สายอากาศเครื่องส่งเอฟเอ็มที่มีเกนสูง

HIGH GAIN BROADCAST FM ANTENNA

๑

โดย

นายสมศักดิ์ ศิริมาตรพรชัย

นายเอก สุขอมรศักดิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

หัวข้อปริญญานิพนธ์	สายอากาศเครื่องส่งเอฟเอ็มที่มีเกนสูง HIGH GAIN BROADCAST FM ANTENNA
ชื่อนักศึกษา	นายสมศักดิ์ ศิริมาตรพรชัย นายเอก สุขอมรศักดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์กฤดากร กล่อมการ อาจารย์จักรี ทีฆภาคย์วิศิษฏ์
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2538

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

( )

.... กรรมการ

( )

.... กรรมการ

( )

.... กรรมการ

( )

.... กรรมการ

( )

กิติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้เร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีก็ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์กฤดากร กล่อมการ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอด ระยะเวลาการทำงานรวมถึงเพื่อนๆที่มีส่วนออกความเห็นและช่วยให้กำลังใจตลอดมาและท้ายสุดที่จะลืมไม่ได้คือ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งเป็นสถานศึกษาที่เราได้ค้นคว้าหาความรู้ใส่ตัว

ท้ายนี้คุณความดีทั้งหมดที่เกิดกับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้แก่ บิดา มารดา ครูบาอาจารย์และเพื่อนๆที่มีจิตสำนึกที่ดีในการทำงาน ตลอดจนโลกใบนี้ที่ให้เราได้เกิดมาทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

กลุ่มผู้จัดทำ

สายอากาศเครื่องส่งเอฟเอ็มที่มีเกนสูง

โดย	นายสมศักดิ์ ศิริมาตรพรชัย	รหัส	37012074
	นายเอก สุขอมรศักดิ์	รหัส	37012082

อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์กฤดากร กล่อมการ
	อาจารย์จักรี ทีฆภาคย์วิศิษฏ์

ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดเรียบเรียงขึ้นจากการออกแบบและสร้างสายอากาศเครื่องส่งเอฟเอ็มที่มีเกนสูง โดยสายอากาศจะมีส่วนประกอบ ได้แก่ ส่วนของไดโพล (Dipole) ซึ่งจะมีทั้งหมด 4 ตัวคือ 2 ตัวในแนวตั้ง (Vertical) และอีก 2 ตัวในแนวนอน (Holizontal) ซึ่งจะเป็นโพลาไรซ์เซชั่น (Polarization) แบบลิเนียร์ (Linear) ส่วนที่สองจะเป็นแผงรีเฟลคเตอร์ (Reflector) และส่วนที่สามเป็นสายส่งที่ทำหน้าที่แมตชิ่งโดยสายอากาศที่ออกแบบสำหรับความถี่ 107.5 MHZ สำหรับการใช้เครื่องส่งขนาด 30 wattโดยปริญญานิพนธ์นี้ได้แสดงผลการทดลองการวัดแพทเทิร์น (Pattern) ของสายอากาศแบบมีเกนสูง รวมทั้งการหาเกนของสายอากาศโดยการวัดความเข้มของสัญญาณเปรียบเทียบกับสายอากาศไดโพลแบบฮาร์ฟเวฟ (Half Wave) ประกอบไว้ด้วย

HIGH GAIN BROADCAST FM ANTENNA

BY Mr. Somsak Sirimatrpornchai No. 37012074
Mr. Eak Sukamornsak No. 37012082

ADVISER Mr. Kitdakorn Klomkarn
Mr. Chakree Teekapakvisit

YEAR 1995

ABSTRACT

This thesis present design and construction very high gain broadcast FM antenna. The antenna devide in three part. The first are two vertical dipole element and two horizontal dipole element which they are linear polarization , The second part is antenna reflector and the third part is matching circuit that used transmission line. The antenna designed at frequency 107.5 Mhz. In the experiment use power input about 30 watt. This thesis is the shows test pattern of high gain antenna and define the antenna gain by field strenght test compare to the half wave dipoles.

สารบัญ

บทที่	เนื้อหา	หน้า
	4.2 สายโคแอกเชี่ยล	30
	4.3 การส่งคลื่นในสายโคแอกเชี่ยล	31
	4.4 คาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์ของสายโคแอกเชี่ยล	32
	4.5 การพิจารณาการเลือกใช้สายโคแอกเชี่ยล	33
บทที่ 5	โครงสร้างของระบบโครงงานสายอากาศ	36
	5.1 โครงสร้างของสายอากาศ	36
	5.1.1 ไดโพล	36
	5.1.2 รีเฟลคเตอร์	38
	5.1.3 เพาเวอร์แอมป์	39
	5.2 แผนการดำเนินงาน	42
	5.3 บล็อคของงานที่ทำทั้งหมด	43
	5.4 การประดิษฐ์สายอากาศ	44
	5.4.1 เทคนิคการทำไดโพล	44
	5.4.2 เทคนิคการทำรีเฟลคเตอร์	49
	5.4.3 เทคนิคการนำไดโพลวางบนแผงรีเฟลคเตอร์	51
	5.4.4 การแมตชิ่งสายอากาศ	52
บทที่ 6	การทดลองวัดหาค่า VSWR และรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่มีเกนสูง	54
	6.1 บล็อคไดอะแกรมที่ใช้ในการทดลอง	54
	6.2 ขั้นตอนการทดลอง	54
	6.3 ตารางบันทึกผลการทดลอง	55
	6.4 สรุปผลการทดลอง	59
บทที่ 7	การทดลองวัดความเข้มสัญญาณภาคสนามของสายอากาศที่มีเกนสูงเทียบกับสายอากาศแบบซุปเปอร์เกน	60
	7.1 บล็อคไดอะแกรมที่ใช้ในการทดลอง	60
	7.2 ขั้นตอนการทดลอง	60
	7.3 ตารางบันทึกผลการทดลอง	61
	7.4 สรุปผลการทดลอง	63
บทที่ 8	การทดลองวัดหาเกนสายอากาศแบบมีเกนสูงเทียบกับสายอากาศไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟ	64

บทที่ 1
บทนำ

เนื่องมาจากความต้องการของมนุษย์ที่ต้องการติดต่อสื่อสารระหว่างกันทั้งในแง่ความบันเทิง ความสัมพันธภาพ หรือการค้าขายซึ่งกันและกันสิ่งเหล่านี้นับเป็นเหตุผลผลักดันให้เกิดความรู้หรือเทคโนโลยีทางด้านการสื่อสารขึ้นจนพัฒนาเป็นสื่อที่เราพบได้ทุกวันนี้อย่างเช่น โทรศัพท์ วิทยุ ฯลฯ ระบบการสื่อสารเหล่านี้จะเห็นว่ามีส่วนที่เป็นสายอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ระบบดีขึ้นและระบบจะดีมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสายอากาศ

ฉะนั้นจึงได้มีการสร้างสายอากาศชนิดหนึ่งขึ้นมาเรียกว่า ไดโพลและมีแผงรีเฟลคเตอร์เป็นตัวกำหนดให้สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ากระจายออกไปในทิศทางเดียวโดยมีโพลาไรเซชั่นแบบลิเนียร์และส่วนที่เป็นสายส่งทำหน้าที่แมตชิ่งโดยสายอากาศที่ออกแบบไว้สำหรับความถี่ 107.5 MHZ สำหรับใช้เครื่องส่งขนาด 30 วัตต์

จากที่กล่าวมานี้จึงได้รวบรวมข้อมูลรายละเอียดทั้งทฤษฎี , วงจรและเทคนิคการสร้างสายอากาศเครื่องส่ง FM ที่มีเกนสูงโดยจะแบ่งเป็นส่วนๆดังนี้

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคลื่น

บทที่ 3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ

บทที่ 4 สายโคแอกเชียล

บทที่ 5 โครงสร้างของระบบโครงงานสายอากาศ

5.1) โครงสร้างของสายอากาศ

5.2) แผนการดำเนินงาน

5.3) บล็อคของงานที่ทำทั้งหมด

5.4) การประดิษฐ์สายอากาศ

5.5) การแมตชิ่ง

บทที่ 6 การทดลองวัดค่า VSWR และ รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) ของสายอากาศที่มีเกนสูง

บทที่ 7 การทดลองวัดความเข้มสัญญาณภาคสนาม(Field Test)

บทที่ 8 การทดลองวัดหาเกนของสายอากาสที่มีเกนสูงเทียบกับสายอากาศไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟ

บทที่ 9 การทดสอบหาโพลาไรซ์เซชั่นของสายอากาศที่มีเกนสูง

บทที่ 10 ปัญหาในการทดลองและการพัฒนาสายอากาศต่อไป

บทที่ 2
ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับคลื่น

2.1) ลักษณะของคลื่นวิทยุ

ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าเกิดขึ้น ทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นมาได้ ตัวอย่างง่าย ๆ ที่เห็นชัด คือ การลองต่อลวดทองแดงเข้ากับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (A.C.) พบว่า ปรากฏการสั่นสะเทือนของอิเล็กตรอนภายในลวดตัวนำสามารถสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่เท่ากับของแหล่งจ่าย

โดยที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) นี้ ส่งผ่านลวดตัวนำด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง

แมกซ์เวลล์ได้แสดงสูตรหาความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดังนี้

$$C = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$$

โดยที่ค่า μ คือ เพอร์มิลอะบิลิตี้ (permeability) ของตัวกลาง

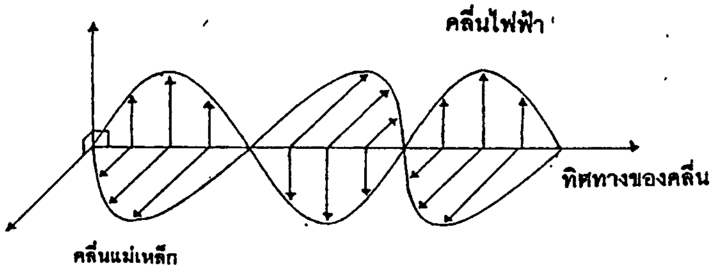
ε คือ เพอร์มิทติวิตี้ (permitivity) ของตัวกลาง

เมื่อคิดค่า C ในสภาพสุญญากาศ พบว่ามีค่าเท่ากับ $3\text{x}10^{8}$ เมตร /วินาที ส่วนถ้าพิจารณาในตัวกลางอื่น ๆ จะมีค่าแตกต่างตามคุณสมบัติของตัวกลางนั้น

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างจากคลื่นน้ำในหลายประเด็น โดยประกอบด้วยคลื่นพื้นฐาน 2 ตัว คือ

- คลื่นไฟฟ้า (electrical wave) หรือ เรียกว่า สนาม E
- คลื่นแม่เหล็ก (magnetic wave) หรือ เรียกว่า สนาม B

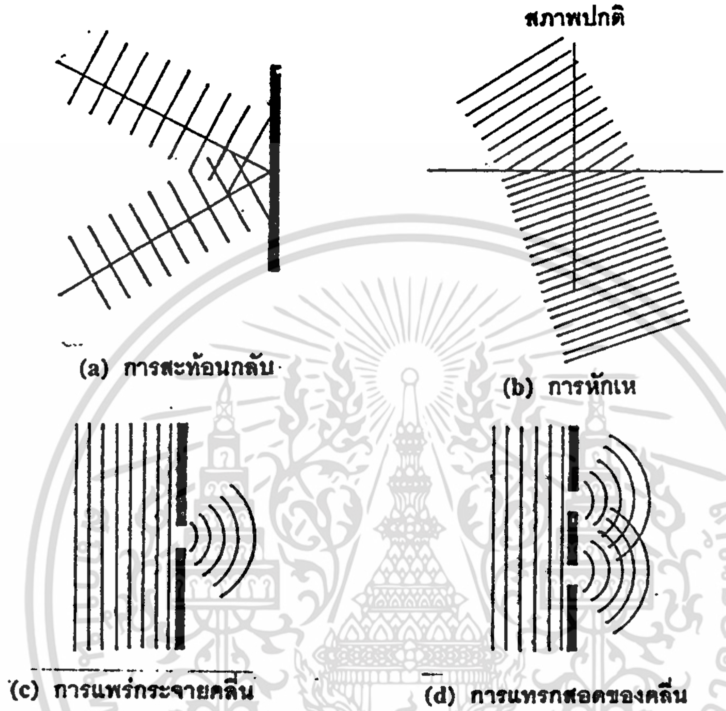
ทั้งสองมีการเคลื่อนที่พร้อมกัน (มีค่าเฟสเดียวกัน) แต่มีทิศทางตั้งฉากซึ่งกันในลักษณะวนขวา เราแสดงรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารูป 1.1



รูปที่ 2.1 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.2) คุณสมบัติของคลื่น

รายละเอียดของแต่ละประการ พิจารณาจากรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติพื้นฐานของคลื่น (4 ลักษณะ)

คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่นต่าง ๆ สามารถพิจารณาได้ 4 ประการ ซึ่งมี

- การสะท้อนกลับ (reflection)
- การหักเห (refraction)
- การแพร่กระจายคลื่น (diffraction)
- การแทรกสอดของคลื่น (interference)

อธิบายได้ดังนี้

(a) การสะท้อนกลับ - มุมที่คลื่นกระทำกับผิวตกกระทบมีค่าเท่ากับมุมที่สะท้อนกลับไป จากรูปเส้นทึบแทนทิศทางการเดินทางของคลื่น และเส้นบางแทนแนวหน้าคลื่น

(b) การหักเห - เมื่อคลื่นเดินทางจากตัวกลางชนิดหนึ่งไปยังตัวกลางอีกชนิดพบว่าความเร็วและทิศทางของคลื่นมีค่าเปลี่ยนแปลง

(c) การแพร่กระจายคลื่น - เมื่อคลื่นเดินทางผ่านช่องที่มีระยะห่างเท่ากับความยาวคลื่น พบว่าคลื่นมีการแพร่กระจายไปในแนวหน้าคลื่นเป็นเส้นโค้ง

(d) การแทรกสอดของคลื่น - ถ้าคลื่นสองตัวที่ความถี่และขนาดเท่ากัน เดินทางมาชนกัน พบว่ามีการแทรกสอดของคลื่นเกิดขึ้น โดยมีเงื่อนไขว่า

- ถ้าคลื่นทั้งสองมีค่าเฟสเดียวกัน การแทรกสอดของคลื่นเป็นไปในลักษณะเสริมกัน

- ถ้าคลื่นทั้งสองมีค่าเฟสต่างกัน 180 องศา การแทรกสอดของคลื่นเป็นไปในลักษณะหักล้างกัน

2.3) ตัวแปรที่เกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การศึกษาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในส่วนเกี่ยวข้องกับสายอากาศหรือชั้นบรรยากาศก่อนอื่นควรศึกษาถึงนิยามต่าง ๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้เข้าใจดีเสียก่อน เพื่อเป็นพื้นฐานในการเรียนรู้สิ่งที่ยากขึ้นน

1. เฟสและความยาวคลื่น (Phase and Wavelength)

เมื่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถูกส่งออกไปจากสายอากาศ ค่าความเข้มของสนามจะมีค่าน้อยลงไป เมื่อระยะทางไกลมากขึ้น รวมทั้งแอมปลิจูดมีค่าลดลงเช่นกัน แต่ความเหมือนกันในแต่ละช่วงเวลาของคลื่นที่ถูกสร้างขึ้นจะไม่สูญเสียไป เราเรียกกรณีเช่นนี้ว่า มีเฟสเดียวกัน หรือ อินเฟส (in phase)

เพื่อรายละเอียดที่สมบูรณ์ขึ้น จึงขออธิบายนิยามเพิ่มอีก 2 ความหมาย คือ หน้าคลื่น (wave front) และความยาวคลื่น (wavelength)

- หน้าคลื่น หมายถึง พื้นผิวในทางจินตนาการ ซึ่งทุกส่วนของพื้นผิวนี้ พบว่าคลื่นต้องมีเฟสเดียวกัน

- ความยาวคลื่น หมายถึง ระยะทางระหว่างหน้าคลื่น 2 จุด ที่มีเฟสเดียวกันโดยระยะทางนี้วัดเทียบตั้งฉากกับหน้าคลื่น

เราแทนสัญญลักษณ์ของความยาวคลื่นด้วยอักษรกรีกคือ แลมด้า (λ)

สามารถแสดงสมการเกียวกับความยาวคลื่นได้ว่า

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

โดยที่ λ = ความยาวคลื่น (เมตร)

V = ความเร็วของคลื่น (เมตร/วินาที)

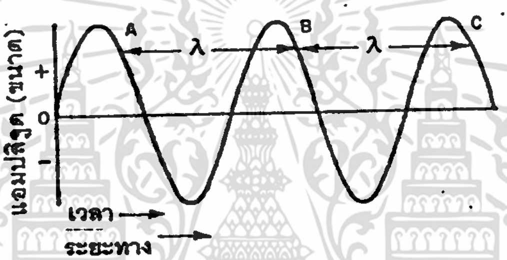
f = ความถี่ของกระแสที่ทำให้เกิดคลื่น (Hz)

สำหรับคลื่นที่เดินทางในสภาวะสูญญากาศ ค่าความยาวคลื่นหาได้จาก

$$\lambda \quad (\text{เมตร}) = \frac{300}{f(MHz)}$$

มีความจำเป็นอย่างมากสำหรับผู้อ่านเองที่เข้าใจต่อนิยามเหล่านี้เพื่อศึกษาในรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับการออกแบบ, ติดตั้ง, การปรับอากาศ, การแม็ชท์ซึ่งระบบ หรือสายส่งสัญญาณได้

ขอให้พิจารณารูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงรูปคลื่นทั้ง 2 สนาม

จากรูป จุด A, B และ C มีลักษณะเฟสเดียวกันและระยะทางระหว่างจุด A และ B หรือจุด B และ C มีค่าหนึ่งความยาวคลื่น

2. ความเข้มสนาม (Field Intensity)

พลังงานจากการแพร่กระจายของคลื่น มีปริมาณลดลงตามระยะทางที่ไกลจากแหล่งกำเนิดมากขึ้น เนื่องมาจากการแพร่พลังงานของคลื่นไปตามชั้นบรรยากาศที่กว้างขึ้น

การวัดค่าความเข้มของสนามพลังงานที่จุดห่างจากสายอากาศส่ง เป็นการวัดความเข้มสนาม

ซึ่งวัดออกมาในหน่วยแรงดันไฟฟ้า (โวลต์) ที่คิดจากจุดระหว่างจุด 2 จุดของเส้นแรงไฟฟ้าในระนาบเดียวกับหน้าคลื่น

มาตรฐานของวิธีวัดความเข้มสนาม พิจารณาลวดตัวนำขนาด 1 เมตร และแทนด้วยหน่วยโวลต์ / เมตร

ทั่วไปแล้วค่าโวลต์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าค่อนข้างต่ำอยู่ ดังนั้นเราแทนหน่วยวัดเป็นมิลลิโวลต์ หรือไมโครโวลต์ต่อเมตรได้

สำหรับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสสลับ สามารถวัดตามค่าโวลต์ของกระแสสลับได้ทั้งจากค่าเฉลี่ย หรือค่าสูงสุดอย่างใดอย่างหนึ่ง

3. การลดทอนคลื่น (Wave Attenuiation)

ในสภาวะสูญญากาศ ค่าความเข้มสนามของคลื่นมีลักษณะเป็นสัดส่วนกลับกันกับระยะทางจากแหล่งกำเนิด

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามกับความหนาแน่นของกำลังคลื่น (power density)จัดว่ามีลักษณะเดียวกับวงจรระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าทั่วไป

ได้มีการกำหนดค่าอิมพีแอนซ์ของสูญญากาศเท่ากับ 377 โอห์ม

ดังนั้นหาค่าความหนาแน่นของกำลังคลื่นได้จากสูตร

(คิดค่าความเข้ม = 1 V/m)

$$P = \frac{E^2}{Z}$$

$$= \frac{(1V/M)^2}{377}$$

$$= 2.65 \text{ m W/m}^2$$

เห็นได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า มีลักษณะเดียวกัน (จากสูตร $P = V^2/R$)

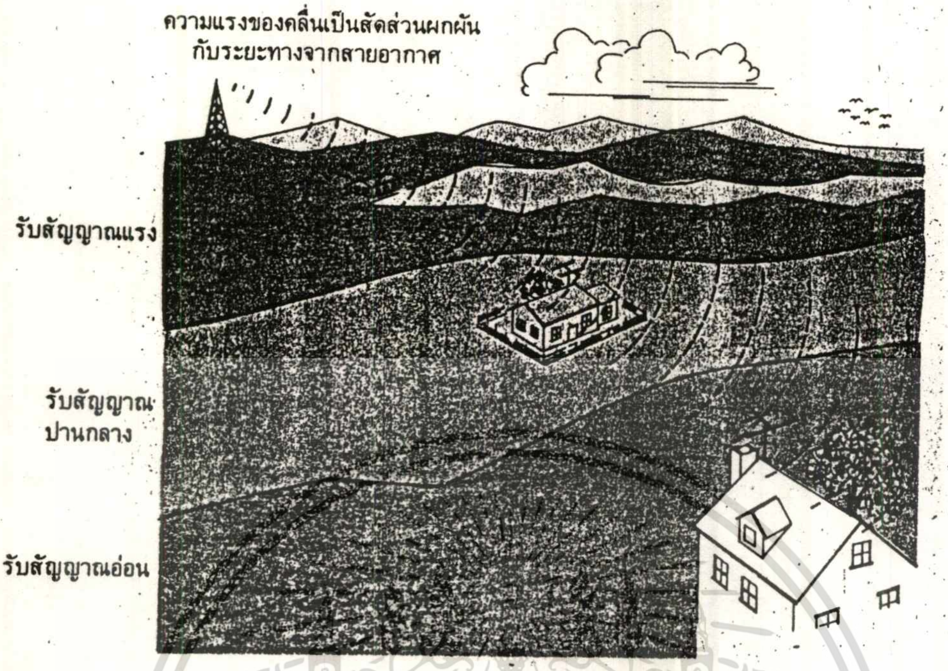
แต่ในการใช้งานจริง ๆ การลดทอนที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่ากฎข้างต้นมาก ทั้งนี้ด้วยเหตุผลหลายข้อดังนี้

- คลื่นไม่ได้เดินทางในสภาวะสูญญากาศ แต่อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลก
- สายอากาศรับใช้ได้ดีในระยะเส้นสายตา (Line of sight) เท่านั้น
- พื้นโลกมีลักษณะกลม ทำให้คลื่นไม่ทะลุผ่านไป แต่จะโค้งงอไปตามผิวโลก

สิ่งเหล่านี้มีผลให้เกิดค่าการลดทอนมากกว่าในทฤษฎีอย่างมาก

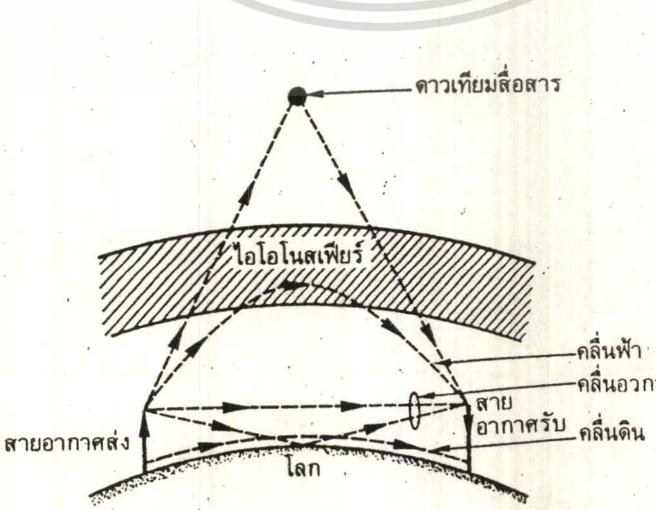
2.4) การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ (Propagation of Radio Waves)

คลื่นวิทยุที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศนั้น จะมีการแพร่ออกไปในทุกทิศทาง คลื่นวิทยุเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถเดินทางไปได้ด้วยความเร็วเท่าแสง อย่างไรก็ดี คลื่นวิทยุที่มีความถี่ไม่เท่ากันก็มีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นไม่เท่ากันในพื้นที่ที่ไกลออกไปจากสถานีส่งคลื่นวิทยุก็จะมีความแรงลดลง สัญญาณจึงอ่อนลงดังในรูปที่ 2.4 ฉะนั้นเครื่องรับที่อยู่ใกล้เคื่องส่งมากกว่าย่อมรับสัญญาณได้แรงและคุณภาพของสัญญาณดีกว่าเครื่องรับที่อยู่ห่างออกไปจากเครื่องส่ง



รูปที่ 2.4 เครื่องรับที่อยู่ใกล้สถานีส่งเครื่องรับสัญญาณจะรับ
สัญญาณได้ดีกว่าเครื่องที่อยู่ไกลออกไปจากสถานีส่ง

เรานิยมแบ่งชนิดของคลื่นตามลักษณะการเดินทาง เช่น คลื่นดิน คลื่นอวกาศ คลื่นฟ้า การเดินทางของคลื่นเหล่านี้แตกต่างกันโดยสิ้นเชิง การใช้ประโยชน์คลื่นวิทยุเหล่านี้ จึงต้องเลือกความถี่และการเดินทางของคลื่นให้เหมาะสม เพื่อให้คลื่นวิทยุสามารถเดินทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับโดยมีการลดทอนน้อยที่สุด รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการเดินทางวิทยุจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ



รูปที่ 2.5 ลักษณะการเดินทางของคลื่นวิทยุ

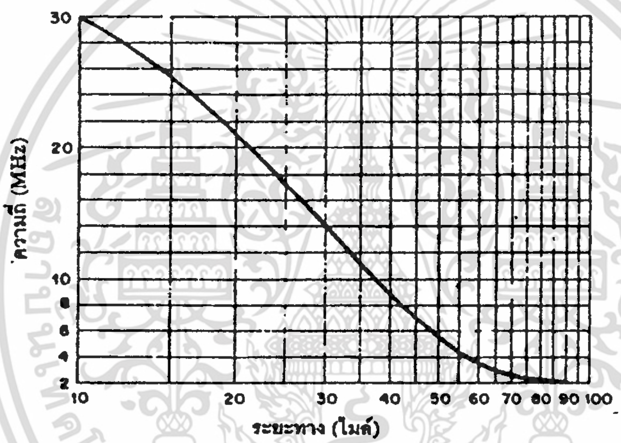
2.5) คลื่นดิน (ground wave)

เป็นคลื่นที่เดินทางตามผิวโค้งของโลกได้ สามารถส่งไปได้ไกลเมื่อใช้ความถี่ต่ำ ๆ เช่น ในย่าน LF หรือ MF ทั่วไปจะครอบคลุมถึงระยะ 100 ไมล์ ตามมาตรฐานการแพร่กระจายคลื่นในช่วงเวลาตลอดวัน จากนั้นการลดทอนจะมีสูงมาก พิจารณากราฟในรูปที่ 2.6

เห็นได้ว่า "การลดทอนพลังงานคลื่น เพิ่มขึ้นตามค่าความถี่"

ส่วนเหตุผลที่คลื่นสามารถเดินทางตามผิวของโลก เป็นผลมาจากตัวแปร 2 ค่าด้วยกันคือ

- สภาพการนำของพื้นดิน (conductivity)
- ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของพื้นดิน (dielectric constant)

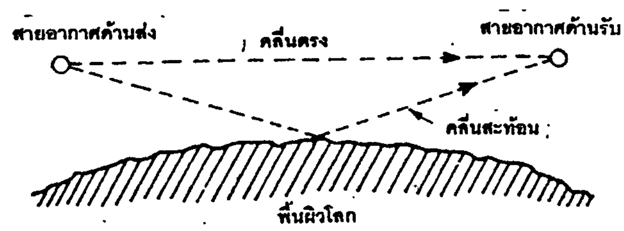


รูปที่ 2.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระยะทางของคลื่นดินในย่านความถี่ HF

2.6) คลื่นอวกาศ (Space Wave)

จากรูปเราแยกคลื่นชนิดนี้ได้ 2 ส่วน คือ

- คลื่นตรง (direct wave) ที่เดินทางเป็นเส้นตรงระหว่างสายอากาศส่งและรับ
- คลื่นสะท้อน (reflected wave) ที่เกิดการสะท้อนกลับกับพื้นผิวโลกก่อนไปยังสายอากาศรับ



รูปที่ 2.7 แสดงการแพร่กระจายคลื่นอวกาศ

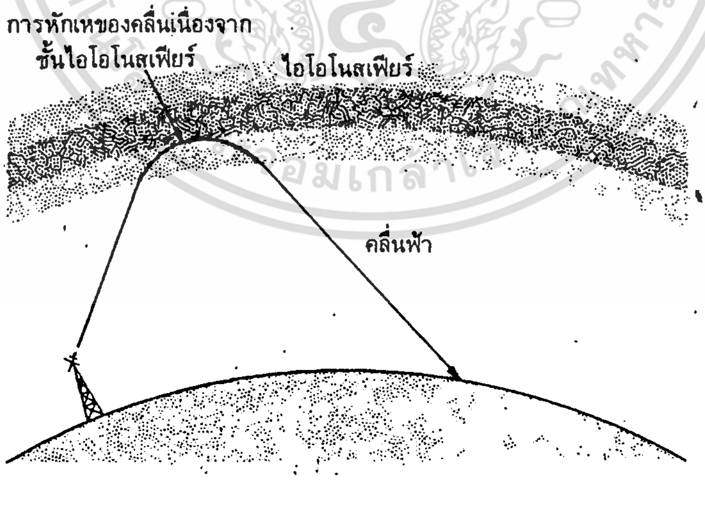
จากรูปเป็นการใช้งานในย่าน VHF และ UHF บางส่วน ซึ่งระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นทำได้จำกัด เพราะสายอากาศทั้งสองด้านต้องอยู่ในระยะเส้นสายตา มิฉะนั้นถ้าเกินจากระยะนี้ส่วนโค้งของโลกจะบังคลื่นที่เดินทางมาออกไปมีทางแก้ไขโดยเพิ่มความสูงของเสาอากาศขึ้นไปอีก

การรับ/ส่ง ในส่วนของคลื่นตรงต้องไม่มีสิ่งกีดขวางบังอยู่ เช่น ตึก, ภูเขา, ป่า ฯลฯ

งานที่ใช้คลื่นอวกาศ ได้แก่ คลื่นโทรทัศน์, คลื่นเรดาร์ บางกรณีเพื่อเพิ่มระยะทางสื่อสารให้ไกลมากขึ้น อาจใช้วิธีสื่อสารดาวเทียมเป็นสถานีถ่ายทอดอีกที

2.7) คลื่นฟ้า (sky wave)

เหนือผิวโลกขึ้นไปประมาณ 50 ถึง 400 กิโลเมตร การแพร่รังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์จะทำให้อนุภาคของก๊าซในชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกแตกตัวเป็นไอออน (ionnize) เกิดประจุบวกและประจุลบ รวมทั้งอิเล็กตรอนอิสระ (free electron) มากมาย ชั้นบรรยากาศที่โดยรังสีและเกิดไอออนนี้ เรียกว่า ชั้นไอโอโนสเฟียร์ (ionosphere) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางเข้าสู่ชั้นบรรยากาศนี้ จะถูกหักเหเนื่องจากสนามไฟฟ้าในลักษณะเดียวกับแสงถูกหักเหหรือสะท้อนผ่านกระจกเงา



รูปที่ 2.8 การเดินทางของคลื่นฟ้า

การหักเหของคลื่นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ความถี่ของคลื่นที่เดินทางเข้ามาในชั้นบรรยากาศ ปริมาณความหนาแน่นของไอออนในชั้นไอโอโนสเฟียร์ มุมที่คลื่นเดิน

ทางเข้าสู่ชั้นไอโอโนสเฟียร์ถ้าหากคลื่นมีความถี่พอเหมาะกับบรรยากาศและมุมยิงเข้าสู่ชั้นบรรยากาศถูกต้องพอดี คลื่นก็จะสามารถหักเหกลับมายังพื้นโลกได้อีก ดังรูปที่ 2.8 คลื่นอวกาศที่เดินทางขึ้นไปบนฟ้าแล้วหักเหลงมายังผิวโลกนี้ เรียกว่าคลื่นฟ้า การติดต่อสื่อสารในย่านความถี่ HF นี้จะใช้คลื่นฟ้าเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ดีในเวลากลางคืน คลื่นในย่านความถี่ MF ก็สามารถสื่อสารโดยคลื่นฟ้าได้เช่นกัน

2.8) การจางหายของคลื่นวิทยุ

การลดทอนขนาดหรือแอมปลิจูดของสัญญาณคลื่นวิทยุที่สายอากาศรับได้ มีรูปแบบอยู่ 2 ชนิด คือ

- การจางหายแบบคงที่ หมายถึง สัญญาณคลื่นทั้งหมดจางหายไปในขนาดที่คงที่ในทุกความถี่
- การจางหายแบบเฉพาะ หมายถึง ในเวลาเดียวกันความถี่ค่าหนึ่งสัญญาณถูกลดทอน แต่ในอีกค่าสัญญาณถูกเพิ่ม (ทางแอมปลิจูด)

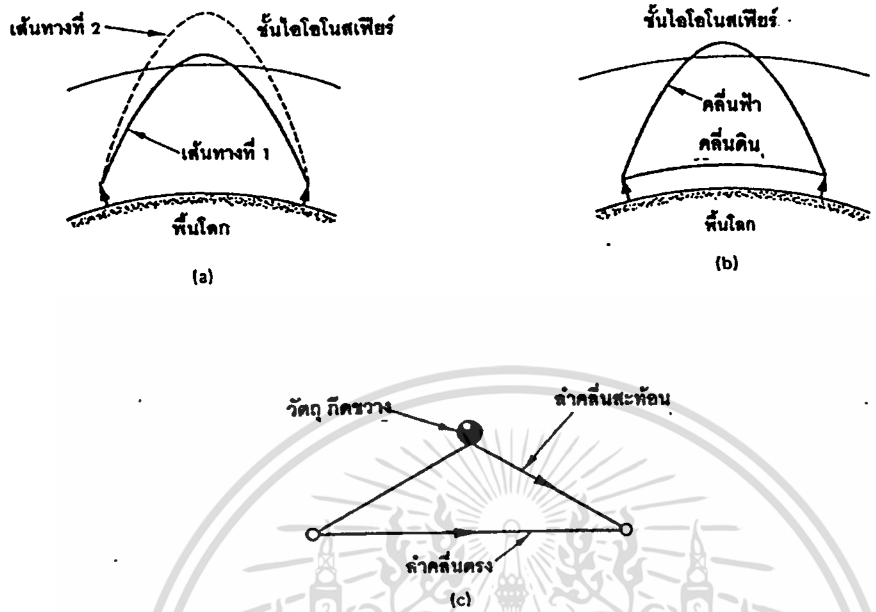
1. การจางหายแบบคงที่

เมื่อคลื่นถูกส่งผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ จะถูกลดทอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของฟลั๊กซ์แม่เหล็ก ภายในชั้นนี้มีผลให้ระดับแอมปลิจูดของสัญญาณลดลงในปริมาณที่ค่อนข้างแน่นอน

เราสามารถแก้ปัญหาการจางหายของสัญญาณลักษณะนี้ โดยใช้วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ (Automatic Gain Control : AGC) ในเครื่องรับเพื่อชดเชยระดับแอมปลิจูดที่สูญเสียไป

2. การจางหายแบบเฉพาะ

พิจารณาจากรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การแสดงเส้นทางแบบมัลติพาธของคลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุที่เดินทางถึงด้านรับ (ในแบบคลื่นฟ้า) พบว่ามีเส้นทางมากกว่าสองทางขึ้นไป(ผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์) เรียกลักษณะนี้ว่าการเดินทางแบบ มัลติพาธ (multi-path)

ผลรวมของความเข้มสนามที่สายอากาศรับเป็นการรวมทางเฟสของคลื่นแต่ละเส้นทางและเนื่องจากชั้นไอโอโนสเฟียร์มีการเปลี่ยนแปลงในปริมาณไอออนไนซ์อยู่ตลอดเวลา สิ่งนี้เองที่เป็นส่วนทำให้เกิดความแตกต่างด้านระยะทางของเส้นทางที่ 1 และที่ 2 ทำให้เกิดผลเปลี่ยนค่าความเข้มสนามทั้งหมดที่เครื่องรับได้

ยกตัวอย่างเช่น กรณีที่เส้นทางที่ 2 มีขนาดระยะทางมากกว่าเส้นทางที่ 1 อยู่หนึ่งความยาวคลื่น ทำให้ค่าความเข้มสนามของคลื่นแต่ละเส้นทางมีลักษณะเสริมกัน (in phase) และผลรวมทั้งหมดที่สายอากาศรับคิดจากผลบวกของค่าความเข้มสนาม

แต่กรณีที่ชั้นไอโอโนสเฟียร์เกิดการแปรปรวนในการไอออนไนซ์ขึ้น ทำให้ส่วนแตกต่างของระยะทางในเส้นทางที่ 2 กับเส้นทางที่ 1 มีค่าครึ่งความยาวคลื่นแล้วทำให้ความเข้มสนามของคลื่นหักล้างกัน (in antiphase) และผลรวมที่ด้านรับคิดจากผลลบของค่าความเข้มสนาม

ส่วนรูปที่ 2.9 (c) แสดงการเดินทางแบบมัลติพาธของคลื่นย่าน VHF พลังงานที่มาถึงสายอากาศรับมีจากทิศทางตรงและการสะท้อนจากวัตถุขนาดใหญ่ เช่น ยอดเขา หรือบอลลูน, เครื่องบินก็เป็นไปได้ ซึ่งถ้าวัตถุนี้ไม่อยู่กับที่ ทำให้ความแตกต่างทางเฟสเกิดขึ้นได้ (อย่างเร็วมาก) มีผลเกิดการจางหายอย่างรวดเร็วขึ้น

บทที่ 3
ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ

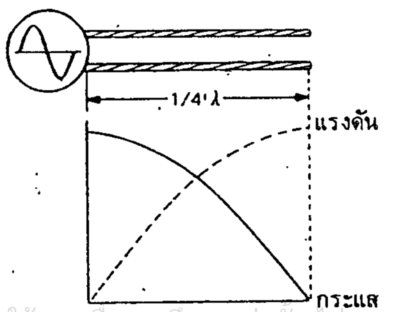
ในระบบสื่อสารวิทยุ หรือระบบกระจายเสียง และสัญญาณโทรทัศน์ มีหลักคล้ายกันอยู่คือ การมอดดูเลทคลื่นพาหะเข้ากับสัญญาณเดิม เพื่อให้เกิดรูปแบบสัญญาณที่เหมาะสมในการส่งไปในชั้นบรรยากาศได้ (ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) โดยใช้สายอากาศส่ง และในการรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเราใช้สายอากาศรับความแตกต่างที่เห็นได้ชัดระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับในการใช้งานจริง ๆ คือ ค่ากำลังคลื่นที่เกี่ยวข้องสายอากาศนั้นต่างกันมาก

นอกจากนี้สายอากาศส่งต้องมีคุณสมบัติสำคัญคือแม็ชท์กับสายนำสัญญาณเพื่อให้กำลังงานมากที่สุดผ่านเข้าสายอากาศ ส่วนในสายอากาศรับต้องมีค่าอัตราขยายให้มากที่สุด (รวมทั้งค่าไดเร็คติวิตี้) และมีไซด์โลบน้อยที่สุดด้วย

3.1) หลักการของสายอากาศ

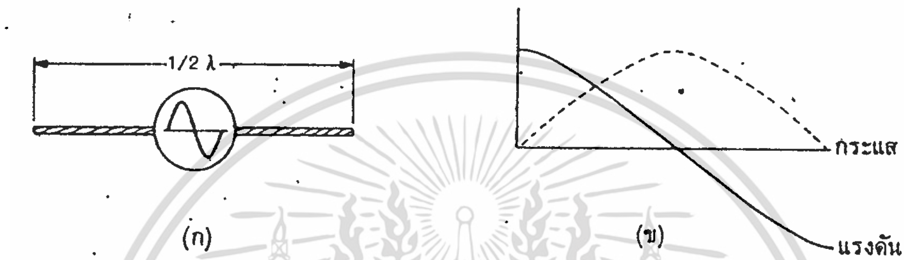
สายอากาศเป็นส่วนสำคัญของเครื่องรับและเครื่องส่ง ทำหน้าที่แผ่คลื่นส่งให้ออกอากาศและรับคลื่นวิทยุเข้าสู่เครื่องรับ สายอากาศก็เหมือนกับวงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ สายอากาศส่วนใหญ่จึงทำด้วยลวดตัวนำเป็นท่อตันหรือกลวง เป็นเส้นตรงหรือโค้งงอ แล้วแต่ชนิดของสายอากาศ สายอากาศโดยทั่วไปจะมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น เราสามารถใช้สายอากาศทำหน้าที่ได้ทั้งสองสายอากาศส่งหรือสายอากาศรับเนื่องจากในทางทฤษฎีจะมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน

รูปที่ 3.1 แสดงสายนำสัญญาณชนิดสมดุลความยาว $\lambda/4$ แบบวงจรเปิด จะเห็นว่าคลื่นที่ออกจากเครื่องส่งผสมกับคลื่นสะท้อนได้ผลลัพธ์เป็นคลื่นนิ่งความจริงแล้วพลังงานบางส่วนที่ออกไปยังปลายด้านที่เปิดวงจรจะแพร่กระจายคลื่นออกอากาศไปได้อย่างไรก็ตามปริมาณคลื่นที่แพร่ออกไปจะได้น้อย ด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ ประการแรก สภาพแวดล้อมซึ่งเป็นโหลดของสายนำสัญญาณไม่แมตซ์ ทำให้พลังงานจ่ายให้โหลด (ส่งออกอากาศ) ได้น้อย ประการที่สอง สายทั้ง 2 เส้นอยู่ใกล้กันมาก และต่างเฟสกัน 180 องศา คลื่นที่แผ่ออกไปส่วนใหญ่จะหักล้างกันเอง



รูปที่ 3.1 การกระจายแรงดันและกระแสบนสายนำสัญญาณยาว $\lambda/4$ ซึ่งมีโหลดเป็นวงจรเปิด

ถ้าเราถ่างปลายสายนำสัญญาณให้ห่างออกเป็น 2 เส้น การแพร่คลื่นทั้งคู่จะมีโอกาสหักล้างกันได้น้อยลง และนอกจากนี้ พลังงานที่จ่ายให้โหลด (ส่งออกอากาศ) จะได้จากขึ้นการแพร่คลื่นจะเพิ่มขึ้นเต็มที่เมื่อปลายสายอยู่ในแนวเดียวกัน ตามรูปที่ 3.2 (ก) สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะกระจายออกไปรอบ ๆ ทำให้การแพร่คลื่นออกได้เต็มที่ สายอากาศชนิดนี้เรียกว่า ไดโพลความยาวของสายแต่ละข้างเท่ากับ $\lambda/4$ และความยาวรวมเท่ากับ $\lambda/2$ ไดโพลชนิดนี้จึงเรียกว่า ไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ (half-wave dipole)



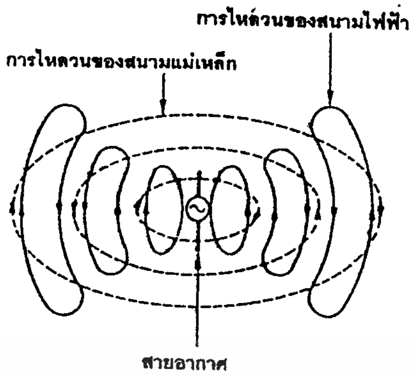
รูปที่ 3.2 ไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ

รูปคลื่นนิ่งของแรงดันและกระแสบนสายอากาศไดโพลจะเป็นดังรูปที่ 3.2 (ข) สังเกตว่าปลายทั้งสองของสายอากาศเสมือนเปิดวงจร แรงดันจึงมากที่สุด และมีกระแสไหลน้อยที่สุด จุดกลางของสายอากาศซึ่งเรียกว่า จุดฟีด (feed point) จะมีกระแสไหลมากที่สุด และแรงดันต่ำที่สุด ดังนั้นตามรูป อิมพีแดนซ์ของไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟน่าจะมีค่าศูนย์ แต่ความจริงอิมพีแดนซ์จะเท่ากับ 73 โอห์ม ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานบางส่วนสูญเสียในการแผ่คลื่นออกไป และไม่สะท้อนกลับ

3.2) การแพร่กระจายสัญญาณจากสายอากาศ

เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำ จะเกิดสนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำที่มีทิศทางตามทิศทางของกระแส ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของกระแสเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนตามไปด้วยและจากการทดลองพบว่า สนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงจะสร้างสนามไฟฟ้าให้มีขึ้นมา (ซึ่งถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในสนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้าจะไม่เกิดขึ้น)

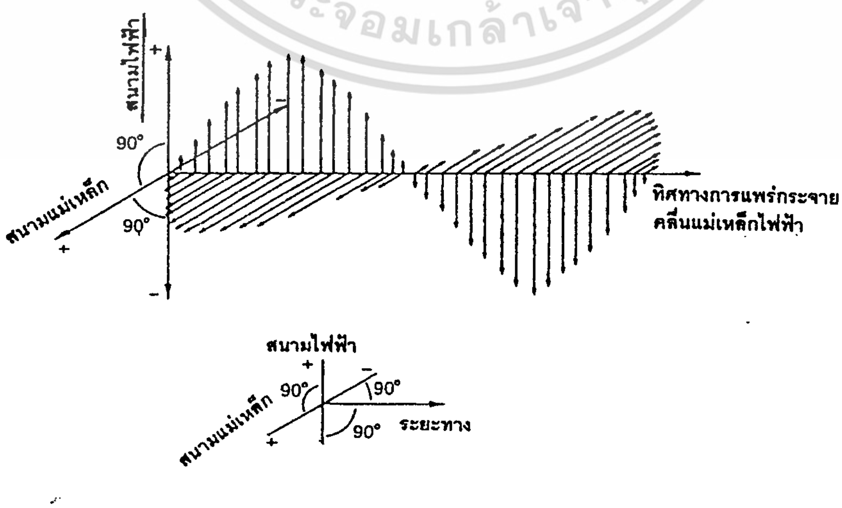
ส่วนทิศทางของสนามไฟฟ้า พิจารณาจากกฎของเลนซ์ (Lenz's Law)หรือกฎมือขวานั่นเอง ทำนองเดียวกันการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ทำให้พิจารณาได้ว่า ถ้าป้อนกระแสไฟสลับ (A.C.) ผ่านลวดตัวนำจะทำให้เกิดทั้งสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กขึ้น



รูปที่ 3.3 แสดงการแพร่กระจายคลื่นจากสายอากาศ

กำหนดให้ใช้กระแสรูปสัญญาณไซน์ผ่านเข้าลวดตัวนำ พบว่าทั้งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามคลื่นไซน์ด้วย โดยทั้งสองสนามแพร่ออกจากลวดตัวนำด้วยความเร็วแสง (ประมาณ 3×10^{8} เมตร/วินาที) ดังรูปที่ 3.3

พลังงานที่แพร่กระจายไปมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มในค่าความถี่เราเรียกพลังงานส่วนนี้ว่า สนามพลังงานที่แพร่กระจาย ซึ่งอยู่ในรูปสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อวิเคราะห์แล้วพบว่าสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าทำมุมฉากซึ่งกันและกัน รวมทั้งยังทำมุมฉากกับทิศทางการแพร่กระจายดังรูปที่ 3.4

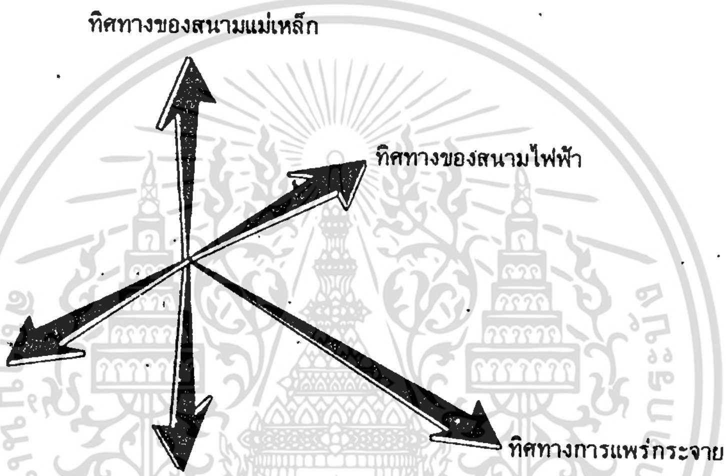


รูปที่ 3.4 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ระนาบที่มีสนามไฟฟ้าและมีทิศตามการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเรียกว่า ระนาบโพลาไรเซชั่นของคลื่น

3.3) โพลาไรเซชั่น (Polarization)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากสายอากาศประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก สนามทั้งสองนี้จะตั้งฉากซึ่งกันและกัน และทั้งคู่ก็ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย ตามรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 โพลาไรเซชั่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เรามักพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบคลื่นไฟฟ้าแทนเมื่อกล่าวเกี่ยวกับโพลาไรเซชั่น

ประเภทของโพลาไรเซชั่น

1) โพลาไรเซชั่นแบบลิเนียร์ (linear polarization)

- กรณีที่เส้นแรงไฟฟ้าอยู่แนวนอน เรากล่าวได้ว่าคลื่นนั้นมีโพลาไรเซชั่นในระนาบแนวนอน (horizontally polarization)

- กรณีที่เส้นแรงไฟฟ้าอยู่แนวดิ่ง เรากล่าวได้ว่าคลื่นนั้นมีโพลาไรเซชั่นในแนวดิ่ง (vertical polarization)

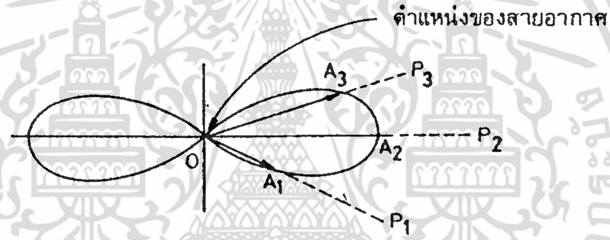
2) โพลาไรเซชั่นแบบวงรี (elliptically polarization) คือคลื่นที่มีโพลาไรเซชั่นไม่แน่นอน เปลี่ยนไปอยู่ตลอดเวลา ลักษณะการเปลี่ยนโพลาไรเซชั่นเป็นไปตามกฎการหมุนของฟาราเดย์

3) โพลาไรเซชั่นแบบวงกลม (circular polarization) คือคลื่นจะหมุนไป 360 องศา เมื่อมันเดินทางได้ระยะทางเท่ากับหนึ่งความยาวคลื่น ซึ่งทิศทางการหมุนให้พิจารณาจากสายอากาศด้านส่งว่ากำหนดให้หมุนตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา

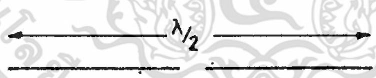
3.4) รูปแบบการแพร่คลื่น

รูปแบบการแพร่คลื่น เป็นการเขียนไดอะแกรมเพื่อแสดงความสามารถในการส่ง (หรือรับ) สัญญาณของสายอากาศในทิศทางต่าง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากสายอากาศจะมีความสามารถในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน

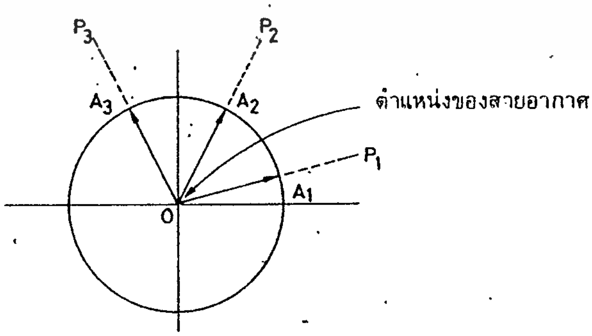
ในรูปที่ 3.6 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นบนระนาบแนวราบและบนระนาบแนวดิ่งของสายอากาศมาร์โคนี (Marconi antenna) สังเกตว่าตำแหน่งของสายอากาศอยู่ ณ จุด 0 ในรูป 3.6 (ก) และรูปที่ 3.6 (ค) ระยะความยาวของลูกศร OA แสดงความแรง



(ก)



(ข)



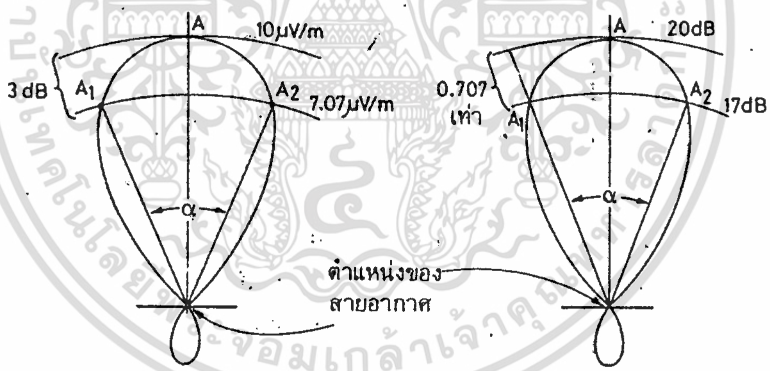
(ค)

รูปที่ 3.6 รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศมาร์โคนี (สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นหรือฮาล์ฟเวฟ) โดยมองบนระนาบแนวราบ (รูปก) และมองบนระนาบแนวดิ่ง (รูปค)

ของคลื่นที่แพร่ออก (หรือรับได้) จากสายอากาศในทิศทาง OP_1 สมมติว่าเราต้องการทราบความสามารถของสายอากาศในการแพร่คลื่นในทิศทางอื่น เราสามารถทำได้โดยเคลื่อนที่ไปรอบจุด O นั่นคือ จุด P_1 วนไปรอบ ๆ จุด O นั่นเอง ความแรงของสัญญาณที่วัดได้ในทิศทางอื่นจะมีค่าเท่ากับระยะความยาวของลูกศร เช่น ในทิศทาง OP_2 ความแรงจะเป็น OA_2 ส่วนในทาง OP_3 ความแรงจะเป็น OA_3 เป็นต้น กล่าวโดยสรุปรูปแบบการแพร่คลื่นคือ รูปภาพที่แสดงความสามารถในการแพร่คลื่น (หรือรับคลื่น) เปรียบเทียบกันในทิศทางต่าง ๆ นั่นเอง

3.5) บีมวิดท์ (Beamwidth)

สายอากาศชนิดต่าง ๆ ก็มีรูปแบบการแพร่คลื่นต่าง ๆ กัน วิธีหนึ่งที่เราจะเปรียบเทียบรูปแบบของการแพร่คลื่นก็คือ ดูจากลักษณะของรูปแบบว่าทิศทางการแพร่คลื่นออกไปในลักษณะใด แทนที่เราจะต้องเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่คลื่นทุก ๆ จุด ความกว้างของลำคลื่นหรือบีมวิดท์ เป็นการวัดความกว้างของลำคลื่น สังเกตว่าเราพิจารณาเฉพาะลำคลื่นในทิศทางที่พุ่งไปแรงมากที่สุด ในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การวัดความกว้างของลำคลื่นในรูปแบบการแผ่คลื่นค่า dB หรือ μ V/m บนรูปแบบการแผ่คลื่นที่แสดงไว้เป็นค่าสมมติ เพื่อแสดงการเปรียบเทียบ

3.6) อัตราขยายของสายอากาศ

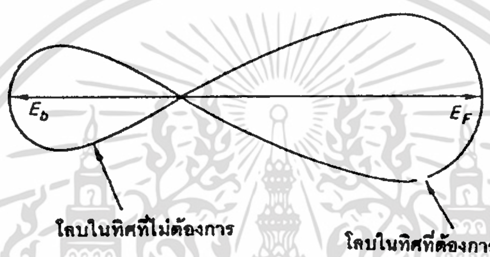
อัตราขยายของสายอากาศเป็นการเปรียบเทียบเอาต์พุตของสายอากาศ(ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง) เทียบกับเอาต์พุตของสายอากาศอ้างอิง (reference antenna) ปกติเรานิยมใช้สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟเป็นสายอากาศอ้างอิง เช่น สมมติว่าสายอากาศต้นหนึ่งมีอัตราขยาย 10 เดซิเบล (หรือ 10 เท่า) หมายความว่า (ในทิศทางนั้น) สายอากาศต้นนั้นส่งคลื่นออกไปแรงกว่าสายอากาศอ้างอิงอยู่ 10 เดซิเบล (หรือ10 เท่า) ความจริงแล้ว ถ้าสายอากาศส่งคลื่นออกไปได้ดีในทิศทางหนึ่ง ส่วนทิศทางอื่นก็จะส่งคลื่นด้อยลงไป อัตราขยาย (gain) ของสายอากาศมิได้หมายความ

ว่า กำลังเอาต์พุตของสายอากาศมากกว่าที่กำลังอินพุต หากแต่เป็นอัตราขยายที่คิดเทียบกับสายอากาศอ้างอิง

3.7) อัตราส่วนฟรอนต์ทูแบค (Front-to-Back Ratio)

รูปแบบการแพร่คลื่นส่วนใหญ่แล้วจะมีไดเร็คติวิตี้ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศอื่น

ดังนั้นอัตราส่วนฟรอนต์ทูแบคของสายอากาศ คือ อัตราส่วนของความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดสายอากาศโดยคิดจากทิศที่ต้องการกับทิศไม่ต้องการ (ตรงข้ามกัน) แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงอัตราส่วนฟรอนต์ทูแบคของสายอากาศ

ตัวอย่างการคำนวณ

ค่าความเข้มสนามที่ระยะ X กิโลเมตร ตามทิศที่ต้องการจากสายอากาศเท่ากับ 10 mV/m และในระยะทางที่เท่ากันแต่ทิศตรงข้ามมีค่าเท่ากับ 1 mV/m

จงคำนวณหาอัตราส่วนฟรอนต์ทูแบคของสายอากาศนี้

คำตอบ

อัตราส่วนฟรอนต์ทูแบค $= E_f / E_b = \dfrac{10x10^{-3}}{1x10^{-3}} = 10$ (Ans.)

หรือในหน่วยเดซิเบล $= 20 \text{ Log } 10 = 20$ dB (Ans.)

3.8) สายอากาศไดโพล

สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟเป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ความยาวของสายเท่ากับ $\lambda/2$ ที่ความถี่ใช้งาน ซึ่งเราคำนวณความยาวได้จากสูตรต่อไปนี้

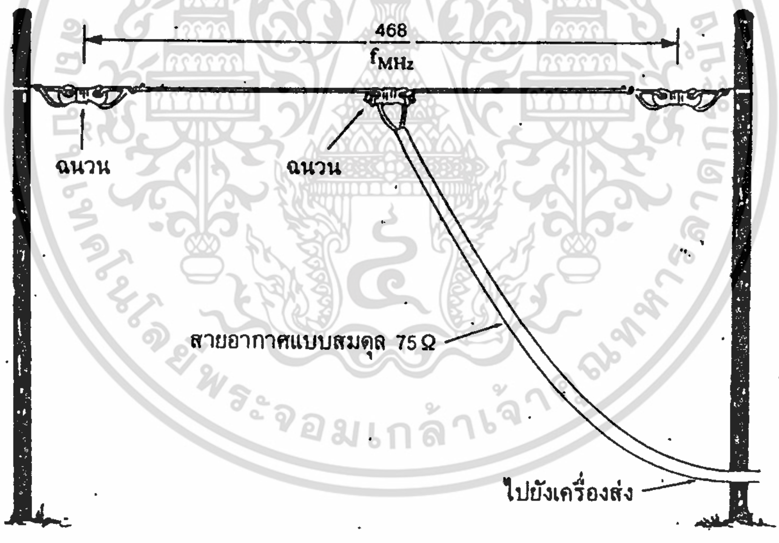
$$\lambda = \frac{3x10^{8}}{f}$$

ในที่นี้ λ คือ ความยาวคลื่นหน่วยเป็นเมตร

f คือ ความถี่ใช้งานมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

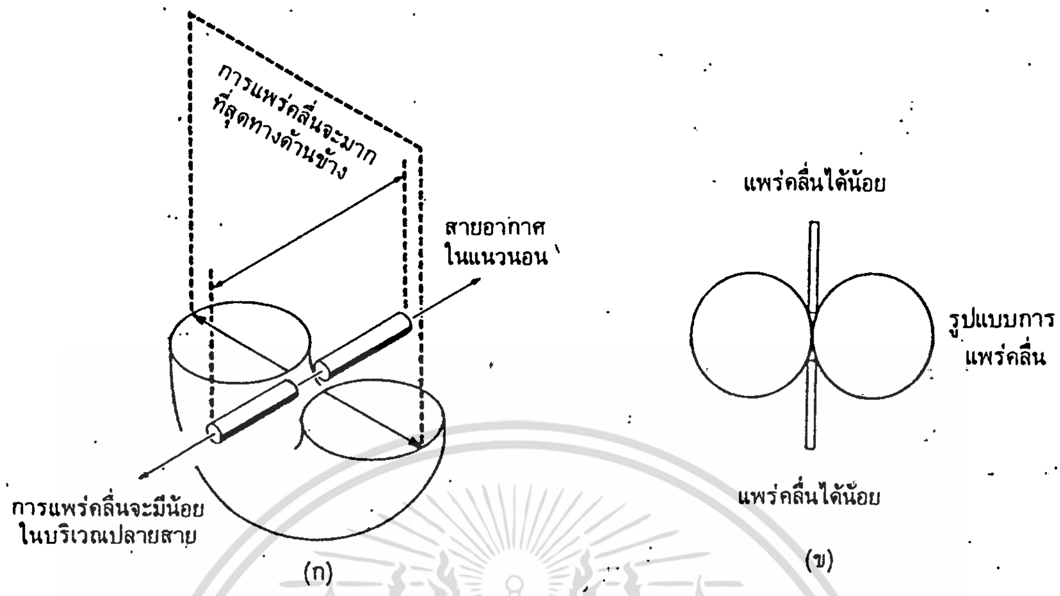
ในรูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างการติดตั้งสายอากาศไดโพล สังเกตว่าจุดฟีดจะอยู่บริเวณตรงกลางในที่นี้ใช้สายนำสัญญาณแบบสมดุล 75 โอห์ม เพื่อให้เกิดการแมตช์กับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น 73 โอห์ม

เราอาจใช้สายนำสัญญาณแบบโคแอกเซียล ซึ่งมีสมดุลเป็นสายฟีดให้แก่ไดโพลก็ได้ โดยต่อเส้นกลางของโคแอกเซียลเข้ากับสายอากาศข้างหนึ่ง ส่วนเส้นชีลด์ต่อกับสายอากาศอีกข้างหนึ่ง อย่างไรก็ตามเนื่องจากสายโคแอกเซียลเป็นชนิดไม่สมดุลแต่ไดโพลเป็นชนิดสมดุล (เพราะสร้างจากสายนำสัญญาณชนิดสมดุลยาว $\lambda/4$) ประสิทธิภาพการแพร่คลื่นจะสูญเสียไปบ้าง การแพร่กระจายของแรงดันและกระแสบนสายอากาศจะผิดปกติ เพราะมีกระแส RF ไหลในเส้นชีลด์ของสายโคแอกเซียล ทำให้การแพร่คลื่นเกิดขึ้นบนสายโคแอกเซียลด้วย



รูปที่ 3.9 การติดตั้งสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ

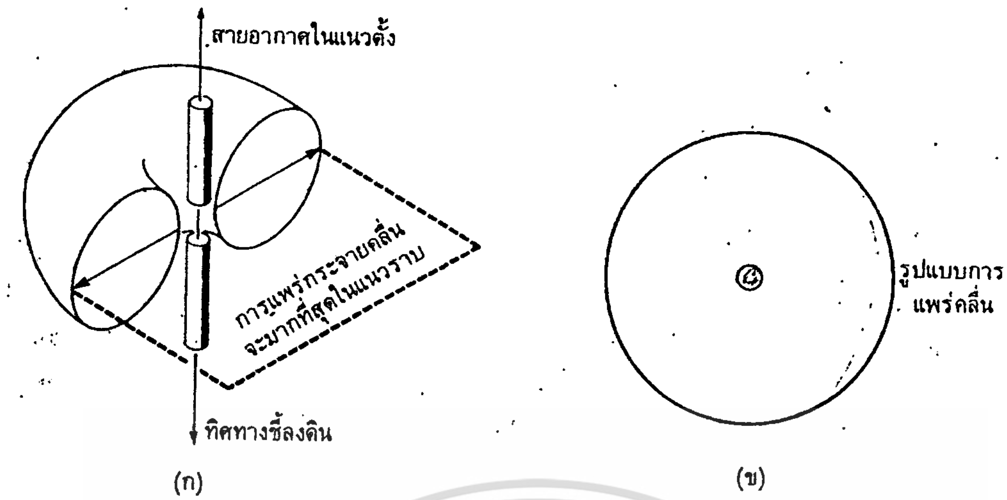
036977



รูปที่ 3.10 รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ ซึ่งวางตัวในแนวราบ

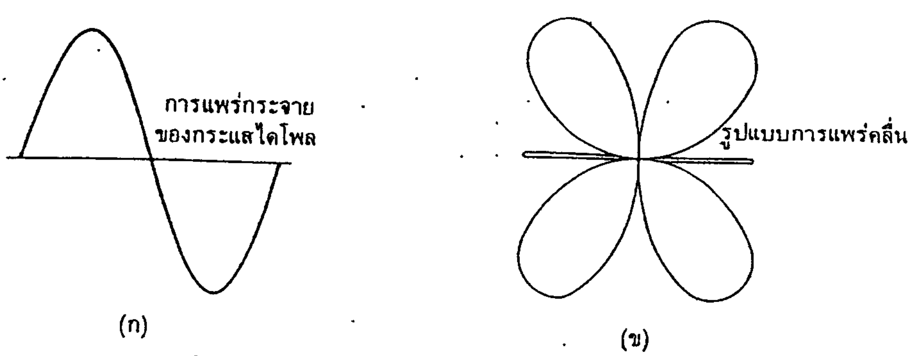
ในรูปที่ 3.10(ก) แสดงให้เห็นรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟที่วางตัวในแนวราบ สังเกตว่าการแพร่คลื่นจะมากที่สุดด้านข้าง (broadside) และน้อยที่สุดทางปลายสาย รูปที่ 3.10 (ข) แสดงการผลิต

สำหรับในรูปที่ 3.11 (ก) เป็นรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศชนิดเดิม แต่วางตัวในแนวดิ่งสังเกตุว่าในกรณีนี้ การแพร่คลื่นจะเท่ากันหมดในทิศทางรอบตัวของสายอากาศ ส่วนการแพร่คลื่นจะน้อยที่สุดในทิศทางชี้ขึ้นฟ้าและลงดินของสายอากาศ เมื่อเขียนกราฟแสดงรูปแบบการแพร่คลื่นลงบนระนาบในแนวราบจะได้เป็นวงกลม เพราะมีการแพร่คลื่นไปรอบ ๆ ตัวของสายอากาศเท่ากัน

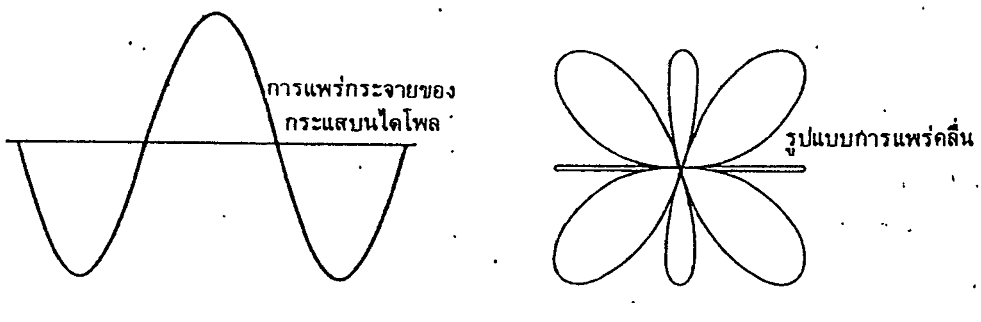


รูปที่ 3.11 รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟซึ่งวางตัวในแนวดิ่ง

สายอากาศไดโพลที่มีความยาว $\lambda/2$ จะทำงานเป็นสายอากาศชนิดฮาล์ฟเวฟ เมื่อความถี่สูงขึ้นสายอากาศจะทำงานเปลี่ยนไปเนื่องจากความยาวของสายอากาศเทียบกับความยาวคลื่น λ จะได้ค่ายาวขึ้น เช่น สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ จะทำงานเป็นสายอากาศไดโพลชนิดฟูลเวฟ (full wave) เมื่อความถี่เพิ่มเป็น 2 เท่า (คือเป็นความถี่ฮาร์มอนิกที่สอง) การแพร่กระจายของกระแสบนไดโพลชนิดฟูลเวฟจะเป็น ดังรูปที่ 3.12 (ก) สังเกตว่ากระแสจะไหลน้อยที่สุดที่ตรงกลาง นั่นคือ สายอากาศชนิดนี้จะมีอิมพีแดนซ์สูงที่จุดกลาง ถ้าเราต้องการให้อิมพีแดนซ์ ณ จุดพีดน้อยลง เราจะต้องพีดที่จุดอื่น โดยเลื่อนไปยังจุดที่มีกระแสไหลมากขึ้น รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดฟูลเวฟ จะเป็นดังรูปที่ 3.12 (ข) สังเกตว่ารูปจะแตกออกเป็นหลายพูหรือหลายโหลบ (lobe) ทั้งนี้เนื่องจากการแพร่กระจายกระแสบนลวดไดโพล นั่นเอง



รูปที่ 3.12 สายอากาศไดโพลชนิดฟูลเวฟ



รูปที่ 3.13 สายอากาศไดโพลชนิด 1.5 แลมด้า

ถ้าเรานำสายอากาศชนิดฮาล์ฟเวฟมาใช้งานที่ความถี่ฮาร์มอนิกที่สาม ดังรูปที่ 3.13 การแพร่กระจายกระแสบนลวดไดโพลจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน (เนื่องจากความยาวของไดโพลจะเป็น $1\frac{1}{2}$ เท่ากับความยาวคลื่น) ดูรูปที่ 3.13 (ก) กระแสจะมากที่สุดบริเวณจุดกลางของสายอากาศ ฉะนั้น ณ จุดฟีด อิมพีแดนซ์จะมีค่าต่ำ แต่รูปแบบของการแพร่คลื่นจะมีจำนวนโหลบมากขึ้นไปอีก ดังในรูปที่ 3.13 (ข) โดยเพิ่มเป็นโหลบเล็ก ๆ 2 โหลบ ทางด้านข้างของสายอากาศ

3.9) การต่อสายอากาศเป็นแผงแอเรย์

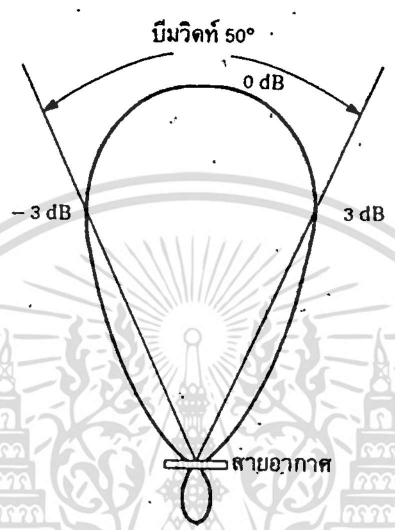
ในบางครั้งเราจำเป็นต้องจำกัดทิศทางการแพร่คลื่นของสายอากาศให้อยู่ในขอบเขตที่ต้องการ ทั้งนี้เพื่อมิให้รบกวนไปยังสถานีอื่นหรือถูกรบกวนจากสถานีอื่นได้ง่าย วิธีการจำกัดคลื่นให้แพร่ไปในทิศทางที่ต้องการนี้ เป็นการประหยัดกำลังงานเพราะไม่ต้องสิ้นเปลืองกำลังเพื่อส่งคลื่นไปยังบริเวณที่ไม่มีเครื่องรับ

รูปแบบของการแพร่คลื่นไปในทิศทางเดียวเราเรียกว่าบีมทางเดียว (unidirectional) ส่วนรูปแบบการแพร่คลื่นออกไป 2 ทางเหมือนกับไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟเราเรียกว่า บีมสองทาง (budirectional) และการแพร่คลื่นที่ออกไปรอบตัวแบบเดียวกับสายอากาศแนวดิ่ง เราเรียกว่า รอบตัว

สำหรับสายอากาศแบบมีทิศทาง เราสามารถวัดความคมของบีมในทิศทางนั้น ๆ ได้โดยการวัดมุม เรียกว่า บีมวิดท์ ซึ่งเป็นค่าความกว้างของมุมระหว่างจุดที่รับสัญญาณได้ตกลง 3 เดซิเบล เทียบกับจุดที่รับสัญญาณได้สูงสุด ดูรูปที่ 3.14 ในที่นี่เราวัดมุมได้ 50 องศา

ระบบสายอากาศที่มีบีมวิดท์แคบ ส่วนใหญ่จะมีเกนสูง เนื่องจากกำลังของคลื่นวิทยุอัดกันอยู่ในบีมแคบ ๆ ความแรงสัญญาณในแนวของบีมจึงมากกว่าเมื่อเทียบกับความแรง

สัญญาณที่รับได้จากสายอากาศรอบตัว ดังนั้นกำลังที่ส่งออกจากเครื่องส่งจึงเสมือนกับว่ามีกำลังแรงขึ้นเท่ากับอัตราขยายของสายอากาศอัตราขยายของสายอากาศคิดจากอัตราส่วนของกำลังที่ใช้ในการกระทำให้เกิดความแรงสัญญาณ ณ จุดนั้น ๆ สายอากาศที่นิยมยึดถือเป็นมาตรฐานอ้างอิงก็คือสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ (หรือสายอากาศแนวดิ่งชนิดควอเตอร์เวฟ)



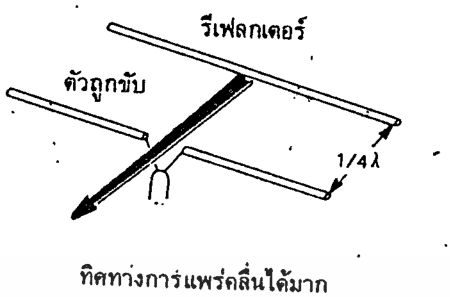
รูปที่ 3.14 การวัดบีมวิดท์ของสายอากาศทิศทาง

ถ้าเราใช้สายอากาศชนิดที่มีเกน กำลังส่งของเครื่องส่งจึงเสมือนกับว่ามีค่ามากขึ้น ค่ากำลังส่งที่มากขึ้นนี้เรียกว่า กำลังส่งประสิทธิผล (effective radiated power หรือ ERP) เราสามารถคำนวณค่า ERP ได้เมื่อเราทราบค่ากำลังส่งของเครื่องส่ง

ถ้าเรานำสายอากาศหลาย ๆ ชุดมาต่อเรียงแถวเป็นแผง เรียกว่าเป็นแอเรย์ อัตราขยายของสายอากาศจะมากขึ้น และสามารถควบคุมทิศทางการแพร่คลื่นได้

3.10) พาราซิติกแอเรย์

สายอากาศที่ไม่ได้ต่อเข้ากับสายนำสัญญาณ แต่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสหรือแรงดันบนตัวมันได้ เรียกว่า ตัวพาราซิติก (parasitic element) ดังในรูปที่ 3.15 ตัวพาราซิติกวางห่างจากไดโพลเป็นระยะเท่ากับ $\lambda/4$ ไดโพลนี้เรียกว่าตัวถูกขับ (driven element) ทั้งตัวพาราซิติกกับตัวถูกขับ มีความเท่ากับ $\lambda/2$ จึงเรโซแนนซ์ที่มีความถี่ใช้งาน รูปแบบการแพร่คลื่นของตัวถูกขับ (ไดโพล) จะเป็นแบบบีม 2 ทางออก ทางด้านข้างของสายอากาศ สายอากาศที่ใช้งานร่วมกับตัวพาราซิติกเราเรียกว่าพาราซิติกแอเรย์



รูปที่ 3.15 สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ (ใช้เป็นตัวถูกขับ)
ต่อเรียงกับตัวพาราซิติกเป็นแอเรย์

จงพิจารณาการเดินทางของคลื่นเข้าสู่สายอากาศ สมมติว่าเข้ามาในทิศทางที่ถึงตัวไดโพลก่อนจะเห็นว่าคลื่นเดินทางถึงตัวพาราซิติกเป็นระยะทางแตกต่างเลยจากตัวถูกขับอยู่ $\lambda/4$ ฉะนั้นกว่าที่จะถึงตัวพาราซิติก เฟสของคลื่นจะเปลี่ยนไป 90 องศา พอคลื่นไปถึงตัวพาราซิติกก็จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสบนตัวนำพาราซิติก ซึ่งมีเฟสกลับทางไปอีก 180 องศา (ตรงข้ามกับคลื่นที่ไปเหนี่ยวนำตัวมัน) กระแสที่ไหลในตัวพาราซิติกจะแพร่คลื่นออก คลื่นส่วนหนึ่งจะแพร่กลับมาทางตัวถูกขับซึ่งต้องเดินทางเป็นระยะทาง $\lambda/4$ อีก เฟสจะเลื่อนไปอีก 90 องศา รวมทั้งสิ้นเฟสจะเลื่อนไป 90+180+90 เท่ากับ 360 องศา คลื่นที่แพร่จากตัวพาราซิติกจึงเสริมกับคลื่นที่เดินทางมาทางด้านไดโพล ฉะนั้นการแพร่คลื่นในทิศทางที่เข้ามาทางตัวไดโพลจะดีที่สุด ทิศทางนี้เป็นด้านหน้าของสายอากาศ ตัวพาราซิติกในที่นี้ ทำงานเหมือนตัวสะท้อนคลื่น จึงเรียกว่า รีเฟลกเตอร์ (reflector)

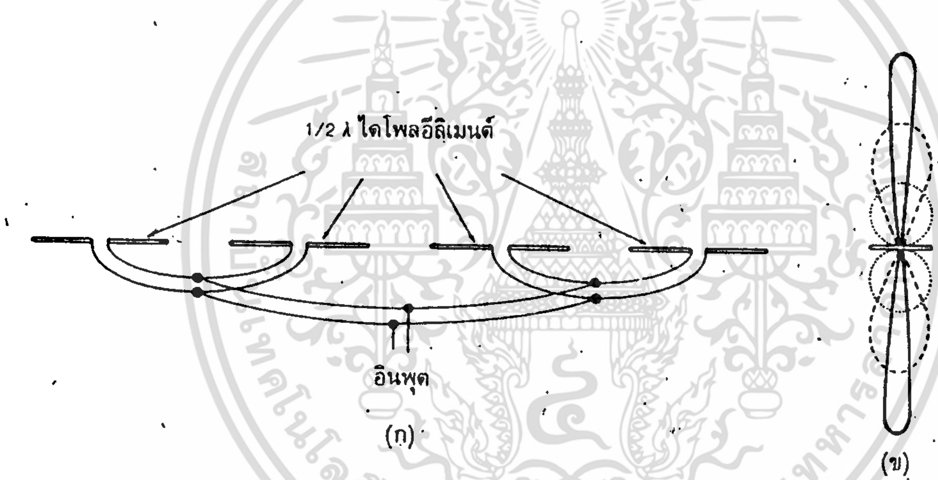
สำหรับทิศทางด้านหลังของสายอากาศคลื่นจะถึงตัวรีเฟลกเตอร์ก่อนถึงตัวไดโพล (ถูกขับ) ทำให้เฟสต่างกันอยู่ 90 องศา แต่คลื่นที่เหนี่ยวนำบนรีเฟลกเตอร์แพร่ไปทางไดโพลจะมีการกลับเฟส 180 องศาและเฟสล้าหลังเนื่องจากการเดินทางไปทางไดโพลอีก 90 องศารวมแล้วเฟสของคลื่นที่เดินทางไปถึงตัวไดโพลกับคลื่นที่แพร่จากตัวรีเฟลกเตอร์จะต่างกันอยู่ -90+180+90 เท่ากับ 180 องศา ทำให้เกิดการหักเหล้างกัน ฉะนั้นการแพร่คลื่นที่ทิศทางด้านหลังจะได้น้อยที่สุด

รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศที่ใช้ร่วมกับตัวพาราซิติกจะขึ้นอยู่กับปริมาณและเฟสของกระแสที่ไหลในตัวหารพาราซิติก กระแสที่จะได้รับการเหนี่ยวนำจากคลื่นที่มากระทบตัวพาราซิติกนั้น จะขึ้นอยู่กับความยาวของตัวพาราซิติกและระยะห่างจากตัวถูกขับ โดยปกติ

แล้วการวัดระยะห่างของตัวรีเฟลกเตอร์มักจะอยู่ห่างจากตัวถูกขับอยู่ในช่วง 0.18λ ถึง 0.2λ ส่วนความยาวของตัวรีเฟลกเตอร์มักจะยาวกว่า $\lambda/2$ อีกประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์

3.11) แอเรย์ของสายอากาศ

นอกจากเราจะใช้ตัวถูกขับตัวเดียวร่วมกับตัวพาราซิติกแล้ว เรายังอาจใช้ตัวสายอากาศถูกขับหลาย ๆ ตัวมาต่อร่วมเป็นแผงแอเรย์ได้ จากรูปที่ 3.16 เป็นสายอากาศชนิดคอลลิเนียร์ (collinear) หมายถึงชุดสายอากาศที่เอาสายอากาศมาเรียงแถวต่อในแนวเส้นร่วมกัน (in-line) สายอากาศทุกตัวถูกขับหรือฟีดโดยใช้สายส่งจากเครื่องส่ง 1 เส้น แล้วทำการจัดเฟสโดยใช้สายเฟส (phasing line) เพื่อให้คลื่นที่แพร่ออกจากสายอากาศแต่ละตัว (ในที่นี้ใช้ 4 ตัว) ไปยังเครื่องรับโดยมีเฟสเสริมกันในรูปที่ 3.16 (ข)



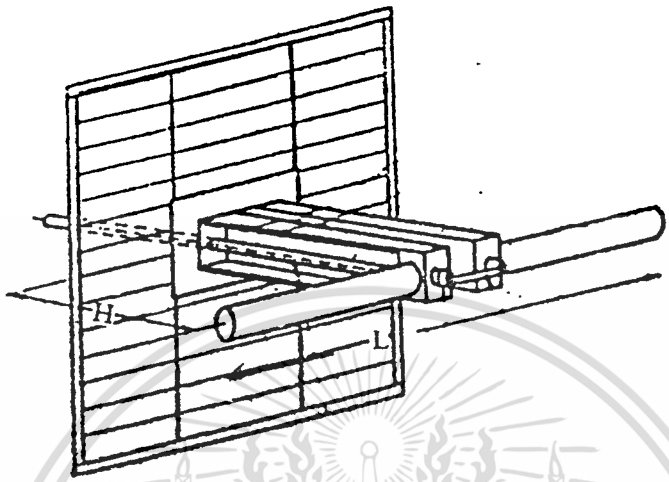
รูปที่ 3.16 สายอากาศที่ตัวถูกขับต่อเป็นแอเรย์

แสดงให้เห็นลักษณะการเสริมกันของรูปแบบการแพร่คลื่น เส้นไข่ปลาเป็นของไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟตัวเดียว เส้นประเป็นของไดโพล 2 ตัว และเส้นเต็มเป็นของไดโพล 4 ตัว

3.12) สายอากาศแบบซูเปอร์เกน (Super-gain antenna)

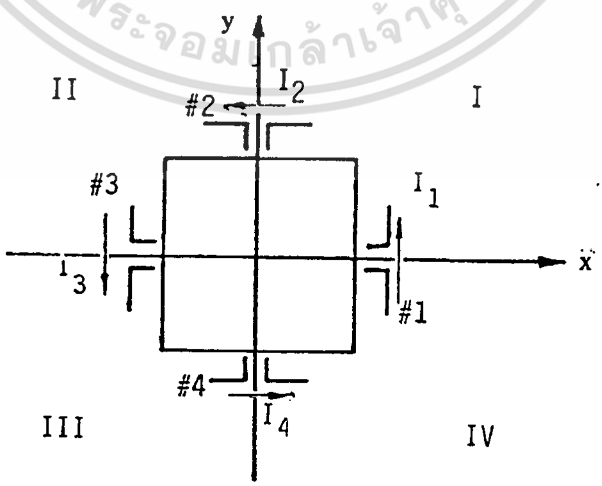
สายอากาศแบบซูเปอร์เกนนั้นก็คือ สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นที่มีแผ่นสะท้อนอยู่ด้านหลัง โดยที่การป้อนสายอากาศจะเป็นการป้อนจากสายโคแอกเซียล แล้วใช้ขาที่ยึดสายอากาศกับแผ่นสะท้อนเป็นบาลันไปในตัวเช่นเดียวกับการป้อนสายอากาศแบบรอดไซด์ลู้ป รูปที่ 3.17 แสดงสภาพดังกล่าวนี้ เนื่องจากสายอากาศแบบนี้จะมีแพตเทินชี้ไปทางด้านหน้าด้านเดียว

ดังนั้นเวลาใช้งานจึงจำเป็นต้องนำมาวางโอบรอบตัวเสายึดเพื่อให้ได้แพตเทินในแนวนอนใกล้เคียงกับวงกลมมากขึ้น



รูปที่ 3.17 สายอากาศแบบซูเปอร์เกน

สำหรับอัตราขยายของสายอากาศแบบซูเปอร์เกนนี้ กรณีที่เป็นชุดเดียวโดด ๆ จะมีอัตราขยายประมาณ 4 เท่า หรือ 6 dB แต่เมื่อนำมา สายอากาศ 4 ชุด มาโอบรอบเสายึดเป็น 1 ชั้น ดังรูปที่ 3.18



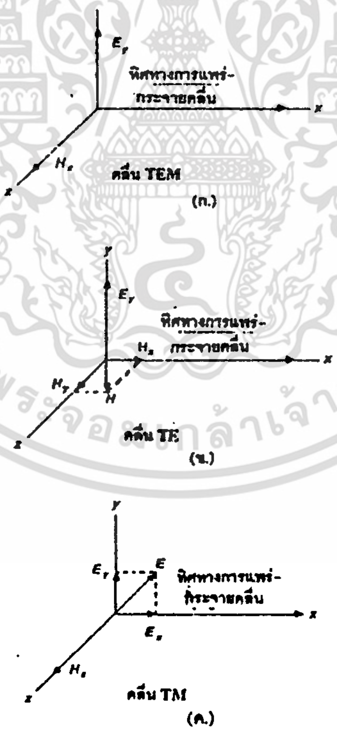
รูปที่ 2.18 การวางสายอากาศแบบซูเปอร์เกนโอบรอบเสายึด

ก็จะได้อัตราขยายเป็น 1 เท่า หรือ 0 dB เพราะฉะนั้นเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นให้มากขึ้นอัตราขยายก็จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นนั้น เช่น ถ้าใช้ 2 ชั้น ก็จะได้อัตราขยายเป็น 3 dB ใช้ 4 ชั้น ก็ได้ 6 dB เป็นต้น อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงอัตราขยายที่ได้มักจะต่ำกว่าค่าทางทฤษฎีเล็กน้อยทั้งนี้เนื่องจากมีการสูญเสียในระบบแมตชิ่ง นอกจากนั้นการแก้จุดศูนย์และการกัมมุมของเมนบีม ก็ทำให้อัตราขยายต่ำลงเช่นเดียวกัน

บทที่ 4
สายโคแอกเชียล
(Coaxial Cable)

4.1) โหมดการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้นในสายนำสัญญาณ (Mode of propagation)

ในสภาวะฟรีสเปซคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะแพร่กระจายออกไปเป็นลักษณะรูปทรงกลม (Spherical configuration) ตามที่เราได้ทราบกันมาแล้ว คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดการแพร่กระจายออกสู่ฟรีสเปซในลักษณะสนามไฟฟ้าแปรเปลี่ยนตามเวลาเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่แปรเปลี่ยนตามเวลา และสนามแม่เหล็กแปรเปลี่ยนตามเวลาก็เหนี่ยวนำสร้างสนามไฟฟ้าไปเช่นกัน ทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีการแพร่กระจายออกไปเรื่อย ๆ และค่อย ๆ ถูกลดทอนด้วยตัวกลางจนหมดไป



รูปที่ 4.1 (ก.) คลื่น TEM (ข.) คลื่น TE (ค.) คลื่น TM

(ซึ่งในอุดมคติคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะต้องแพร่กระจายออกไปในฟรีสเปซได้เรื่อย ๆ ไม่มีที่สิ้นสุดโดยไม่ถูกลดทอนด้วยตัวกลางเลย)

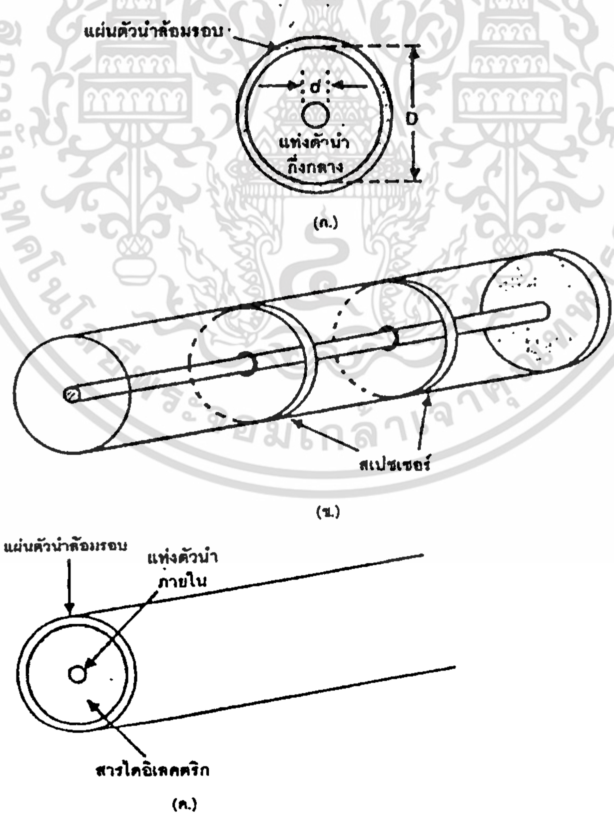
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไปเป็นรูปทรงกลม (Spherical wave) เมื่อพิจารณาที่ระยะห่างไกลจากแหล่งกำเนิดคลื่นมาก ๆ พื้นที่เล็ก ๆ บนพื้นผิวทรงกลมสมมติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะกลายเป็นพื้นที่ระนาบแบน การพิจารณาสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H บนพื้นผิวระนาบนี้จะทำมุมฉากซึ่งกันและกัน ฉะนั้น คลื่นรูปทรงกลมที่ระยะห่างออกไปจากแหล่งกำเนิดมาก ๆ จะกลายเป็นคลื่นระนาบ (Plane wave) และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นรูปทรงระนาบแบนนี้จะได้สนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กทำมุมฉากซึ่งกันและกันโดยที่ระนาบของสนามทั้งสองจะตั้งได้ฉากกับทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นเองด้วย

ขณะที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายไปตามสายนำสัญญาณนั้น กลุ่มประจุและกระแสไฟฟ้าบนพื้นผิวขของตัวนำของสายนำสัญญาณจะมีรูปแบบเป็นไปตามเงื่อนไขขอบเขตที่เราได้ทราบกันแล้วในหัวข้อเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) ในบทที่ 1 สำหรับโหมดในการแพร่กระจายคลื่นบนสายนำสัญญาณแบบคู่ขนานที่เป็นโหมดหลัก (Principle mode) ก็คือ ทรานสเวอร์สอิเลคโตรแมคเนติกเวฟ (Transverse electromagnetic wave) หรือจะเรียกว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวางก็ได้ โดยที่โหมด (Mode) เป็นคำที่บอกลักษณะการเดินทางหรือการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งคลื่น TEM นี้จะเป็นคลื่นที่มีระนาบของคลื่นสนามแม่เหล็กและคลื่นสนามไฟฟ้ารูปไซน์วางอยู่ในลักษณะตามขวางกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 (ก) กรณีที่ขนาดความยาวคลื่นของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้งานมีค่าใกล้เคียงวกับขนาด (Dimension) ของสายหรือไกด์ จะทำให้เกิดโหมดการแพร่กระจายคลื่นที่แตกต่างกันมากขึ้น ซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นต่าง ๆ กันนี้รวมเรียกว่าโหมดที่สูงกว่า หรือไฮเออร์โหมด (Higher mode) ไฮเออร์โหมดเป็นรูปแบบการแพร่กระจายของคลื่น ซึ่งมีความถี่สูงกว่าค่าความถี่เฉพาะที่มีชื่อเรียกว่าความถี่คัทออฟ (Cutoff frequency) ของสายนำสัญญาณ หรือเวฟไกด์ที่ใช้งานสำหรับความถี่ต่ำสุด (Lowest frequency) และความยาวคลื่นสูงสุด หรือยาวที่สุด (Longest wavelength) ที่สามารถแพร่กระจายไปได้ในขนาดของสายนำสัญญาณหนึ่ง ๆ จะเป็นความถี่คัทออฟ (Cutoff frequency : f_{cutoff}) และความยาวคลื่นคัทออฟ (Cutoff wavelength : λ_{cutoff}) ของสายนำสัญญาณนั้น รูปแบบการส่งคลื่นในลักษณะดังกล่าว จะเป็นโหมดต่ำสุด (Lowest mode) ในการส่งโดยมีชื่อเรียกโหมดนี้ว่า โหมดหลักของการแพร่กระจาย (Principal propagation mode) ส่วนไฮเออร์โหมดจะเป็นรูปแบบการส่งในโหมดที่สูงกว่า(เทียบกับโหมดหลัก)คลื่นที่แพร่กระจายในเวฟไกด์จะมี 2 โหมด คือ จะเป็นทรานสเวอร์สอิเลคตริกเวฟ (Transverse electric wave :TE) หรือ เรียกว่า คลื่นที่มีแนวสนามไฟฟ้าวางตามขวาง และทรานสเวอร์สแมคเนติกเวฟ (Transverse magnetic wave: TM) หรือเรียกว่าคลื่นที่มีแนวสนามแม่เหล็กวางตามขวาง ทรานสเวอร์สอิเลคตริกเวฟ (สนาม H มีส่วนประกอบหรือเวคเตอร์ย่อยอยู่ในแกน x และ z ของสนาม E) แสดงไว้ตาม

รูปที่ 4.1 (ข) ส่วนทรานสเวอร์สแมคเนตริกเวฟ (สนาม E มีส่วนประกอบหรือเวคเตอร์ย่อยอยู่ในแกน x และ y ของสนาม H) แสดงไว้ตามรูที่ 4.1 (ค)

4.2) สายโคแอกเซียล (Coaxial line)

เมื่อความถี่ในการใช้งานสูงขึ้น การใช้สายคู่ขนานแบบเดิมไม่เหมาะสมจึงได้เปลี่ยนมาใช้สายอีกแบบหนึ่งมีชื่อว่า สายโคแอกเซียล สายโคแอกเซียลนี้ประกอบด้วยตัวนำ 2 เส้นขนานกันเช่นเดิม แต่ตัวนำภายนอกจะเปลี่ยนรูปเป็นแผ่นตัวนำล้อมรอบแท่งตัวนำที่เหลือ ซึ่งวางในแนวศูนย์กลางใช้แกนร่วมกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก) แท่งตัวนำภายในจะถูกจัดให้อยู่ในแนวศูนย์กลางได้ด้วยไดอิเลคตริกสเปซเซอร์ ดังรูปที่ 4.2 (ข) หรือจะใช้สารไดอิเลคตริกอัดแน่นเพื่อบังคับให้แท่งตัวนำวางตัวในแนวศูนย์กลาง ดังรูปที่ 4.2 (ค) ก็ได้สายโคแอกเซียลที่ใช้งานมีด้วยกันหลายแบบ แบ่งออกเป็นประเภทหลัก ๆ ได้ตามลักษณะรูปร่างภายนอก คือ แบบ Flexible, Semirigid และ Rigid



รูปที่ 4.2 (ก) สายโคแอกเซียล (ข) แบบใช้ไดอิเลคตริกสเปซเซอร์
(ค) แบบใช้โซ้ลิคไดอิเลคตริก

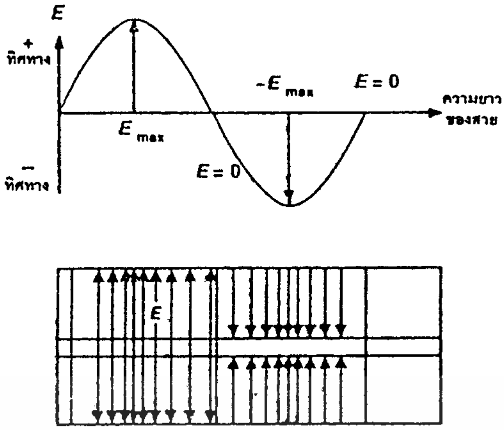
4.3) การส่งคลื่นในสายโคแอกเซียล

สายโคแอกเซียลนั้น โดยแท้จริงเป็นการดัดแปลงมาจากสายแบบคู่ขนานนั่นเอง ฉะนั้นมันจึงสามารถรับส่งคลื่นแบบ TEM ได้ และเรียกโหมดการส่งคลื่น TEM นี้ว่า โหมดหลัก (Principal mode) หรือโหมดเด่น (Dominant mode)

มองเข้าทางปลาย-
สายโคแอกเซียล

รูปที่ 4.3 แสดงการกระจายของสนามไฟฟ้าและ
สนามแม่เหล็กในสายโคแอกเซียล

การส่งกำลังไฟฟ้า (หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) ไปในสายโคแอกเซียลนั้นกระทำโดยอาศัยการเดินทางของคลื่นแรงดันและคลื่นกระแส ซึ่งเป็นผลให้เกิดสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กขึ้นในสาย แสดงดังรูปที่ 4.3 เส้นทึบแสดงสนามไฟฟ้า เส้นประแสดงสนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า E จะเกิดลักษณะเป็นรัศมีกระจายออกจากแท่งตัวนำศูนย์กลางภายในไปยังตัวนำภายนอกที่ล้อมรอบอยู่ และจากตัวนำภายนอกพุ่งเข้าสู่ตัวนำศูนย์กลางภายในสลับกันไป ส่วนสนามแม่เหล็ก H จะเกิดล้อมรอบแท่งตัวนำศูนย์กลางภายใน ทำมุมฉากกับสนามไฟฟ้า E สนามแม่เหล็กจะเกิดเป็นวงกลม มีศูนย์กลางร่วมกับตัวนำทั้งสองจากแท่งตัวนำภายในขยายออกเป็นวงกว้างไปสู่ตัวนำภายนอก ทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นไปตามยาวของสายนั้น หามาจากพอยน์ติ้งเวคเตอร์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะแพร่กระจายไปตามที่ว่างระหว่างตัวนำทั้งสองโดยที่ความเข้มของสนามไฟฟ้าขึ้นกับความต่างศักย์ของแรงดันไฟฟ้าระหว่างตัวนำภายในและตัวนำทั้งสองโดยที่ความเข้มสนามแม่เหล็กขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบ TEM นี้ประกอบจากคลื่นสนามไฟฟ้าและคลื่นสนามแม่เหล็กที่เป็นรูปไซน์ ดังนั้น สนาม E และสนาม H จึงกลับทิศทางทุก ๆ ครึ่งความยาวคลื่น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงทิศทางสนาม E และ H ที่แพร่กระจาย
ไปตามสายโคแอกเซียล

สำหรับค่าความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางไปตามสายนั้น จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของมันเอง และค่าคงตัวไดอิเลคตริกของสารไดอิเลคตริก ระหว่างตัวนำทั้งสอง

สายโคแอกเซียลนั้นไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความถี่คัทออฟในโหมดการส่งคลื่น TEM จึงสามารถปรับกระแสและแรงดันตามความถี่ที่ใช้งานได้ (ข้อจำกัดของสายโคแอกเซียลอยู่ที่การทนกำลังไฟฟ้าที่ความถี่สูงขึ้น) ดังนั้นสายโคแอกเซียลซึ่งทำงานในโหมดหลัก หรือโหมด TEM จึงถือเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานในแถบความถี่กว้าง หรืออุปกรณ์บรอดแบนด์ (Broadband device) และค่าความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสายโคแอกเซียล คำนวณได้จากสมการ

$$\lambda = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon'} f}$$

จากสมการจะเห็นว่าถ้าสารไดอิเลคตริกที่ใช้ในสายเป็นอากาศค่าความยาวคลื่นจะไม่เปลี่ยนแปลง คือเท่ากับความยาวคลื่นในฟรีสเปซ แต่หากว่าใช้สารไดอิเลคตริกอื่นนอกเหนือจากอากาศแล้ว ค่าความยาวคลื่นภายในสายจะลดลง

4.4) คาแรคเตอริสติกอิมพีแดนซ์ของสายโคแอกเซียล

ค่าคาแรคเตอริสติกอิมพีแดนซ์ของสายโคแอกเซียล แสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างค่าอินดัคแตนซ์ L ต่อหนึ่งหน่วยความยาวกับค่าคาปาซิแตนซ์ C ต่อหนึ่งหน่วยความยาว และค่าคาแรคเตอริสติกอิมพีแดนซ์ของสายโคแอกเซียล สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon'}} \log\frac{D}{d}$$

โดยที่

Z_0 = ค่าคาแรคเตอริสติกอิมพีแดนซ์ , Ω

ε' = ค่าเพอมิตติวิตี้ของสารไดอิเลคตริก

D = เส้นผ่าศูนย์กลางด้านในของตัวนำภายนอก

d = เส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของตัวนำภายใน

จากสมการจะเห็นได้ว่า ค่าคาแรคเตอริสติกอิมพีแดนซ์ของสายนั้น ขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำทั้งสองไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของสาย ส่วนค่าความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายในสายนั้น ขึ้นอยู่กับค่าคงตัวไดอิเลคตริก ε' ของสารไดอิเลคตริกที่ใช้ในสาย ฉะนั้นเราสามารถต่อสายโคแอกเซียลที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำต่างกันเข้าด้วยกัน ได้โดยไม่เกิดมิสแมทซ์ เพียงแต่พยายามคงค่าอัตราส่วน $\frac{D}{d}$ ให้เท่ากันนั้น

4.5) การพิจารณาการเลือกใช้สายโคแอกเซียล

เงื่อนไขที่ใช้พิจารณามีดังนี้

4.5.1. การสูญเสียในสาย

สายที่มีอัตราการสูญเสียในสายต่ำถือว่ามีคุณภาพดี ให้กำลังส่งถึงสายอากาศได้ดีมีข้อสังเกตว่า ถ้าใช้โฟมไดอิเล็กตริกจะช่วยลดอัตราการสูญเสียลงได้มาก เช่น สายเบอร์ RG-8/U แบบโฟมมีค่าอัตราการสูญเสียน้อยกว่า RG-8/U ธรรมดา หรือพิจารณาที่จำนวน ลวดตัวนำชั้นในก็ได้ เช่น สายเบอร์ RG-58/U มีลวดตัวนำเป็นเส้นเดี่ยว จะมีการสูญเสียน้อยกว่าสายเบอร์ RG-58C/U ที่มีลวดตัวนำเป็นเส้นฝอย 19 เส้น

4.5.2. การโค้งงอของสาย

ในงานที่สายถูกใช้แบบบิดหรือโค้งงอบ่อย ๆ เช่น สายอากาศทิศทางที่ต้องมีโรเตอร์หมุนหาทิศทางเราควรใช้สายที่มีลวดตัวนำตรงกลางจำนวนหลายเส้นจะได้ไม่ขาดเร็วเกินไปอย่างเช่นเบอร์ RG-58 C/U หรือพิจารณาที่สารไดอิเล็กตริก ไม่ควรใช้แบบโฟมเพราะไดเล็กตริกจะนิ่มและมีรูพรุน ถ้ามีการบิดสายไปมาอาจทำให้แนวลวดตัวนำไม่อยู่ตรงกลาง ทำให้ค่าเอิมพีแดนซ์ของสายเปลี่ยนไป และค่าการสูญเสียในสายเพิ่มขึ้น

สำหรับสายโฟมและสายเดี่ยว ควรใช้กับงานที่มีการติดตั้งสายในตำแหน่งแน่นอน

4.5.3. การชีลด์ (shield) สายนำสัญญาณ

เราชีลด์สายเพราะต้องการป้องกันไม่ให้คลื่นวิทยุภายนอกมารบกวนคลื่นวิทยุในสายได้และกันไม่ให้คลื่นวิทยุในสายไปรบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอกเช่นกัน

ดังนั้นสายโคแอกเซียลที่มีการชีลด์ดี จะให้คุณภาพดีขึ้น

วิธีการชีลด์ที่ใช้มี

- การใช้ลวดทองแดงสานเป็นตัวนำชั้นนอก โดยพิจารณาว่าสามารถครอบคลุมพื้นที่ไดอิเล็กตริกได้มากเท่าใด เช่น อาจครอบคลุมได้ 95% หรือในที่มีการรบกวนสูงต้องใช้ถึง 100% ก็ได้ โดยดูได้จากความถี่แน่นในการสานลวดทองแดง

- ใช้ท่ออะลูมิเนียม (ในสายฮาร์ด ไลน์) หรือท่อทองแดง (ในสายเฮลิคอล)

- ใช้วิธีทำเป็นชีลด์ 2 ชั้น อย่างเช่น สายเบอร์ RG -214 /U ที่ใช้วิธีชีลด์เป็นลวดทองแดงชุบเงินถักทั้ง 2 ชั้น ครอบคลุมพื้นที่ได้ 100% (มีราคาแพงมาก)

4.5.4. ความสามารถในการรับกำลังไฟฟ้า

ระดับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในสายสำคัญมาก เพราะถ้ามีมากเกินขีดกำหนดอาจทำให้สายเสียหาย แตกหักได้

ความสามารถในการรับกำลังไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับตัวแปรต่อไปนี้

- อัตราทนแรงดันของสารไดอิเล็กตริก
- ค่าความต้านทานของลวดตัวนำ
- ขีดจำกัดอุณหภูมิของสารไดอิเล็กตริกและเปลือกหุ้ม
- ระยะเวลาใช้งาน
- อัตราลดทอนที่ความถี่นั้น ๆ

4.5.5. อายุการใช้งาน

ขึ้นกับเงื่อนไขต่อไปนี้

- สภาพการใช้งานทางไฟฟ้าและสภาพการติดตั้งสาย

- คุณสมบัติของสารที่ใช้ทำเปลือกหุ้ม เช่น PVC (โพลีไวนิลคลอไรด์) ,NMV (Non-Migratory PVC) เป็นต้น

เราพิจารณาตามเนื้อสารที่ใช้ทำเปลือกหุ้มดังนี้

- สาร PVC ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้สารที่ผสมใน PVC ซึมผ่านสารไดอิเล็กตริกทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนไป ค่าอิมพีแดนซ์สูงขึ้นเกิดการลดทอนมากกว่าเดิม การซึมผ่านของสาร PVC ถือเป็นเรื่องปกติ แต่ถ้าได้รับความร้อนจะเกิดเร็วขึ้น มีผลให้สานยเสื่อมคุณภาพลงถ้าระยะเวลาที่เกิดการซึมผ่านเกิดขึ้นถึงระดับหนึ่ง

- สาร NMV จัดเป็นสาร PVC ชนิดพิเศษที่ไม่เกิดการซึมผ่านเลย ดังนั้นในสายที่ต้องตากแดดตากฝนตลอดปีควรเลือกแบบ NMV แทน PVC เช่น สายเบอร์ RG-58 C/U แทน RG-58 A/U

ส่วนสายที่มีชีลด์เป็นท่อโลหะหุ้มล้อมรอบจะเลือกใช้สารใดก็ได้เพราะมีโลหะป้องกันสารไดอิเล็กตริกไว้แล้ว

บทที่ 5

โครงสร้างของระบบโครงงานสายอากาศ

5.1) โครงสร้างของสายอากาศ

1) ไดโพล (DIPOLE)

2) รีเฟลคเตอร์ (REFLECTOR)

3) เพาเวอร์แอมป์ หรือ อาร์เอฟแอมป์ (POWER AMP OR RF AMP)

5.1.1) ไดโพล

- หาค่า λ เพื่อใช้ในการคำนวณ

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$= \frac{(3*10^8)}{(107.5*10^6)}$$

$$= 2.79 \text{ m}$$

- ไดโพลแต่ละข้างยาว $= \frac{\lambda}{4}$

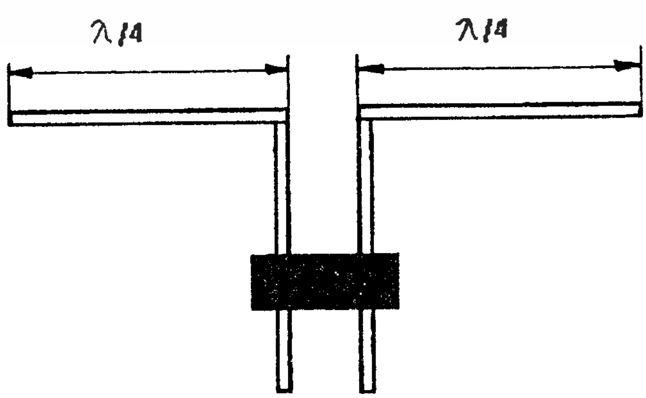
$$= \left(\frac{(3*10^8)/(1075*10^6)}{4}\right)$$

$$= 69.76 \text{ cm}$$

- ระยะห่างของรีเฟลคเตอร์กับไดโพล $= 0.3\lambda$

$$= 0.3*2.79$$

$$= 84 \text{ cm}$$



รูปที่ 5.1 ไดโพล

กรณีใช้อลูมิเนียมทำไดโพล

- การหาความยาวของไดโพลโดย * ค่าความเร็วสัมพัทธ์ของอลูมิเนียม (vr)

$$L = \frac{\lambda}{4} * vr$$

$= 69.76\ cm * 0.903$

$= 62.99\ cm$

vr = ค่าความเร็วสัมพัทธ์ของท่ออลูมิเนียม

อลูมิเนียม	ค่า vr
1/2 นิ้ว	0.911
5/8 นิ้ว	0.903
3/4 นิ้ว	0.896
1 นิ้ว	0.882

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าความเร็วสัมพัทธ์ของท่ออลูมิเนียม

รายการอุปกรณ์ที่ใช้ทำไดโพล

- ท่ออลูมิเนียม ∅ 5/8 นิ้ว ยาว 0.3λ 8 เส้น
- ท่อทองแดง ∅ 3/8 นิ้ว ยาว 62.99 cm 8 เส้น
- สาย RG 8A/U ยาว 1.5λ 4 เส้น
- PL 259 4 ตัว
- หางปลา 8 ตัว
- น็อตขนาด ∅ 2 mm ยาว 10 mm 16 ชุด (พร้อมหัวน็อตกับแหวน 8 ชุด)
- เรซิ่น
- คีม,ไขควง
- หัวแร้ง,ตะกั่ว
- อลูมิเนียมสี่เหลี่ยมขนาด 1* 2 นิ้ว 4 อัน
- ซุปเปอร์ลีนสี่เหลี่ยมขนาด 1* 2 นิ้ว 8 อัน

5.1.2) รีเฟลคเตอร์

- หาขนาดของรีเฟลคเตอร์

ได้ขนาดกว้าง 0.7 * ยาว 0.8

ด้านกว้าง = 0.7*2.79

ด้านยาว = 0.8*2.79

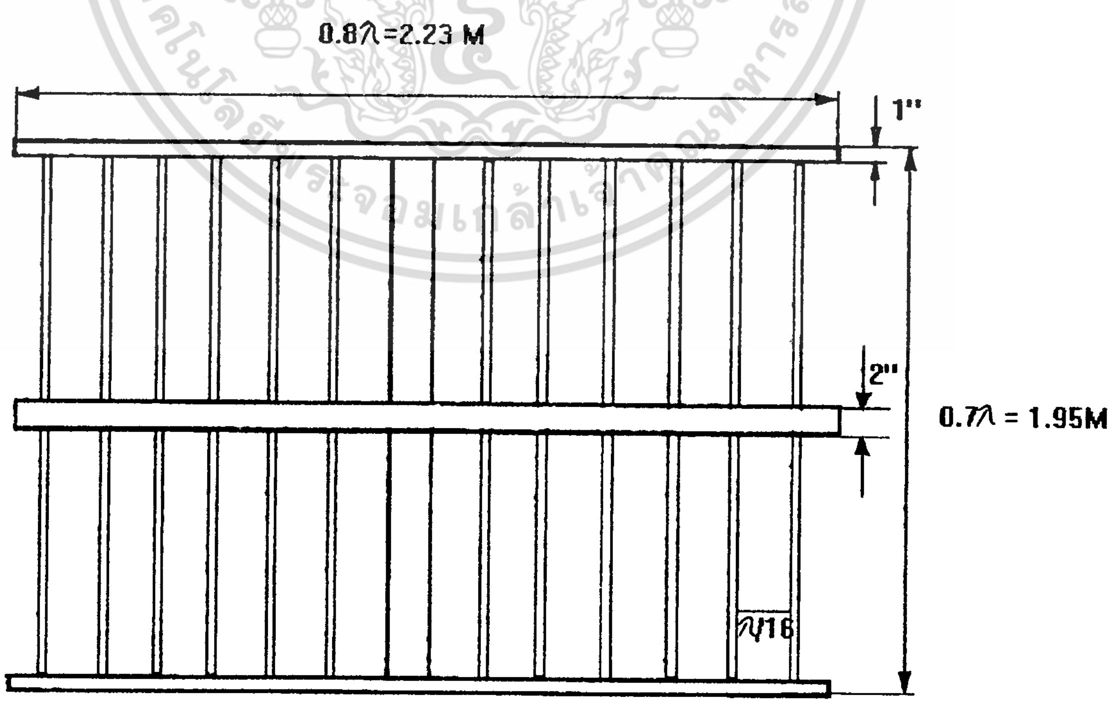
= 2.23 m

- ตามรูปที่ 2 รีเฟลคเตอร์ที่ทำจะใช้ท่ออลูมิเนียมมาวางเรียงเป็นแผง ซึ่งระยะห่างในการวางเรียงกันของอลูมิเนียม $= \frac{\lambda}{16}$

= 17.4 cm

คือท่ออลูมิเนียมสามารถวางเรียงกันห่างกันได้อย่างมาก 17.4 cm มากที่สุด

หมายเหตุ ลองเอามาวางเรียงถี่ๆแล้วก็ไม่แตกต่างกันจึงใช้ขนาดดังกล่าว

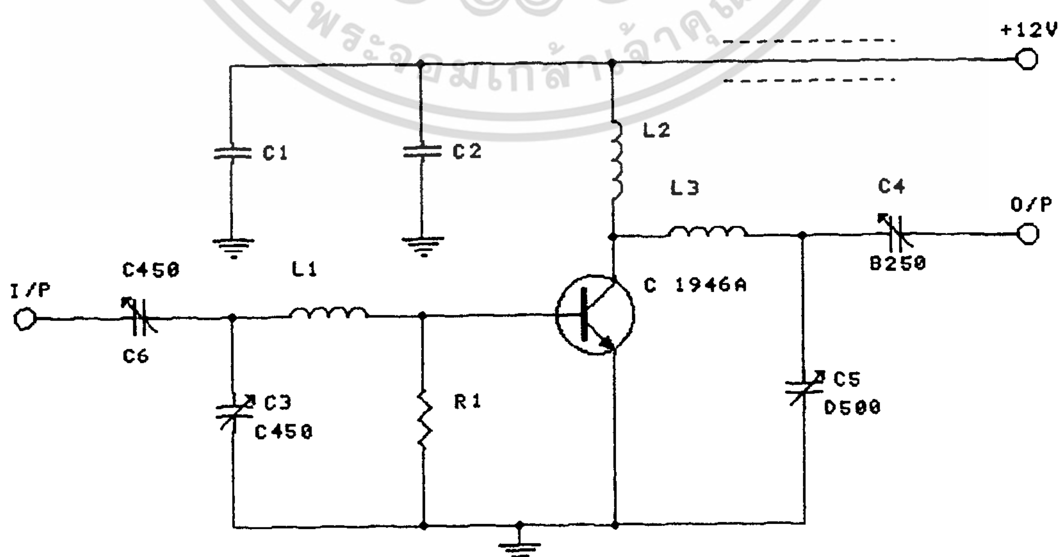


รูปที่ 5.2 รีเฟลคเตอร์

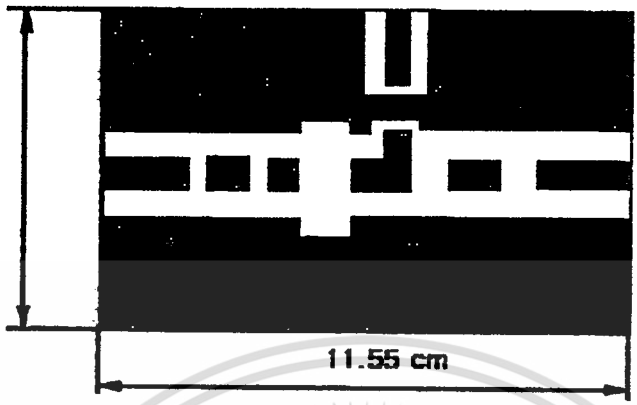
รายการอุปกรณ์ที่ใช้ทำรีเฟลคเตอร์

- อลูมิเนียมสี่เหลี่ยมขนาด 1*1 นิ้ว ยาว 0.8λ 2 เส้น (กลวง)
- อลูมิเนียมสี่เหลี่ยมขนาด 1*2 นิ้ว ยาว 0.7λ 2 เส้น (กลวง)
- อลูมิเนียมขนาด∅ 1/2 นิ้ว ยาว 0.7λ 12 เส้น
- รีเว็ต (ขนาด 1/8 นิ้ว)
- ดอกสว่านขนาด ∅ 1/4 นิ้ว
- ดอกสว่านขนาด ∅ 1/8 นิ้ว
- สว่านมือ
- แท่นเจาะ
- อลูมิเนียมฉากขนาด 1* $1\frac{1}{2}$ นิ้ว 10 ตัว
- อลูมิเนียมฉากขนาด 1* $2\frac{7}{8}$ นิ้ว 4 ตัว
- น็อตขนาด ∅ 3/16 นิ้ว ยาว 3 นิ้ว (พร้อมหัวน็อต) 2 ตัว
- น็อตขนาด ∅ 3/16 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว (พร้อมหัวน็อต) 4 ตัว
- น็อตขนาด ∅ 3/16 นิ้ว ยาว $1\frac{3}{4}$ นิ้ว (พร้อมแหวน + หัวน็อต) 4 ตัว

5.1.3) เพาเวอร์แอมป์



รูปที่ 5.3 วงจรขยายคลาสซี



รูปที่ 5.4 PCB ของเพาเวอร์แอมป์

การสร้างแผ่นวงจรพิมพ์

แผ่นวงจรพิมพ์สำหรับความถี่สูงจำเป็นต้องมีลายทองแดงที่สั้นที่สุดและลงกราวด์ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด (HIGH FREQUENCY GROUND) จึงใช้แผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ด้านบนเป็นกราวด์เพลน

แผ่นวงจรพิมพ์ที่ใช้แสดงในรูปที่ 5.4 เป็นตำแหน่งการวางอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์กำลัง เบอร์ C 1946 A รูปทรงเป็น 4 แฉกมีแกนขันสกรูสำหรับยึดแผ่นระบายความร้อน แกนยึดนี้ไอโซเลตกับทรานซิสเตอร์จึงไม่ต้องใช้ฉนวนกั้น

ทรานซิสเตอร์เบอร์ C 1946 A จะต้องเจาะรูที่แผ่นวงจรพิมพ์เป็นช่องสี่เหลี่ยมให้ตัวของทรานซิสเตอร์โผล่ออกจากด้านล่างขึ้นมาได้ซึ่งขาทรานซิสเตอร์จะแนบกับลายทองแดงด้านล่างสามารถบัดกรีได้ แกนที่ยาวอยู่จะขันยึดกับแผ่นระบายความร้อนด้านบนของกล่องโลหะ

กำลังทางเอาท์พุทของทรานซิสเตอร์

ในรูปที่ 5.3 เป็นวงจรขยายเดี่ยวคลาสซีสำหรับย่านความถี่ 107.5 MHZ จะเห็นว่าแรงดัน VBE ถูกกำหนดให้มีค่า 0 โวลท์ โดยตัวต้านทาน 15 Ω เมื่อไม่มีอินพุทกระแสที่ไหลในวงจรจึงมีเพียงกระแสรั่วไหลของคอลเล็คเตอร์ ในเรื่องของวงจรแมตชิ่งอิมพิแดนซ์ระหว่างค่าอิมพิแดนซ์ของสายอากาศที่นำมาต่อซึ่งมีค่า 50 Ω กับค่าอินพุทอิมพิแดนซ์ของทรานซิสเตอร์ 1.77+j0.6Ω

การพันขดลวดให้ได้ค่าที่ต้องการ

ขดลวดที่ใช้ในวงจรถึงแม้จะรู้ค่าความเหนี่ยวนำแล้วก็ตามแต่คงหาซื้อค่าที่เหมาะสมมาใช้เหมือนอุปกรณ์อื่นๆไม่ได้ง่ายนัก จึงจำเป็นต้องพันขดลวดขึ้นใช้เอง

สูตรที่ใช้คือ

$$L(\mu H) = \frac{a^2n^2}{9a+10l}$$

เมื่อ a คือ รัศมีของแกน (หน่วยเป็นนิ้ว)

n คือ จำนวนรอบ

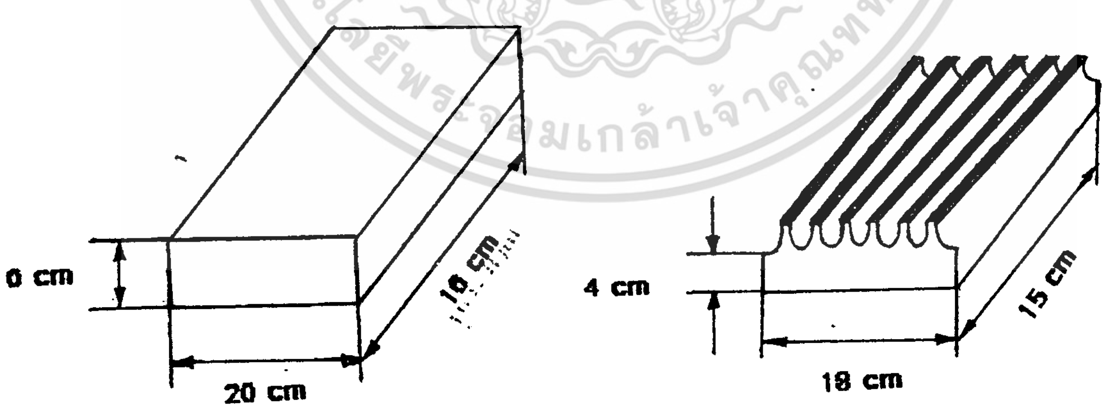
l คือ ความยาวของการพัน (หน่วยเป็นนิ้ว)

ส่วนการเลือกเบอร์ลวดที่จะใช้นั้นต้องพิจารณาความสามารถในการต้านกระแสและต้องไม่โตเกินไปจนพันตามจำนวนรอบแล้วได้ความยาวเกินกว่าที่กำหนด

การปรับแต่ง

เครื่องมือในการปรับแต่งมี อาร์เอฟ วัตต์มิเตอร์,ดัมมี่โหลด 50โอห์มไม่น้อยกว่า 20 วัตต์ แหล่งจ่ายไฟตรงที่จ่ายไฟ 12-15 โวลท์ได้ กระแสไม่น้อยกว่า 5 แอมป์ ถ้าจะให้ดีควรมี SWR มิเตอร์ด้วยสำหรับปรับให้แมตช์กับสายอากาศเวลาใช้งาน

กล่องเพาเวอร์แอมป์และแผ่นระบายความร้อน



รูปที่ 5.5 ขนาดของกล่องและแผ่นระบายความร้อน

รายการอุปกรณ์ที่ใช้ทำเพาเวอร์แอมป์

- TRANSISTOR เบอร์ C 1946 A 1 ตัว
- CAPACITOR 47 μF 1 ตัว

- TRIMMER C 450 (swallow) 2 ตัว

B 250 (swallow) 1 ตัว

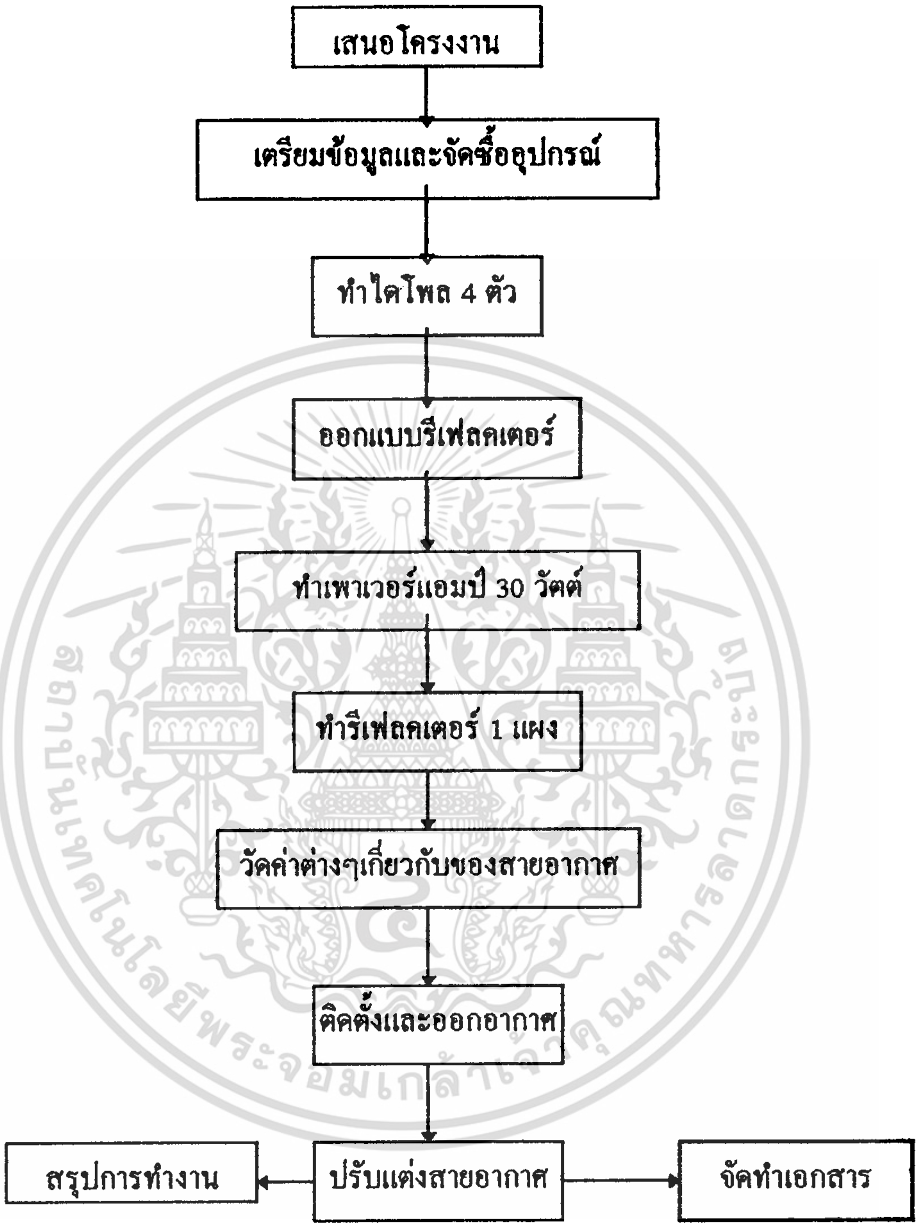
D 500 (swallow) 1 ตัว

- แผ่นระบายความร้อนขนาด 18*15*4 cm 1 ตัว
- กล่องเหล็กขนาด 20*16*6 cm 1 กล่อง
- BNC 2 ตัว
- RCA 1 ตัว
- BANAJACK 2 ตัว

5.2) แผนการดำเนินงาน

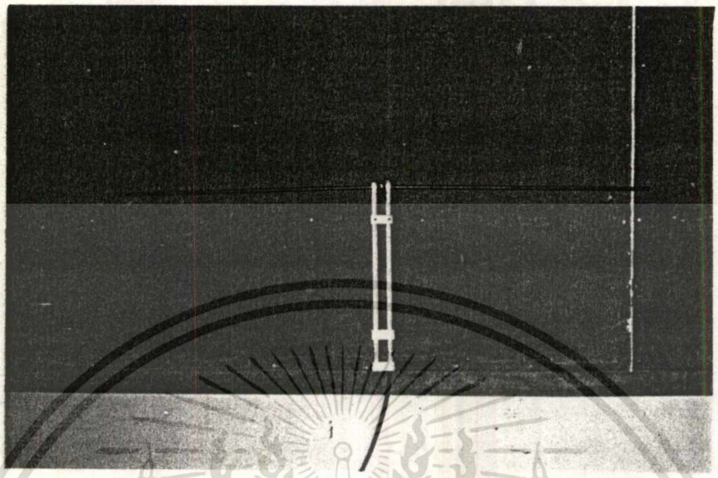
1. เตรียมข้อมูล
2. ออกแบบไดโพล
3. ซื้ออุปกรณ์ที่จะทำไดโพล
4. ทำไดโพล
5. ออกแบบรีเฟลคเตอร์
6. ทำรีเฟลคเตอร์
7. ออกแบบเพาเวอร์แอมป์
8. ทดลองวัด VSWR และทำการแมตชิ่ง
9. วัดแพทเทิร์น
10. ติดตั้งและทดลองออกอากาศ
11. ติดตั้งจริงที่ลาดกระบัง
12. เขียนปริญญานิพนธ์

5.3) <u>บล็อคของงานที่ทำทั้งหมด</u>



5.4) การประดิษฐ์สายอากาศ

5.4.1) เทคนิคการทำไดโพล



รูปที่ 5.6 แสดงรูปของไดโพลที่เสร็จสมบูรณ์

ขั้นตอนการทำ

1) ตัดท่อทองแดงขนาด $\varnothing \frac{3}{8}$ นิ้ว 8 อัน ยาวอันละ $\frac{\lambda}{4}$ แล้วเจาะรูที่ปลายของท่อทองแดงให้มีขนาด $\varnothing$ 2 mm ทั้งหมด 8 อัน

2) ตัดท่ออลูมิเนียมขนาด $\varnothing \frac{5}{8}$ นิ้ว 8 อัน ยาวอันละ 0.3λ แล้วเจาะรูที่ปลายของท่ออลูมิเนียมขนาด $\varnothing$ 2 mm ทั้งหมด 8 อัน

3) ทำการเจาะท่ออลูมิเนียมที่ปลายเพื่อที่สามารถทำการร้อยสายโคแอกเชี่ยลได้ทั้งหมด 4 รู เพราะใช้กับไดโพล 4 ตัวแล้วเจาะรูขนาด $\varnothing \frac{3}{8}$ นิ้ว ที่ปลายของอลูมิเนียมทั้งหมด 8 อัน ด้วยเพื่อที่จะสาเสียบต่อท่อทองแดงเข้าไปได้

4) ตัดอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมขนาด 1 นิ้ว * $2\frac{1}{4}$ นิ้ว เพื่อทำสตับทั้งหมด 4 อัน แล้วทำการเจาะรูขนาด $\varnothing \frac{5}{8}$ นิ้ว 2 รู โดยให้มีระยะห่างเท่ากับ 40 mm

5) ตัดซุปเปอร์ลีนสี่เหลี่ยมขนาด 1 นิ้ว * $2\frac{1}{4}$ นิ้ว เพื่อทำการยึดระหว่างแขนทั้งสองข้างให้มีระยะห่างเท่ากันคือคือมีระยะห่างเท่ากับ 40 mm แล้วเจาะรูขนาด $\varnothing \frac{5}{8}$ นิ้ว 2 รูโดยให้มีระยะห่างเท่ากับ 40 mm ทั้งหมด 4 อัน

6) ตัดซุปเปอร์ลีนสี่เหลี่ยมขนาด 1 นิ้ว * $2\frac{1}{4}$ นิ้ว แล้วเจาะรูขนาด $\varnothing \frac{5}{8}$ นิ้ว 2 รูให้มีระยะห่างเท่ากับ 40 mm ทั้งหมด 4 อัน ทางด้านข้างของซุปเปอร์ลีนจะทำการเจาะรู 2 รู ขนาด $\varnothing \frac{1}{8}$ นิ้ว ที่

จะใช้ไขสกรูเพื่อให้ไดโพลยึดติดกับตัวซุปเปอร์ลีนตรงกลางระหว่างรูขนาด $\varnothing \frac{1}{8}$ นิ้ว จะต้องเจาะรูขนาด $\varnothing \frac{1}{4}$ นิ้ว เพื่อใส่น็อตยึดซุปเปอร์ลีนให้ติดกับอลูมิเนียมฉากเพื่อที่จะเอาอลูมิเนียมฉากไปเจาะรูยึดติดกับแผงรีเฟลคเตอร์อีกทีหนึ่ง

7) ตัดอลูมิเนียมฉากขนาด $1\frac{1}{4} * 2\frac{7}{8} * 1$ นิ้ว แล้วเจาะรุตรงกลางของด้านที่มีขนาด 1 นิ้ว ให้มีขนาด $\varnothing \frac{1}{4}$ นิ้ว เจาะรู 4 รู ขนาด $\varnothing \frac{1}{8}$ นิ้วเพื่อที่จะยิงรีเว็ต 4 ตัว ให้ยึดติดกับแผงรีเฟลคเตอร์ทั้งหมด 4 อัน

8) ตัดสายโคแอกเชี่ยลเบอร์ RG 11/U ยาว 1.5λ 4 เส้นที่ปลายบัดกรีเข้ากับ PL 259

ขั้นตอนการประกอบ

1) เอาท่อทองแดงที่ตัดไว้เสียบเข้ากับอลูมิเนียมทั้ง 2 อันที่เจาะรูไว้แล้วทำการไขสกรูขนาด 2 mm ให้ยึดติดกันจะได้ไดโพลทั้งหมด 4 ตัว

2) สวมซุปเปอร์ลีนเข้าทางปลายของอลูมิเนียมเพื่อทำการยึดระยะห่างของอลูมิเนียมให้มีระยะห่างเท่ากัน

3) สวมสตับเข้าทางปลายของอลูมิเนียมเพื่อทำการปรับอิพิแดนซ์

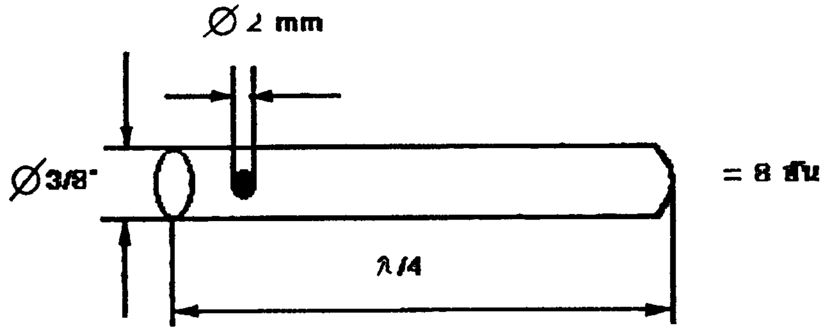
4) สวมซุปเปอร์ลีนเข้าทางปลายของไดโพล ทำการไขสกรูขนาด $\varnothing \frac{1}{8}$ นิ้ว เพื่อยึดไดโพลให้ติดกับซุปเปอร์ลีน

5) เอาซุปเปอร์ลีนที่ติดอยู่ที่ปลายของไดโพลมายึดติดกับอลูมิเนียมฉากด้วยน็อตขนาด $\varnothing\frac{1}{4}$ นิ้ว

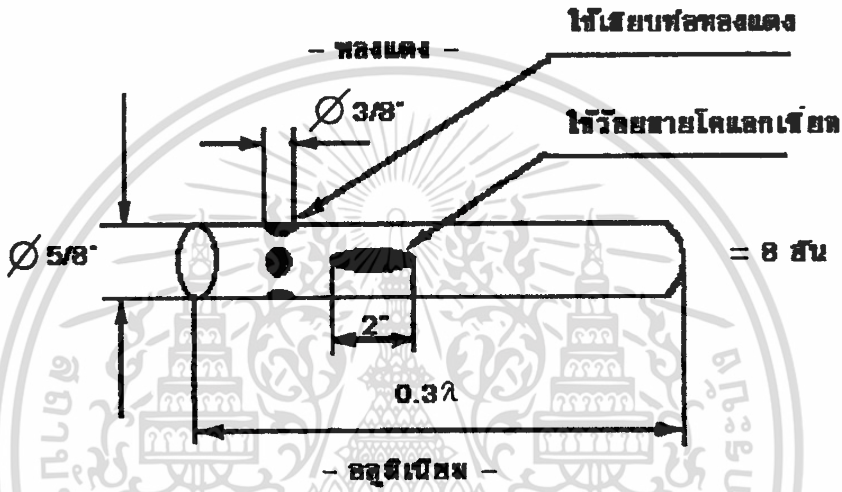
6) ทำการใส่สายโคแอกเชี่ยลผ่านท่ออลูมิเนียมด้านที่เจาะรูไว้ให้สายโคแอกเชี่ยลโผล่จากรูที่เจาะไว้แล้วปลอกสายเอาทองแดงที่อยู่ตรงกลางบัดกรีกับหางปลาแล้วไขน็อตติดกับอิลิเมนต์ของไดโพลข้างหนึ่ง อีกข้างหนึ่งเอาสายถักบัดกรีกับหางปลาแล้วไขน็อตยึดติดกับอีกอิลิเมนต์หนึ่ง

7) ทำการหล่อเรซิ่นปิดส่วนที่เราบัดกรีเพื่อกันน้ำ

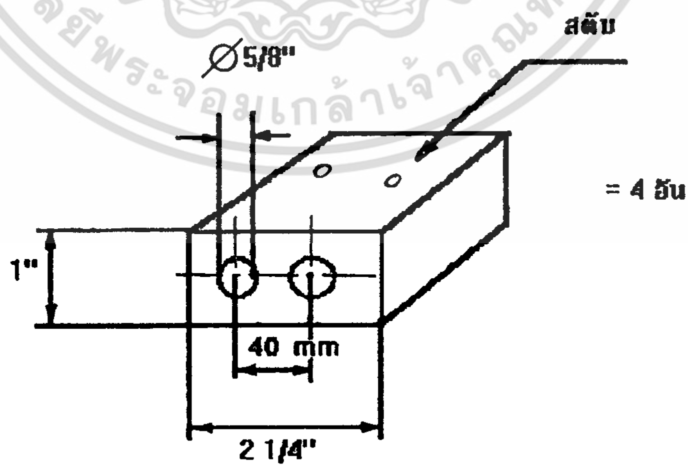
1)


Ø 2 mm
Ø3/8"
λ/4
= 8 อัน

2)

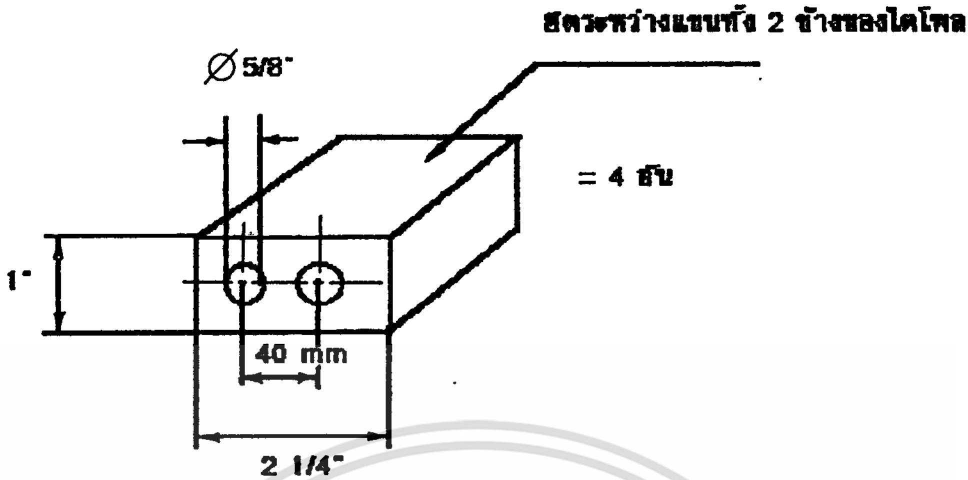

- ทองแดง -
ใช้เสียบท่อทองแดง
Ø 3/8"
Ø 5/8"
= 8 อัน
2"
0.3λ
- อลูมิเนียม -

3)


สตับ
Ø5/8"
= 4 อัน
1"
40 mm
2 1/4"

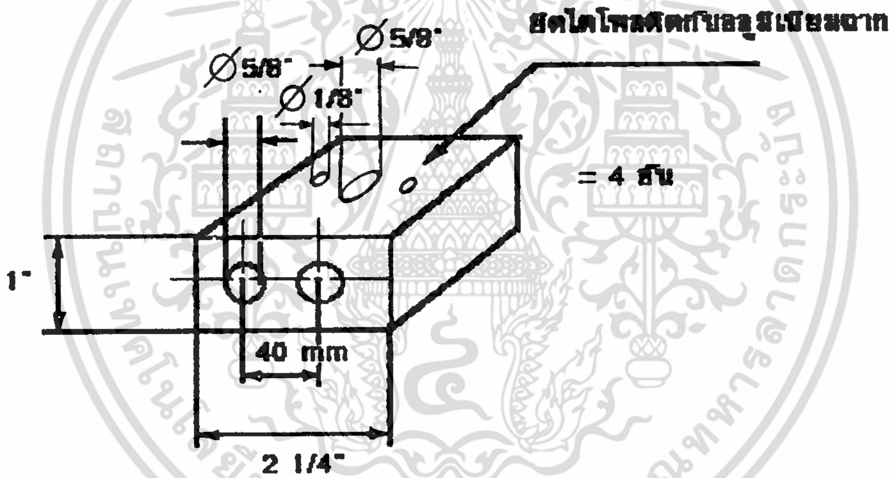
- อลูมิเนียม -

4)



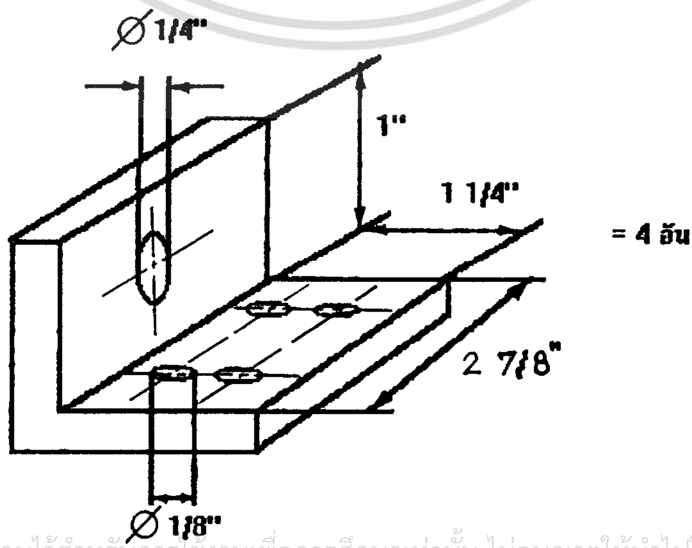
– ซุปเปอร์ลีน –

5)



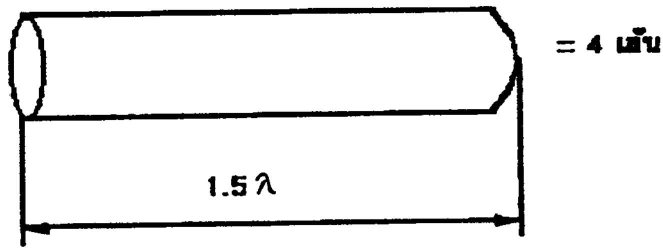
– ซุปเปอร์ลีน –

6)



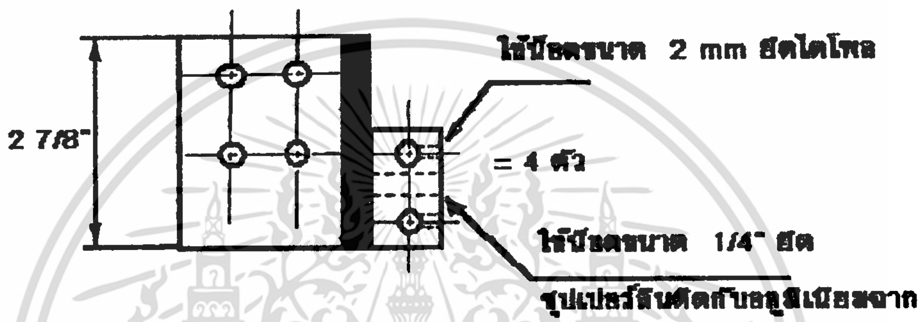
– อลูมิเนียมฉาก –

7)



- สายโคแอกเชียล RG 11A/U -

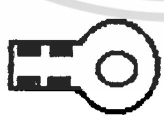
8)



9)

- PL 259 -

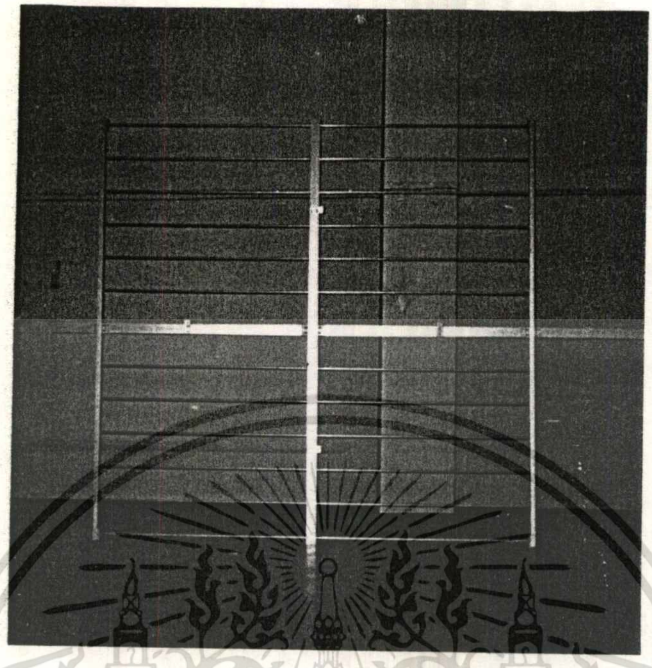
10)



- หางปลา -

รูปที่ 5.6.1) แสดงขนาดและส่วนประกอบต่างๆของไดโพล

5.4.2) เทคนิคการทำแผงรีเฟลคเตอร์



รูปที่ 5.7 แผงรีเฟลคเตอร์ที่ยังไม่มีไดโพล

ขั้นตอนการทำ

1) ตัดอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมขนาด 1 * 1 นิ้ว ยาว 0.8λ 2 เส้น เจาะรูขนาด $\varnothing \frac{1}{2}$ นิ้ว 12 รู โดยมีระยะห่างแต่ละรูเท่ากับ $\frac{\lambda}{16}$ เพื่อเสียบอลูมิเนียม

2) ตัดอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมขนาด 1 * 2 นิ้ว ยาว 0.7λ 1 เส้น

ยาว 0.8λ 1 เส้น เจาะรูขนาด $\varnothing \frac{1}{2}$ นิ้วทะลุ

3) ตัดอลูมิเนียมฉากขนาด $1\frac{1}{2}$ * 2 * 1 นิ้ว 6 อัน เจาะรู 2 รูขนาด $\varnothing \frac{1}{4}$ นิ้ว ที่ความสูง 1 นิ้ว แล้วเจาะรูขนาด $\frac{1}{8}$ นิ้ว 4 รู ที่ความกว้าง $1\frac{1}{2}$ นิ้ว เพื่อยิงรีเว็ตติดกับแผงรีเฟลคเตอร์ทั้งหมด 6 อัน

4) ตัดท่ออลูมิเนียมขนาด $\varnothing \frac{1}{2}$ นิ้ว ยาว 0.7λ 12 เส้น

ขั้นตอนการประกอบรีเฟลคเตอร์

1) นำอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมขนาด 1 นิ้ว ยาว 2.23 เมตร วางตามแนวนอนไว้หัวท้าย

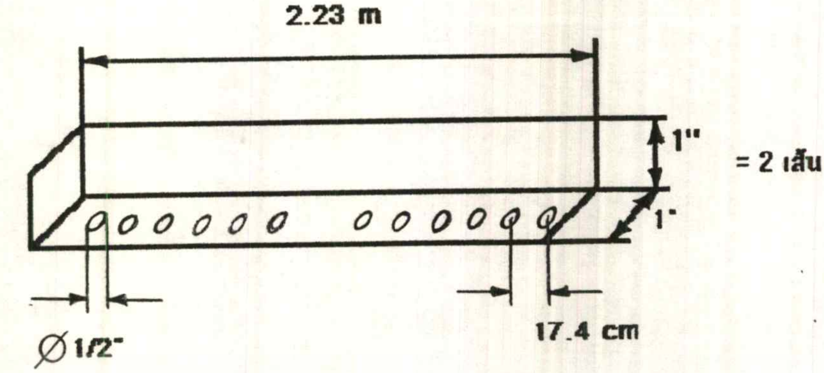
2) นำอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมขนาด 2 นิ้ว ยาว 2.23 เมตร วางตามแนวนอนไว้ตรงกลาง

3) ร้อยอลูมิเนียมขนาด $\varnothing \frac{1}{2}$ นิ้ว 12 เส้น ร้อยผ่านรูที่เจาะเอาไว้ทั้งหมด

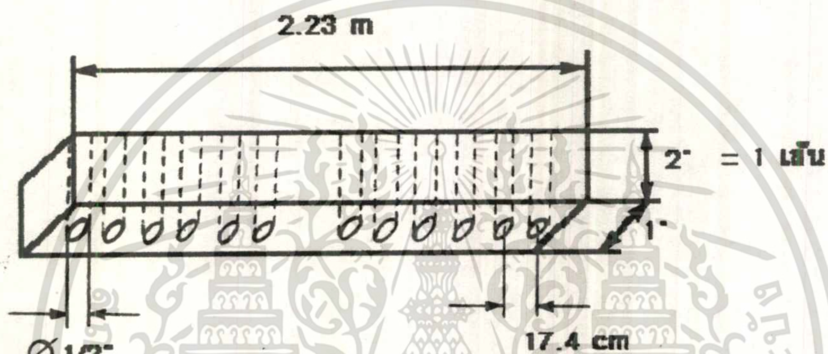
4) ทำการยึดอลูมิเนียมฉากทั้ง 6 อันกับอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมขนาด 2 นิ้ว โดยยิงรีเว็ต 3 จุดๆละ 8 ตัว

5) ระยะห่างในการยึดอลูมิเนียมฉากดูจากรูป

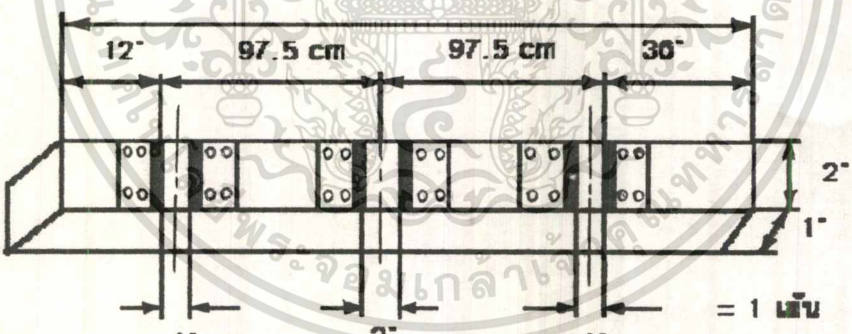
1)



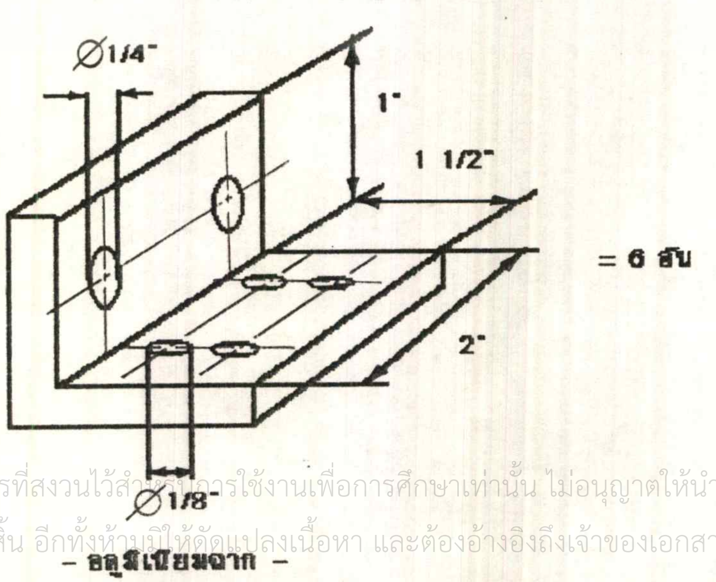
2)



3)

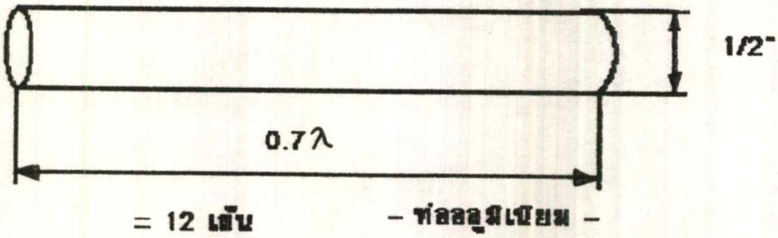


4)



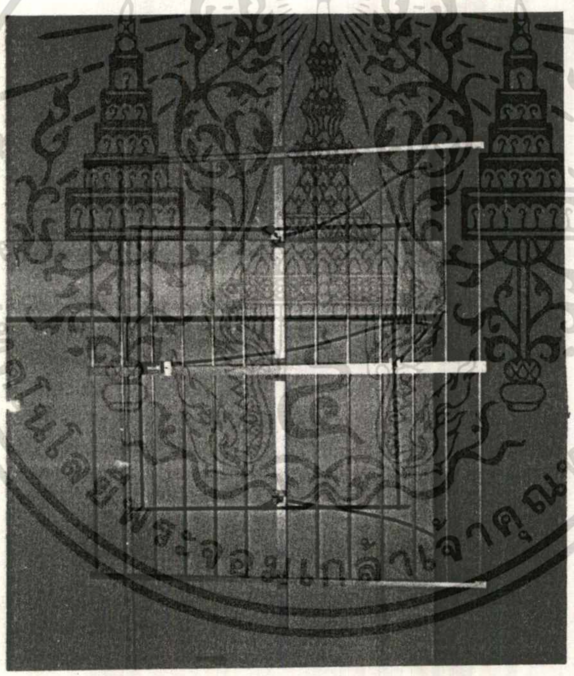
- อลูมิเนียมฉาก -

5)



รูปที่ 5.7.1) แสดงขนาดและส่วนประกอบต่างๆของรีเฟลคเตอร์

5.4.3) เทคนิคการนำไดโพลวางบนแผงรีเฟลคเตอร์



รูปที่ 5.8 ไดโพลที่ยึดอยู่บนแผงรีเฟลคเตอร์ 4 ตัว ในแนวตั้งและแนวนอน

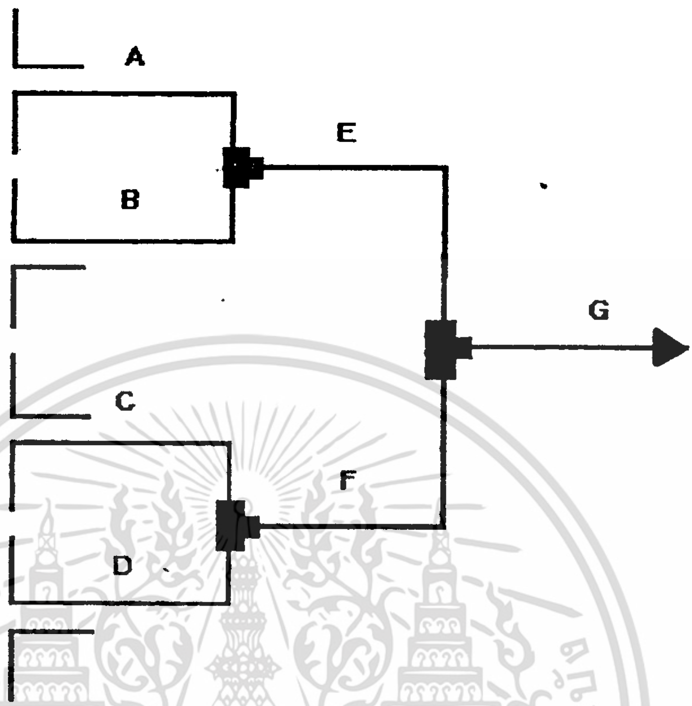
ขั้นตอนการทำ

- นำอลูมิเนียมที่ยึดติดกับซุปเปอร์ลีน 4 ตัวมายิงรีเว็ตติดกับแผงรีเฟลคเตอร์โดยติดในแนวนอน 2 ตัว แนวตั้ง 2 ตัวระยะห่างในการยึดคือ 10.5 นิ้วจากขอบทุกตัว

ขั้นตอนการประกอบ

- นำไดโพลมาเสียบเข้ากับรูของซุปเปอร์ลีนที่เจาะไว้ทั้ง 4 ตัว

5.4.4) การแมตชิ่งสายอากาศ



รูปที่ 5.9 รูปแบบการแมตชิ่ง

ขั้นตอนการแมตชิ่ง

- การหาความยาวจริงของสายแมตชิ่ง

$$L = 1.5\lambda * V$$
$$= 1.5\left(\frac{3*10^{8}}{107.5*10^{6}}\right) * 0.66$$
$$= 2.76 \text{ เมตร}$$

- ABCD สายโคแอกเชี่ยลเบอร์ RG 11/U ยาว 1.5λ นับจากจุดต่อสายที่ไดโพลถึงตรงกลางของขั้วต่อสายรูปตัวที
- EF ใช้สายโคแอกเชี่ยลเบอร์ RG 8A/U ยาว 1λ นับจากตรงกลางของขั้วต่อสายถึงตรงกลางของขั้วต่อสาย
- G ใช้สายโคแอกเชี่ยลเบอร์ RG 8A/U ความยาวตามต้องการ

อุปกรณ์ในการแมตชิ่ง

1) PL 259 จำนวน 10 ตัว

2) ข้อต่อ 3 ทาง จำนวน 3 ตัว

3) สายโคแอกเชี่ยล RG 11/U ยาว 2.76 เมตร 4 เส้น

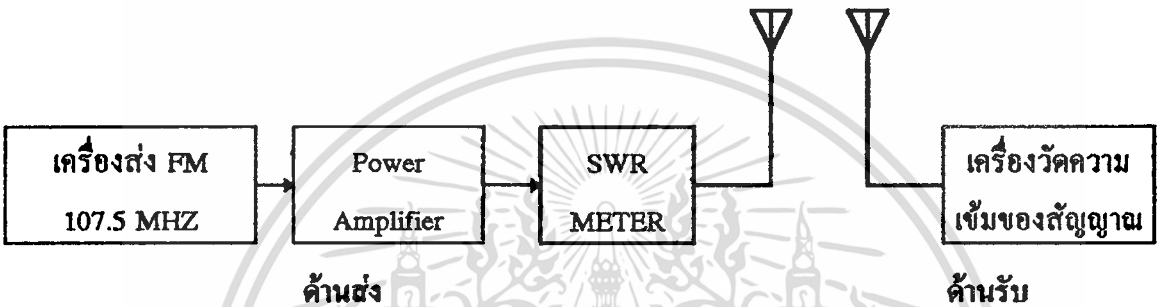
4) สายโคแอกเชี่ยล RG 8A/U ยาว 1.84 เมตร 2 เส้น

5) สายโคแอกเชี่ยล RG 8A/U ยาว 11.30 เมตร 1 เส้น

3) หัวแร้ง,ตะกั่ว

บทที่ 6
การทดลองวัดหาค่า VSWR
และรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น(Radiation Pattern)
ของสายอากาศที่มีเกนสูง

6.1) บล็อคไดอะแกรมที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 6.1 การเชื่อมต่อวงจรที่ใช้ในการรับ/ส่งวิทยุ

เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องส่งสัญญาณ FM ความถี่ 107.5 MHZ	1 เครื่อง
2) Power Amplifier ขนาด 20 วัตต์	1 เครื่อง
3) VSWR METER	1 เครื่อง
4) เครื่องวัดความเข้มของสัญญาณ(Field strenght meter)	1 เครื่อง
5) สายอากาศทางด้านส่งแบบที่มีเกนสูง	1 ต้น
6) สายอากาศทางด้านรับแบบไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟ	1 ต้น
7) เครื่องรับส่งวิทยุแบบมือถือ	2 เครื่อง
8) แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (D.C. Supply) 12 โวลท์	1 เครื่อง
9) สายนำสัญญาณพร้อมข้อต่อต่างๆ	

6.2) ขั้นตอนการทดลอง

1. ที่เครื่องส่งทำการประกอบวงจรตามรูปที่ 6.1

2. ที่เครื่องรับ(จุดที่ 1 ระยะทาง 1 กิโลเมตรจากเครื่องส่ง) ทำการประกอบวงจรตามรูปที่ 6.1 โดยใช้สายอากาศรับเป็นแบบไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟ

3. ที่เครื่องส่งทำการออกอากาศสัญญาณ FM ความถี่ 107.5 MHZ โดยใช้สายอากาศแบบที่มีเกนสูงเป็นสายอากาศส่งโดยหันทิศทางไปยังบริเวณเครื่องรับเป็นมุม 0 องศา

4. ทำการอ่านค่า VSWR จาก VSWR METER (บันทึกผลการทดลอง)

5. ที่เครื่องรับทำการวัดความเข้มสัญญาณโดยให้สายอากาศรับเป็นโพลาไรซ์เซชั่นแบบแนวดิ่ง (Vertical Polarization) (บันทึกผลการทดลอง)

6. ทำการหมุนทิศทางของสายอากาสส่งไปครั้งละ 10 องศา แล้วทำการวัดความเข้มของสัญญาณจนครบ 360 องศา (บันทึกผลการทดลอง)

7. ทำตามข้อ 5และ 6 แต่เปลี่ยนให้สายอากาศรับเป็นโพลาไรซ์เซชั่นแบบแนวราบ(Horizontal Polarization) (บันทึกผล)

8. จากผลการทดลองที่ได้นำไปเขียน Radiation Pattern

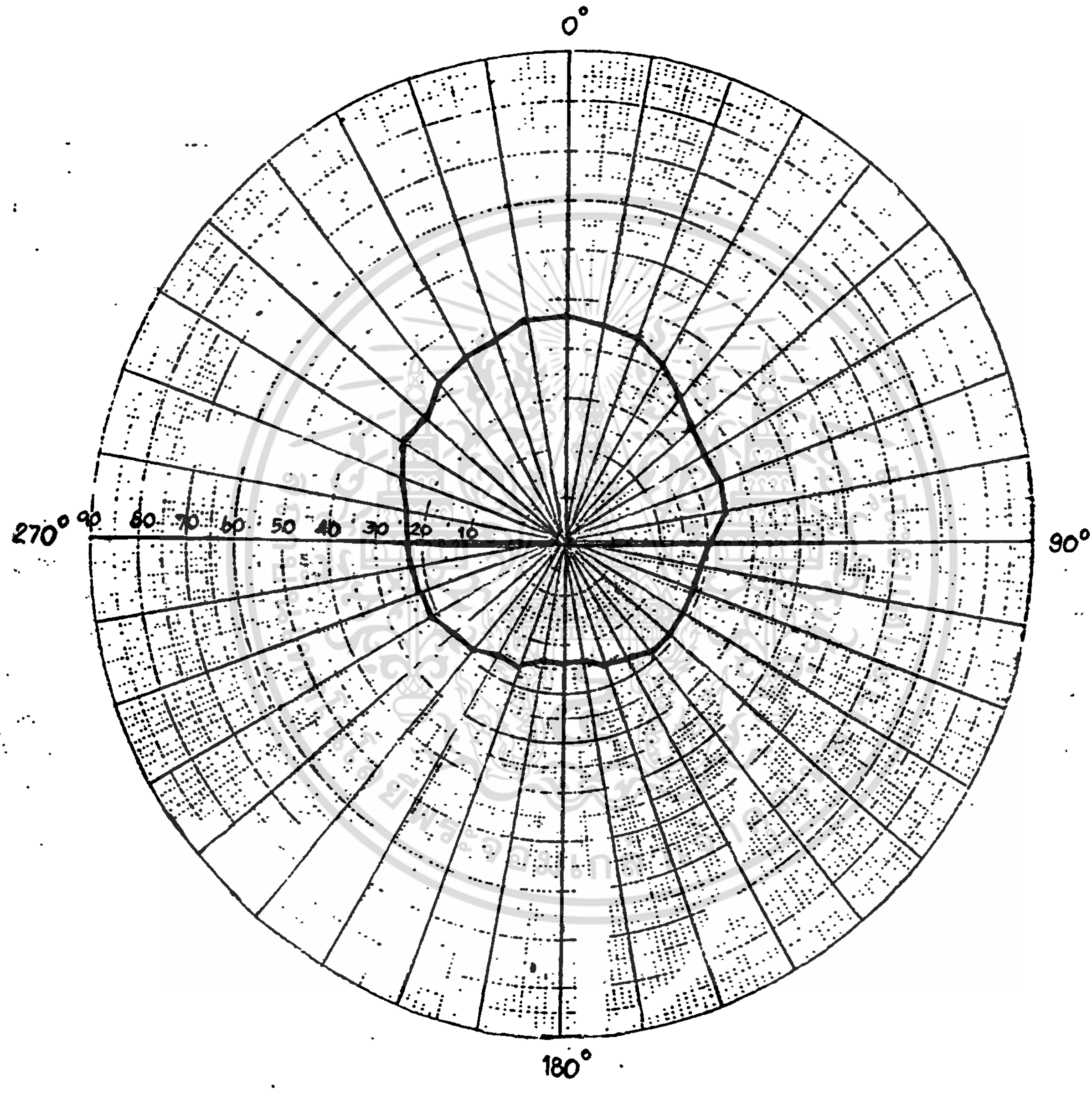
6.3) บันทึกผลการทดลอง

- ค่า VSWR มีค่าเท่ากับ 1.4 : 1

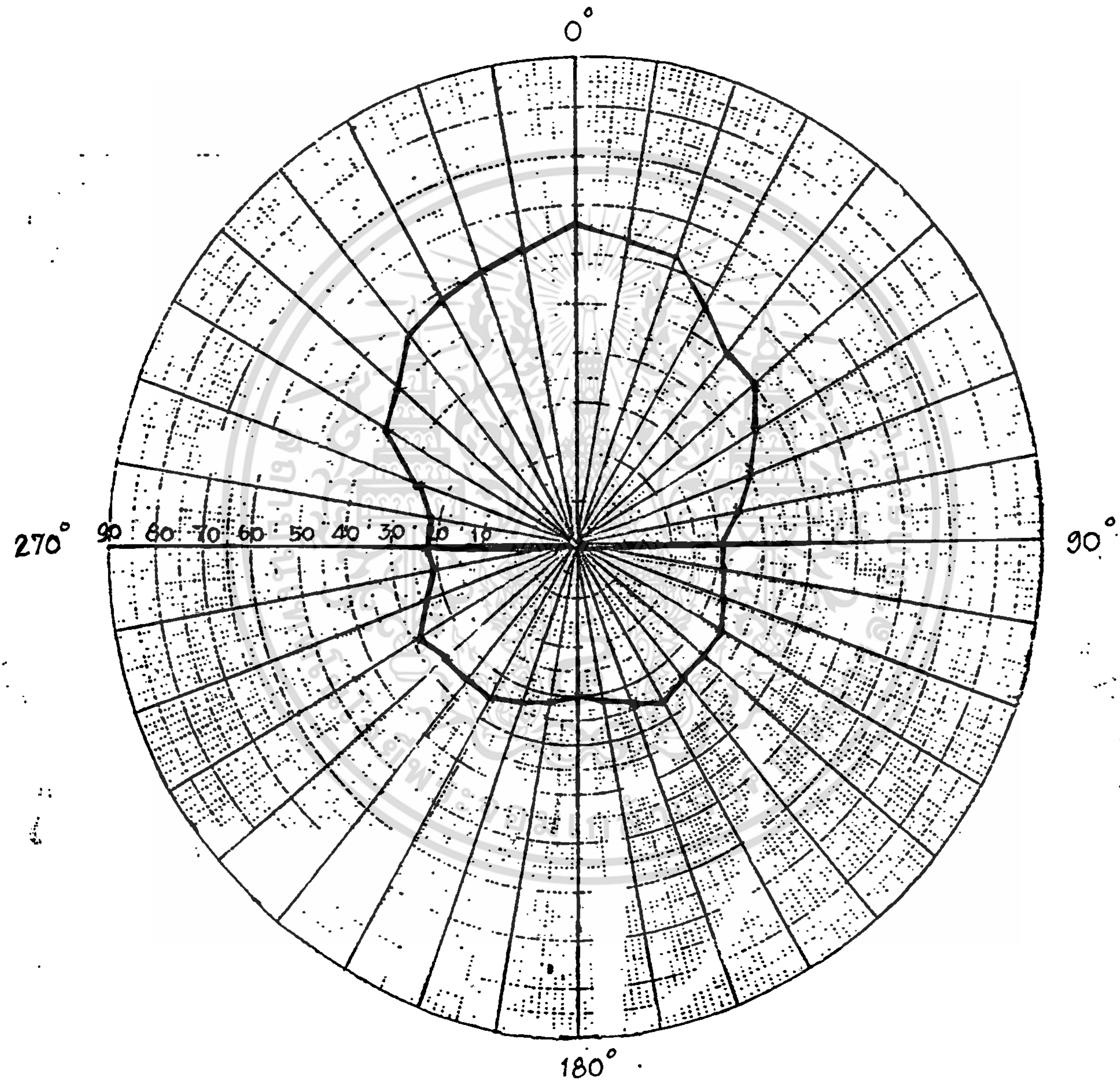
มุม (องศา)	ความเข้มของสัญญาณ (dB)	
	Vertical Polarization	Horizontal Polarization
0	36	56
10	35	54
20	34	53
30	32	46
40	28	40
50	26	40
60	25	35
70	25	30
80	24	25
90	20	22
100	19	22
110	18	23
120	18	25
130	18	25
140	18	25

150	17	26
160	16	24
170	14	22
180	14	20
190	14	21
200	16	23
210	16	25
220	18	25
230	19	26
240	21	28
250	22	24
260	22	21
270	23	22
280	24	22
290	26	26
300	29	37
310	29	40
320	32	46
330	33	48
340	33	50
350	34	52
360	36	56

ตารางที่ 7.1 แสดงค่าต่างๆที่จะใช้หารูปแบบการแพร่กระจายคลื่น



รูปที่ 6.2 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในแนวดิ่ง



รูปที่ 6.3 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในแนวราบ

6.4) สรุปผลการทดลอง

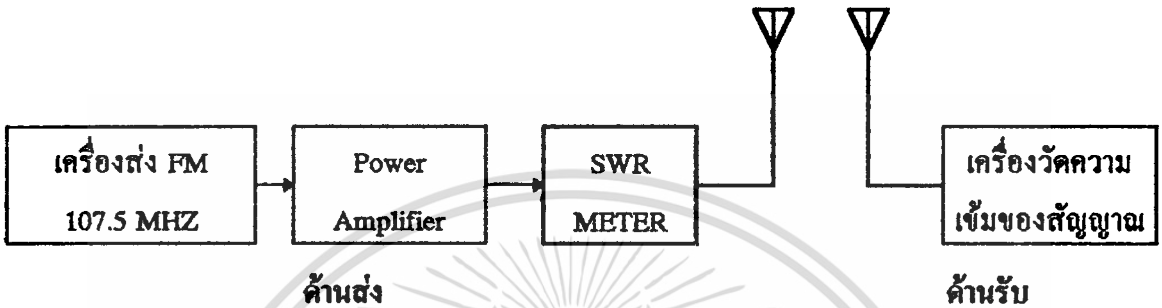
ในทางปฏิบัติถือว่าค่า VSWR ประมาณ 1.5:1 เป็นค่าที่ยอมรับได้เพราะฉะนั้นสายอากาศเครื่องส่งแบบที่มีเกนสูงมีค่า VSWR ต่ำกว่า 1.5:1 คือ 1.4:1 จึงถือว่าเป็นอัตราส่วนที่ยอมรับได้

ส่วนรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จากการวัดความเข้มสัญญาณที่มุมต่างๆนั้น ไม่ว่าจะเป็นการรับโพลาไรซ์เซชั่นในแนวดิ่งหรือแนวราบจะเห็นได้ว่าบีมที่ได้มีการบังคับทิศทางไปด้านหน้ามากกว่าด้านข้างและด้านหลังเป็นไปตามความต้องการของผู้จัดทำ แต่การรับโพลาไรซ์เซชั่นแบบแนวราบจะได้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่มีการบังคับทิศทางได้ดีกว่าและให้ความเข้มของสัญญาณที่แรงกว่าการรับโพลาไรซ์เซชั่นในแนวดิ่งอย่างเห็นได้ชัด

บทที่ 7

การทดลองวัดความเข้มสัญญาณภาคสนาม(Field Test) ของสายอากาศที่มีเกนสูงเทียบกับสายอากาศแบบซุปเปอร์เกน

7.1) บล็อคไดอะแกรมของการทดลอง



รูปที่ 7.1 การเชื่อมต่อวงจรที่ใช้ในการรับ/ส่งวิทยุ

เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องส่งสัญญาณ FM ความถี่ 107.5 MHZ	1 เครื่อง
2) Power Amplifire ขนาด 30 วัตต์	1 เครื่อง
3) VSWR METER	1 เครื่อง
4) เครื่องวัดความเข้มของสัญญาณ(Field strenght meter)	1 เครื่อง
5) สายอากาศด้านส่งแบบที่มีเกนสูง	1 ต้น
6) สายอากาศทางด้านรับแบบไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟ	1 ต้น
7) เครื่องรับส่งวิทยุแบบมือถือ	2 เครื่อง
8) แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง(D.C. Supply) 12 โวลท์	1 เครื่อง
9) สายนำสัญญาณพร้อมข้อต่อต่างๆ	

7.2) ขั้นตอนการทดลอง

1. กำหนดจุดที่จะทำการวัดความเข้มของสัญญาณ

จุดที่ 1	ระยะห่าง	1	กิโลเมตร	ทำมุม	90°	กับสายอากาศทางด้านส่ง
จุดที่ 2	ระยะห่าง	1.3	กิโลเมตร	ทำมุม	80°	กับสายอากาศทางด้านส่ง
จุดที่ 3	ระยะห่าง	1.3	กิโลเมตร	ทำมุม	100°	กับสายอากาศทางด้านส่ง
จุดที่ 4	ระยะห่าง	2	กิโลเมตร	ทำมุม	90°	กับสายอากาศทางด้านส่ง

2.ทำการติดตั้งสายอากาศทางด้านส่ง(สายอากาศแบบมีเกนสูงและสายอากาศแบบซุปเปอร์เกน)บริเวณชั้นดาดฟ้าของ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยปรับทิศทางของสายอากาศด้านส่งไปยังบริเวณที่จะทำการวัด

3. ประกอบอุปกรณ์ทางด้านส่งดังรูปที่ 7.1

4. ณ. บริเวณจุดที่ 1 ทำการประกอบอุปกรณ์ทางด้านรับดังรูปที่ 7.1

5.ทางด้านส่งทำการส่งสัญญาณ FM ออกอากาศโดยใช้สายอากาศแบบมีเกนสูงในความถี่ 107.5 MHZ

6. ณ. จุดที่ 1 ทำการวัดความเข้มของสัญญาณความถี่ 107.5 MHZ (บันทึกผลการทดลอง)

7.ปิดเครื่องส่งทำการเปลี่ยนสายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบซุปเปอร์เกนแล้วทำการส่งสัญญาณออกอากาศในความถี่ 107.5 MHZ

8. ณ. จุดที่ 1 ทำการวัดความเข้มของสัญญาณความถี่ 107.5 MHZ (บันทึกผลการทดลอง)

9. เปลี่ยนจุดที่จะทำการวัดความเข้มของสัญญาณ แล้วทำการวัดตามข้อที่ 4-8

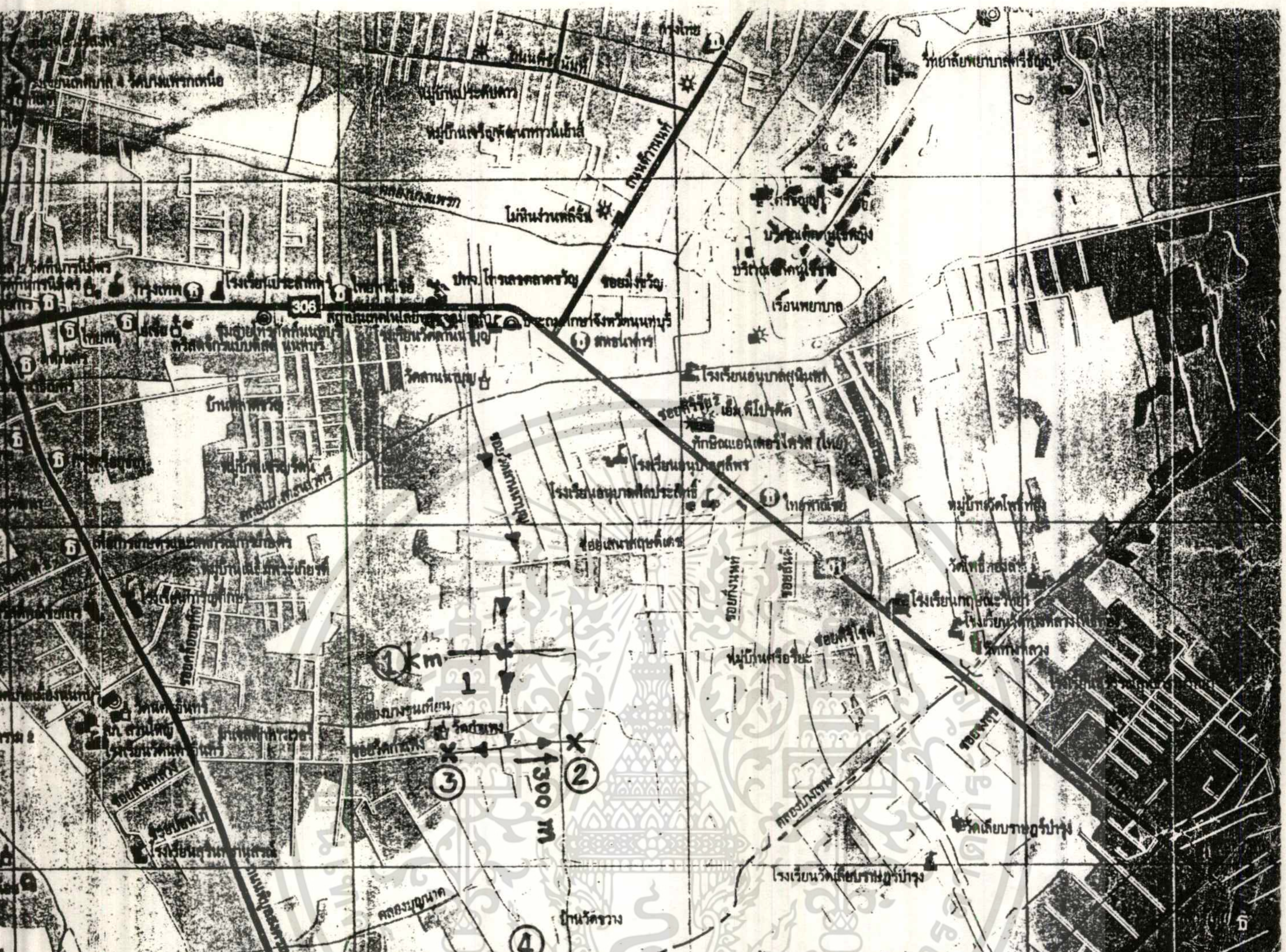
ข้อควรระวัง

- ขณะเปลี่ยนสายอากาศทางด้านส่งต้องทำการปิดเครื่องส่งก่อนทุกครั้ง แล้วค่อยทำการเปลี่ยนสายอากาศ

7.3) ตารางบันทึกผลการทดลอง

จุดที่	ความถี่ 107.5 MHZ	
	High Gain Antenna (dB)	Super Gain Antenna (dB)
1	32	28
2	22	16
3	10	8
4	24	14

ตารางที่ 7.1 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองวัดความเข้มภาคสนาม



รูปที่ 7.2 แผนที่แสดงเส้นทางและจุดที่จะทำการวัดความเข้มภาคสนาม

7.4) สรุปผลการทดลอง

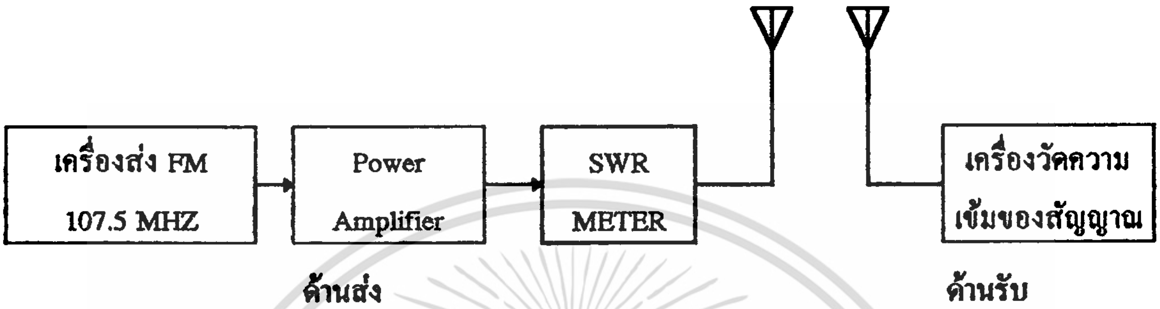
สายอากาศแบบมีเกนสูงและแบบซุปเปอร์เกน เป็นสายอากาศส่งแบบทิศทางเดียวด้วยกันทั้งคู่ แต่จากผลการทดลองที่ได้ เราสามารถเปรียบเทียบความเข้มของสัญญาณที่ได้จากสายอากาศทั้งสองคือ สายอากาศแบบมีเกนสูงให้ความเข้มของสัญญาณได้มากกว่าแบบซุปเปอร์เกนในทุกๆจุดที่ทำการวัด จึงสามารถสรุปได้ว่า สายอากาสแบบมีเกนสูงที่ออกแบบและสร้างขึ้นมามีประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นที่ดีกว่าสายอากาศแบบซุปเปอร์เกน

สาเหตุที่ความเข้มของสัญญาณในจุดต่างๆที่วัดมีค่าไม่เท่ากัน สามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ จุดที่ 1 จะมีความเข้มของสัญญาณแรงที่สุดเพราะเป็นจุดที่อยู่ใกล้ที่สุด และยังเป็นจุดที่ทำมุมตรงกับทิศทางของเสาอากาศ ส่วนจุดที่ 2และ 3 นั้นจะมีสัญญาณแรงรองลงมาจากจุดที่ 1 เพราะมีระยะไกลกว่าจุดที่ 1 และยังทำมุมเอียงกับทิศทางบีมด์ของสายอากาศอีกด้วย ส่วนจุดที่4 ถึงแม้จะมีทิศทางตรงตรงกับบีมด์ของสายอากาศแต่มีความเข้มของสัญญาณน้อยที่สุด เนื่องจากระยะห่างไกลที่สุด จึงเกิดการลดทอนขึ้นมาก

อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้ในการทดลองนี้ อาจมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นได้เนื่องจากมีสิ่งกีดขวางตามระยะทางจากสายอากาศถึงจุดที่ทำการวัด เช่น ตึก อาคาร บ้าน ต้นไม้ ฯลฯ และยังขึ้นอยู่กับสภาพอากาศอีกด้วย วึ่งสิ่งต่างๆเหล่านี้มีผลต่อการทดลองได้

บทที่ 8
การทดลองวัดหาเกนของสายอากาศแบบมีเกนสูง
เทียบกับสายอากาศไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟ

8.1) บล็อคไดอะแกรมที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 8.1 การเชื่อมต่อวงจรที่ใช้ในการทดลองวัดหาเกนสายอากาศ

เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องส่งสัญญาณ FM ความถี่ 107.5 MHZ	1 เครื่อง
2) Power Amplifier ขนาด 20 วัตต์	1 เครื่อง
3) VSWR METER	1 เครื่อง
4) เครื่องวัดความเข้มของสัญญาณ(Field strenght meter)	1 เครื่อง
5) สายอากาศทางด้านส่งแบบมีเกนสูง	1 ต้น
6) สายอากาศทางด้านรับแบบไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟ	2 ต้น
7) เครื่องรับส่งวิทยุแบบมือถือ	2 เครื่อง
8) แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง(D.C. Supply) 12 โวลท์	1 เครื่อง
9) สายนำสัญญาณพร้อมข้อต่อแบบต่างๆ	

8.2) ขั้นตอนการทดลอง

1. ที่เครื่องส่งทำการประกอบอุปกรณ์ตามรูปที่ 8.1

2. ที่เครื่องรับ(จุดที่ 1 ระยะทาง 1 กิโลเมตรจากเครื่องส่ง)ทำการประกอบอุปกรณ์ตามรูปที่ 8.1 โดยใช้สายอากาศรับเป็นแบบไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟ

3. ที่เครื่องส่งทำการออกอากาศสัญญาณ FM ความถี่ 107.5 MHZ โดยใช้สายอากาศแบบมีเกนสูงเป็นสายอากาศส่งโดยหันทิศทางไปยังบริเวณเครื่องรับ

4. ที่เครื่องรับทำการวัดความเข้มของสัญญาณ โดยใช้โพลาไรซ์เซชั่นแบบแนวดิ่ง(บันทึกผลการทดลอง)

5. ปิดเครื่องส่ง ทำการเปลี่ยนสายอากาศส่งเป็นแบบไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟโดยส่งโพลาไรซ์เซชั่นแบบแนวดิ่งแล้วทำการออกอากาศสัญญาณ FM ความถี่ 107.5 MHZ

6. ทำการทดลองตามหัวข้อที่ 4

8.3) ตารางบันทึกผลการทดลอง

ชนิดของสายอากาศส่ง	ความเข้มของสัญญาณ (dB)
1. สายแบบมีเกนสูง	36
2. สายอากาศไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟ	26

ตารางที่ 8.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มสัญญาณของสายอากาศทั้ง 2 แบบ

8.4) สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ สายอากาศแบบมีเกนสูงให้ความเข้มของสัญญาณเท่ากับ 36 dB ส่วนสายอากาศแบบไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟให้ความเข้มของสัญญาณเท่ากับ 26 dB สายอากาศแบบมีเกนสูงให้ความเข้มของสัญญาณได้มากกว่าสายอากาศแบบไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟในขณะที่มีกำลังส่งเท่ากันซึ่งเป็นสิ่งยืนยันได้ว่าสายอากาศแบบมีเกนสูงที่เราออกแบบและสร้างขึ้นมานั้นมีเกนสูงกว่าสายอากาศไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟ

สำหรับค่าของเกนสายอากาศแบบมีเกนสูงหาได้จาก

เกน = สายอากาศที่ต้องการหาค่าเกน - สายอากาศที่นำมาเปรียบเทียบ

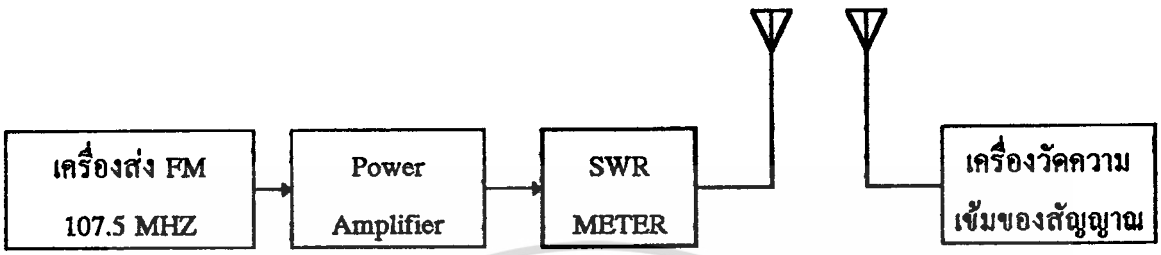
= 36 - 26

= 10 dB

∴ สายอากาศแบบมีเกนสูงจะมีค่าเกนด้านหน้าเหนือกว่าสายอากาศไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟ 10 dB หรือมีค่าเกนด้านหน้าเท่ากับ 10 dBd

บทที่ 9
การทดสอบหาโพลาไรซ์เซชั่นของสายอากาศแบบมีเกนสูง

9.1) บล็อคไดอะแกรมที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 9.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบหาโพลาไรซ์เซชั่น

เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องส่งสัญญาณ FM ความถี่ 107.5 MHZ	1 เครื่อง
2) Power Amplifier ขนาด 20 วัตต์	1 เครื่อง
3) VSWR METWR	1 เครื่อง
4) เครื่องวัดความเข้มของสัญญาณ(Field strenght meter)	1 เครื่อง
5) สายอากาศทางด้านส่งแบบที่มีเกนสูง	1 ต้น
6) สายอากาศทางด้านรับแบบไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟ(ความถี่ 107.5 MHZ)	1 ต้น
7) เครื่องรับส่งวิทยุแบบมือถือ	2 เครื่อง
8) แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง(D.C. Supply) 12 โวลท์	1 เครื่อง
9) สายนำสัญญาณพร้อมข้อต่อต่างๆ	

9.2) ขั้นตอนการทดลอง

1. ที่เครื่องส่งทำการประกอบอุปกรณ์ตามรูปที่ 9.1 โดยใช้สายอากาศส่งแบบมีเกนสูง

2.ที่เครื่องรับประกอบวงจรตามรูปที่9.1 โดยใช้สายอากาศรับแบบไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟความถี่ 107.5 MHZ

3. ที่เครื่องส่งทำการออกอากาศสัญญาณ FM ความถี่ 107.5 MHZ

4.ที่เครื่องส่งทำการวัดความเข้มของสัญญาณโพลาไรซ์เซชั่นแบบแนวดิ่งโดยการให้สายอากาศรับอยู่ในแนวดิ่ง(บันทึกผลการทดลอง)

5. วัดความเข้มสัญญาณโพลาไรซ์เซชั่นแบบแนวราบ โดยการให้สายอากาศรับอยู่ในแนวนอนหันทิศทางรับไปยังสายอากาศส่ง(บันทึกผลการทดลอง)

6. วัดความเข้มของสัญญาณโพลาไรซ์เซชั่นแบบแนวเอียง โดยการให้สายอากาศรับอยู่ในแนวเอียง(ในที่นี้ให้เอียง 45°)หันทิศทางไปทางสายอากาศส่ง(บันทึกผลการทดลอง)

9.3) ตารางบันทึกผลการทดลอง

โพลาไรซ์เซชั่น	ความเข้มสัญญาณ (dB)
Vertical	36
Horizontal	56
Slant	45

ตารางที่ 9.1 แสดงค่าความเข้มสัญญาณของโพลาไรซ์เซชั่นแบบต่างๆ

9.4) สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าถ้ารับสัญญาณโพลาไรซ์เซชั่นแบบแนวนอนจะให้ค่าความเข้มของสัญญาณมากที่สุดคือ 56 dB รองลงมาคือโพลาไรซ์เซชั่นแบบแนวเอียงคือ 45 dB และสุดท้ายคือโพลาไรซ์เซชั่นแบบแนวดิ่งคือ 36 dB ทำให้เราทราบว่าสายอากาศแบบมีเกนสูงที่ออกแบบและสร้างขึ้นมานั้นให้สัญญาณในโพราไรซ์เซชั่นแบบแนวราบได้แรงที่สุดแต่ก็ยังให้สัญญาณโพลาไรซ์เซชั่นในแนวอื่นได้ดีด้วย

สรุปได้ว่าสายอากาศแบบมีเกนสูงนี้ให้โพลาไรซ์เซชั่นแบบลิเนียร์เพราะสัญญาณความแรงของสัญญาณในแต่ละโพลาไรซ์เซชั่นไม่เท่ากัน แต่ถ้าจะให้เป็นโพลาไรซ์เซชั่นแบบเซอร์กูล่าร์นั้นจะต้องให้สัญญาณความแรงได้เท่ากันในทุกๆโพลาไรซ์เซชั่น

บทที่ 10

ปัญหาในการทดลองและการพัฒนาสายอากาศต่อไป

10.1) ปัญหาในการทดลอง

1) การติดต่อประสานงานของจุดที่ทำการวัดและสถานีส่งมีความคลาดเคลื่อน

2) เนื่องจากมีสิ่งกีดขวางทางเดินของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากสถานีส่งไปยังจุดวัดจึงทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการทดลองวัดค่าต่างๆของสายอากาศได้เพราะสาเหตุนี้อาจทำให้ผลการทดลองที่ได้จากการปฏิบัติงานจริงมีความคลาดเคลื่อนจากทางทฤษฎีได้

3) บุคคลากรที่จะช่วยในการทดลองมีไม่เพียงพอเนื่องจากต้องออกปฏิบัติการนอกพื้นที่และต้องติดต่อประสานงานกันระหว่างด้านส่งและด้านรับ

4) สภาพภูมิอากาศไม่เอื้ออำนวย

5) การเคลื่อนย้ายสายอากาศมีความลำบากเนื่องจากสายอากาศมีขนาดใหญ่

10.2) การพัฒนา

จากการออกแบบและสร้างสายอากาศแบบมีเกนสูงนี้จากการทดลองทำให้เราทราบว่า สายอากาศที่สร้างขึ้นมานี้มีประสิทธิภาพดีกว่าสายอากาศแบบซุปเปอร์เกน กล่าวคือ สามารถส่งสัญญาณไปได้ไกลกว่า และครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่า

จากผลการทดลองทำให้เราทราบว่า สายอากาศที่เราออกแบบและสร้างมีความสามารถในระดับหนึ่ง ในการพัฒนาขั้นต่อไปจะทำให้สายอากาสนี้มีประสิทธิภาพดีขึ้น คือ ทำให้มีเกนสูงขึ้นมีบีมวิดท์แคบลง บังคับทิศทางได้ดีขึ้นและครอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้นในขณะที่ใช้กำลังส่งเท่าๆกัน

ภาคผนวก

ชื่อเรียกและคำย่อเกี่ยวกับสายโคแอกเซียลที่ควรรู้

ฉนวนหรือสารไดอิเล็กตริก (insulation หรือ dielectric) มักจะเป็น PE (โพลีเอธีลีน) หรือ โฟม (cellular PE)

ลวดตัวนำตรงกลาง (inner conductor หรือ center conductor)

ชีลด์หรือตัวนำภายนอกหรือลวดทองแดงถัก (shield หรือ outer conductor หรือ braided copper wire)

เปลือกหุ้ม (jacket หรือ sheath) มักจะเป็น PE (โพลีเอธีลีน-มักจะเป็นสีดำหรือสีธรรมชาติของสาร) หรือ PVC (โพลีไวนิลคลอไรด์-มักจะเป็นสีเทาหรือดำหรือขาว) หรือ NMV (non-migratory PVC-มักจะเป็นสีเทา หรือดำ)

RG-8A/U

- RG: ย่อมาจากคำว่า Radio Guide ซึ่งหมายถึงสายนำคลื่นวิทยุ
- U: ย่อมาจากคำว่า Utility หรือ Universal ซึ่งหมายถึงใช้งานทั่วไป
- 8: เป็นตัวเลขแสดงเบอร์ของสายโคแอกเซียล
- A: ตัวอักษร A, B, C (อาจมีหรือไม่มีแล้วแต่กรณี) แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น วัสดุทำเปลือกหุ้มเปลี่ยนไป, จำนวนลวดตรงกลางต่างกัน, อิมพีแดนซ์ต่างกันเล็กน้อย, อัตราการสูญเสียต่างกันเล็กน้อย ฯลฯ

3C-2V

- 3: ตัวเลขแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกโดยประมาณของสารไดอิเล็กตริก
- C: แสดงค่าอิมพีแดนซ์
  - C = 75Ω (เปลือกหุ้มมักจะเป็นสีดำหรือขาว)
  - D = 50Ω (เปลือกหุ้ม PVC มักจะเป็นสีเทาหรือขาว ถ้าเป็น PE มักจะเป็นสีดำ)
- 2: แสดงชนิดของสารไดอิเล็กตริก
  - 2 = PE
  - F = โฟม
- V: แสดงลักษณะของชีลด์ + เปลือกหุ้ม เช่น
  - B = ชีลด์ทองแดง + ชีลด์อะลูมิเนียม + PVC
  - E = ชีลด์ทองแดง + PE
  - L = ชีลด์อะลูมิเนียม + PVC
  - N = ชีลด์ทองแดง + ไนล่อนถัก
  - V = ชีลด์ทองแดง + PVC
  - W = ชีลด์ทองแดง 2 ชั้น + PVC

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของสายนำสัญญาณเบอร์ต่าง ๆ

เบอร์ของสาย	อิมพีแดนซ์ (Ω)	เส้นผ่านศูนย์กลางสาย (มม.)	จำนวนลวดตรงกลาง	ตัวคูณความเร็ว	อัตราการสูญเสีย (dB) ที่ความยาว 100 เมตร 10MHz	30 MHz	50 MHz	100 MHz	145MHz	200 MHz	400MHz	1 GHz	ความจุไฟฟ้า (pF/เมตร)	แรงดันใช้งานสูงสุด(V_{rms})	บาท/เมตร
RG-8/U	52	10.3 (PVC)	7	0.66	2.0	3.7	5.2	7.2	8.8	10.5	15.4	29.2	96.8	4000	23 ~ 28.50
RG-8/U โฟม	50	10.3 (PVC)	1	0.78	1.5	2.9	3.9	5.6	7.4	8.9	13.8	23.4	85.3	1500	-
RG-8A/U	52	10.3 (NMV)	7	0.66	2.0	3.7	5.2	7.2	8.8	10.5	15.4	29.2	96.8	4000	28 ~ 29.50
RG-11/U	75	10.3 (PVC)	7T	0.66	2.0	3.6	5.2	7.2	9.0	11.0	15.7	25.6	67.3	4000	28 ~ 28.50
RG-11/U โฟม	75	10.3 (PVC)	1	0.78	-	2.5	3.3	-	5.6	-	9.8	-	55.4	1600	
RG-11A/U	75	10.3 (NMV)	7T	0.66	2.0	3.6	5.2	7.2	9.0	11.0	15.7	25.6	67.3	4000	
RG-58/U	53.5	4.9 (PVC)	1	0.66	4.1	7.6	10.2	14.9	18.6	22.3	32.8	55.8	93.5	1900	10 ~ 12
RG-58A/U	50	4.9 (PVC)	19T	0.66	4.3	8.1	10.8	16.1	19.9	23.9	37.7	70.5	101.0	1900	10 ~ 15
RG-58A/U โฟม	50	4.9 (PVC)	1	0.78	-	-	10.5	14.8	17.8	21.0	29.5	47.6	85.3	600	
RG-58C/U	50	4.9 (NMV)	19T	0.66	4.3	8.1	10.8	16.1	19.9	23.9	37.7	70.5	101.0	1900	12
RG-59/U	73	6.1 (PVC)	1	0.66	3.6	6.9	7.9	11.2	13.6	16.1	23.3	39.7	68.9	2300	
RG-59/U โฟม	75	6.1 (PVC)	1	0.78	2.5	4.5	5.9	8.5	10.4	12.5	17.8	28.9	56.7	800	
RG-59B/U	75	6.1 (NMV)	1	0.66	3.6	6.9	7.9	11.2	13.6	16.1	23.0	39.4	68.9	2300	16
RG-174/U	50	2.5 (PVC)	7	0.66	12.8	-	21.7	29.2	34.3	39.4	57.4	98.4	101.0	1500	
RG-213/U	50	10.3 (NMV)	7	0.66	2.0	3.7	5.2	7.2	8.8	10.5	15.4	29.2	101.0	4000	
RG-214/U (ชีลด์ 2 ชั้น)	50	10.8 (NMV)	7S	0.66	2.0	3.7	5.2	7.2	8.8	10.5	15.4	29.2	101.0	5000	
RG-218/U	50	22.1 (NMV)	7	0.66	0.78	1.5	-	3.0	3.9	4.9	-	-	96.8	11000	
1.5C-2V	75	3.1 (PVC)	1	0.66	9.8	14.5	-	-	33.0	39.0	-	-	69.0	300	
2.5C-2V	75	4.0 (PVC)	1	0.66	5.2	9.0	-	-	21.0	25.0	-	-	69.0	500	
3C-2V	75	5.8 (PVC)	1	0.66	4.4	7.7	-	-	17.4	20.6	-	-	67.0	1000	5 ~ 7
(3C-2V)	75	5.8 (PVC)	7	0.66	4.8	8.6	-	-	19.4	22.9	-	-	67.0	1000	
5C-2V	75	7.5 (PVC)	1	0.66	2.8	4.9	-	-	11.2	13.2	-	-	67.0	2000	8 ~ 12
(5C-2V)	75	7.5 (PVC)	7	0.66	3.3	5.8	-	-	13.4	15.9	-	-	67.0	2000	
7C-2V	75	10.2 (PVC)	1	0.66	1.8	3.2	-	-	7.6	9.0	-	-	67.0	4000	23 ~ 40
(7C-2V)	75	10.2 (PVC)	7	0.66	2.1	3.7	-	-	8.9	10.6	-	-	67.0	4000	
10C-2V	75	13.4 (PVC)	1	0.66	1.4	-	-	-	6.2	7.4	-	-	67.0	5000	
(10C-2V)	75	13.4 (PVC)	7	0.66	1.8	3.1	-	-	7.2	8.6	-	-	67.0	5000	
1.5D-2V	50	2.9 (PVC)	7	0.66	8.5	15.5	-	26.5	34.2	40.0	-	100.0	104	300	
2.5D-2V	50	4.3 (PVC)	1	0.66	5.3	8.6	-	15.2	19.2	23.5	-	55.3	100	500	
3D-2V	50	5.5 (PVC)	1	0.66	4.4	7.7	-	13.8	17.0	-	-	50.5	100	1000	
(3D-2V)	50	5.7 (PVC)	7	0.66	4.6	8.0	-	15.6	19.0	22.5	-	56.3	100	1000	
5D-2V	50	7.5 (PVC)	1	0.66	2.6	4.6	-	8.8	10.6	12.5	-	33.6	100	2000	
(5D-2V)	50	7.5 (PVC)	7	0.66	2.8	4.9	-	10.0	12.2	14.5	-	37.3	100	2000	
8D-2V	50	11.5 (PVC)	1	0.66	1.5	-	-	5.6	7.0	-	-	22.7	100	4000	
(8D-2V)	50	11.5 (PVC)	7	0.66	2.0	3.5	-	6.3	7.9	9.5	-	24.9	100	4000	
10D-2V	50	13.7 (PVC)	1	0.66	1.4	2.4	-	4.7	5.6	6.5	-	19.7	-	5000	
(10D-2V)	50	13.7 (PVC)	7	0.66	1.4	-	-	5.3	6.6	-	-	21.4	-	-	
3D-LFV (โฟม)	50	5.0 (PVC)	1	0.78	-	-	-	-	15.4	-	27.6	-	-	-	13 ~ 18
5D-FB (โฟม/ชีลด์ 2 ชั้น)	50	7.5 (PVC)	1	0.79	-	-	-	-	7.8	-	13.8	-	-	-	18 ~ 22
8D-FB (โฟม/ชีลด์ 2 ชั้น)	50	11.1 (PVC)	1	0.79	-	-	-	-	5.0	-	9.0	-	-	-	47 ~ 50
10D-FB (โฟม/ชีลด์ 2 ชั้น)	50	13.0 (PVC)	1	0.79	-	-	-	-	3.8	-	7.0	-	84	-	65 ~ 73
12D-FB (โฟม/ชีลด์ 2 ชั้น)	50	15.4 (PVC)	1	0.79	-	-	-	-	3.2	-	5.9	-	84	-	120 ~ 127
hard line $\frac{3}{8}$" Alumi Foam	52	-	1	0.81	-	1.8	2.4	-	4.3	-	7.5	-	82	-	
hard line $\frac{1}{2}$" Alumi Foam	52	-	1	0.81	-	1.4	1.8	-	3.3	-	5.6	-	82	-	
heliax แบบโฟม $\frac{3}{8}$"	50	11.2	1	0.88	1.0	1.6	2.3	3.4	4.1	4.9	7.1	11.5	-	-	
heliax แบบโฟม $\frac{1}{2}$"	50	16.0	1	0.88	0.7	1.3	1.7	2.5	3.1	3.7	5.4	8.9	-	-	
ทวินหลีดยางดี	300	10.3	7	0.85	-	-	-	-	5.9	-	-	-	-	-	3

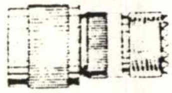
ชื่อโลหะ	ความต้านทานจำเพาะ(ρ) (Ω-mm^2/m)	ความซาบซึมได้ทางแม่เหล็กสัมพัทธ์ (μr)
เงิน(99.98%)	0.0163	1
ทองแดง	0.0172	1
ทองคำ	0.0244	1
โครเมี่ยม	0.0260	-
อลูมิเนียม	0.0283	1
ทังสเตน	0.0552	-
สังกะสี	0.0590	-
ทองเหลือง	0.0641	1
นิเกิล	0.0781	50
เหล็ก(99.98%)	0.1	= 4,000
ดีบุก	0.1151	1
เหล็กกล้า	0.1ถึง0.2	-
ตะกั่ว	0.2083	-
เหล็กหล่อ	0.5ถึง2	= 60
เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel)	0.91	-

ตารางแสดงคุณสมบัติที่สำคัญโดยประมาณของโลหะที่ควรใช้ทำสายอากาศ

Amphenol® คอนเน็กเตอร์สำหรับต่อใช้ในงานย่าน RF และ MICROWAVE

Between series adapters continued *

เบอร์ที่มีจำหน่าย	Adapter Ends
31-217	BNC Plug N Jack
9900	BNC Plug UHF Jack
4400	N Plug UHF Jack



UHF plugs and jacks

เบอร์ที่มีจำหน่าย	Cable RG-/U
* 83-1SP-1050	8, 9, 11, 13, 63, 87A, 149, 213, 214, 216, 225

UHF accessories

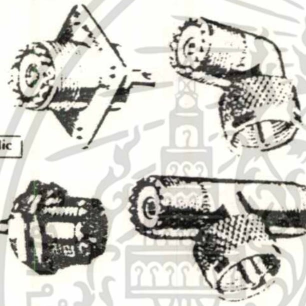
เบอร์ที่มีจำหน่าย	Cable RG-/U
83-185	RG-55, 58, 141, 142 Cable (Except 55A)
83-168	RG-59, 62, 71, 140, 210 Cable

UHF receptacles and adapters

เบอร์ที่มีจำหน่าย	Cable RG-/U
83-1R *	Standard Type
83-798	TFE Insulation

83-878	Rear Mount/Mica-Filled Phenolic

83-1J	Straight/Jack-Jack
83-1F	Bulkhead/Jack-Jack
83-58	Angle Plug-Jack
83-1T	Tee/Jack-Plug-Jack

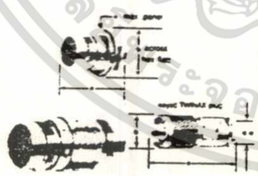


C straight plug

เบอร์ที่มีจำหน่าย	RG-/U Cable
82-530	8, 9, 87A, 213, 214, 225

TWIN plugs and jacks

เบอร์ที่มีจำหน่าย	Cable RG-/U
82-5589 82-5588 82-5590	Times AA-6026, AA-6076, AA-6079, Brand Rex T8756A Belden 8227, 9207 IBM 7362211

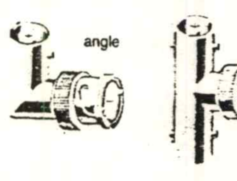


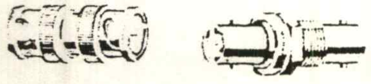
BNC receptacles *

เบอร์ที่มีจำหน่าย	Description
31-203	No. 3-56 Tapped Flange Holes
31-3	No. 3-56 Tapped Flange Holes

BNC adapters *

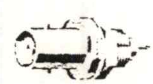
เบอร์ที่มีจำหน่าย	Adapter Ends
31-216	Plug-Plug
31-219	Jack-Jack
31-9	Jack-Plug
31-220H	Jack-Jack
31-208	Jack-Plug-Jack





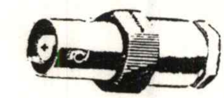
BNC bulkhead receptacles *

เบอร์ที่มีจำหน่าย	Description
31-10+	Isolated From Panel, White Molded Thermo Plastic Insulation
31-221	Thin Panel
31-236	Standard Type



BNC straight jacks *

เบอร์ที่มีจำหน่าย	Cable RG-/U
31-5	55, 58, 141, 142, 223, 400
31-215	59, 62, 71, 140, 210

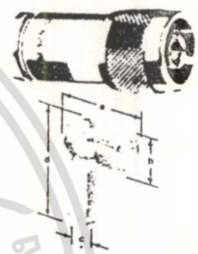


BNC straight plugs *

เบอร์ที่มีจำหน่าย	Cable RG-/U
31-202 31-2 14525	55, 58, 141, 142, 223, 400
31-12 31-212	59, 62, 71, 140, 210, 302

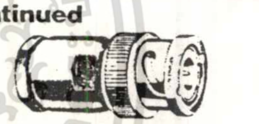
N straight plugs

เบอร์ที่มีจำหน่าย	Cable RG-/U
82-86	5,21,143,212,222
34025	58,252,142
34525	59,62,71,170,210
82-61 82-202 82-3202 82-312 15-425	8,9,144,165,213 214,216,225



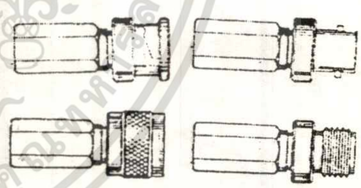
BNC straight plugs * continued

เบอร์ที่มีจำหน่าย	Cable RG-/U
31-4541	59, 62



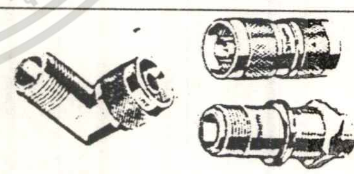
BNC and TNC SURETWISTconnecters continued

เบอร์ที่มีจำหน่าย	Cable RG-/U
58,58R	31-5137
	31-5139
	31-5245
	31-5247
59, 59A, 62, 62A	31-5136
	31-5138
	31-5243
	31-5248



N adapters

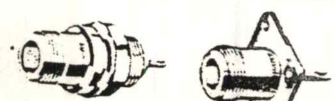
เบอร์ที่มีจำหน่าย	Adapter Ends
82-100	Plug-Plug
82-101	Jack-Jack
82-64	Jack-Plug
91100	Jack-Jack



N receptacles

เบอร์ที่มีจำหน่าย	Adapter Ends
82-24	Standard female
82-97	Standard female

82-611	Standard female, pressurized



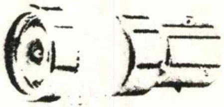
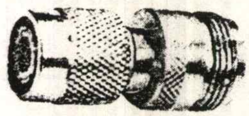
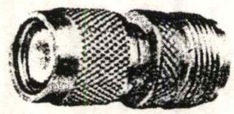
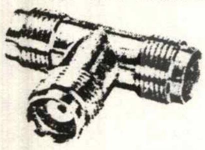
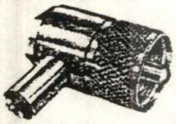
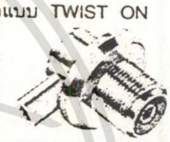
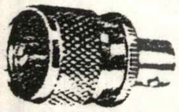
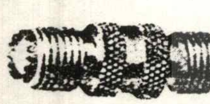
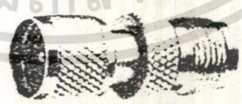
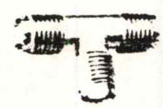
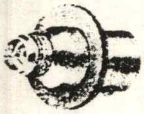
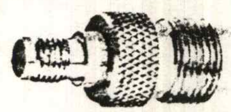
N straight jacks

เบอร์ที่มีจำหน่าย	Cable RG-/U
82-63 82-209 82-313	8, 9, 87A, 114, 165, 213, 214, 216, 225

คอนเน็กเตอร์, ตัวปรับต่อ

สำหรับวิทยุสื่อสาร และระบบงานโทรคมนาคม

UNITED AU-VI

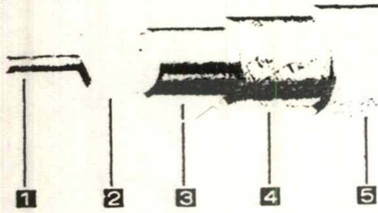
รุ่น CH-7433 TNC ตัวเมีย แบบ 2 ทาง 	รุ่น CH-7438 TNC ตัวผู้ ต่อกับ BNC ตัวเมีย 	รุ่น CH-7440 TNC ตัวผู้ ต่อกับ N ตัวเมีย 	รุ่น CH-7443 TNC ตัวผู้ ต่อกับ UHF ตัวเมีย 
รุ่น CH-7450 TNC ตัวเมีย 3 ทาง 	รุ่น CH-7501 UHF ตัวผู้ แบบ CRIMP TYPE RG58/U 	รุ่น CH-7502 UHF ตัวผู้ แบบ MOLDED CRIMP TYPE RG58/U 	รุ่น CH-7506 UHF ตัวผู้ RG58/U RG8/U 
รุ่น CH-7509 UHF ตัวผู้ ขางอแบบ TWIST ON 	รุ่น CH-7511 SO-239 UHF ตัวเมียแบบ SOLDER, PANEL RE- 	รุ่น CH-7512 UHF ตัวเมีย แบบมี BULKHEAD 	รุ่น CH-7513 UHF ตัวเมีย ขางอแบบ TWIST ON 
รุ่น CH-7519 UHF ตัวผู้ ใช้ต่อกับ BNC ตัวเมีย 	รุ่น CH-7523 UHF ตัวผู้ ต่อกับ TNC ตัวเมีย 	รุ่น CH-7526 UHF ตัวผู้ใช้ ต่อกับ UHF ตัวเมียแบบ 3 ทาง 	รุ่น CH-7527 UHF ตัวผู้ ต่อกับตัวเมีย UHF 2 ทาง 
รุ่น CH-7601 UHF ตัวผู้ ขนาดเล็กแบบ CRIMP TYPE RG58/U 	รุ่น CH-7602 UHF ตัวผู้ ขนาดเล็กแบบ CRIMP TYPE 	รุ่น CH-7603 UHF ตัวเมีย แบบ CRIMP TYPE RG58/U 	รุ่น CH-7604 UHF ตัวเมีย ขนาดเล็กแบบมี BULKHEAD 
รุ่น CH-7606 UHF ตัวเมีย 2 ทาง ขนาดเล็ก 	รุ่น CH-7607 UHF ตัวผู้ ขนาดเล็กต่อกับ BNC ตัวเมีย 	รุ่น CH-7609 UHF ตัวผู้ ขนาดเล็กต่อกับ TNC ตัวเมีย 	รุ่น CH-7610 UHF ตัวผู้ ขนาดเล็กต่อกับ UHF ตัวเมีย 
รุ่น CH-7611 UHF ตัวเมีย ขนาดเล็กต่อกับ BNC ตัวผู้ 	รุ่น CH-7613 UHF ตัวเมีย ขนาดเล็กต่อกับ TNC ตัวผู้ 	รุ่น CH-7614 UHF ตัวเมีย ขนาดเล็กต่อกับ UHF ตัวผู้ 	รุ่น CH-7618 UHF ขนาดเล็ก 3 ทาง 
รุ่น CH-7830 SMA ตัวเมีย ต่อกับ BNC ตัวเมีย 	รุ่น CH-7832 SMA ตัวเมีย ต่อกับ UHF ตัวเมียขนาดเล็ก 	รุ่น CH-7836 SMA ตัวเมีย ต่อกับ TNC ตัวเมีย 	รุ่น CH-7839 SMA ตัวเมีย ต่อกับ UHF ตัวเมีย 

KANSAI TSUSHIN

สายเคเบิ้ลโคแอกเซียลคุณภาพสูง สำหรับใช้งานย่านความถี่ High-Frequency

(โปรดระวังสายปลอม ของแท้มีจำหน่ายที่โชคชัยเท่านั้น)

เป็นผู้แทนจำหน่าย แต่เพียงผู้เดียว ในประเทศไทย



1. INNER CONDUCTOR
2. DIELECTRIC
3,4. OUTER CONDUCTOR
5. SHEATH

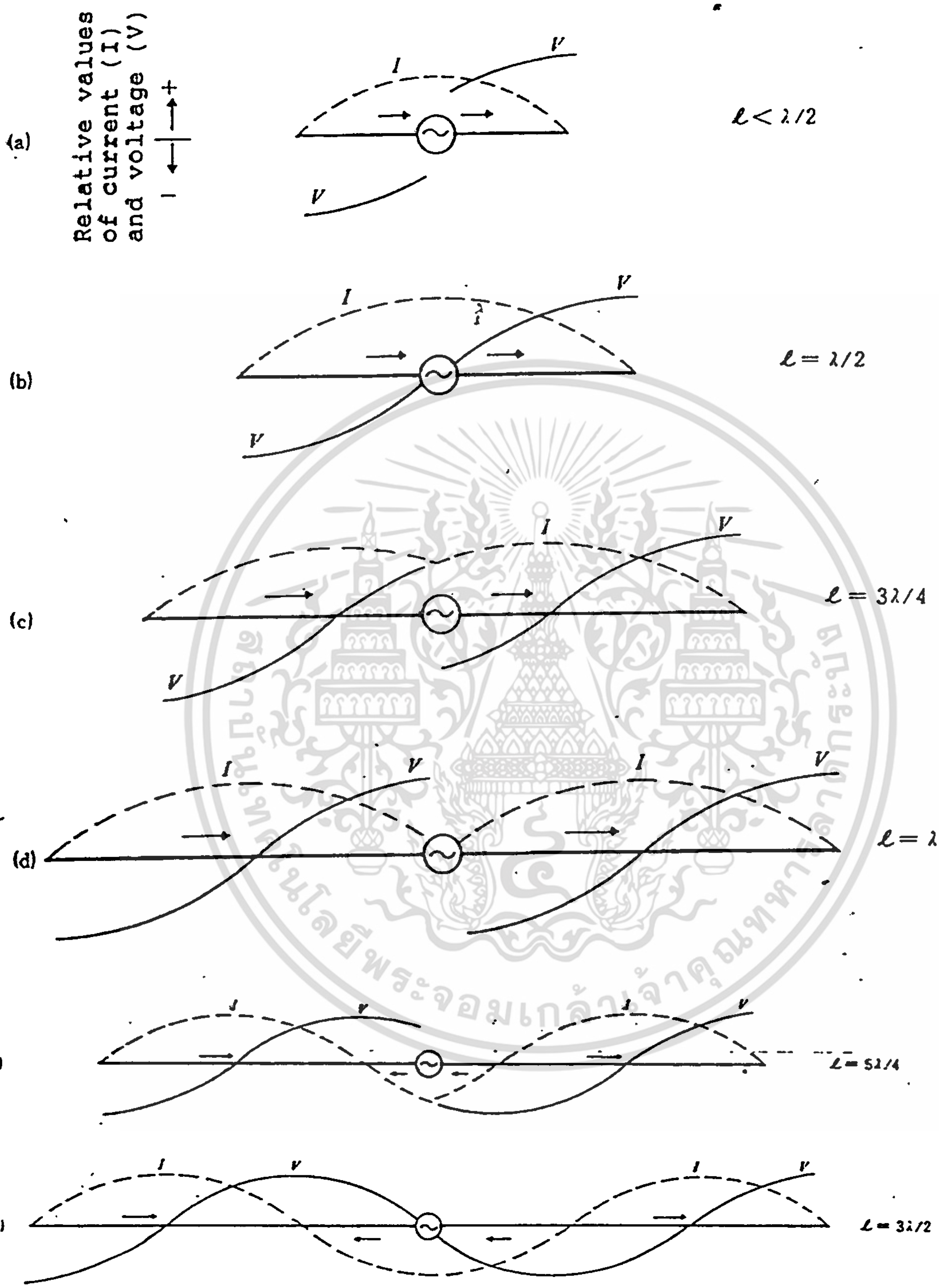
SATELLITE TV CABLE

เบอร์ที่มีจำหน่าย		4C-HFB-NL	4.5C-HFB-NL	5C-HFB-NL	7C-HFB-NL	10C-HFB-NL
INNER CONDUCTOR		AC	AC	AC	AC	AC
NUMBER & WIRE DIAMETER	No/mm	1/0.90	1/1.02	1/1.2 ± 0.03	1/1.80	1/2.40
OUTER DIAMETER	mm	0.90 ± 0.02	1.02 ± 0.03	1.2	1.80 ± 0.03	2.40 ± 0.03
INSULATION		H-PEF	Hi-FOAM (H-PEF)	PEHF	H-PEF	H-PEF
STANDARD THICKNESS	mm	1.40	1.78	1.9	2.75	3.5
MINIMUM THICKNESS	mm	1.12	1.42	1.52	2.20	2.80
OUTER DIAMETER	mm	3.7	4.57	5.0	7.3	9.4 (about)
COLOR		WHITE	WHITE	WHITE	WHITE	WHITE
OUTER CONDUCTOR		TAC-AL	TAC BRAID OVER BONDED ALUMINUM TAPE	TAC-AL	TAC-AL	TAC-AL
PE-ALUMINUM LAMINATE TAPE						
THICKNESS	mm	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
WIDTH	mm	15.0	18	20	27.0	35
BRAIDING WIRE DIAMETER	mm	0.12	0.12	0.12	0.14	0.2 ± 0.008
THREAD & CARRIER		4 & 16	5 & 16	4 & 24 OR 6 & 16	5 & 2	7 & 24
PITCH	(less than) mm	36	30	42 OR 38	45	58
OUTER DIAMETER	mm	4.4	5.25	5.7	8.2	10.40 (about)
SHEATH		PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
THICKNESS	mm	0.80	0.78	0.90	1.05	1.25
OUTER DIAMETER	mm	6.0	6.8	7.5	10.2	12.9 (about)
COLOR		BLACK	BLACK	BLACK	BLACK	BLACK
OVER ALL DIAMETER	mm	6.0	6.8	7.5	10.2	12.9 (about)
MARKING & MARKING COLOR		WHITE	WHITE	WHITE	WHITE	WHITE
KANSAI TSUSHIN_C-HFB-NL MADE IN JAPAN						
ELECTRICAL PROPERTIES						
MAXIMUM CONDUCTOR RESISTANCE (20°C)	Ω/km	28.2	22.9	15.8	10.2	3.92
TEST VOLTAGE	V/min	1000	1000	1000	1000	1000
DIELECTRIC STRENGTH	MΩ·km	1000	1000	1000	1000	1000
ELECTROSTATIC CAPACITY (1 kHz)	nF/km	-	52	52	52	52 (about)
IMPEDANCE	Ω	75 ± 3	75 ± 3	75 ± 3	75 ± 3	75 ± 3
STANDARD ATTENUATION						
90 MHz	dB/km	69	10 MHz 20	90 MHz 52	37	28
220 MHz	dB/km	110	220 MHz 90	220 MHz 83	58	45
770 MHz	dB/km	213	450 MHz 130	770 MHz 162	116	92
1300 MHz	dB/km	284	1000 MHz 205	1300 MHz 217	157	125
1800 MHz	dB/km	342		1800 MHz 261	180	153

Electromagnetic wave classification

Frequency band	Frequency range	Wavelength range	Classification as per wavelength	Metric classification	Application
V L F (Very Low Frequency)	3kHZ~ 30kHz	100 km ~ 10 km	Long wave	Myriametric wave	
L F (Low Frequency)	30kHz ~ 300kHz	10 km ~ 1 km	"	Kilometric wave	Long-wave broadcast
M F (Medium Frequency)	300kHz ~ 3MHz	1 km ~ 100 m	Medium wave ⇣ Medium shortwave	Hectometric wave	Medium-wave broad-cast
H F (High Frequency)	3MHz ~ 30MHz	100 m ~ 10 m	Shortwave	Decametric wave	Shortwave broadcast
V H F (Very High Frequency)	30MHz ~ 300MHz	10 m ~ 1 m	Ultrashort wave	Metric wave	Ultrashort wave broadcast Telecast
U H F (Ultra High Frequency)	300MHz ~ 3GHz	100 cm ~ 10 cm	Microwave	Decimetric wave	Telecast Satellite telecast
S H F (Super High Frequency)	3GHz ~ 30GHz	10 cm ~ 1 cm	Microwave	Centimetric wave	Telecast Satellite telecast
E H F (Extremely High Frequency)	30GHz ~ 300GHz	10 mm ~ 1 mm	Microwave	Millimetric wave	Satellite telecast
	300GHz~ 3000GHz (or 3THz)	1 mm ~ 0.1 mm		Decimillimetric wave	

Note: kHz: kilo (10^3) herz; MHz: mega (10^6) herz; GHz: giga (10^9) herz; THz: tera (10^{12}) herz



Voltage and current distributions on dipole antennas with different lengths

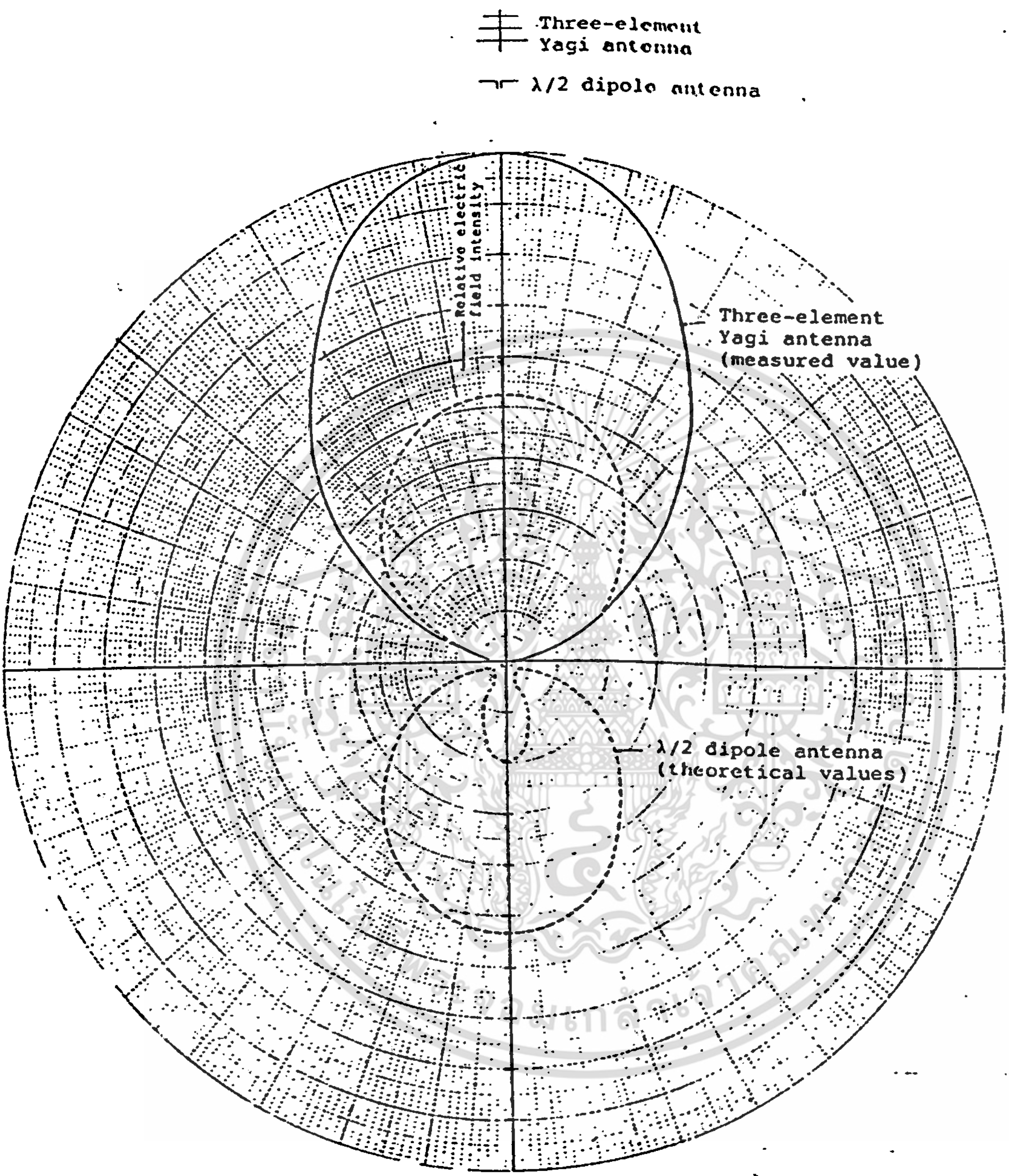


Figure 1.7.2 Comparison between three-element Yagi and λ/2 dipole antennas in directivity (the electric field intensity in the direction of maximum radiation of a three-element Yagi antenna is assumed to be 1)

Gain of various antennas

Single	0.3 dB
2 stacked	3.2
3 stacked	4.9
4 stacked	6.1
6 stacked	7.9
8 stacked	9.1

(a) Gain of superturnstile antenna

	4-direction	3-direc.	2-direc.	1-direc.
Single	-1.5	-0.3	1.5	4.5
2 stacked	2.2	3.4	5.2	8.2
3 stacked	4.0	5.2	7.0	10.0

(dB)

(b) Gain of super-gain antenna

Single	6.2 dB
2 stacked	9.0

(c) Gain of 2-dipole antenna

Single	7.5 dB
2 stacked	10.3
3 stacked	12.0
4 stacked	13.1

(d) Gain of double loop antenna (2L)

Single	1.0 dB
2 stacked	3.8

(e) Gain of vertical dipole antenna

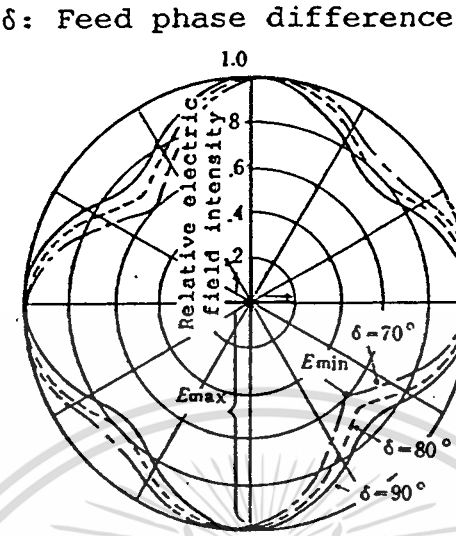
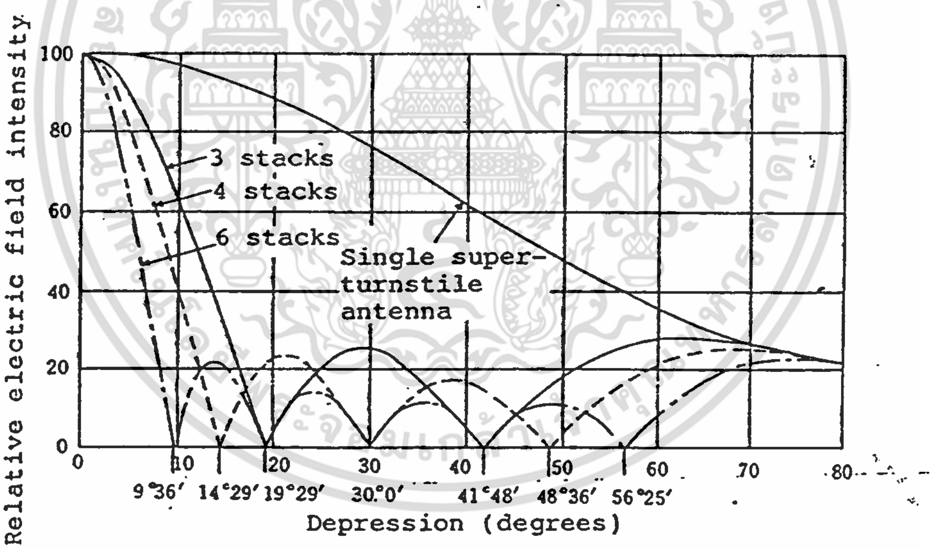


Figure 2.2.2 Vertical directivity of a superturnstile antenna



Horizontal directivity of a superturnstile antenna

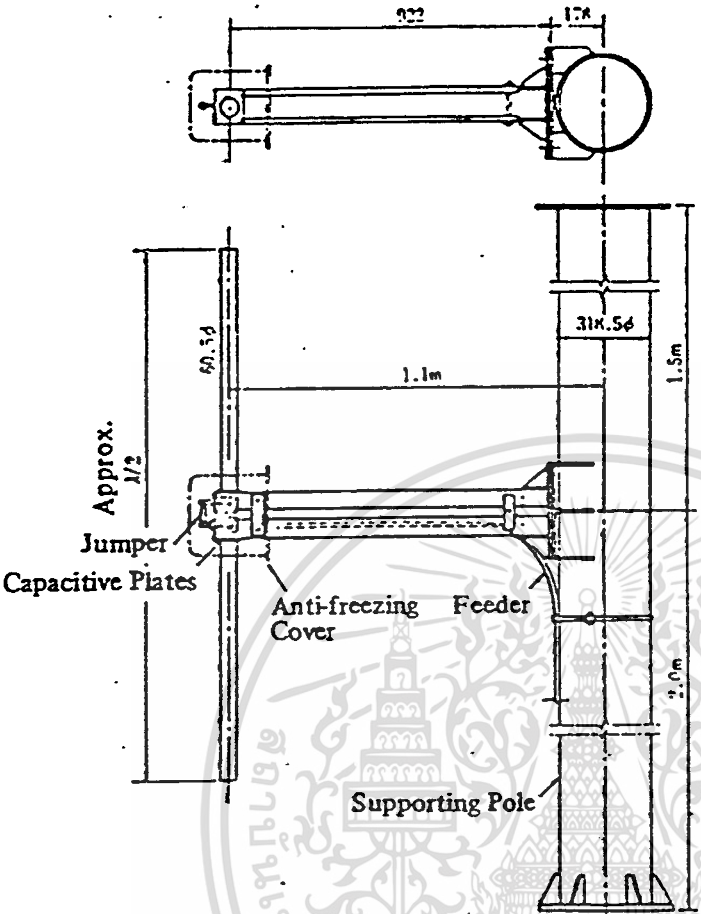
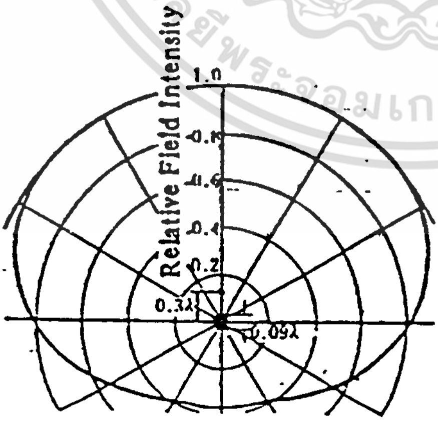


Figure 2.2.10 Vertical dipole antenna



Horizontal directivity of
a vertical dipole antenna

หนังสืออ้างอิง

1. สุชาติ กังวารจิตต์,หลักการทำงานเครื่องรับ/ส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร,หน้าที่ 220-236, 238-241

2. พิชัย ภักดีเจริญพานิช,ทฤษฎีและการใช้งานความถี่ย่านไมโครเวฟ

3. ทนง โชติสรยุทธ์,รวมบทความและโครงงานวิทยุสมัครเล่น 1,บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด,กรุงเทพฯ, 2537

4. วิสันต์ อาชาเคโชพล และ Advance Engineering Group,สายอากาศและเทคนิคการติดตั้ง,หน้าที่ 3,8,17,19,39,44,67

5. PUBLISHED BY : Japan International Cooperation Agency (JICA)
COPYRIGHT BY : NHK Communication Training Institute (NHK-CTI),Fundamental of Antenna and FM Transmitting Antenna

6. DC Green,Radio System TEC level III,Pitman Books limited,1979