

อุปกรณ์รวมสัญญาณ N พอร์ต
N-PORT POWER COMBINER



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

อุปกรณ์รวมสัญญาณ N พอร์ต
N- PORT POWER COMBINER



โดย
นายพินิจชัย แก้วคันโท
นางสาวภรณ์คณิต ชุ่มมัน
นายศุภกร ฤทธิมนมัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในปีการศึกษา 2555 นี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

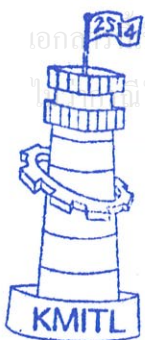
อุปกรณ์รวมสัญญาณ N พอร์ต
N-PORT POWER COMBINER

โดย


นายพินิจชัย	แก้วคันโท	52010835
นางสาวภรณ์คณิต	ชุ่มมัน	52010885
นายภูศกร	ฤทธิมน้อย	52011210

อาจารย์ที่ปรึกษา
ศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์

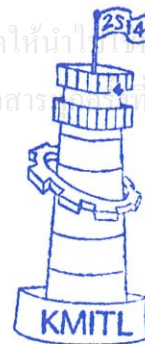
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555




ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

()
.....
อาจารย์ที่ปรึกษา
.....ศ.ดร.สบ

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

()
.....
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน
.....ศ.ดร.สบ

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

ปริญญาโทปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อุปกรณ์รวมสัญญาณ N พอร์ต

N – PORT POWER COMBINER

ผู้จัดทำ

- | | | | |
|-----------|----------|-----------|-----------------------|
| 1. นาย | พินิจชัย | แก้วคันโท | รหัสนักศึกษา 52010835 |
| 2. นางสาว | ภรณ์คณิต | ชุ่มมัน | รหัสนักศึกษา 52010885 |
| 3. นาย | ศุภกร | ฤทธิมน้อย | รหัสนักศึกษา 52011210 |



(ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้ในการทำโครงการ ขอขอบคุณพี่ ๆ ในห้องแลป T-104A และพี่ ๆ ในห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายทุกท่าน ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือในการทดลอง และสุดท้ายต้องขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือซึ่งกันและกัน จนสามารถทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายพินิจชัย

แก้วคันโท

นางสาวภรณ์คณิต

ชุ่มมัน

นายศุภกร

ฤทธิมนมัย

ผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์รวมสัญญาณ N พอร์ต
N-PORT POWER COMBINER

โดย	นายพินิจชัย	แก้วคันโท	52010835
	นางสาวภรณ์คณิศ	ชุ่มมัน	52010885
	นายศุภกร	ฤทธิมนมัย	52011210

อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการศึกษา ออกแบบ และสร้างอุปกรณ์รวมสัญญาณ N พอร์ตเพื่อใช้รวมสัญญาณจากสายอากาศรับ N ตัว สำหรับใช้งานที่ความถี่ปานกลาง 50 MHz โดยการออกแบบอุปกรณ์รวมสัญญาณนี้ จะใช้ทฤษฎีแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณของวิลคินสันแบบ LUMPED ELEMENT ในการออกแบบและทำการศึกษา

ABSTRACT

THIS PROJECT PRESENTS THE STUDY, DESIGN AND CONSTRUCTION OF N PORT POWER COMBINER TO COMBINE THE SIGNAL FROM ANTENNAS AT THE INTERMEDIATE FREQUENCY 50 MHZ.

THE DESIGN IS BASED ON LUMPED ELEMENT WILKINSON POWER DIVIDER/COMBINER THEORY. TO VERIFY THE DESIGNED COMBINER.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 อุปกรณ์แบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณ	2
2.1.1 วงจรรวมกำลังสัญญาณแบบพาสซีฟ	2
2.1.2 วงจรรวมกำลังสัญญาณแบบแอคทีฟ	3
2.2 วงจร LUMPED-ELEMENT	3
2.3 วงจรแบ่งหรือรวมกำลังงานวิลคินสัน	4
2.3.1 วงจรแบ่งหรือรวมกำลังงานวิลคินสันแบบ 3 พอร์ต	6
2.3.2 วงจรแบ่งหรือรวมกำลังงานวิลคินสันแบบ N พอร์ต	7
2.4 เส้นไมโครสตริป	8
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์	10
3.1 การออกแบบและการสร้างวงจรรวมกำลังงานวิลคินสัน	10
3.1.1 การออกแบบและการสร้างวงจรรวมกำลังงานวิลคินสัน	12
LUMPED ELEMENT แบบ 2 พอร์ต	
3.1.2 การออกแบบและการสร้างวงจรรวมกำลังงานวิลคินสัน	13
LUMPED ELEMENT แบบ 3 พอร์ต	
3.1.3 การออกแบบและการสร้างวงจรรวมกำลังงานวิลคินสัน	15
LUMPED ELEMENT แบบ 6 พอร์ต	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	3.1.4 การออกแบบวงจรรวมกำลังงานวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 9 พอร์ต	17
	3.1.5 การออกแบบวงจรรวมกำลังงานวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 18 พอร์ต	20
	3.2 การสร้างและออกแบบวงจรแบ่งกำลังงานวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 3 พอร์ต	21
	3.2.1 การสร้างและออกแบบไมโครสตริป 50 โอห์ม	21
	3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	25
บทที่ 4	ผลการทดลอง	26
	4.1 ผลการทดสอบวงจรรวมกำลังงานแบบวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 3 พอร์ต	27
	4.1.1 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ	27
	4.1.2 ค่าการส่งผ่าน	28
	4.2 ผลการวิเคราะห์วงจรรวมกำลังงานแบบวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 18 พอร์ต	30
	4.3 ผลการทดสอบวงจรรวมกำลังสัญญาณแบบวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 18 พอร์ต	32
	4.3.1 ค่าการส่งผ่าน	32
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	34
	5.1 สรุปผล	34
	5.2 ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม		36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ไตอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์รวมกำลังงาน	2
2.2 สายส่งแบบความยาวคลื่นส่วนสี่	2
2.3 วงจรโครงข่ายแบบ PI	3
2.4 วงจรโครงข่ายแบบ T	3
2.5 วงจรแบ่งหรือรวมกำลังงานวิลคินสัน LUMPED – ELEMENT แบบ 2 พอร์ต	4
2.6 วงจรแบ่งหรือรวมกำลังงานวิลคินสัน LUMPED – ELEMENT แบบ 3 พอร์ต	5
2.7 วงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 2 พอร์ต	6
2.8 รูปแบบของสายส่งไมโครสตริป	6
2.9 วงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ N พอร์ต	7
2.10 รูปแบบของสายส่งไมโครสตริป	8
3.1 รูปแบบของวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน	10
3.2 การใช้วงจร LUMPED-ELEMENT แทนสายส่งแบบความยาวคลื่นส่วนสี่	11
3.3 รูปแบบของวงจรแบ่งกำลังงานวิลคินสันแบบ LUMPED ELEMENT แบบ 2 พอร์ต	12
3.4 รวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 2 พอร์ตที่ ออกแบบ	13
3.5 วงจรแบ่งกำลังงานวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 3 พอร์ต	13
3.6 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 3 พอร์ตที่ ออกแบบ	14
3.7 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 6 พอร์ต	16
3.8 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ LUMPED ELEMENT แบบ 6 พอร์ตที่ออกแบบ	17
3.9 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 9 พอร์ต	18
3.10 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 9 พอร์ตที่ ออกแบบ	19

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
3.11 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 18 พอร์ต	20
3.12 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT วงกลมแบบ 18 พอร์ต	21
3.13 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 3 พอร์ต (ด้านหน้า)	23
3.14 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 3 พอร์ต (ด้านหลัง)	23
3.15 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 18 พอร์ต	24
4.1 วงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 3 พอร์ต	26
4.2 ค่าสูญเสียย้อนกลับเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลองจริงของพอร์theadพุต	27
4.3 ค่าสูญเสียย้อนกลับเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลองจริงของพอร์ตอินพุต	28
4.4 ค่าการส่งผ่านระหว่างการจำลองกับการทดลองจริงของพอร์ต 1 เทียบกับพอร์ต 2	29
4.5 ค่าการส่งผ่านระหว่างการจำลองกับการทดลองจริงของพอร์ต 1 เทียบกับพอร์ต 3	29
4.6 ค่าการส่งผ่านระหว่างการจำลองกับการทดลองจริงของพอร์ต 1 เทียบกับพอร์ต 3	29
4.7 โครงสร้างวงจรรวมกำลังสัญญาณแบบวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบ 18 พอร์ต	30
4.8 โครงสร้างวงจรรวมกำลังงานแบบวิลคินสัน LUMPED ELEMENT วงกลมแบบ 18 พอร์ต ที่ใช้งานร่วมกับร่วมกับสายอากาศยาภิ-แถวลำดับและมิกเซอร์จำนวน 18 ตัว	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
4.1	ค่าการสูญเสียย้อนกลับของวงจรรวมสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT	28
4.2	ค่าการส่งผ่านของวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT	30
4.3	ค่าการสูญเสียย้อนกลับและค่าการส่งผ่านของวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT แบบเข้า 18 พอร์ตออก 1 พอร์ต จากโปรแกรมจำลอง	31
4.4	ค่าการส่งผ่านของวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT	32
4.5	ค่าการส่งผ่านของวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน LUMPED ELEMENT เมื่อปรับค่าอุปกรณ์	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ผู้ใช้งานต้องการความสะดวกสบายในการใช้งาน และยังต้องการสัญญาณที่มีกำลังสัญญาณแรงมากพอที่จะนำมาใช้งาน แต่ในการสื่อสารแบบไร้สายยังคงมีปัญหาเรื่องการกำหนดทิศทางของสายอากาศที่ไม่สามารถรับสัญญาณได้ในทุกทิศทาง จึงได้มีการสร้างสายอากาศรับแบบ N ตัวเพื่อให้สามารถรับสัญญาณได้จากรอบทิศทาง โดยสายอากาศนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์รวมกำลังสัญญาณ เพื่อทำการรวมกำลังสัญญาณจากสายอากาศหลายๆ ตัวเข้าด้วยกัน โดยจะได้เอาท์พุทออกมาเพียงพอร์ตเดียว ซึ่งจะทำให้ได้กำลังสัญญาณออกมาแรงมากพอ

โครงการนี้เป็นการศึกษา ออกแบบ และสร้างวงจรรวมกำลังงานของสัญญาณความถี่ปานกลาง (Intermediated Frequency) ความถี่ 50 MHz โดยใช้วงจรรวมกำลังงานแบบวิลคินสัน (Wilkinson power combiner) ในการออกแบบ โดยเริ่มจากการศึกษา และออกแบบวงจรรวมกำลังงานแบบ 2 พอร์ตก่อน จากนั้นทำการออกแบบจำนวนพอร์ตเพิ่มขึ้นเป็น N พอร์ต แล้วสร้างวงจรรวมกำลังแบบ N พอร์ต สุดท้ายทำการทดลองวงจรรวมกำลังงานแบบ N พอร์ตร่วมกับสายอากาศแฉก ลำดับยากิแบบ N ตัว

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษา ออกแบบ และสร้างอุปกรณ์รวมสัญญาณ (Power Combiner) N พอร์ต

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ทำการรวมสัญญาณจากสายอากาศรับ N ตัว ที่ความถี่ปานกลาง (Intermediate Frequency) สำหรับใช้งานในย่านความถี่ 50 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุปกรณ์แบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณ

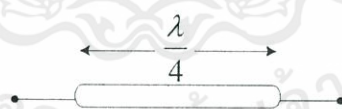
ในระบบการสื่อสาร วงจรรวมกำลังสัญญาณ (Power combiner) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่รวมกำลังของสัญญาณจากพอร์ตสองพอร์ต หรือจากหลายๆ พอร์ตให้ได้เป็นสัญญาณที่มีกำลังที่สูงขึ้นเพียงสัญญาณเดียวที่พอร์ตเอาต์พุต



รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์รวมกำลังสัญญาณ

ซึ่งในวงจรนี้จะต้องพิจารณาถึงค่าอิมพีแดนซ์ที่แต่ละพอร์ตซึ่งจะต้องมีความแมทซิ่ง (Matching) กับค่าความถี่กลางที่ใช้งาน เพื่อให้ได้กำลังงานสูงและเกิดการสูญเสียของกำลังงานน้อย

โดยทั่วไปวงจรรวมหรือแบ่งกำลังสัญญาณจะใช้สายส่งแบบความยาวคลื่นส่วนสี่ (Quarter wavelength transmission line) ที่ความถี่กลางที่ใช้งาน โดยสายส่งอาจใช้เป็นสายโคแอกเซียล (Coaxial line), เส้นไมโครสตริป (Microstrip line) หรือใช้ วงจร Lumped - element ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของความถี่กลาง หรืออื่นๆ ส่วนประกอบต่างๆ ไปของวงจรรวมหรือแบ่งกำลังงานจะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ตัวต้านทาน (Resistor) ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)



รูปที่ 2.2 สายส่งแบบความยาวคลื่นส่วนสี่

วงจรรวมสัญญาณสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.1.1 วงจรรวมกำลังสัญญาณแบบพาสซีฟ

วงจรรวมกำลังสัญญาณแบบไม่มีการขยายสัญญาณ (Passive power combiner)

วงจรรวมกำลังสัญญาณประเภทนี้จะไม่มีวงจรขยายในตัว เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

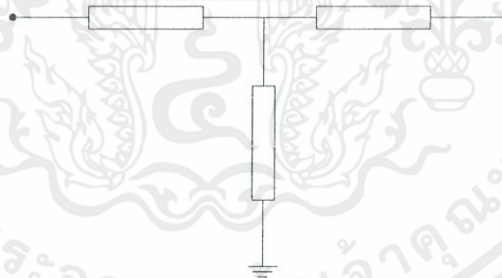
2.1.2 วงจรรวมกำลังสัญญาณแบบแอคทีฟ

วงจรรวมกำลังสัญญาณแบบมีการขยายสัญญาณ (Active power combiner) วงจรรวมกำลังสัญญาณประเภทนี้มีข้อดีคือ สามารถขยายกำลังของสัญญาณที่อ่อนให้มากขึ้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

2.2 วงจร Lumped element

วงจร Lumped element ประกอบไปด้วย ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ โดยสามารถนำอุปกรณ์เหล่านี้ มาสร้างวงจรแม่ทงในระบบสื่อสารได้ในย่านความถี่สูง ซึ่งวงจรแม่ทงซึ่งนั้นมีหลายรูปแบบ เช่น แบบโครงข่าย Pi (Pi-network) และแบบโครงข่าย T (T-network)

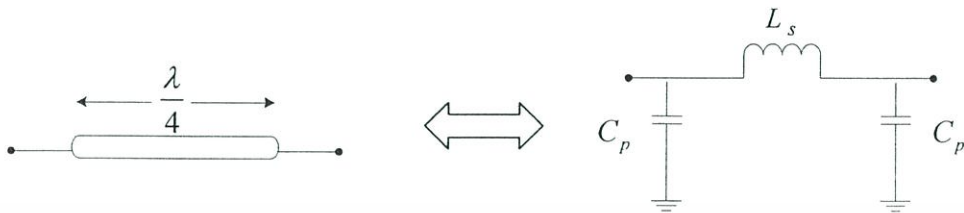
รูปที่ 2.3 วงจรโครงข่ายแบบ Pi



รูปที่ 2.4 วงจรโครงข่ายแบบ T

ในบางกรณีสายส่งแบบความยาวคลื่นสั้นส่วนสั้นนั้นสามารถใช้วงจรสมมูลโครงข่ายแบบ Lumped element แทนได้ โดยขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้และความเหมาะสมของอุปกรณ์แบ่งหรือรวมกำลังงาน สายส่งแบบความยาวคลื่นสั้นที่มีความถี่กลาง f_0 และมีค่าอิมพีแดนซ์ z_0 นั้นสามารถใช้วงจรสมมูลโครงข่าย LC แบบ Pi แทนได้ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลโครงข่าย LC แบบ Pi

โดยที่ค่าของ L_s และ C_p นั้นสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$C_p = \frac{1}{2\pi f_0 z_0} \quad (2.1)$$

$$L_s = \frac{z_0}{2\pi f_0} \quad (2.2)$$

เมื่อ

f_0 คือ ความถี่กลาง (Hz)

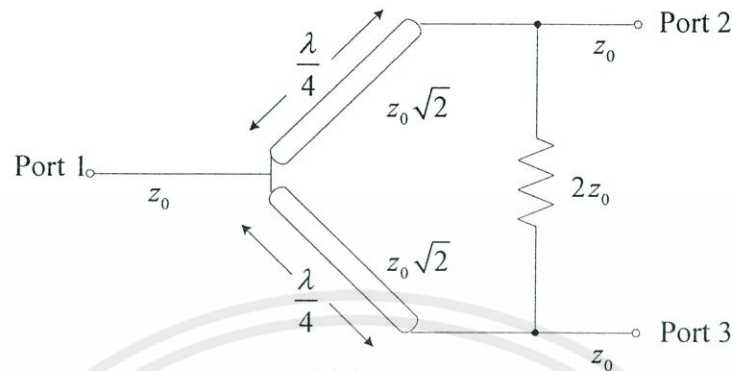
z_0 คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร (Ω)

สำหรับวงจรสมมูลโครงข่าย LC แบบ Pi นั้นจะมีความสมบูรณ์ที่ค่าความถี่กลางเท่านั้น แต่จากการประมาณค่ายังคงมีความถูกต้องอยู่ที่ช่วงแบนด์วิดท์ไม่มาก

2.3 วงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน

สำหรับวงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันมีรูปแบบพื้นฐานประกอบด้วยสายส่งแบบความยาวคลื่นส่วนสี่ 2 เส้น สำหรับความถี่กลาง (f_0) มีค่าอิมพีแดนซ์ที่แต่ละพอร์ตเท่ากับ z_0 ที่สายส่งมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $z_0\sqrt{2}$ และมีตัวต้านทานค่าเท่ากับ $2z_0$ ที่ระหว่างพอร์ตเอาต์พุต ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 วงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบพื้นฐาน (แบบ 2 ทาง)

ซึ่งในวงจรนี้จะเกิดค่าการสูญเสียที่น้อยซึ่งมีประสิทธิภาพ และหากมองวงจรนี้เป็นวงจรแยกสัญญาณ (Power Divider) สัญญาณที่พอร์ตเอาต์พุตทั้ง 2 จะมีค่าที่เท่ากัน โดยกำลังสัญญาณสามารถหาได้จากสมการ

$$P(dB) = 10 \log\left(\frac{P_{out}}{P_m}\right) \quad (2.3)$$

โดยที่

P_m คือ กำลังงานขาเข้า (ใช้ค่าอ้างอิงคือ 1 watt)

P_{out} คือ กำลังงานที่ขาออก

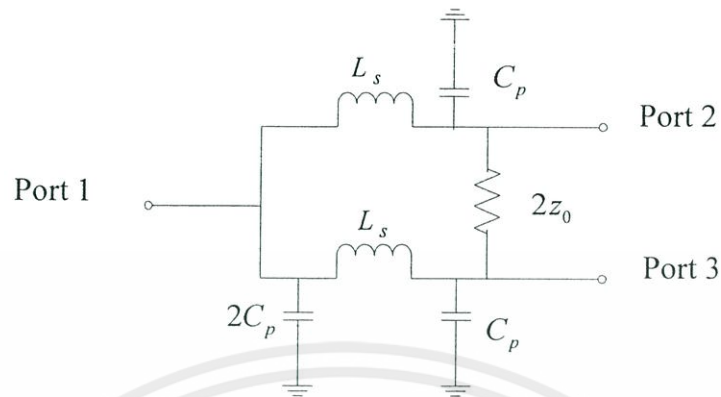
เมื่อกำหนดให้กำลังงานที่ขาเข้าเท่ากับ 1 watt จากวงจรแยกสัญญาณกำลังงานที่ขาออกจะต้องเท่ากับ 0.5 watt ทำการหาค่ากำลังสัญญาณจากสมการ (2.3) จะได้

$$\begin{aligned} P(dB) &= 10 \log\left(\frac{0.5}{1}\right) \\ &= -3dB \end{aligned}$$

P_{out} ที่ได้จากวงจรแบ่งสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ -3 dB (ในอุดมคติ) ซึ่งพอร์ตทุกพอร์ต Matching กัน

วงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันนั้น สามารถใช้วงจรสมมูลโครงข่ายแบบ Lumped element แทนที่ที่สายส่งแบบความยาวคลื่นส่วนสี่ได้ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งจะได้วงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ Lumped element ดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

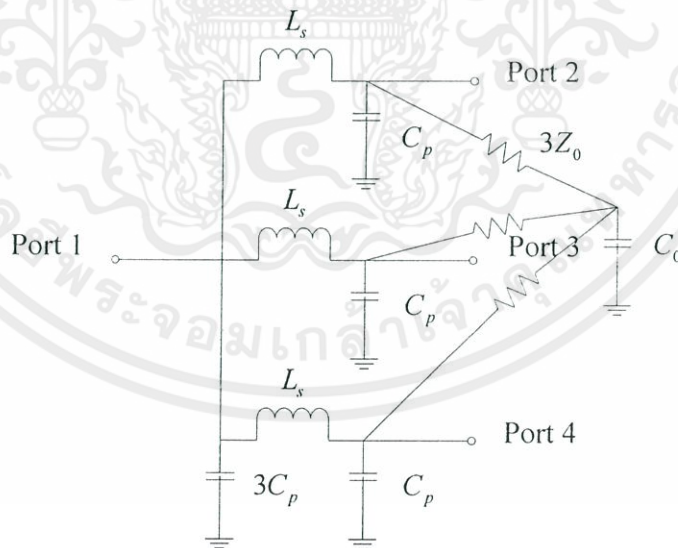


รูปที่ 2.7 วงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 2 พอร์ต

โดยที่ค่าต่างๆ ของวงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element สามารถหาได้จากสมการที่ (2.1) และ (2.2)

2.3.1 วงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ 3 พอร์ต

สำหรับวงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน สามารถออกแบบได้หลายรูปแบบ เช่น วงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ 2 พอร์ต (รูปที่ 2.7) วงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ 3 พอร์ต หรืออาจมากกว่านั้นขึ้นอยู่กับความต้องการและการใช้งาน



รูปที่ 2.8 วงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 3 พอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

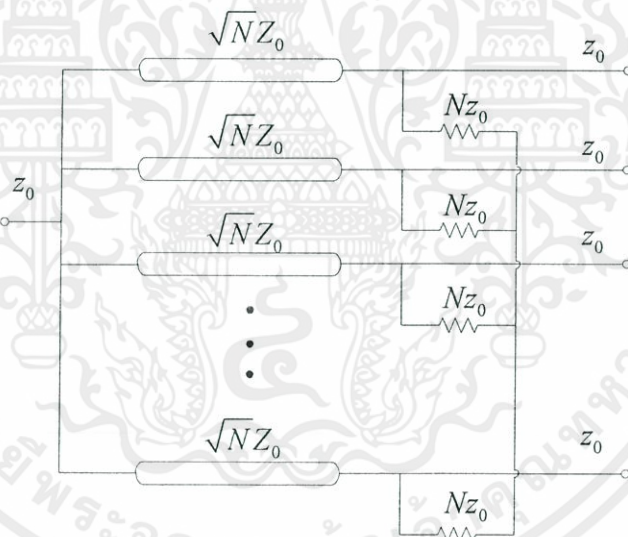
เมื่อทำการพิจารณาวงจรข้างต้นให้เป็นวงจรแยกสัญญาณ คำนวณหากำลังงานที่ขาออกได้จากสมการ (2.3) จะได้

$$\begin{aligned} P(\text{dB}) &= 10 \log\left(\frac{0.34}{1}\right) \\ &= -4.68 \text{dB} \end{aligned}$$

ซึ่ง P_{out} จะมีค่าเท่ากับ -4.68 dB

2.3.2 วงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ N พอร์ต

วงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ N พอร์ต สามารถออกแบบได้โดยทำการกำหนดให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งความยาวคลื่นส่วนสี่แต่ละเส้นมีค่าเท่ากับ $\sqrt{NZ_0}$ โอห์ม และใช้ตัวต้านทานระหว่างพอร์ตขาออกของทุกพอร์ต มีค่าตัวละ NZ_0 โอห์ม ซึ่งรูปแบบวงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ N พอร์ตแสดงได้ดังรูป



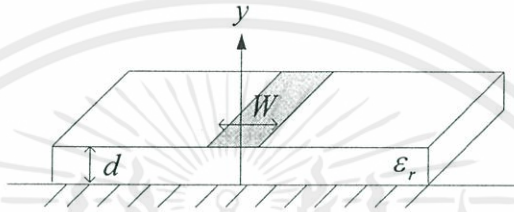
รูปที่ 2.9 วงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ N พอร์ต

ข้อดีของวงจรแบ่งหรือรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน คือ มีอัตราการสูญเสียที่ต่ำ มีระดับการแยกของสัญญาณ (Isolation) สูงระหว่างพอร์ตเอาต์พุตทำให้สัญญาณที่แต่ละพอร์ตไม่รบกวนกัน สามารถออกแบบและสร้างได้ง่ายรวมทั้งมีราคาที่ไม่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เส้นไมโครสตริบ

เส้นไมโครสตริบ (Microstrip Line) เป็นสายส่งชนิดหนึ่งที่ยิยมใช้มากเนื่องจากสามารถนำไปสร้างและนำไปใช้งานกับอุปกรณ์ทางด้านไมโครเวฟที่เป็นอุปกรณ์แบบพาสซีฟ (Passive) และแบบแอคทีฟ (Active) ได้ ลักษณะของเส้นไมโครสตริบจะมีตัวนำไฟฟ้าที่มีความกว้างเป็น W โดยมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะบางๆ พิมพ์ลงบนฉนวนไฟฟ้าที่มีกรวดอยู่ชั้นล่างมีความหนาเป็น d ที่มีค่าสภาพยอมได้ (Permittivity หรือ ϵ_r)



รูปที่ 2.10 รูปแบบของสายส่งไมโครสตริบ

การมีอยู่ของฉนวนไฟฟ้าที่บริเวณเหนือส่วนของเส้นไมโครสตริบ ($y > d$) จะมีเส้นแรงอยู่ภายในฉนวนไฟฟ้าเกือบจะทั้งหมดและจะมีอยู่ระหว่างตัวนำกับระนาบดินด้วยบางส่วน ด้วยเหตุผลนี้เองจึงทำให้ไมโครสตริบไม่สามารถรองรับ TEM wave ได้เนื่องจากมีความเร็วเฟสที่อยู่ในฉนวนไฟฟ้าเท่ากับ $\frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$ แต่ความเร็วในอากาศมีค่าเท่ากับ c ดังนั้นความเร็วเฟสที่อยู่บริเวณผิวหน้าของฉนวนไฟฟ้ายกกับอากาศจึงไม่เป็นไปตาม TEM-type wave ในไมโครสตริบประกอบไปด้วยคลื่นสนามไฟฟ้าและคลื่นสนามแม่เหล็ก และฉนวนไฟฟ้าที่อยู่ด้านล่างจะต้องเป็นแบบที่บางหรือ ($d \ll \lambda$) และสนามเป็น quasi-TEM ซึ่งค่าความเร็วเฟส และค่าคงที่การแผ่กระจายคลื่นสามารถแสดงได้ดังนี้

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_c}} \quad (2.4)$$

$$\beta = k_0 \sqrt{\epsilon_c} \quad (2.5)$$

เมื่อ

ϵ_c คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของไมโครสตริบ

c คือ ความเร็วของแสง (มีค่า $3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

k_0 คือ จำนวนของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากบางเส้นของสนามอยู่ในฉนวนไฟฟ้าแต่บางเส้นอยู่ในอากาศ ดังนั้นค่า ϵ_c จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$1 < \epsilon_c < \epsilon_r$$

และยังขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นฉนวนไฟฟ้า (d) และความกว้างของเส้นไมโคร-สตริป (W) สามารถหาค่า ϵ_c ได้จาก

$$\epsilon_c = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12d/W}} \quad (2.6)$$

สามารถหาค่าอิมพีแดนซ์ (z_0) ได้จาก

$$z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_c}} \ln \left(\frac{8d}{W} + \frac{W}{4d} \right) \quad \text{เมื่อ } \frac{W}{d} \leq 1 \quad (2.7)$$

หรือ

$$z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_c} \left[\frac{W}{d} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W}{d} + 1.444 \right) \right]} \quad \text{เมื่อ } \frac{W}{d} \geq 1 \quad (2.8)$$

จากสมการข้างต้นสามารถหาค่า $\frac{W}{d}$ ได้จาก

$$\frac{W}{d} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \quad \text{เมื่อ } \frac{W}{d} < 2 \quad (2.9)$$

หรือ

$$\frac{W}{d} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] \quad (2.10)$$

เมื่อ

$$\frac{W}{d} > 2$$

$$A = \frac{z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (2.11)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.12)$$

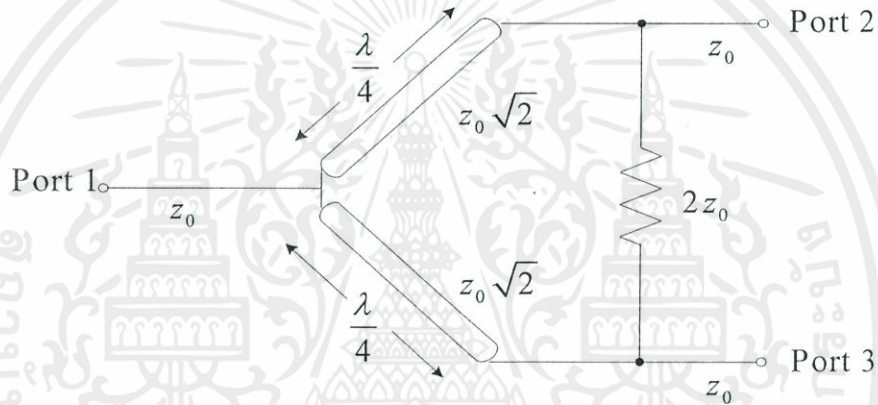
เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่อาจมีข้อผิดพลาดได้ หากนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบและการสร้างวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน

สำหรับการออกแบบตัวรวมกำลังสัญญาณจะใช้ทฤษฎีในการออกแบบของวิลคินสันมาเป็นหลักการพื้นฐานในการออกแบบ โดยกำลังงานที่ป้อนเข้าไบนั้นจะเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังสัญญาณที่ออกมา ซึ่งรูปแบบพื้นฐานของวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันนั้นจะเป็นไปดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปแบบของวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน

ในกรณีที่ออกแบบตัวรวมกำลังสัญญาณที่นำไปใช้ในย่านความถี่ที่ไม่สูงมาก วงจรรวมกำลังสัญญาณ วิลคินสันแบบ Lumped element จะเหมาะกว่าแบบ Strip line เนื่องจาก การสร้างสายส่งความยาวคลื่นส่วนสี่ที่ความถี่กลาง 50 MHz จะมีความยาวมาก ซึ่งความยาวของสายส่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

เมื่อ

c คือ ความเร็วของแสงในสุญญากาศ ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

f คือ ค่าความถี่กลาง (Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะได้ความยาวคลื่นเท่ากับ

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{3 \times 10^8}{50 \times 10^6} \\ &= 6 \text{ เมตร}\end{aligned}$$

ดังนั้นความยาวของสายส่งความยาวคลื่นส่วนสี่ $\left(\frac{\lambda}{4}\right)$ จะมีค่าเท่ากับ $\frac{6}{4}$ หรือ 1.5

เมตร ซึ่งมีความยาวที่มากไม่เหมาะกับการสร้างใช้งานจริง จึงทำการใช้วงจร Lumped element แทนสายส่งแบบความยาวคลื่นส่วนสี่เนื่องจาก มีขนาดที่เล็กกว่ามากเหมาะกับการนำไปสร้างใช้งานจริง



รูปที่ 3.2 การใช้วงจร Lumped element แทนสายส่งแบบความยาวคลื่นส่วนสี่

ในการคำนวณเพื่อออกแบบและการสร้างนั้นสามารถหาของ C_p และ L_s ได้จากสมการที่ (2.1) และ (2.2)

$$C_p = \frac{1}{2\pi f_0 z_0} \quad (2.1)$$

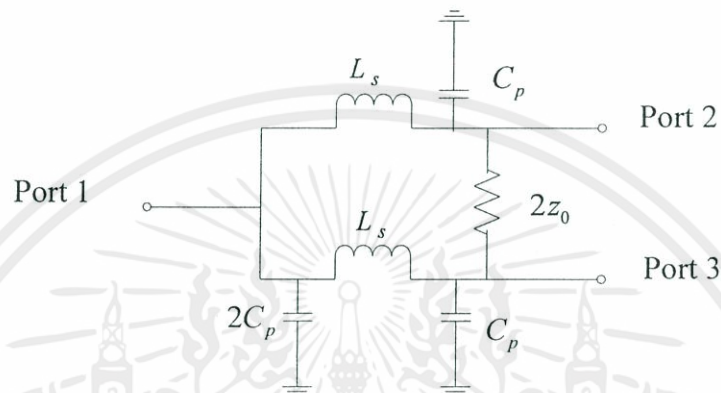
$$L_s = \frac{Z_0}{2\pi f_0} \quad (2.2)$$

จากสมการที่กล่าวมาข้างต้นนั้นสามารถนำไปคำนวณเพื่อออกแบบวงจรรวมสัญญาณได้ โดยทำการออกแบบวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 2 พอร์ต, 3 พอร์ต, 6 พอร์ต, 9 พอร์ต และ 18 พอร์ต เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลในการตัดสินใจสร้างวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 18 พอร์ต และจะนำมาทดสอบร่วมกับสายอากาศรับและมิกเซอร์ 18 ตัวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การออกแบบวงจรรวมกำลังสัญญาณวิทยุคลื่นสั้น Lumped element แบบ 2 พอร์ต

การออกแบบและสร้างวงจรรวมกำลังสัญญาณวิทยุคลื่นสั้นแบบ 2 พอร์ตนั้นจะมีรูปแบบพื้นฐานของวงจรแบบกำลังสัญญาณวิทยุคลื่นสั้นเป็นไปดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 รูปแบบของวงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิทยุคลื่นสั้นแบบ Lumped element แบบ 2 พอร์ต

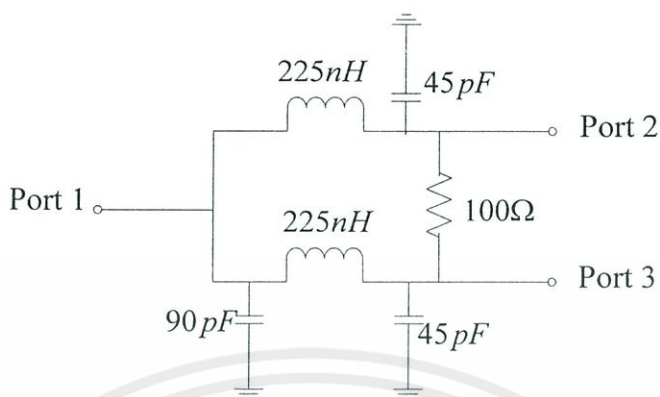
โดยคำนวณค่าพารามิเตอร์ของวงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิทยุคลื่นสั้นโดยกำหนดให้
ค่าความถี่กลางที่ใช้งาน (f_0) เท่ากับ 50 MHz
ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร (z_0) เท่ากับ $50\sqrt{2}\Omega$

แทนค่าในสมการที่ (2.1) และ (2.2) จะได้

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{1}{2\pi(50 \times 10^6)(50\sqrt{2})} \\ &= 45 \text{ pF} \\ L_s &= \frac{50\sqrt{2}}{2\pi(50 \times 10^6)} \\ &= 225 \text{ nH} \end{aligned}$$

ซึ่งจะได้วงจรรวมกำลังสัญญาณวิทยุคลื่นสั้น Lumped element แบบ 2 พอร์ตดังรูปที่ 3.4

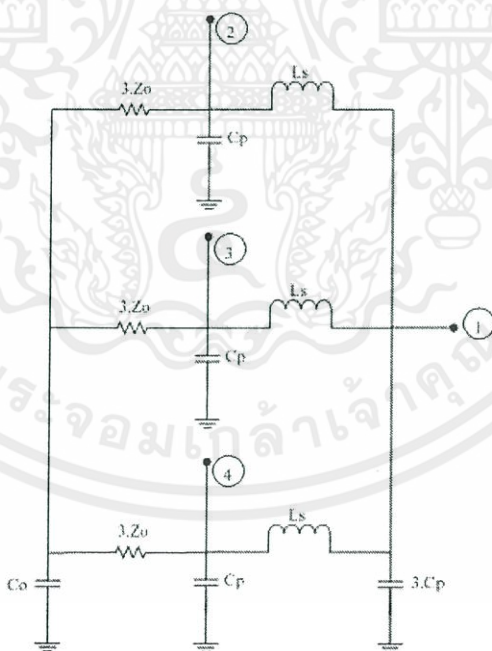
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรรวมกำลังสัญญาณวិควิเคราะห์ Lumped element แบบ 2 พอร์ตที่ออกแบบ

3.1.2 การออกแบบวงจรรวมกำลังสัญญาณวิควิเคราะห์ Lumped element แบบ 3 พอร์ต

การออกแบบและสร้างวงจรรวมกำลังสัญญาณวิควิเคราะห์แบบ 3 พอร์ต นั้นจะมีรูปแบบพื้นฐานของวงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิควิเคราะห์เป็นไปตามรูปที่ 3.5 โดยที่การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของวงจรแบบกำลังสัญญาณวิควิเคราะห์สามารถทำได้ดังนี้



รูปที่ 3.5 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิควิเคราะห์ Lumped element แบบ 3 พอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณค่าพารามิเตอร์ของวงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสันโดยกำหนดให้
 ค่าความถี่กลางที่ใช้งาน (f_0) เท่ากับ 50 MHz
 ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร (z_0) เท่ากับ $50\sqrt{3}\Omega$
 ค่าตัวเก็บประจุ (c_0) เท่ากับ 1 pF

แทนค่าในสมการที่ (2.1) และ (2.2) จะได้

$$C_p = \frac{1}{2\pi(50 \times 10^6)(50\sqrt{3})}$$

$$= 37 \text{ pF}$$

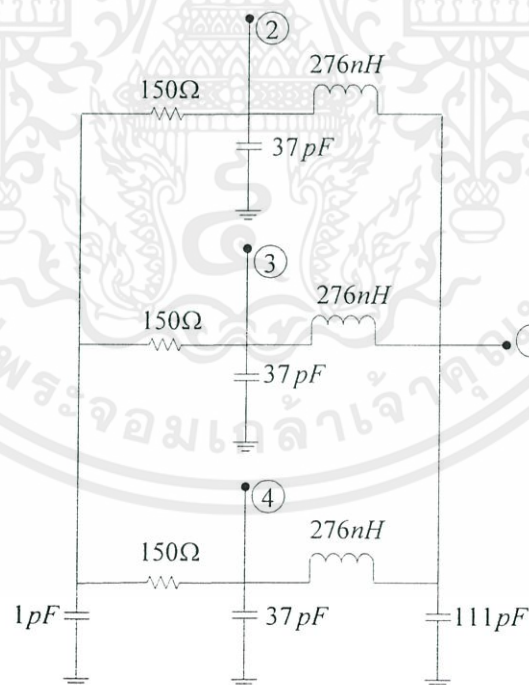
$$L_s = \frac{50\sqrt{3}}{2\pi(50 \times 10^6)}$$

$$= 276 \text{ nH}$$

$$R = 3(50)$$

$$= 150\Omega$$

ซึ่งจะได้วงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 3 พอร์ตดังรูป



รูปที่ 3.6 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 3 พอร์ตที่ออกแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การออกแบบวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 6 พอร์ต

การออกแบบและสร้างวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ 6 พอร์ตนั้นจะมีรูปแบบพื้นฐานของวงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสันเป็นไปดังรูปที่ 3.7 โดยที่การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของวงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสันสามารถทำได้ดังนี้

คำนวณค่าพารามิเตอร์ของวงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสันโดยกำหนดให้

ค่าความถี่กลางที่ใช้งาน (f_0) เท่ากับ 50 MHz

ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร (z_0) เท่ากับ $50\sqrt{6}$ Ohm

ค่าตัวเก็บประจุ (c_0) เท่ากับ 1 pF

แทนค่าในสมการที่ (2.1) และ (2.2) จะได้

$$C_p = \frac{1}{2\pi(50 \times 10^6)(50\sqrt{6})}$$

$$= 26 \text{ pF}$$

$$L_s = \frac{50\sqrt{6}}{2\pi(50 \times 10^6)}$$

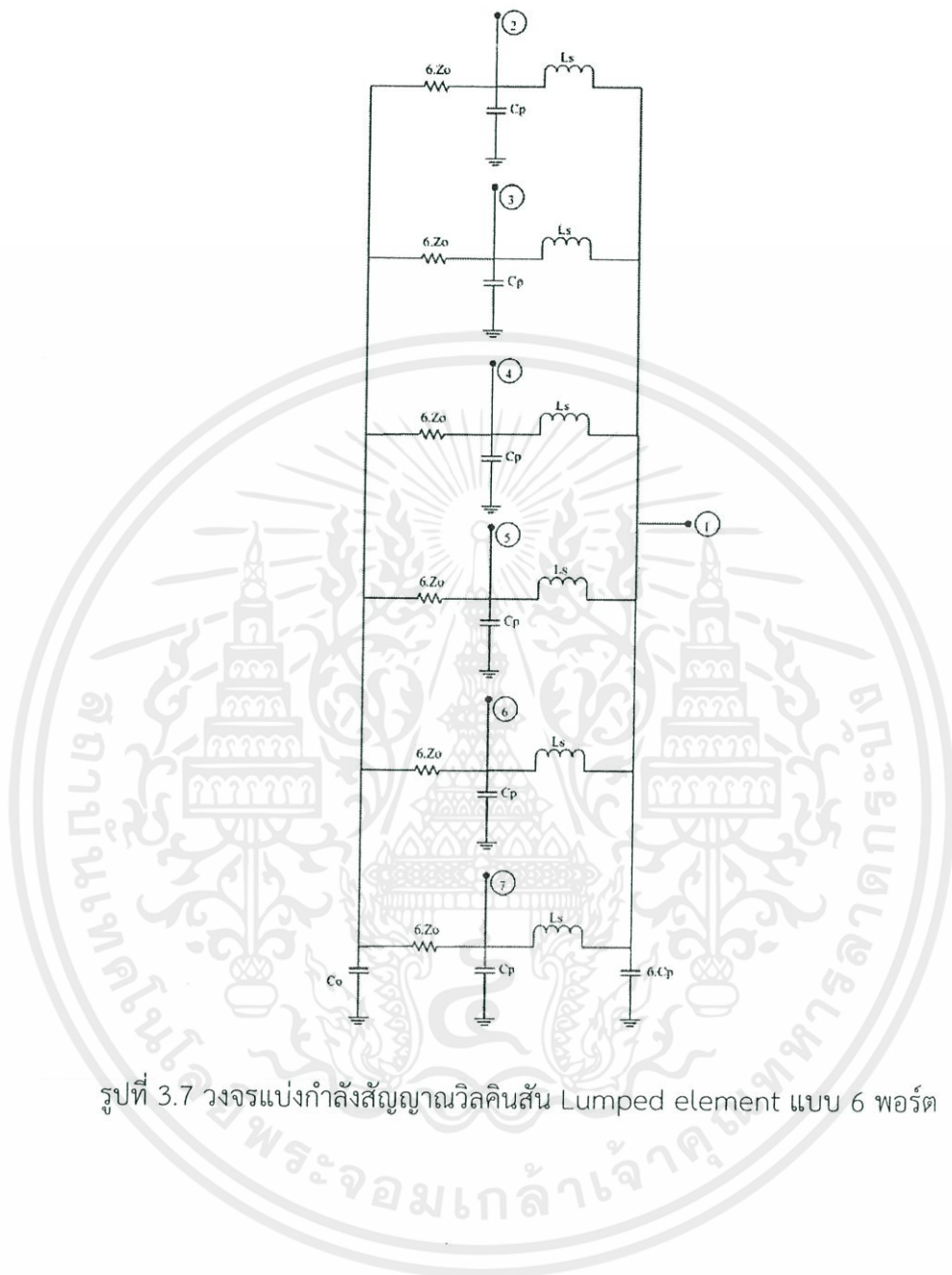
$$= 390 \text{ nH}$$

$$R = 6(50)$$

$$= 300 \Omega$$

ซึ่งจะได้วงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 6 พอร์ตดังรูป

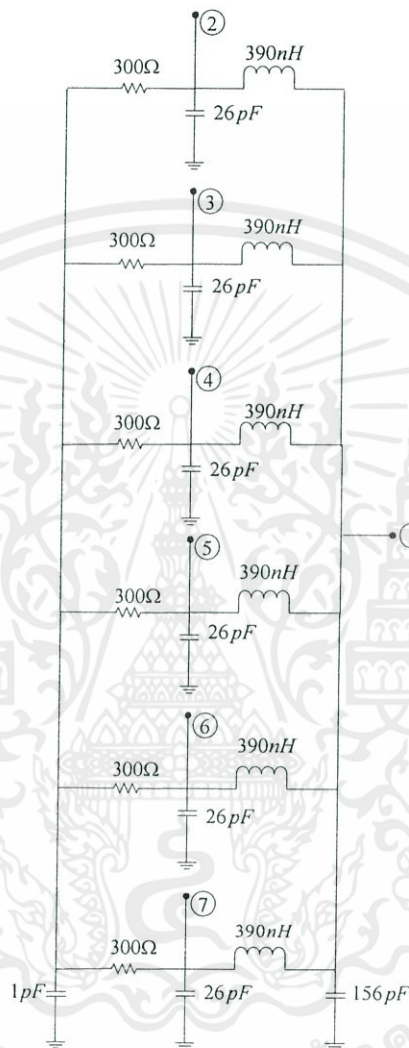
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 6 พอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะได้วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 6 พอร์ต ดังรูป

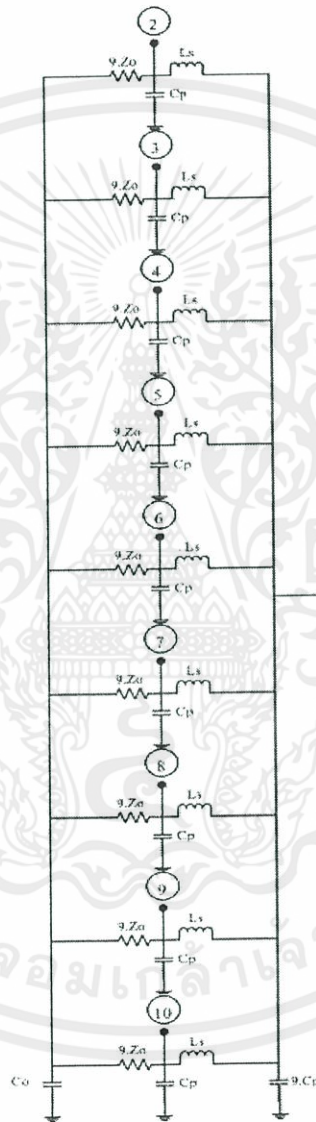


รูปที่ 3.8 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ Lumped element แบบ 6 พอร์ตที่ออกแบบ

3.1.4 การออกแบบวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ Lumped element 9 พอร์ต

การออกแบบและสร้างวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ 9 พอร์ตนั้นจะมีรูปแบบพื้นฐานของวงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสันเป็นไปตามรูปที่ 3.9 โดยที่การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของวงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสันสามารถทำได้ดังนี้ **งานนี้** ไม่น่าสนใจให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณค่าพารามิเตอร์ของวงจรแบบกำลังสัญญาณวิลคินสันโดยกำหนดให้
 ค่าความถี่กลางที่ใช้งาน (f_0) เท่ากับ 50 MHz
 ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร (Z_0) เท่ากับ $50\sqrt{9}\Omega$
 ค่าตัวเก็บประจุ (C_0) เท่ากับ 1 pF



รูปที่ 3.9 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 9 พอร์ต

แทนค่าในสมการที่ (2.1) และ (2.2) จะได้

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ขออนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_p = \frac{1}{2\pi(50 \times 10^6)(50\sqrt{9})}$$

$$= 21 pF$$

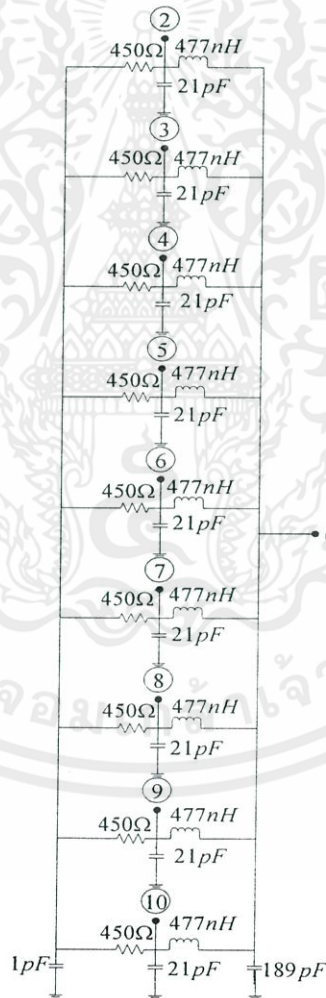
$$L_s = \frac{50\sqrt{9}}{2\pi(50 \times 10^6)}$$

$$= 477 nH$$

$$R = 9(50)$$

$$= 450 \Omega$$

จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะได้วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 9 พอร์ต ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.10 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 9 พอร์ตที่ออกแบบ

3.1.5 การออกแบบวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 18 พอร์ต

ในการออกแบบวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 18 พอร์ตนี้ ทำขึ้นเพื่อนำมาทดสอบร่วมกับสายอากาศแถวลำดับยาภิและมิกเซอร์จำนวน 18 ตัว คำนวณค่าพารามิเตอร์ของวงจรแบบกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ 18 พอร์ต โดยกำหนดให้

ค่าความถี่กลางที่ใช้งาน (f_0) เท่ากับ 50 MHz

ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร (z_0) เท่ากับ $50\sqrt{18}$ Ohm

ค่าตัวเก็บประจุ (c_0) เท่ากับ 1 pF

แทนค่าในสมการที่ (2.1) และ (2.2) จะได้

$$C_p = \frac{1}{2\pi(50 \times 10^6)(50\sqrt{18})}$$

$$= 15 \text{ pF}$$

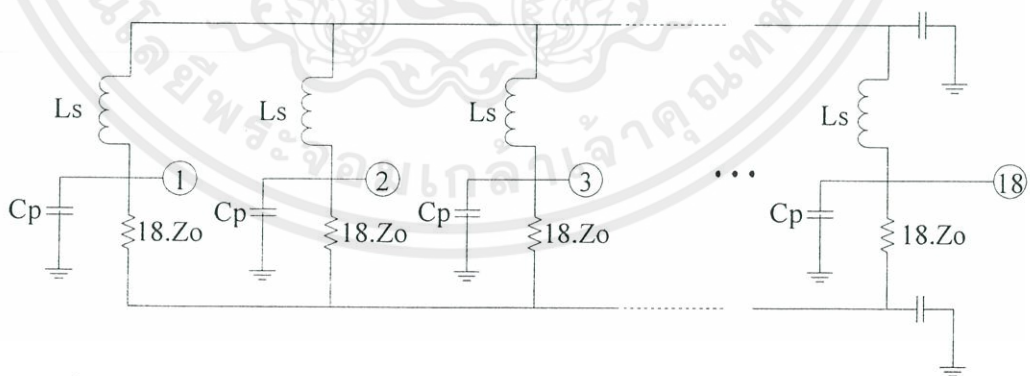
$$L_s = \frac{50\sqrt{18}}{2\pi(50 \times 10^6)}$$

$$= 675 \text{ nH}$$

$$R = 18(50)$$

$$= 900 \Omega$$

นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้ไปใช้ในวงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element วงกลมแบบ 18 พอร์ต



รูปที่ 3.11 วงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 18 พอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

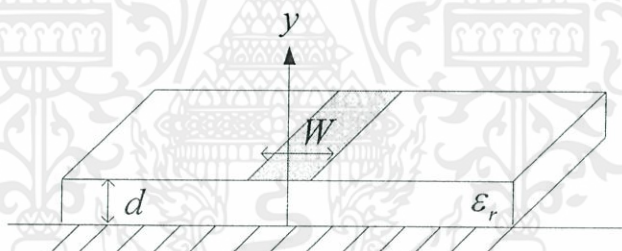
3.2 การสร้างและออกแบบวงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 3 และ 18 พอร์ต

ทำการสร้างวงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 3 พอร์ตเพื่อศึกษาแนวโน้มของงานที่ถูกสร้างออกมาจริงเทียบกับทฤษฎีข้างต้น และทดสอบผลการทดลองว่าเป็นไปตามแนวทางที่ต้องการหรือไม่ ก่อนจะสร้างเป็นวงจรแบ่งกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 18 พอร์ต เพื่อนำไปใช้งานร่วมกับสายอากาศรับและมิกเซอร์จำนวน 18 ตัว

จากหัวข้อที่ 3.1.2 เราทราบถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่จะใช้ในวงจรจึงทำการออกแบบไมโครสตริป 50 โอห์ม เพื่อประกอบเป็นสายส่งของวงจร

3.2.1 การสร้างและออกแบบไมโครสตริป 50 โอห์ม

ไมโครสตริปเป็นสายส่งชนิดหนึ่งซึ่งนิยมใช้กันเป็นจำนวนมาก เพราะสามารถทำการสร้างและนำไปใช้งานกับอุปกรณ์ทางด้านไมโครเวฟที่เป็นพาสซีฟ (Passive) และแอคทีฟ (Active) ได้ง่าย รูปที่ 3.12 แสดงถึงรูปทางเรขาคณิตของไมโครสตริปซึ่งมีตัวนำไฟฟ้าที่มีความกว้างเป็น W เป็นแผ่นบางๆ พิมพ์ลงบนฉนวนไฟฟ้าที่มีกรวดอยู่ชั้นล่างมีความหนาเป็น d ที่มีค่าสภาพยอมได้เท่ากับ ϵ_r



รูปที่ 3.12 สายส่งแบบไมโครสตริป

ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและออกแบบเส้นไมโครสตริป 50 โอห์ม

ความกว้างของสายส่ง (W)

ความหนาของไดอิเล็กตริก (d) มีค่าเท่ากับ 1.441 มิลลิเมตร

ค่าคงตัวของไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) (ϵ_r) มีค่าเท่ากับ 4.24

ในการคำนวณเพื่อสร้างและออกแบบนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{W}{d} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \quad \text{เมื่อ} \quad \frac{W}{d} < 2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$\frac{W}{d} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] \text{ เมื่อ } \frac{W}{d} > 2$$

เมื่อ

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2\epsilon_r}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

จากสมการ (2.11) แทนค่า $Z_0 = 50\Omega$ และ $\epsilon_r = 4.24$ ลงในสมการจะได้ $A = 1.507$
และจากสมการ (2.9) แทนค่า $A = 1.507$ ลงในสมการจะได้

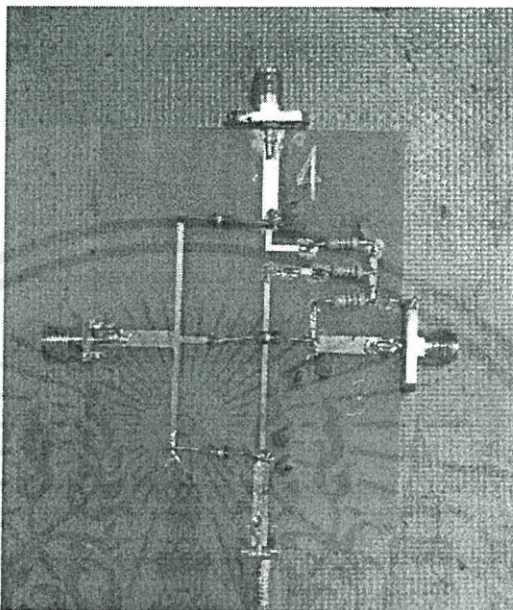
$$\frac{W}{d} = 1.966 \text{ mm} \text{ ซึ่งตรงกับเงื่อนไข } \frac{W}{d} < 2$$

เมื่อแทนค่า $d = 1.441$ จะได้

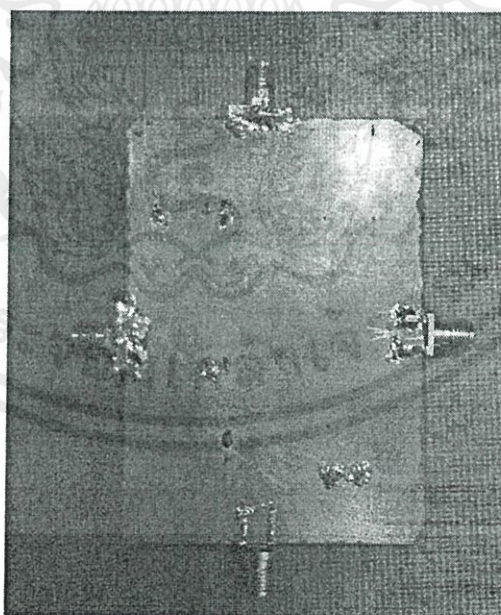
$$W = 2.833 \text{ mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่คำนวณได้เมื่อนำค่าที่ได้มาทำการสร้างเป็นวงจรจริงก็
จะได้เป็นวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 3 พอร์ต ดังรูป

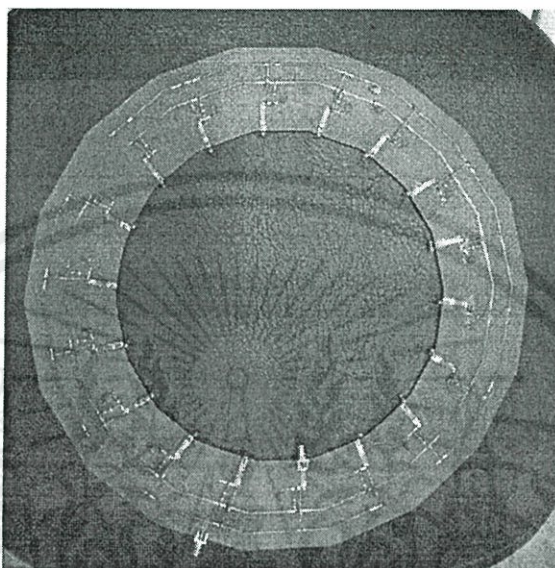


รูปที่ 3.13 วงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 3 พอร์ต (ด้านหน้า)

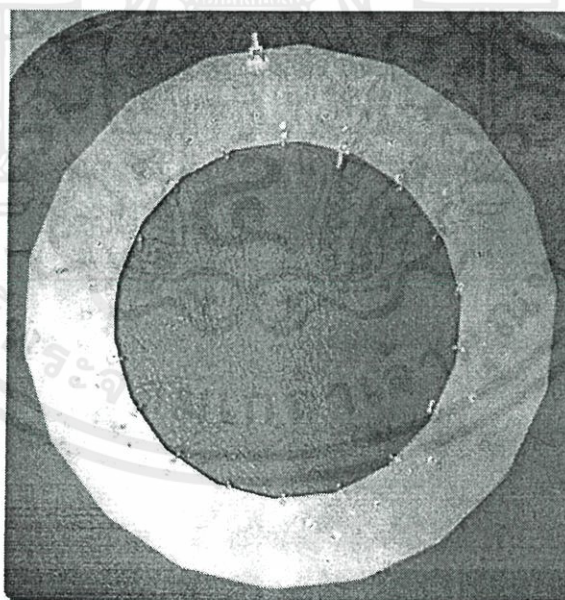


เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.14 วงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 3 พอร์ต (ด้านหลัง) ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่คำนวณได้เมื่อนำค่าที่ได้มาทำการสร้างเป็นวงจรถริงก็จะได้เป็นวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 18 พอร์ต



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.15 วงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 18 พอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับการทดสอบและวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ นั้นจะใช้เครื่อง Spectrum analyzer ซึ่งการวัดด้วยเครื่อง Spectrum analyzer นี้สามารถวัดและแสดงรูปสัญญาณ ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ เครื่อง Signal generator เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รวมสัญญาณกับเครื่อง Spectrum analyzer

ในการทดลองจะประกอบไปด้วยการวัดและทดสอบหาค่าการสูญเสียย้อนกลับ และค่าการส่งผ่าน โดยค่าที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบความใกล้เคียงกับผลจากการจำลองวงจรด้วยโปรแกรม

สำหรับสายอากาศการทดสอบและวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ นั้นจะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) และ เครื่อง Spectrum analyzer ซึ่งการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายนี้สามารถวัดและแสดงรูปสัญญาณพร้อมทั้งแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ หัวเชื่อมต่อชนิด SMA เชื่อมต่อระหว่างสายอากาศกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย และเครื่อง Spectrum analyzer

ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

1. เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย Network Analyzer : รุ่น HP 8517B
2. ชุดคาร์บริเบรท 85022 B. 3.5 มิลลิเมตร
3. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator):รุ่น 8648C 9 กิโลเฮิร์ตซ์-3200 เมกะเฮิร์ตซ์
4. Spectrum Analyzer: รุ่น 8596E 9 กิโลเฮิร์ตซ์-12.8 กิกะเฮิร์ตซ์
5. สายอากาศไดโพล

3.4 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.5.1.การวัดค่าการส่งผ่าน

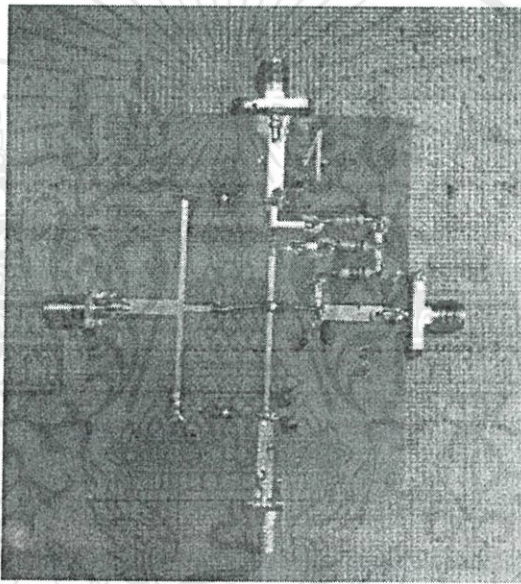
1. ตั้งค่าความถี่ของเครื่อง Signal generator ที่ 50 MHz ให้แอมพลิจูดของสัญญาณเท่ากับ 0 dBm
2. ตั้งค่าเครื่อง Spectrum analyzer โดย กำหนดช่วงความถี่ 10 – 100 MHz
3. ต่ออุปกรณ์รวมสัญญาณเข้ากับเครื่อง Spectrum analyzer และ Signal generator
4. วัดค่าการส่งผ่านทุกๆพอร์ต บันทึกผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ การออกแบบ เพื่อที่ที่ต้องการสร้างวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 3 พอร์ตทำให้เราได้ทราบถึงขนาดของสายส่งและค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งจะนำมาใช้ในความถี่ปานกลาง (Intermediate frequency) ในย่านความถี่ 50 MHz โดยตัววงจรรวมกำลังสัญญาณแบบวิลคินสัน Lumped element แบบ 3 พอร์ตที่ได้ทำการสร้างเสร็จแล้วนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบ 3 พอร์ต ที่ได้สร้างขึ้น

สำหรับการทดสอบและวัดคุณลักษณะต่าง ๆ นั้น เราได้ใช้วิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) ซึ่งการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายนี้สามารถวัดและแสดงรูปสัญญาณพร้อมค่าคุณลักษณะต่างๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ หัวเชื่อมต่อระหว่างสายส่งกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายที่เป็นชนิด SMA

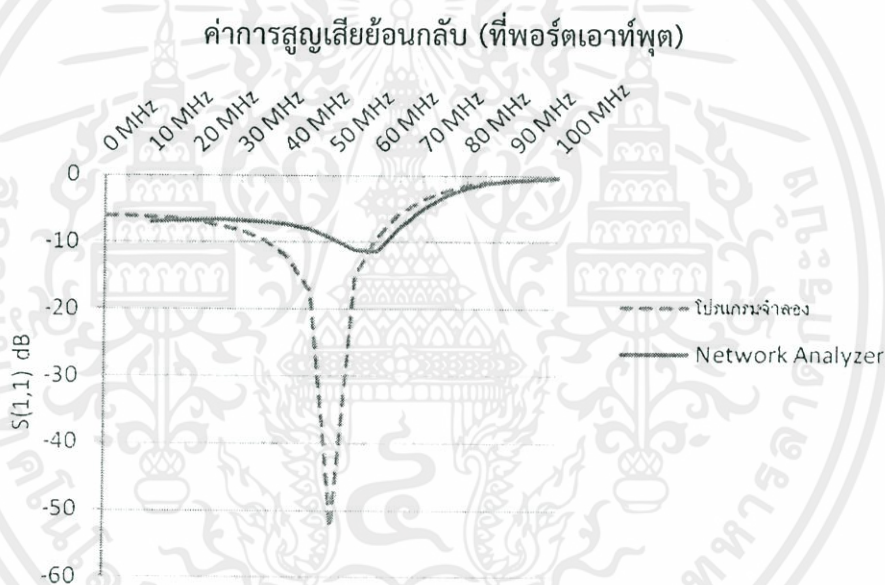
ในการทดลองจะประกอบไปด้วยการวัดและทดสอบหาค่าการสูญเสียย้อนกลับและค่าการสูญเสียจากการส่งผ่าน โดยค่าที่ได้จากการทดลองจะนำไปสู่การวิเคราะห์ เพื่อตรวจสอบความใกล้เคียงกับการจำลองผลจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ผลการทดสอบวงจรรวมกำลังสัญญาณแบบวิคินสัน Lumped element แบบ 3 พอร์ต

4.1.1 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ

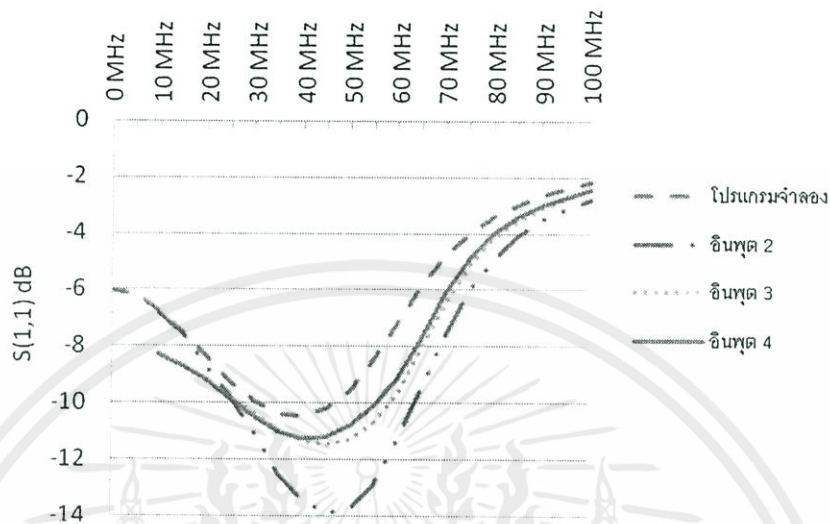
ค่าการสูญเสียย้อนกลับคือค่าของสัญญาณในส่วนที่สะท้อนกลับ เนื่องจากสัญญาณบางส่วนวิ่งผ่านรอยต่อไป บางส่วนเจอรอยต่อในมุมต่างก็สะท้อนกลับ ซึ่งสายอากาศที่ดีควรมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่น้อยกว่า -10 dB โดยเป็นการแสดงค่าเปรียบเทียบผลให้เห็นระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองโปรแกรมและผลจากการทดสอบจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายที่ความถี่กลางที่ 50 MHz โดยมีค่าที่ได้จากการจำลองโปรแกรมคือ -52.608 dB และค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบโครงข่ายคือ -9.4243 dB สามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียย้อนกลับระหว่างการจำลองและการทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (ที่พอร์ตอินพุต 2, 3 และ 4)



รูปที่ 4.3 ค่าสูญเสียย้อนกลับเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลองจริง

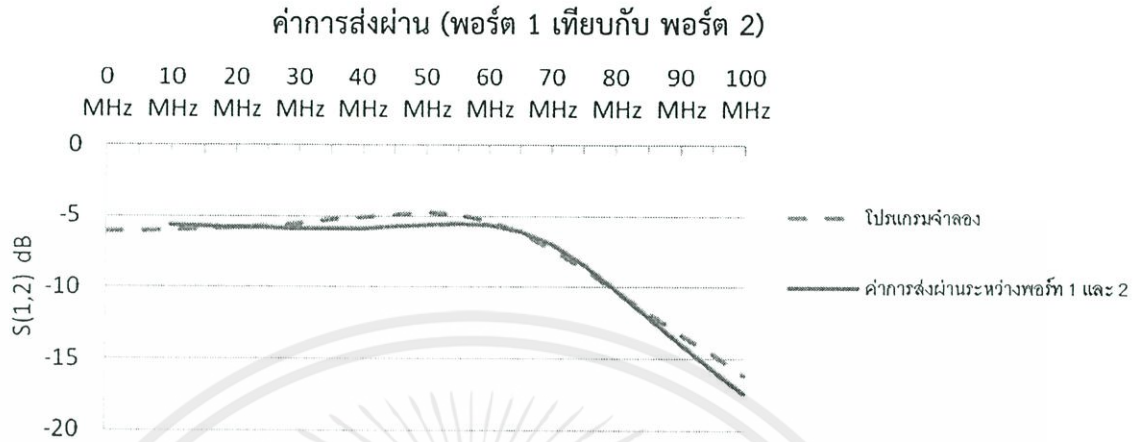
ตารางที่ 4.1 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของวงจรรวมสัญญาณวิลคินสัน Lumped element

พอร์ต	S11(dB)			
	1	2	3	4
การจำลอง	-52.608		-9.531	
การวัด	-9.4243	-13.744	-11.277	-10.793

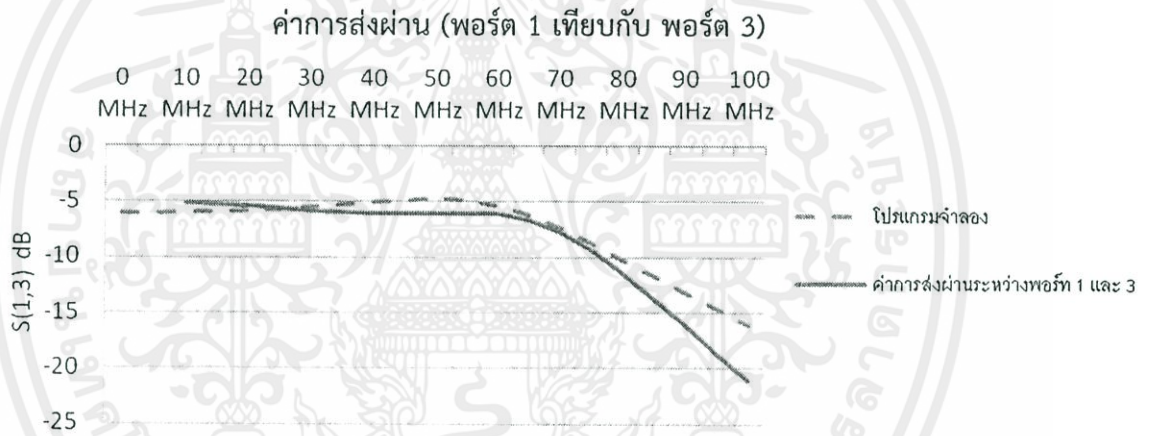
4.1.2 ค่าการส่งผ่าน

การแสดงค่าการส่งผ่านทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองโปรแกรม และค่าที่ได้จากการทดสอบจากเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายที่ความถี่ 10 MHz – 100 MHz โดยมีความถี่กลางคือ 50 MHz นั้นได้นำเสนอโดยทำการวัดเปรียบเทียบค่าที่พอร์ต 1 เทียบกับที่พอร์ต 2, 3 และ 4 ได้ทำการเสนอทั้งสามรูป สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 โดยค่าที่ได้จากการจำลองคือ -4.772 dB

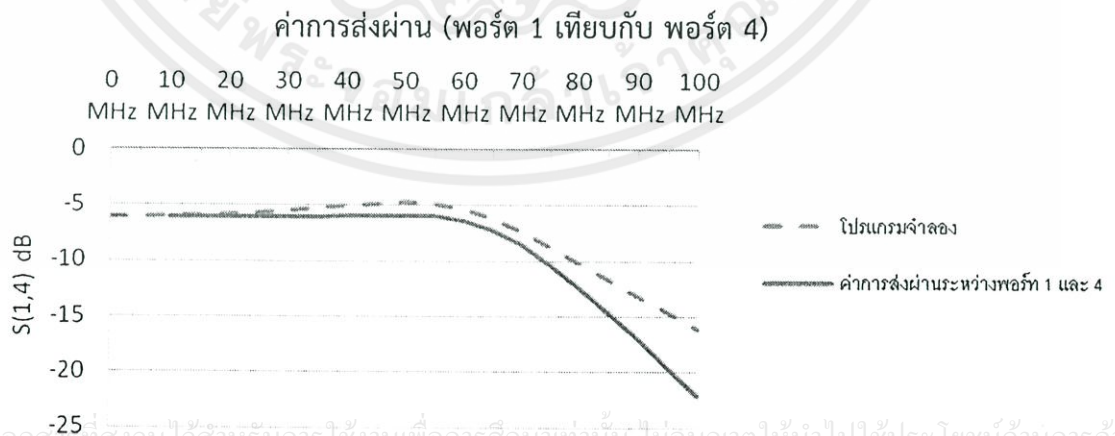
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ค่าการส่งผ่านระหว่างการจำลองกับการทดลองจริง (พอร์ต 1 เทียบกับ พอร์ต 2)



รูปที่ 4.5 ค่าการส่งผ่านระหว่างการจำลองกับการทดลองจริง (พอร์ต 1 เทียบกับ พอร์ต 3)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.6 ค่าการส่งผ่านระหว่างการจำลองกับการทดลองจริง (พอร์ต 1 เทียบกับ พอร์ต 4)

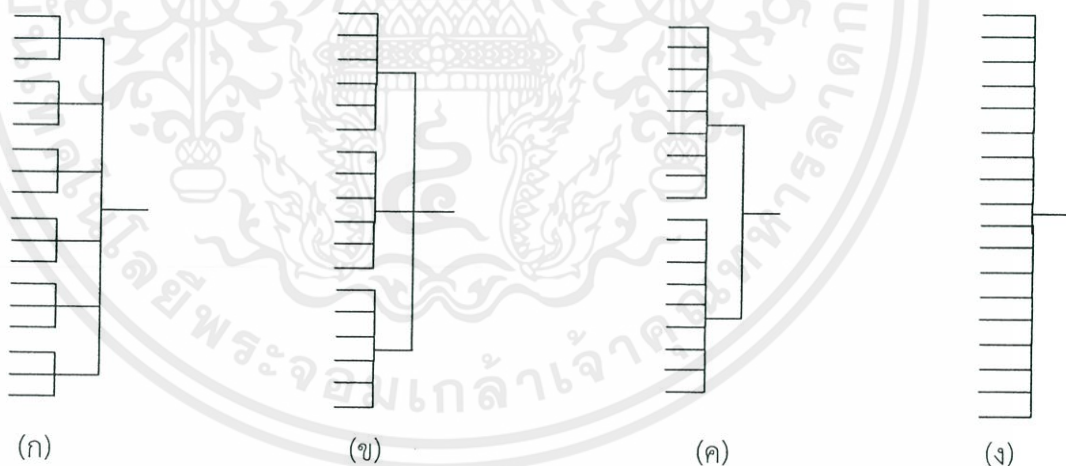
การแสดงผลการส่งผ่านทั้งหมดที่เปรียบเทียบค่าที่ได้จากโปรแกรมจำลอง และค่าที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าการส่งผ่านของวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element

พอร์ต 1 เทียบกับ	S12, S13, S14 (dB)		
	พอร์ต 2	พอร์ต 3	พอร์ต 4
การจำลอง	-4.772		
การวัด	-5.5835	-6.0573	-5.8783

4.2 ผลการวิเคราะห์ห้วงจรรวมกำลังสัญญาณแบบวิลคินสัน Lumped element แบบ 18 พอร์ต

การออกแบบสร้างวงจรรวมกำลังสัญญาณแบบวิลคินสัน Lumped element แบบ 18 พอร์ต สามารถวิเคราะห์เพื่อออกแบบการสร้างได้หลายวิธีได้แก่ การสร้างจาก Lumped element แบบ 3 พอร์ต 6 ชุด, Lumped element แบบ 6 พอร์ต 3 ชุด, Lumped element แบบ 9 พอร์ต 2 ชุด และจาก Lumped element แบบเข้า 18 พอร์ตออก 1 พอร์ต โดยโครงสร้างสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 โครงสร้างวงจรรวมกำลังสัญญาณแบบวิลคินสัน Lumped element แบบ 18 พอร์ต

(ก) แบบ 3 พอร์ต 6 ชุด

(ข) แบบ 6 พอร์ต 3 ชุด

(ค) แบบ 9 พอร์ต 2 ชุด

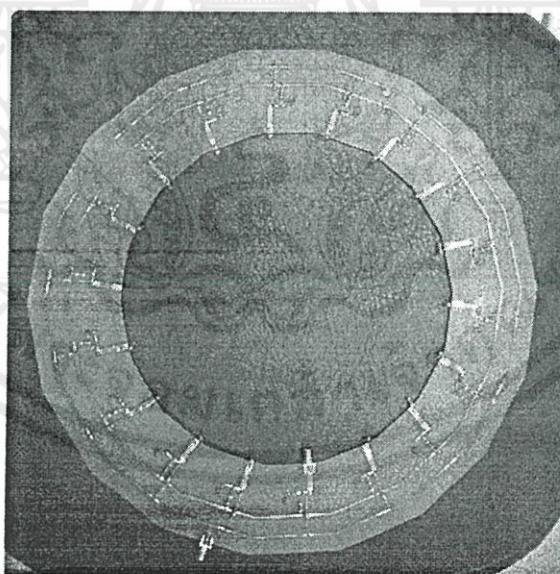
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ (ง) แบบเข้า 18 พอร์ต ออก 1 พอร์ต ห้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่จากการนำวงจรข้างต้นมาจำลองผลด้วยโปรแกรมจำลอง สามารถสรุปได้ว่าวงจรรวมกำลังสัญญาณแบบวิลคินสันแบบ Lumped element แบบเข้า 18 พอร์ต ออก 1 พอร์ต เป็นวงจรที่ให้ผลค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำที่สุด ซึ่งจะทำให้วงจรมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานมากที่สุด แสดงผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับและค่าการส่งผ่านของวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element แบบเข้า 18 พอร์ต ออก 1 พอร์ต จากโปรแกรมจำลอง

วงจรรวมกำลัง 18 พอร์ต	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (dB)	ค่าการส่งผ่าน (dB)
3 พอร์ต 6 ชุด	-2.930	-15.645
6 พอร์ต 3 ชุด	-6.026	-13.800
9 พอร์ต 2 ชุด	-9.505	-13.069
เข้า 18 พอร์ต ออก 1 พอร์ต	-54.537	-12.552

จากผลการทดลองดังกล่าวจึงทำการออกแบบเพื่อสร้างวงจรรวมกำลังสัญญาณแบบวิลคินสัน Lumped element แบบเข้า 18 พอร์ต ร่วมกับสายอากาศแถวลำดับยาภิและมิกเซอร์ 18 ตัว ที่มีลักษณะเป็นวงกลมดังได้รูป



รูปที่ 4.8 โครงสร้างวงจรรวมกำลังงานแบบวิลคินสัน Lumped element วงกลมแบบ 18 พอร์ตที่

ใช้งานร่วมกับสายอากาศแถวลำดับยาภิและมิกเซอร์จำนวน 18 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดสอบวงจรรวมกำลังสัญญาณแบบวิลคินสัน Lumped element แบบ 18 พอร์ต

4.3.1 ค่าการส่งผ่าน

การแสดงค่าการส่งผ่านทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองโปรแกรม และค่าที่ได้จากการทดสอบจากเครื่องวิเคราะห์ที่ความถี่ 10 – 100 MHz โดยมีความถี่กลางคือ 50 MHz นั้นได้นำเสนอโดยทำการวัดเปรียบเทียบค่าที่พอร์ตเอาต์พุต เทียบกับพอร์ตอินพุตทุกพอร์ต แสดงในตารางที่ 4.4 โดยค่าที่ได้จากการจำลองคือ -12.552 dB

ตารางที่ 4.4 ค่าการส่งผ่านของวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element

s-parameter	ค่าจากโปรแกรมจำลอง (dBm)	ค่าจากการวัด (dBm)
$S_{1,2}$	-12.552	-19.43
$S_{1,3}$	-12.552	-20.55
$S_{1,4}$	-12.552	-22.83
$S_{1,5}$	-12.552	-26.58
$S_{1,6}$	-12.552	-30.91
$S_{1,7}$	-12.552	-35.26
$S_{1,8}$	-12.552	-34.46
$S_{1,9}$	-12.552	-27.13
$S_{1,10}$	-12.552	-25.71
$S_{1,11}$	-12.552	-22.01
$S_{1,12}$	-12.552	-23.78
$S_{1,13}$	-12.552	-25.86
$S_{1,14}$	-12.552	-30.70
$S_{1,15}$	-12.552	-35.51
$S_{1,16}$	-12.552	-32.62
$S_{1,17}$	-12.552	-27.33
$S_{1,18}$	-12.552	-24.57
$S_{1,19}$	-12.552	-21.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าค่าการส่งผ่านที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรมและการวัดผลมีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมาก ซึ่งทำให้วงจรไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน จึงปรับค่าอุปกรณ์ เพื่อให้วงจรมีที่เหมาะสมต่อการใช้งานมากที่สุด

ตารางที่ 4.5 ค่าการส่งผ่านของวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน Lumped element เมื่อปรับค่าอุปกรณ์

s-parameter	ค่าจากโปรแกรมจำลอง (dBm)	ค่าจากการวัด (dBm)
$S_{1,2}$	-12.552	-12.42
$S_{1,3}$	-12.552	-13.85
$S_{1,4}$	-12.552	-14.61
$S_{1,5}$	-12.552	-14.53
$S_{1,6}$	-12.552	-17.64
$S_{1,7}$	-12.552	-20.50
$S_{1,8}$	-12.552	-24.35
$S_{1,9}$	-12.552	-23.27
$S_{1,10}$	-12.552	-19.66
$S_{1,11}$	-12.552	-18.47
$S_{1,12}$	-12.552	-19.50
$S_{1,13}$	-12.552	-21.04
$S_{1,14}$	-12.552	-19.21
$S_{1,15}$	-12.552	-19.34
$S_{1,16}$	-12.552	-15.24
$S_{1,17}$	-12.552	-13.78
$S_{1,18}$	-12.552	-12.96
$S_{1,19}$	-12.552	-12.21

จากตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อทำการปรับลดค่าตัวเหนี่ยวนำลง ทำให้วงจรมีค่าการส่งผ่านที่ใกล้เคียงกับค่าจากโปรแกรมจำลอง ซึ่งสามารถนำไปใช้งานกับสายอากาศรับยาภิ 18 ตัวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างชิ้นงานและเก็บผลทดลอง ทางคณะผู้จัดทำทราบว่า ในทางทฤษฎีกับทางปฏิบัติยังคงมีความแตกต่าง ข้อจำกัด และปัญหาบางประการ จึงจำเป็นต้องใช้ความพยายามในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

5.1 สรุปผล

โครงการนี้ได้นำเสนอการออกแบบวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสัน N พอร์ต ที่ใช้งานที่ความถี่ปานกลางที่ 50 MHz โดยใช้วงจร Lumped element การทำงานเริ่มจากการออกแบบวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบพื้นฐาน (2 พอร์ต) และแบบ 3 พอร์ต จากนั้นทำการจำลองวงจรโดยใช้โปรแกรมจำลองเพื่อทดสอบผล ซึ่งผลที่ได้มีค่าที่ถูกต้องตรงตามทฤษฎี จึงทำการออกแบบวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันที่มีจำนวนพอร์ตต่างๆ (N พอร์ต) เช่น 3 พอร์ต 6 พอร์ต, 9 พอร์ต และ 18 พอร์ต และทำการเก็บผลของวงจรที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมจำลอง ทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้เพื่อหารูปแบบของวงจรที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อจะนำมาสร้างต่อไป จากนั้นทำการสร้างวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ 3 พอร์ต เพื่อเปรียบเทียบผลจากวงจรที่สร้างขึ้นจริงกับผลที่ได้จากโปรแกรมจำลอง โดยทำการวิเคราะห์ผลด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่าย (Network Analyzer) ทำการวัดค่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับ และค่าการส่งผ่าน พบว่าวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ 3 พอร์ต มีค่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับและค่าการส่งผ่านที่ใกล้เคียงกับการจำลองด้วยโปรแกรมและสอดคล้องกับทางทฤษฎี จึงสามารถนำไปใช้งานได้

จากนั้นจึงทำการออกแบบและสร้างวงจรรวมกำลังสัญญาณวิลคินสันแบบ 18 พอร์ต เพื่อใช้งานร่วมกับสายอากาศแถวลำดับยาภิและมิกเซอร์จำนวน 18 ตัว โดยค่าการส่งผ่านของวงจรที่ออกแบบด้วยโปรแกรมจำลองทุกพอร์ตมีค่าเท่ากับ -12.55 dB ซึ่งเมื่อนำวงจรที่ออกแบบมาสร้างจริงพบว่าค่าการส่งผ่านที่วัดได้มีค่าแตกต่างจากค่าจากโปรแกรมจำลอง ซึ่งวงจรที่ได้ไม่เหมาะสมกับการใช้งานจริง เพื่อให่วงจรมีค่าการส่งผ่านใกล้เคียงกับค่าจากการจำลองมากขึ้น จึงทำการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์บางชนิดในวงจร พบว่าการปรับค่าของขดลวดเหนี่ยวนำทำให้ได้ค่าการส่งผ่านที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและสร้างวงจรรวมกำลังสัญญาณวีดิทัศน์ทั้งแบบ 3 พอร์ตและ 18 พอร์ต ค่าการส่งผ่านที่ได้จากการจำลองและค่าที่วัดได้จริงจะมีความแตกต่างกันอยู่ เนื่องจากสาเหตุต่างๆดังนี้

1. อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ (ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ) ไม่สามารถหาค่าที่ตรงกับการคำนวณในทางทฤษฎีได้จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีค่าใกล้เคียงแทน
2. เส้นไมโครสตริปและเส้นลายทองแดง มีความคมชัดไม่พอซึ่งเกิดจากขั้นตอนการสร้างแผ่นพิมพ์
3. สำหรับวงจรรวมกำลังสัญญาณวีดิทัศน์ทั้งแบบ 18 พอร์ต พบว่าความยาวของเส้นสายส่งทองแดงมีผลต่อค่าการส่งผ่านของวงจร

จากการศึกษาปริญญาโทพบว่าการออกแบบอุปกรณ์รวมสัญญาณแบบ N พอร์ตนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อวงจรด้วย เช่น ความกว้างและความยาวของเส้นลายทองแดง และระยะห่างระหว่างพอร์ตแต่ละพอร์ต เป็นต้น เพื่อให้อุปกรณ์รวมสัญญาณแบบ N พอร์ตสามารถนำไปใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] David M Pozar. Microwave Engineering. 2 nd ed. New York : Mc John & Sons, Inc., 1998
- [2] Fernando Noriega, Pedro J. Gonzalez. “Designing LC Wilkinson power splitter”
http://mobiledevdesign.com/tutorials/radio_designing_lc_wilkinson
- [3] อลงกรณ์ ชูสิทธิ์นารมณ, ธยารวีวศา ฤทธิยา, และอานนท์ สกลคณาพงษ์. “สายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นสำหรับการเพิ่มสมรรถนะของการสื่อสารไร้สาย” ปรินญาพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2553



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้