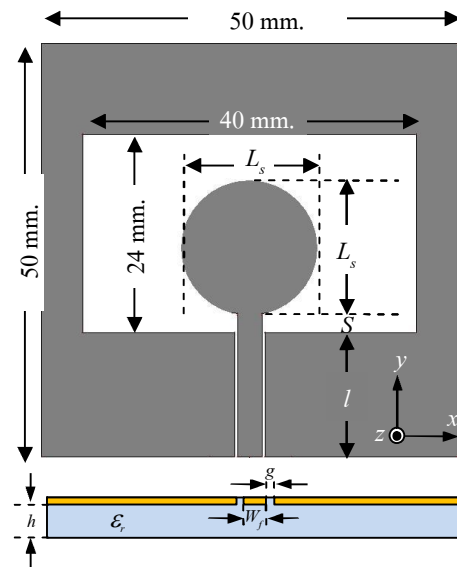
การทำงานของสายอากาศ จากผลของการทดลองพบว่าเมื่อปรับขนาดของสัดับรูปสามเหลี่ยมให้มีขนาดที่กว้างขึ้นจะทำให้ความถี่ใช้งานของสายอากาศเลื่อนลงมาจากความถี่ต่ำ และค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ของสายอากาศจะเพิ่มขึ้น เมื่อปรับค่าความยาวค่า L_s เท่ากับ 16 มิลลิเมตรจะทำให้สายอากาศมี

อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์กว้างที่สุดเท่ากับ 4.52 GHz (1583.388-6105.99 MHz) หรือ 117.58% และเมื่อปรับค่า L_s เท่ากับ 12 มิลลิเมตรจะทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าสูงสุดที่ความถี่ 5.365 GHz เท่ากับ 34.644 dB

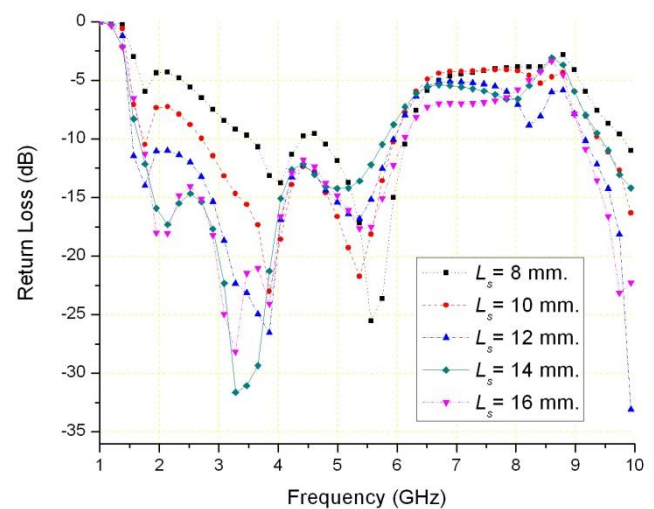
โครงสร้างของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่มีสัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมูแสดงในรูปที่ 5 ความกว้างและความสูงของสัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมูมีค่าเท่ากับ L_s ผลการจำลองการทำงานของสายอากาศแสดงไว้ในรูปที่ 6 โดยการปรับขนาดของสัดให้มีความถี่ตั้งแต่ 8-16 มิลลิเมตรแล้วจำลองการทำงานของสายอากาศ จากผลของการทดลองพบว่าเมื่อปรับขนาดของสัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมูให้มีความถี่ที่กว้างขึ้นจะทำให้ความถี่ใช้งานของสายอากาศเลื่อนลงมาถึงความถี่ต่ำ และค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ของสายอากาศจะเปลี่ยนแปลง เมื่อปรับค่าความยาวค่า L_s เท่ากับ 12 มิลลิเมตรจะทำให้สายอากาศมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์กว้างที่สุดเท่ากับ 4.45 GHz (1594.90-6045.57 MHz) หรือ 116.49% และเมื่อปรับค่า L_s เท่ากับ 16 มิลลิเมตรจะทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าสูงสุดที่ความถี่ 3.085 GHz เท่ากับ 34.06 dB

โครงสร้างของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่มีสัดรูปวงกลมแสดงในรูปที่ 7 เส้นผ่าศูนย์กลางของสัดรูปวงกลมมีค่าเท่ากับ L_s ผลการจำลองการทำงานของสายอากาศแสดงไว้ในรูปที่ 8 โดยการปรับเส้นผ่าศูนย์กลางของสัดให้มีความถี่ตั้งแต่ 8-16 มิลลิเมตรแล้วจำลองการทำงานของสายอากาศจากผลของการทดลองพบว่าเมื่อปรับขนาดของ สัดรูปวงกลมให้มีความถี่ที่กว้างขึ้นจะทำให้ความถี่ใช้งานของสายอากาศเลื่อนลงมาถึงความถี่ต่ำ และค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ของสายอากาศจะเปลี่ยนแปลง เมื่อปรับค่าความยาวค่า L_s เท่ากับ 14 มิลลิเมตรจะทำให้สายอากาศมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์กว้างที่สุดเท่ากับ 4.41 GHz (1708.88-6117.02 MHz) หรือ 112.70% และเมื่อปรับค่า L_s

เท่ากับ 16 มิลลิเมตรจะทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าสูงสุดที่ความถี่ 3.28 GHz เท่ากับ 31.62 dB



รูปที่ 7 โครงสร้างของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วมที่มีสัดรูปวงกลม



รูปที่ 8 ผลการจำลองการทำงานของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมป้อนด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่มีสัดรูปวงกลม

4. สรุป

บทความนี้ได้ศึกษาผลกระทบที่เกิดจากรูปร่างของสัดบที่ปลายท่อนำคลื่นระนาบร่วมในสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม ผลของการจำลองจะเห็นได้ว่า ขนาดและรูปร่างของสัดบมีผลต่อความถี่ใช้งาน, อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์และการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ โดยถ้าขนาดของสัดบที่ปลายสายกว้างขึ้นจะทำให้ความถี่ใช้งานของสายอากาศเลื่อนลงมาที่ความถี่ต่ำ รูปร่างของสัดบมีผลต่ออิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์และการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ เมื่อขนาดของสัดบเท่ากันจะพบว่า สัดบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะมีค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์และการสูญเสียย้อนกลับสูงที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- 1 B. K. Kormanyos, W. Harokopus, L. Katehi, and G. Rebeiz, "CPW-fed active slot antennas," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 42, April 1994, pp. 541–545.
- 2 W. Menzel and W. Grabherr, "A microstrip patch antenna with coplanar feed line," *IEEE Microwave Guided Wave Letters*, vol.1, November 1992, pp.340-342.
- 3 S.-M. Deng, M.-D. Wu, and P. Hsu, "Analysis of coplanar waveguide-fed microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.43, July 1995, pp. 734-737.
- 4 L. Giauffret, J.-M. Laheurte, and A. Papiernik, "Study of Various Shapes of the Coupling Slot in CPW-Fed Microstrip Antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 45, No. 4, April 1997, pp. 642-647.
- 5 S. Chaimool, S. Kerdsurang, P. Akkraekthalin and V. vivek, "A broadband CPW-fed square slot antenna using loading metallic strips and a widened tuning stub." *Proceeding of the 2004 International Symposium on Communications and Information Technologies*, vol. 2, October 2004, pp. 730-733.
- 6 J. Y. Chiou, J. Y. Sze and K. L. Wong, "A broad-band CPW-fed strip-loaded square slot antenna." *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 51, no. 4, April 2003, pp. 719-721.
- 7 H. D. Chen, "Broadband CPW-fed square slot antennas with a widened tuning stub." *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 51, no. 8, pp. 1982-1986, August 2003.

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.ดร. ประยุทธ์ อัครเอกพาลิน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่อนุญาตให้ใช้โปรแกรมจำลองการทำงานของสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ (IE3D)