การทดลองที่ 17 สายอากาศแบบโมโนโพล

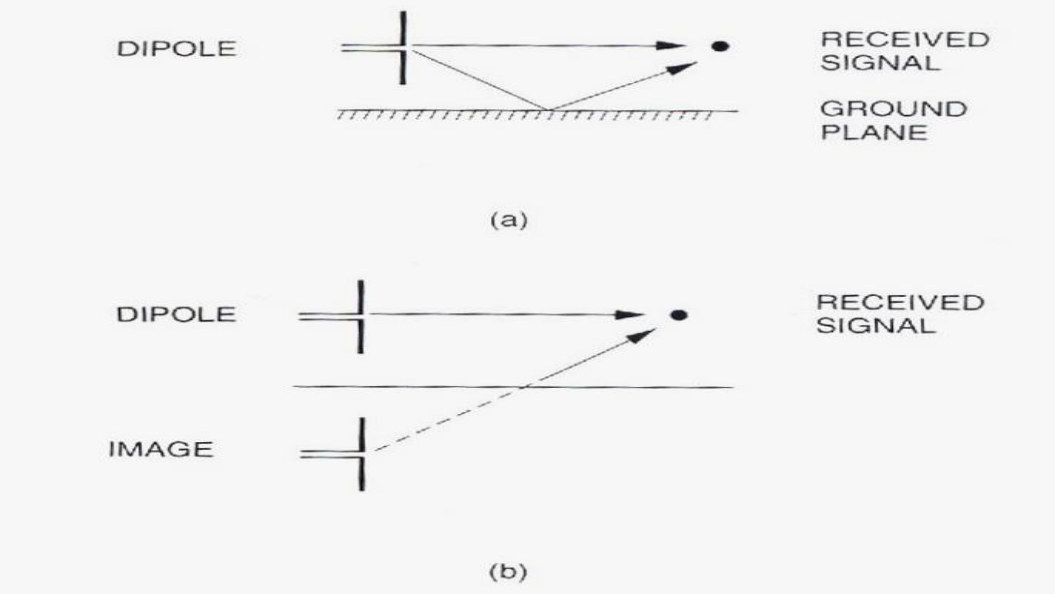
17.1. วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เมื่อทำการทดลองนี้สมบูรณ์แล้ว นักศึกษาจะรู้จักกับนักศึกษาสมบัติมาตรฐานของสายอากาศโมโนโพล และการเอียนเองของสายอากาศชนิดนี้

17.2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี

ground plane เป็นตัวนำที่มีการสะท้อนเหมือนกระจกเงา สำหรับตัวอย่าง เมื่อมีสายอากาศส่งซึ่งเป็นไดโพล อยู่เหนือ ground plane ซึ่งจะเป็นตัวนำที่ดีในการส่งทางด้านรับสัญญาณจะมีค่าผลรวมของสัญญาณตรงและสัญญาณที่ได้จากการสะท้อนกับ ground plane ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 (a) และรูปที่ 1 (b) ถ้าเราลากเส้นลงมาใต้ ground plane เรื่อยๆจนถึงจุดหนึ่งจะสังเกตเห็นว่าจุดเริ่มต้นอยู่ที่ image นี้ก็คือการสมมติจุดที่พลิกกลับลงของ ไดโพล นั้นเอง ซึ่งเรียกทฤษฎีนี้ว่า image theory

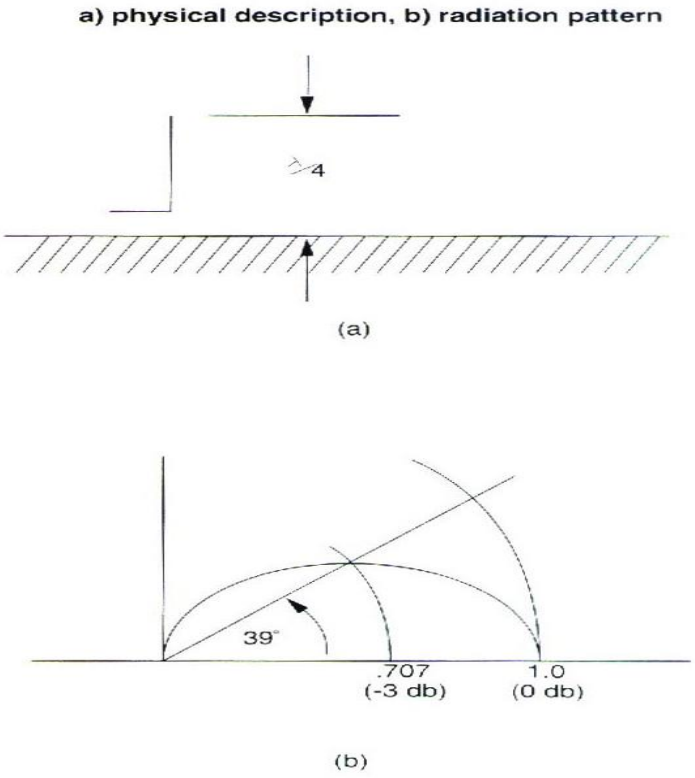


รูปที่ 1 a) ไดโพลที่วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำที่สมบูรณ์ , b) รูปเสมือนที่ใช้ทฤษฎีของ Image

สายอากาศ โมโนโพล

โมโนโพล

รูปที่ 2 แสดงโมโนโพลที่มีความยาว 1 ใน 4 ของคลื่น หรือ $\lambda/4$ ที่วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำที่สมบูรณ์ซึ่งจะทำให้เสมือนมีสายอีกครึ่งหนึ่งรวมเป็นครึ่งคลื่น หรือ ไดโพลขนาด $\lambda/2$



รูปที่ 2 โมโนโพลที่วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำสมบูรณ์

กระแสไฟฟ้าในสายอากาศ โมโนโพล จะมีค่าเท่ากับไดโพลแต่อินพุตโวลท์เตจจะมีค่าเพียงครึ่งเดียวของไดโพล ดังนั้นอินพุตอิมพีแดนซ์ของโมโนโพลจะเป็นครึ่งของไดโพล

$$Z_{in(\lambda/4 monopole)} = 37.5\Omega \tag{1}$$

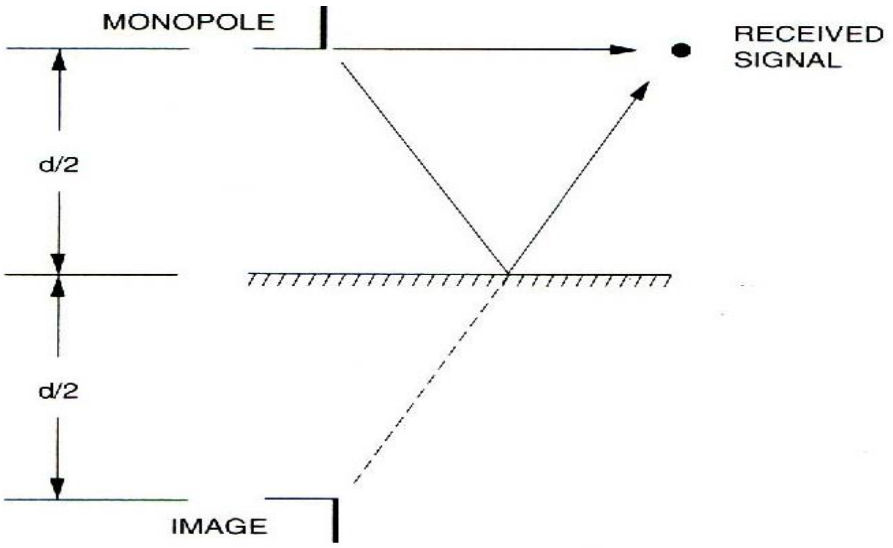
ในเมื่อกระแสของ โมโนโพล มีค่าเท่ากันกับ ไดโพลขนาด $\lambda/2$ ดังนั้นกำลังในการแพร่สัญญาณจึงเท่ากันแต่ ground plane นั้นจะตัดแพทเทอร์นการแผ่คลื่นลงครึ่งหนึ่งส่วน bean width จะเป็นครึ่งหนึ่งของ $\lambda/2$ ไดโพล เพราะฉะนั้นทิศทาง (directivity) และอัตราขยาย (gain) จะมีค่าเป็นสองเท่าของ ไดโพล

$$G_{\lambda/4 monopole} = 2 \times 1.64 = 3.2 or 5dB \tag{2}$$

แพทเทอร์นการแผ่คลื่นของโมโนโพล $\lambda/4$ ที่พื้นผิวดินสามารถอธิบายว่ามีรูปแบบการเลื่อนที่เหมือนกันกับไดโพล $\lambda/2$ สำหรับมุมที่มากกว่าศูนย์ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีดังแสดงในรูป 2 (b) และเขียนได้ดังสมการที่ 3

$$F(\theta)_{\lambda/4 monopole} = \frac{1}{2}\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)}{\sin\theta}, \theta > 0 \tag{3}$$

เมื่อวางสายอากาศ โมโนโพล ในตำแหน่งที่เหนือ ground โดยมีความสูงเท่ากับ d/2 ดังแสดงในรูปที่ 3 สายอากาศนั้นจะแสดงตัวเป็น 2 element ที่เรียงตัวกันอยู่ คลื่นที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศที่อยู่ทางด้านบนและล่างจะไปรวมกันแต่จะมีเฟสที่ต่างกันทำให้เกิด array factor ดังที่จะได้ศึกษาต่อไปในหน่วยที่ 3



รูปที่ 3 การรวมกันของคลื่นที่แพร่จากโมโนโพลและที่มาจาก image

ซึ่งนี่จะมีความคล้ายคลึงกันคือไดโพลที่วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำที่สมบูรณ์ ซึ่งไม่ได้กล่าวถึงมาก่อนหน้านี้ เพราะเราศึกษากันถึงเฉพาะแต่ไดโพลที่อยู่ใน free space ไม่ได้วางอยู่เหนือ ground

สายอากาศ โมโนโพล มาตรฐาน

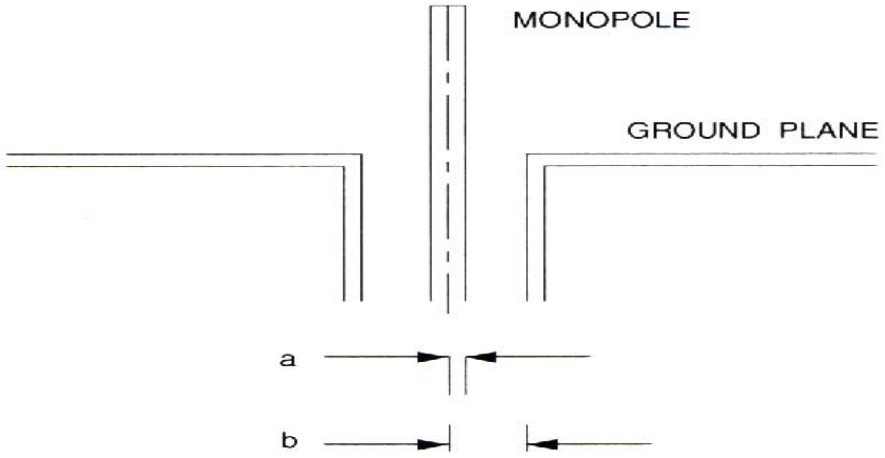
รูปที่ 4 เป็นการแสดงสายอากาศโมโนโพลที่มาตรฐานของ Lab-Volt ซึ่งจะมีการป้อนสัญญาณจากสาย coaxial cable (50 โอห์ม) ที่เชื่อมต่อกับแผ่น ground plane ขนาดใหญ่

ground plane ก็เป็นส่วนสำคัญอันหนึ่งในการออกแบบ โมโนโพล ซึ่งควรจะมีขนาดใหญ่พอประมาณ ในทางปฏิบัติจะใช้ขนาดรัศมีเท่ากับ 5λ ซึ่งจะให้ผลคล้ายกับในทางอุดมคติ และจะมีค่ารัศมีน้อยที่สุดเป็น 0.5λ ซึ่งมากับสายอากาศโมโนโพลของ Lab-Volt

ในการป้อนสัญญาณเข้าจะใช้สายโคแอคเชียลขนาด 50Ω เพื่อส่งกำลังไปยังสายอากาศโดยจะมีการมีการเปลี่ยนแปลงระดับอิมพีแดนซ์ลดลงเป็น 37.5 โอห์ม เนื่องจากสายอากาศมีอินพุตอิมพีแดนซ์ 37.5Ω ซึ่งในกรณีนี้การปรับค่าอิมพีแดนซ์นั้นจะอาศัยระยะห่างระหว่างตัวนำที่อยู่ตรงกลางของโมโนโพลกับขอบที่จะเป็น ground plane ซึ่งความสัมพันธ์ที่ว่านี้จะเป็นดังสมการที่ 4

$$Z_O = 60\log\left(\frac{b}{a}\right) \tag{4}$$

เมื่อ a = 0.159 cm. และ b = 0.317 cm. อิมพีแดนซ์ที่ได้จะเป็น 41.5 Ω ซึ่งเป็นค่าตรงกลางระหว่างอิมพีแดนซ์ของสายโคแอคเชียล และ อิมพีแดนซ์ของสายอากาศโมโนโพล 37.5 Ω

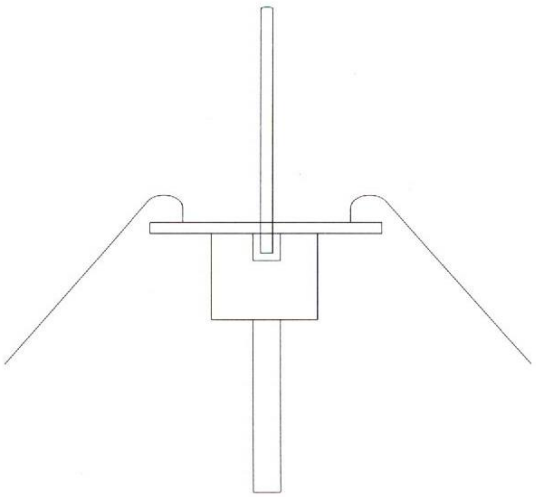


รูปที่ 4 จุดที่ป้อนสัญญาณจากโคแอคเชียลไปยังโมโนโพลและ ground plane

Drooping monopole

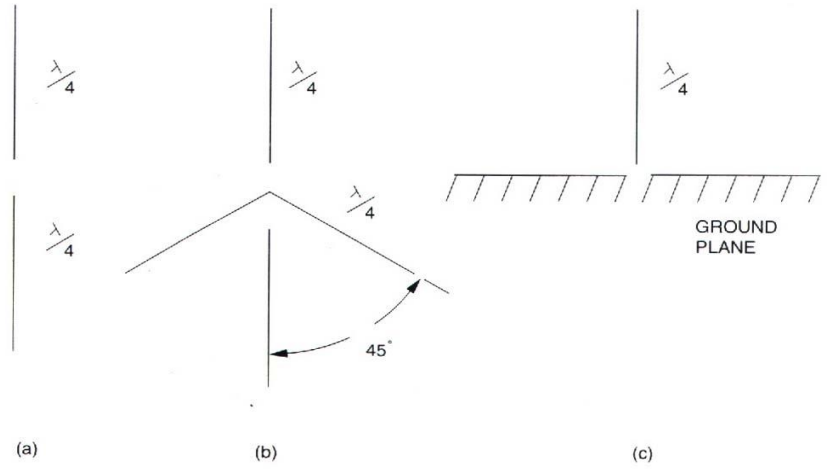
โมโนโพล มาตรฐาน ในระบบสายอากาศจะรวมถึง drooping โมโนโพล หรือ ground plane antenna

รูปที่ 5 แสดง drooping โมโนโพล ซึ่งเป็น โมโนโพล ที่สร้างใช้งานได้สะดวกมาก



รูปที่ 5 สายอากาศแบบ Drooping monopole

ในการอธิบายนักศึกษาสมบัติของ drooping โมโนโพล พิจารณาที่ half wave ไดโพลที่มีอิมพีแดนซ์ = 73 โอห์ม ในรูป 6 (a) เมื่อวางลวดที่ด้านล่างของครึ่งของไดโพล โดยให้กางออก 180° ดังรูปที่ 6 (c) จะทำให้ได้ โมโนโพล มาตรฐาน ที่มีนักศึกษาสมบัติทาง อิมพีแดนซ์ = 37.5 Ω ลวดที่กางจะทำมุมต่างกันเพียง 90 องศา (45 องศาจากแนวตั้ง) ดังรูปที่ 6 (b) จะทำให้ได้ drooping โมโนโพล ที่มีนักศึกษาสมบัติทาง อิมพีแดนซ์ ใกล้เคียงค่า 50 โอห์ม ซึ่งวิธีการที่ใช้นี้จะเป็นการแมทกันทาง อิมพีแดนซ์กับสายโคแอคเชียล



รูปที่ 6 a) half-wave dipole, b) Drooping monopole, c) monopole มาตรฐาน

สรุปขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองนี้นักศึกษาจะทำการ plot แพทเทอร์นการแผ่คลื่น ของโมโนโพลλ/4 ที่วางอยู่เหนือตัวนำ ground plane และการ drooping โมโนโพล λ/4 นักศึกษาได้จะสังเกตเห็นนักศึกษาลักษณะของ โมโนโพล ที่มี ground plane นักศึกษาจะทำการเปรียบเทียบอัตราขยายในทิศทางทั้งของไดโพล λ/2 และ โมโนโพลλ/4

17.3. ขั้นตอนการทดลอง

การติดตั้งอุปกรณ์

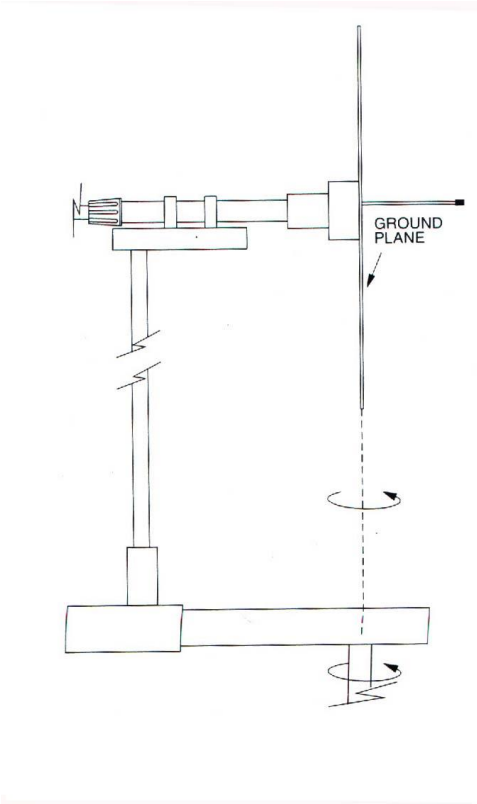
1. อุปกรณ์หลักของการทดลองคือชุดฝึกสายอากาศและระบบการวัดซึ่งประกอบด้วย อุปกรณ์เชื่อมต่อในการอ่านและเก็บข้อมูล / Power Supply, RF-Generator, Antenna Positioner และเครื่องคอมพิวเตอร์นั้น จะต้องติดตั้งก่อนที่จะทำการทดลอง ตามคู่มือการรู้จักและใช้งานสำหรับการติดตั้งชุดฝึกสายอากาศและระบบการวัดใน section ที่ 4 ถ้ายังไม่เคยทำการติดตั้งมาก่อน ขั้นตอน

การติดตั้งสายอากาศตัวส่งสัญญาณให้ติดตั้งสายอากาศแบบยากิ (Yagi) บนเสาจับยึดเสาอากาศแบบแนวนอน (Horizontal Clips) และจัดวางสายอากาศแบบยากิ (Yag) ไปในทิศทางแนวนอน (polarized horizontal) และเชื่อมต่อสายอากาศยากิเข้ากับเอาท์พุทของเครื่อง RF Generator ที่ความถี่ 1 GHz

2. ขั้นตอนการติดตั้งสายอากาศตัวรับสัญญาณให้เอาตัวต่อโมโนโพล (Monopole Connector) สอดเข้าตรงกึ่งกลางของ ground plane จากนั้นขันสกูรทั้ง 2 เพื่อให้แน่น จากนั้นนำสายอากาศที่มีความยาว $\lambda/4$ ใส่เข้าไปที่ตรงกลางของตัวต่อโมโนโพล

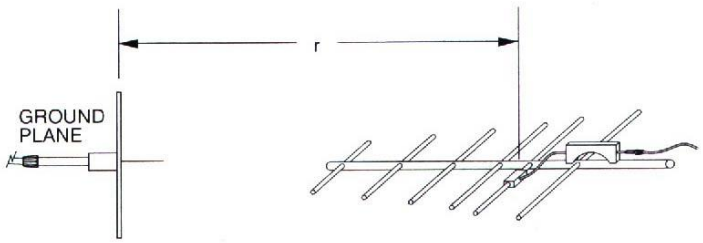
3. ให้ติดตั้งสายอากาศตัวรับเข้ากับเสาจับยึดสายอากาศแบบแนวนอนอีกอันหนึ่งและติดตั้งเสาเข้ากับ Sliding Support ที่อยู่บน Antenna Positioner และจัดวางทิศทางสายอากาศตัวรับในทิศทาง E - Plane

4. ให้เลื่อน Sliding Support โดยให้ตำแหน่งของสายอากาศอยู่ในแนวตรงกับจุดศูนย์กลางของการหมุนของ Antenna Positioner และต่อตัวลดทอนสัญญาณ 10 dB เข้ากับ อินพุท RF บน Antenna Positioner และต่อสายอากาศเข้ากับอุปกรณ์ลดทอน10 dBโดยใช้ SMA cable ขนาดกลาง ดังที่เคยกล่าวแล้วในข้อ 11 ของการทดลอง 1-1 เรื่องการต่อ SMA cableรูปที่ 7 แสดงผลลัพธ์ของการต่ออุปกรณ์ในข้อ 3 และ 4



รูปที่ 7 การติดตั้งสายอากาศโมโนโพลแบบ E plane

5. วางตำแหน่งสายอากาศทั้ง 2 ให้ห่างกัน 1 เมตร ปรับความสูงให้มีระดับเดียวกัน และมีทิศทางหันหน้าเข้าหากัน



รูปที่ 8 ระยะทาง r ระหว่างสายอากาศ

6. ขั้นตอนในการปรับแต่งมีดังนี้ ที่ RF Generator

1 GHz OSCILLATOR MODE 1KHz

1 GHz OSCILLATOR RF POWER ..... OFF

10 GHz OSCILLATOR RF POWER ..... OFF

ให้เปิดสวิทช์ Power ของ RF Generator และ Power Supply

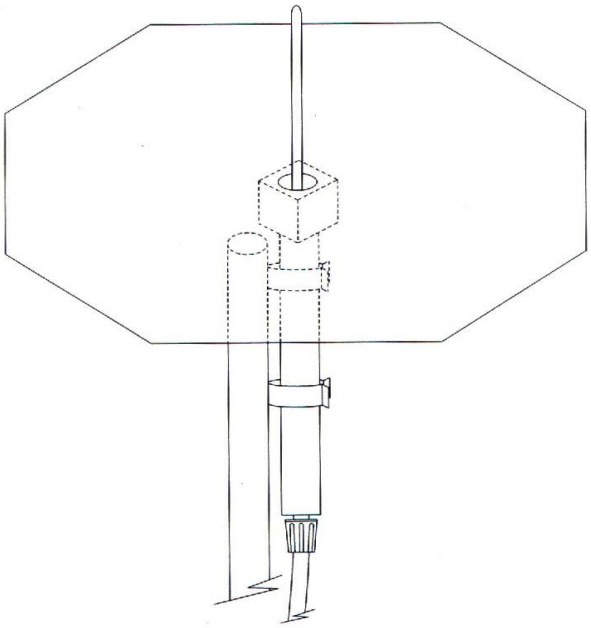
ให้เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเริ่มต้นใช้งานโปรแกรม LVDAM-ANT

แพทเทอร์นของการแผ่คลื่นสัญญาณ

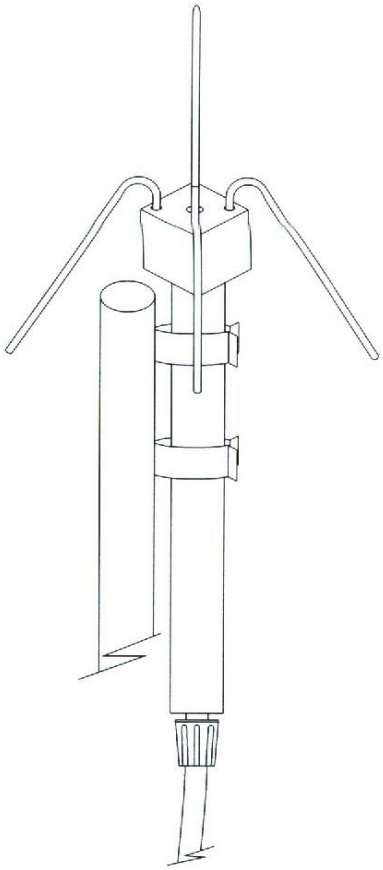
7. ให้ปรับสวิทช์ RF POWER ที่ความถี่ OSCILLATOR 1 GHz ไปที่ตำแหน่ง ON และให้ปรับแต่งการควบคุมการลดทอนสัญญาณที่รับได้มีค่าที่เหมาะสมจากโปรแกรมและเริ่มต้นเก็บข้อมูลและบันทึกแพทเทอร์นการแผ่คลื่นทางด้าน E Plane ลงใน antenna 1

8. ให้หมุนสายอากาศตัวส่งสัญญาณแบบ Yagi ให้อยู่ในทิศแนวตั้ง (Vertically polarized) และในส่วนของสายอากาศตัวรับให้ปลดเสาจับยึดสายอากาศแบบแนวนอนออกจาก Slide Support และเปลี่ยนเป็นใช้เสาจับยึดแบบแนวตั้งแทน และทำการต่อสายอากาศตัวรับสัญญาณ โมโนโพล ลงบนเสาจับยึดใหม่นี้ ซึ่งจะเป็นการจัดวางแบบ H- plane และเปลี่ยนสายเคเบิล SMA จากขนาดกลางเป็นขนาดสั้นในการต่อระหว่างสายอากาศกับตัวลดทอน 10dB ดังรูปที่ 9 ทำการเก็บข้อมูลใหม่อีกครั้ง และบันทึกเป็นแบบ H-plane ลงใน antenna1

9. ปลดสายอากาศตัวรับ โมโนโพล ออกจากเสาจับยึดและปลด ground plane ออกจากอุปกรณ์ตัวต่อสายอากาศและให้สอดสายอากาศ 4 เส้น ที่มีการหักมุมตรงกลางลงไปที่แต่ละมุมของอุปกรณ์ต่อสายอากาศ และยึดสายอากาศอันใหม่นี้เข้ากับเสาจับยึดหมุนไปทางที่จะทำให้เป็น H-plane ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 9 การติดตั้งสายอากาศแบบโมโนโพลให้มีการแผ่คลื่นเป็น H plane



รูปที่ 10 การติดตั้ง drooping monopole

10. ทำการทดลองโดยการใช้ระดับการลดทอนเหมือนเดิม ให้ทำการปรับเปลี่ยนการจับยึดและสายต่อ SMA ตามความเหมาะสมในการติดตั้งอุปกรณ์ จากนั้นการเก็บข้อมูลแพทเทอร์นทางด้าน H Plane เสร็จเรียบร้อยแล้วให้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตัวรับสัญญาณแบบ E Planeและเริ่มการ plot แพทเทอร์นการแผ่คลื่น E-plane ของสายอากาศ โมโนโพลแบบ drooping และให้เก็บค่าของรูปแบบทั้ง 2 ลงในข้อมูล antenna 2

11. นักศึกษามีแพทเทอร์นการแผ่คลื่นของสายอากาศทั้ง 2 แล้วในขณะนี้ มื่อดูตาม E-plane แล้วสายอากาศ โมโนโพล ชนิดใดมีอัตราขยายที่ดีกว่า ?

.....

.....

.....

.....

12. ทำการหารูปแบบของ E-H และ 3-D option (ให้อ้างถึงการทดลอง 1-4 โดยกำหนดตำแหน่งที่ถูกต้องของรูปแบบที่ไม่ได้อัตราส่วน) ทำการบันทึกค่าลงใน antenna 1 และ antenna 2 data box จากนั้นพิมพ์แพทเทอร์นการแผ่คลื่น (ในรูป 2 มิติ และ 3 มิติ) ของสายอากาศ โมโนโพล ที่มี ground plane

13. ปลดสายทั้ง 4 เส้น ออกจากแต่ละมุมของสายอากาศตัวรับ โมโนโพล จากนั้นทำการทดลองอีกครั้งโดยไม่มีการปรับเปลี่ยนระดับการลดทอนเพื่อหา E-plane หลังจากนั้นทำการจัดวางอุปกรณ์ในทิศทาง H plane ตามความเหมาะสมเพื่อ plot แพทเทอร์นการแผ่คลื่นของ H-plane และเก็บข้อมูลที่ได้ลงใน antenna 3

14. เปรียบเทียบรูปแบบการแผ่คลื่นของ 2 สายอากาศก่อนหน้านี้กับ โมโนโพล นี้ นักศึกษาสังเกตเห็นอะไร

.....

.....

.....

.....

.....

ทิศทางของสายอากาศ

15. ตามทฤษฎีแล้วสายอากาศ โมโนโพล นั้นจะเป็น 2 เท่า (มากกว่า 3 dB) ของสายอากาศไดโพล แบบ $\lambda/2$ ติดตั้งสายอากาศตัวรับสัญญาณ ไดโพล แบบ $\lambda/2$ แล้วหาค่า E-plane โดยใช้ระดับการลดทอนเดิมเก็บข้อมูลรูปแบบที่ได้ลงใน antenna 3

16. เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ครั้งสุดท้ายนี้กับรูปแบบ E-plane ของ โมโนโพล สายอากาศแบบใดให้อัตราขยายที่ดีกว่า และต่างกันเท่าใด ?

.....

.....

.....

.....

ถามว่าผลลัพธ์ของมุมที่ได้ถูกต้องตามทฤษฎีหรือไม่อธิบายว่าทำไม ?

.....

.....

.....

.....

การทดลองเพิ่มเติม

การทดลองต่าง ๆ ต่อไปนี้ จะทำได้ก็ต่อเมื่อนักศึกษามีส่วนประกอบเพิ่มเติมคือ 1 GHz Directonal coupler

หมายเหตุ : เราจะมองเห็นระยะห่าง B ระหว่างจุดกึ่งกลางของลวดตัวนำกับขอบของรูที่ใส่ ground plane ซึ่งจะมีผลกับค่า อิมพีแดนซ์ ซึ่งจะมีผลกับค่า อิมพีแดนซ์ สายอากาศ โมโนโพล เราจะทำการทดลองนี้เพื่อออกแบบหาความเหมาะสมในการ matching กับสายส่งกำลัง นักศึกษาจะต้องวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) ดูว่ามันจะแสดงผลกระทบของ ground plane ที่มีต่อ อินพุต อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

17. อ้างถึงขั้นตอน 20 ของการทดลอง 1-1 เกี่ยวกับการติดตั้ง directional coupler ให้ตั้งปรับ สวิทย์ของ RF Power ที่ความถี่ OSC. 1Hz ไปที่ตำแหน่ง ON และปรับการลดทอนของโปรแกรมไว้ที่ 10 dB จากนั้นบันทึกค่าสัญญาณที่รับได้

$$P_1 = _____ dB$$

18. ติดตั้งสายอากาศ โมโนโพลเข้ากับเสาจับยึดและติดตั้งเสาเข้ากับ Sliding Support ที่อยู่บนAntenna Positioner และติดตั้งสายอากาศเข้ากับ directional coupler ดังขั้นตอน 20 ของการทดลอง 1-1

19. ไม่ต้องปรับแต่งระดับการลดทอนบันทึกสัญญาณใหม่ที่รับได้

$$P_2 = _____ dB$$

20. คำนวณหา SWR. ของสายอากาศ

X = _____ dB

Γ = _____

SWR. = _____

21. ปลด ground plane ออกจากสายอากาศ โมโนโพล คงเหลือไว้แต่ส่วนที่เป็นสายอากาศ แล้วทำซ้ำอีกครั้งหนึ่งโดยใช้ระดับการลดทอนเดิมบันทึกระดับของสัญญาณ

P_2 = _____dB

หาค่า SWR ของสายอากาศนี้ _____

22. อธิบายผลที่เกิดขึ้นทั้ง 2 นี้ ได้ว่าอย่างไร ?

.....

.....

.....

.....

23. ทำการบันทึกแพทเทอร์นการแผ่คลื่นเพื่อที่จะได้เก็บไว้ใช้ในอนาคต จากนั้น ออกจาก program LVDAM-ANT ปิดสวิทซ์ ทั้งหมดไปที่ตำแหน่ง OFF ปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ ปลดอุปกรณ์ทั้งหมดนำไปใส่ไว้ในที่ใส่อุปกรณ์

17.4. สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้นักศึกษาได้ plot แพทเทอร์นการแผ่คลื่นของทั้งสายอากาศแบบ โมโนโพล และ drooping monopole ซึ่งนักศึกษาสามารถเปรียบเทียบรูปแบบที่กระจายตามความยาวคลื่นทั้ง 2 และพิจารณาค่า Gain ของมัน และความคล้ายคลึงกันของมัน และนักศึกษาได้บันทึกการสูญเสีย Gain เมื่อ โมโนโพล ไม่มี ground plane นักศึกษาได้เปรียบเทียบรูปแบบของ E-plane ระหว่าง $\lambda/4$ โมโนโพล กับ $\lambda/2$ ไดโพล ซึ่งแสดงถึงขนาดที่เล็กลงของ ground plane Gain ของ โมโนโพล ที่น้อยกว่า ความเป็นจริงตามทฤษฎี

17.5. คำถามท้ายการทดลอง

1. ทฤษฎีอะไรที่เป็นที่มาของสายอากาศ โมโนโพล แบบมาตรฐาน จงอธิบาย

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. จงอธิบายว่าทำไม directivity ของ โมโนโพล ที่อยู่เหนือ ground plane จึงมีค่าเป็น 2 เท่า ของ ไดโพล

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. จงออกแบบสายอากาศแบบ โมโนโพล ที่ความถี่ 800 MHz (ย่าน UHF) และนักศึกษาต้องการ ground plane จงคำนวณหาขนาดของมัน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. ค่าพารามิเตอร์อะไร ที่ควรทำการพิจารณาในการหาค่า อินพุต อิมพีแดนซ์ ของสายอากาศแบบโมโนโพล

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. สาย 4 เส้น ที่มีมุม 45 องศา ติดตั้งอยู่ที่แต่ละมุมของ drooping antenna ใช้ทำอะไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....