วงจรกรองผ่านแถบโดยใช้โครงสร้างสายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่างแบบสมมาตร

A Bandpass Filter Using Symmetrical Coplanar Structure without backed ground plane

อภิรดา นามแสง[1]
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
โทร: 0-2549-3429 โทรสาร: 0-2549-3422

บทคัดย่อ

บทความวิจัยฉบับนี้ ได้นำเสนอวงจรกรองผ่านแถบแบบลดขนาดโดยใช้โครงสร้างสายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดที่ไม่มีกราวด์ด้านล่างแบบสมมาตร ซึ่งได้ทำการจำลองแบบการทำงานด้วยโปรแกรม IE3D ZELAND ซึ่งเป็นโปรแกรมออกแบบวงจรทางระบบสื่อสารไมโครเวฟ พร้อมทั้งวิเคราะห์ค่าต่าง ๆที่ความถี่กลางประมาณ 2 GHz โดยวงจรกรองผ่านแถบนี้ได้นำสายนำสัญญาณแบบวงจรเปิด มาใช้ร่วมกับสายนำสัญญาณแบบวงจรปิด

Abstract

This paper presents A Bandpass Filter Using Symmetrical Coplanar Structure without backed ground plane. The filters were computerized designed at the operating frequency around 2 GHz by employing IE3D ZELAND programs. The proposed filter uses open and short transmission line together due to the open transmission line employed to size reduction.

1. บทนำ

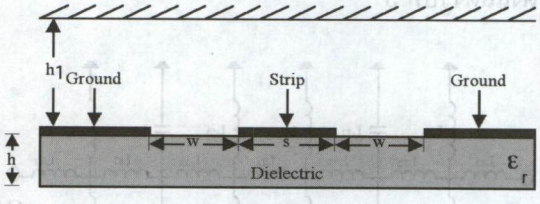
วงจรกรองผ่านแถบ เป็นวงจรกรองความถี่ที่ถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในระบบการสื่อสารและได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมอื่น ๆอีกมากมาย ซึ่งทำหน้าที่กำจัดแถบความถี่ที่ไม่ต้องการทิ้งไป และจะคงเฉพาะแถบความถี่ที่ต้องการไว้ ปัจจุบันเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาไปอย่างไม่หยุดยั้ง เพื่อให้ทันต่อเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไป จึงได้มีผู้วิจัยและพัฒนาวงจรกรองผ่านแถบตลอดมา เริ่มแรกวงจรกรองผ่านแถบจะมีโครงสร้างเป็นแบบไมโครสตริปมีขนาดใหญ่และจะมีข้อจำกัด เช่น ปัญหาการต่ออุปกรณ์ลงกราวด์ เพราะจะต้องมีช่องผ่าน (Via holes) เพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ด้านบนกับระนาบกราวด์ด้านล่าง ทำให้มีความผิดเพี้ยนของสัญญาณสูง (High Dispersion) การสูญเสียสูง (High Insertion Loss) และแบนด์วิดท์ที่มีขนาดกว้างมาก ต่อมามีผู้วิจัยนำเสนอวงจรกรองผ่านแถบด้วยโครงสร้างระนาบร่วมสายนำสัญญาณระนาบร่วม ซึ่งโครงสร้างชนิดนี้ จะมีสายนำสัญญาณอยู่ด้านเดียวกับกราวด์ ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวได้ และเป็นโครงสร้างที่ง่ายในการออกแบบ ได้แบนด์วิดท์ที่แคบ เมื่อมีการต่ออุปกรณ์เพิ่มเติมทั้งชนิดแอกทีฟหรือพาสซีฟ ต่ออนุกรมหรือขนาน วงจรรวมที่ได้ มีขนาดที่ไม่ใหญ่เกินไป กระจายตามความถี่ (Dispersion) และการสูญเสียเนื่องจากการใส่แทรก (Insertion Loss) ต่ำกว่าการใช้สายนำสัญญาณแบบไมโครสติป และสามารถนำไปพัฒนาเป็นวงจรรวมไมโครเวฟได้ในอนาคต

[1]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
โทร: 0-2549-3429 โทรสาร: 0-2549-3422

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

คุณลักษณะของสายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง

สายนำสัญญาณระนาบร่วมถูกคิดค้นขึ้นโดย Wen ในปี ค.ศ. 1969 ในที่นี้จะขอกล่าวถึงสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมชนิดที่ได้มีการนำมาวิจัย คือ สายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดที่ไม่มีกราวด์ด้านล่าง(Coplanar Waveguide without backed ground plane) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย สตริป (Strip) อยู่ตรงกลางด้านบนของฐานรองไดอิเล็กตริก (Substrate) โดยมีความกว้างของสติปคือ S ด้านข้างทั้งสองข้างของสติปมีลักษณะเป็นร่อง (Slot) และระนาบกราวด์ ตามลำดับ ซึ่งความกว้างระหว่างสติปถึงระนาบกราวด์คือ W และมีความหนาของฐานรองไดอิเล็กตริกคือ h ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างสายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง

ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณหาได้จาก

$$Z_0 = \frac{60}{\pi\sqrt{\varepsilon_{re}}} \frac{1}{K(k_1)/K'(k_1) + K(k_3)/K'(k_3)}$$

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลหาได้จาก

$$\varepsilon_{re} = 1 + q(\varepsilon_r - 1)$$

โดยที่

$$q = \frac{K(k_2)/K'(k_2)}{K(k_1)/K'(k_1) + K(k_3)/K'(k_3)}$$

เมื่อ q คือ ตัวประกอบการคูณ และ

$$k_1 = \frac{s}{s+2w}$$

$$k_2 = \frac{\sinh(\pi s/4h)}{\sinh(\pi(s+2w)/h)}$$

$$k_3 = \frac{\tanh(\pi s/4h_1)}{\tanh(\pi(s+2w)/4h_1)}$$

โดยที่

S คือ ความกว้างของสายนำสัญญาณ

W คือ ความกว้างของร่อง

h คือ ความสูงของฐานรองไดอิเล็กตริก

h_1 คือ ระยะความสูงของกรอบชีลด์ (Cover Shield)

การอินทิกรัลวงรีแบบสมบูรณ์ขั้นแรกสามารถหาได้โดย

$$K(k) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\theta}{\sqrt{1-k^2\sin^2\theta}}$$

โดยที่ $K'(k) = K(k')$

$$k' = \sqrt{1-k^2}$$

และอัตราส่วนของ $K(k)/K'(k)$ สามารถหาได้โดยการประมาณคือ

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \frac{\pi}{\ln\left[2\left(1+\sqrt{k'}\right)/\left(1-\sqrt{k'}\right)\right]}$$

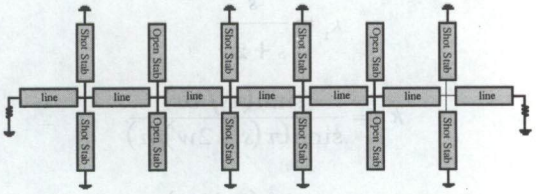
เมื่อ $0 \le k \le 0.707$

$$\frac{K(k)}{K(k)} = \frac{1}{\pi}\ln\left[2(1+\sqrt{k})/(1-\sqrt{k})\right]$$

เมื่อ $0.707 \le k \le 1$

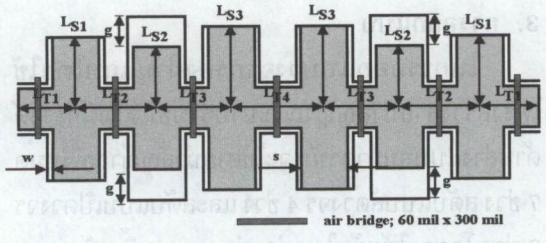
3. การออกแบบ

ในการออกแบบวงจรกรองผ่านแถบโดยใช้โครงสร้างสายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่างแบบสมมาตรนั้น จะใช้สายนำสัญญาณทั้งหมด 7 ช่วง สตับแบบลัดวงจร 4 ช่วง และสตับแบบเปิดวงจร 2 ช่วง โดยจะใช้สตับในแต่ละช่วง ๆละ 2 ชิ้น ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างวงจรกรองผ่านแถบแบบสมมาตร

กำหนดให้ความกว้างของสติป และ ร่องระหว่างสติปถึงระนาบกราวด์ มีขนาดเท่ากันทุกช่วงของวงจร ซึ่งความกว้างของสติป S = 65.5 มิล และร่องระหว่างสติปถึงระนาบกราวด์ = 25 มิล นั่นคือค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณจะมีขนาดเท่ากับ 50 โอห์ม ซึ่งจะเท่ากับอิมพีแดนซ์ของขั้วต่อ SMA ที่ต่อเชื่อมกับอินพุตและเอาต์พุตของวงจร กรองผ่านแถบโดยความยาวของสายนำสัญญาณ L_{T1} ด้านซ้าย จะต้องเท่ากับความยาวของสายนำสัญญาณ L_{T1} ด้านขวา, ความยาวของสายนำสัญญาณ L_{T2} ด้านซ้ายจะต้องเท่ากับความยาวของสายนำสัญญาณ L_{T2} ด้านขวา, ความยาวของสายนำสัญญาณ L_{T3} ด้านซ้ายจะต้องเท่ากับความยาวของสายนำสัญญาณ L_{T3} ด้านขวาถอยร่นเข้ามาตามลำดับ ในส่วนของสตัปก็เช่นเดียวกันคือ ความยาวของสตัปแบบลัดวงจร L_{s1} ด้านซ้ายทั้งด้านบนและด้านล่าง จะต้องเท่ากับความยาวของสตัปแบบลัดวงจร L_{s1} ด้านขวาทั้งด้านบนและด้านล่าง, ความยาวของสตัปแบบเปิดวงจร L_{s2} ด้านซ้ายทั้งด้านบนและด้านล่างจะต้องเท่ากับ ความยาวของสตัปแบบเปิดวงจร L_{s2} ด้านขวาทั้งด้านบนและด้านล่าง โดยมีค่าความกว้างของช่องปลายเปิด g = 80 มิล ,ความยาวของสตัปแบบลัดวงจร L_{s3} ด้านซ้ายทั้งด้านบนและด้านล่าง จะต้องเท่ากับความยาวของสตัปแบบลัดวงจร L_{s3} ด้านขวาทั้งด้านบนและด้านล่างตามลำดับ

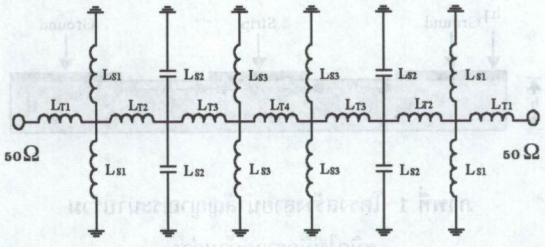


ภาพที่ 3 แบบจำลองการทำงาน

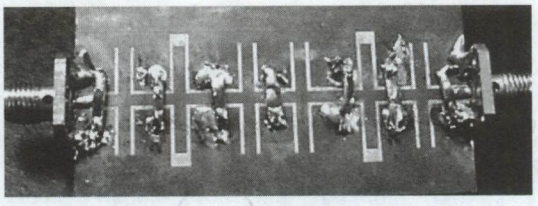
จากการจำลองการทำงาน จะทำให้ได้ขนาดความยาวของสายนำสัญญาณของวงจรกรองผ่านแถบโดยใช้สายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่างแบบสมมาตรดังนี้

L_{T1} = 289 มิล, L_{S1} = 325 มิล,
L_{T2} = 320 มิล, L_{S2} = 320 มิล,
L_{T3} = 400 มิล, L_{S3} = 338 มิล,
L_{T4} = 310 มิล

นอกจากนี้ยังสามารถแปลงขนาดความยาวของสายนำสัญญาณ และสตัปให้เป็นวงจรเทียบเคียงได้อีกด้วยดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งพบว่า สตัปแบบเปิดวงจรL_{s2} จะแสดงคุณสมบัติคล้ายกับเป็นตัวเก็บประจุ ส่วนสายนำสัญญาณและสตัปแบบลัดวงจรอื่น ๆ จะแสดงคุณสมบัติคล้ายกับเป็นตัวเหนี่ยวนำ งานวิจัยชิ้นนี้มีขนาด 2328 มิล x 905 มิล ซึ่งชิ้นงานจริงดังแสดงรูปที่ 5



ภาพที่ 4 วงจรเทียบเคียงของวงจรกรองผ่านแถบโดยใช้สายนำสัญญาณระนาบร่วมแบบสมมาตรชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง

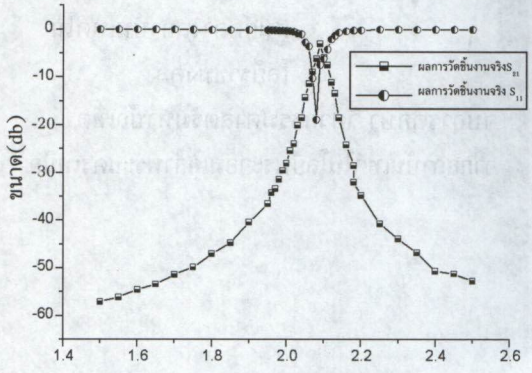


ภาพที่ 5 ชิ้นงานสมบูรณ์ของวงจรกรองผ่านแถบโดยใช้สายนำสัญญาณระนาบร่วมแบบสมมาตรชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง

4. ผลการทดลอง

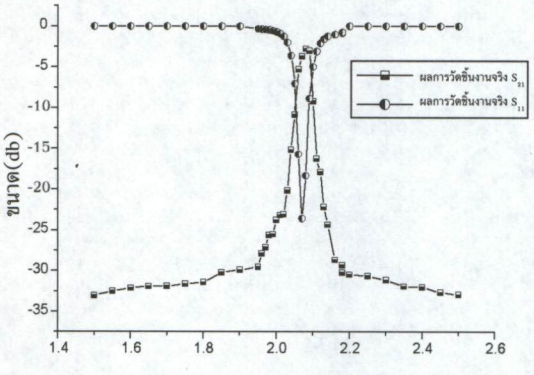
วิธีการวัดทดสอบของวงจรกรองผ่านแถบโดยใช้สายนำสัญญาณระนาบร่วมแบบสมมาตรชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง สามารถแบ่งวิธีการวัดทดสอบออกเป็น

2 ส่วน คือ การวัดทดสอบหาค่าความสูญเสียเนื่องจากการใส่แทรก S_{21} = -1.96 dB และ การวัดทดสอบหาค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ S_{11} = -19.19 dB แบนด์วิดท์มีค่าประมาณ 90 MHz โดยค่าผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในภาพที่ 6



ความถี่(GH_z)

(ก)



ความถี่(GH_z)

(ข)

ภาพที่ 6 ผลการทดลองของวงจรกรองผ่านแถบโดยใช้สายนำสัญญาณระนาบร่วมแบบสมมาตรชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง (ก) การจำลองการทำงาน (ข) การวัดชิ้นงานจริง

5. สรุป

ผลจากการวัดชิ้นงานจริงพบว่าค่าความสูญเสียเนื่องจากการใส่แทรกสูงกว่า -3 dB และค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับทฤษฎีการจำลองการทำงาน ซึ่งยอมรับได้ โดยสามารถนำไปประยุกต์และพัฒนาไปเป็นวงจรรวมไมโครเวฟต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

[1] A. Görür. "A novel coplanar slow-wave structure" *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, vol. 4, no. 3, Mar 1994.

[2] W.H. Haydl. "Properties of meander coplanar transmission lines." *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, vol. 2, no. 11, Nov 1992.

[3] Mohsen Naghed, Ingo Wolff. "Equivalent Capacitance of Coplanar Waveguide Discontinuities and Intredigitated Capacitors Using a Three-dimensional Finite Difference Method." *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 38, no. 12, pp. 1808-1815, Dec. 1990.

[4] E. A. Soliman, P. Pieters, and E. Beyne. "Thin Film Tunnels Versus Air-Bridges in Coplanar Waveguide Discontinuities." *IEEE Letter.*, 1998.

[5] Klaus Beilenhoff, Harald Klingbeli, Wolfgang Heinrich and Hans L. Hartnagel. "Open and Short Circuits in Coplanar MMIC's. " *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 41, no. 9, pp.1534-1537, Sep 1993.

[6] T. N. Chang and Y.H. Shiu. "Coplanar Waveguide Filters with Floating strips." *IEE Proc. Microwave. Antennas Propag.*, vol. 147, no. 1, pp. 58-62, Feb 2000.

[7] Yu-Kang Kuo, Chi-Hsueh Wang and Chun Hsiung Chen. "Novel Reduced- Size Coplanar Waveguide Bandpass Filter." *IEEE Microwave and Wireless Letters*, vol. 11, no. 12, pp. 65-67, Feb 2001.

[8] Khelifa Hettak, Tony Laneve and Malcolm G.Stubs. "Size-Reduction Techniques for CPW and ACPS Structures." *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 49, no. 11, pp. 2112-2116,Nov 2001.

[9] Brain C. Wadell. "Transmission Line Design Handbook." Artech House, 1991.

[10] K. C. Gupta, R. Garg, I. Bahl and P. Bhartia. "Microstrip Lines and Slotlines". 2nd edition, Atech House, London, 1996.

[11] C.P. Wen. "Coplanar-Waveguide Directional Coupler." *IEEE Trans. On Microwave Theory and Tech.*, Vol. 18, pp. 318-332, June 1970.

[12] L. Yuan, J. Paul, and P. Yen, "140 GHz Quasi-Optical Planar Mixer," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp.*, pp. 374-375, 1982.

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวอภิรดา นามแสง
อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
จบการศึกษา วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต
จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ