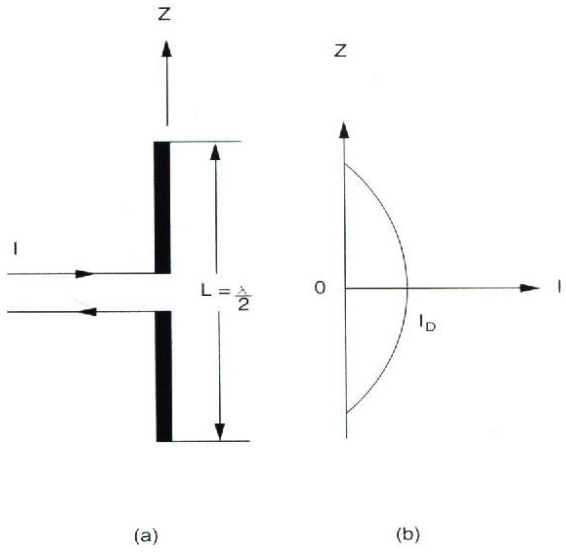
การทดลองที่ 16 สายอากาศฮาล์ฟเวฟ โฟลเด็ดไดโฟลและการแปลงอิมพีแดนซ์โดยต่อบาลัน

16.1. วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เมื่อทำแบบฝึกหัดนี้โดยสมบูรณ์แล้ว ท่านจะได้เรียนรู้ถึงคุณลักษณะของสายอากาศฮาล์ฟเวฟโฟลเด็ด ไดโฟล (HalF-Wave Folded Dipole Antennas) และใช้ baluns สำหรับการแปลงอิมพีแดนซ์ได้

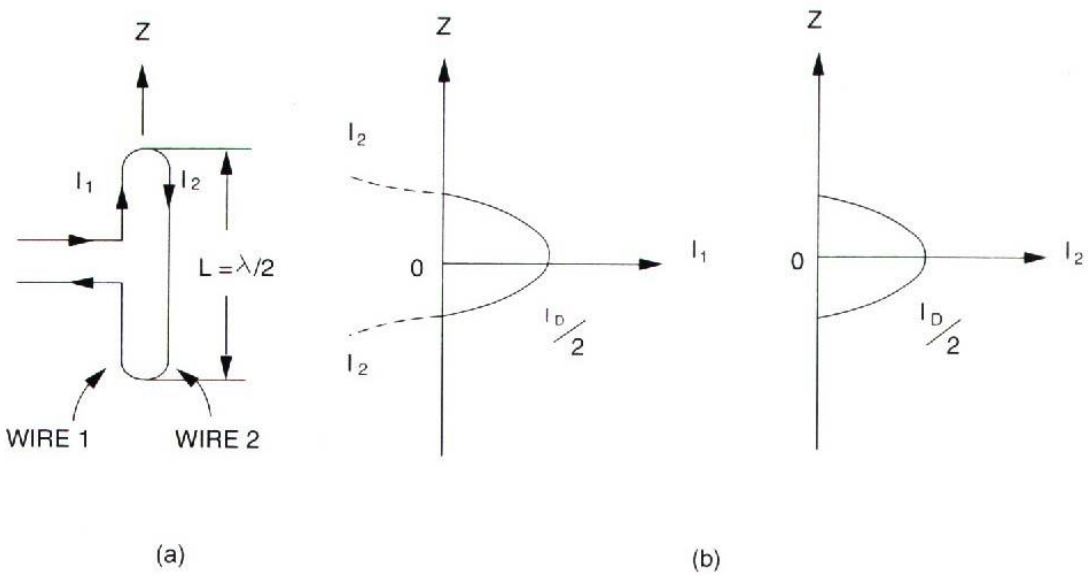
16.2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

รูปร่างลักษณะของสายอากาศฮาล์ฟเวฟ โฟลเด็ดไดโฟล (HalF-Wave Folded Dipole Antennas)สายอากาศโฟลเดทไดโฟล (Folded Dipole Antennas) ประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว ต่อขนานกันในสายที่มี ขนาดพื้นที่จำกัด รูปที่ 1 และ 2 เป็นภาพแสดงความแตกต่างระหว่างสายอากาศฮาล์ฟเวฟ ไดโฟล (HalF-Wave Dipole Antennas) และสายอากาศฮาล์ฟเวฟ โฟลเด็ดไดโฟล (HalF-Wave Folded Dipole Antennas)



(a) แสดงรูปร่างของสายอากาศ (b) การแพร่กระจายกระแส

รูปที่ 1 สายอากาศฮาล์ฟเวฟ ไดโฟล (HalF-Wave Dipole Antennas)



(a) แสดงรูปร่างของสายอากาศ (b) การแพร่กระจายกระแส

รูปที่ 2 สายอากาศฮาล์ฟเวฟ โฟลเด็ดไดโฟล (HalF-Wave Folded Dipole Antennas)

จากรูปที่ 1 เป็นฮาล์ฟเวฟ ไดโฟล (HalF-Wave Dipole) กระแสทีป้อนเข้ามาจะมีค่าเป็นศูนย์ที่จุดปลายสายทั้งคู่ กระแสที่กระจายนี้เป็นไซน์ซอยดอล (sinusoidal) โดยมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางการแพร่กระจายของกระแสบนไดโฟล สามารถแสดงได้

$$I(Z) = I_D \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{L}{2} - |Z|\right)\right], |Z| < \frac{L}{2} \qquad (1)$$

ค่า Z และ L รูปที่ 1 ฮาล์ฟเวฟ โฟลเด็ดไดโฟล (HalF-Wave Folded Dipole) ของรูปที่ 2 มีลักษณะเหมือนกันไซน์ที่กระจายอยู่บนสายที่ 1 (wire 1) ยกเว้นแต่ค่าสูงสุดของ I_D จะมีค่าเท่ากับ $I_D/2$ ที่จุดกึ่งกลาง กระแสไซน์จะตกเป็นศูนย์ ที่จุดปลายของสายทั้งคู่ของสายที่ 1 (wire 1) ส่วนเกณฑ์จะเพิ่มขึ้นจากสายที่ 1 ส่งไปสายที่ 2 ซึ่งกระแสนี้จะมีค่าสูงสุดที่กึ่งกลางของสายที่ 2

- กระแสไฟฟ้า2กระแสจะไหลอยู่บนสายอากาศโฟลเด็ดไดโฟล Wire 1 และ 2 และจะมีการรวมกันของกระแสทั้งสองซึ่งเป็นกระแสเดียวกันที่ไหลอยู่บนสายอากาศไดโฟล Haft-Wave ซึ่งจะมีกำลังการแพร่กระจายคลื่นเหมือนกัน

$$P_D = \frac{1}{2} Z_D I^2_D = P_F = \frac{1}{2} Z_F I^2_F = \frac{1}{2} Z_F \left(\frac{I_D}{2}\right)^2$$

เมื่อ P_D, Z_D, I_D คือค่ากำลัง , ค่าอิมพีแดนซ์ และค่ากระแสของไดโพล ตามลำดับ

P_F, Z_F, I_F คือค่ากำลัง , ค่าอิมพีแดนซ์และค่ากระแสของ Folded Dipole ตามลำดับ

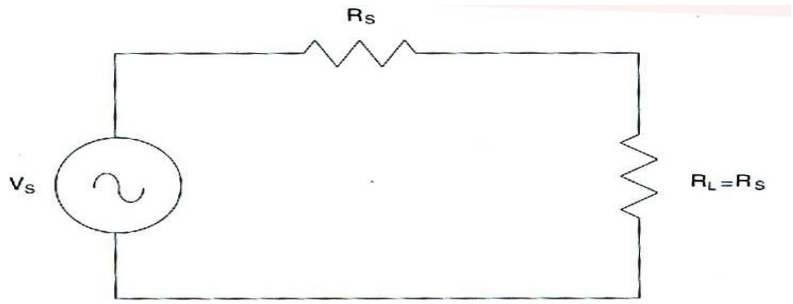
เนื่องจากอินพุทอิมพีแดนซ์ของ Folded Dipole คือช่วงเวลา 4 ช่วงขนาดใหญ่กว่าไดโพลแบบ Half-Wave เป็น 73Ω

$$Z_F = (4)Z_D = (4)(73) = 292\Omega$$

หมายเหตุ ความแตกต่างของค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของ Half-Wave dipole แทนที่โดย70, 72, 73 Ω เนื่องจากอินพุทอิมพีแดนซ์ของ Folded dipole คือค่าความแตกต่างเป็น 280 Ω

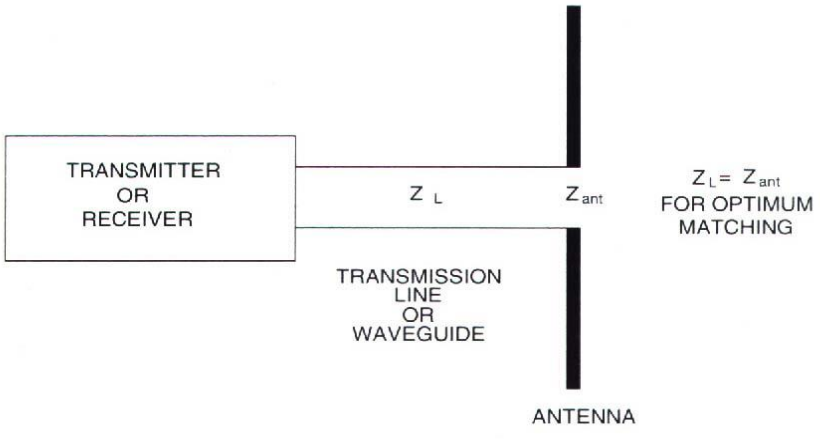
อิมพีแดนซ์แมทชิ่ง (Impedance matching)

สำหรับการถ่ายโอนกำลังที่จะได้ผลดีที่สุด ค่าอิมพีแดนซ์จากแหล่งจ่าย จะต้องเท่ากับอิมพีแดนซ์ของโหลด จากรูปที่ 3 แสดงตัวอย่างของวงจร ซึ่งต่อกับแล่งจ่ายแรงดัน (V_S) อิมพีแดนซ์ของ แหล่งจ่าย (R_S) อิมพีแดนซ์โหลด (R_L) กำลังสูงสุดของการถ่ายโอนจะเกิดขึ้นเมื่อ R_S-R_L



รูปที่ 3 การแมทชิ่งอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายกับโหลด เพื่อให้เกิดกำลังสูงสุดในการถ่ายโอน

ระบบสายอากาศมีหลักการเช่นเดียวกัน การถ่ายโอนกำลังที่จะได้ผลดีที่สุด ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Z_{ant}) จะเท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายส่ง หรือเวฟไกด์ (waveguide) (Z_L) ดังที่แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ค่าอิมพีแดนซ์ที่สายส่ง และจุดต่อสายอากาศ

ถ้าการแมทช์ (match) ระหว่างสายส่ง และสายอากาศไม่เท่ากันโดยสมบูรณ์แบบ กำลังบางส่วนของการถ่ายโอนจะเกิดการสะท้อนกลับมาโดยสายอากาศจะไม่ถูกส่งถึงตัวเครื่องรับสัญญาณ เมื่ออิมพีแดนซ์มิสแมทช์ (mismatch) สมการที่ (4) แสดงความเกี่ยวข้องของกำลังถ่ายโอนผ่านจุดต่อของอิมพีแดนซ์ และกำลังที่เกิดการสะท้อนกลับ

$$P_T = 1 - P_{Rfl} = 1 - \left|\frac{SWR-1}{SWR+1}\right|^2 = 1 - \left|\frac{Z_{ant}-Z_L}{Z_{ant}+Z_l}\right|^2 \quad (4)$$

เมื่อ P_T คือ กำลังส่งผ่านจุดต่อของอิมพีแดนซ์

P_{Rfl} คือ กำลังสะท้อนที่จุดต่อของอิมพีแดนซ์

SWR คือ อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง

สำหรับกรณีการแมทช์ที่สมบูรณ์ $Z_{ant}=Z_L$ จะไม่เกิดคลื่นนิ่ง เนื่องจาก $SWR=Z_{ant}/Z_L=1$ ซึ่งจะไม่เกิดกำลังสะท้อนกลับ

$$P_{Rft} = \left|\frac{SWR-1}{SWR+1}\right|^2 = \left|\frac{0}{1}\right|^2 = 0 \quad (5)$$

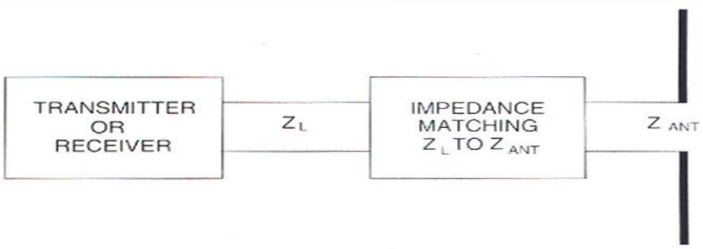
กำลังทั้งหมดสามารถส่งผ่านไปได้

เมื่อสายส่งอิมพีแดนซ์ 73 โอห์ม ต่อกับสายอากาศฮาล์ฟเวฟ โฟลเด็ดไดโฟล (HalF-Wave Folded Dipole Antennas) มีอิมพีแดนซ์เป็น 4 เท่าของสายส่ง (4 × 73 = 292 โอห์ม) มีผลให้เกิดคลื่นนิ่ง และ SWR คือ

$$SWR = \frac{Z_{ant}}{Z_L} = \frac{4}{1} = 4 \quad (6)$$

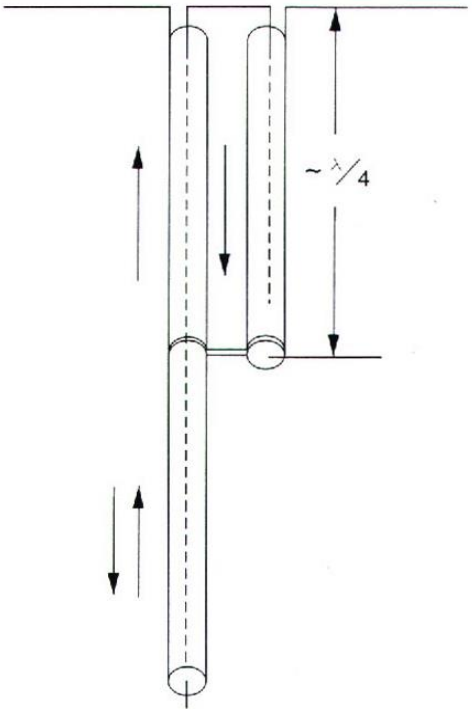
$$P_T = 1 - P_{Rfl} = 1 - \left|\frac{SWR-1}{SWR+1}\right|^2 = 1 - \left|\frac{3}{5}\right|^2 = 0.64 \quad (7)$$

ในกรณีข้างต้น 64% ของกำลังทั้งหมดสามารถส่งผ่านไปได้ และ 36% จะถูกสะท้อนกลับ ปรากฏการณ์นี้ ไม่ทำให้เกิดผลรุนแรง (ถึงแม้ว่าจะอยู่ที่ระดับกำลังสูง) แต่มันก็ไม่เป็นที่พึงปรารถนา การทำงานจะทำได้ดีกว่า เมื่อต่ออิมพีแดนซ์ระหว่างสายส่ง และสายอากาศ เพื่อให้เกิดการแมทช์กัน ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การต่อแมทชิ่งอิมพีแดนซ์ (Impedance matching) ระหว่างสายอากาศ และสายส่ง

ปัญหาซึ่งเกี่ยวข้องกับปัญหาของการแมทชิ่งอิมพีแดนซ์ (Impedance matching) คือ การต่อสายส่งสายอากาศที่สมดุล (เช่น สายอากาศไดโพลชนิด Centre fet) กับสายส่งที่ไม่สมดุล (เช่น สายโคแอกเชียล) ถ้าสายอากาศไดโพลชนิด Centre fet ต่อกับสายส่งที่มีความสมดุลเหมือนกัน เช่น สายคู่ขนาน ปัญหาของการต่อสายที่สมดุลกับสายที่ไม่สมดุลจะไม่เกิดขึ้น ถ้าสายอากาศไดโพลชนิด Centre fet ต่อกับสายโคแอกเชียลจะทำให้เสียความสมดุล ขั้วด้านหนึ่งจะต่อกับตัวนำสัญญาณ และอีกขั้วต่อกับชีลด์ของสายโคแอกเชียล จะมีกระแสไหลบนส่วนนอกของชีลด์ กระแสนี้เกิดจากสนามแม่เหล็ก ซึ่งไม่สามารถทำให้หายไปด้วยสนามแม่เหล็กจากกระแสที่ไหลบนตัวนำสัญญาณบนสายโคแอกเชียลได้ เพราะมีการกั้นสัญญาณระหว่างตัวนำสัญญาณกับส่วนนอกของชีลด์เพราะฉะนั้นจะทำให้เกิดการแพร่กระจายสัญญาณจากกระแสบนด้านนอกของชีลด์ ในสายโคแอกเชียลปัญหานี้สามารถทำให้หมดไปโดยใช้สายโคแอกเชียลยาวพิเศษ ($\lambda/2$) ดังรูปที่ 6 ต่อด้านนอกของชีลด์เข้าด้วยกัน



รูปที่ 6 บาลัน สำหรับต่อกับสายอากาศ เข้ากับสายโคแอคเชียล

การส่งผ่านโดยไม่ต่อบาลัน (balun)

จากรูป 7 เป็นการส่งผ่านโดยไม่ต่อบาลัน จากสายโคแอคเชียลอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ไปยังสายส่งคู่ขนาน อิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม ซึ่งเป็นสายส่งสมดุล และต่อเข้ากับสายอากาศฮาล์ฟเวฟโฟลเด็ดไดโพล ซึ่งมี ค่าอิมพีแดนซ์ประมาณ 300 โอห์ม รูปที่ 7 การส่งผ่านโดยไม่ต่อบาลันจากสายโคแอกเชียลไม่สมดุล อิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ไปยังสายคู่ขนานซึ่งสมดุล อิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม และต่อกับสายอากาศฮาล์ฟเวฟ โฟลเด็ดไดโพล อิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม

หมายเหตุ : ค่าอิมพีแดนซ์ของสายคู่ขนาน คือ อัตราส่วนของ D/d เมื่อ D คือ ระยะห่างระหว่างสาย 2 เส้น ที่ขนานกัน และ d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางสายในกรณีรูปที่ 1-47 กำหนดให้อิมพีแดนซ์ มิสแมทช์ ระหว่าง 50 โอห์ม และ 300 โอห์ม ค่า SWR จะได้เท่ากับ 300/50 = 6

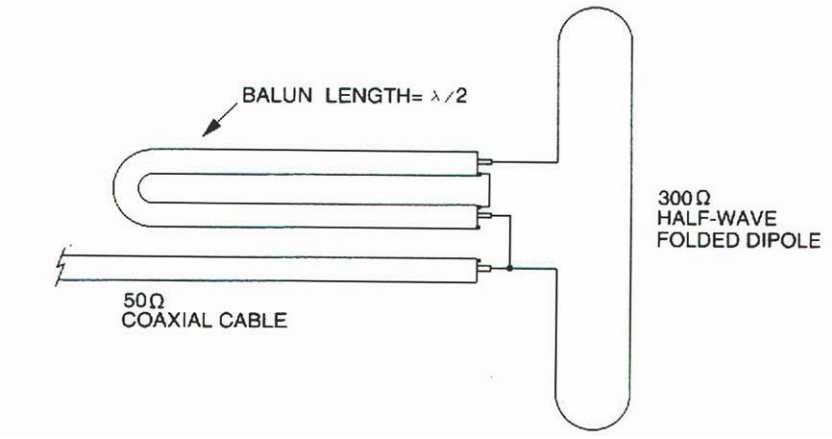
ความเกี่ยวข้องระหว่างกำลังส่ง (P_T) และกำลังที่สะท้อนกลับ (P_{Rfl}) จะได้

$$P_T = 1 - P_{Rfl} = 1 - \left|\frac{SWR-1}{SWR+1}\right|^2 = 1 - 0.51 = 0.49 \qquad (8)$$

เมื่อการแมทชิ่งอิมพีแดนซ์สมบูรณ์แบบ 100% ของกำลังทั้งหมด สามารถส่งผ่านไปได้ แต่ในกรณีนี้ กำลังสามารถส่งผ่านไปได้ประมาณ 50% ของกำลังทั้งหมด ที่เหลืออีกครึ่งหนึ่ง จะสูญเสียโดยสะท้อนกลับ 3 dB เมื่อเทียบกับกรณีที่แมทชิ่งอิมพีแดนซ์

การส่งผ่านโดยต่อบาลันแบบ four-to-one อิมพีแดนซ์

จากรูปที่ 8 เป็นการส่งผ่านโดยใช้สายโคแอคเชียล อิมพีแดนซ์ 50 Ω ต่อกับสายอากาศฮาล์ฟเวฟโฟลเดทไดโพล อิมพีแดนซ์ 300Ω ใช้บาลัน แปลงอิมพีแดนซ์แบบ four-to-one จุดต่อบาลันกับสายอากาศบางครั้งใช้สายโคแอคเชียล อิมพีแดนซ์ 72Ω เช่น RG59U



รูปที่ 8 การส่งผ่านจากสายโคแอคเชียล อิมพีแดนซ์ 50 Ω กับสายอากาศแบบฮาล์ฟเวฟโฟลเดทไดโพล อิมพีแดนซ์ 300 Ω โดยผ่านบาลัน แปลงอิมพีแดนซ์

หมายเหตุ การแปลงอิมพีแดนซ์แบบ four-to-one ยังไม่ให้ผลดีที่สุด การจะทำให้ผลการแปลงไปในทางอุดมคติได้ ต้องใช้การแปลงอิมพีแดนซ์แบบ 6-to-1 ซึ่งจะเป็นข้อกำหนดที่ให้ผลดีที่สุด ในกรณีการต่อสายอิมพีแดนซ์ 50Ω กับ 300Ω

ถึงแม้การแปลงอิมพีแดนซ์แบบ four-to-one จะไม่สมบูรณ์แบบ แต่สามารถนำมาแก้ไขให้ดีขึ้นได้ การแปลงอิมพีแดนซ์จะแปลงจากอิมพีแดนซ์ 300Ω ให้กลายเป็น 75Ω และจะส่งผ่านสัญญาณจากสายโคแอคเชียล 50Ω เป็นเหตุให้ SWR เท่ากับ 75/50 เท่ากับ 1.5 ความเกี่ยวข้องระหว่างกำลังส่งและกำลังสะท้อน ขณะนี้คือ

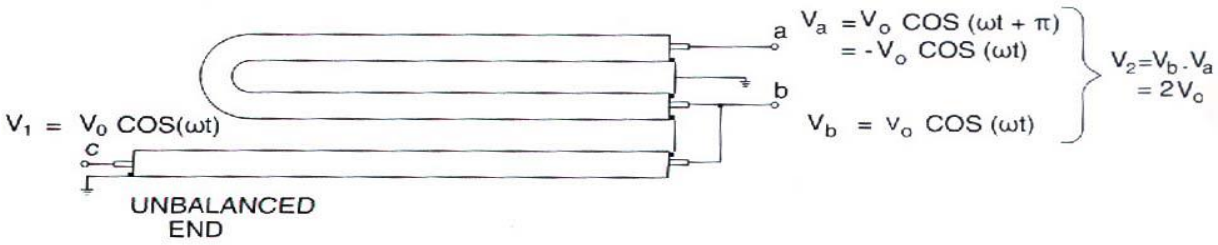
$$P_T = 1 - P_{Rfl} = 1 - \left|\frac{SWR-1}{SWR+1}\right|^2 = 1 - 0.04 = 0.96 \qquad (9)$$

96 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสามารถส่งผ่านไปได้และเพียง 4 %ที่จะสะท้อนกลับ จะให้ผลใกล้เคียงกันในทางอุดมมคติ ซึ่งสามารถส่งผ่านได้ 100 %สายอากาศแบบฮาล์ฟเวฟโฟลเดทไดโพล ซึ่งต่อกับบาลัน จะให้ผลการส่งเกือบ 2 เท่า ของแบบที่ไม่มีการต่อบาลัน จะก่อผลแตตกต่างประมาณ 3 dBในการวัด

การทำให้เกิดการแปลงอิมพีแดนซ์แบบ four-to-one จากการต่อบาลัน

การทำงานของบาลันสามารถอธิบายได้ดังนี้

สมมติให้ $V_1 = V_o \cos(\omega t)$ เป็นค่าแรงดันระหว่างจุดกึ่งกลางของสายโคแอกเชียล กับกราวด์ ด้านนอกของชีลด์ ซึ่งจะอยู่ที่ส่วนท้ายของสายไม่สมดุลที่จุด C ของรูปที่ 9



รูปที่ 9 การทำการแปลงอิมพีแดนซ์แบบ four-to-one โดยใช้บาลัน

เมื่อไม่แสดงค่าความสูญเสียในสาย แรงดันระหว่างจุดกึ่งกลางของสายนำสัญญาณ และกราวด์ชีลด์จะมีค่า $V_b = V_o \cos(\omega t)$ ที่จุด b ระหว่างจุด b และ a จะมีระยะห่าง $\lambda/2$ และจุด 2 จุดนี้ จะต่างเฟสกัน π หรือ 180 องศา แรงดันที่จุดกึ่งกลางสายนำสัญญาณ และกราวด์ที่จุด a จะได้

$$V_a = V_o \cos(\omega t + \pi) = -V_o \cos(\omega t) \qquad (10)$$

และ

$$V_2 = V_b - V_a = 2V_o \cos(\omega t) \tag{11}$$

เมื่อไม่แสดงค่าสูญเสียในสายโคแอกเชียล การแพร่กำลัง P_2 จากการวัดที่จุดท้ายสุดของสายสมดุล (ส่วนท้ายของสายอากาศ จุด a และ b) จะเท่ากับกำลัง P_1 จากการวัดที่จุดท้ายสุดของสายไม่สมดุล (ส่วนท้ายของสายเคเบิล ที่จุด C)

ใช้ความเกี่ยวข้องของ $P = \frac{V^2 rms}{Z}$

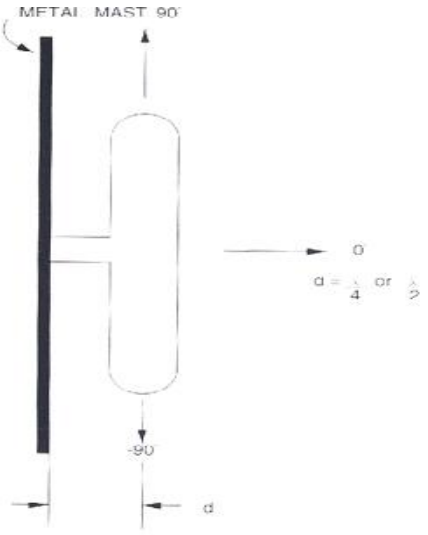
$$P_1 = \frac{V_1 rms^2}{Z_1} = P_2 = \frac{V_2 rms^2}{Z_2}$$

หรือ $$\frac{Z_2}{Z_1} = \frac{V_2 rms^2}{V_1 rms^2} = 2^2 = 4$$

ด้วยเหตุนี้ $Z_2 = 4Z_1$

ใช้สายอากาศแบบโฟลเดทไดโพลกับเสาอากาศแบบโลหะ

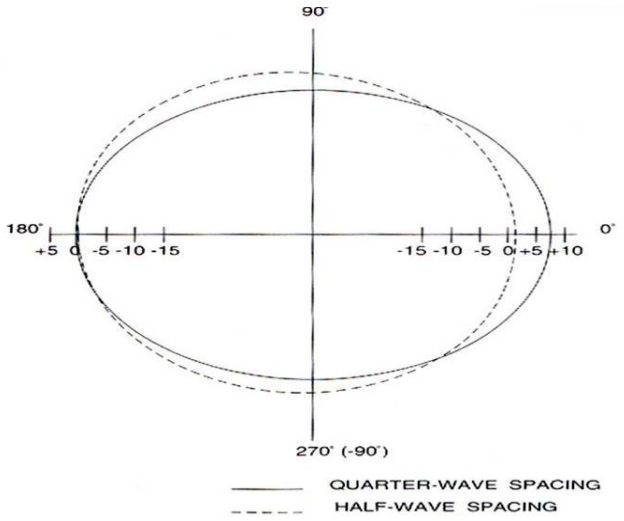
ตามหลักการ รูปแบบการแพร่กระจายสัญญาณของสายอากาศแบบไดโพลและสายอากาศแบบโฟลเดทไดโพลจะเป็นวงกลมในแนวราบ H ซึ่งจะกระทำเช่นนี้เสมอ แต่รูปแบบการแพร่กระจายสัญญาณสามารถต่อให้ยาวออกไปได้อีก โดยใช้เสาอากาศโลหะ ตามที่แสดงในรูป 10



รูปที่ 10 สายอากาศแบบโฟลเดทไดโพลบนเสาโลหะ

ตามที่แสดงในรูป 11 การเว้นช่องระหว่างเสาอากาศไดโพล กับเสาอากาศโลหะ ¼ ของคลื่น จะทำให้การแพร่กระจายของคลื่นจะยาวต่อไปในทิศทางด้านข้างทาง 0° เมื่อเว้นช่องระหว่างสายอากาศแบบไดโพลกับสายอากาศแบบโลหะเท่ากับ ½ ของคลื่น การแพร่กระจายของคลื่นจะยาว

ต่อไปในทิศทางด้านข้างในทาง +90° หรือ-90° อัตราขยายจะมีค่า3 ถึง 5dB ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งาน



รูปที่ 11 ผลของแท่งโลหะกับทิศทางการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไดโพล

ผลสรุปจากการทดลอง

ในแบบฝึกหัดนี้ผู้ปฏิบัติจะสามารถพล็อตทิศทางการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไดโพลในกรณีที่ไม่มีบาลันและในกรณีที่มีบาลัน ซึ่งผู้ปฏิบัติจะต้องมีความเข้าใจเป็นอย่างดีในเรื่องผลของการเพิ่มขึ้นของอัตราการขยายซึ่งมีค่า 4/1 เมื่อใช้บาลันบนสายอากาศซึ่งมีอินพุทอิมพีแดนซ์ 300Ω ผู้ปฏิบัติสามารถเรียนรู้ความหมายของอัตราการขยายในรูปของ dBd และใช้ความรู้นี้หาค่าอัตราการขยายของสายอากาศแบบไดโพล ท้ายที่สุดผู้ปฏิบัติจะสังเกตว่าการวางแท่งโลหะไว้ด้านหลังของไดโพลจะมีผลต่อทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นเช่นกัน

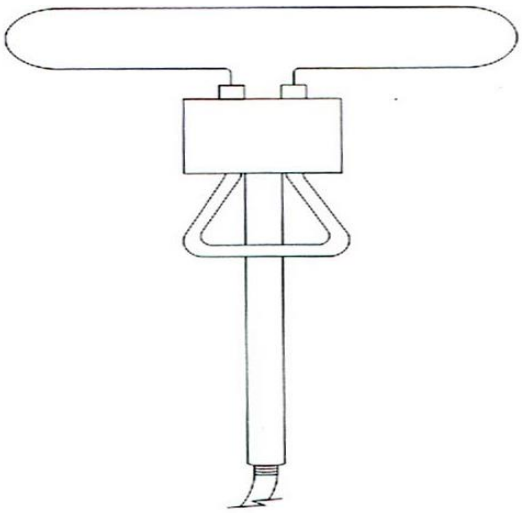
16.3. ขั้นตอนการทดลอง

การปรับตั้งอุปกรณ์

1. สิ่งที่ต้องเตรียมสำหรับการเรียนรู้ในเรื่องสายอากาศและการวัด นั่นก็คือข้อมูลอินพุทที่ได้จากการอินเตอร์เฟส, แหล่งกำเนิดกำลัง, อาร์เอฟ เจนเนอร์เรเตอร์, สายอากาศที่เหมาะสมกับการใช้งาน และคอมพิวเตอร์ ซึ่งอุปกรณ์และเครื่องมือทั้งหมดจะต้องจัดเตรียมก่อนที่จะเริ่มทำการทดลอง จัดเตรียมสายอากาศและเครื่องวัดให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

2. การติดตั้งสายอากาศแบบตัวส่งทำการวางเสาสายอากาศแบบยากิ (Yagi) เข้ากับเสาแบบยึดอุปกรณ์ในแนวนอน (Horizontal clips) ในการติดตั้งตัวส่งสัญญาณ และทำการปรับตำแหน่งอุปกรณ์ไปในทิศทางแนว E plane และต่อเคเบิ้ล SMA ขนาดยาว เข้ากับเอาท์พุท 1 GHz OSCILLATOR ของ RF Gen

3. การติดตั้งสายอากาศแบบตัวรับ ให้เลือกสายอากาศโฟลเดทไดโพล ต่อเข้ากับบาลัน ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 การตั้งสายอากาศกับบาลัน

4. ต่อสายอากาศ folded dipole เข้ากับเสาแบบตัวหนีบในแนวตั้ง (Vertical clips) และติดตั้งเสาบนตัวเลื่อน (Sliding support) ของ Antenna Positioner ให้ใช้ตัวเลื่อน (Sliding support) เลื่อนตรงกับแนวหมุนของ Antenna Positionerและปรับแต่งการสายอากาศ folded dipole ในแนว E Plane (สายอากาศ folded dipole จะถูกทำให้มีลักษณะเป็น แม่เหล็ก ในทำนองเดียวกับสายอากาศไดโพลพื้นฐาน ในแบบฝึกหัดที่ (1-4) ให้ต่อ Attenuator 10 dB กับอินพุทของ RF บนตัว Antenna Positioner และต่อใช้สายเคเบิล SMA ขนาด สั้นต่อระหว่าง attenuator กับสายอากาศ

5. วางตำแหน่งของสายอากาศ มีระยะทางของ r = 1 m จากกัน ปรับให้ทั้งหมดมีความสูงและทิศทางหันหน้าเข้าหากัน

6. ทำการปรับแต่งดังนี้ ที่ RF Generator

1 GHz Oscillator Mode 1 KHz

1 GHz Oscillator Power OFF

10 GHz Oscillator RF Power OFF

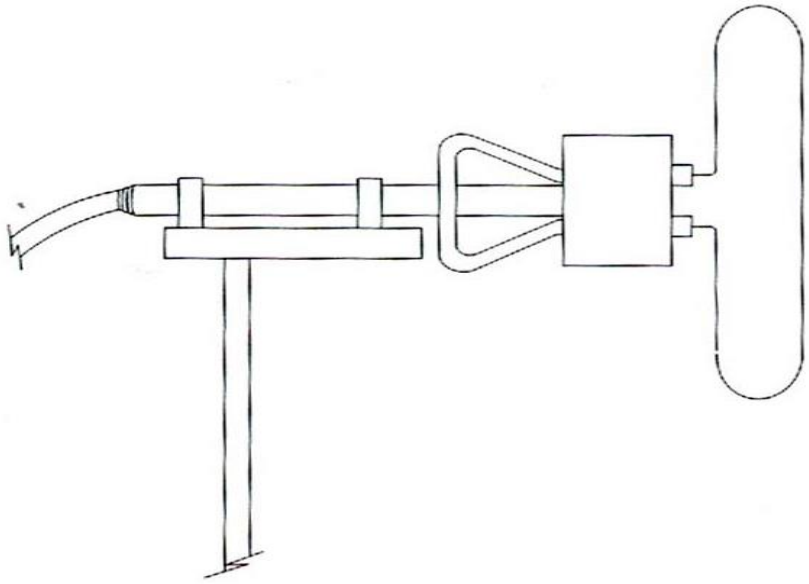
เปิดสวิทช์ ON ที่ RF Generator และ Power Supply

เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเริ่มทำงานโปรแกรม LVDAM-ANT

แพทเทอร์นการแผ่คลื่น

7. ให้เปิดสวิทช์ ON ที่ RF POWER ความถี่ OSCILLATOR 1GHz ของ RF Generator และทำการควบคุมการลดทอนให้ได้สัญญาณ การรับที่เหมาะสมที่สุด.เริ่มทำการรับคลื่นและเก็บแพทเทอร์นการ แผ่คลื่นในกล่องข้อมูลสายอากาศ1 โดยทำให้ได้ระนาบที่ถูกต้องที่สุดก่อนทำการเก็บ

8. หมุนสายอากาศยากิตัวส่งสัญญาณในแนวตั้ง (Vertically polarized) และให้เปลี่ยนการจัดวางสายอากาศ Folded Dipole โดยทำการเปลี่ยนเสาอากาศคลิบแนวตั้งเป็นเสาอากาศแบบคลิปแนวนอน และติดตั้งเสาเข้ากับสไลด์ซัพพอร์ท (sliding support) และจัดวางสายอากาศ Folded Dipole แบบ H plane และให้เปลี่ยนสายเคเบิ้ล SMA ขนาดสั้นให้เป็นขนาดกลางโดยติดตั้งดังรูป 13 ทำการรับคลื่นใหม่และเก็บค่าของระนาบนี้ในสายอากาศ



รูปที่ 13 การตั้งสายอากาศให้หมุนในระนาบ H

9. ย้ายสายอากาศ Folded Dipole ออกจากตัวต่อ Fold Dipole ที่มี บาลัน และใช้ลวด Folded Wire ต่อกับตัวต่อ Foled Dipole ที่ไม่มีบาลัน จากนั้นติดตั้งสายอากาศใหม่นี้เข้ากับเสา

หมายเหตุ ต้องแน่ใจว่าการติดตั้งนี้ต้องเหมือนกับขั้นตอนก่อนหน้านี้ไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถเปรียบเทียบสายอากาศนี้ได้.และให้สังเกตการรับคลื่นที่กระทำในระนาบ E

10. ต้องไม่ทำการปรับระดับการลดทอน;จากนั้นเริ่มต้นการรับคลื่นแพทเทอร์นในระนาบ H และทำการปรับแต่งให้เหมาะสมด้วยการจัดสายเคเบิ้ลของการจากนั้นจึงทำการรับคลื่นในระนาบ E และเก็บแพทเทอร์นทั้งสองนี้ในกล่องข้อมูลสายอากาศ2

11. ให้ตรวจดูแพทเทอร์นอย่างรอบคอบถึงสายอากาศใดที่ให้เกณฑ์ดีกว่าและมีความแตกต่าง (ในแบบdB) อะไรของสายอากาศนี้ โดยการเปรียบเทียบที่สะดวกโดยกราฟ โดยพิมพ์แพทเทอร์นระนาบH ของสายอากาศทั้งคู่นี้ลงกระดาษเดียวกัน (จากที่ได้เก็บแพทเทอร์นไว้ในกล่องข้อมูล)

เกณฑ์ของโฟลเดดไดโพล

12. ติดตั้งไดโพล $\lambda/2$ แทนที่สายอากาศโฟลเดดไดโพล โดยไม่ต้องเปลี่ยนระดับการลดทอน จากนั้นทำการรับคลื่นในระนาบE และเก็บแพทเทอร์นในกล่องข้อมูลสายอากาศที่ 3

13. ในการฝึกหัดที่ 1-2 ได้พบค่าเกณฑ์นั้นซึ่งนำไดเร็คติวิตี้มาคูณได้เป็นประสิทธิภาพสายอากาศ โดยถูกแสดงค่าในลักษณะ dB และเกี่ยวข้องกับสายอากาศไฮโพติคอล ไอโซโทรบปิค (hypotheticcal isotropic antenna) ในทฤษฎีต่างๆของสายอากาศจะพบบ่อยๆถึงเกณฑ์ในรูป dBi ซึ่งหมายถึงเกณฑ์ที่มากเกินการแผ่คลื่นไอโซโทรบปิค ส่วนเกณฑ์ที่ถูกอ้างจากค่าที่เกินของไดโพล $\lambda/2$ จะถูกแสดงด้วย dBd ดังรูป 14 จากรูปจะแสดงรูปแพทเทอร์นทางด้าน E plane ของ Half-Wave dipole (อ้างอิงที่ 0-dB) และตัวอย่างแพทเทอร์สายอากาศ AntX ซึ่งเราจะเห็นแพทเทอร์นนี่ค่า MSL ของ AntX เท่ากับ 8.4 dB ซึ่งมากกว่า MSL ของไดโพล เพราะฉะนั้นค่า gain ของ Antx 8.4 dBd จะอ้างอิงที่ 0-dB ที่ Plot ใน Half-Wave dipole ตามทฤษฎีค่า gain ของ Half-Wave dipole จะวัดในหน่วย dBi ซึ่งจะง่ายในการเปลี่ยนค่า gain จาก dBd เป็น dBi ตัวอย่างการวัดค่า gain ในหน่วย dBi ของ Half-Wave dipole ของ Lab-Volt คือ 1.9 dBi (แต่ตามทฤษฎี Half-Wave dipole ค่า gain จะมีค่า 2.14 dBi) ดังนั้นค่า gain ของ AntX จะแสดงในหน่วย dBi คือ 8.4+1.9=10.3 dBi

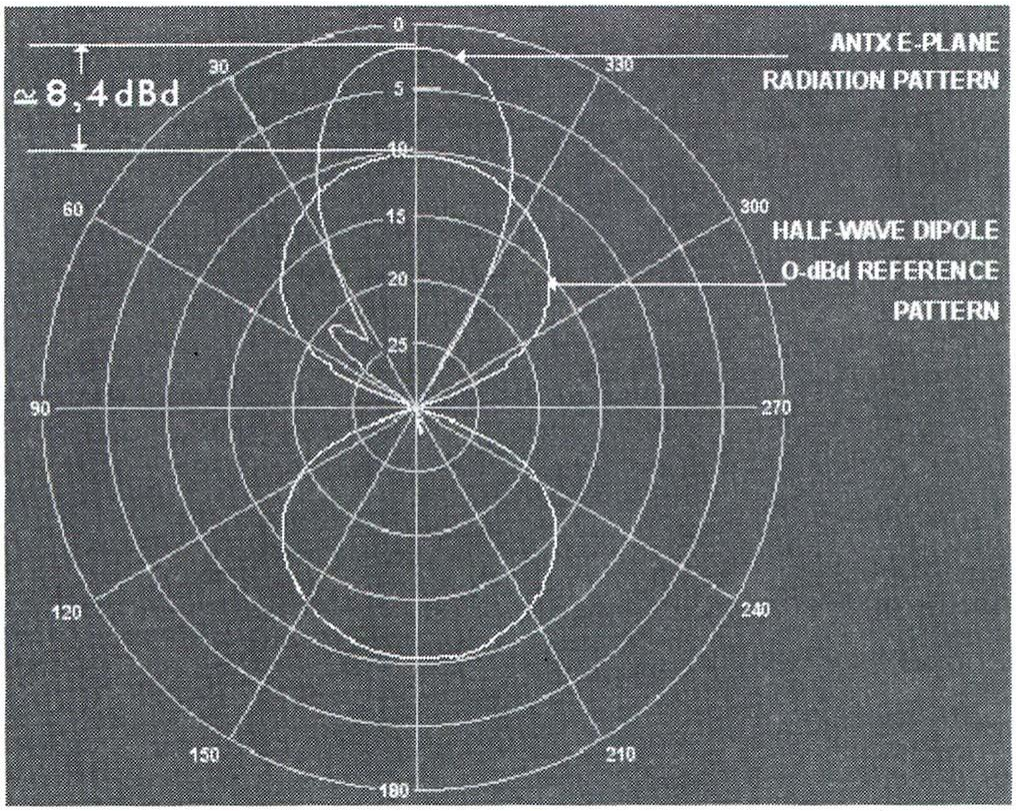
ตามทฤษฎีแล้วเกณฑ์ของไดโพลและโฟลเดดไดโพลจะมีลักษณะที่เหมือนกัน ซึ่งจากการฝึกหัดนี้มีโอกาสเกิดความแตกต่างได้การใช้เกณฑ์ของไดโพล $\lambda/2$ ที่วัดได้นำมาแสดงเป็นเกณฑ์ของโฟลเดดไดโพลซึ่งรวมบาลัน ซึ่งรูปทั้งคู่ที่แสดงได้ dBd และ dBi

G = _____dBd = _____dBi

14. พิมพ์การแสดงผลในรูป 3มิติของแพทเทอร์นการแผ่คลื่นของโฟลเดดไดโพลด้วยบาลันและสังเกตุพฤติกรรมที่เหมือนกันกับไดโพล $\lambda/2$ ที่พิมพ์เสร็จแล้วในการฝึกหัดที่ 1-4

การทำไดเร็คติวิตี้ให้ดีขึ้น

หมายเหตุ การที่จะทำให้แน่ใจถึงสายอากาศที่ใช้เป็นตัวรับมีการปรับแบบเดียวกันจากในขั้นตอนที่ 16,17 และ 19 ได้โดยการเปรียบเทียบแพทเทอร์นที่แตกต่างของที่ได้ทำการรับคลื่น



รูปที่ 14 เกณฑ์ที่ถูกแสดงจากการอ้างอิงค่าที่เกินของไดโพล

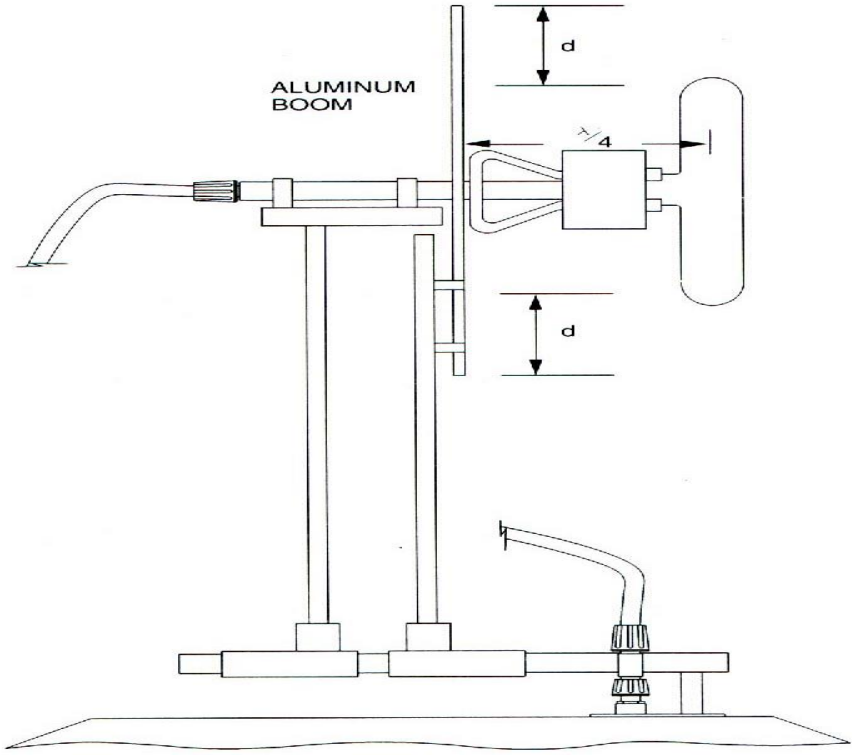
15. เก็บแพทเทอร์นที่จะทำไปใช้ในครั้งต่อไป และปิดคำสั่งโปรแกรมทุกคำสั่งที่จะทำให้เกิดการเก็บข้อมูลในกล่องข้อมูลใหม่ได้ของ antenna 1, 2, 3

16. ย้ายไดโพล $\lambda/2$ ออกและย้ายเสาของตัวรับออกหลังจากนั้นติดตั้งด้วยเสาคลิบแบบแนวนอนบนตัวรองรับการสไลด์ (sliding support) ของ Antenna Positioner และติดตั้ง Folded dipole ที่มี บาลัน เข้ากับเสา คลิบแบบแนวนอนนี้ และจัดวางสายอากาศ Folded dipole ในแนวตั้ง (Vertically) จากนั้นทำการปรับสายอากาศยากิตัวส่งสัญญาณไปในระนาบ H Plane และให้ปรับระดับการลดทอนให้ได้ระดับสัญญาณสูงสุดประมาณ-5dBและเริ่มกระบวนการรับ. เก็บแพทเทอร์นการแผ่คลื่นระนาบ H ลงที่antenna 1

17. เพิ่มตัวรองรับการสไลด์ (sliding support) โดยการแทรกบนตัวรอรับการสไลด์อีกทีจากนั้นสอดเสาด้วยคลิบแนวตั้งที่ตัวรองรับนี้และประกบกับเสาอลูมิเนียมที่มีอยู่ ตามโครงของระบบตำแหน่งตัวรองรับมีระยะห่าง $\lambda/4$ ระหว่างสายอากาศและเสา โดยดูได้จากรูป 15 จากนั้นทำการรับโดยไม่ต้องเปลี่ยนระดับการลดทอนและบันทึกแพทเทอร์ระนาบ H นี้ลงใน antenna 2

18. นักศึกษาควรคิดพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างแพทเทอร์นที่รับทั้ง 2 นี้ ถามว่าการติดตั้งครั้งที่2 เป็นการปรับปรุงไดเร็คติวิตี้ของโฟลเดดไดโพลให้มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นเท่าไร ?

เพิ่มขึ้นเป็น _____dB



รูปที่ 15 การติดตั้งด้วยเสาอลูมิเนียมที่วางด้านหลังสายอากาศ

19. ปรับเปลี่ยนการติดตั้งให้ระยะห่างเพิ่มขึ้นเป็น $\lambda/2$ จากระหว่างสายอากาศและเสาอะลูมิเนียมจากนั้นพล็อตแพทเทอร์นการแผ่คลื่น.นักศึกษาสามารถเลื่อนหรือหมุน ตัวรองรับไลด์ได้เพื่อให้ได้ระยะในการปรับเปลี่ยนนี้.จากนั้นทำการรับคลื่นเป็นครั้งสุดท้ายเป็นระนาบ H ลงใน antenna 3 และเปรียบเทียบแพทเทอร์นสายอากาศนี้กับแพทเทอร์นมาตรฐานของFolded dipole ถามว่านักศึกษาคาดเดาผลที่ได้รับจะเป็นอย่างไร ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

20. ต้องแน่ใจถึงแพทเทอร์นการแผ่คลื่นที่เก็บได้เพื่อใช้ในครั้งต่อไป จากนั้นออกจากโปรแกรมและ OFF สวิตช์กำลังปิดคอมพิวเตอร์ถอดอุปกรณ์ที่ติดตั้งทั้งหมดเก็บลงกล่องอุปกรณ์

16.4. สรุปผลจากการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

16.5. คำถามท้ายการทดลอง

1.ทำไมอิมพีแดนซ์ของโฟลเดดไดโพลทั้ง4ครั้งจึงใหญ่กว่าไดโพล $\lambda/2$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2.การแมทช์อิมพีแดนซ์อย่างสมบูรณ์หมายถึงอะไร ทำไมจึงมีความสำคัญทางอิมพีแดนซ์สายอากาศกับสายส่ง และจะเกิดอะไรขึ้นหากไม่แมทช์กัน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.สายอากาศที่มี $HPBW_E$ = 28 องศา และ $HPBW_H$ = 32 องศา จงคำนวนเกณฑ์ของสายอากาศที่เป็นสิ่งอ้างอิงนี้ตามเหตุผลของฮาล์ฟเวฟไดโพล

.....

.....

.....

.....

.....

4.การใช้บาลัน 4:1 เป็นการปรับปรุงเกณฑ์ของไดโพลจากการฟีดด้วยสายส่ง 75 โอห์มจงอธิบายทำไมจึงเป็นเช่นนั้น

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5.เหตุผลอันใดจึงต่อโฟลเดดไดโพลเข้ากับเสาโลหะ . ระยะห่างระหว่างเสากับสายอากาศนี้มีความสำคัญอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....