

วงจรรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมคคู่โดยใช้เรโซเนเตอร์แบบวงปิดที่มีการปรับสลับ

A Dual-Mode Wide-Band Bandpass Filter Using the Loop Resonator with Tuning Stub

เจษฎา ก้อนแพง¹

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการสื่อสารได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง โดยเฉพาะการสื่อสารไร้สายได้เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมาก ซึ่งส่วนประกอบของวงจรในระบบจะมีวงจรรองผ่านแถบความถี่รวมอยู่ด้วยซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในระบบไมโครเวฟที่มีความสำคัญมาก โดยคุณสมบัติของวงจรรองผ่านแถบจะยอมให้สัญญาณในช่วงความถี่ที่ต้องการผ่านไปได้และจะกำจัดสัญญาณในช่วงความถี่ที่ต้องการทิ้ง จึงได้มีการมุ่งเน้นพัฒนาในด้านการตอบสนองของการสูญเสียให้ต่ำเป็นวงจรที่มีขนาดเล็กกระทัดรัด มีคุณสมบัติการตอบสนองความถี่ที่ดี รวมถึงการสร้างให้มีลักษณะเป็นวงจรรวมบนระนาบเดียวกัน (Monolithic Microwave Integrated Circuits, MMIC) และลดต้นทุนในการสร้างชิ้นงาน [1] สำหรับการใส่เรโซเนเตอร์แบบวงปิดได้มีการนำมาใช้เป็นวงจรรองผ่านแถบในระบบไมโครเวฟเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ในระบบสื่อสารไร้สายตัวอย่างเช่น ระบบความถี่วิทยุและระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ต้องการวงจรรองผ่านแถบที่มีขนาดเล็กและมีผลตอบสนองทางความถี่ที่ดี เพราะฉะนั้นวงจรรองผ่านแถบแบบวงปิดจึงได้นำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในระบบสื่อสารที่ต้องการผลตอบสนองทางความถี่ที่ดี มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และการสูญเสียต่ำ บนโครงสร้างสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป โดย Hsieh และ Chang [2] และ Konpang และคณะ [3] ได้เสนอวงจรรองผ่านแถบความถี่กว้างโดยใช้เรโซเนเตอร์แบบวงปิดสี่เหลี่ยมที่มีการปรับสลับ มาออกแบบใช้ในย่านความถี่กว้าง โดยยังคงมีพื้นที่วงจรที่ใหญ่ยังไม่เหมาะกับระบบสื่อสารไร้สายเท่าที่ควรและมีสัญญาณรบกวนด้านบนของช่วงผ่านแถบ สำหรับแนวทางใน

การออกแบบวงจรรองผ่านแถบความถี่จะเน้นเรื่องของขนาดโครงสร้างที่เล็กเป็นส่วนประกอบที่สำคัญและสามารถกำจัดสัญญาณที่อยู่นอกช่วงผ่านแถบที่ต้องการทิ้งไปเพื่อเป็นการขจัดระดับช่วงผ่านแถบที่ต้องการให้ดี ต่อมา Gorur [4] ได้พัฒนาเรโซเนเตอร์ที่มีขนาดเล็กและสามารถกำจัดสัญญาณที่อยู่นอกช่วงผ่านแถบที่ต้องการทิ้งไป Konpang และคณะ [5] เสนอการต่อสลับภายนอกมุมทั้งสี่ของเรโซเนเตอร์แบบวงปิดสี่เหลี่ยม และสามารถพัฒนาต่อเป็นวงจรรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมคคู่โดยใช้เรโซเนเตอร์แบบวงปิดที่มีการปรับสลับที่สามารถกำจัดสัญญาณที่อยู่นอกช่วงผ่านแถบที่ต้องการทิ้งไปเพื่อประยุกต์ใช้งานกับความถี่ย่านการสื่อสารไร้สายแบบบรอดแบนด์ (Broadband Wireless Access, BWA) ที่กำลังเติบโตในอนาคต

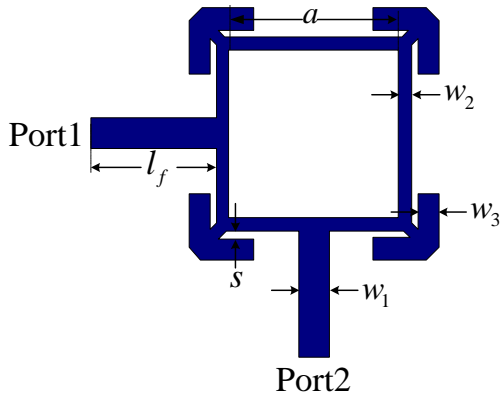
2. การออกแบบวงจร

การออกแบบวงจรรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมคคู่โดยใช้เรโซเนเตอร์แบบวงปิดที่มีการปรับสลับ แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้คือ ออกแบบวงจรรองหยุดแถบ ออกแบบวงจรรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมคเดี่ยวที่มีการปรับสลับ และออกแบบวงจรรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมคคู่ที่มีการปรับสลับ

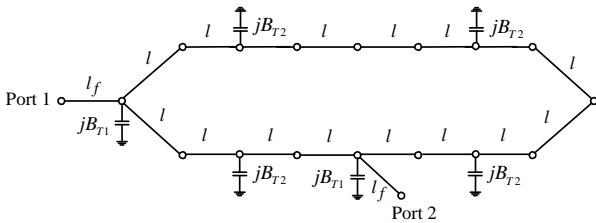
2.1 วงจรรองหยุดแถบ

ในการออกแบบวงจรรองหยุดแถบ แสดงได้ดังรูปที่ 1 ซึ่งบนหลักการของวงจรรองหยุดแถบ โดยการต่อสายป้อนสัญญาณแบบต่อตรงเข้ากับเรโซเนเตอร์แบบวงปิดที่ตำแหน่ง

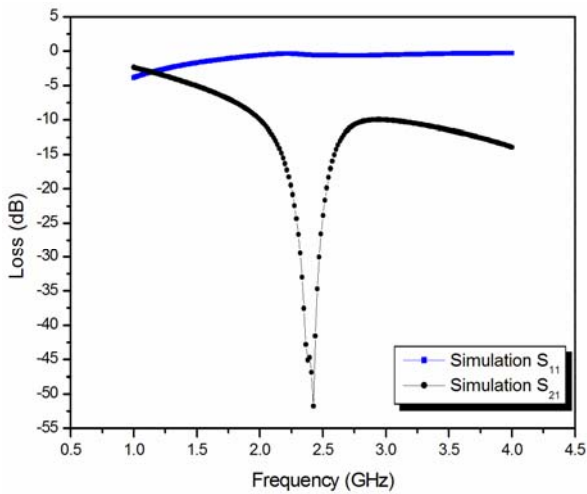
¹ อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ



รูปที่ 1 โครงสร้างวงจรกรองหยุดแถบ



รูปที่ 2 วงจรสมมูลของวงจรกรองหยุดแถบ



รูปที่ 3 ผลการจำลองแบบของวงจรกรองหยุดแถบ

ดังกล่าวแล้ว ต่อสลับด้านนอกมุมทั้งสี่ของเรโซเนเตอร์เพื่อช่วยลดขนาดของเรโซเนเตอร์แบบวงปิด โดยใช้โปรแกรม IE3D [6] ช่วยในการจำลองแบบ ออกแบบที่ความถี่กลาง 2.45 GHz ใช้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิด RT/Duroid 3006 มีค่าไดอิเล็กตริก

สัมพัทธ์ (ϵ_r) เท่ากับ 6.15 มีความหนา 1.27 มิลลิเมตร จากการจำลองได้ขนาดโครงสร้างของวงจรดังนี้ $l_f = 8$ มิลลิเมตร, $s = 0.715$ มิลลิเมตร, $w_1 = 1.85$ มิลลิเมตร, $w_2 = 0.75$ มิลลิเมตร, $w_3 = 1.35$ มิลลิเมตร และ $a = 9.3$ มิลลิเมตร

วงจรมูลของวงจรกรองหยุดแถบ แสดงดังรูปที่ 2 เป็นการแบ่งในส่วนของอินพุต และเอาต์พุต โดยมี

jB_{T1} คือ ค่าคาปาซิแตนซ์ที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างสายป้อนสัญญาณกับตัวเรโซเนเตอร์แบบวงปิด

jB_{T2} คือ ค่าคาปาซิแตนซ์ที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเรโซเนเตอร์แบบวงปิดกับสลับที่ต่อด้านนอกมุมทั้งสี่ของเรโซเนเตอร์แบบวงปิด

การวิเคราะห์หาผลตอบสนองของวงจร โดยการต่อสายป้อนสัญญาณแบบต่อตรงเข้ากับเรโซเนเตอร์แบบวงปิดที่ตำแหน่งดังกล่าวแล้ว ใช้โปรแกรม IE3D ในการจำลองแบบ ผลตอบสนองทางความถี่ แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งจากผลการจำลองแบบจะแสดงคุณลักษณะของวงจรกรองหยุดแถบ

2.2 วงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมดเดี่ยวที่มีการปรับสลับ

ทำการต่อสลับภายนอกเรโซเนเตอร์แบบวงปิดที่ตำแหน่งตรงข้ามกับสายป้อนสัญญาณเพื่อทำให้เกิดแบนด์กว้างและมีช่วงหยุดแถบที่คม โดยวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้าง แสดงดังรูปที่ 4 โดยมีขนาด $l_i = 16.25$ มิลลิเมตร และ $w_4 = 0.4$ มิลลิเมตร

รูปที่ 5 แสดงวงจรมูลของวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมดเดี่ยวที่มีการปรับสลับ สำหรับค่าแอดมิตแตนซ์ Y_i เป็นผลที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเรโซเนเตอร์แบบวงปิดกับสลับที่ต่อด้านนอก สำหรับค่า Y_i สามารถอธิบายดังสมการที่ (1)

$$Y_i = y_o \tanh(\gamma l + l_{open}) + jB_{T3} \quad (1)$$

โดยที่ y_o คือ แอดมิตแตนซ์คุณลักษณะของสลับ

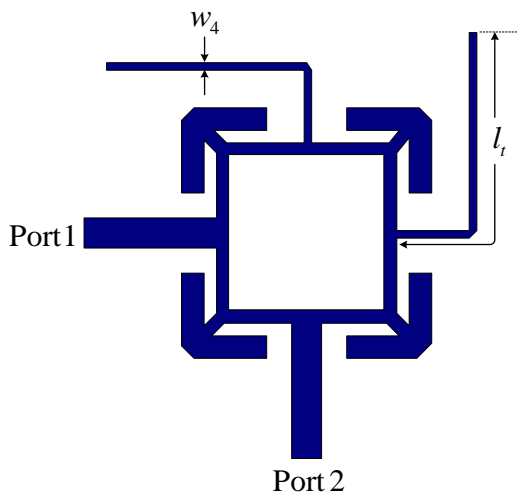
γ คือ ค่าคงที่ของการแพร่กระจายคลื่นเชิงซ้อน

l_{open} คือ ค่าสมมูลของผลกระทบจากความยาวของสายเปิดปลาย

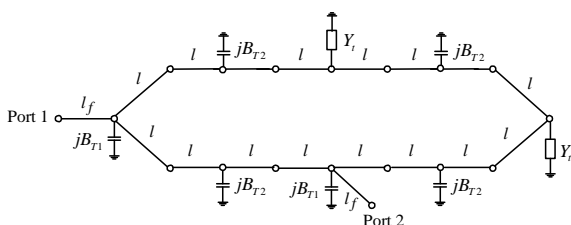
jB_{r3} คือค่าคาปาซิแตนซ์ที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเรโซเนเตอร์แบบวงปิดกับสลับ l_1 ที่ต่อด้านนอก

เมื่อได้ขนาดโครงสร้างและผลตอบสนองของความถี่ตามต้องการแล้วทำการสร้างชิ้นงานจริง แสดงดังรูปที่ 6 โดยใช้เครื่องเซาะลายวงจรพิมพ์ (LPKF PCB Milling) ในการสร้างชิ้นงานจริง แล้วบัดกรีพอร์ตเพื่อเตรียมไปวัดทดสอบ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ห้าขั้วงาน (Network analyzer)

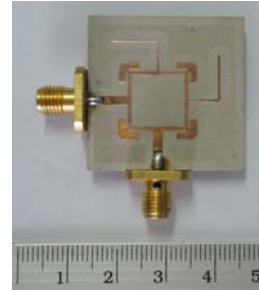
ผลการจำลองแบบของวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมคเดี่ยวที่มีการปรับสลับ แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งผลตอบสนองทางความถี่จากการวัดทดสอบชิ้นงานจริง ได้ผลตอบสนองที่ความถี่กลาง 2.45 GHz มีค่าเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์ 36 เปอร์เซ็นต์ที่ตำแหน่ง 3 dB ของความถี่กลาง มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านต่ำกว่า 0.26 dB และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับต่ำกว่า 15 dB



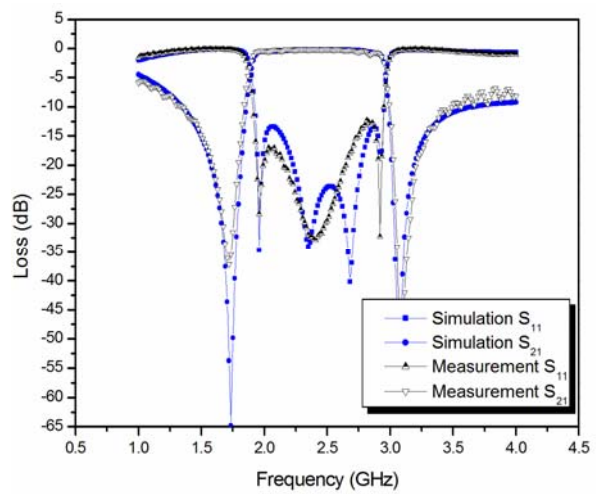
รูปที่ 4 โครงสร้างของวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมคเดี่ยวที่มีการปรับสลับ



รูปที่ 5 วงจรสมมูลของวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมคเดี่ยวที่มีการปรับสลับ



รูปที่ 6 ชิ้นงานจริงของวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมคเดี่ยวที่มีการปรับสลับ



รูปที่ 7 ผลการเปรียบเทียบการวัดชิ้นงานจริงกับจำลองการทำงานของวงจรกรองแบบโหมคเดี่ยวที่มีการปรับสลับ

2.3 วงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมคคู่ที่มีการปรับสลับ

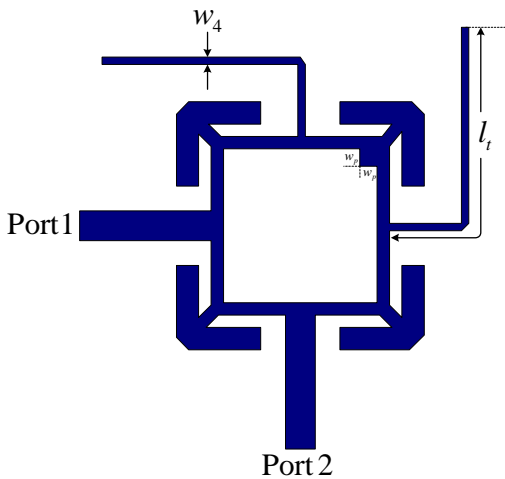
จากผลตอบสนองทางความถี่ในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่ามีผลตอบสนองแถบหยุดนอกช่วงความถี่กลางทั้งด้านบนและด้านล่างแคบและเป็นการตอบสนองความถี่แบบโหมคเดี่ยว ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มสมรรถนะผลตอบสนองของช่วงแถบหยุดด้านบนและด้านล่างให้กว้างขึ้น บนพื้นฐานโครงสร้างการตอบสนองความถี่แบบโหมคคู่ โดยการวางสลับสี่เหลี่ยม $w_p = 1$ มิลลิเมตร ภายในมุมของเรโซเนเตอร์แบบวงปิด แสดงดังรูปที่ 8 ถ้าต้องการเพิ่มช่วงกว้างของแถบหยุดด้านบนและ

ด้านล่าง สามารถทำได้โดยการเพิ่มขนาดของสแต็บสี่เหลี่ยม w_p
 รูปที่ 9 แสดงวงจรมูลของวงจรกรองผ่านแถบความถี่
 กว้างแบบโหมคคู่ที่มีการปรับสตัด สำหรับค่าคาปาซิแตนซ์
 C_p เป็นผลที่เกิดจากอิมพีแดนซ์ไม่สมมาตรแบบขั้น
 (Asymmetric step capacitance) ของเรโซเนเตอร์แบบวงปิด [3]
 สำหรับค่า C_p สามารถคำนวณดังสมการที่ (2)

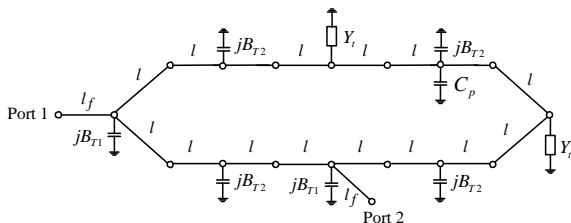
$$C_p = w_p(0.012 + 0.0039\epsilon_r) pF \quad (2)$$

โดยที่ w_p คือ ขนาดของสแต็บสี่เหลี่ยมที่ต่อภายในมุมสี่เหลี่ยมเรโซเน
 เตอร์แบบวงปิด

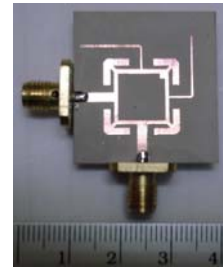
ϵ_r คือ ค่าไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์



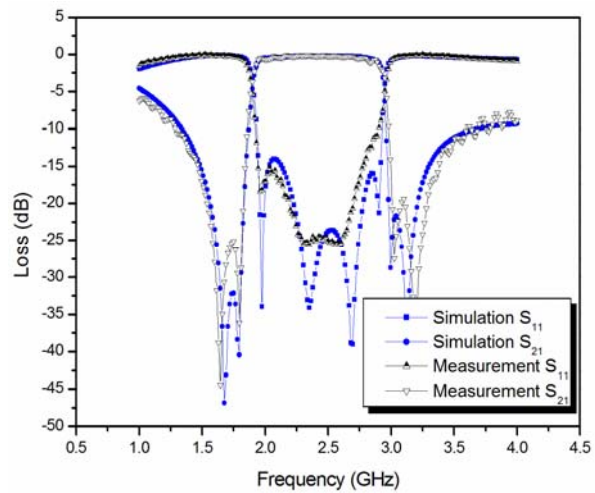
รูปที่ 8 โครงสร้างของวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบ
 โหมคคู่ที่มีการปรับสตัด



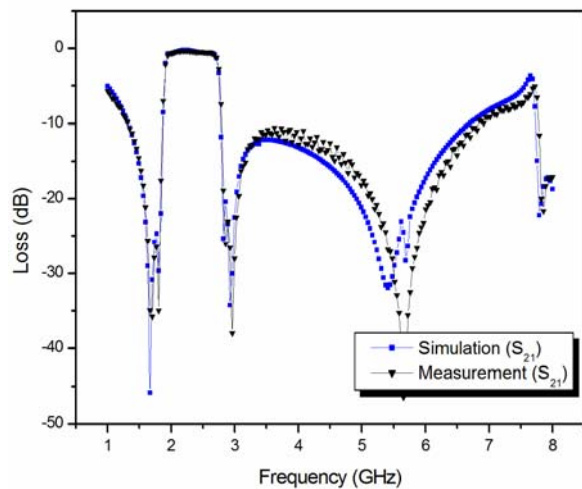
รูปที่ 9 วงจรมูลของวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบ
 โหมคคู่ที่มีการปรับสตัด



รูปที่ 10 ชิ้นงานจริงของวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบ
 โหมคคู่ที่มีการปรับสตัด



รูปที่ 11 ผลการเปรียบเทียบการวัดชิ้นงานจริงกับจำลองการ
 ทำงานของวงจรกรองแบบโหมคคู่ที่มีการปรับสตัด



รูปที่ 12 ผลการเปรียบเทียบช่วงกว้างของการวัดชิ้นงานจริงกับ
 จำลองการทำงานของวงจรกรองแบบโหมคคู่ที่มีการปรับสตัด

เมื่อได้ขนาดโครงสร้างและผลตอบแทนของความถี่ตามต้องการแล้วทำการสร้างชิ้นงานจริง โดยใช้เครื่องเซาะลายวงจรพิมพ์ แสดงดังรูปที่ 10 ผลการจำลองแบบของวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมคคู่ที่มีการปรับสลับ แสดงดังรูปที่ 11 ซึ่งผลตอบแทนทางความถี่ จากการวัดทดสอบชิ้นงานจริง ได้ผลตอบแทนที่ความถี่กลาง 2.45 GHz มีค่าเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์ 36 เปอร์เซ็นต์ที่ตำแหน่ง 3 dB ของความถี่กลาง มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านต่ำกว่า 0.3 dB และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับต่ำกว่า 15 dB และ รูปที่ 12 แสดงผลตอบแทนความถี่ช่วงกว้างของวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมคคู่ที่มีการปรับสลับ

3. บทสรุป

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมคคู่โดยใช้เรโซเนเตอร์แบบวงปิดที่มีการปรับสลับ โดยอาศัยหลักการของวงจรกรองหยุดแถบ (Bandstop filter) แล้วต่อสลับด้านนอกมุมทั้งสี่ของเรโซเนเตอร์เพื่อช่วยลดขนาด หลังจากนั้นทำการต่อสลับภายนอกเรโซเนเตอร์ที่ตำแหน่งตรงข้ามกับสายป้อนสัญญาณเพื่อทำให้เกิดแบนด์กว้างและมีช่วงหยุดแถบที่คม ในการตัดสัญญาณที่ไม่ต้องการทิ้ง หลังจากนั้นเพื่อเพิ่มสมรรถนะผลตอบแทนของช่วงแถบหยุดด้านบนและด้านล่างให้กว้างขึ้น บนพื้นฐานโครงสร้างของการตอบสนองความถี่แบบโหมคคู่ โดยการวางสลับภายในมุมของเรโซเนเตอร์แบบวงปิด ซึ่งวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมคคู่ที่ได้มีขนาดเล็กน้ำหนักเบา ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านด้านอินพุตสู่อัตพุตสูง

ข้อเสนอแนะในการพัฒนาวงจรกรองผ่านแถบความถี่กว้างแบบโหมคคู่โดยใช้เรโซเนเตอร์แบบวงปิด จากผลตอบแทนความถี่จะเห็นว่าผลตอบแทนความถี่กว้างนอกแถบความถี่กลางด้านบนยังมีการกดทับสัญญาณรบกวนไม่สูงมากนัก โดยระบบการสื่อสารไร้สายต้องการยกระดับสัญญาณที่อยู่ในช่วงผ่านแถบความถี่และสามารถกำจัดสัญญาณที่อยู่นอกช่วงผ่านแถบที่ไม่ต้องการทิ้งไป ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถใช่วงจรกรองผ่านแถบหยุดมาช่วยกดทับสัญญาณที่ไม่ต้องการ Tu และ Chang [7] เสนอวงจรถูกกรองหยุดแถบโดยใช้สลับแบบเปิด (open

stub) หรือใช้วงจรถูกกรองหยุดแถบโดยใช้การเซาะร่องที่สายป้อนสัญญาณ (spur line) ซึ่งถ้าต้องการเพิ่มการกำจัดสัญญาณให้ลึกมากขึ้นหรือกว้างมากขึ้นโดยการเพิ่มจำนวนของสลับแบบเปิดและการเซาะร่องที่สายป้อนสัญญาณ แต่ผลลัพธ์ที่ได้สำหรับการแก้ปัญหาวิธีนี้จะเป็นการเพิ่มขนาดโครงสร้างของวงจร

เอกสารอ้างอิง

- 1 D. M. Pozar. Microwave Engineering, 2nd ed. New York: Wiley, 1998.
- 2 L. H. Hsieh and K. Chang. "Compact, low insertion-loss, sharp-rejection wideband bandpass filters using dual-mode ring resonators with tuning stubs", Electronics Letters 25th, Vol.37, No.22, Oct. 2001, pp.1345-1347.
- 3 J. Konpang, A. Namahoot, P. Akkaraekthalin. "A wide-band bandpass filter using properties of microstrip open-loop resonators with outer tuning stubs", 2004 IEEE Region 10 Conference, Vol. 3, Nov. 2004, pp. 624-627.
- 4 A. Görür. "A Novel Dual-Mode Bandpass Filter With Wide Stopband Using the Properties of Microstrip Open-Loop Resonator", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol.12, No.10, Oct. 2002, pp. 386-388.
- 5 J. Konpang, C. Jumneansri, P. Anunvrapong and J. Wongmethanukroah. "A dual-mode wide-band bandpass filter using the microstrip loop resonator with tuning stubs", Microwave European Conference 2007, Oct. 2007, pp. 791-794.
- 6 IE3D Users' Manual, Release 8, Zeland Software, Inc., Fremont, CA, 2001.
- 7 W. H. Tu and K. Chang. "Compact Microstrip Filter Using Open Stub and Spurline", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol.15, No.4, April 2005, pp.268-270.