การทดลองที่ 10 การวัดค่าอิมพีแดนซ์

10.1. วัตถุประสงค์ในการทดลอง

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถวัดค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถหาค่าอิมพีแดนซ์จากการวัดคลื่นนิ่งด้วยสล็อตไลน์ (slotted line)
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถใช้แผนภาพสมิธ (Smith chart) ในการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์

10.2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากทฤษฎีสายส่งค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับเป็นพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของโหลด โดยที่สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่โหลด Γ_L และอิมพีแดนซ์ของโหลด Z_L มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (1)$$

$$Z_L = Z_0 \frac{1 - \Gamma_L}{1 + \Gamma_L} \quad (2)$$

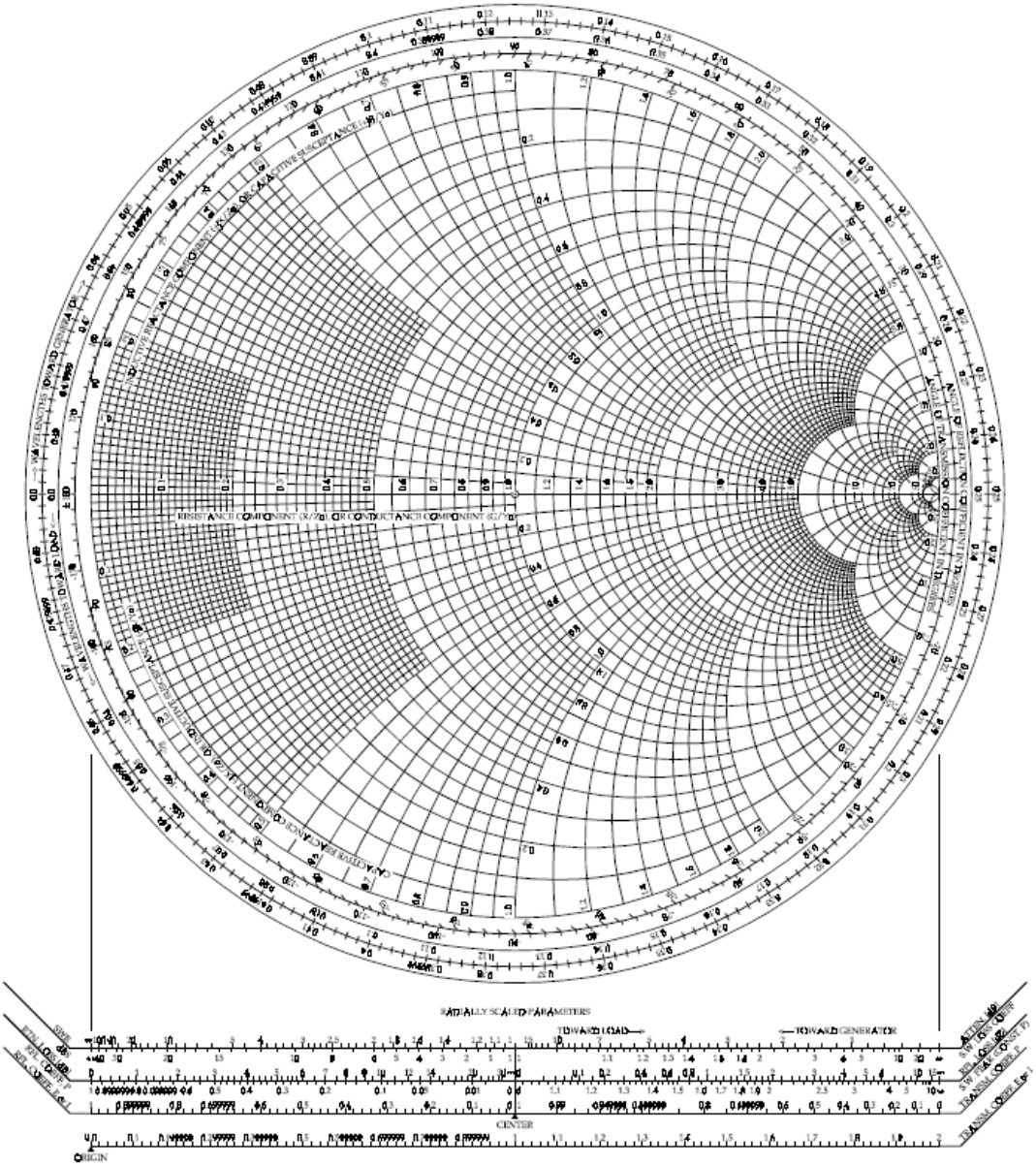
เมื่อ Z_0 คือค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของของท่อนำคลื่นและ Z_L เป็นจำนวนเชิงซ้อนประกอบด้วยจำนวนจริง (real) ที่เป็นส่วนของความต้านทาน R และจำนวนจินตภาพ (imaginary) ที่เป็นส่วนของรีแอคตีฟ X และ Γ_L เป็นปริมาณเวคเตอร์ที่มีทั้งขนาดและเฟส

<u>แผนภาพสมิธ (Smith Chart)</u>

การคำนวณหาขนาดและเฟสของ Γ_L จาก Z_L และ Z_0 หรือกลับกันเราสามารถใช้แผนภาพสมิธแทนการคำนวณที่สับสนนี้ได้ แผนภาพสมิธเป็นเครื่องมือคำนวณแบบกราฟฟิกส์ ที่พัฒนาโดย Smith ในปี ค.ศ. 1939 สามารถใช้ในการคำนวณสายส่งสัญญาณ (transmission line) ได้ง่ายขึ้น ในรูปที่ 1 แสดงลักษณะของแผนภาพสมิธ

รูปร่างหลักของแผนภาพ ในระบบประกอบขึ้นจากวงกลม 2 กลุ่ม ที่จัดเตรียมไว้สำหรับอ่านค่าปริมาณต่างๆ ของสายส่งสัญญาณได้โดยตรงจากแผนภาพเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน วงกลมที่หนึ่งแสดงในรูปที่ 2 (ก) มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลางของแผนภาพแต่ละวงกลมแสดงจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง อยู่ที่ปลายของเส้นผ่านศูนย์กลางทางขวามือ ซึ่งมีค่าเท่ากับความต้านทาน (resistance) ค่าความต้านทานของแต่ละวงแสดงบนเส้นผ่านศูนย์กลางของแผนภาพสมิธวงกลมกลุ่มที่ 2 มีศูนย์กลางอยู่บนเส้นที่ลากผ่านจุด “Common” ของวงกลมความต้านทานและเส้นนั้นตั้งฉากกับเส้น

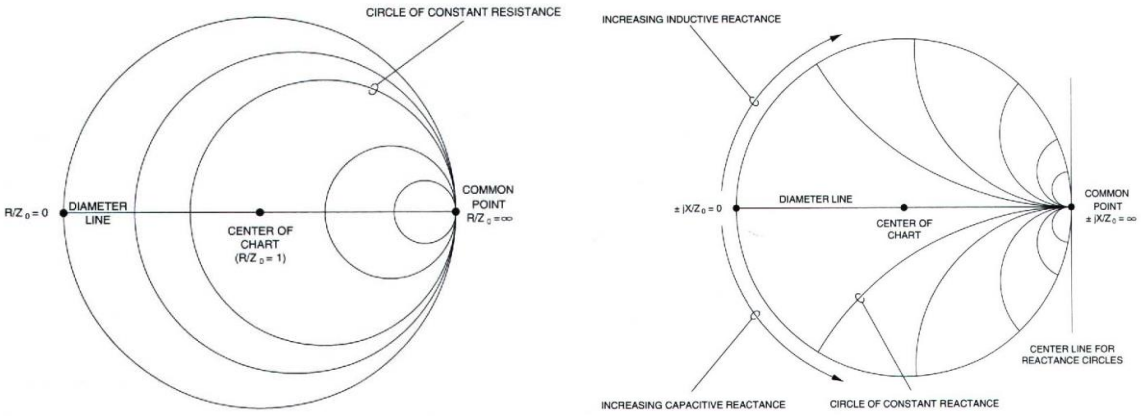
ผ่านศูนย์กลาง (diameter line) ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) แต่ละวงกลมของกลุ่มที่ 2 นี้ ค่ารีแอคแตนซ์ (reactance) จะแสดงค่าตรงขอบนอกของแผนภาพสมิธ



รูปที่ 1 แผนภาพสมิธ

โดยปกติทั้งค่าความต้านทานและค่าความต้านทานที่แสดงบนแผนภาพสมิธก็คืออิมพีแดนซ์คุณลักษณะ นั่นคือค่าความต้านทานบนแผนภาพ จะตรงกับ R/Z_0 และค่าความต้านทานบนแผนภาพสมิธจะตรงกับ X/Z_0 เพราะว่าเป็นค่าอิมพีแดนซ์ปกติ แผนภาพสมิธอาจใช้กับท่อนำคลื่นหรือสายส่งสัญญาณใดๆ สเกลอิมพีแดนซ์ ทั้งสองเริ่มต้นที่ค่าศูนย์ที่ซ้ายมือสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางและจบที่ขวามือสุดที่ค่าอนันต์ (infinity) ของเส้นผ่านศูนย์กลาง บนเส้นผ่านศูนย์กลางจะมีค่าความต้านทานเท่ากับค่าศูนย์ เหนือเส้นผ่านศูนย์กลางขึ้นไปความต้านทาน จะมีค่าเป็นบวก หรืออินดัคทีฟ

ในขณะที่ใต้เส้นผ่านศูนย์กลางความต้านทาน มีค่าเป็นลบหรือคาปาซิทีฟที่ขอบนอกของแผนภาพค่าความต้านทานเท่ากับศูนย์และจุดที่ R/Z_0 เท่ากับ 1 บนเส้นผ่านศูนย์กลางคือจุดศูนย์กลางของแผนภาพ



ก) วงกลมค่าความต้านทาน ข) วงกลมค่ารีแอคแตนซ์

รูปที่ 2 ส่วนประกอบของแผนภาพสมิธ

การใช้งานแผนภาพสมิธ

1. การพล็อต (plot) ค่าอิมพีแดนซ์

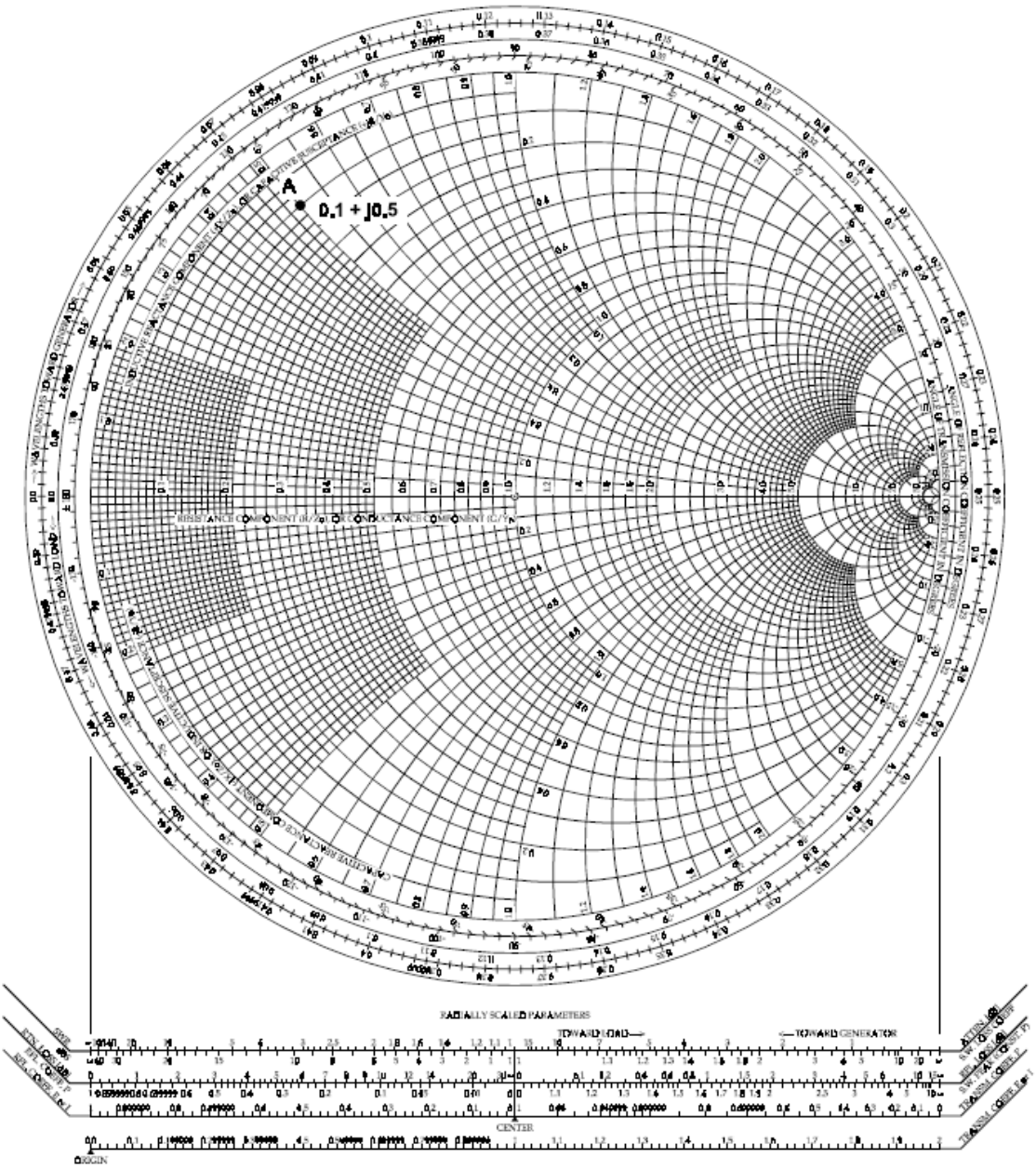
ตัวอย่าง เมื่อกำหนดให้ค่าอิมพีแดนซ์ของโหลด $Z_L = 5 + j25\ \Omega$ โดยที่อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งมีค่าเท่ากับ 50 Ω (นั่นคือเมื่อ $Z_0 = 50\ \Omega$)

1.1 หาค่านอร์มัลไลซ์อิมพีแดนซ์ (normalized impedance) โดยการนำค่าแอมพีแดนซ์ของโหลดส่งหารด้วยค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่ง ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$Z_{nor} = \frac{Z_L}{Z_0} = \frac{5}{50} + j\frac{25}{50} = 0.1 + j0.5$$

1.2 ที่จุดปลายซ้ายมือสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางเคลื่อนที่ไปทางขวามือถึงตรงความต้านทานเท่ากับ 0.1 ให้เขียนจุดไว้

1.3 ต่อไปจากจุดที่เขียนไว้บนเส้นวงกลมความต้านทานให้ลากขึ้นไป (หรือลากลงถ้าความต้านทานมีค่าเป็นลบ) จนกระทั่งตัดกับวงกลมค่าความต้านทานที่ตำแหน่งค่าความต้านทานเท่ากับ 0.5 นี้คือจุดที่แสดง 0.1 + j0.5 ดังที่เขียนตัว A แสดงในรูปที่ 3

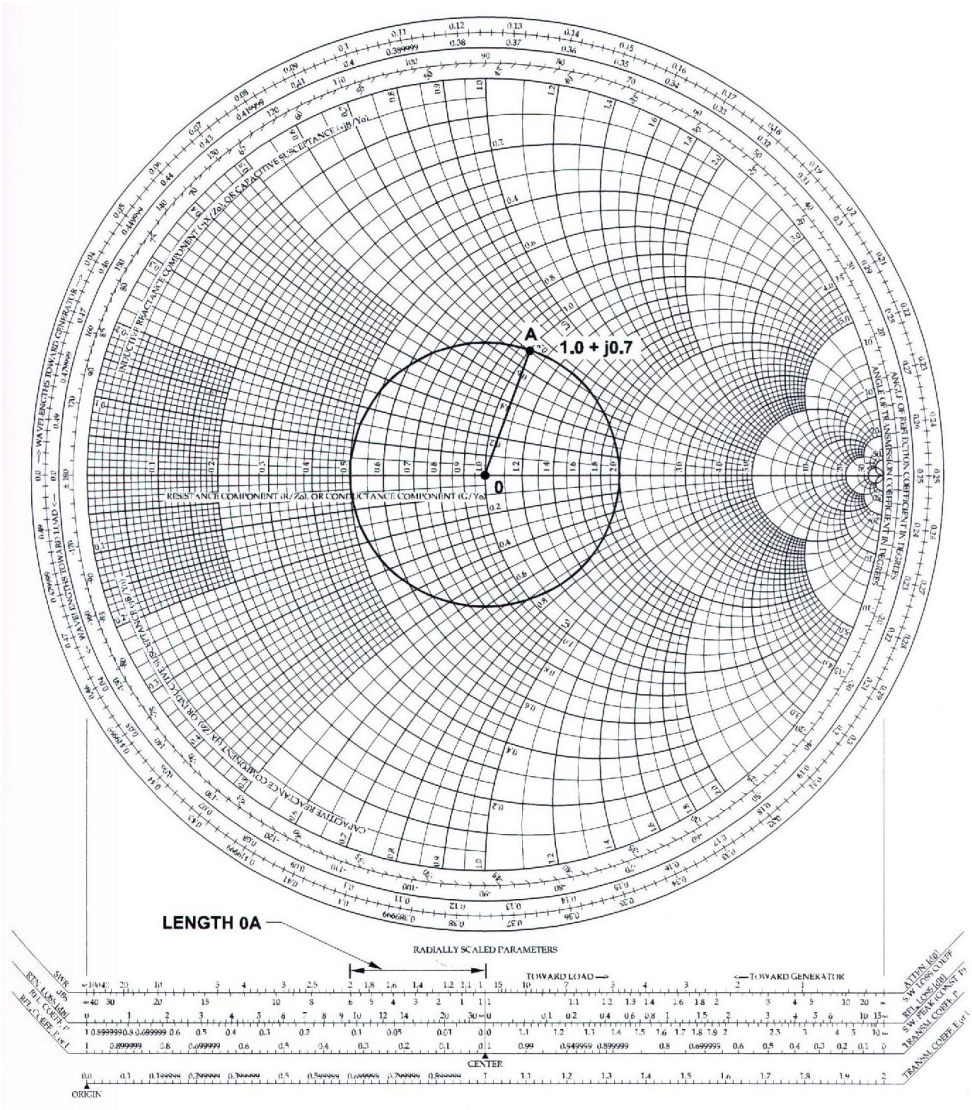


รูปที่ 3 การพล็อตค่าอิมพีแดนซ์ที่เป็นจำนวนเชิงซ้อนลงบนแผนภาพสมิธ

2. การหาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) เมื่อกำหนดโหลด

ตัวอย่าง คำนวณหาค่า SWR เมื่อสายส่งมีค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะเท่ากับ 50 Ω ถูกต่อกับโหลดที่มีอิมพีแดนซ์

2.1 พล็อตค่านอร์มัลไลซ์อิมพีแดนซ์ที่ได้จากการคำนวณในตัวอย่างที่ 1 นั่นคือ Z_L = 1 + j0.7 แสดงในรูปที่ 4 บนจุด A



รูปที่ 4 การวาดวงกลมค่าคงที่ของ SWR

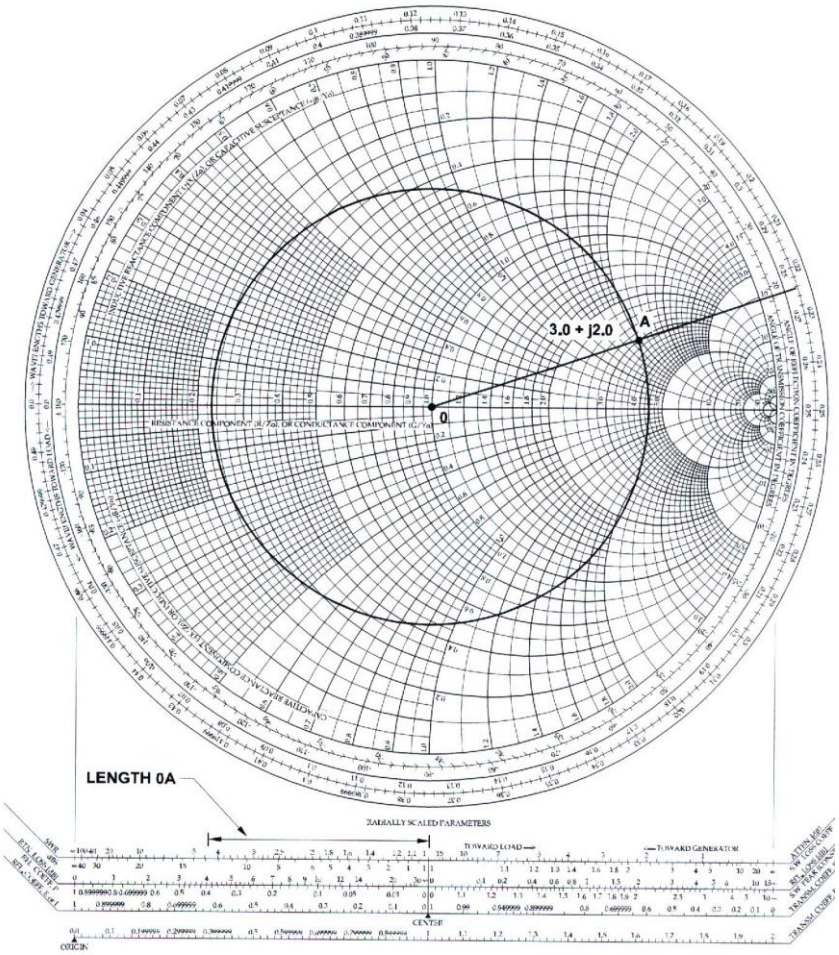
2.2 ใช้วงเวียนเขียนวงกลมโดยให้จุดศูนย์กลางอยู่ที่ตำแหน่ง 1 + j0 ให้ตัดผ่านจุดอิมพีแดนซ์วงกลมนี้ เรียกว่าวงกลมค่าคงที่ของ SWR

2.3 อ่าน SWR จากวงกลมนี้ ที่จุดที่ตัดกับเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งอยู่ทางขวามือ (SWR = 2) หรือให้กางวงเวียนโดยมีระยะจากจุดศูนย์กลางที่จุด 1 + j0 ถึงจุด A ตาม “Radically Scaled Parameter” (สเกลพารามิเตอร์ที่แบ่งตามรัศมีของวงกลม) จะได้ Standing Wave สเกลวางขาหนึ่งของวงเวียนบนจุดศูนย์กลางบนเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter Line) แล้วหาว่าอีกขาหนึ่งตัดที่จุดใดบนคลื่นนิ่งสเกลนี้จะให้ทั้งค่าอัตราส่วน (Ratio) และค่า dB (SWR = 2.0 หรือ 6.0 dB)

3. หาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับเมื่อรู้ค่าโหลด

หาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับโดยต่อสาย 50 Ω กับโหลด 150 + j100 Ω

3.1 ทำการพล็อตค่านอมัลไลซ์อิมพีแดนซ์ของโหลด (Z_{Lnor} = 3 + j2) และเขียนวงกลม VSWR ดังรูปที่ 5

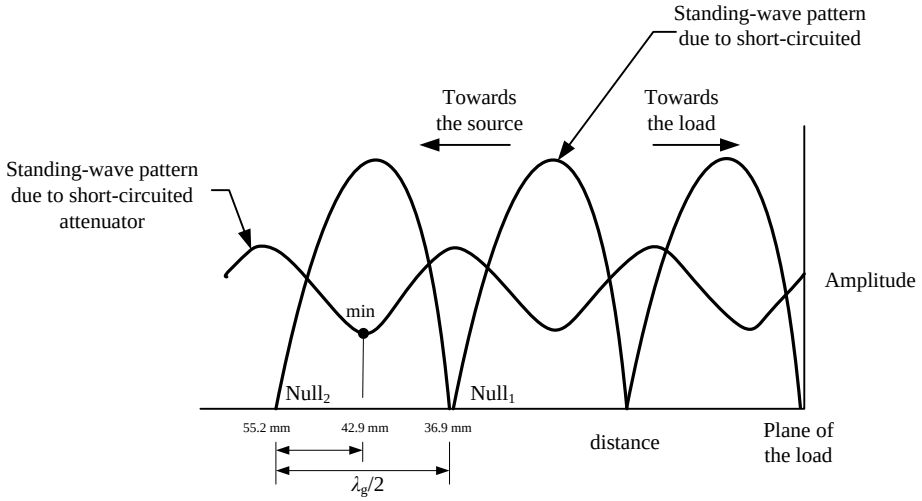


รูปที่ 5 การหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ

3.2 กางวงเวียนรัศมีเท่ากับวงกลม SWR แล้วนำระยะนี้ไปเทียบบนสเกล “Voltage (E) Reflection Coefficient” โดยมีจุดเริ่มต้นอยู่ที่จุดศูนย์กลางแล้ว อ่านค่าขนาดของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับบนสเกลนี้ (ρ = 0.63)

3.3 ลากเส้นเริ่มจากจุดศูนย์กลางของแผนภาพ (1 + j0) ให้ผ่านจุด A ไปยังสเกล “Angle Of Reflection Coefficient in Degrees” ที่ขอบของแผนภาพและอ่ามค่ามุมเฟสสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (ϕ = 18°)

<u>หมายเหตุ</u> สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Γ) อาจเขียนอยู่ในรูปแบบโพร่า ρ และ ϕ ได้ เมื่อ ρ คือขนาดและ ϕ คือเฟสของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ในทางกลับกันสามารถหาค่าอิมพีแดนซ์ได้จากสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (เมื่อทราบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ)



รูปที่ 6 การใช้รูปแบบของคลื่นนิ่งในการกำหนดมุมของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ

4. หาค่าอิมพีแดนซ์โดยใช้สล็อตไลน์และแผนภาพสมิธ (วิธีเลื่อนค่าต่ำสุดของโหลดแบบลัดวงจร)

ตัวอย่าง คำนวณหาอิมพีแดนซ์ของโหลดเมื่อมี SWR = 3 ที่ท่อนำคลื่น (กำหนดว่า SWR วัดด้วยสล็อตไลน์)

4.1 พล็อตวงกลมค่าคงที่ของ SWR แสดงในรูปที่ 7

4.2 ใช้สล็อตไลน์หามุมเฟสของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ϕ ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.2.1 นำโหลดแบบลัดวงจรไปแทนโหลดที่ไม่รู้ค่า ทำการหาค่า $NULL_1$ เป็นตำแหน่งของค่าต่ำสุดของคลื่นนิ่ง ให้เลือกตำแหน่งที่ใกล้กับโหลดแบบลัดวงจรมากที่สุด ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 6 จะพบว่าอุปกรณ์ Lab-Volt นั้น $NULL_1$ แสดงค่าต่ำสุดที่วัดได้เมื่ออยู่ใกล้โหลดแบบลัดวงจรมากที่สุดคือ

ตำแหน่ง $NULL_1$ = 36.9 มม.

4.2.2 คำนวณหาตำแหน่งที่ค่าต่ำที่สุดตำแหน่งไปที่ไปยังแหล่งจ่าย

ตำแหน่ง $NULL_2$ = 55.2 มม.

4.2.3 แทนโหลดแบบลัดวงจรที่ต้องการให้หาด้วยค่า MIN ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าต่ำสุดที่พบระหว่างจุด $NULL_1$ และ $NULL_2$

ตำแหน่ง MIN = 42.9 มม.

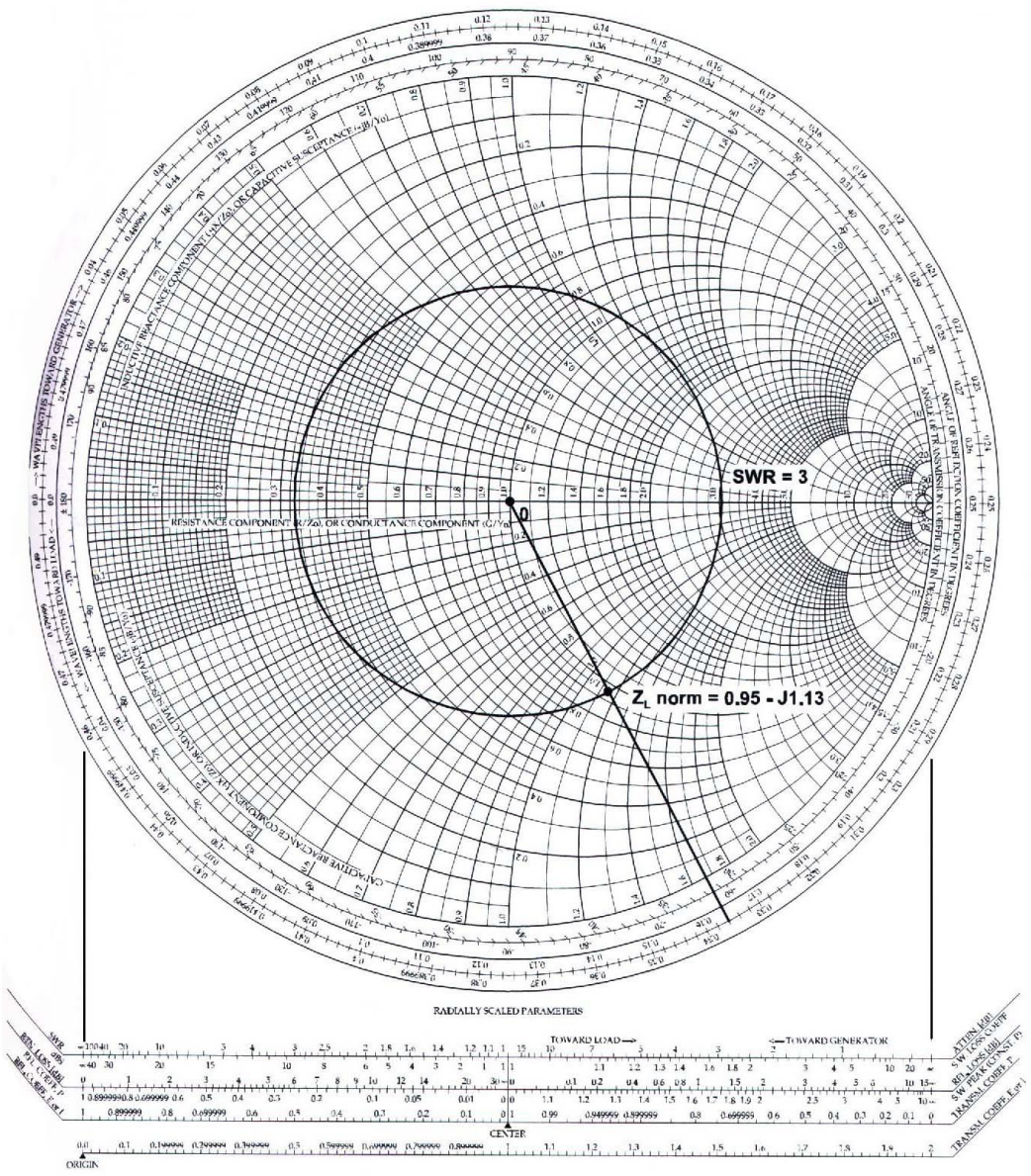
4.2.4 หาระยะ d ระยะเลื่อนไปของค่าต่ำสุด ได้ดังนี้

$d = NULL_2 - MIN = 55.2 - 42.9 = 12.3$ mm.

4.2.5 หาความยาวคลื่นของท่อนำคลื่นจากจุด $NULL_1$ และ $NULL_2$

$\lambda g = 2 (NULL_2 - NULL_1) = 2 (55.2 - 36.2) = 36.6$ mm.

4.2.6 ใช้สมการที่ 3 คำนวณหามุมเฟสของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ϕ



รูปที่ 7 การหาค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดโดยใช้วิธีลัดวงจรต่ำสุด

4.3 ในรูปที่ 7 ลากเส้นจากจุดศูนย์กลางของแผนภาพ (1 + *j*0) ไปยังวงกลมนอกสุดที่สเกล “Angle of The Reflection Coefficient in Degrees” ตำแหน่งมุม – 62° และอ่านค่าอิมพีแดนซ์ของโหลด ณ จุดที่เส้นตัดวงกลม SWR (Z_{Lnorm} = 0.95 – j1.13)

วิธีการนี้ใช้หาค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างแหล่งจ่ายกับจุดใดๆ บนท่อนำคลื่น อีกอย่างหนึ่งก็คือหาอิมพีแดนซ์ที่จุดนั้น ใช้สเกล “Wavelength Toward Load” หรือ “Wavelength Toward Generator” ในการหาอิมพีแดนซ์ที่จุดใดๆ บนท่อนำคลื่น

10.3. อุปกรณ์ในการทดลอง

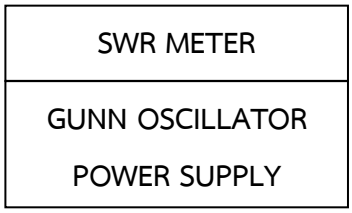
1.	Gunn Oscillator Power Supply	9501
2.	SWR Meter	9502
3.	Gunn Oscillator	9510
4.	Slotted Line	9520
5.	Variable Attenuator	9532
6.	Fixed Attenuator (6dB)	9533
7.	Microwave accessories	9536
8.	Connection leads and Accessories	9536
9.	Waveguide Support (2)	9514

10.4. ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองนี้จะทำการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดจากสล็อตไลน์และแผนภาพสมิธ เริ่มต้นด้วยการวัดตำแหน่งค่าต่ำสุดทั้งสองของคลื่นนิ่งที่เกิดโดยโหลดแบบลัดวงจรแล้วคำนวณหาความยาวคลื่นของท่อนำคลื่นด้วยสล็อตไลน์ หลังจากนั้นทำการวัดค่า SWR และตำแหน่งของค่าต่ำสุดของโหลดทั้งสอง (โหลดแบบลัดวงจรและตัวลดทอนแบบปรับค่าได้) นำไปคำนวณหาสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและหาอิมพีแดนซ์ของโหลด

<u>ขั้นตอนการทดลอง</u>

1. ปิดสวิทซ์ Power ให้อยู่ที่ตำแหน่ง O (off) ทุกตัว และติดตั้งเครื่องมือตามรูปที่ 8



รูปที่ 8 การวางอุปกรณ์

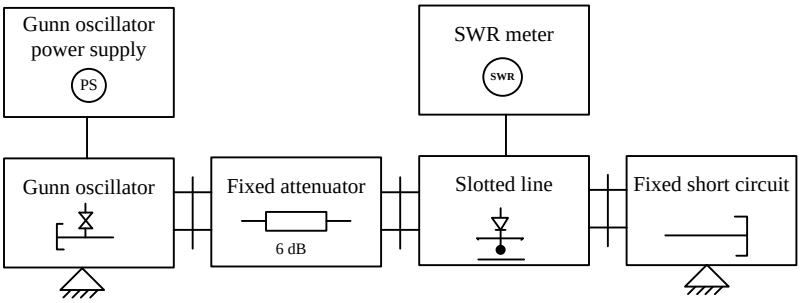
2. ประกอบติดตั้งอุปกรณ์ตามรูปที่ 9 โดยให้โพรบของสล็อตไลน์สอดเข้าไปในท่อนำคลื่นให้น้อยที่สุด

3. ปรับกันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลาย (Gunn Oscillator Power Supply) ตามนี้

VOLTAGE_____MIN

MODE_____1 KHz

METER RANGE_____10 V



รูปที่ 9 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทำการทดลองโดยการหาตำแหน่งอ้างอิง

4. ปรับ SWR มิเตอร์ดังนี้

RANGE_____0 dB

SCALE_____NOMAL

GAIN_____mid position

CENTER FREQUENCY_____mid position

BRABDWIDTH_____100 Hz

5. ทำการปรับค่าของสล็อตไลน์ให้อยู่ในตำแหน่ง 40.0 มิลลิเมตรและทำการตั้งความลึกของโพรบ ไว้ที่ 1/3 ของค่าสูงสุดโดยใช้ Pointer

6. เปิดสวิทซ์พาวเวอร์ของกันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลายและ SWR มิเตอร์รอประมาณ 1 – 2 นาที หลังจากนั้นทำการปรับแรงดันที่กันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลายให้มีค่าเท่ากับ 8 โวลต์

7. ให้เคลื่อนโพรบไปตามสล็อตไลน์จนได้ค่าสูงสุด

หมายเหตุ ถ้าเข็มเลยค่าสูงสุดของค่า SWR มิเตอร์ให้ลดความลึกของโพรบลงที่สล็อตไลน์ เพื่อให้เข็มชี้ต่ำกว่าค่าสูงสุด (ให้อ่านค่าได้ที่ -2 ถึง -3 dB) และให้เลื่อนโพรบจนได้ค่าสูงสุด ถ้าไม่มีการเบี่ยงเบนของเข็มที่ SWR มิเตอร์ให้เคลื่อนที่โพรบอย่างช้าๆ ตามเวฟไกด์และให้เลือกย่านวัดต่ำสุดที่ SWR มิเตอร์

หมายเหตุ เมื่อปรับไปทีย่านวัด -40 dB ที่ SWR มิเตอร์และยังคงไม่มีผลต่อเข็มมิเตอร์ให้ทำการลดความลึกของโพรบลง

8. ที่ SWR มิเตอร์ให้ทำการเลือกแบนด์วิดธ์ 20 Hz และทำการปรับ Center Frequency ให้เข็มชี้ตำแหน่งสูงสุด

<u>หมายเหตุ</u> ถ้าเข็มยังเลยค่าสูงสุดของ SWR มิเตอร์ให้ทำการปรับ Gain เพื่อให้เข็มอยู่ต่ำกว่าค่าสูงสุดและค่อยปรับปุ่ม Center Frequency ในการปรับค่าให้ได้ค่าสูงสุดอีกครั้ง

9. ปรับแรงดันที่กันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลายจนกระทั่งได้ให้เข็มชี้ที่ตำแหน่งสูงสุด

<u>หมายเหตุ</u> ถ้าเข็มเลยค่าสูงสุดให้ทำการปรับ Gain ที่ SWR มิเตอร์จนทำให้เข็มต่ำกว่าค่าสูงสุดและทำการปรับแรงดันอีกครั้งให้เข็มอยู่ตำแหน่งสูงสุด

10. เลื่อนโพรบไปตามสล็อตไลน์จนกระทั่งพบตำแหน่ง $NULL_1$ แรงดันมีค่าต่ำสุดซึ่งอยู่ใกล้กับโหลดแบบลัดวงจรมากที่สุด ทำการบันทึกค่าตำแหน่งลงในช่องว่างข้างล่าง

<u>หมายเหตุ</u> โพรบของสล็อตไลน์จะไม่สามารถเคลื่อนที่ไปถึงโหลดแบบลัดวงจรได้ จะได้ตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดที่จะสามารถวัดค่าต่ำสุด

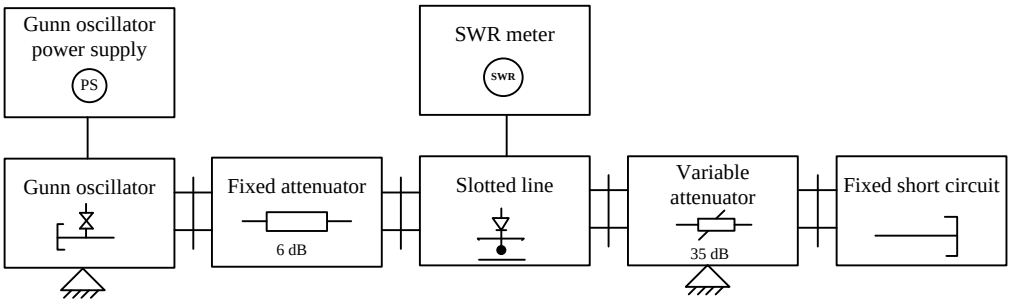
ตำแหน่ง $NULL_1$ =_____ มม.

11. ทำการเลื่อนโพรบเข้าหาแหล่งจ่ายอย่างช้าๆ จนกระทั่งพบตำแหน่ง $NULL_2$ มีแรงดันต่ำสุดที่จุดที่ 2 ให้เปลี่ยนสเกล Range ถ้าต้องการบันทึกตำแหน่ง $NULL_2$

ตำแหน่ง $NULL_2$ =_____มม.

คำนวณหาความยาวคลื่นของท่อ Guide Wavelength (λ_g) =_____มม.

12. ถอดสายเคเบิ้ลกันน์ออสซิลเลเตอร์ออกจากกันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลายและทำการประกอบอุปกรณ์ตามรูปที่ 10



รูปที่ 10 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการวัดค่าอิมพีแดนซ์โดยใช้ตัวลดทอนแบบลัดวงจร

13. ใช้เส้นโค้งมาตรฐานที่ได้จากการทดลองที่ 7 ปรับตัวลดทอนแบบปรับค่าได้ให้ได้การลดทอนเท่ากับ 5 dB

Variable Attenuator's Blade Position =_____มม.

14. ทำการต่อสายเคเบิ้ลจากกันน์ออสซิลเลเตอร์เข้ากับกันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลาย

15. ที่ SWR มิเตอร์ให้เลือกย่านวัดที่เหมาะสมกับค่าสูงสุดที่สล็อตไลน์ให้เคลื่อนโพรบไปจนกระทั่งอ่านค่าแรงดันสูงสุดที่เข้าใกล้โหลดที่สุด

16. ที่ SWR มิเตอร์ให้ปรับ Gain จนกระทั่งเข็มชี้ที่ตำแหน่ง 0 dB ถ้าทำไม่ได้ ให้เลือกย่านวัดต่อไปและทำการปรับ Gain อีกครั้งให้ได้ 0 dB

<u>หมายเหตุ</u> ถ้าค่า 0 dB ไม่ได้เมื่ออยู่ที่ย่านวัด -40 dB ที่ SWR มิเตอร์ให้ทำการปรับความลึกของ โพรบบนสล็อตไลน์และทำการปรับ Gain ให้ได้ 0 dB

17. เลื่อนสล็อตไลน์จนกระทั่งพบตำแหน่งที่มีค่าต่ำสุดที่อยู่ระหว่างค่าต่ำสุดก่อนหน้านี้ ของโหลดแบบลัดวงจรและบันทึก SWR และตำแหน่งของค่าต่ำสุดนี้

SWR =_____

ตำแหน่งของ MIN =_____มม.

ให้คำนวณระยะห่าง (d) ระหว่างคลื่นนิ่งที่มีค่าต่ำสุด พิจารณาที่โหลดขณะนี้และตำแหน่งค่าต่ำสุดที่จุดที่ 2 ของโหลดแบบลัดวงจรในข้อที่ 11

$d = NULL_2 - MIN$ =_____มม.

18. ใช้สมการที่ 3 คำนวณหาเฟสของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ

ϕ =_____°

19. ทำการพล็อตวงกลมจากค่า SWR ที่วัดได้ลงในแผนภาพสมิธลงในรูปที่ 11 ลากเส้นรัศมีไปยังมุม ϕ และคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ปกติของโหลด Z_{Lnorm}

Z_{Lnorm} =____+ j____

20. ใช้เส้นโค้งมาตรฐานจากการทดลองที่ 7 ทำการปรับตัวลดทอนแบบปรับค่าได้ให้มีการลดทอนเท่ากับ 1.5 dB

ตำแหน่งใบมีดของตัวลดทอนแบบปรับค่าได้ =_____มม.

21. ทำขั้นตอนที่ 15 - 18 ซ้ำ สำหรับโหลดขณะนี้บันทึกค่าตามนี้

SWR =_____

ตำแหน่งต่ำสุด =_____มม.

d =_____มม.

ϕ =_____°

สุดท้ายให้ทำการพล็อตวงกลมที่สัมพันธ์กับการวัด SWR บนแผนภาพสมิธลงในรูปที่ 12 และวาดรัศมีที่สัมพันธ์กับมุม ϕ และคำนวณค่าโหลด

Z_{Lnorm} =____+ j____

22. ปรับแรงดันที่กันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลายให้อยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุดและปิดสวิทช์พาวเวอร์ให้อยู่ตำแหน่ง O (off) ทุกตัว ถอดและเก็บอุปกรณ์เข้าที่

10.5. สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

10.6. คำถามท้ายการทดลอง

1. สองส่วนของจำนวนเชิงซ้อนของอิมพีแดนซ์คืออะไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. วัตถุประสงค์ของแผนภาพสมิธที่ใช้ในการทดลองนี้ คืออะไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. อธิบายการพล็อต Locus ของอิมพีแดนซ์ ที่มี SWR เดียวกัน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. จากแผนภาพสมิธในรูปที่ 13 ให้ Plot Locus ของโหลดที่เป็นรีซิสตีฟบริสุทธิ์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. จงอธิบายการพล็อตค่าเชิงซ้อนของอิมพีแดนซ์บนแผนภาพสมิธ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....