



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

พัฒนาตัวกระจายสัญญาณความต่างย่านความถี่สูงยิ่ง

UHF Balun Development

นายฉัตรพล ภาคศิริ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2561

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

พัฒนาตัวกระจายสัญญาณความถี่สูงยิ่ง

UHF Balun Development

นายฉัตรพล ภคศิริ

600264355
RC00021

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2561

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) พัฒนาตัวกระจายสัญญาณความต่างย่านความถี่สูงยิ่ง.....
แหล่งเงิน เงินรายได้.....
ประจำปีงบประมาณ 2561..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 125,000..... บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1..... ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 2560 ถึง 30 ก.ย. 2561

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
นาย. ฉัตรพล. ภาคศิริ. วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง. โทร. 02-329-8264. email: chatrpol.pa@kmitl.ac.th
(หัวหน้าโครงการ).....

บทคัดย่อ

วงจร Balun ขนาดกะทัดรัดย่านความถี่ 433 MHz สามารถจำลองวิธีการแปลงอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายที่เป็นจำนวนเชิงซ้อนให้เป็นค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดที่เป็นจำนวนเชิงซ้อน การออกแบบ Balun มีพื้นฐานจากวงจรคู่สาย Balun การจำลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานที่ความถี่ 433 MHz

คำสำคัญ : อิมพีแดนซ์เชิงซ้อน, Balun, lumped-components

Research Title: UHF Balun development.....
Researcher:..... Chatrpol Pakasiri.....
Faculty: College of Advanced Manufacturing Innovation..... Department:-

ABSTRACT

A 433 MHz compact size balun that can transform a complex source impedance value to a complex load impedance value is demonstrated. The balun design is based on a coupled-line coupler balun. The simulation shows a good performance at 433 MHz operating frequency.

Keywords : Complex impedance, balun, lumped-components



กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่สามารถกล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณ นาย กิตติพงศ์ นิธิประเดชะ ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆ ในการทำโครงการนี้ การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

ฉัตรพล ภาคศิริ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	1
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
บทที่ 2 ตัวกระจายสัญญาณ.....	2
2.1 ตัวกระจายสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์เป็นจำนวนเชิงซ้อนโดยใช้ coupled-line.....	2
2.2 การใช้วิธี Lumped-components ในการแปลงวงจร Balun ที่มีอิมพีแดนซ์จำนวนเชิงซ้อน.....	3
บทที่ 3 การออกแบบเสาอากาศแบบลูบตัวกระจายสัญญาณผลต่างขนาดเล็ก.....	5
บทที่ 4 การจำลองตัวกระจายสัญญาณ.....	7
4.1 แบบจำลองอิมพีแดนซ์เชิงซ้อนของแหล่งจ่าย และ โหลด.....	7
4.2 ผลการจำลองการทำงานของวงจรตัวกระจายสัญญาณ.....	8
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	11
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	11
5.2 การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ(Publications).....	11
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	11
บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง.....	12
ประวัตินักวิจัย.....	13
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยเผยแพร่.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าพารามิเตอร์ของวงจร Balun	8
4.2 ค่าของ Lumped-component ในวงจร Balun	8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างวงจรกระจายสัญญาณแบบ coupled-line [1].....	2
2 โครงสร้างวงจร Lumped-component transmission line	4
3 โครงสร้างของเครื่องกระจายสัญญาณโดยใช้ transmission line.....	5
4 โครงสร้างของเครื่องกระจายสัญญาณโดยใช้ lumped components.....	5
5 โครงสร้างของเครื่องกระจายสัญญาณโดยใช้ lumped components โดยลดรูปตัวเก็บประจุ.....	6
6 วงจรแมชชีงเน็ตเวิร์คของวงจรแหล่งจ่ายและพอร์ท 1	7
7 วงจรแมชชีงเน็ตเวิร์คของวงจรตัวรับและพอร์ท 2, 3	7
8 ผลการทดลองการออกแบบหมายเลข 1 (a) ขนาดของสัญญาณ (Magnitude) และ (b) มุมของ S-parameters ของวงจร Balun.....	9
9 ผลการทดลองการออกแบบหมายเลข 2 (a) ขนาดของสัญญาณ (Magnitude) และ (b) มุมของ S-parameters ของวงจร Balun.....	10

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องกระจายสัญญาณเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการเชื่อมต่อวงจรต่างๆ หรือใช้ในการวัด ในย่านความถี่สูงเครื่องกระจายสัญญาณจะต้องมีการออกแบบเพื่อให้การกระจายพลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เครื่องกระจายสัญญาณที่มีขายในท้องตลาดอาจมีคุณสมบัติไม่สอดคล้องกับวงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อ ดังนั้นการพัฒนาเครื่องกระจายสัญญาณจึงมีความสำคัญเพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ตัวกระจายสัญญาณที่ใช้งานในย่านความถี่สูงยิ่ง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

อุปกรณ์ตัวกระจายสัญญาณที่ใช้งานในย่านความถี่สูงยิ่ง

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

1.4.1 ออกแบบเครื่องกระจายที่ความถี่ UHF โดยใช้การจำลองโดย โปรแกรม ADS (Advanced Design System)

1.4.2 ลดขนาดวงจรโดยใช้อุปกรณ์ lumped components และทำการจำลองโดยใช้ โปรแกรม ADS

1.4.3 สรุปผลการทำโครงการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 รู้และเข้าใจหลักการการทำงานแนวทางการออกแบบและการสร้างตัวกระจายสัญญาณย่านความถี่สูงยิ่ง

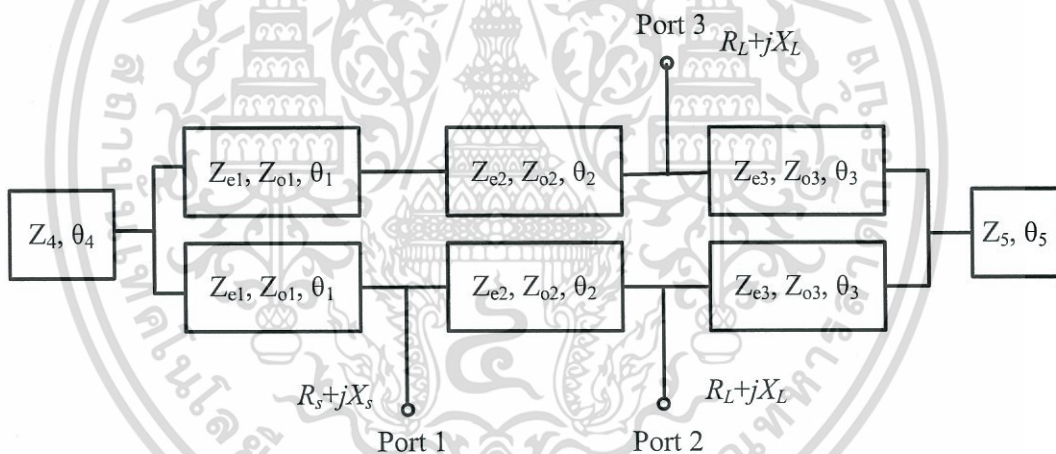
1.5.2 สามารถสร้างตัวกระจายสัญญาณที่ความถี่ 433 MHz

บทที่ 2 ตัวกระจายสัญญาณ

เครื่องกระจายสัญญาณ (Balun) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการกระจายสัญญาณ และเปลี่ยนสัญญาณจากลักษณะที่เป็น common mode ไปเป็นแบบ differential mode โดยปกติการเชื่อมต่อเครื่องกระจายสัญญาณจำเป็นต้องคำนึงถึงค่า impedance ของ อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ ซึ่งค่า impedance ของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออาจเป็นจำนวนจริง หรือ จำนวนเชิงซ้อนก็ได้ การออกแบบ Balun ที่มีค่า impedance เชื่อมต่อ เป็นจำนวนเชิงซ้อน จะมีความซับซ้อนมากกว่า การเชื่อมต่อ กับ อุปกรณ์ที่มีค่า impedance เป็นจำนวนจริง

2.1 ตัวกระจายสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์เป็นจำนวนเชิงซ้อนโดยใช้ coupled-line

Zhang, et al. [1] ได้ออกแบบ Balun ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่มีค่า impedance เป็นจำนวนเชิงซ้อน ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งวงจรที่ใช้จะเป็น coupled-line coupler ในรูปวงจรถะประกอบด้วย 3 port คือ port 1 เป็น อินพุทพอร์ท จะมีค่า impedance เป็น $R_L + jX_L$ ส่วน output port จะเป็น port 2 and port 3 ซึ่งมีค่า impedance เท่ากัน คือ $R_L + jX_L$ สัญญาณที่จ่ายที่เอาต์พุทจะต้องมีขนาดเท่าๆกัน แต่มีเฟสต่างกัน 180°



รูปที่ 1 โครงสร้างวงจรถะกระจายสัญญาณแบบ coupled-line [1]

สำหรับเงื่อนไขให้วงจรมีการทำงานได้ตามคุณสมบัติของ Balun ดังกล่าว Leong, et al. [2] ได้มีการศึกษาเงื่อนไขที่มีพอเพียงคือ

$$T_{\text{even}} = 0, \quad (1)$$

$$S_{11e} + S_{11o} - 2S_{11e}S_{11o} = 0, \quad (2)$$

โดย T_{even} คือค่า transmission coefficient ใน even mode จาก port 1 ไป port 2, S_{11e} คือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ใน even mode ที่ port 1, และ S_{11o} คือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับใน odd mode ที่ port 1.

สำหรับการออกแบบโดยใช้ coupled-line coupler จะมีสมการที่เกี่ยวข้อง คือ

$$Z_4 = 0.5Z_{e1} \quad (3)$$

$$Z_5 = 0.5Z_{e3} \quad (4)$$

$$\theta_4 = 90^\circ - \theta_1 \quad (5)$$

$$\theta_5 = 90^\circ - \theta_3, \quad (6)$$

$$\theta_2 = 90^\circ, \quad (7)$$

โดย Z_{e1}, θ_1 และ Z_{e3}, θ_3 คือ even mode characteristic impedances และ electrical length ของ T.L. 1 and 3 ตามลำดับ, Z_4, θ_4 และ Z_5, θ_5 คือ characteristic impedances และ electrical length of T.L. 4 and 5 ตามลำดับ ส่วน electrical length T.L.2 จะถูกเลือกเป็น 90° และ odd mode characteristic impedance ของ T.L. 3 สามารถเลือกได้, เราสามารถคำนวณ odd mode characteristic impedance ของ T.L. 1 และ 2 ได้ดังนี้ [1]

$$Z_{o1} = \frac{2(R_L R_S^2 Z_{o3} \cot(\theta_1) + R_L X_S^2 Z_{o3} \cot(\theta_1))}{R_S X_L Z_{o3} - R_L X_S Z_{o3} + R_L^2 R_S \cot(\theta_3) + R_S X_L^2 \cot(\theta_3)} \quad (8)$$

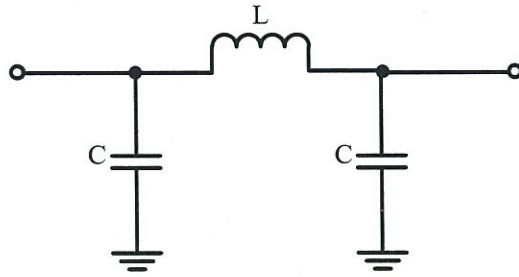
$$Z_{o2} = \frac{Z_{o3} \sqrt{2R_L(R_S^2 + X_S^2)}}{\sqrt{R_S Z_{o3}^2 + 2R_S X_L Z_{o3} \cot(\theta_3) + R_S R_L^2 \cot^2 \theta_3 + R_S X_L^2 \cot^2 \theta_3}} \quad (9)$$

โดย $R_S + jX_S$ คือค่า complex impedance ที่ source (port 1) และ $R_L + jX_L$ คือ complex impedance ที่ load (port 2 and port 3).

การออกแบบตัวกระจายสัญญาณโดยใช้ coupled-line balun แม้ว่าจะทำงานได้อย่างดี แต่ที่ความถี่ต่ำ (UHFม 433MHz) ขนาดของตัวกระจายสัญญาณอาจใหญ่เกินไป ในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบให้ตัวกระจายสัญญาณมีขนาดเล็กลงด้วย ซึ่งการลดขนาดของตัวกระจายสัญญาณสามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ lumped component ดังแสดงต่อไปนี้

2.2 การใช้วิธี Lumped-components ในการแปลงวงจร Balun ที่มีอิมพีแดนซ์จำนวนเชิงซ้อน

การแปลงวงจรคู่สายให้เป็นวงจร Lumped component ต้องทำให้คุณสมบัติของอิมพีแดนซ์ในโหมดจำนวนคู่และโหมดจำนวนคี่ของแต่ละส่วนในวงจรคู่สายมีค่าเท่ากัน (ค่าสัมประสิทธิ์ของคู่สายต้องเท่ากับศูนย์) จากนั้นคุณสมบัติของ T.L. ทั้งหมดสามารถหาได้จากสมการที่ (3)-(9) โดยค่า Z_3, θ_1, θ_3 เป็นค่าที่กำหนดมาแล้ว โครงสร้างวงจร Lumped-component T.L. จะมีลักษณะดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างวงจร Lumped-component transmission line
การหาค่าต่าง ๆ ในวงจรสามารถทำได้ดังนี้

$$L = \frac{Z_0}{\omega} \sqrt{1 - (\cos(\theta))^2}, \quad (10)$$

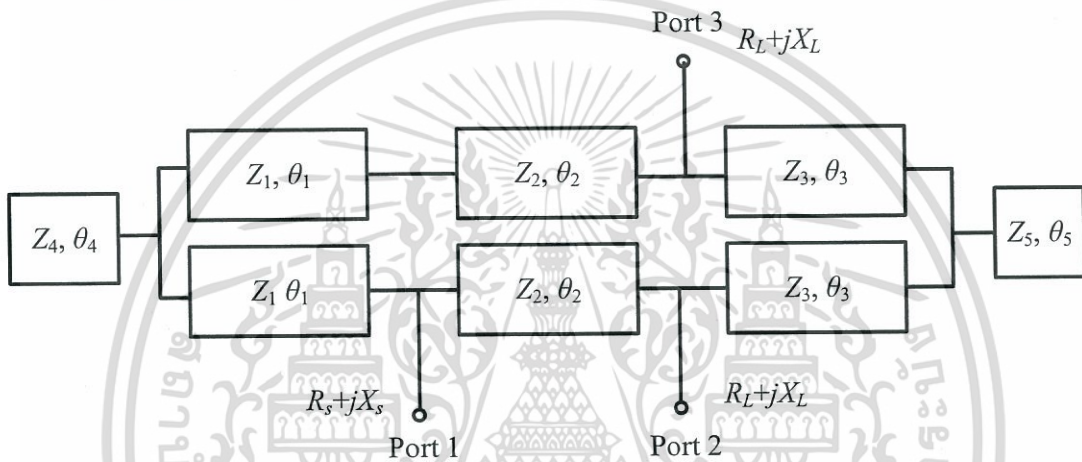
$$C = \frac{1}{\omega Z_0} \sqrt{\frac{1 - \cos(\theta)}{1 + \cos(\theta)}}, \quad (11)$$

โดยที่ ω คือคุณสมบัติเชิงมุมของความถี่, Z_0 และ θ คือลักษณะของอิมพีแดนซ์และความยาวเชิงไฟฟ้าของ T.L. ตามลำดับ

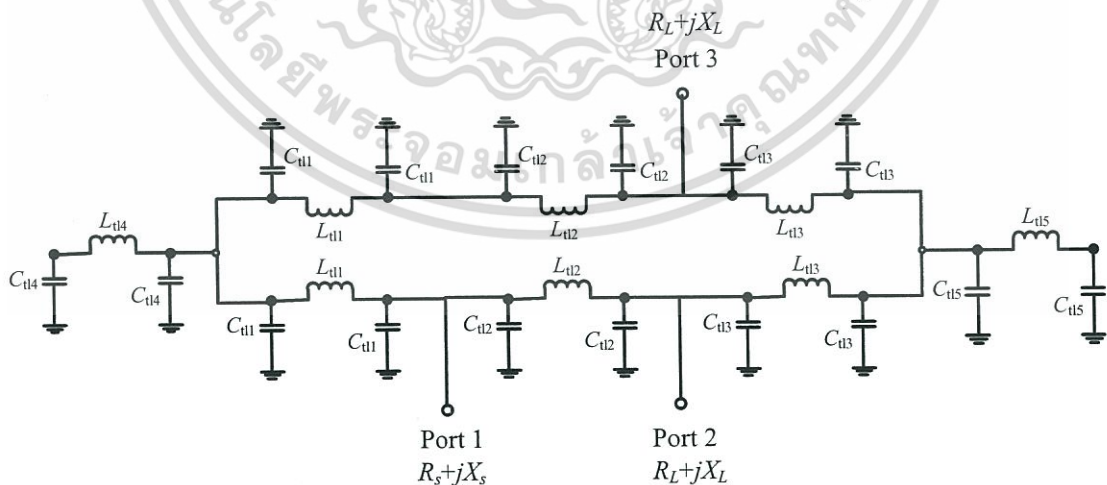
บทที่ 3

ตัวกระจายสัญญาณผลต่างขนาดเล็ก

เพื่อให้ตัวกระจายสัญญาณผลต่างมีขนาดเล็กที่ความถี่ UHF วงจรจึงต้องลดการใช้ distributed transmission line แต่รูปแบบของวงจรกระจายสัญญาณมีพื้นฐานมาจาก distributed transmission line การออกแบบจึงต้องมีการดัดแปลงวงจรให้เหมาะสม อันดับแรก ให้ transmission lines ในรูปที่ 1 มี coupling factor เท่ากับศูนย์ ดังนั้น characteristic impedance ของ transmission line จะมีค่าเท่ากันสำหรับ even และ odd modes วงจรจะกลายเป็นแบบรูปที่ 3

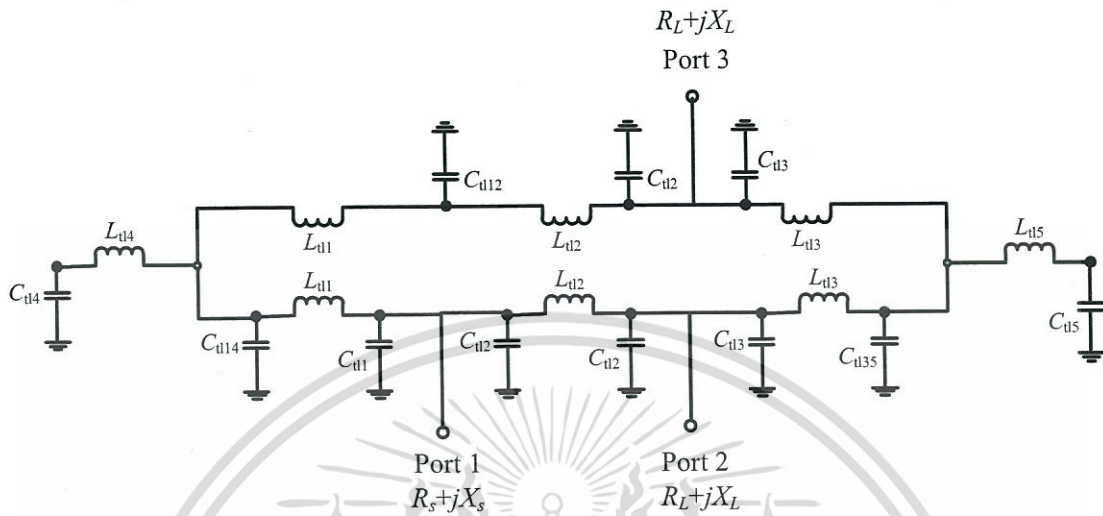


รูปที่ 3 โครงสร้างของเครื่องกระจายสัญญาณโดยใช้ transmission line คุณสมบัติของ transmission line แต่ละอันสามารถหาได้จากสมการที่ (3)-(9) จากนั้น transmission line แต่ละอันจะถูกแปลงเป็น lumped component ตามรูปที่ 2 โดยใช้คุณสมบัติของ transmission line ที่หาได้มาหาค่า lumped component จากสมการที่ (10)-(11) วงจรที่ได้จะเป็นไปตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างของเครื่องกระจายสัญญาณโดยใช้ lumped components

ตัวเก็บประจุที่ต่อขนานสามารถนำมารวมกันและแปลงวงจรได้ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 โครงสร้างของเครื่องกระจายสัญญาณโดยใช้ lumped components โดยลดรูปตัวเก็บประจุ

ในการศึกษาผลการทำงานของวงจรจะมีในบทต่อไป

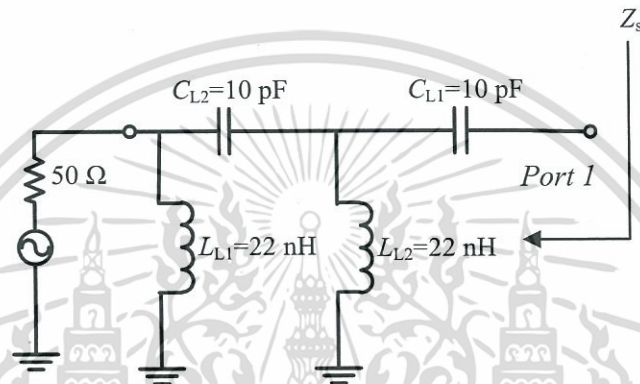


บทที่ 4

การจำลองตัวกระจายสัญญาณ

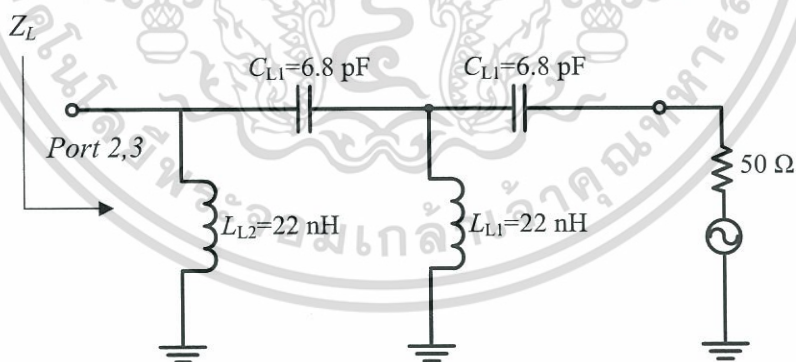
4.1 แบบจำลองอิมพีแดนซ์เชิงซ้อนของแหล่งจ่าย และ โหลด

เพื่อให้อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายและโหลดมีค่าเป็นจำนวนเชิงซ้อน วงจรแมชชีนเน็ตเวิร์คได้เพิ่มเข้ามา ระหว่างแหล่งจ่ายหรือโหลดกับ พอร์ต 1 หรือพอร์ตสองและสาม รูปที่ 6 แสดงวงจรแมชชีนเน็ตเวิร์คของวงจร แหล่งจ่ายและพอร์ต 1



รูปที่ 6 วงจรแมชชีนเน็ตเวิร์คของวงจรแหล่งจ่ายและพอร์ต 1

ค่าอิมพีแดนซ์เมื่อมองจาก port 1 ไปยังแหล่งจ่ายสามารถคำนวณได้คือ $Z_s = 33.573 - j31.281 \Omega$ ที่ความถี่ 433 MHz ในส่วนของโหลด ค่าอิมพีแดนซ์จะแตกต่างจากส่วนของแหล่งจ่าย โดยวงจรแมชชีนเน็ตเวิร์คของวงจรแหล่งจ่ายและพอร์ต 2 และ 3 แสดงได้ตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 วงจรแมชชีนเน็ตเวิร์คของวงจรตัวรับและพอร์ต 2, 3

ค่าอิมพีแดนซ์เมื่อมองจาก port 2, 3 ไปยังแหล่งตัวรับสามารถคำนวณได้คือ $Z_L = 58.89 - j55 \Omega$ ที่ความถี่ 433 MHz

4.2 ผลการจำลองการทำงานของวงจรตัวกระจายสัญญาณ

ในการออกแบบ พารามิเตอร์ที่ถูกเลือกคือ $Z_3 = 50\Omega, \theta_1 = 10^\circ, \theta_3 = 10^\circ$ ในส่วนของพารามิเตอร์ T.L. อื่น ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการข้างต้นโดยค่าที่ได้จากการคำนวณถูกบันทึกไว้ในตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของวงจร Lumped-component ที่คำนวณจากสมการที่ (10) และ (11) ถูกแสดงไว้ที่ การออกแบบหมายเลข 1 และตารางที่ 4.2 และยังมีการทดลองจากวงจร Lumped component ที่ใช้อุปกรณ์ที่เป็นค่าจริงซึ่งถูกแสดงไว้ที่ตารางที่ 2 การออกแบบหมายเลข 2

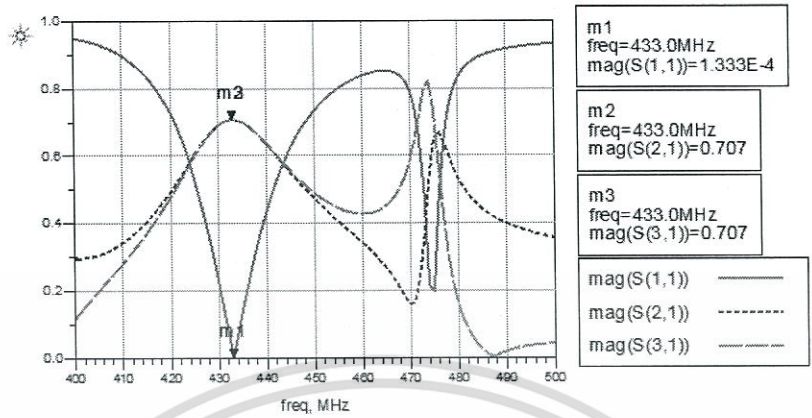
ตารางที่ 4. ค่าพารามิเตอร์ของวงจร 1Balun

Transmission line	Characteristic Impedance (Ω)	Electrical Length ($^\circ$)
1	56.894	10
2	10.125	90
3	50	10
4	28.45	80
5	25	80

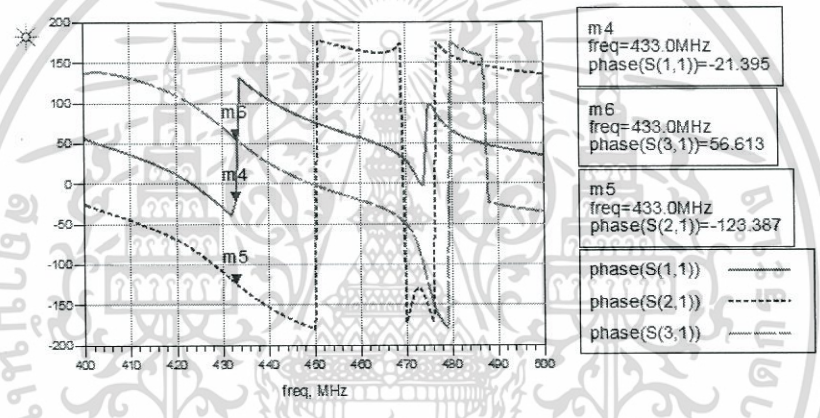
ตารางที่ 4.2 ค่าของ Lumped-component ในวงจร Balun

Transmission line	Design #1		Design #2	
	L (nH)	C (pF)	L (nH)	C (pF)
1	3.631	0.565	3.75	0.5
2	3.722	36.3	3.75	36.3
3	3.191	0.643	3.2	0.6
4	10.3	10.8	10	10
5	9	12.3	9.1	12

รูปที่ 8 และรูปที่ 9 แสดงผลการทดลองที่เป็น S-parameters ของวงจร Balun ที่ใช้โปรแกรม ADS [3] ซึ่งผลการทดลองถูกแสดงไว้ที่การออกแบบหมายเลข 1 ที่ให้ผลที่ดีที่สุด ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับค่าในทางอุดมคติ ในขณะที่การออกแบบหมายเลข 2 ซึ่งใช้ค่าอุปกรณ์จริง วงจรจะมีประสิทธิภาพด้อยลง แต่ก็ยังทำงานอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้



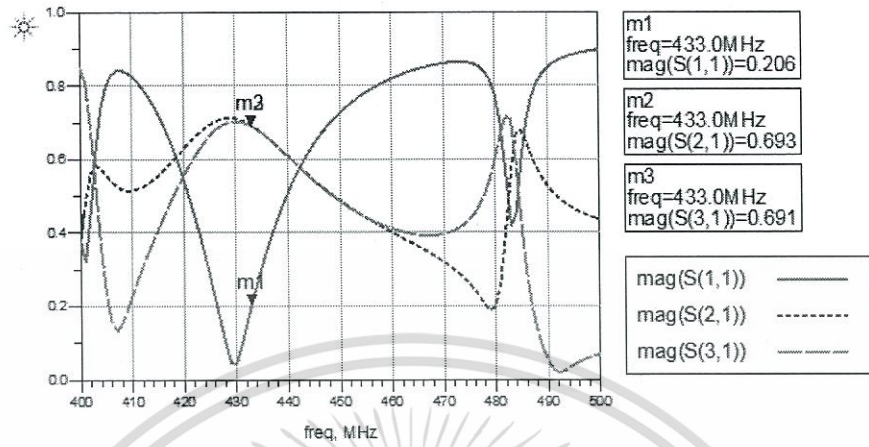
(a)



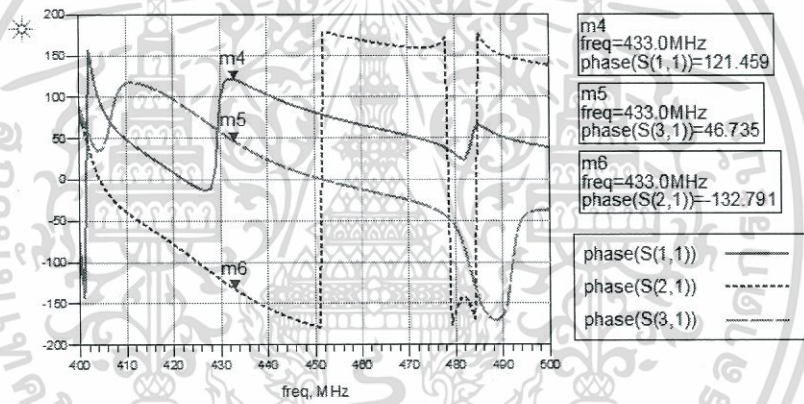
(b)

รูปที่ 8 ผลการทดลองการออกแบบหมายเลข 1(a) ขนาดของสัญญาณ (Magnitude) และ (b) มุมของ (S-parameters ของวงจร Balun

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 9 ผลการทดลองการออกแบบหมายเลข 2) a) ขนาดของสัญญาณ (Magnitude) และ (b) มุมของ (S-parameters) ของวงจร Balun

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในโครงการนี้ได้ทำการศึกษาการสร้างตัวกระจายสัญญาณแบบผลต่าง ซึ่งมีตัวส่งสัญญาณจ่ายสัญญาณเข้าทางพอร์ท 1 และกระจายสัญญาณไปยัง พอร์ท 2 และ พอร์ท 3 ขนาดของสัญญาณที่พอร์ท 2 และ พอร์ท 3 มีขนาดเท่ากัน แต่มีเฟสต่างกัน 180° ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ที่พอร์ท 1 และ พอร์ท 2, 3 อาจมีค่าแตกต่างกัน และยังสามารถเป็นค่าจำนวนเชิงซ้อนได้ด้วย การที่ค่าอิมพีแดนซ์ที่พอร์ท 1 และ พอร์ท 2, 3 อาจมีค่าแตกต่างกัน และมีค่าเป็นจำนวนเชิงซ้อน จะสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น โดยค่าอิมพีแดนซ์ที่เป็นจำนวนเชิงซ้อนสามารถพบได้ทั่วไปในการออกแบบวงจร

5.1 สรุปผลการวิจัย

การออกแบบวงจรกระจายสัญญาณผลต่าง ได้ใช้สมการการออกแบบเริ่มต้นจากวงจรกระจายสัญญาณที่เป็นแบบ coupled-line คือเป็นลักษณะของสายส่งแบบเชื่อมโยง ซึ่งวงจรลักษณะนี้ จะมีขนาดใหญ่มาก หากนำมาใช้งานในย่านความถี่ 433 MHz ในโครงการนี้ได้นำเสนอการลดขนาดของวงจรโดยใช้ lumped circuit การออกแบบ จะแปลงจากวงจรแบบ coupled-line ไปเป็น lumped circuit วงจรที่ออกแบบได้ถูกจำลองโดยโปรแกรม ADS ซึ่งให้ผลการจำลองที่เป็นไปทางอุดมคติ จากนั้นค่าอุปกรณ์จริงได้ถูกนำมาใช้ในการจำลอง ผลการจำลองพบว่า ประสิทธิภาพของวงจรกระจายสัญญาณลดลง แต่ยังคงอยู่ในระดับที่สามารถใช้งานได้ดี

5.2 การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ(Publications)

Conference paper:

C. Pakasiri, K. Nithiporndecha "A 433 MHz compact complex impedance transforming balun," The 2017 International Symposium on Antennas and Propagation, 30 Oct. - 2 Nov., Phuket, Thailand.

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการสร้างวงจรกระจายสัญญาณสามารถพัฒนาให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่เอาท์พุทพอร์ท (2,3) ให้มีค่าใกล้เคียงศูนย์ เพื่อให้พลังงานสามารถกระจายเข้าสู่เอาท์พุทได้ดียิ่งขึ้น คุณสมบัตินี้จำเป็นต้องมีการศึกษาอย่างละเอียดต่อไป

บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Zhang, et al., "A complex impedance-transforming coupled-line balun," Prog. Electromagn. Res. Letters, vol. 48, pp. 123-128, 2014.
- [2] Y. C. Leong, et al., "A derivation of a class of 3-port baluns from symmetrical 4-port networks," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest, Seattle, WA, United States, June 2002, vol. 2, pp. 1165-1168.
- [3] Advanced Design System, Agilent Technologies, Inc., 2014.



ประวัตินักผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นัทรพล ภคศิริ.....
 เพศ ชาย หญิง วันเดือนปีเกิด..... 20 ม.ค. 2518..... อายุ..... 43..... ปี
 สถานภาพ โสด สมรส
 ตำแหน่งปัจจุบัน
 ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	อิเล็กทรอนิกส์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2539
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	ECE	University of Houston, Texas, U.S.A.	2544
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	EECS	National Chiao Tung University, Taiwan	2556
วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต	ECE	University of Houston, Texas, U.S.A.	2548

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)..... การประยุกต์ทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง การออกแบบเสาอากาศ..... การใช้ระเบียบวิธีทางตัวเลขในการศึกษาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
-	-	-

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2542	Research assistantships	University of Houston
2554	Scholarships	National Chiao Tung University

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ).....

- 1) Pakasiri, C. and Torrungrueng, D., "Forward-backward Method with a Spectral Acceleration Algorithm for Capacitance Extraction of Planar Structures on a Single-

Layered Medium,” *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 56, no. 3, March 2014, pp. 694-700.

- 2) Lertsirimit, C. and Torrungrueng, D., “Fast capacitance extraction for finite planar periodic structures using the generalized forward-backward and novel spectral acceleration method,” *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 96, pp. 251-266, 2009.
- 3) Lertsirimit, C., Jackson, D. R., Wilton, D. R., “An efficient hybrid method for calculating the EMC coupling to a device on a printed circuit board inside a cavity by a wire penetrating an aperture,” *Electromagnetics*, vol. 25, pp. 637-654, 2005.
- 4) Lertsirimit, C., Jackson, D. R., Wilton, D. R., “Time-domain coupling to a device on printed circuit board inside a cavity,” *Radio Science*, vol. 40, pp. 1-12, 2005.
- 5) Wang, Y.J., Liao, I-No, Tsai, C.H., Pakasiri, C., “A Millimeter-Wave In-Phase Gate-Boosting Rectifier,” *IEEE Trans. Micro. Theo. Tech.*, pp. 2768-2783, Nov 2014.

ภาคผนวก ก

ผลงานวิจัยเผยแพร่

โครงการนี้ได้ทำเผยแพร่ผลงานวิจัย ที่ “The 2017 International Symposium on Antennas and Propagation” หรือ ISAP2017 ซึ่งจัดในช่วงวันที่ 30 ตุลาคม 2017-2 พฤศจิกายน 2017 ณ โรงแรม Phuket Graceland Resort & SPA, Phuket ประเทศไทย ในหัวข้อเรื่อง “A 433 MHz Compact Complex Impedance-Transforming Balun” ผลงานวิจัยนี้ได้ถูกเผยแพร่ ในฐานข้อมูล Scopus



A 433 MHz Compact Complex Impedance-Transforming Balun

Charpol Pakasiri, Kittipong Nithiporndech
 College of Advanced Manufacturing Innovation
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Bangkok, Thailand
 chatrpol@gmail.com

Abstract—A 433 MHz compact size balun that can transform a complex source impedance value to a complex load impedance value is demonstrated. The balun design is based on a coupled-line coupler balun. The simulation shows a good performance at 433 MHz operating frequency.

Keywords—Complex impedance; Balun;lumped-components

I. INTRODUCTION

Balun is an important device in changing signal from common mode to differential mode. Normally, three ports connected to a balun have real impedance values. However, complex impedance port values are encountered in circuit design. Zhang, et al. [1] designed the balun that can support complex impedance port values using coupled-line coupler. They designed the balun based on some signal transmission and reflection constraints [2]. Although the coupled-line coupler performance is quite good, its size is quite cumbersome for the operating frequency of 433 MHz. In this paper a compact size complex impedance-transforming balun is designed using lumped components.

II. COMPLEX IMPEDANCE-TRANSFORMING COUPLED-LINE BALUN

First consider a coupled-line balun which can transform a complex impedance from port 1 to the other complex impedance at port 2 and port 3 [1]. Note that the complex impedance values at port 2 and port 3 are equal. The coupled-line balun is shown in Fig. 1. With port 4 terminated with an open-circuited load, even and odd mode analysis can be applied [2]. The sufficient conditions for the balun are [2]

$$T_{even} = 0, \quad (1)$$

$$S_{11e} + S_{11o} - 2S_{11e}S_{11o} = 0, \quad (2)$$

where T_{even} is the transmission coefficient under the even mode from port 1 to port 2, S_{11e} is the reflection coefficient under the even mode at port 1, and S_{11o} is the reflection coefficient under the odd mode at port 1. The transmission line (T.L.) parameters are as follows [1]

$$Z_4 = 0.5Z_{e1}, \quad (3)$$

$$Z_5 = 0.5Z_{e3}, \quad (4)$$

$$\theta_4 = 90^\circ - \theta_1, \quad (5)$$

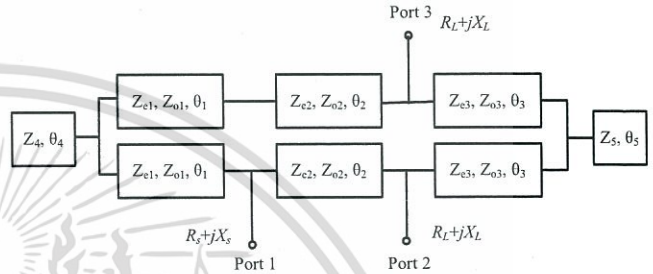


Fig. 1. The circuit structure of the coupled-line balun with complex impedance transformation [1].

$$\theta_5 = 90^\circ - \theta_3, \quad (6)$$

$$\theta_2 = 90^\circ, \quad (7)$$

where Z_{e1}, θ_1 and Z_{e3}, θ_3 are the even mode characteristic impedances and electrical length of T.L. 1 and 3, respectively, Z_4, θ_4 and Z_5, θ_5 are the characteristic impedances and electrical length of T.L. 4 and 5, respectively. With the electrical length of the second T.L. chosen to be 90° and the odd mode characteristic impedance of the T.L. 3 chosen arbitrary, the odd mode characteristic impedance of T.L. 1 and 2 can be calculated as [1]

$$Z_{o1} = \frac{2(R_L R_S^2 Z_{o3} \cot(\theta_1) + R_L X_S^2 Z_{o3} \cot(\theta_1))}{R_S X_L Z_{o3} - R_L X_S Z_{o3} + R_L^2 R_S \cot(\theta_3) + R_S X_L^2 \cot(\theta_3)}, \quad (8)$$

$$Z_{o2} = \frac{Z_{o3} \sqrt{2R_L(R_S^2 + X_S^2)}}{\sqrt{R_S Z_{o3}^2 + 2R_S X_L Z_{o3} \cot(\theta_3) + R_S R_L^2 \cot^2 \theta_3 + R_S X_L^2 \cot^2 \theta_3}}, \quad (9)$$

where $R_S + jX_S$ are complex impedance at the source (port 1) and $R_L + jX_L$ are complex impedance at the load (port 2 and port 3). Even though the coupled-line balun can function properly, its size would be quite cumbersome at 433 MHz. Therefore, lumped components are used to replace the coupled-lines in order to reduce the overall size of the balun.

III. LUMPED-COMPONENTS COMPLEX IMPEDANCE TRANSFORMING BALUN

To transform the coupled lines to lumped component, even and odd mode characteristic impedance of each coupled line is

assumed to be equal (coupling coefficient of the coupled-line is zero). Then all T.L. properties can be found using (3)-(9) with Z_3, θ_1, θ_3 arbitrarily chosen. The lumped-component T.L. structure is shown in Fig. 2.

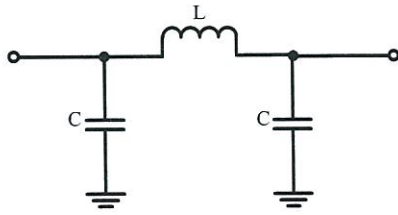


Fig. 2. Lumped-component transmission line structure.

The component values can be found as

$$L = \frac{Z_0}{\omega} \sqrt{1 - (\cos(\theta))^2}, \quad (10)$$

$$C = \frac{1}{\omega Z_0} \sqrt{\frac{1 - \cos(\theta)}{1 + \cos(\theta)}}, \quad (11)$$

where ω is the angular frequency, Z_0 and θ are the characteristic impedance and electrical length of the T.L., respectively.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

The complex source and load impedance are assumed to be $Z_s = 33.573 - j31.281 \Omega$ and $Z_L = 58.89 - j55 \Omega$ at 433 MHz frequency, respectively. The arbitrary parameters chosen are $Z_3 = 50 \Omega, \theta_1 = 10^\circ, \theta_3 = 10^\circ$. All other T.L. parameters are calculated and shown in Table I. Lumped-component T.L. parameters calculated by (10) and (11) are shown as design #1 and Table II. Also practical lumped component values are also shown in Table II as design #2.

TABLE I. T.L. PARAMETERS OF THE BALUN

Transmission line	Characteristic Impedance (Ω)	Electrical Length ($^\circ$)
1	56.894	10
2	10.125	90
3	50	10
4	28.45	80
5	25	80

TABLE II. LUMPED-COMPONENT VALUES OF THE BALUN

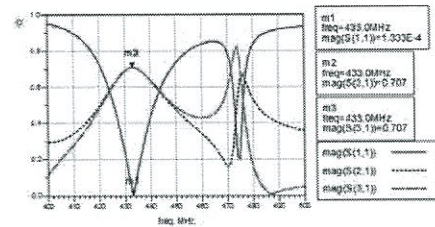
Transmission line	Design #1		Design #2	
	L (nH)	C (pF)	L (nH)	C (pF)
1	3.631	0.565	3.75	0.5
2	3.722	36.3	3.75	36.3
3	3.191	0.643	3.2	0.6
4	10.3	10.8	10	10
5	9	12.3	9.1	12

Figure 3 and 4 show the simulated S-parameters of the baluns using ADS [3]. The results show that the design #1 yields ideal results while the design #2 gives reasonable performance.

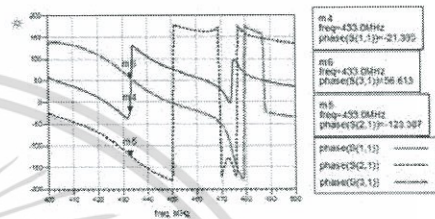
V. CONCLUSIONS

This paper shows compact complex impedance-transforming balun designs. The designed component values

calculated from the T.L. parameters yield the ideal results which are no reflection at the input port and half-power at the output ports. The output ports also have out-of-phase signals. The practical value components give a reasonable performance with out-of-phase signals at the output ports as well.

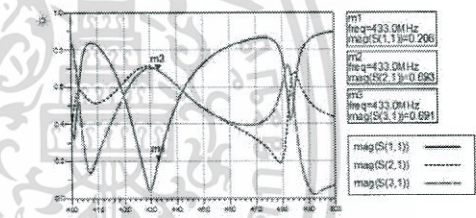


(a)

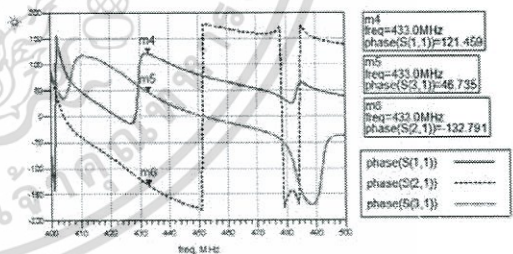


(b)

Fig. 3. Simulation results of design #1. (a) Magnitude and (b) Phase of S-parameters of the balun.



(a)



(b)

Fig. 4. Simulation results of design #2. (a) Magnitude and (b) Phase of S-parameters of the balun.

REFERENCES

- [1] W. Zhang, et al., "A complex impedance-transforming coupled-line balun," *Prog. Electromagn. Res. Letters*, vol. 48, pp. 123-128, 2014.
- [2] Y. C. Leong, et al., "A derivation of a class of 3-port baluns from symmetrical 4-port networks," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest*, Seattle, WA, United States, June 2002, vol. 2, pp. 1165-1168.
- [3] Advanced Design System, Agilent Technologies, Inc., 2014.

Documents

Export Date: 03 Jul 2018

Search:

- 1) Pakasiri, C., Nithiporndech, K.
A 433 MHz compact complex impedance-Transforming balun
(2017) 2017 International Symposium on Antennas and Propagation, ISAP 2017, 2017-January, pp. 1-2.

DOI: 10.1109/ISANP.2017.8229015

Document Type: Conference Paper

Source: Scopus





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้