



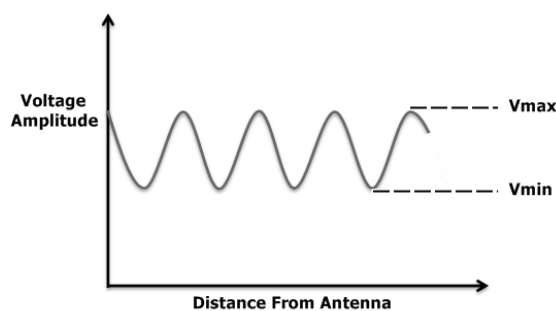
รหัสวิชา.....010113340.....ชื่อวิชา Antenna and Microwave Engineering Laboratory  
ภาคการศึกษาที่.....2.....ประจำปีการศึกษา.....2565.....  
รหัสนักศึกษา.....6201011631188.....ชื่อ-นามสกุล...นาย...โสภณ.....สุขสมบูรณ์.....  
รหัสนักศึกษา.....6201011631072.....ชื่อ-นามสกุล.....นาย ธนภูมิ.....อังอำนวยศิริ.....  
วันที่และช่วงเวลาที่ทำการทดลอง .....8 กุมภาพันธ์.....2566.....  
อาจารย์ผู้สอน.....PTD,WWT.....

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ให้นักศึกษามีทักษะในการวัดแรงดันของคลื่น เพื่อคำนวณหาค่า พารามิเตอร์ต่าง ๆ จำพวก  $\Gamma$ , VSWR,  $V_{\max}$ ,  $V_{\min}$  ภายในท่อนำคลื่น
2. เพื่อให้ให้นักศึกษามีทักษะในการใช้เครื่อง Vector Voltmeter
3. เพื่อให้ให้นักศึกษามีทักษะในการใช้เครื่อง RF Generator
4. เพื่อให้ให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเดินทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ภายในท่อนำคลื่น

### ทฤษฎี

VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างแรงดันสูงสุดของคลื่นนิ่งและแรงดันต่ำสุดของคลื่นนิ่ง ดังรูป



$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$$

โดย  $V_{\max}$  คือ จุดที่คลื่นมีแอมพลิจูดมีค่าสูงที่สุด

$V_{\min}$  คือ จุดที่คลื่นมีแอมพลิจูดมีค่าต่ำที่สุด



การหา Guide Wavelength หาได้จากสูตร

$$\lambda_{guide} = \frac{c}{f} \times \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{c}{2a \times f}\right)^2}}$$

โดย  $f$  คือ ความถี่ที่ใช้

$c$  คือ ความเร็วของแสง  $3 \times 10^8$  m/s

$a$  คือ ความกว้างของท่อนำคลื่น 0.248 m

เมื่อเกิด Standing Wave ภายในท่อนำคลื่น Wavelength ของ Standing Wave จะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของ Guide Wavelength

$$\frac{1}{2} \lambda_{guide} = \lambda_{\text{Standing Wave}}$$

อุปกรณ์การทดลอง



1. Waveguide (ท่อนำคลื่น)



2. RF Signal Generator



4. Vector Voltmeter



5. Directional Coupler





6. Power Divider

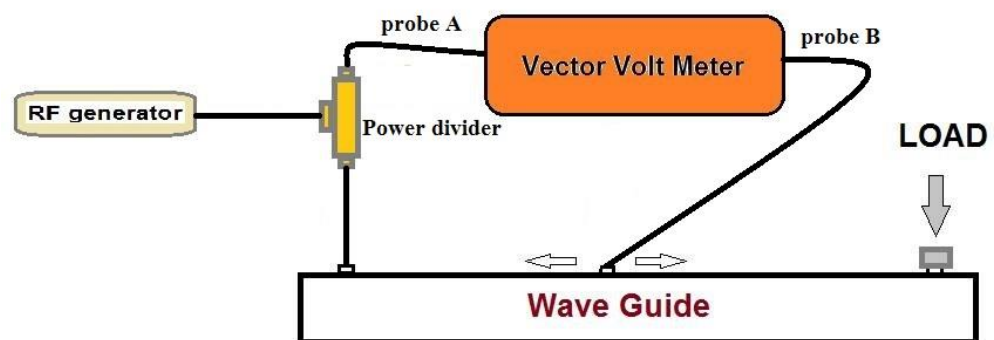


7. สาย RG-8



ลักษณะการต่อ

1. กรณีใช้ Vector Voltmeter



ขั้นตอนการเตรียมความพร้อมเครื่อง RF Signal Generator

1. เปิดเครื่อง RF Signal Generator
2. กดปุ่ม [INSTR PRESET] เพื่อทำการคืนค่า Default ต่างๆของเครื่องส่ง
3. เลือกช่วงความถี่ที่จะใช้ส่งโดยกดปุ่ม [CW] (Continuous Wave) แล้วทำการเลือกความถี่ที่  
3.1 กรณีใช้ รุ่น 8657A ให้ใช้ความถี่  $700 + 200(S-1) + 20G$  MHz

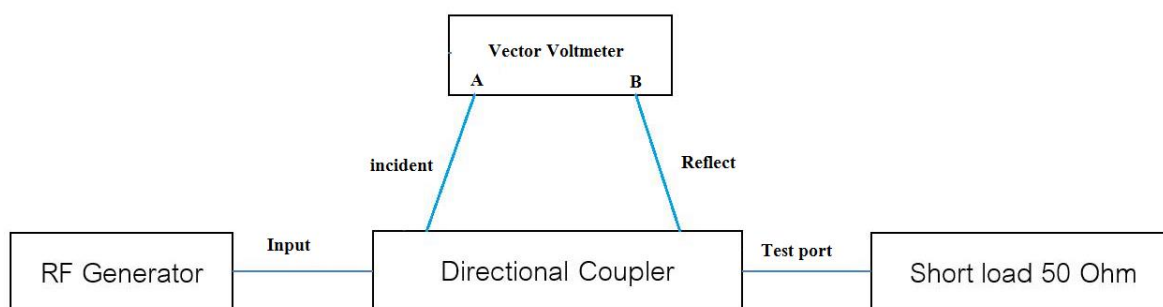


- 3.2 กรณีใช้ รุ่น 8350B และรุ่น 8362B ให้ใช้ความถี่  $1000 + 200(S-1) + 20G$  MHz
4. จากนั้นทำการเลือก Power ที่ต้องการส่งโดยกดปุ่ม [POWER LEVEL] แล้วทำการเลือกค่าที่ 0 dBm หรือน้อยกว่า
- (หมายเหตุ: S = section, G = group)

### ขั้นตอนการเตรียมความพร้อมเครื่อง Vector Voltmeter

1. เปิดเครื่อง Vector Voltmeter
2. ทำการคาลิเบรต Vector Voltmeter ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้
  - 2.1 ใช้สาย RG-8 เชื่อมต่อระหว่าง RF Generator กับ Port input ของ Directional Coupler โดยตั้งค่าแหล่งจ่าย (RF Generator) ให้มีค่ากำลังส่งเท่ากับ 0dBm และเลือกความถี่ที่แหล่งจ่ายตามความถี่ที่ได้ จากโจทย์ที่กำหนดข้อ 3 หน้า 5/16
  - 2.2 ต่อโหนดลัดวงจรมาตรฐาน เข้าที่ port output ของ Directional Coupler
  - 2.3 ต่อสายจาก port input A เข้าที่ Port Incident ของ Directional Coupler
  - 2.4 ต่อสายจาก port input B เข้าที่ Port Reflected ของ Directional Coupler
  - 2.5 กดปุ่ม [PRESET] ที่ Vector Voltmeter เพื่อให้เครื่องกลับไปมีค่าตั้งต้น แล้วกดปุ่ม [REFL MEAS] rho, angle เพื่อทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน
  - 2.6 กดปุ่ม [REF SELECT] SHORT เพื่อที่จะใช้โหนดลัดวงจรมาตรฐานเป็น Reference
  - 2.7 กดปุ่ม [SHIFT] และ [SAVE REF] เพื่อบันทึกค่า Reference เพื่อนำไปใช้

หมายเหตุ เมื่อตั้งค่าตามขั้นตอนทั้งหมดแล้ว เครื่องควรแสดงค่า  $1\angle 180^\circ$



### ขั้นตอนการทดลอง

1. นำโพรบป้อนสัญญาณจาก RF Generator ทำการป้อนสัญญาณที่ความถี่ที่กำหนด โดยเชื่อมต่อเข้ากับหัว N type ที่อยู่ปลายด้าน A ของท่อนำคลื่น



2. ส่วนหัวโพรบ connector N type ที่อยู่ตรงกลางของท่อนำคลื่นให้เชื่อมต่อเข้ากับ Spectrum Analyzer เพื่อทำการวัดค่าต่าง ๆ
3. หัวโพรบ N Type ที่อยู่ปลายด้าน B ของท่อนำคลื่นให้นำโหนดชนิดต่างๆ มาต่อเพื่อทดลองวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ออกมา
4. ทำการวัดค่า โดยการเลื่อน หัวโพรบ connector N type ที่อยู่ตรงกลางของท่อนำคลื่นจากตำแหน่ง 10 ไปเรื่อยๆ
5. นำค่าแรงดันที่วัดได้มาบันทึกลงในตาราง แล้วนำมา Plot เป็นกราฟและคำนวณหาค่า VSWR
6. เปลี่ยนโหนดแล้วทำตามขั้นตอนที่ 5
7. นำค่า VSWR ที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่า VSWR ที่ได้จากการคำนวณ

\*\*\* ระยะที่วัดในตารางอาจไม่ต้องวัดครบตามที่ปรากฏในตาราง แต่อย่างน้อยขอให้ข้อมูลที่วัดมานั้นสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของคลื่นนิ่งภายในท่อนำคลื่น สัก 2-3 cycles \*\*\*



คำสั่ง ให้นักศึกษาทำการวัดค่าพารามิเตอร์ของ waveguide ที่ Load ต่าง ๆ ใส่ในตาราง

Load .....75.... ohms

ระยะ(cm)	$ \Gamma $	ระยะ(cm)	$ \Gamma $	ระยะ(cm)	$ \Gamma $	ระยะ(cm)	$ \Gamma $
10	0.07	30	0.12	50	0.15	70	0.14
11	0.08	31	0.11	51	0.16	71	0.15
12	0.09	32	0.11	52	0.18	72	0.19
13	0.11	33	0.13	53	0.20	73	0.19
14	0.12	34	0.15	54	0.17	74	0.15
15	0.11	35	0.19	55	0.15	75	0.12
16	0.10	36	0.20	56	0.15	76	0.09
17	0.09	37	0.20	57	0.13	77	0.07
18	0.08	38	0.18	58	0.11	78	0.06
19	0.07	39	0.14	59	0.13	79	0.06
20	0.07	40	0.10	60	0.15	80	0.06
21	0.08	41	0.08	61	0.18	81	0.07
22	0.10	42	0.07	62	0.20	82	0.10
23	0.13	43	0.04	63	0.17	83	0.13
24	0.15	44	0.04	64	0.12	84	0.16
25	0.17	45	0.03	65	0.11	85	0.14
26	0.20	46	0.02	66	0.10	86	0.15
27	0.19	47	0.02	67	0.09	87	0.13
28	0.16	48	0.06	68	0.09	88	0.11
29	0.14	49	0.11	69	0.10	89	0.10



Load .....100... ohms

ระยะ(cm)	$ \Gamma $	ระยะ(cm)	$ \Gamma $	ระยะ(cm)	$ \Gamma $	ระยะ(cm)	$ \Gamma $
10	0.06	30	0.13	50	0.15	70	0.15
11	0.08	31	0.12	51	0.19	71	0.17
12	0.10	32	0.12	52	0.17	72	0.20
13	0.12	33	0.15	53	0.14	73	0.18
14	0.13	34	0.18	54	0.10	74	0.15
15	0.12	35	0.20	55	0.10	75	0.10
16	0.11	36	0.23	56	0.08	76	0.08
17	0.09	37	0.22	57	0.08	77	0.07
18	0.08	38	0.18	58	0.10	78	0.06
19	0.08	39	0.15	59	0.12	79	0.06
20	0.08	40	0.11	60	0.15	80	0.07
21	0.09	41	0.08	61	0.15	81	0.08
22	0.11	42	0.04	62	0.14	82	0.11
23	0.15	43	0.04	63	0.12	83	0.15
24	0.19	44	0.04	64	0.10	84	0.17
25	0.20	45	0.03	65	0.09	85	0.18
26	0.20	46	0.02	66	0.09	86	0.16
27	0.19	47	0.02	67	0.09	87	0.13
28	0.16	48	0.07	68	0.10	88	0.11
29	0.14	49	0.11	69	0.12	89	0.10





คำสั่ง ให้นักศึกษานำข้อมูลจากตารางข้างต้นมาทำการคำนวณค่า VSWR ของสายนำสัญญาณ เมื่อต่อกับโหลดค่าต่างๆ

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}}$$

Load 75 Ohm :

$$VSWR = \frac{1 + |0.20|}{1 - |0.02|} = 1.224$$

Load 100 Ohm :

$$VSWR = \frac{1 + |0.23|}{1 - |0.02|} = 1.255$$

คำสั่ง ให้นักศึกษาทำการคำนวณค่า Wavelength ของ Standing Wave เมื่อต่อกับโหลดค่าต่างๆ

$$\lambda_{\text{Standing Wave}} = |L_{\max 1} - L_{\max 2}|$$

โดย  $L_{\max 1}$  คือ ระยะที่มีแรงดันมากที่สุดจุดที่ 1  
 $L_{\max 2}$  คือ ระยะที่มีแรงดันมากที่สุดจุดที่ 2

Load 75 Ohm :

$$\lambda_{\text{Standing Wave}} = |25 - 36| = 11$$

Load 100 Ohm :

$$\lambda_{\text{Standing Wave}} = |24 - 36| = 12$$



จากนั้นจึงหา Guide Wavelength โดยการเทียบกับ Wavelength ของ Standing Wave

$$\frac{1}{2} \lambda_{guide} = \lambda_{\text{Standing Wave}}$$

Load 75 Ohm :

$$\text{Guide Wavelength} = 2 \times 11 = 22 \text{ cm} = 0.22 \text{ m}$$

Load 100 Ohm

$$\text{Guide Wavelength} = 2 \times 12 = 24 \text{ cm} = 0.24 \text{ m}$$

คำสั่ง ให้นักศึกษาทำการคำนวณค่าความถี่ (f) ภายในท่อนำคลื่น

$$\lambda_{guide} = \frac{c}{f} \times \frac{1}{\sqrt{1 - \left( \frac{c}{2a \times f} \right)^2}}$$

โดย f คือ ความถี่ที่ใช้

c คือ ความเร็วของแสง  $3 \times 10^8$  m/s

a คือ ความกว้างของท่อนำคลื่น 0.248m

$\lambda_{guide}$  คือ Guide Wavelength

Load 75 Ohm :

$$0.22 = \frac{3 \times 10^8}{f} \times \frac{1}{\sqrt{1 - \left( \frac{3 \times 10^8}{2 \times 0.248 \times f} \right)^2}}$$

EQN ; f = 1.49176 GHz (Default 1.4 GHz)

Load 100 Ohm :

$$0.24 = \frac{3 \times 10^8}{f} \times \frac{1}{\sqrt{1 - \left( \frac{3 \times 10^8}{2 \times 0.248 \times f} \right)^2}}$$

EQN ; f = 1.3886 GHz (Default 1.4 GHz)



### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า เมื่อความยาวของการเดินสายสัญญาณถึงจะจุด ๆ หนึ่งจะทำให้เกิดแรงดันสูงสุด และต่ำสุดเป็นลักษณะของ Sine wave เรียกว่า ลูกคลื่นนิ่ง แต่จากการทดลองโดยกำหนดความถี่ในการส่ง ที่ 1.4 GHz พบว่า กราฟของ VSWR ไม่เป็นไปตามทฤษฎีข้างต้น ซึ่งอาจเกิดได้หลายปัจจัย ทั้งนี้ได้ทำการทดสอบซ้ำ ๆ เป็นจำนวน 4 ครั้ง ปรากฏว่าได้ผลลัพธ์เหมือนเดิมทุกประการ แม้ว่าจะลองเปลี่ยน Load หรือ สายที่ใช้เดินสาย รวมทั้งทำการ Calibration ใหม่ทุกครั้งเมื่อทำการทดลอง อีกทั้งได้สอบถามไปยังเพื่อนสมาชิกที่ทำการทดลอง โดยใช้ความถี่เดียวกัน นั่นคือ 1.4 GHz ผลปรากฏว่าได้ผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกัน นั่นคือ กราฟ VSWR ไม่เป็นไปตามทฤษฎี ทั้งนี้ขอสันนิษฐานว่าเป็นเพราะความถี่ดังกล่าวทำให้เกิด Standing Wave ภายในท่อนำคลื่นนั่นเอง