

วงจรถ่วงกำลังงานวิลคินสันแบบผลต่างเฟสสัญญาณเอาต์พุต 180 องศา

A 180 Degree Output Phase Difference Wilkinson Power Divider

สมชาติ โสณะแสง¹, นิวัตร์ อังควิษฐพันธ์^{2*}, ระวี พรหมหลวงศรี³, สุวิทย์ นามมหาจักร⁴

Somchat Sonasang¹, Niwat Angkawisitpan², Ravee Phromlounsri³, Suwit Nammahachak⁴

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างวงจรถ่วงกำลังงานวิลคินสันที่มีผลต่างเฟสของสัญญาณเอาต์พุต 180 องศา ในช่วงความถี่ย่าน L-Band ผลต่างเฟส 180 องศา ของวงจรถ่วงกำลังงานวิลคินสันเกิดจากการต่อแทรกวงจรเลื่อนเฟส 180 องศา ที่สร้างจากสายส่งเชื่อมต่อคู่ขนานไว้ที่แขนด้านล่างของวงจรถ่วงกำลังงานวิลคินสัน ทำการออกแบบและผลการจำลองอูตมคติ และการจำลองของสนามแม่เหล็กที่นำเสนอที่ความถี่ทำงาน 1.6 กิกะเฮิรตซ์ บนแผ่นวงจรพิมพ์แบบ FR 4 ผลการจำลองพบว่า วงจรเลื่อนเฟสจากสายส่งเชื่อมต่อคู่ขนานที่นำเสนอและวงจรถ่วงกำลังงานแบบวิลคินสัน มีค่าการสูญเสียแทรกสอด การสูญเสียจากการย้อนกลับ และค่าการสูญเสียไอโซเลชันเป็นที่น่าพอใจในช่วงความถี่ทำงาน

คำสำคัญ: วงจรถ่วงกำลังงานวิลคินสัน สายส่งเชื่อมต่อคู่ขนาน บาลัน

Abstract

This paper presents the design of a 180 degree output phase difference Wilkinson power divider for L-Band applications. The effect phase difference between output ports of 180 degree was caused by the inserted phase shifter and based on the parallel couple line. The design methods were validate by simulated theory and momentum method of the proposed power divider, a narrow-band 1.6 GHz on FR4 microwave substrate. The simulated results of the phase difference of power divider had good agreement in insertion loss, return loss and isolation loss in the operation frequency.

Keywords: Wilkinson power divider, Parallel coupled line and Balun

บทนำ

ระบบการสื่อสารในปัจจุบันมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว อีกทั้งเครื่องมือที่ใช้มีขนาดเล็กลงซึ่งสอดคล้องกับระบบสื่อสารแบบไร้สายย่านความถี่ไมโครเวฟเป็นย่านที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย สำหรับการสื่อสารไร้สาย สายส่งเชื่อมต่อคู่ขนานไมโครสตริป (Microstrip parallel-couple lines) เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการสังเคราะห์วงจรในย่านความถี่ไมโครเวฟหลายชนิดเช่น วงจรถ่วงกำลังงานแบบวิลคินสัน (Wilkinson power divider) แบบจีเซลล์ (Gysel power divider) วงจรมาร์ชานด์บาลัน

(Marchand balun) วงจรกรองความถี่ (Filter) วงจรเลื่อนเฟส (Phase shifters) วงจรรีโซเนเตอร์ (Resonators) เป็นต้น เนื่องจากสายส่งเชื่อมต่อคู่ขนานไมโครสตริป มีโครงสร้างทางกายภาพที่ง่ายต่อการออกแบบและการผลิตสำหรับการสร้างวงจรไมโครเวฟดั่งที่กล่าวมา

เป็นที่ทราบดีว่าวงจรถ่วงกำลังงานมีความสำคัญเป็นอย่างมาก สำหรับการแบ่งกำลังงานภายในระบบไมโครเวฟงานเรดาร์ หรือแม้แต่ด้านการวัดความถี่ด้านดาราศาสตร์ (Radio astronomy) โดยปกติแล้วการออกแบบวงจรถ่วงกำลัง

¹ นิสิตปริญญาเอก, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

^{2*} ผู้ช่วยศาสตราจารย์, หน่วยปฏิบัติการวิจัยแม่เหล็กเชิงคำนวณและระบบเชิงแสง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150 อีเมลล์ niwat.a@msu.ac.th

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

⁴ อาจารย์, สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000



งานแบบวิลคินสันโครงสร้างวงจรดังแสดง Figure 1 ซึ่งกำลังงานเอาต์พุตระหว่างพอร์ต 2 กับ พอร์ต 3 โดยสัญญาณจะมีผลต่างเฟสกันเท่ากับ 0 องศาหรือเฟสสมมาตรเฟสกัน

อย่างไรก็ตามหากต้องการวงจรแบ่งกำลังงานที่ต้องการเฟสทางด้านเอาต์พุตต่างกัน 180 องศา ก็ต้องใช้วงจรบาลันดังแสดงใน Figure 2 แต่ว่าการสร้างวงจรบาลันที่สมบูรณ์ในทางอุดมคตินั้นทำได้ยาก โดยต้องใช้ข้อออกแบบสายส่งเชื่อมต่อกับขั้วขานด้วยกรรมวิธีพิเศษ เช่นการสร้างสายส่งเชื่อมต่อกับขั้วขานแบบหลายชั้น (Multilayer) บนแผ่นพิมพ์ลายวงจร (Print circuits board, PCB) ที่ต้องใช้การสร้างแบบหลายชั้น¹ (Multi layer substrate) สายส่งไมโครสตริปแบบสายส่งเชื่อมต่อกับขั้วขานที่มีค่าสัมประสิทธิ์เชื่อมต่องสูง (tight coupling) ซึ่งมีความยุ่งยากต่อการสร้างต้องใช้เทคโนโลยีที่สูง²⁻³ และมีราคาสูงขึ้นตามลำดับ

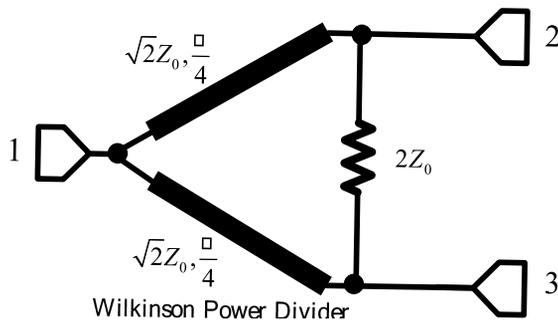


Figure 1 The conventional Wilkinson power divider.

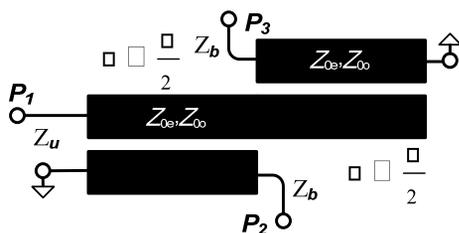


Figure 2 The schematic of Marchand balun based on coupled lines.

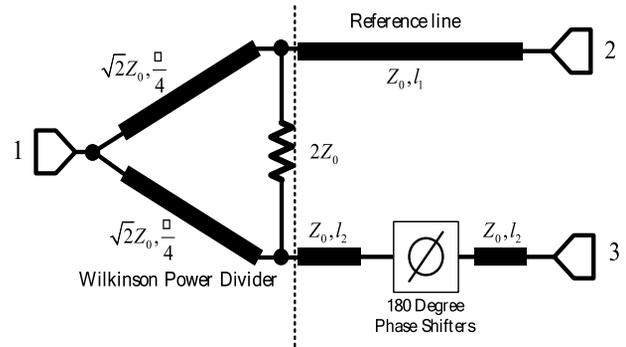


Figure 3 Proposed 180 degree output difference of Wilkinson power divider

ดังนั้นบทความนี้นำเสนอเทคนิคการออกแบบวงจรแบ่งกำลังงานวิลคินสันที่มีเฟสต่างกัน 180 องศาด้วยการเพิ่มส่วนของวงจรเลื่อนเฟส (Phase shifter) ดังแสดงใน Figure 3 เทคนิคนี้จะเป็นการเพิ่มคุณสมบัติของวงจรวิลคินสันให้เป็นวงจรแบ่งกำลังงานบาลัน สามารถออกแบบและสร้างวงจรแบ่งกำลังงานวิลคินสันแทนการสร้างวงจรบาลันได้อย่างง่าย ราคาถูก โดยลำดับการนำเสนอเนื้อหาของบทความจะประกอบด้วยทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง วิธีการดำเนินงานวิจัย ผลการวิจัยและอภิปรายผล และสรุปผลการวิจัย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สายส่งเชื่อมต่อกับขั้วขาน

Figure 4 แสดงโครงสร้างของสายส่งเชื่อมต่อกับขั้วขานไมโครสตริปที่ประกอบด้วยสายส่งสัญญาณแบบแผ่น (Strip) สายส่งสัญญาณนี้เป็นวัสดุฐานรองที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ในขณะที่ด้านบนสายส่งสัญญาณทั้งสองเป็นอากาศที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ϵ_0 นอกจากนี้ได้วัสดุฐานรองจะมีแผ่นโลหะทำหน้าที่เป็นระนาบกราวด์ โดยทั่วไปสายส่งเชื่อมต่อกับขั้วขานไมโครสตริปจะมีความยาวของช่วงที่ขนานกันประมาณเศษหนึ่งส่วนสี่ของความยาวคลื่นเดินทางบนสายส่ง ($\lambda_g/4$) เนื่องจากสายส่งสัญญาณเหล่านี้วางตัวอยู่บนตัวกลางที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Inhomogeneous medium) จึงส่งผลให้เกิดผลกระทบบางประการเมื่อนำสายส่งดังกล่าวไปประยุกต์สร้างเป็นวงจรหรืออุปกรณ์ที่ทำงานในย่านความถี่ไมโครเวฟ⁴ โดยสมการอย่างง่ายของอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของคลื่นในโหมดคู่และโหมดคี่ (Z_{0e}, Z_{0o}) ดังแสดงสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$Z_{0e} = Z_0 \sqrt{\frac{1-C}{1+C}} \quad (1)$$

$$Z_{0o} = Z_0 \sqrt{\frac{1+C}{1-C}} \quad (2)$$

ส่วนค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ Z_0 จะเชื่อมโยงกับค่า Z_{0e} และ Z_{0o} คือ

$$Z_0 = \sqrt{Z_{0e} Z_{0o}} \quad (3)$$

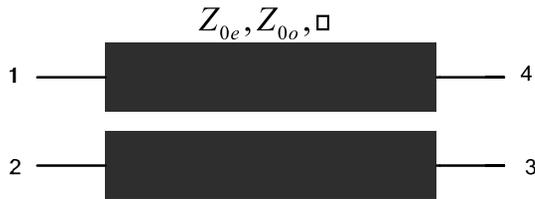


Figure 4 Microstrip parallel-coupled line.

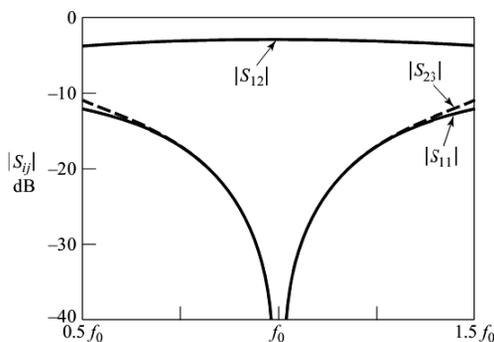


Figure 5 Characteristics of Wilkinson power divide.

นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบวงจรอื่นๆ ในระบบสื่อสารไมโครเวฟและมิลลิเมตรเวฟได้อีกหลายชนิดเช่น วงจรแปลงอิมพีแดนซ์ วงจรมิกเซอร์ และวงจรขยายสัญญาณแบบบาลานซ์ วงจรเลื่อนเฟส วงจรลดทอน วงจรมอดูเลเตอร์ วงจรดีเลย์ไลน์หรือแม้กระทั่งวงจรรีโซเนเตอร์⁵

วงจรแบ่งกำลังงานวิลคินสัน

ตามที่ได้นำเสนอวงจรวิลคินสันเป็นวงจรแบ่งกำลังงานเป็นอุปกรณ์แบบ 3 พอร์ต (3-Port device) ดังFigure 1 สมการเมทริกซ์ได้ตัวแปรการจัดกระจาย (Scattering Matrix) ได้สมการที่ 4⁵ กรณีอุปกรณ์มีความสมมาตร (Matched) ที่พอร์ต 1 ($S_{11} = 0$) จะได้ว่าขนาดของสัมประสิทธิ์ของกำลังงานส่งผ่านของวงจรแบ่งกำลังวิลคินสัน ดังสมการที่ 5 และผลของการตอบสนองทางความถี่ของวงจรแบ่งกำลังวิลคินสันในทางอุดมคติดังแสดงใน Figure 5⁵

$$S = \begin{bmatrix} 0 & -j/\sqrt{2} & -j/\sqrt{2} \\ -j/\sqrt{2} & 0 & 0 \\ -j/\sqrt{2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2 + |S_{31}|^2 = 1 \quad (5)$$

ซึ่งมีงานวิจัยชิ้นนี้จะนำเสนอวงจรแบ่งกำลังงานวิลคินสันที่มีเฟสต่างกัน 180 องศา โดยจะเพิ่มในส่วนสายส่งเชื่อมต่อกับขั้วขาแบบเลื่อนเฟส ด้วยเทคนิคอย่างง่าย และสามารถสร้างได้ เพื่อให้มีคุณสมบัติเป็นวงจรบาลานซ์ได้ในย่านความถี่ที่สนใจจึงจะนำเสนอในหัวข้อต่อไป

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การออกแบบตัวเชื่อมต่อกับสายส่งคู่ขนานต่างเฟส 180 องศา

การออกแบบสายส่งเชื่อมต่อกับคู่ขนานต่างเฟส 180 องศา เทคนิคการนำสายส่งเชื่อมต่อกับคู่ขนานที่การส่งผ่านกำลังงานจากพอร์ต 1 ไปยังพอร์ต 2 คือ สัมประสิทธิ์การเชื่อมต่อ ในขณะที่การส่งผ่านกำลังงานจากพอร์ต 3 ไปยังพอร์ต 4 คือ จุดเชื่อมต่อเดียวกัน ดังแสดงใน Figure 6 วิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าร่วมกับทฤษฎีโครงข่ายไฟฟ้า (Network theory) สามารถหาสมการแสดงความสัมพันธ์ของ 2 พอร์ตจะได้ V_1, V_2 และ V_3 เท่ากับ V_4 ตามสมการ 6-9 ตามลำดับ

$$V_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 + Z_{13}I_3 + Z_{14}I_4 \quad (6)$$

$$V_2 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 + Z_{23}I_3 + Z_{24}I_4 \quad (7)$$

$$V_3 = Z_{31}I_1 + Z_{32}I_2 + Z_{33}I_3 - Z_{34}I_4 \quad (8)$$

$$V_4 = Z_{41}I_1 + Z_{42}I_2 + Z_{43}I_3 - Z_{44}I_4 \quad (9)$$

เขียนในรูปของสมการเมทริกซ์ได้ดังแสดงในสมการที่ 10 ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่พอร์ต 3 และ 4 เท่ากับ $V_3 = V_4$ และกระแสพอร์ต 3 และ 4 จะได้ $I_3 + I_4 = 0$ แก้สมการหาความสัมพันธ์ของ V_1 และ V_2 ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง V_1 และ V_2 ดังแสดงในสมการที่ 11 และหาผลตอบสนองทางความถี่ของตัวแปรเอสหรือ S_{21} ในการออกแบบย่านความถี่ต่างๆ จะได้ S_{21} ดังแสดงในสมการที่ 12

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & Z_{14} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & Z_{24} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} & -Z_{34} \\ Z_{41} & Z_{42} & Z_{43} & -Z_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} \quad (10)$$



$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11T} & Z_{12T} \\ Z_{21T} & Z_{22T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$S_{21} = \frac{2Z_0 Z_{21}}{(1 - Z_{11})(1 - Z_{22}) - Z_{12}Z_{21}} \quad (12)$$

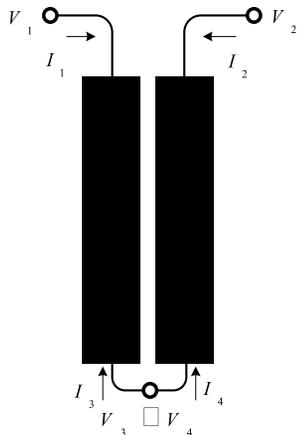


Figure 6 180 degree phase shift of Microstrip parallel-coupled line.

วงจรแบ่งกำลังงานแบบวิลคินสันต่างเฟส 180 องศา

สำหรับวงจรแบ่งกำลังงานแบบวิลคินสันที่ต่างเฟส 180 องศา อาศัยการออกแบบจากโครงสร้างพื้นฐานของวิลคินสันตามที่ได้นำเสนอใน Figure 1 วิลคินสันแบบธรรมดา Figure 3 แบบวิลคินสันนำเสนอใหม่ ซึ่งเพิ่มตัวสายส่งเชื่อมต่อกับขั้วทางด้านพอร์ต 3 ของวงจรวิลคินสัน ดังแสดงใน Figure 7 ในการจำลองการทำงานของวงจรวิลคินสันแบบต่างเฟส 180 องศา ใช้โปรแกรม SONNET@LITE™ โดยการจำลองการทำงานของผลวงจรที่คิดถึงผลกระทบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะใช้โปรแกรม Sonnet-Lite™ ในการวิเคราะห์การทำงาน เพื่อหาผลตอบแทนของทางความถี่ โดยจำลองการออกแบบวงจรวิลคินสันที่ต่างเฟส 180 องศา บนวัสดุรองฐานไมโครเวฟ FR4 ที่มีคุณสมบัติค่าตัวแปรดังนี้ $\epsilon_r = 4.5, H = 1.6 \text{ mm}, T = 35 \text{ mm}$ และ $\tan \delta = 0.02$ ออกแบบวงจรวิลคินสันทำงานที่ความถี่ 1.6 กิกะเฮิรตซ์ เพื่อใช้สำหรับการพัฒนางานด้านการวัดความถี่ในงานดาราศาสตร์ ของวงจรแบ่งกำลังในช่วงย่านความถี่ L-Band

ผลการจำลองการทำงานของของวงจรวิลคินสัน (Figure 5) พบว่าการเพิ่มสายส่งเชื่อมต่อกับขั้วหน้าที่เลื่อนเฟสของสัญญาณผลการจำลองในทางทฤษฎีดังแสดงใน Figure 8 พารามิเตอร์แบบกระจายของวงจรวิลคินสันแบบเลื่อนเฟสที่ความถี่ 1.6 กิกะเฮิรตซ์ ผลปรากฏว่าค่าการ

สูญเสียจากการใส่แทรก (Insertion loss, S_{21}) เท่ากับ 3.25 เดซิเบล (dB) และค่าการสูญเสียจากการใส่แทรก (Insertion loss, S_{31}) เท่ากับ 4.09 เดซิเบล (dB) ค่าความสูญเสียจากการย้อนกลับ (Return loss, S_{11}) เท่ากับ 16.07 เดซิเบล (dB) และค่าความสูญเสียจากการไอโซเลชัน (Isolation, S_{32}) เท่ากับ 47.01 เดซิเบล (dB) ที่ความถี่ทำงานตามลำดับ และผลต่างเฟสของวงจรวิลคินสันระหว่างพอร์ต 2 กับพอร์ต 3 ต่างกัน 180 องศาที่ความถี่ 1.6 กิกะเฮิรตซ์ ดังแสดงใน Figure 9 ตามลำดับ

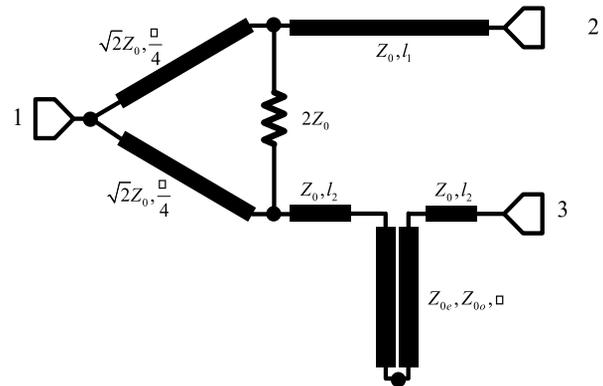


Figure 7 Proposed Schematic 180 degree output difference of Wilkinson power divider.

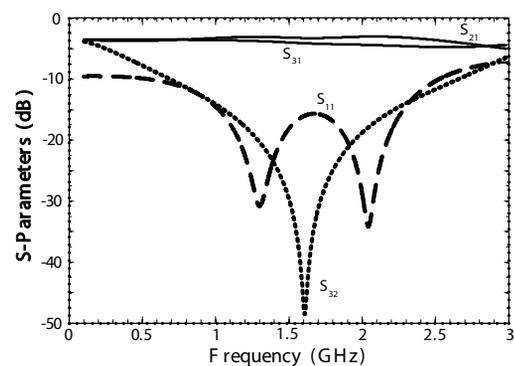


Figure 8 Simulated of frequency response 180 degree output difference of Wilkinson power divider.

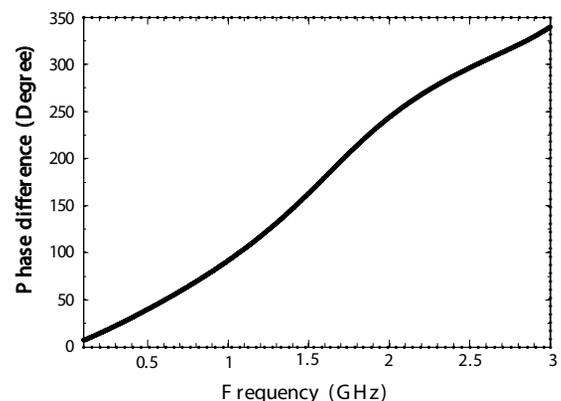


Figure 9 Simulated of phase difference.

จากผลการจำลองในทางทฤษฎีนั้น พบว่าผลตอบสนองของเฟสของ S_{21} และ S_{31} ที่ความถี่กลางของวงจรวิลคินสันที่สามารถเลื่อนเฟส 180 องศา โดยสามารถนำวงจรดังกล่าวทำหน้าที่แทนวงจรบาลันได้และง่ายต่อการสร้างในทางกายภาพ ซึ่งหัวข้อต่อไปจะนำเสนอผลการจำลองผลการทำงานที่คิดผลกระทบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยโปรแกรม Sonnet-Lite™ สำหรับการสร้างแผ่นวงจรจริงตามลำดับ

ผลการทดลองและอภิปรายผล

จาก Figure 10 ผลการจำลองการทำงานของวงจربางกำลังงานวิลคินสันต่างเฟส 180 องศา ที่สร้างจากเทคนิคที่นำเสนอต่อสายส่งเชื่อมต่อคู่ขนานเข้าไปพอร์ต 3 ดังที่ได้นำเสนอ นั้น ปรากฏว่าการสูญเสียจากการใส่แทรก S_{21} เท่ากับ 4.1 เดซิเบล (dB) ดังแสดงใน Figure 10 (A) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองทางด้านทฤษฎีกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Momentum method) ค่าการสูญเสียจากการใส่แทรก S_{21} ที่ความถี่ 1.6 กิกะเฮิรตซ์ อยู่ในช่วงที่ทิศทางเดียวกัน และกรณีนี้ที่เพิ่มสายส่งเชื่อมต่อคู่ขนานทางด้านพอร์ต 3 พบว่าผลของการสูญเสียจากการใส่แทรก S_{31} เท่ากับ 4.09 เดซิเบล (dB) ดังแสดงใน Figure 10 (B) ผลที่ได้จากการจำลองทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรวิลคินสันที่ได้นำเสนอมีประสิทธิภาพที่ดี ซึ่งขนาดสัญญาณมีความสมมาตรกันที่ความถี่ทำงาน จาก Figure 11 ค่าความสูญเสียจากการย้อนกลับ S_{11} เท่ากับ 17.81 เดซิเบล (dB) ที่ความถี่ทำงานซึ่งมีค่าในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่าความสูญเสียไอโซเลชัน S_{32} เท่ากับ 13.59 เดซิเบล (dB) ที่ความถี่ทำงาน ดังแสดงใน Figure 12 ในขณะที่ผลตอบสนองความต่างเฟสของ S_{21} และ S_{31} ที่ความถี่กลางของวงจรวิลคินสันที่จำลองมาความถี่กลางมีค่าประมาณ 179.1 องศา ดังแสดงใน Figure 13 ซึ่งจะพบว่าผลตอบสนองทางขนาดและทางเฟสของวงจรวิลคินสันมีความสมมูลใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติ

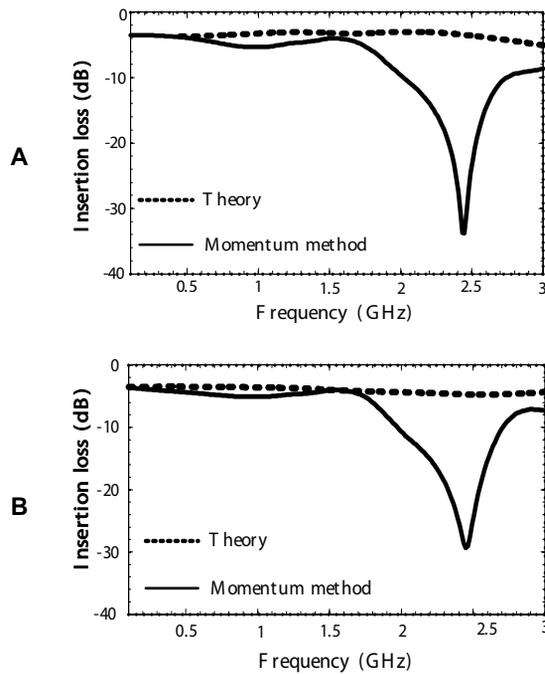


Figure 10 Performance of 180 degree output difference of Wilkinson power divider.

A. Insertion loss port 2 (S_{21})

B. Insertion loss port 3 (S_{31})

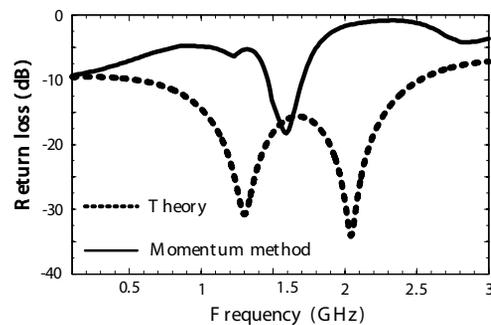


Figure 11 Performance of return loss 180 degree output difference of Wilkinson power divider.

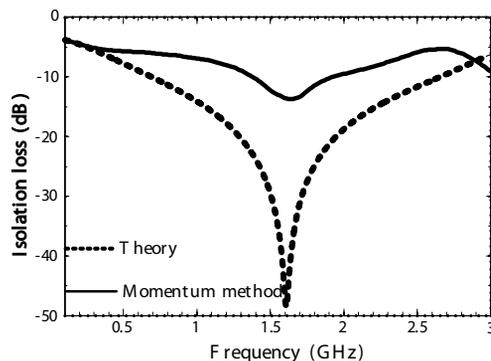


Figure 12 Performance of isolation loss 180 degree output difference of Wilkinson power divider.

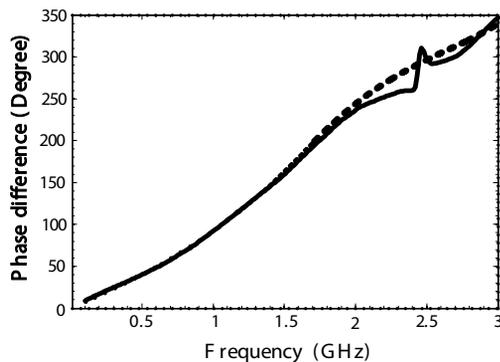


Figure13 Absolute of phase difference.

อย่างไรก็ตามผลการจำลองในทางอุดมคติและผลการจำลองทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเปรียบเทียบกันในด้านความถี่ทำงานมีความใกล้เคียงกัน แต่ก็มีค่าการสูญเสียจากการจากการย้อนกลับที่ไม่สมดุลกัน ซึ่งเกิดจากการปรับความสมดุลของอิมพีแดนซ์ด้านอินพุต แต่จุดเด่นของวิลคินสันแบบต่างเฟส 180 องศาที่นำเสนอนี้ สามารถนำวงจรดังกล่าวใช้แทนวงจรบาลันที่สามารถสร้างวงจรจริงได้โดยจะมีราคาถูกต่างจากการใช้สายส่งไมโครสตริปแบบสายส่งเชื่อมต่อกับคูชานานที่มีค่าสัมประสิทธิ์เชื่อมต่องสูง (Tight coupling) ซึ่งมีความยุ่งยากต่อการสร้างต้องใช้เทคโนโลยีที่สูง^{2,3} สามารถที่จะนำวงจรนี้ไปสร้างเป็นเครื่องมือวัดสำหรับงานในหลายๆ ด้านที่จำเป็นต่อการพัฒนาประเทศต่อไป

สรุปผลการทดลอง

วงจรแบ่งกำลังงานวิลคินสันที่ต่างเฟส 180 องศาที่ได้นำเสนอประกอบส่วนของวงจรแบ่งกำลังงานวิลคินสันและสายส่งเชื่อมต่อกับคูชานานที่มีทำหน้าที่เลื่อนเฟส 180 องศา เมื่อทำการจำลองทางอุดมคติและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า พบว่าประสิทธิภาพของวงจรแบ่งกำลังงานวิลคินสันที่นำเสนอค่าการสูญเสียจากการใส่แทรก ค่าความสูญเสียจากการย้อนกลับ และค่าความสูญเสียจากการโอโซเลชัน ที่ความถี่ทำงานได้อย่างดี สามารถนำวงจรแบ่งกำลังงานวิลคินสันทำหน้าที่วงจรบาลันได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัย CEMOS (Research Unit for Computational Electromagnetic and Optical Systems และ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. M.C. Tsai., A compact wide-band balun. IEEE Microwave Milliter-Wave Monolithic Circuit Symp. Dig 1993;123-125.
2. C. Cho and K.C. Guta., A new design prceduer for single-layer and two-layer three-line balun. IEEE Trans. Microw. Theory Tech; 1998 Dec;46:(12):2514-2519.
3. K.S. Ang. and I.D. Robertson., Analysis and design of impedance-transforming planar Machand Balun. IEEE Trans. Microw. Theory Tech; 2001 Feb ;49:(2): 402-406.
4. ระวี พรหมหลวงศรี. สายส่งเชื่อมต่อกับคูชานานไมโครสตริปแบบเชื่อมต่อด้วยตัวเหนี่ยวนำและการประยุกต์ใช้งาน. วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร; 2549.
5. David M. Pozar. Microwave Engineering, 4th Edition. New York: Wile; 2011. p. 317- 333.