



รหัสวิชา.....010113340.....ชื่อวิชา Antenna and Microwave Engineering Laboratory
ภาคการศึกษาที่.....2.....ประจำปีการศึกษา.....2565.....
รหัสนักศึกษา.....6201011631188.....ชื่อ-นามสกุล...นาย...โสภณ.....สุขสมบูรณ์.....
รหัสนักศึกษา.....6201011631072.....ชื่อ-นามสกุล.....นาย ธนภูมิ.....อังก้านวยศิริ.....
วันที่และช่วงเวลาที่ทำการทดลอง8 กุมภาพันธ์.....2566.....
อาจารย์ผู้สอน.....PTD,WWT.....

วัตถุประสงค์

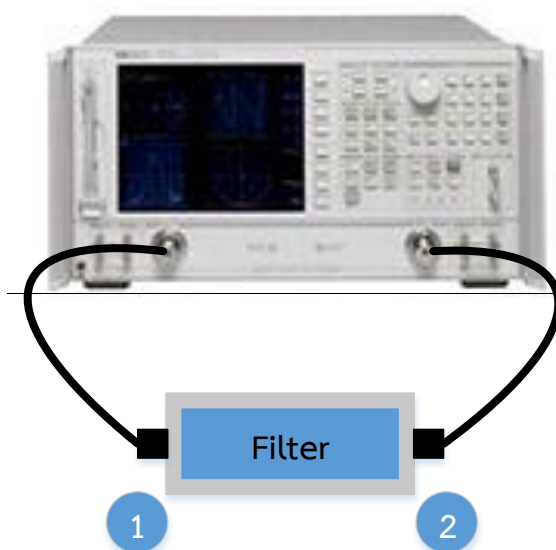
1. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับชนิดและโครงสร้างของตัวกรองสัญญาณและอุปกรณ์ไมโครเวฟอื่น ๆ
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถวัดผลตอบสนองทางความถี่ของตัวกรองสัญญาณและอุปกรณ์ไมโครเวฟโดยใช้เครื่อง Vector Network Analyzer ได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Vector Network Analyzer (Anritsu), Vector Network Analyzer (Transcomm)
2. N Type Calibration kit for Anritsu, N Type Calibration kit for Transcomm, SMA calibration kit for Transcomm.
3. Filter
4. Power Divider
5. Circulator

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

- วงจรกรองความถี่เป็นวงจรที่ยอมให้ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าผ่านได้บางช่วงเท่านั้น โดยที่ความถี่อื่นๆ จะถูก ลดทอนหรือ ตัดออกไปเพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการเท่านั้น โดยวงจรกรองความถี่นั้น แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter Circuit, LPF), วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter Circuit, HPF), วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (Band Pass Filter Circuit, BPF) และ วงจรกรองความถี่แถบหยุด (Band Stop Filter Circuit, BSF) โดยที่
- วงจร Power Divider เป็นวงจรแบ่งกำลังงาน โดยมีอินพุต 1 พอร์ต และ เอาต์พุต n พอร์ต ขึ้นอยู่กับการออกแบบ โดยจะทำการแบ่งกำลังงานจากอินพุตไปยังเอาต์พุต เช่น กำลังงาน 1 W ถูกส่งเข้ามายังพอร์ต 1 หากมี พอร์ต 2 และ 3 จะมีสัญญาณออกมาอย่างละครึ่ง นั่นคือ 0.5 W และ 0.5 W ตามลำดับ (By Default)
- วงจร Circulator เป็นอุปกรณ์ 3 พอร์ต หรือ 4 พอร์ต โดยจะยอมให้สัญญาณส่งจากพอร์ตหนึ่ง ๆ ไปยังพอร์ตอื่น ๆ ได้ก็ต่อเมื่อเป็นไปตามทิศทางที่กำหนด เช่น 1->2->3->1 หากเราส่งสัญญาณจาก 1 ไป 2 สามารถทำได้ และเราจะส่ง 2 ไป 1 ไม่ได้ นิยมใช้กับเสาอากาศที่ทำหน้าที่ทั้งรับและส่งสัญญาณในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 1 การวัดทดสอบคุณสมบัติของวงจรกรองโดยใช้ Vector Network Analyzer

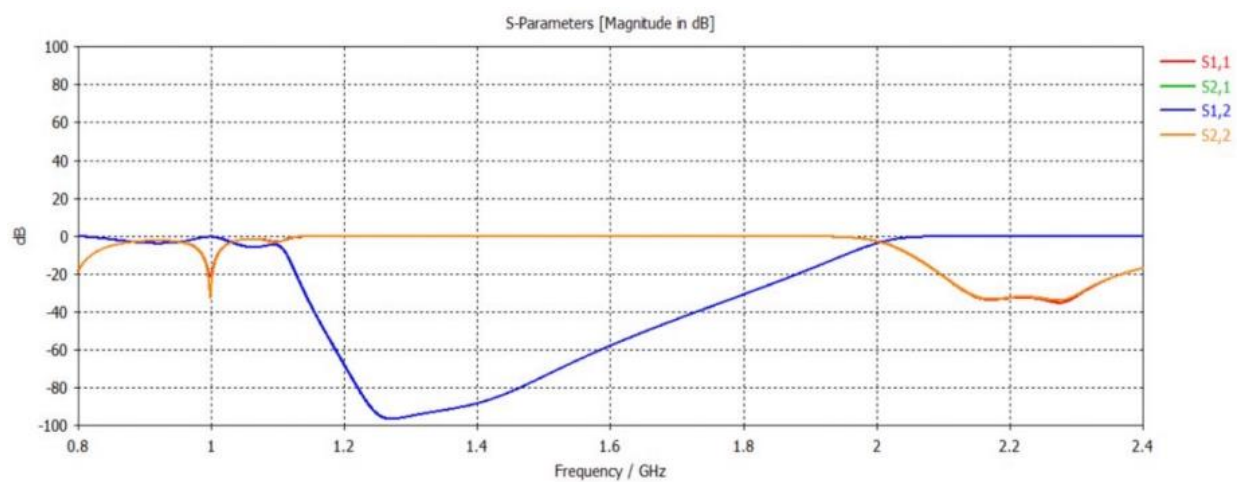
1. การวัดทดสอบวงจรกรองสัญญาณ โดยใช้ Vector Network Analyzer (Anritsu/Transcomm)

ขั้นตอนการทดลอง

- 1.1. กำหนดค่าความถี่ของเครื่อง Vector Network Analyzer ในช่วงความถี่ที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะทำการวัด
- 1.2. ทำการ Calibration เครื่อง Vector Network Analyzer เพื่อวัดผลตอบสนองทางความถี่ โดยกำหนดให้ Port 1 เป็นพอร์ตอินพุต (ส่งสัญญาณ) และ Port 2 เป็นพอร์ตเอาต์พุต (รับสัญญาณ)
- 1.3. วัดขนาดต่าง ๆ ของโครงสร้างวงจรกรองที่หยิบขึ้นมาวัด (ชิ้นงานที่ 1) นำไป simulate ในซอฟต์แวร์ โดยตั้งความถี่เริ่มต้น ความถี่สุดท้าย จำนวนจุดในการคำนวณ ให้สอดคล้องกับที่ตั้งไว้ในการ calibration ในข้อ 1.2 บันทึกผลการ simulate หรือ export ออกมาเป็น text file เช่น .s2p หรืออื่น ๆ
- 1.4. ต่อวงจรกรองสัญญาณ (Filter) ที่หยิบขึ้นมาวัด เข้ากับเครื่อง Vector Network Analyzer ดังรูปที่ 1 และทำการวัด s-parameter ทั้ง 4
- 1.5. บันทึกกราฟของ s-parameter ทั้ง 4 ที่ได้ เป็นชนิดรูปภาพ และข้อมูล text เช่น csv, s2p เป็นต้น
- 1.6. นำข้อมูล text จากข้อ 1.3 กับ 1.5 ไปพล็อตลงในกราฟเดียวกันเพื่อทำการเปรียบเทียบผลการวัดจริงกับผลการ simulated จากซอฟต์แวร์
- 1.7. จากกราฟ $|S_{11}|$ และ $|S_{21}|$ ใช้ marker ของ Network Analyzer เพื่อทำการดูค่าต่าง ๆ ที่วัดได้ของวงจรกรองสัญญาณ จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการวัดที่ได้ว่า ชิ้นงานที่นำมาวัดนั้นเป็นวงจรกรองประเภทใด มีคุณสมบัติหรือ specification ที่สำคัญเป็นอย่างไรบ้าง รวมถึงมีย่านการใช้งานในช่วงความถี่ใด
- 1.8. เปลี่ยนวงจรกรองเป็นตัวอื่น (ชิ้นงานที่ 2) และวัดทดสอบ ทำซ้ำในลำดับที่ 1.1-1.7



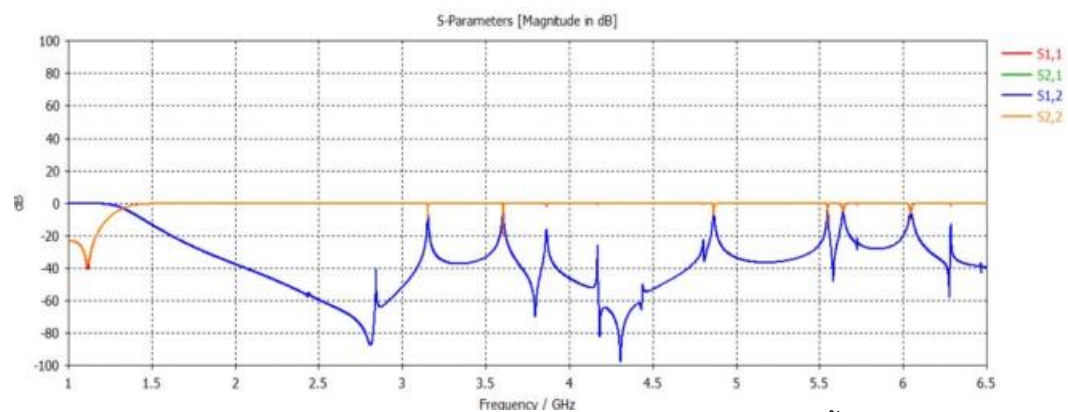
ภาพชิ้นงานที่ 1 และ s-parameter ที่ได้จากผลการวัดชิ้นงานที่ 1 ด้วย VNA



ภาพการเปรียบเทียบผลการวัดและจำลอง (simulation) ของชิ้นงานที่ 1



ภาพชิ้นงานที่ 2 และ s-parameter ที่ได้จากการวัดชิ้นงานที่ 2 ด้วย VNA



ภาพการเปรียบเทียบผลการวัดและจำลอง (simulation) ของชิ้นงานที่ 2

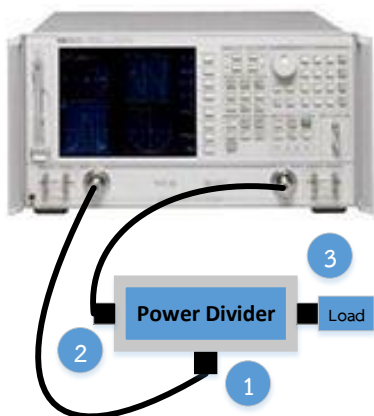


2. การวัดทดสอบวงจร *Power Divider* โดยใช้ *Vector Network Analyzer* (Anritsu/Transcomm)

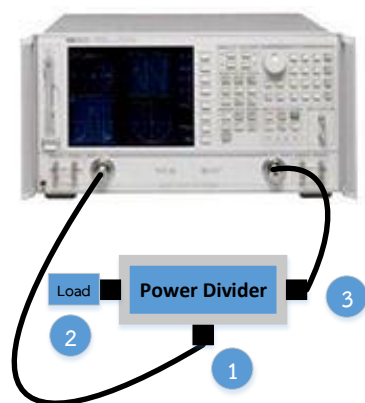
*** วงจรนี้เป็นวงจร 3 พอร์ต แต่เครื่อง VNA ที่มีวัดได้แค่ 2 พอร์ต ดังนั้นจึงต้องทำการวัดทีละ 2 พอร์ต จำนวนทั้งสิ้น 3 ครั้งเพื่อให้ได้ข้อมูลของ s-parameter ครบทั้ง 9 ตัว โดยขณะที่วัดแค่ 2 พอร์ตนั้น พอร์ตที่ว่างอยู่จะต้องต่อ terminated ด้วยโหลด 50 โอห์ม ***

ขั้นตอนการทดลอง

- 2.1. กำหนดค่าความถี่ของเครื่อง Vector Network Analyzer ในช่วงความถี่ที่เหมาะสม
- 2.2. ทำการ Calibration เครื่อง Vector Network Analyzer เพื่อวัดผลตอบแทนทางความถี่
- 2.3. วัดทดสอบวงจร Power Divider จำนวน 2 ขั้นที่แตกต่างกัน หยิบ Power Divider ตัวที่ 1 มาวัดโดยให้ Port 1 เป็นพอร์ตอินพุต และ Port 2 เป็นพอร์ตเอาต์พุต โดยต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 2(ก) (โดย Port ที่ว่างอยู่ให้ต่อ โหลด 50 โอห์ม)
- 2.4. ทำการวัด s-parameter และใช้ marker ของ Network Analyzer เพื่อทำการหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ วงจร Power Divider บันทึกผลเป็นรูปภาพ และ txt file (ณ ตอนนี s-parameter ที่ได้คือ S_{11} , S_{12} , S_{21} , และ S_{22} ของชิ้นงานนี้)
- 2.5. เปลี่ยน Port เอาต์พุตเป็น Port 3 สำหรับการวัดทดสอบ โดยต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 2(ข)
- 2.6. ทำซ้ำข้อ 2.4 (ณ ตอนนี s-parameter ที่ได้คือ S_{11} , S_{13} , S_{31} , และ S_{33} ของชิ้นงานนี้)
- 2.7. เปลี่ยน Port อินพุตเป็นพอร์ต 2 พอร์ตเอาต์พุตเป็น Port 3 สำหรับการวัดทดสอบ ทำซ้ำข้อ 2.4 (ณ ตอนนี s-parameter ที่ได้คือ S_{22} , S_{23} , S_{32} , และ S_{33} ของชิ้นงานนี้)



(ก) Port 1 เป็นอินพุต และ Port 2 เป็นเอาต์พุต



(ข) Port 1 เป็นอินพุต และ Port 3 เป็นเอาต์พุต

รูปที่ 2 การวัดทดสอบวงจร Power Divider



2.8 นำข้อมูล txt file ที่บันทึกไว้ไป plot เป็น s-parameter ทั้ง 9 ลงในกราฟเดียวกัน ของ power divider ตัวที่ 1

2.9 เปลี่ยนเป็น Power Divider ตัวที่ 2 และทำซ้ำขั้นตอนที่ 2.3-2.8

2.10 วิเคราะห์ข้อมูลจากผลการวัด power divider ทั้ง 2 ตัว ที่ได้ว่า มีคุณสมบัติหรือ specification ที่สำคัญเป็นอย่างไรบ้าง รวมถึงมีย่านการใช้งานในช่วงความถี่ใด



ภาพ power divider ตัวที่ 1



ภาพที่ได้จากการวัดในกรณีข้อ 2.4 ของ power divider ตัวที่ 1



ภาพที่ได้จากการวัดในกรณีข้อ 2.6 ของ power divider ตัวที่ 1



ภาพที่ได้จากการวัดในกรณีข้อ 2.7 ของ power divider ตัวที่ 1

ภาพ s-parameter ทั้ง 9 ของ power divider ตัวที่ 1



ภาพ power divider ตัวที่ 2



ภาพที่ได้จากการวัดในกรณีข้อ 2.4 ของ power divider ตัวที่ 2



ภาพที่ได้จากการวัดในกรณีข้อ 2.6 ของ power divider ตัวที่ 2



ภาพที่ได้จากการวัดในกรณีข้อ 2.7 ของ power divider ตัวที่ 2

ภาพ s-parameter ทั้ง 9 ของ power divider ตัวที่ 2



3. การวัดทดสอบวงจร *Circulator* โดยใช้ *Vector Network Analyzer* (Anritsu/Transcomm) ขั้นตอนการทดลอง

- 3.1. กำหนดค่าความถี่ของเครื่อง Network Analyzer ในช่วงความถี่ที่เหมาะสม
- 3.2. ทำการ Calibration เครื่อง Network Analyzer เพื่อวัดผลตอบแทนทางความถี่
- 3.3. วัดทดสอบวงจร Circulator โดยให้ Port 1 เป็นพอร์ตอินพุต และ Port 2 เป็นพอร์ตเอาต์พุต โดยต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 3(ก) (โดย Port ที่ว่างอยู่ให้ต่อโหลด 50 โอห์ม)
- 3.4. ทำการวัด s-parameter และใช้ marker ของ Network Analyzer เพื่อทำการหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจร circulator บันทึกผลเป็นรูปภาพ และ txt file (ณ ตอนนี s-parameter ที่ได้คือ S_{11} , S_{12} , S_{21} , และ S_{22} ของชิ้นงานนี้)
- 3.5. เปลี่ยน Port สำหรับการวัดทดสอบ โดยต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 3(ข)
- 3.6. ทำการวัด s-parameter และใช้ marker ของ Network Analyzer เพื่อทำการหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจร circulator บันทึกผลเป็นรูปภาพ และ txt file (ณ ตอนนี s-parameter ที่ได้คือ S_{11} , S_{13} , S_{31} , และ S_{33} ของชิ้นงานนี้)
- 3.7. ทำซ้ำข้อ 3.5-3.6 โดยให้ได้ผลลัพธ์ของ S_{11} จนถึง S_{33} ครบทั้ง 9 ค่า (พร้อมทั้งบอกด้วยว่า ผลการวัดที่ได้ในแต่ละครั้งคือการวัด S_{ij} ค่าใด) ทั้ง 2 ชนิด



(ก) Port 1 เป็นเอาต์พุต และ Port 2 เป็นอินพุต(S_{12}) (ข) Port 1 เป็นเอาต์พุต และ Port 3 เป็นอินพุต(S_{13})

รูปที่ 3 การวัดทดสอบวงจร Circulator



ภาพ circulator ตัวที่ 1 รหัส ..7N027..



ภาพที่ได้จากการวัดในกรณีข้อ 3.4 ของ circulator ตัวที่ 1



ภาพที่ได้จากการวัดในกรณีข้อ 3.6 ของ circulator ตัวที่ 1



ภาพที่ได้จากการวัดในกรณีข้อ 3.7 ของ circulator ตัวที่ 1

ภาพ s-parameter ทั้ง 9 ของ circulator ตัวที่ 1



ภาพ circulator ตัวที่ 2 รหัส



ภาพที่ได้จากการวัดในกรณีข้อ 3.4 ของ circulator ตัวที่ 2



ภาพที่ได้จากการวัดในกรณีข้อ 3.6 ของ circulator ตัวที่ 2



ภาพที่ได้จากการวัดในกรณีข้อ 3.7 ของ circulator ตัวที่ 2

ภาพ s-parameter ทั้ง 9 ของ circulator ตัวที่ 2

3.8 นำข้อมูล txt file ที่บันทึกไว้ไป plot เป็น s-parameter ทั้ง 9 ลงในกราฟเดียวกัน ของ circulator ตัวที่ 1 และ 2 พร้อมทั้งวิเคราะห์ว่า circulator ตัวที่วัดแต่ละตัวนั้นมีการหมุนแบบใด พร้อมทั้งบอกด้วยว่านำไปใช้งานได้ในช่วงความถี่ใด



สรุปผลการทดลอง

- ในการทดลองตอนที่ 1 การวัดทดสอบวงจรกรองสัญญาณนั้น เราได้เลือก filter มา 2 ชนิด เมื่อทำการทดลองโดยไม่ทราบว่า filter ทั้งสองนั้นเป็นชนิดใด ปรากฏว่าตัวแรกไม่ยอมให้สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า 1.2 GHz (โดยประมาณ) ผ่านได้ จึงสันนิษฐานว่าเป็น Low-pass filter และเมื่อทำการจำลองบน CST Studio Suite พบว่ามีลักษณะคล้ายกัน แต่ก็มีบางช่วงที่ไม่ตรงกับการวัด ซึ่งอาจเป็นเพราะอยู่กับการออกแบบของวงจรทำให้ค่าไม่ตรงกับที่วัดจริง และ filter ตัวที่สอง มีลักษณะเป็น Bandpass filter โดยยอมให้ความถี่ช่วง 2.1-3.2 GHz (โดยประมาณ) ผ่านได้ และเมื่อทำการจำลองบน CST Studio Suite พบว่าที่ความถี่เดียวกัน วงจรทำหน้าที่เหมือนกัน นั่นคือ กรองความถี่บางช่วงให้สามารถผ่านไป ได้ หรือก็คือทำหน้าที่เป็น Bandpass filter นั่นเอง
- ในการทดลองที่ 2 การวัดทดสอบวงจร Power Divider ตามหลักแล้ว Power Divider เป็นวงจร 3 พอร์ตและเราได้ทำการวัดที่ละ 2 พอร์ต สังเกตกราฟจากการทดลอง โดยให้ พอร์ต 3 ต่อกับโหลด 50 โอห์มและสลับไปจนครบ 3 พอร์ต พบว่า S21 ของแต่ละกราฟ มีลักษณะหรือแนวโน้มของกราฟ เหมือนกัน ตามหลักการของ Power Divider คือเมื่อเราส่งกำลังงานจากพอร์ต 1 เมื่อผ่าน Power Divider แล้วพลังงานจะถูกแบ่งออกไปยังพอร์ต 2 และ พอร์ต 3 โดยส่วนมากจะถูกแบ่งออกไปอย่างละครึ่งหนึ่งจากต้นทาง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การออกแบบ ซึ่ง Power Divider ทั้งสองทำหน้าที่ได้ตรงตาม หลักการที่กล่าวมาทั้งหมด
- ในการทดลองที่ 3 การวัดทดสอบวงจร Circulator หากเราทำการวัดโดยทำการสวนทางกับที่วงจรถูก ออกแบบไว้จะไม่สามารถส่งผ่านสัญญาณจากต้นทางไปยังปลายทางได้ โดยเมื่อเราทำการทดลองโดยให้ พอร์ต 1 เป็น Input และ พอร์ต 2 เป็น Output ปรากฏว่า S21 มีกำลังงาน 0 dB นั่นแปลว่าเมื่อเราส่ง กำลังงาน 1 W ที่พอร์ต Input 1 ไปยังพอร์ต Output 2 จะมีกำลังงาน 1 W ส่งผ่านมายังพอร์ต ดังกล่าว และเมื่อทำการทดลองโดยสลับตำแหน่งกัน ปรากฏว่าไม่สามารถส่งผ่านกำลังงานจากพอร์ต 2 ไปยังพอร์ต 1 นั่นคือ Circulator ตัวนี้ยอมให้ส่งสัญญาณจากพอร์ตที่ 1 ไปยังพอร์ตที่ 2 ได้เท่านั้น และ เมื่อทำการทดลองต่อไป โดยให้พอร์ต 2 เป็น Input และ พอร์ต 3 เป็น Output มีลักษณะเช่นเดียวกัน การทดลองแรก และ ให้พอร์ต 3 เป็น Input และ พอร์ต 1 เป็น Output มีลักษณะเช่นเดียวกันนั่นคือ S21 มีกำลังงาน 0 dB เช่นเดียวกันทุกกรณี สรุปได้ว่าทิศทางของ Circulator คือ 1 -> 2 -> 3 -> 1