

Antenna Measurement

1 วัตถุประสงค์

1. เข้าใจในหลักการทำงานและคุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศ
2. สามารถทำการวัดคุณสมบัติพื้นฐานที่จำเป็นของสายอากาศได้

2 ทฤษฎี

สายอากาศคือ อุปกรณ์ที่ออกแบบขึ้นมา เพื่อให้สามารถแผ่กระจายและดักจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศได้ ซึ่งเราอาจจะเรียกว่า *อุปกรณ์แปลงสัญญาณ (Converter)* ก็ได้ หรืออาจจะเรียกว่า *อุปกรณ์สื่อกลาง (Mediates)* ระหว่างสายนำสัญญาณกับอากาศก็ได้

ระบบสื่อสารที่มีการใช้สายอากาศประกอบด้วยส่วนประกอบพื้นฐานดังต่อไปนี้

1. แหล่งกำเนิดคลื่นความถี่
2. ท่อนำสัญญาณหรือสายนำสัญญาณ
3. สายอากาศสำหรับส่งคลื่น
4. สายอากาศสำหรับรับคลื่น
5. เครื่องขยายสัญญาณสำหรับส่ง และรับสัญญาณ

สายนำสัญญาณอาจจะเป็นไปได้ทั้งสาย Coaxial ท่อนำคลื่น หรืออื่น ๆ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ส่งกำลังหรือพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากอุปกรณ์ส่งไปยังสายอากาศ หรือจากสายอากาศมายังอุปกรณ์รับสัญญาณ

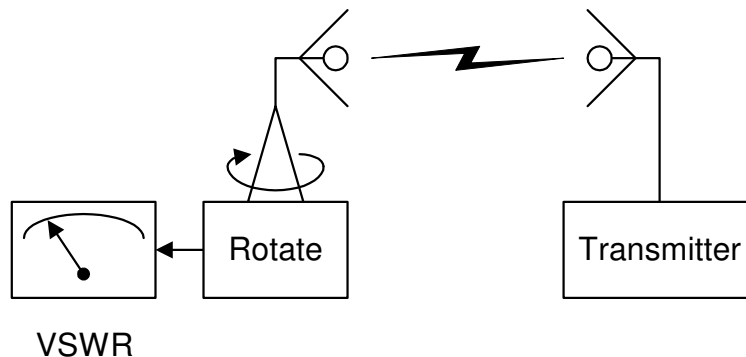
สายอากาศจะต้องเข้ากันได้กับสายนำสัญญาณ หรือที่เรียกว่า การ Match ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการแปลงสัญญาณ นอกจากนี้ สายอากาศที่ใช้จะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น การกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุ การติดต่อผ่านคลื่นวิทยุ หรือเรดาร์ เป็นต้น สายอากาศจะต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท ตัวอย่าง เช่น สายอากาศแบบมีทิศทางจะมีคุณสมบัติในการแผ่กระจาย หรือดักจับพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางที่เราได้กำหนดไว้ เป็นต้น สายอากาศสามารถมีได้หลายรูปแบบตามลักษณะการใช้งาน และช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ เช่น สายอากาศที่มีลักษณะเป็นเส้นลวด (เช่น ไดโพล ยากิ ลองไวร์ หรือสายอากาศแบบเกลียว) สายอากาศที่มีลักษณะเป็นช่องเปิด (เช่น แบบสล็อต หรือแบบฮอร์น) และสายอากาศแบบอาร์เรย์ที่ประกอบด้วยสายอากาศหลาย ๆ ชุดเชื่อมต่อกัน นอกจากนี้ ยังมีสายอากาศที่ใช้หลักการสะท้อนคลื่น (Reflector) สายอากาศที่ใช้หลักการรวมคลื่น (Lens) เป็นต้น อนึ่ง สายอากาศที่ใช้ในการทดลองนี้ จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่เรียกว่า ไมโครเวฟ เพื่อให้มีขนาดเล็ก อันเหมาะสมแก่การทำการทดลอง

มีสายอากาศมากมายหลายชนิดที่ไม่สามารถศึกษาในเชิงวิเคราะห์ได้ เนื่องจากโครงสร้างของสายอากาศซับซ้อนมาก และมีวิธีป้อนสัญญาณที่ย่างยาก การศึกษาคุณสมบัติการแผ่คลื่นของสายอากาศเหล่านี้จึงกระทำได้โดยการทดลองวัดเท่านั้น แต่การศึกษาด้วยการทดลองก็มีอุปสรรคหลายประการ ได้แก่

1. ในการวัดแพทเทอร์น ระยะทางสำหรับบริเวณสนามระยะไกล ($r > 2D^2/\lambda$) จะยาวมาก เมื่อวัดสายอากาศที่ใช้กับคลื่นความถี่ต่ำ และการทำให้คลื่นสะท้อนจากดินและวัตถุรอบตัวอยู่ในระดับต่ำก็ทำได้ลำบาก
2. ในหลายกรณี การเคลื่อนย้ายสายอากาศจากสถานที่ใช้งานไปยังสถานที่วัดก็ทำไม่ได้
3. สำหรับสายอากาศบางชนิด เช่น อาร์เรย์แบบเปลี่ยนเฟส เวลาที่ต้องใช้ในการวัดก็อาจยาวนานเกินไป
4. สิ่งแวดล้อมนอกระบบการวัดเป็นสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้
5. ระบบการวัดที่มีขีดจำกัดโดยปกติจะมีที่ไม่เพียงพอสำหรับสายอากาศขนาดใหญ่
6. โดยทั่วไป วิธีการวัดมีค่าใช้จ่ายที่แพง

ด้วยเหตุนี้ การคำนวณสายอากาศในทางทฤษฎี จึงเป็นสิ่งที่ยุ่งยากมาก และมักจะต้องกำหนดให้สายอากาศอยู่ในสถานะที่เป็นอุดมคติ ในการพัฒนาสายอากาศ วิศวกรยังคงต้องใช้วิธี *Cut and Try* หรือ *Trial and Error* โดยทำการทดลองสร้างสายอากาศ วัดคุณสมบัติ วิเคราะห์ และปรับปรุง

ในการวัดแพทเทอร์นการแผ่คลื่นนั้น เราจะใช้สายอากาศที่ต้องการวัดเป็นสายอากาศรับ ที่วางอยู่ในตำแหน่งเหมาะสมที่จะสามารถรับคลื่นจากสายอากาศส่ง ซึ่งมักจะเป็นสายอากาศมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 1 สายอากาศส่งจะอยู่กับที่ และสายอากาศรับจะตั้งอยู่บน Platform ที่สามารถหมุนรอบได้บนแกนแนวดิ่ง ถือว่าสายอากาศทั้งสองเป็นสายอากาศที่มีโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น



รูปที่ 1 การวัดคุณสมบัติของสายอากาศ

วิธีการวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศ

ในการวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศนั้น สามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยม คือ ใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis Power Transmission Formula) ซึ่งถือว่า ระบบการวัดใช้สายอากาศ 2 ตัว (หรืออาจจะใช้สายอากาศ 3 ตัวก็ได้) ในการวัดแต่ละครั้ง สายอากาศทั้งสองแยกห่างกันด้วยระยะทางที่แน่นอน และต้องอยู่ในสนามระยะไกลของสายอากาศ จากสมการฟรีส

$$G_t + G_r = 20 \log\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right) + 10 \log\left(\frac{P_r}{P_t}\right) \quad (1)$$

เมื่อ G_t คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง

G_r	คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ
P_t	คือ กำลังงานที่ส่งออก
P_r	คือ กำลังงานที่รับได้
r	คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสอง
λ	คือ ความยาวของคลื่นที่ใช้งาน

โดยการวัด r , λ และอัตราส่วน P_r/P_t ตามระบบในรูป ก็สามารถหาค่าอัตราขยายของสายอากาศสำหรับความถี่ใดความถี่หนึ่งได้ สำหรับการวัดที่ใช้ความถี่ต่อเนื่อง เช่น ในกรณีของสายอากาศช่วงกว้าง ก็สามารถใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมกว่าความถี่ได้

ในกรณีที่สายอากาศ 2 ตัวมีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน การวัดก็จำเป็นต้องใช้สายอากาศ 3 ตัว (a, b, c) และต้องทำการวัด 3 ครั้ง เพื่อหาอัตราขยายของสายอากาศแต่ละตัว เราจึงสามารถเขียนสมการได้ 3 สมการ คือ

$$G_a + G_b = 20\log\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right) + 10\log\left(\frac{P_{rb}}{P_{ta}}\right) \quad (2)$$

$$G_a + G_c = 20\log\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right) + 10\log\left(\frac{P_{rc}}{P_{ta}}\right) \quad (3)$$

$$G_b + G_c = 20\log\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right) + 10\log\left(\frac{P_{rc}}{P_{tb}}\right) \quad (4)$$

จากสมการทั้งสาม เราสามารถหาค่าอัตราขยายของสายอากาศแต่ละตัวได้ โดยไม่จำเป็นต้องทราบค่าของสายอากาศตัวใดตัวหนึ่ง การวัดค่าอัตราขยายด้วยวิธีนี้ จะต้องระมัดระวังในเรื่องต่อไปนี้

1. ความถี่ที่ใช้ในการวัดแต่ละครั้งต้องคงที่ตลอดเวลา
2. สายอากาศต้องอยู่ในสนามระยะไกล
3. สายอากาศอยู่ในบริเวณที่สนามสม่ำเสมอ
4. อุปกรณ์ทุกชิ้นต้องเข้าคู่กันทั้งค่า Impedance และ Polarize
5. มีอิทธิพลข้างเคียงและการสอดแทรกกันน้อยที่สุด

3 หัวข้อค้นคว้าก่อนการทดลอง

จงทำการค้นคว้าเกี่ยวกับสายอากาศ ดังต่อไปนี้

- Dipole Antenna

ในหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

- หลักการโดยสังเขป
- ลักษณะทั่วไป
- คุณสมบัติต่าง ๆ
- การประยุกต์ใช้งาน

4 อุปกรณ์และเครื่องมือ

ในการทดลองนี้ เราจะทำการทดลองวัดแพทเทิร์นการรับคลื่นของสายอากาศ Dipole ซึ่งเป็นสายอากาศที่ใช้กันทั่วไปในการรับคลื่นวิทยุและโทรทัศน์ โดยเน้นที่การวัดแพทเทิร์นการรับคลื่น เพื่อจะได้เข้าใจถึงคุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่

1. สายอากาศสำหรับการวัด ประกอบด้วย

- Dipole Antenna Kit	737410
- Dish Antenna Kit	737450
2. Gunn Power Supply with SWR meter	737021
3. Gunn Oscillator	73701
4. Large Horn Antenna	73721
5. Isolator	73706
6. PIN-modulator	73705
7. Supports for waveguide components	73715
8. RF cable, L = 1 m	50102
9. Stand base MF	30121
10. Rotating antenna platform	737400
11. Personal Computer with Interface	
12. Coaxial Cable	

ส่วนประกอบที่สำคัญในการทดลองนี้ มีดังนี้

1. **อุปกรณ์กำเนิดคลื่นสัญญาณไมโครเวฟ** สัญญาณไมโครเวฟ จะถูกกำเนิดโดยใช้ Gunn Oscillator (มีความถี่ประมาณ 9.40 GHz และมีกำลังประมาณ 20 mW) สัญญาณที่ได้นี้ สามารถนำไปมอดูเลตแบบ AM ได้โดยการใช้ PIN Modulator โดยจะทำการผ่านสัญญาณมอดูเลตที่มีความถี่ และเฟสคงที่ออกไป ชุดไอโซเลเตอร์ที่อยู่กึ่งกลางระหว่าง Gunn Oscillator และ PIN Modulator เป็นตัวเชื่อมผ่านสัญญาณและป้องกันคลื่นสัญญาณวิ่งกลับทาง ชุดแผ่กระจายคลื่นสัญญาณ หรือสายอากาศส่งแบบฮอร์นนั้น จะแปลงสัญญาณไมโครเวฟในท่อนำคลื่นให้แผ่กระจายออกไปในทิศทางที่ต้องการ ชุด Gunn Power Supply with SWR Meter จะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับ Gunn Oscillator และจ่ายสัญญาณให้กับ PIN Modulator

2. **ชุดหมุนสายอากาศ** ชุดหมุนสายอากาศทำให้การทดลองและการบันทึกสัญญาณเป็นไปโดยสะดวก และถูกต้อง มีค่าพารามิเตอร์และรูปแบบการทำงานดังนี้

ทิศทางการหมุน ได้ทั้งตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา

ความเร็วในการหมุน ตั้งค่าได้ 4 ระดับ คือ 50, 70, 90 และ 110 วินาทีต่อรอบ

กระแสไบอัสสำหรับอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ ตั้งได้ 4 ระดับ คือ 1.5, 4.5, 7.5 และ 10.5 μA

ชุดหมุมสายอากาศจะมีตัวขยายสัญญาณอยู่ภายในขนาด 10 dB สำหรับขยายสัญญาณที่คิมอดูเลตมาแล้ว การติดตั้งสายอากาศสำหรับการวัดนั้น จะมีขาตั้งสายอากาศ ซึ่งสามารถเสียบไว้ในที่ยึดที่อยู่กึ่งกลางของฐานหมุมสายอากาศ หรืออาจจะใช้ขาตั้งที่มีฐานรองรับก็ได้

3. อุปกรณ์เก็บค่าและควบคุมการวัด อุปกรณ์ชุดนี้ ใช้สำหรับควบคุมชุดหมุมสายอากาศ ซึ่งจะใช้ในการควบคุมทิศทางการหมุม ความเร็วในการหมุม และกระแสไบอัสสำหรับไดโอดคิเทคเตอร์ ชุดควบคุมนี้ สามารถอ่านค่ามุมและสัญญาณการวัดที่ได้จากสายอากาศ และสามารถส่งข้อมูลไปให้กับคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางชุดอินเตอร์เฟซ CASSY โปรแกรม Directional Diagrams จะทำหน้าที่ควบคุมชุดหมุมสายอากาศ และทำการรับค่าเพื่อนำมาประมวลผลและนำเสนอในรูปของกราฟที่เหมาะสม

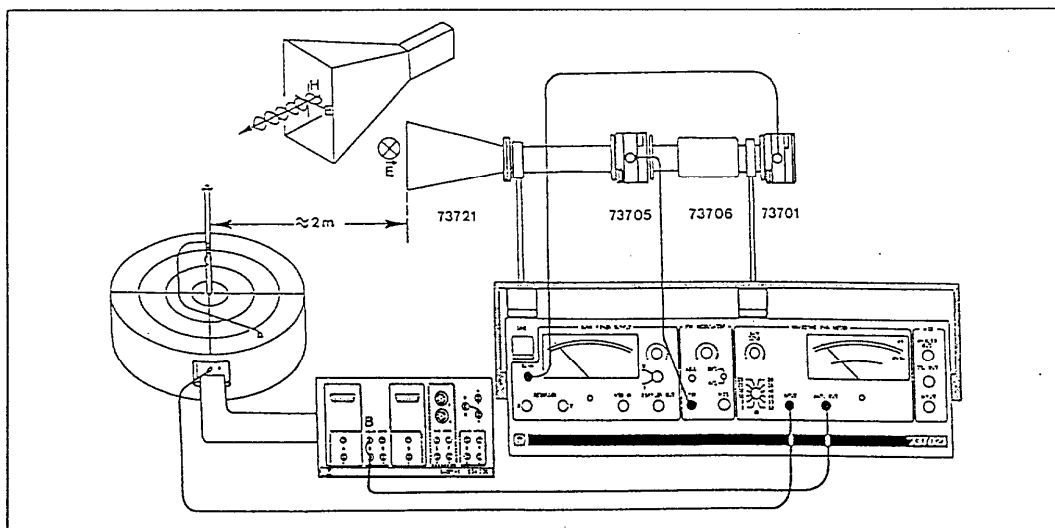
อนึ่ง เนื่องจากชุดหมุมสายอากาศเกิดการชำรุด จึงต้องใช้มือหมุมและวัดมุมเอง นอกจากนี้ มุมที่แสดงในคอมพิวเตอร์ก็ไม่ถูกต้อง ต้องอ่านจากสเกลบน rotating platform

5 การทดลอง

ในการทดลองนี้ เราจะใช้ Gunn Oscillator เป็นตัวกำเนิดคลื่น ความถี่ 9.40 ± 0.05 GHz (ความยาวใน Free Space $\lambda_0 = 32$ mm) แล้วใช้ Horn Antenna เป็นสายอากาศสำหรับส่งคลื่น โดยจะทำการวัดคลื่นที่รับได้จากสายอากาศ Dipole, Yagi-Uda และการใช้ Parabola Dish Reflector ประกอบกับสายอากาศ

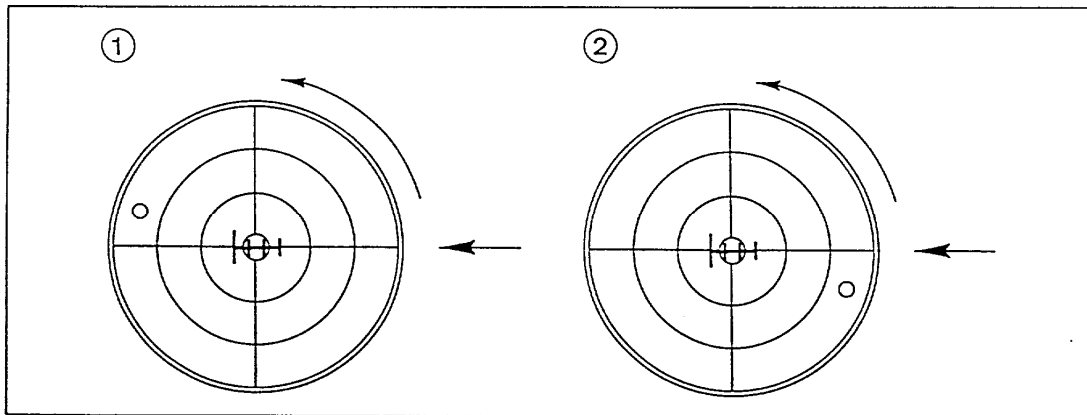
การเตรียมการทดลอง

1. จัดวางอุปกรณ์ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการวัดคลื่นใน E-Plane

2. ปรับ Rotating Antenna Platform ตามรูปที่ 3 ให้สายอากาศอยู่ในตำแหน่งที่ 0° หรือ 180° เพื่อความสะดวกในการวัด
3. เปิดสวิตช์ GUNN Power Supply และปรับค่า Gunn supply voltage ให้อยู่ประมาณ 7 - 9 V.



รูปที่ 3 การปรับตำแหน่งของ Antenna

4. ปรับสวิทช์ของ PIN-modulator ไปที่ INTern และปรับปุ่ม Modulation Amplitude ให้อยู่ขวาสุด (ค่าสูงสุด)
5. ปรับ range switch v/dB ของ SWR meter เป็น 25 dB
6. เปิดสวิทช์ rotating antenna platform
7. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และรันโปรแกรม C:\ANTENNA\POLAR แล้วเลือก Rotating Antenna Platform
8. ทำการวัด 1 รอบเพื่อหาตำแหน่งที่รับคลื่นได้ดีที่สุด แล้วใช้ปุ่ม GAIN ZERO ปรับค่าให้เป็น 0 dB ซึ่งหมายถึงค่า 7 V และพยายามกำหนดให้ตำแหน่ง 0° เป็นตำแหน่งที่รับคลื่นได้ดีที่สุด

หมายเหตุ ถ้าหากค่าสูงสุดมีค่ามากกว่า 0 dB (เข็มชี้สุดขอบด้านขวามือ) ให้ทำการปรับ GAIN ZERO หรือ ลดค่า Gunn Voltage Supply ลง ถ้าหากว่ามีค่าน้อยมาก ให้ทำการเพิ่มค่า Gunn Voltage Supply

การทดลองที่ 1 การวัดคลื่นใน E-Plane

ในการทดลองนี้ เราจะทำการวัดคลื่นที่รับได้ใน E-Plane โดยสายอากาศ Dipole

ขั้นตอนการทดลอง

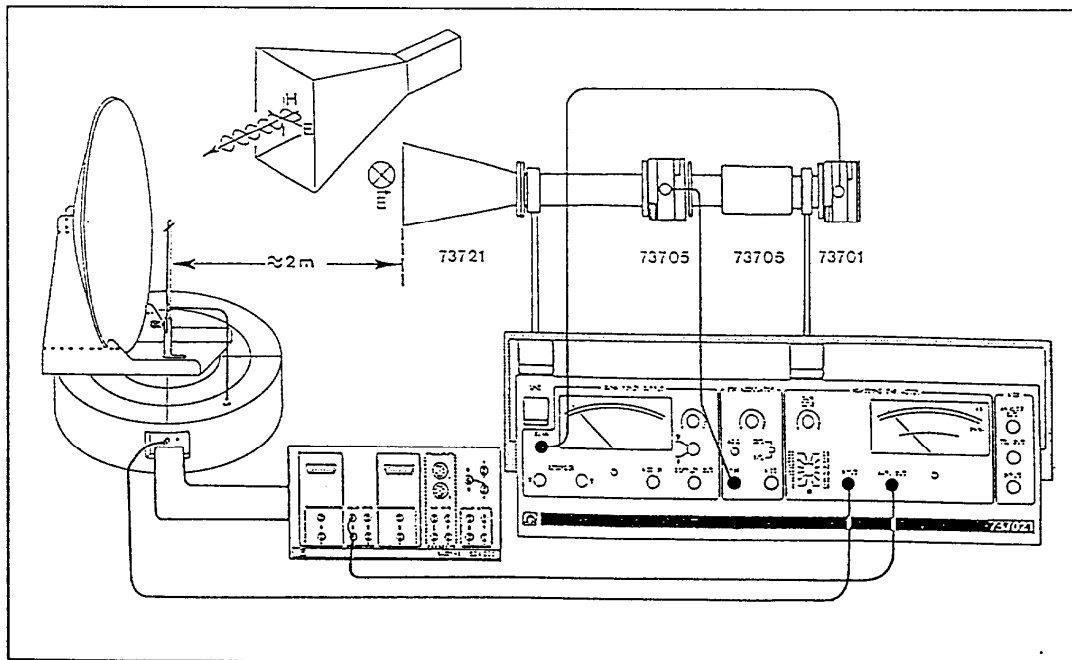
1. หลังจากเตรียมการทดลองเสร็จเรียบร้อยแล้ว เริ่มต้น ทำการวัดสายอากาศ Dipole
2. ทำการวัดค่า Voltage ของคลื่นที่รับได้ ตั้งแต่ -180° - 180° โดยค่อยๆ หมุน Rotating Platform ครั้งละ 22.5°
3. ทำการต่อ Holder เข้าไปในสายอากาศ Dipole แล้วทำตามข้อ 2 (ตอนนี้ จะเป็นการวัดสายอากาศ DIPOLE WITH HOLDER ; DIP-H)
4. ต่อ Reflector เข้าใน Holder ในสายอากาศ Dipole แล้วทำตามข้อ 2 (ตอนนี้ จะเป็นการวัดสายอากาศ DIPOLE WITH REFLECTOR ; DIP-R)

การทดลองที่ 2 การใช้ Parabola Dish

ในการทดลองนี้ เราจะทำการศึกษาผลกระทบจาก Parabola Dish Reflector และทำการวัดคลื่นที่รับได้ในกรณีที่มีการใช้สายอากาศ Dipole ควบคู่กับ Parabola Dish Reflector

1. เตรียมการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยเริ่มต้นที่สายอากาศ Dipole

2. วาง Parabola Dish ไว้ที่ด้านหลังของ Rotating Antenna Platform โดยให้อยู่แนวเดียวกับสายอากาศ เพื่อศึกษาการทำงานของ Parabola Dish Reflector
3. ทำการวัดค่า Voltage ของคลื่นที่รับได้ ตั้งแต่ -180° - 180°



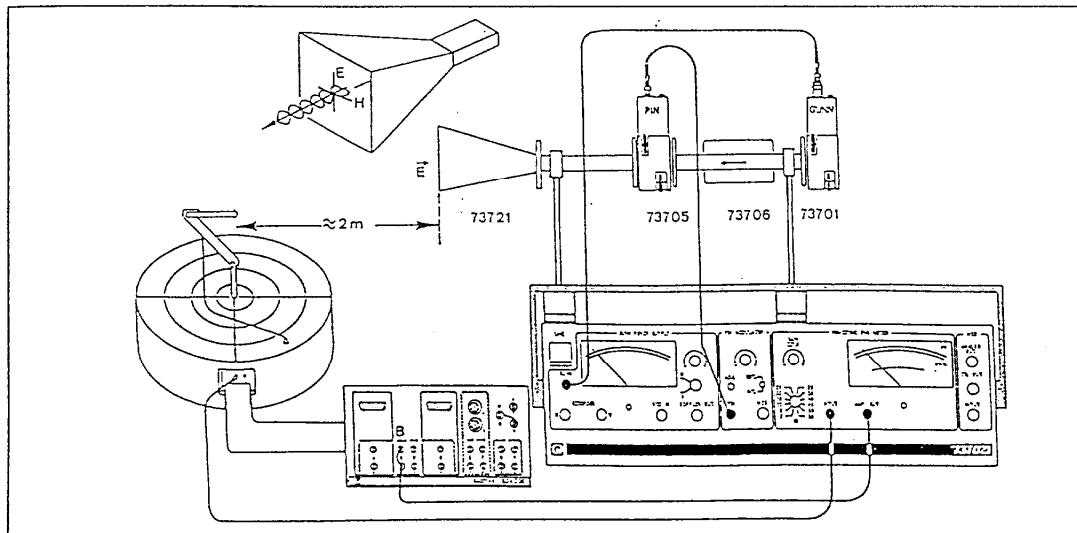
รูปที่ 4 การติดตั้ง Parabola Dish บน Rotating Antenna Platform

การทดลองที่ 3 การวัดคลื่นใน H-Plane

ในการทดลองนี้ เราจะทำการวัดคลื่นที่รับได้ใน H-Plane โดยสายอากาศ Dipole และศึกษาผลของ Parabola Dish Reflector

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ตามรูปที่ 5 เริ่มต้น จะเป็นการวัดสายอากาศ Dipole



รูปที่ 5 การวัดคลื่นใน H-Plane

2. ทำการวัดค่า Voltage ของคลื่นที่รับได้ ตั้งแต่ -180° - 180°
3. ทำการต่อ Parabola Dish Reflector เข้ากับสายอากาศ Dipole ตามรูปที่ 4 แล้วทำการทดลองตามข้อ 2

การสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่วัดได้ ให้นักศึกษาหาค่าต่าง ๆ ดังนี้

1. Directional Diagram ของสายอากาศทุกแบบ จากกราฟที่โปรแกรมพล็อตให้
2. FRONT-to-BACK Ratio, 3-dB Width โดยสรุปทำเป็นตารางเปรียบเทียบให้เป็นระเบียบเรียบร้อย

6 คำถามท้ายการทดลอง

1. จงเปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองนี้
2. จงอธิบายความหมายทางเทคนิคของ FRONT-to-BACK Ratio และ 3-dB Width (กล่าวคือ ค่าของพารามิเตอร์เหล่านี้ บ่งบอกคุณสมบัติอะไรเกี่ยวกับสายอากาศบ้าง)
3. จงอธิบายปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อความผิดพลาดในการวัดคุณสมบัติของสายอากาศ และแนวทางการแก้ไข