การทดลองที่ 7 การลดทอนของไมโครเวฟในท่อนำคลื่น

7.1. วัตถุประสงค์ในการทดลอง

1. เพื่อให้นักศึกษารู้จักการลดทอน (attenuation) และการสูญเสียเนื่องจากการใส่แทรก (insertion loss)

2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถตั้งค่าตัวลดทอนแบบปรับค่าได้โดยใช้วิธีอัตราส่วนกำลัง (power ratio)

7.2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การลดทอนของสัญญาณไมโครเวฟเป็นการลดทอนค่ากำลังของสัญญาณที่แพร่กระจายระหว่างจุดสองจุดโดยส่วนมากแล้วการลดทอนเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการลดทอนก็ยังเป็นสิ่งที่ต้องการในบางระบบที่ความถี่ต่ำ โดยที่การลดทอนจะแสดงอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส เนื่องจากแรงดันและกระแสนี้สามารถทำการวัดได้ง่าย สำหรับที่ความถี่สูงการลดทอนจะถูกแสดงอยู่ในรูปของระดับกำลังที่อยู่ในหน่วยเดซิเบล (dB) ระหว่างการลดทอนกำลังของสัญญาณระหว่างจุดที่ 1 กับจุดที่ 2 ซึ่งการลดทอนสามารถคำนวณได้จาก

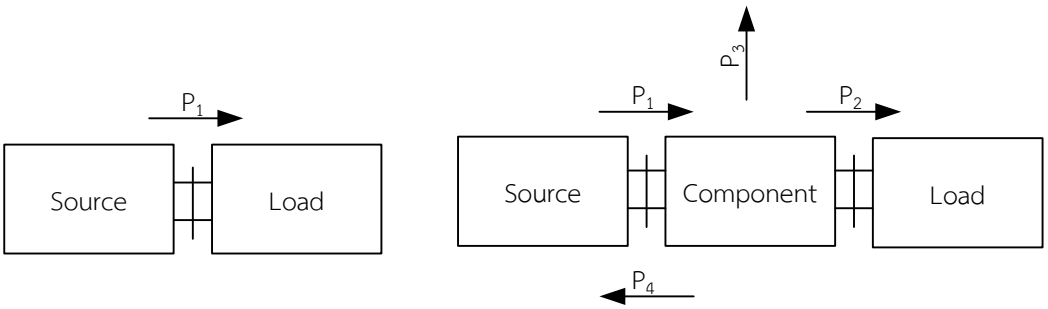
$$\text{Attenuation(dB)} = 10\log_{10}\frac{P_1}{P_2} \qquad (1)$$

เมื่อ P_1 และ P_2 เป็นระดับของกำลังของสัญญาณ ณ ที่จุด 1 และ 2 มีหน่วยเป็นวัตต์หรือมิลลิวัตต์ การลดทอนเป็นการสูญเสีย ซึ่งจะมีค่าเป็นค่าบวกเมื่ออยู่ในหน่วยของ dB โดยที่ค่า P_2 จะมีค่าน้อยกว่า P_1 ซึ่ง P_1 และ P_2 มีหน่วยเป็น dBm จะได้ค่าการลดทอน A(dB) = P_1(dBm) - P_2(dBm)

การสูญเสียเนื่องจากการใส่แทรก (IL: Insertion loss) ถือว่าเป็นการลดทอนแบบหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการต่ออุปกรณ์แทรกเข้าไประหว่างระบบส่งสัญญาณ โดยที่ค่า IL จะเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณ P_1 ที่จ่ายให้กับโหลดก่อนที่จะใส่อุปกรณ์แทรกเข้าไปและ P_2 เป็นกำลังของสัญญาณที่จ่ายให้กับโหลดหลังจากที่ต่ออุปกรณ์แทรกเข้าไป ดังรูปที่ 1(ข) ซึ่งค่า IL สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Insertion Loss (dB)} = 10\log_{10}\frac{P_1}{P_2} \qquad (2)$$

หมายเหตุ: โดยทั่วไปแล้วค่า IL จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตว่ามีคุณลักษณะของการลดทอนต่ำสุดของสัญญาณเมื่อผ่านอุปกรณ์ สำหรับชุดทดลองนี้ค่า IL ของตัวลดทอนแบบปรับค่าได้จะยังคงมีการลดทอนเหลืออยู่บ้าง เมื่อปรับค่าตัวลดทอนให้มีค่าต่ำสุด



ก) ก่อนตัวสอดแทรก ข) หลังใส่ตัวสอดแทรก

รูปที่ 1 การวัดค่า IL

ในรูปที่ 1 ผลรวมจำนวน Phenomena เข้ากับกำลังของสัญญาณ (P_2) ที่จ่ายให้โหลดจะถูกจำกัดค่า เนื่องจากกำลัง Power (P_3) สามารถที่จะแพร่กระจายผ่านตัวนำเนื่องได้จากการไหลของกระแสหรือเกิดการการสูญเสียที่ฉนวน (dielectric loss) ของอุปกรณ์ ส่วนกำลังที่สะท้อนกลับ (reflected power) P_4 จากอินพุตของอุปกรณ์จะทำให้กำลังของแหล่งจ่ายไปสู่โหลดลดลง

โดยปกติแล้ว IL ของอุปกรณ์จะเป็นฟังก์ชันของอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายกับโหลด เมื่อต้องการวัดค่า IL ของอุปกรณ์ จะต้องทำให้อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย โหลดและท่อนำคลื่น (waveguide) นั้นแมทช์กันเสียก่อน

การวัดการลดทอนของสัญญาณ และค่า IL มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธี การแทรกความถี่วิทยุ (RF substitution), DC substation, IF substation และอัตราส่วนกำลัง (power ratio) สำหรับในการทดลองนี้จะใช้วิธีอัตราส่วนกำลัง ในการวัดค่าการลดทอนของสัญญาณไมโครเวฟในท่อนำคลื่น เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและให้ความแม่นยำ

ขั้นแรกให้นักศึกษาต่อโหลดเข้าโดยตรงกับแหล่งจ่ายไมโครเวฟและวัดค่ากำลังของสัญญาณที่จ่ายให้โหลด เมื่อนำอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบไปสอดแทรกระหว่างแหล่งจ่ายกับโหลดแล้ววัดค่ากำลังอีกครั้งหนึ่ง เมื่อนำกำลังของสัญญาณทั้งสองมาหาค่าอัตราส่วนตามในสมการที่ (1) จะได้ค่าการลดทอนของสัญญาณและค่า IL ข้อดีของวิธีการอัตราส่วนกำลังคือใช้อุปกรณ์ในการทดลองจำนวนน้อยและไม่มีต้องการสัญญาณที่ต้องกล้ำสัญญาณ (modulation)

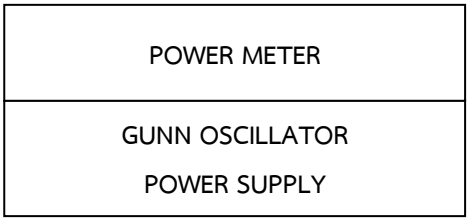
7.3. อุปกรณ์ในการทดลอง

รายการ	**โมเดล**
1. Gunn Oscillator Power Supply	9501
2. Power Meter	9503
3. Gunn Oscillator	9510
4. Thermistor Mount	9521

5. Variable Attenuator 9532
6. Fixed Attenuator (6dB) 9533
7. Connection leads and Accessories 9590
8. Waveguide Support (2) 9591

7.4. ขั้นตอนการทดลอง

1. ปิดพาวเวอร์ให้สวิทช์อยู่ที่ตำแหน่ง 0 (off) และติดตั้งวางเครื่องมือตามรูปที่ 2

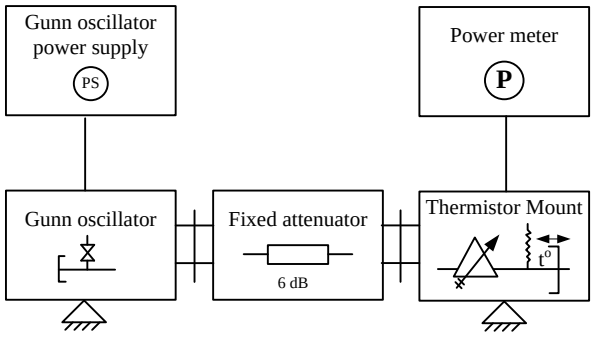


รูปที่ 2 การวางอุปกรณ์

2. ประกอบอุปกรณ์ตามรูปที่ 3 ก่อนต่ออุปกรณ์เทอร์มิสเทอร์เมาท์ (thermistor mount) เข้าไปในวงจรให้ทำการคลายแมทชิงสกรู (matching screw) โดยดึงออกจากท่อนำคลื่น เมื่อทำเสร็จแล้วจะพบว่าจะไม่มีส่วนใดยื่นเข้าไปในท่อนำคลื่น

3. ปรับค่าของกันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลาย (Gunn Oscillator Power Supply) ดังนี้

VOTAGE .....: MIN
MODE .....: DC
METER RANBE .....: 10 V



รูปที่ 3 การติดตั้งสำหรับการวัดค่ากำลังที่ถูกจ่ายไปยังโหลด

4. ที่พาวเวอร์มิเตอร์ทำการปรับย่านการวัดไว้ที่ 10 dBm หลังจากนั้นให้ทำการเปิดพาวเวอร์กันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลายและพาวเวอร์มิเตอร์ โดยเปิดทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที เพื่อให้พาวเวอร์มิเตอร์และ เทอร์มิสเตอร์เมาท์อยู่ในอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำงาน แล้วใช้ปุ่มปรับศูนย์ (zero adjust) โดยการปรับเข็มของพาวเวอร์มิเตอร์ให้อยู่ ณ ตำแหน่ง 0 mW โดยที่ในขั้นตอนนี้เอาต์พุต (output) ของเทอร์มิสเตอร์เมาท์จะไม่ต่อเข้ากับพาวเวอร์มิเตอร์

5. ปรับแรงดันของกันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลายไว้ที่ 8 V

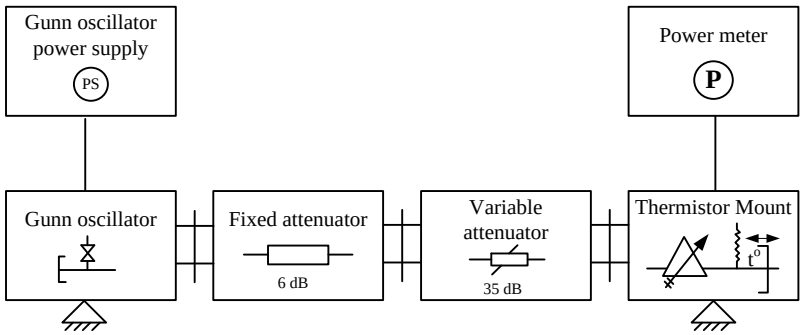
6. ปรับโหลดแบบลัดวงจรและแมทชิงสกรูของเทอร์มิสเตอร์เมาท์จนทำให้ได้ค่ากำลังได้สูงสุดจากการอ่านจากพาวเวอร์มิเตอร์ หลังจากนั้นให้ทำการปรับแรงดันที่กันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลายให้อ่านค่ากำลังได้สูงสุด เช่นกัน

7. ในการอ่านค่ากำลังสูงสุด (maximum power) ของโหลดที่พาวเวอร์มิเตอร์ ถ้าค่ากำลังของสัญญาณ RF น้อยกว่า 5 dBm ให้เลือกย่านวัดที่ 5 dBm และทำการปรับศูนย์ (zero adjust) ของพาวเวอร์มิเตอร์ โดยให้เข็มชี้อยู่ที่ตำแหน่ง 0 mW (ขั้นตอนการปรับศูนย์ให้นักศึกษาทำการถอดเอาต์พุตออกจากพาวเวอร์มิเตอร์ หลังจากนั้นจึงทำการปรับศูนย์ เมื่อปรับเสร็จแล้วให้ต่อเอาต์พุตของเทอร์มิสเตอร์เมาท์เข้ากับพาวเวอร์มิเตอร์อีกครั้ง) ทำการบันทึกค่ากำลังสูงสุดที่ถูกจ่ายไปยังโหลด

กำลังสูงสุด = _____dBm

8. ถอดสายเคเบิ้ลกันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลายออกจากกันน์ออสซิลเลเตอร์

9. ต่อตัวลดทอนแบบปรับค่าได้ (variable attenuator) เข้าไประหว่างตัวลดทอนแบบคงที่ (fixed attenuator) ขนาด 6dB กับเทอร์มิสเตอร์เมาท์ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การต่อวงจรที่ใช้ในการวัดตัวลดทอนแบบปรับค่าได้

<u>หมายเหตุ</u> เนื่องจากค่าที่อ่านได้เป็น dBm เราจะต้องบวกค่าของย่าน (range) ของมิเตอร์ที่เลือกกับค่าที่อ่านจากพาวเวอร์มิเตอร์ที่เป็นค่าลบในสเกล dBm ตัวอย่างเช่น ถ้าตั้งย่านของมิเตอร์ไว้ที่ 5 dBm แล้วอ่านค่าได้ -2 ดังนั้นค่ากำลังที่วัดได้จะมีค่าเท่ากับ 5-2 = 3dBm

10. ปรับตัวลดทอนแบบปรับค่าได้ไว้ที่ 0.00 มม. หลังจากนั้นให้นักศึกษาทำการต่อสายเคเบิ้ลระหว่างกันน์ออสซิลเลเตอร์เข้ากับกันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลาย

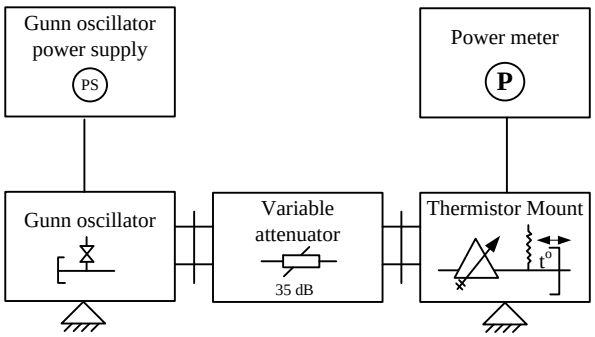
11. ให้ปรับตำแหน่งของแผ่นใบมีด (blade) ของตัวลดทอนแบบปรับค่าได้ตามตารางที่ 1 ในคอลัมน์ตำแหน่ง (position) โดยทำการวัดและบันทึกค่ากำลังของสัญญาณ RF ที่จ่ายให้กับเทอร์มิสเตอร์เมาท์ ลงในคอลัมน์กำลังของตารางที่ 1 และให้นำค่ากำลังที่วัดได้ลบออกจากค่ากำลังสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อที่ 7 ซึ่งจะทำให้ได้ค่า IL ของตัวลดทอนที่มีหน่วยเป็น dB บันทึกค่าที่ได้ลงในคอลัมน์ IL

<u>หมายเหตุ</u> เมื่อกำลังที่วัดได้มีค่าน้อยกว่า -20 dBm จะไม่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือที่ใช้อยู่นี้และไม่สามารถที่จะบันทึกค่าลงในตารางที่ 4-1 จะพบเหตุการณ์นี้เมื่อตำแหน่งของใบมีดมีมีค่าสูงๆ

<u>คำแนะนำ ก.</u> ถ้าเข็มชี้ของพาวเวอร์มิเตอร์แสดงค่ากำลังต่ำกว่า -5 dBm ให้ทำการเปลี่ยนย่านให้ต่ำกว่าเดิมเพื่อการอ่านค่าจะแม่นยำมากขึ้น โดยทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ถอดสายเคเบิ้ลจากกันน์ออสซิลเลเตอร์ออกจากกันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลาย
2. ปรับย่านของพาวเวอร์มิเตอร์ให้ต่ำกว่าเดิม
3. ให้ทำการปรับศูนย์ของพาวเวอร์มิเตอร์ด้วยการปรับปุ่ม Zero Adjust
4. รอประมาณ 1 นาที ให้อุณหภูมิที่เทอร์มิสเตอร์คงที่
5. ต่อสายเคเบิ้ลจากกันน์ออสซิลเลเตอร์เข้ากับกันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลายและทำการวัดค่ากำลัง

<u>หมายเหตุ</u> เพื่อความแม่นยำในการอ่านค่าของย่านวัด -5 dBm และ -10 dbm นั้น ให้ทำตามคำแนะนำ ก. ทุกครั้งที่อ่านค่ากำลัง



รูปที่ 5 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อการวัดค่า IL ที่มีค่ามากกว่า 15 dB

<u>คำแนะนำ ข.</u> เมื่อทำการวัดค่า IL ที่มีค่า 15 dB หรือมากกว่า ให้ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

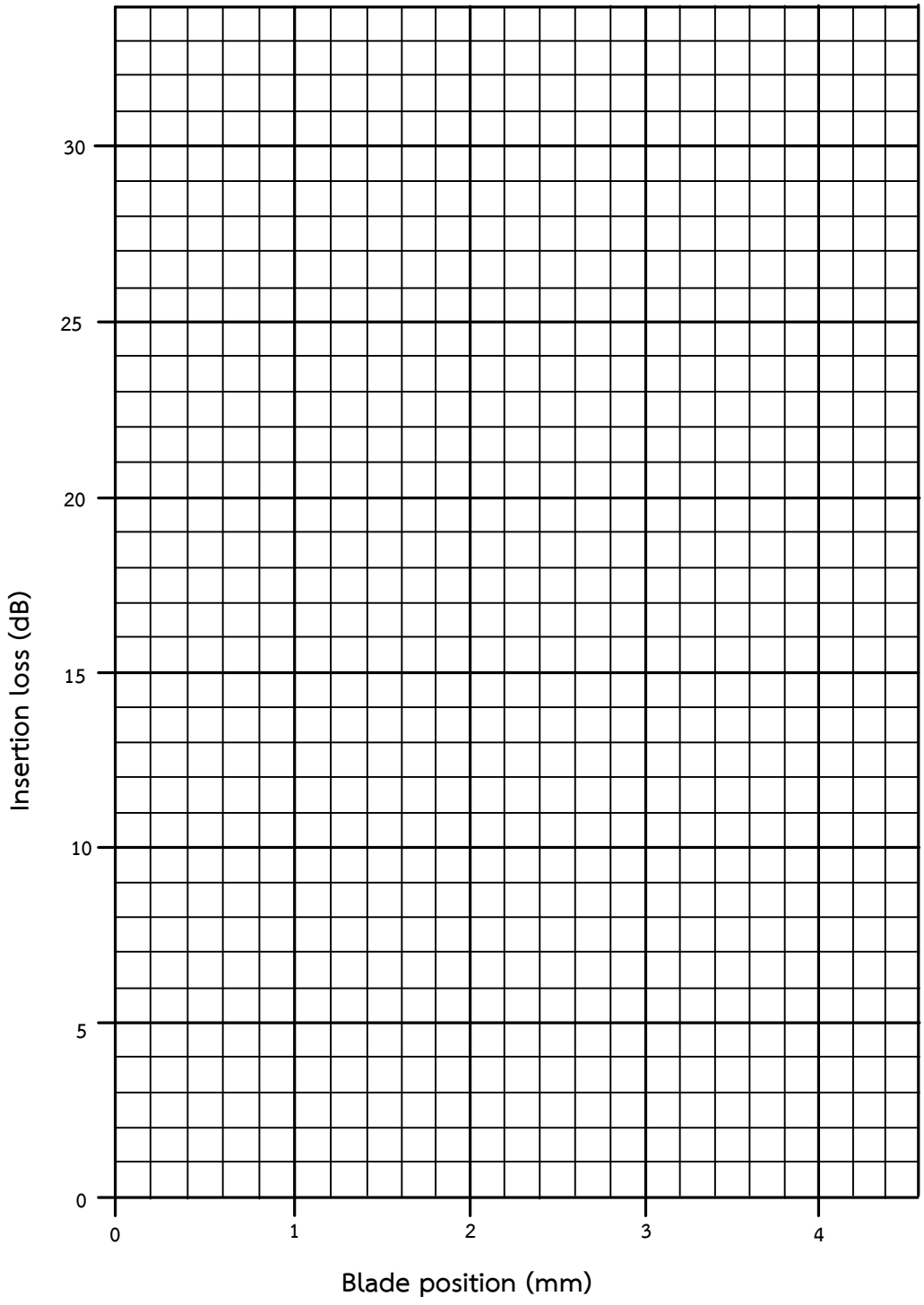
1. ถอดสายเคเบิ้ลจากกันน์ออสซิลเลเตอร์ออกจากกันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลาย
2. ถอดตัวลดทอนแบบคงที่ขนาด 6 dB ออกจากวงจรแล้วประกอบอุปกรณ์ตามรูปที่ 5
3. ต่อสายเคเบิ้ลจากกันน์ออสซิลเลเตอร์เข้ากับกันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลาย
4. วัดและบันทึกค่ากำลังที่จ่ายให้กับเทอร์มิสเตอร์ ลงในคอลัมน์กำลังลบค่าที่วัดได้ออกจากค่าสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อที่ 7 และบวกด้วย 6 dB บันทึกค่าที่ได้นี้ลงในคอลัมน์ IL ของตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การปรับตัวลดทอนแบบปรับค่าได้

ตำแหน่งของใบมีด (mm)	**ค่ากำลัง (dBm)**	**IL (dB)**	**ตำแหน่งของใบมีด (mm)**	**ค่ากำลัง (dBm)**	**IL (dB)**
0			2.5		
0.5			3		
1			3.5		
1.5			4		
2			4.5		

12. จากผลที่ได้ในตารางที่ 1 นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ IL หรือการลดทอนของตัวลดทอนแบบปรับค่าได้กับตำแหน่งต่างๆ ของแผ่นใบมีดลงในรูที่ 6 โดยที่กราฟนี้แสดงถึงกราฟเทียบมาตรฐาน (calibration curve) ของตัวลดทอนแบบปรับค่าได้ ซึ่งจะต้องนำไปใช้ในการทดลองต่อๆ ไป

13. ให้นักศึกษาทำการปรับปุ่ม VOLTAGE ที่ของกันน์ออสซิลเลเตอร์พาวเวอร์ซัพพลายให้อยู่ที่ตำแหน่ง Min ปิด Power ให้สวิทช์อยู่ที่ตำแหน่ง O (off) และทำการถอดและเก็บอุปกรณ์



รูปที่ 6 การเทียบมาตรฐานของตัวลดทอนแบบปรับค่าได้

7.5. สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7.6. คำถามท้ายการทดลอง

1. จงให้ความหมายของคำการลดทอนในระบบไมโครเวฟ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. ค่า IL ของอุปกรณ์คืออะไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. ข้อจำกัดของการวัดการทดทอนด้วยวิธีอัตราส่วนกำลังคืออะไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. เมื่อกำลังของสัญญาณที่อินพุทอุปกรณ์เท่ากับ 8 mW และกำลังที่เอาต์พุตของอุปกรณ์ตัวเดียวกันนี้เท่ากับ 0.20 mW จงหาค่าของ IL ของอุปกรณ์นี้ในหน่วย dB

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. กราฟเปรียบเทียบมาตรฐาน (calibration curve) ของตัวลดทอนแบบปรับค่าได้แสดงถึงอะไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....