สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์

ชุดทดลองสายอากาศ

ANTENNA LABORATORY SET

จักรินทร์ ปุ่นประโคน

นริศักดิ์ เชื่อมสัมพันธ์

เปรมฤดี จันทน์แดง

ลฎาภา ดวงแก้ว

66697

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ ชุดทดลองสายอากาศ

Antenna Laboratory Set

ชื่อนักศึกษา 1. นายจักรินทร์ ปุ่นประโคน รหัสประจำตัว 47035301

2. นายนริศักดิ์ เชื่อมสัมพันธ์ รหัสประจำตัว 47035311

3. นางสาวเปรมฤดี จันทน์แดง รหัสประจำตัว 47035316

4. นางสาวลฎาภา ดวงแก้ว รหัสประจำตัว 47035321

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นายประเสริฐ เดนพันค้อ

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1. อ.อำพล ทองระอา	
2. ผศ.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา	
3. รศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์	
4. อ.ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์	
5. อ.ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันศุกร์ที่ 28 เดือนเมษายน พ.ศ. 2549 เวลา 14.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.สุรสิทธิ์ ราตรี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 1 เดือน พ.ค. พ.ศ 2549

<BT482022>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดทดลองสายอากาศ

Antenna Laboratory Set

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ
2. เพื่อออกแบบชุดทดลองสายอากาศ
3. เพื่อสร้างชุดทดลองสายอากาศ
4. เพื่อทดสอบคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศที่สร้างขึ้น
5. เพื่อนำชุดทดลองสายอากาศไปใช้งาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ
2. ได้แบบของชุดทดลองสายอากาศ
3. ได้ชุดทดลองสายอากาศ
4. ได้ผลประเมินคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ
5. ได้ชุดทดลองสายอากาศไปใช้ประกอบการสอนด้านปฏิบัติเรื่องการศึกษารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	ชุดทดลองสายอากาศ	
นักศึกษา	นายจักรินทร์	ปุนประโคน
	นายนริศักดิ์	เชื่อมสัมพันธ์
	นางสาวเปรมฤดี	จันทน์แดง
	นางสาวลฎาภา	ดวงแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิสุทธิ์	สุนทรกนกพงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ประเสริฐ	เดนพันค้อ
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม	
ปีการศึกษา	2548	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอชุดทดลองสายอากาศ โดยชุดทดลองประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง ส่วนของสายอากาศและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และส่วนที่สอง ส่วนของใบงานที่ใช้ในการทดลอง โดยชุดทดลองได้ผ่านการวัดประเมินคุณภาพโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน และได้คะแนนเฉลี่ย 3.5 ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Antenna Laboratory Set	
Students	Mr.Jakkarin	Punprakhon
	Mr.Narisak	Chuemsumphan
	Miss Premrudee	Chandaeng
	Miss Ladapha	Duangkaew
Advisor	Assoc.Prof.Wisuit	Sunthonkanokpong
Co-Advisor	Mr.Prasert	Kenpankoh
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education	
Program in	Telecommunication Engineering	
Aadamic Year	2548	

ABSTRACT

This thesis present the project of Antenna laboratory Set. The laboratory set consisted of two part, First part was the antenna and equipment, and second part was laboratory work sheet. The results of evaluation in the quality of laboratory set by 3 experts was average value 3.5 .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องมาจากความร่วมมือร่วมใจของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ รศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่เสียสละเวลาในการประเมินคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ และขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านเป็นอย่างมากที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำในการสร้างโครงงาน และแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆในการสร้างชุดทดลอง รวมถึงการจัดทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบคุณห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ และสำนักหอสมุดกลางที่ช่วยอำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูล และสุดท้ายต้องขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและผู้มีพระคุณของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่านที่ได้ให้การสนับสนุนในทุกๆด้าน และยังเป็นผู้ที่คอยให้กำลังใจด้วยดีตลอดมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 จุดมุ่งหมายของโครงงาน	1
1.3 สมมติฐานของการจัดทำโครงงาน	1
1.4 ขีดความสามารถของโครงงาน	2
1.5 ขั้นตอนของการทำโครงงาน	2
1.6 เนื้อหาโดยสังเขป	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 ระบบสื่อสาร	4
2.1.1 อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต	4
2.1.2 เครื่องส่ง	5
2.1.3 ช่องทางสื่อสาร	5
2.1.4 ความถี่และความยาวคลื่น	5
2.1.5 สัญญาณรบกวน	5
2.1.6 เครื่องรับ	6
2.2 รูปแบบและระบบการสื่อสาร	6
2.3 การแบ่งช่วงความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและตัวอย่างการใช้งาน	8
2.4 คุณสมบัติของคลื่น	9
2.5 ความเข้มของสนามไฟฟ้า	11
2.6 การลดทอน	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.7 หลักการของสายอากาศ	13
2.7.1 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	13
2.7.2 ค่าความต้านทาน	14
2.7.3 ค่ารีแอ็กแตนซ์	16
2.7.4 การคัปเปิลสายอากาศ	16
2.8 สายอากาศ	16
2.9 การกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ	17
2.10 ส่วนต่างๆ ของรูปแบบการแพร่คลื่น	19
2.11 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเบื้องต้น	21
2.12 การวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	22
2.13 สายอากาศพื้นฐานแบบต่างๆ	23
2.13.1 สายอากาศไดโพล	23
2.13.2 สายอากาศไดโพลแบบห่วง	24
2.13.3 สายอากาศแบบยากิ	25
2.13.4 สายอากาศแบบแนวนอน	29
2.13.5 สายอากาศแนวดิ่ง	30
2.13.6 สายอากาศแบบช่อง	31
2.13.7 สายอากาศแบบลูป	32
2.14 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง	34
2.15 การแม็ชท์สายนำสัญญาณ	36
2.15.1 การแม็ชท์โดยตรง	36
2.15.2 บาลัน	38
2.16 เครื่องส่งวิทยุ	38
2.16.1 วงจรออสซิลเลเตอร์	38
2.16.2 ความกว้างของแถบคลื่นความถี่	39
2.16.3 คลื่นวิทยุที่คลื่นอื่นปะปนออกไป	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.17 เครื่องรับวิทยุ	40
2.17.1 ประสิทธิภาพของเครื่องรับวิทยุ	40
2.17.2 ดีเทคเตอร์	40
2.17.3 ระบบการรับคลื่นวิทยุ	41
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	43
3.1 การออกแบบสายอากาศ	43
3.1.1 สายอากาศแบบไดโพล	43
3.1.2 สายอากาศไดโพลแบบห่วง	44
3.1.3 สายอากาศแบบยากิ	45
3.1.4 สายอากาศแนวนอน	50
3.1.5 สายอากาศแนวดิ่ง	51
3.1.6 สายอากาศแบบช่อง	52
3.1.7 สายอากาศแบบลูป	53
3.2 แหล่งจ่ายแรงดัน	54
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	55
4.1 กล่าวนำ	55
4.2 วิธีดำเนินการทดสอบ	55
4.3 คุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ	56
4.3.1 การหาคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ	56
4.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ	57
4.4 การทดลองการทำงานของชุดทดลองสายอากาศ	58
4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง	58
4.4.2 ผลการทดลอง	64
บทที่ 5 บทสรุป	68
5.1 สรุป	68
5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ไข	68
5.3 แนวทางการพัฒนา	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บรรณานุกรม	70
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	71
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	79
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	81
ภาคผนวก ง รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	83
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	99
ภาคผนวก ฉ หนังสือแต่งตั้งผู้ทรงคุณวุฒิ	105
ภาคผนวก ช ใบงาน	109
ภาคผนวก ซ เฉลยใบงาน	152
ภาคผนวก ฌ ตัวอย่างใบประเมิน	202
ประวัติผู้แต่ง	204

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแบ่งช่วงความถี่	8
2.2 ลักษณะของงานสื่อสารกับช่วงความถี่ใช้งาน	9
3.1 ความยาวที่เหมาะสมของแต่ละอีลีเมนต์สำหรับสายอากาศยากิที่มีความยาวของบูมต่างกัน 6 ขนาด และเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอีลีเมนต์เป็น 0.0085 λ	48
4.1 คะแนนจากการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านคุณภาพ	56
4.2 ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ	57
ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน	82
ฉ.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้น	104
ฉ.2 ข้อมูลจำเพาะ	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบสื่อสารพื้นฐาน	4
2.2 มุมลู่ออกของการกระจายคลื่นกับการลดต่ำลงของกำลังคลื่นต่อหนึ่งหน่วย	7
2.3 คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่น	10
2.4 การกระจายพลังงานของคลื่น	11
2.5 สายอากาศที่มีจุดป้อน (Feed Point) ตรงกลาง	14
2.6 กราฟของค่าความต้านทาน และรีแอ็กแตนซ์ของสายอากาศที่มีจุดป้อนอยู่กึ่งกลาง	15
2.7 คลื่นทีอีเอ็ม	17
2.8 รูปแบบการกระจายของค่ากระแส และแรงดันบนสายอากาศไดโพล	18
2.9 ตัวอย่างของรูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบแนวนอน	19
2.10 ส่วนของรูปแบบการแพร่คลื่น	20
2.11 รูปเครื่องวัดความเข้มสนามไฟฟ้า	21
2.12 การวัดค่าความเข้มสนามไฟฟ้าโดยใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่	22
2.13 สายอากาศไดโพล	23
2.14 รูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล	24
2.15 ไดโพลแบบห่วงขนาด λ /2	25
2.16 สายอากาศไดโพลแบบ λ /2 พร้อมกับรีแฟลกเตอร์และไดเร็กเตอร์	25
2.17 รูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล λ /2 และรีแฟลกเตอร์ในระนาบแนวราบ	26
2.18 รูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล λ /2 และรีแฟลกเตอร์ในระนาบแนวตั้ง	26
2.19 รูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล λ /2 ,รีแฟลกเตอร์ และไดเร็กเตอร์ในระนาบแนวนอน	27
2.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนไดเร็กเตอร์กับอัตราขยายของสายอากาศยากิในทิศทางที่มีการแพร่มากที่สุด	28
2.21 สายอากาศยากิ	28
2.22 รูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศยากิ	29
2.23 สายอากาศเชิงแนวนอนแบบต่างๆ	30
2.24 สายอากาศเชิงแนวตั้งแบบ Grounded Quarter-wave หรือเรียกว่า สายอากาศแบบมาโคนี่	31
2.25 สายอากาศแบบ Quarter-wave monopole	31
2.26 แสดงสายอากาศแบบช่อง	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 แสดงสายอากาศแบบลูป	32
2.28 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นในแนวระนาบของสายอากาศแบบลูป	32
2.29 แสดงสายอากาศแท่งเฟอร์ไรต์ภายในเครื่องรับวิทยุ	33
2.30 แสดงโครงสร้างของแท่งเฟอร์ไรต์	33
2.31 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศแท่งเฟอร์ไรต์	34
2.32 โมโนกราฟของ VSWR	35
2.33 การต่อไดโพลแบบ λ /2 กับสายทวินลีด 75 โอห์ม	37
2.34 การต่อสายอากาศแบบ λ /2 กับสายโคแอกเชียลขนาด 75 โอห์ม	37
2.35 บาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 1 : 1	38
3.1 ตำแหน่งการออกแบบสายอากาศแบบไดโพล	43
3.2 สายอากาศแบบไดโพลจริงที่ได้จากการออกแบบ	43
3.3 ตำแหน่งการออกแบบสายอากาศแบบไดโพลแบบห่วง	44
3.4 สายอากาศแบบไดโพลแบบห่วงจริงที่ได้จากการออกแบบ	44
3.5 ตำแหน่งส่วนประกอบของสายอากาศแบบยากิ	45
3.6 กราฟช่วยการออกแบบสายอากาศยากิ	46
3.7 กราฟแสดงความยาวของอีลีเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้น เมื่อไดโพลอีลีเมนต์ทะลุผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางของบูมกลม โดยสัมผัสทางไฟฟ้ากับบูมด้วย	49
3.8 สายอากาศยากิจริงที่ได้จากการออกแบบ	49
3.9 ตำแหน่งการออกแบบสายอากาศแบบแนวนอน	50
3.10 สายอากาศแบบแนวนอนจริงที่ได้จากการออกแบบ	50
3.11 ตำแหน่งการออกแบบสายอากาศแบบแนวดิ่ง	51
3.12 สายอากาศแบบแนวดิ่งจริงที่ได้จากการออกแบบ	51
3.13 ตำแหน่งการออกแบบสายอากาศแบบช่อง	52
3.14 สายอากาศแบบช่องจริงที่ได้จากการออกแบบ	52
3.15 ตำแหน่งการออกแบบสายอากาศแบบลูป	53
3.16 สายอากาศแบบลูปจริงที่ได้จากการออกแบบ	53
3.17 วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 แผนผังการดำเนินการทดสอบ	55
4.2 การติดตั้งสายอากาศกับเครื่องส่ง	58
4.3 การติดตั้งสายอากาศส่งและสายอากาศรับ	59
4.4 การต่อสายอากาศไดโพลทางเครื่องส่ง	60
4.5 การต่อสายอากาศไดโพลแบบห่วงทางเครื่องส่ง	61
4.6 การต่อสายอากาศแบบยากิทางเครื่องส่ง	61
4.7 การต่อสายอากาศแนวนอนทางเครื่องส่ง	62
4.8 การต่อสายอากาศแนวดิ่งทางเครื่องส่ง	62
4.9 การต่อสายอากาศแบบช่องทางเครื่องส่ง	63
4.10 การต่อสายอากาศแบบลูปทางเครื่องส่ง	63
4.11 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล	64
4.12 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วง	64
4.13 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิ	65
4.14 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวนอน	65
4.15 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวดิ่ง	66
4.16 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบช่อง	66
4.17 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบลูป	67
ก.1 ด้านหน้าของเครื่องส่ง	72
ก.2 ด้านหลังของเครื่องส่ง	72
ก.3 ด้านหน้าของเครื่อง SWR & POWER METER	73
ก.4 ด้านหลังของเครื่อง SWR & POWER METER	73
ก.5 ด้านหน้าของเครื่องรับ	74
ก.6 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องรับ	74
ก.7 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องส่งกับสายอากาศไดโพล	75
ก.8 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องส่งกับสายอากาศไดโพลแบบห่วง	75
ก.9 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องส่งกับสายอากาศยากิ	76
ก.10 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องส่งกับสายอากาศแนวนอน	76
ก.11 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องส่งกับสายอากาศแนวดิ่ง	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.12 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องส่งกับสายอากาศแบบช่อง	77
ก.13 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องส่งกับสายอากาศแบบลูป	78
ข.1 วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน	80
ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน	80
ข.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน	80
ฉ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องส่ง (ด้านหน้า)	101
ฉ.2 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องส่ง (ด้านหลัง)	101
ฉ.3 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องรับ (ด้านหน้า)	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันการสื่อสารข้อความโดยผ่านคลื่นวิทยุมีอยู่หลายรูปแบบ ซึ่งการสื่อสารโดยผ่านคลื่นวิทยุนี้จำเป็นต้องมีการแพร่กระจายคลื่นออกอากาศ ซึ่งได้ก่อให้เกิดสายอากาศรับและส่งขึ้นมากมายหลายรูปแบบ แต่สายอากาศที่ถือว่าเป็นสายอากาศชนิดพื้นฐานมีอยู่ด้วยกันไม่กี่ชนิด จึงเหมาะสมที่จะนำมาศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ตลอดจนการนำไปออกแบบที่ถูกต้องและมีหลักเกณฑ์ แต่ปัจจุบันชุดฝึกที่ใช้ในการทดลองสายอากาศยังไม่เพียงพอ และเนื่องจากชุดทดลองสายอากาศมีความสำคัญในการเรียนการสอนวิชาวิศวกรรมสายอากาศเป็นอย่างมาก และชุดทดลองนี้จะสามารถทำให้ผู้เรียนทราบถึงคุณสมบัติของสายอากาศชนิดต่างๆ คือ สายอากาศไดโพล สายอากาศไดโพลแบบห่วง สายอากาศแบบยากิ สายอากาศแนวนอน สายอากาศแนวดิ่ง สายอากาศแบบช่อง และสายอากาศแบบลูป อย่างชัดเจน กลุ่มของนักศึกษาจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญและประโยชน์ของชุดทดลองนี้ จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียนในรายวิชาวิศวกรรมสายอากาศและผู้สนใจต่อไป

1.2 จุดมุ่งหมายของโครงงาน

คณะผู้จัดทำได้สร้างชุดทดลองสายอากาศขึ้นมา เพื่อให้ผู้ที่มีความสนใจและนักศึกษาได้เรียนรู้ถึงคุณสมบัติของสายอากาศพื้นฐานชนิดต่างๆ เช่น สายอากาศไดโพล สายอากาศแบบห่วง สายอากาศแบบยากิ สายอากาศแนวนอน สายอากาศแนวดิ่ง สายอากาศแบบช่อง และสายอากาศแบบลูป แล้วนำความรู้เรื่องสายอากาศพื้นฐานที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ที่มีความเกี่ยวข้องกับสายอากาศ

1.3 สมมติฐานของการจัดทำโครงงาน

เมื่อผ่านการเรียนทฤษฎีและทำการทดลองตามใบงานแล้วผู้เรียนมีความรู้ในเรื่องคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพื้นฐานชนิดต่างๆ และนำความรู้ที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้งานที่มีความเกี่ยวข้องกับสายอากาศพื้นฐานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขีดความสามารถของโครงงาน

โครงงานนี้มีขีดความสามารถดังต่อไปนี้

1. มีสายอากาศทดลอง 7 ชนิด คือ
    1.1 สายอากาศไดโพล
    1.2 สายอากาศไดโพลแบบห่วง
    1.3 สายอากาศแบบยากิ
    1.4 สายอากาศแนวนอน
    1.5 สายอากาศแนวดิ่ง
    1.6 สายอากาศแบบช่อง
    1.7 สายอากาศแบบลูป
2. มีใบงานทดลอง 7 ใบงาน คือ
    ใบงานที่ 1 สายอากาศไดโพล
    ใบงานที่ 2 สายอากาศไดโพลแบบห่วง
    ใบงานที่ 3 สายอากาศแบบยากิ
    ใบงานที่ 4 สายอากาศแนวนอน
    ใบงานที่ 5 สายอากาศแนวดิ่ง
    ใบงานที่ 6 สายอากาศแบบช่อง
    ใบงานที่ 7 สายอากาศแบบลูป
3. ใช้เครื่องรับ-ส่งที่ความถี่ย่าน UHF
4. ส่งสัญญาณได้ในระยะทาง 2-3 เมตร
5. ชุดทดลองสายอากาศได้รับการประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ในระดับดีขึ้นไป

1.5 ขั้นตอนของการทำโครงงาน

โครงงานนี้ประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์ซึ่งก็ คือ ส่วนของชุดทดลองและส่วนของเอกสารใบงาน ซึ่งการทำงานในระยะเริ่มแรกจะเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลของสายอากาศแต่ละชนิด สร้างใบงานและทำการออกแบบและสร้างชุดทดลองสายอากาศ เมื่อทำโครงงานเสร็จเรียบร้อยแล้วจะให้ผู้ทรงคุณวุฒิทำการประเมินเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของชุดทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาที่สำคัญดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ ขีดความสามารถของโครงการและเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ประกอบด้วยเนื้อหาในทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งทำให้ผู้อ่านได้มีความรู้ความเข้าใจที่เป็นพื้นฐานเสียก่อน อันจะเป็นประโยชน์ต่อการทำความเข้าใจกับวงจรที่ใช้งานจริงต่อไป

บทที่ 3 การออกแบบการสร้างและการทำงาน โดยกล่าวถึงการสร้าง และการออกแบบฮาร์ดแวร์รวมทั้งหลักการทำงานในส่วนต่างๆ ซึ่งจะทำให้ผู้อ่านมีความเข้าใจการทำงานโดยรวมของโครงงานนี้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลองกล่าวถึงขั้นตอนการทดลอง และการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของฮาร์ดแวร์ของโครงงานนี้ เพื่อตรวจสอบว่าโครงงานนี้สามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางในการแก้ไขและพัฒนา เป็นการสรุปผลการทำงาน และได้เสนอแนะแนวทางในการแก้ไข และแนวทางในการพัฒนา มีประสิทธิภาพ และการใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

บรรณานุกรม

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ง รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน

ภาคผนวก ฉ หนังสือแต่งตั้งผู้ทรงคุณวุฒิ

ภาคผนวก ช ใบงาน

ภาคผนวก ซ เฉลยใบงาน

ภาคผนวก ฌ ตัวอย่างใบประเมิน

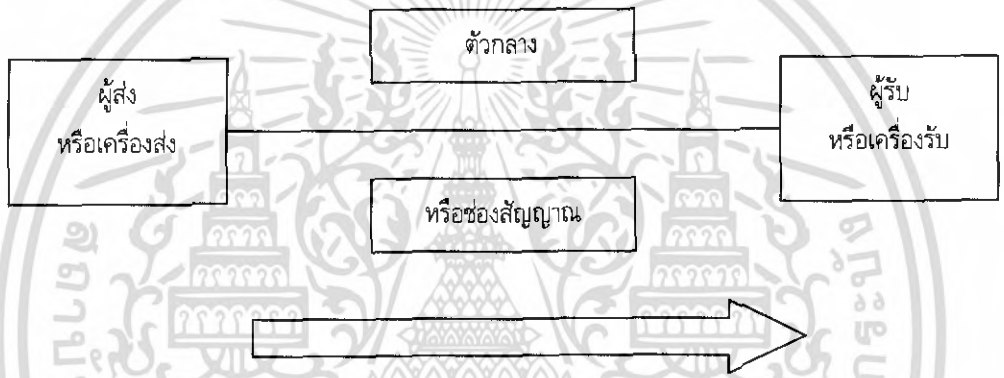
ประวัติผู้แต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ระบบสื่อสาร

ในระบบสื่อสารไม่ว่าจะเป็นระบบใดก็ตาม แผนผังพื้นฐานเหมือนกับรูปที่ 2.1 ระบบสื่อสารโดยพื้นฐานประกอบด้วยอุปกรณ์อินพุต (Input Device) เครื่องส่ง ช่องทางสื่อสาร (Communication Channel) ซึ่งมักจะมีสัญญาณรบกวน (Noise) มารบกวนเครื่องรับและอุปกรณ์เอาต์พุต (Output Device)



รูปที่ 2.1 ระบบสื่อสารพื้นฐาน

2.1.1 อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต

อุปกรณ์อินพุต คือ อุปกรณ์ที่แปลงข่าวสารเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์เอาต์พุต คืออุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับมาเป็นข่าวสาร มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปแล้วแต่การใช้งาน เช่น ในระบบวิทยุกระจายเสียง อุปกรณ์อินพุตอาจเป็นไมโครโฟน และส่วนลำโพงทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นคลื่นเสียง

ในทำนองเดียวกัน ในระบบแพร่ภาพทางโทรทัศน์ อุปกรณ์อินพุต คือ กล้องถ่ายโทรทัศน์ซึ่งเปลี่ยนพลังงานไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า และอุปกรณ์เอาต์พุต คือ หลอดภาพโทรทัศน์ซึ่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากลับคืนเป็นพลังงานแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 เครื่องส่ง

เครื่องส่งทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์อินพุต แล้วทำการมอดูเลตลงบนคลื่นพาหะความถี่สูง เครื่องส่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่สูงกับมอดูเลต เครื่องส่งส่วนใหญ่มักมีภาคขยายอีก เพื่อให้สัญญาณที่ส่งออกอากาศมีกำลังแรงทำให้สื่อสารกันได้ไกลขึ้น

2.1.3 ช่องทางสื่อสาร

ช่องทางสื่อสารในที่นี้ ได้แก่ บรรยากาศ อวกาศว่าง (Free Space) หรือสายนำสัญญาณต่างๆ ช่องทางสื่อสารของระบบวิทยุอาศัยการแผ่คลื่นออกไป โดยผ่านบรรยากาศซึ่งเป็นตัวกลางซึ่งคลื่นเดินทางจากเครื่องส่งผ่านไปยังเครื่องรับ

2.1.4 ความถี่และความยาวคลื่น

เรานิยมแบ่งคลื่นวิทยุเป็นย่านความถี่ต่างๆ โดยมีหน่วยเป็นเฮริตซ์ (Hertz) ในประวัติศาสตร์การวิทยุ ได้แบ่งคลื่นวิทยุตามความยาวคลื่น (Wavelength) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความยาวคลื่นเป็นไปตามสูตรดังนี้

$$\lambda = \frac{V}{f} \tag{2.1}$$

โดยในที่นี้ λ คือ ความยาวคลื่น

V คือ ความเร็วของคลื่นวิทยุในอากาศ เท่ากับความเร็วแสง = 3×10^8

f คือ ความถี่ มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)

2.1.5 สัญญาณรบกวน (Noise)

เป็นสัญญาณที่เข้ามาแทรกแซง หรือรบกวน สัญญาณรบกวน (Noise) ที่รับเข้ามา เช่น สัญญาณรบกวนบรรยากาศ (Atmospheir Noise) เกิดขึ้นจากการแปรปรวนของอากาศที่ห่อหุ้มโลก สัญญาณรบกวนที่เกิดจากสิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made Noise) เกิดจากไฟฟ้ามอเตอร์ สายไฟแรงสูง สัญญาณรบกวนจากอวกาศ (Space Noise) เกิดจากดวงอาทิตย์และดวงดาวนับล้านๆ ดวงในจักรวาล สัญญาณรบกวนภายในอุปกรณ์ในเครื่องรับ (Internal Noise) แยกเป็น 2 ประเภท

1. สัญญาณรบกวนอุณหภูมิ (Thermal Noise)

   เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในตัวอุปกรณ์

2. สัญญาณช็อต (Shot Noise)

   เกิดขึ้นในอุปกรณ์แอกตีฟ (Active Device) ทุกชนิด เนื่องจากการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนกับโฮล (Hole)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 เครื่องรับ

เมื่อรับสัญญาณจากเครื่องส่งมายังเครื่องรับ สัญญาณจะมีกำลังอ่อนลงและยังมีสัญญาณเข้ามาแทรกแซงสัญญาณที่ต้องการจะรับอีกด้วย ดังนั้น การรับสัญญาณอ่อนๆ เช่นนี้ เครื่องรับจึงต้องมีความสามารถพิเศษในการเลือกรับ และขยายเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ที่ต้องการ พร้อมทั้งต้องมีกรรมวิธีในการกำจัดสัญญาณรบกวน หรือต่อสู้เอาชนะสัญญาณรบกวนที่รบกวน สัญญาณที่รับได้จะผ่านการดีมอดเพื่อแปลงสัญญาณข่าวสารที่เข้ามอดูเลตกลับมา กรรมวิธีนี้ค่อนข้างสลับซับซ้อนพอสมควร

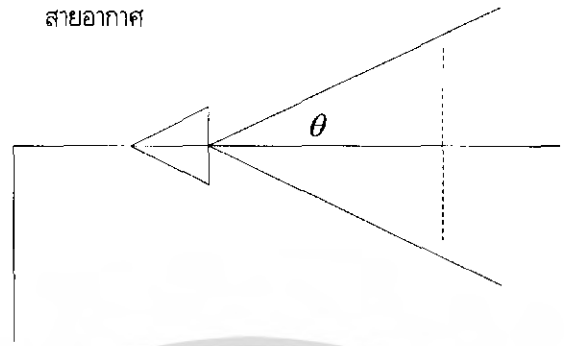
2.2 รูปแบบระบบการสื่อสาร

รูปแบบของระบบการสื่อสารเมื่อพิจารณาจากวิธีการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับแล้วจะแบ่งได้กว้างๆ ออกเป็น 2 แบบด้วยกัน คือ แบบที่ใช้สายนำสัญญาณ และแบบที่การกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไป แบบที่ใช้สายนำสัญญาณนั้นมีประวัติการใช้งานที่ยาวนานมาก โดยเริ่มต้นที่การใช้งานส่งโทรเลขเมื่อปี พ.ศ.2382 และส่งโทรศัพท์ในปี พ.ศ.2421 สายนำสัญญาณที่ใช้ในช่วงต้นๆ นั้นเป็นสายคู่ขนาน หรือสายคู่ตีเกลียว ซึ่งสายประเภทนี้เหมาะสำหรับการส่งสัญญาณความถี่ต่ำๆ เช่น สัญญาณโทรเลข และสัญญาณเสียง แต่ไม่เหมาะสำหรับการส่งสัญญาณความถี่สูง เพราะจะมีค่าการสูญเสียสูง และผิดเพี้ยนสูงเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามได้มีการพัฒนาสายนำสัญญาณแบบต่างๆ ให้เหมาะสำหรับการส่งสัญญาณความถี่สูง ซึ่งได้แก่ สายโคแอกเชียล ท่อนำคลื่น และเส้นใยแสง ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าการสื่อสารแบบใช้สายนำสัญญาณจะใช้ได้กับทุกย่านความถี่ ยกเว้นบางความถี่ที่หาวัสดุที่เหมาะสมในการทำสายยาก ในปัจจุบันการสื่อสารโดยใช้สายนำสัญญาณนี้นอกจากจะใช้ในงานโทรเลขและโทรศัพท์ยังใช้ในงานส่งโทรทัศน์ตามสาย (Cable Television System) และในการส่งโทรภาพพร้อมกับโทรศัพท์ด้วย (Picture Phone)

สำหรับลักษณะเฉพาะของการสื่อสารโดยใช้สายนำสัญญาณนี้ คือ พลังงานจะถูกส่งไปตามโครงสร้างของสายนำสัญญาณ ซึ่งจะทำให้สามารถใช้ความถี่ย่านเดียวกันนี้ ในการส่งสัญญาณอื่นโดยส่งผ่านสายนำสัญญาณอื่นหรือส่งในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ลักษณะดังกล่าวนี้จัดว่าเป็นข้อดีของการสื่อสารแบบนี้ ลักษณะเฉพาะอีกข้อหนึ่งคือ การสื่อสารแบบนี้จะต้องมีสายนำสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับเสมอ ดังนั้น จึงเหมาะสมสำหรับการให้บริการในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด และมีผู้ใช้บริการหนาแน่น เช่น ระบบโทรศัพท์ เป็นต้น

การสื่อสารโดยใช้การกระจายคลื่นนั้นเป็นการสื่อสารที่จะต้องอาศัยการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปจากทางด้านเครื่องส่งโดยอาศัยสายอากาศ แล้วทางด้านเครื่องรับระยะใช้สายอากาศในการรับกำลังคลื่นส่วนหนึ่งซึ่งเป็นส่วนที่น้อยมากๆ จากกำลังคลื่นที่ส่งออกมานั้น ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากในการส่งคลื่นออกไปนี้โดยทั่วไปคลื่นที่ถูกส่งออกไปจะทำมุมลู่ออกมุมหนึ่งดังรูปที่ 2.2 เพื่อความสะดวกในการอธิบายจะขอสมมติว่ามีการกระจายคลื่นออกไปในรูปกรวยกลม ซึ่งมีมุมยอดเป็น θ (rad) ถ้าให้กำลังคลื่นรวมที่ส่งออกไปเป็น W_T (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 มุมลู่ออกของการกระจายคลื่นกับการลดต่ำลงของกำลังคลื่นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

ถึงแม้ว่าสายอากาศรับจะรับกำลังคลื่นเข้ามาได้น้อย แต่ถ้าเปรียบเทียบกำลังคลื่นที่รับได้ที่ตำแหน่งห่างจากสายอากาศส่งมากขึ้น 2 เท่าตัว อย่างเช่น ที่ตำแหน่งห่างจากสายอากาศส่ง 20 กิโลเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่ห่าง 10 กิโลเมตรแล้ว กำลังคลื่นที่สายอากาศรับตัวเดียวกันรับได้นั้นจะลดลงไปเป็น ¼ เท่า หรือ -6 เดซิเบล (Decibel ; dB) เท่านั้น ลักษณะดังกล่าวนี้เป็นลักษณะที่แตกต่างจากการใช้สายนำสัญญาณ และจัดว่าเป็นข้อดีของการใช้คลื่น เพราะถ้ากำลังส่งถูกออกแบบไว้ให้เหมาะสมแล้ว ที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ห่างไกลไปจะสามารถรับสัญญาณได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องทวนสัญญาณ การสื่อสารระบบนี้จึงเหมาะสำหรับการให้บริการในพื้นที่กว้างซึ่งผู้ใช้บริการอาจจะอยู่กันอย่างหนาแน่นก็ได้ ตัวอย่างของการใช้งานในลักษณะนี้คือการให้บริการทางด้านวิทยุกระจายเสียง และวิทยุโทรทัศน์

ลักษณะพิเศษที่สำคัญมากของการสื่อสารโดยการกระจายคลื่นออกไป คือ สามารถใช้งานที่เครื่องส่งหรือเครื่องรับ หรือทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับเคลื่อนที่อยู่ได้ ตัวอย่างของการใช้งานในลักษณะนี้คือ การติดต่อระหว่างเครื่องบิน รถยนต์ หรือเรือเดินสมุทรกับสถานีควบคุมหรือการติดต่อระหว่างเครื่องบินด้วยกันเป็นต้น เหตุผลสำคัญที่ทำให้การสื่อสารในลักษณะนี้เป็นไปได้ คือ ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3×10^8 เมตรต่อวินาที ในขณะที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วอย่างสูงอยู่ในหลักของ 10^3 เมตรต่อวินาที ซึ่งทำให้ผู้ที่อยู่ในยานพาหนะรู้สึกเหมือนกับว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านตัวเองไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้การสื่อสารเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และแน่นอนการสื่อสารในงานลักษณะนี้จะไม่สามารถทำได้โดยการใช้สายนำสัญญาณ

ข้อจำกัดประการหนึ่งของการสื่อสารโดยการกระจายคลื่นออกไปนี้ คือ การใช้ความถี่ กล่าวคือ ความถี่ที่ซ้ำกันหรือใกล้เคียงกันจะไม่สามารถนำมาใช้ในบริเวณเดียวกันได้ เพราะจะเกิดเป็นสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกัน ในปัจจุบันนี้เนื่องจากประโยชน์ของการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสื่อสารนั้นมีสูงมาก ความถี่ของคลื่นจึงอาจจัดได้ว่าเป็นทรัพยากรอย่างหนึ่งของมนุษย์ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการอย่างเหมาะสมทั้งในระดับนานาชาติและในระดับประเทศ องค์กรที่รับผิดชอบในการจัดการเกี่ยวกับการใช้ความถี่ของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กไฟฟ้าในงานสื่อสารโทรคมนาคม สำหรับในแต่ละประเทศนั้นจะต้องมีหน่วยงานของรัฐบาลทำหน้าที่ควบคุมดูแลอยู่ ในกรณีของประเทศไทยหน่วยงานดังกล่าว คือ กรมไปรษณีย์โทรเลข

2.3 การแบ่งช่วงความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและตัวอย่างการใช้งาน

เนื่องจากความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถสร้างขึ้นและนำมาใช้ได้นั้นมีช่วงที่กว้างมาก ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการใช้งานจึงมีการแบ่งช่วงความถี่ และมีชื่อเรียกช่วงความถี่นั้น ตารางที่ 2.1 แสดงช่วงความถี่และชื่อเรียกของช่วงความถี่นั้น สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ส่วนตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะของงานสื่อสารกับช่วงความถี่ที่ใช้

สำหรับความถี่ในช่วง 1-30 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) นั้นโดยทั่วไปจะเรียกว่าไมโครเวฟ (Microwave) และความถี่ในช่วง 30-300 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) นั้นเรียกว่าคลื่นมิลลิเมตร (Millimeter Wave) ความถี่ในย่านไมโครเวฟและตอนต้นของคลื่นมิลลิเมตรจะมีการแบ่งช่วงย่อยๆ ลงไป

ตารางที่ 2.1 การแบ่งช่วงความถี่

ย่านความถี่	ชื่อเรียก
3-30 kHz	Very Low Frequency (VLF)
30-300 kHz	Low Frequency (LF)
300-3,000 kHz	Medium Frequency (MF)
3-30 MHz	High Frequency (HF)
30-300 MHz	Very High Frequency (VHF)
300-3,000 MHz	Ultra High Frequency (UHF)
3-30 GHz	Super High Frequency (SHF)
30-300 GHz	Extremely High Frequency (EHF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของงานสื่อสารกับช่วงความถี่ใช้งาน

ช่วงความถี่ / ประเภทของการสื่อสาร	VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF
1. งานวิทยุกระจายเสียงและโทรทัศน์			O	O	O	O	O	
2. การสื่อสารระหว่างจุดต่อจุด		O	O	O	O	O	O	
3. วิทยุการบิน		O	O		O	O	O	
4. วิทยุเดินเรือ			O	O	O	O	O	
5. วิทยุเคลื่อนที่แบบติดยานพาหนะบนบก			O	O			O	
6. วิทยุสมัครเล่น				O	O	O	O	
7. งานสำรวจอวกาศ				O	O	O	O	O
8. งานด้านดาราศาสตร์					O	O	O	O
9. งานด้านอุตุนิยม						O		
10. งานด้านสื่อสารดาวเทียม							O	
11. งานเรดาร์					O	O	O	O
12. งานควบคุมวงโคจรของดาวเทียม					O	O	O	

2.4 คุณสมบัติของคลื่น

คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่นต่างๆ สามารถพิจารณาได้ 4 ประการ คือ

1. การสะท้อนกลับ (Reflection) มุมที่คลื่นกระทำกับผิวตกกระทบมีค่าเท่ากับมุมที่สะท้อนกลับไป จากรูปที่ 2.3 เส้นทึบแทนทิศทางการเดินทางของคลื่น และเส้นบางแทนแนวหน้าคลื่น

2. การหักเห (Refraction) เมื่อคลื่นเดินทางจากตัวกลางชนิดหนึ่งไปยังตัวกลางอีกชนิดหนึ่งพบว่าความเร็วและทิศทางของคลื่นมีค่าเปลี่ยนแปลง

3. การแพร่กระจายคลื่น (Diffraction) การแพร่กระจายคลื่นเมื่อคลื่นเดินทางผ่านช่องมีระยะห่างเท่ากับความยาวคลื่น พบว่าคลื่นมีการแพร่กระจายไปในแนวหน้าคลื่นเป็นเส้นโค้งเดินทางมาชนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การแทรกสอดของคลื่น (Interference) ถ้าคลื่นสองตัวที่มีความถี่และขนาดเท่ากัน เดินทางมาชนกันพบว่ามีการแทรกสอดของคลื่นเกิดขึ้น โดยมีเงื่อนไขว่า

4.1 ถ้าคลื่นทั้งสองมีค่าเฟสเดียวกัน การแทรกสอดของคลื่นเป็นไปในลักษณะเสริมกัน

4.2 ถ้าคลื่นทั้งสองมีค่าเฟสต่างกัน 180 องศา การแทรกสอดของคลื่นเป็นไปในลักษณะหักล้างกัน

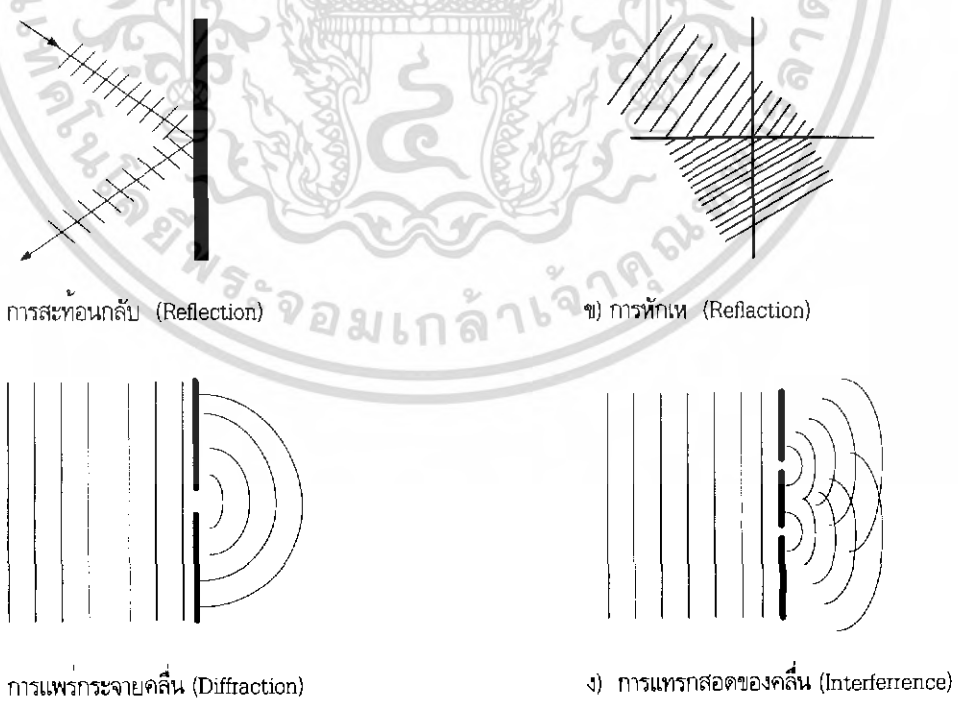
สำหรับคลื่นที่มีลักษณะไขว้กัน อย่างเช่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ยังมีคุณสมบัติเพิ่มเติมอีก คือ โพลาไรเซชั่น (Polarization) ซึ่ง หมายถึงการพิจารณาการเดินทางของคลื่นในระนาบเดียวเท่านั้น

ถึงแม้ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยคลื่นไฟฟ้าและคลื่นแม่เหล็กในแต่ละค่าเฟสนั้นมักพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบคลื่นไฟฟ้าแทนเมื่อกล่าวถึงเกี่ยวกับโพลาไรเซชั่น

สมมติให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการสั่นของอิเล็กตรอนในลวดตัวนำแนวดิ่ง อย่างเช่นสายอากาศด้านส่งมีผลให้คลื่นไฟฟ้าเดินทางในระนาบแนวดิ่ง และกล่าวได้ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีโพลาไรเซชั่นในระนาบแนวดิ่ง

ส่วนสายอากาศด้านรับควรติดตั้งรับสัญญาณในแนวดิ่งเช่นกัน เพื่อรับองค์ประกอบทางคลื่นไฟฟ้าได้ โดยอิเล็กตรอนของสายอากาศได้รับจะสั่นในความถี่เดียวกับคลื่นไฟฟ้าที่รับเข้ามา

ถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกส่งออกมาในลักษณะทุกทิศทาง สายอากาศด้านรับจะตรวจรับเฉพาะคลื่นไฟฟ้าที่มีระนาบกับสายอากาศเท่านั้น



ก) การสะท้อนกลับ (Reflection)

ข) การหักเห (Reflaction)

ค) การแพร่กระจายคลื่น (Diffraction)

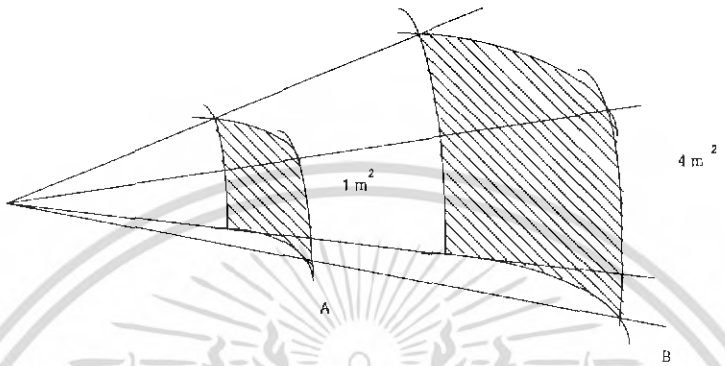
ง) การแทรกสอดของคลื่น (Interferrence)

รูปที่ 2.3 คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ความเข้มของสนามไฟฟ้า

การวัดความแรงของคลื่นวิทยุนั้น โดยทั่วไปนิยมวัดจากระดับความเข้มของสนามไฟฟ้า (Electric Field Intensity) ที่เกิดขึ้นจากคลื่นวิทยุนั้น หน่วยมาตรฐานที่ใช้ในการวัดความเข้มของสนามไฟฟ้านั้น



รูปที่ 2.4 การกระจายพลังงานของคลื่น

คือ โวลต์/เมตร (Volt per Meter : V/m) แต่ในทางปฏิบัตินั้น ค่าของสนามไฟฟ้ามักจะมีค่าน้อยลง จึงนิยมใช้ให้อยู่ในหน่วยมิลลิโวลต์/เมตร (Millivolt per Meter : mV/m) หรือไมโครโวลต์/เมตร (Microvolt per Meter : μV/m) เท่านั้น

เมื่อสมมติว่าคลื่นวิทยุที่มีแหล่งกำเนิดกระจายมาจากสายอากาศที่มีลักษณะเป็นจุด (Point Source) ตามทฤษฎี คลื่นจะกระจายออกไปรอบๆ สายอากาศที่มีลักษณะเป็นจุดนั้นอย่างสม่ำเสมอพลังงานของคลื่นนั้นจะไม่มีการสูญเสียไป หากไม่ไปกระทบกับวัตถุซึ่งมีความสามารถที่จะดูดซึมพลังงานไป สายอากาศนั้นจะกระจายคลื่นให้เคลื่อนที่ออกไปหน้าคลื่น (Wave Front) ในลักษณะของทรงกลมที่ค่อยๆ ใหญ่ขึ้น ดังนั้นหน้าคลื่นที่อยู่ใกล้กับสายอากาศ ย่อมจะมีความเข้มมากกว่าหน้าคลื่นที่อยู่ห่างไกลออกไป ทั้งนี้เพราะว่าพื้นที่ของพื้นผิวทรงกลมนั้นมีค่าเฉลี่ยต่อพื้นที่น้อยลง รูปที่ 2.3 แสดงความเข้มของพลังงาน หรือพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่มีค่าลดลง เมื่อเคลื่อนที่ห่างออกไปจากจุดกำเนิดคลื่นมากขึ้นค่าของความหนาแน่น หรือความเข้มของกำลังงานในคลื่นที่เคลื่อนที่ออกไปเป็นระยะต่างๆ จากจุดกำเนิดจะมีค่าแปรผกผันกับระยะทางกำลังสองหรือเขียนเป็นสูตรได้เป็น

$$\text{ความหนาแน่นกำลังงาน} = \frac{P}{4\pi d^2} \qquad (2.2)$$

โดยในที่นี้ P คือ กำลังของคลื่นจากสายอากาศหรือแหล่งกำเนิด

d คือ ระยะทางจากสายอากาศ หรือแหล่งกำเนิดนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้คลื่นจะกระจายออกไปจากสายอากาศในลักษณะของทรงกลม แต่เมื่อระยะทางที่คลื่นกระจายออกไปนั้นอยู่ห่างจากสายอากาศมากๆ หน้าคลื่นจะเหมือนกับเกิดอยู่บนผิวของทรงกลมขนาดใหญ่ ฉะนั้น ถ้าหากพิจารณาเฉพาะเพียงบริเวณส่วนน้อยของหน้าคลื่น อาจจะเห็นว่า หน้าคลื่นมีลักษณะเป็นระนาบในแนวนอนนั่นเอง การพิจารณาคลื่นที่อยู่ไกลจากสายอากาศมากๆ ในลักษณะดังกล่าวนี้ ทำให้มักจะสมมติว่าคลื่นระนาบ (Plane Wave) กล่าวคือ เป็นคลื่นที่มีลักษณะราบเรียบเสมอกัน และเคลื่อนที่ออกไปเป็นระลอกคลื่นที่เป็นระนาบกันมากกว่าที่จะคิดว่าหน้าคลื่นเคลื่อนที่ในลักษณะโค้งนูน

2.6 การลดทอน

การลดทอน (Wave Attenuation) ในสภาวะสุญญากาศ ค่าความเข้มสนามของคลื่นมีลักษณะเป็นสัดส่วนกลับกันกับระยะทางจากแหล่งกำเนิด โดยถ้าความเข้มสนามที่ระยะทาง 1 ไมล์จากแหล่งกำเนิดมีค่า 100 mV/m จะมีค่าเหลือ 50 mV/m ที่ระยะ 2 ไมล์

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามกับความหนาแน่นของกำลังคลื่น (Power Density) จัดว่ามีลักษณะเดียวกับวงจรระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าทั่วไป

ได้มีการกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของสุญญากาศเท่ากับ 377 โอห์ม (Ohm)

ค่าความหนาแน่นของกำลังคลื่นได้จากสูตร (คิดค่าความเข้ม=1V/m)

$$P \equiv \frac{E^2}{Z} \tag{2.3}$$

โดยในที่นี้ P คือ กำลังที่ลดทอน มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt)

E คือ ค่าความเข้ม มีหน่วยเป็นโวลต์/เมตร

Z คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของสุญญากาศ มีหน่วยเป็นโอห์ม

กล่าวได้ว่าความหนาแน่นของกำลังคลื่นมีความเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนเดียวกับรากที่สองของความเข้มสนาม และเป็นสัดส่วนกลับกันกับกำลังสองของระยะทางอย่างเช่น ค่า P ที่ระยะทางหนึ่งไมล์ เท่ากับ 4 mW/m^2 ดังนั้น ค่า P ที่ระยะทางสองไมล์ เท่ากับ 1 mW/m^2

แต่ในการใช้งานจริงๆ การลดทอนที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่ากฎข้างต้นมากทั้งนี้ด้วยเหตุผลหลายข้อ ดังนี้

1. คลื่นไม่ได้เดินทางในสภาวะสุญญากาศ แต่อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลก
2. สายอากาศรับใช้ได้ดีในระยะเส้นสายตา (Line Of Sight) เท่านั้น
3. พื้นโลกมีลักษณะกลม ทำให้คลื่นไม่ทะลุผ่านไป แต่จะโค้งงอไปตามผิวโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 หลักการของสายอากาศ

สายอากาศจัดเป็นวงจรไฟฟ้าแบบพิเศษในวงจรไฟฟ้าธรรมดา ขนาดของขดลวด, ตัวเก็บประจุไฟฟ้า และอุปกรณ์อื่นๆ จะมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของค่าความถี่ที่ใช้และพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนใหญ่ยังคงอยู่ภายในวงจร เพื่อนำไปใช้งานให้มีประสิทธิภาพ หรือแปลงออกมาในรูปความร้อน

แต่ถ้าขนาดของตัวนำหรืออุปกรณ์มีขนาดพอเหมาะเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น พบว่า มีพลังงานบางส่วนออกไปจากวงจรในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และถ้าวงจรนั้นถูกออกแบบให้พลังงานส่วนใหญ่ของวงจรถูกแพร่ออกไป เราแทนวงจรชนิดนี้ว่าสายอากาศ (Antenna)

โดยทั่วไปสายอากาศประกอบด้วยตัวนำในหลายรูปแบบ ส่วนใหญ่แล้วมักใช้ลวดตัวนำ (Wire) มีบางแบบที่ใช้แท่งตัวนำ (Rod) หรือท่อตัวนำ (Tube)

ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่ออกจากลวดตัวนำมีค่าขึ้นกับความยาวของขดลวดตัวนำกับขนาดของกระแสที่ไหลอยู่ภายใน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมลวดตัวนำด้วย แต่จะเป็นการสะดวกมากกว่าถ้าวัดในรูปของกระแส

กล่าวได้ว่าความเข้มสนามเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของกระแส

ดังนั้น จึงต้องให้มีกระแสในขนาดที่มากเท่าที่เป็นไปได้ผ่านลวดตัวนำเพื่อให้เกิดกำลังส่งปริมาณมากขึ้น

ในวงจรโดยทั่วไปจะประกอบด้วยพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ ค่าความต้านทาน และค่ารีแอ็กแตนซ์ (Reactance) เป็นค่าทางเชิงซ้อนของอิมพีแดนซ์ในวงจรกระแสสลับ

พบว่าถ้าค่ารีแอ็กแตนซ์มีน้อยลงจนหมดไป ทำให้ปริมาณกระแสในวงจรมีค่ามากที่สุด หรือในอีกแง่หนึ่งเรียกว่า วงจรรีโซแนนซ์ (Resonant) ที่ความถี่ใช้งาน เช่นเดียวกับกรณีของสายอากาศ เมื่อกระแสที่ไหลผ่านมีค่ามากที่สุดทำให้มีการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุด นั่นคือ สายอากาศถูกรีโซแนนซ์

สำหรับวงจรธรรมดาแล้ว ค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance) มักมีอยู่ในขดลวดหรือคอยล์, ค่าประจุไฟฟ้า (Capacitance) มีอยู่ในตัวเก็บประจุ และค่าความต้านทานมีอยู่ในตัวต้านทาน เรียกวงจรลักษณะนี้ว่า มีค่าคงที่แบบเอกเทศ

แต่ในสายอากาศค่าความเหนี่ยวนำ ค่าประจุไฟฟ้า และค่าความต้านทานมีอยู่กระจายผสมไปทั่วลวดตัวนำเราเรียกวงจรลักษณะนี้ว่ามีค่าคงที่แบบกระจาย ซึ่งวงจรที่มีค่าคงที่แบบนี้มักใช้ตัวนำที่เป็นเส้นตรง และมักนิยมเรียกว่าวงจรเชิงเส้น (Linear Circuits)

2.7.1 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

ในสายอากาศนั้นแรงดันไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ที่จุดกึ่งกลางของสายอากาศแบบฮาล์ฟเวฟ (Half Wave) หรือในอีกแง่ คือ กระแสมีค่ามากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งกล่าวได้ว่าระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าน้อยที่สุด (เข้าใกล้ศูนย์) เพราะถ้าค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์จริง แสดงถึงวงจรนั้นไม่มีค่าความต้านทานแม้แต่น้อย คือ จะไม่มีพลังงานแพร่กระจายมาจากสายอากาศได้ เพราะว่าวงจรที่ไม่มีความต้านทานอยู่จะเป็นเพียงการส่งผ่านพลังงานเท่านั้น

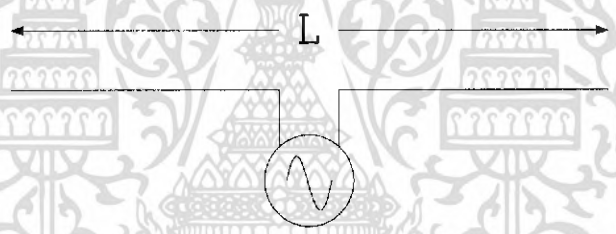
สายอากาศ สามารถเปรียบเทียบเป็นวงจรไฟฟ้าได้ ที่มีคุณสมบัติคือต้องใช้พลังงาน ดังนั้นกระแสที่ไหลอยู่ภายในสายอากาศควรถูกจ่ายด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าที่ค่าหนึ่ง

ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศคำนวณได้อย่างง่าย คือ เท่ากับระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายผ่านขั้วต่อหารด้วยปริมาณกระแสที่ไหลผ่านขั้วเช่นกัน

โดยถ้ากระแสและระดับแรงดันไฟฟ้ามีลักษณะเฟสเหมือนกันทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ใกล้เคียงกับค่าความต้านทาน จัดเป็นกรณีที่สายอากาศรีโซแนนซ์

แต่กรณีที่กระแสและแรงดันไฟฟ้ามีเฟสต่างกัน ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์มีค่ารีแอ็กแตนซ์เพิ่มขึ้นมาจากค่าความต้านทานด้วย ทำให้สายอากาศไม่รีโซแนนซ์

สมมติต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าที่ตัวนำบริเวณกึ่งกลางของสายอากาศ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สายอากาศที่มีจุดป้อน (Feed Point) ตรงกลาง

2.7.2 ค่าความต้านทาน

พลังงานที่เราป้อนเข้าสายอากาศพบว่าถูกนำไปใช้ 2 อย่าง คือ

1. การแพร่กระจายคลื่นวิทยุออกอากาศ
2. การสูญเสียเป็นความร้อนภายในลวดตัวนำ

โดยพลังงานที่นำคลื่นวิทยุออกอากาศจัดเป็นการใช้ประโยชน์ แต่ส่วนที่เปลี่ยนเป็นความร้อนจัดเป็นการสูญเปล่า

ถ้ากำหนดให้สูตรการใช้พลังงานจาก $P = I^2R$

ดังนั้น กรณีของการสูญเสียความร้อนค่า R เป็นค่าความต้านทานจริง ส่วนกรณีของการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ ค่า R เป็นค่าความต้านทานสมมุติที่อาจแทนด้วยตัวความต้านทานที่มีค่าเท่ากันได้ เรียกความต้านทานนี้ว่า ความต้านทานการแพร่คลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

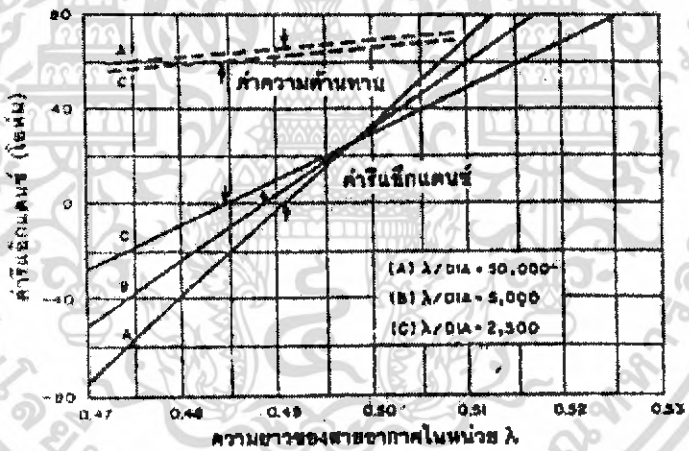
สายอากาศแบบฮาล์ฟเวฟ (Halfwave Antenna) ค่าพลังงานสูญเสียเนื่องจากความร้อนภายในลวดตัวนำที่มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าทั้งหมดที่ป้อนให้สายอากาศ ทั้งนี้เกิดจากค่าความต้านทานจริงมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าความต้านทานการแพร่คลื่น

นอกจากนี้ถ้าสายอากาศไม่มีสิ่งกีดขวางรอบตัว และไม่ใกล้พื้นโลกเกินไป สามารถละค่าความต้านทานจริงได้ และค่าความต้านทานทั้งหมดของสายอากาศที่จุดป้อนเท่ากับค่าความต้านทานการแพร่คลื่นอย่างเดียว

การวัดค่าความต้านทานการแพร่คลื่นกระทำที่จุดกึ่งกลางของสายอากาศแบบฮาล์ฟเวฟโดยมีเงื่อนไขเกี่ยวข้องดังนี้

1. ตำแหน่งของสายอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งของหรือวัตถุรอบตัว โดยเฉพาะพื้นโลก
2. อัตราส่วนของหนึ่งความยาวคลื่นต่อขนานเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่ใช้

ในสภาวะสุญญากาศ ค่าความต้านทานการแพร่คลื่นของตัวนำมีค่าประมาณ 73 โอห์ม และยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอีก



รูปที่ 2.6 กราฟของค่าความต้านทาน และรีแอ็กแตนซ์ของสายอากาศที่มีจุดป้อนอยู่กึ่งกลาง

โดยทั่วไป สายอากาศที่ทำจากลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานการแพร่คลื่นประมาณ 65 โอห์ม ส่วนที่ทำจากแท่งเหล็กหรือท่อตัวนำจะมีค่าระหว่าง 55 และ 60 โอห์ม

ค่าความต้านทานการแพร่คลื่นในการใช้งานจริง (จากค่าประมาณ 50 โอห์ม หรือมากกว่า) จะมีผลอย่างชัดเจนต่อประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ทั้งนี้ส่วนหนึ่งมาจากค่าความต้านทานในสายอากาศมีค่าเพียง 1 โอห์ม ในช่วงนี้ จนค่าความต้านทานการแพร่คลื่นลดลงต่ำกว่า 10 โอห์ม ค่าความต้านทานจากความร้อนจะมีผลกระทบขึ้นมาทันที อาจพบในกรณีที่สายอากาศต่อกันเป็นแผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความต้านทานการแพร่คลื่นของสายอากาศ ทำหน้าที่เหมือนโหลดให้กับเครื่องส่งหรือสายนำสัญญาณ ต่อจากเครื่องส่งกับสายอากาศ ซึ่งค่านี้มีความสำคัญมากในการพิจารณาถึงคุณภาพในการรับส่งคลื่น

ค่าความต้านทานนี้ขึ้นกับความยาวของสายอากาศกับอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลาง ถ้าสายอากาศใช้ตามความยาวขนาด 0.5 ความยาวคลื่น พบว่าค่าความต้านทานนี้มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยต่อความยาวที่เปลี่ยนดังเส้นประในรูปที่ 2.6

จากกราฟเห็นว่า ค่าความต้านทานการแพร่คลื่นมีค่าลดลงเมื่อสายอากาศมีความยาวสั้นลง และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสายอากาศมีความยาวมากขึ้น

2.7.3 ค่ารีแอ็กแตนซ์

การเพิ่มของค่ารีแอ็กแตนซ์ของสายอากาศในขณะที่ความยาวสายอากาศเพิ่มจากจุดรีโซแนนซ์ ยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่ใช้ด้วย และพบจากกราฟเส้นทึบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่านี้มีมากกว่าค่าความต้านทานการแพร่คลื่น

จากกราฟ ถ้าตัวนำมีขนาดหนาขึ้นทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่ารีแอ็กแตนซ์เกิดน้อยลง

2.7.4 การคัปเปิลสายอากาศ

ความหมายของคัปเปิล (Couple) ในทางไฟฟ้า คือ การต่อวงจร 2 ชุดเข้าด้วยกันเพื่อให้ส่งสัญญาณจากวงจรหนึ่งไปอีกวงจรได้ โดยอาจผ่านทางลวดตัวนำ, ตัวความต้านทาน, ทรานฟอร์เมอร์, คาปาซิเตอร์ หรืออุปกรณ์อื่นๆ

ในทางไฟฟ้าเมื่อมีวงจรจูนเดี่ยวๆ ค่า Q ของวงจร และค่าอิมพีแดนซ์จะคิดจากค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า ค่าประจุไฟฟ้า และค่าความต้านทานภายในวงจรนั้น แต่ถ้ามีการต่อหรือคัปเปิลวงจรจูน 2 ชุดด้วยกัน ค่า Q และอิมพีแดนซ์จะเปลี่ยนไป

ในทำนองเดียวกับการคัปเปิลสายอากาศตั้งแต่ 2 หรือมากกว่านั้น โดยวางใกล้กันในระยะไม่กี่ความยาวคลื่น สายอากาศแต่ละอันในกรณีนี้เราเรียกว่าอีลีเมนท์ (Element) พบว่าค่ารีโซแนนซ์และความต้านทานการแพร่คลื่นของแต่ละอีลีเมนท์จะเปลี่ยนไปเนื่องจากการถ่ายเทพลังงานที่เกิดขึ้นภายในทั้งหมด

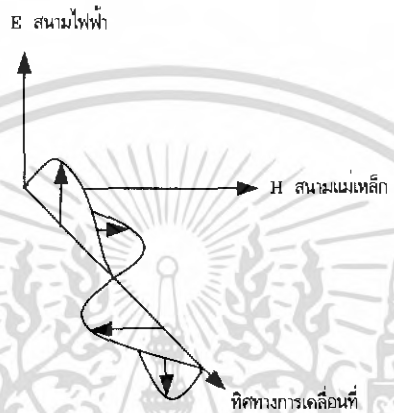
2.8 สายอากาศ

สายอากาศเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการสื่อสารในระบบวิทยุ ซึ่งจะใช้สายอากาศเพื่อการกระจายคลื่นวิทยุออกไปจากตัวมันทางด้านเครื่องส่ง และจะใช้ดักจับเอาคลื่นวิทยุเข้าสู่ตัวเองทางด้านเครื่องรับ

ระนาบของคลื่นเมื่ออ้างอิงกับระนาบของผิวโลก เรียกว่า โพลาไรเซชั่น (Polarization) โพลาไรเซชั่นของคลื่นทีอีเอ็ม (Transvers Electromagnatic Mode) กำหนดโดยระนาบของสนามไฟฟ้าซึ่งกระจายออกไป คลื่นแม่เหล็กและทิศางของการแพร่คลื่นตั้งฉากซึ่งกันและกัน ตามรูปที่ 2.7 แสดงว่าคลื่นทีอีเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีโพลาไรเซชั่นในแนวตั้ง (Vertical Polarization) ให้สังเกตว่า โพลาไรเซชั่นนี้จะเป็นตัวอ้างอิงถึงระนาบของสายอากาศด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้าสายอากาศไดโพลอยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นโลก คือ ปลายด้านหนึ่งชี้ขึ้นฟ้าและปลายอีกข้างหนึ่งชี้ลงดิน เวลามองจากฟ้าจะเห็นคลื่นวิทยุแพร่ออกไปแรงที่สุดทุกทิศทางบนพื้นโลก เรียกว่า การกระคลื่นวิทยุออกไปรอบตัวด้วยความแรงเท่ากันไม่ว่าจะเป็นทิศทางใด การแพร่กระจายคลื่นสายอากาศตั้งฉากเรียกว่าโพลาไรเซชั่นในแนวตั้ง



รูปที่ 2.7 คลื่นทีอีเอ็ม

2.9 การกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ

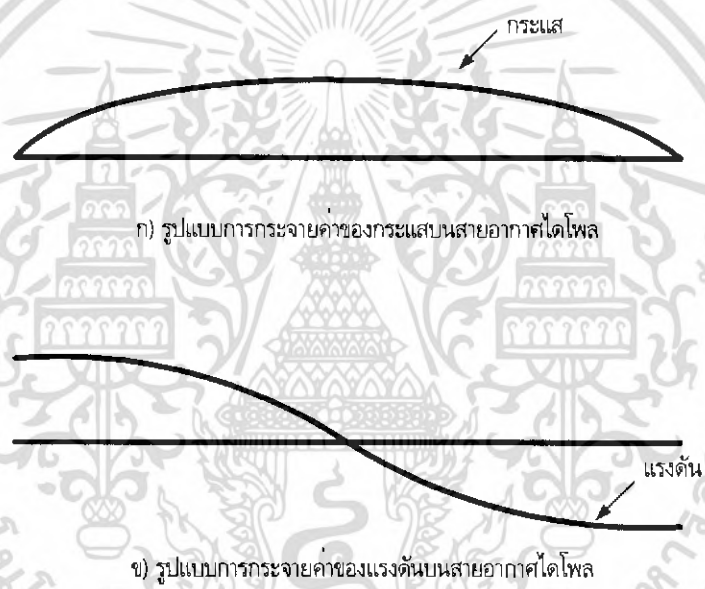
สนามเหนี่ยวนำ (Induction Field) จะเกิดขึ้นเมื่อมีการไหลของกระแสเข้าไปในสายอากาศ โดยปฏิกิริยาตามธรรมชาติ เช่นเดียวกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าเฉพาะในขั้นตอนนี้ จะไม่มีการแผ่รังสีพลังงานออกไปจากสายอากาศแต่อย่างใด สนามเหนี่ยวนำนี้จะเป็นตัวทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่รังสีต่อออกไปตามขั้นตอน

คุณสมบัติที่สำคัญของสายอากาศ คือ รูปแบบการกระจายพลังงานของคลื่น โดยทิศทางที่สายอากาศจะแพร่กระจายคลื่นออกไปนั้น อาจพุ่งขึ้นท้องฟ้า หรือพุ่งไปในทิศทางต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบสายอากาศนั้น คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของสายอากาศ คือ รูปแบบแสดงความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระจายออกจากสายอากาศในทิศทางต่างๆ ตามธรรมชาติแล้วรูปแบบลักษณะการกระจายคลื่นไปในทั้ง 3 มิติ แต่การเขียนรูปแบบการกระจายคลื่นในลักษณะ 3 มิติ ทำได้ลำบาก ดังนั้น โดยทั่วไปแล้ว การเขียนรูปแสดงรูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศ จึงมักนิยมเขียนกันอยู่ในสองระนาบเท่านั้น คือ การเขียนรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบแนวนอน และแนวตั้ง การเขียนรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบแนวนอนมีชื่อว่า โพลาร์ไดอะแกรม หรืออะซิมุธไดอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
66697

(Polar or Azimuth Diagram) ตัวอย่างของรูปแบบการกระจายพลังงานของคลื่นจากสายอากาศในแนวนอนและแนวตั้ง แสดงในรูปที่ 2.8

สำหรับสายอากาศแบบไดโพลนั้นจะมีรูปแบบการกระจายคลื่น ดังรูปที่ 2.9 ได้แสดงให้เห็นถึงรูปแบบการกระจายคลื่นทั้งแบบที่มีโพลาไรเซชั่นอยู่ในแนวนอน และอยู่ในแนวตั้ง ลักษณะของการกระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลที่แสดงให้เห็นนี้ มีชื่อเรียกเฉพาะว่า รูปแบบรอบตัว (Omnidirection) คือ จะมีทิศทางการกระจายออกไปทั่วเท่ากันรอบๆ ตัวในแนวระนาบหนึ่ง คือ ในระนาบที่ตั้งฉากกับตัวสายอากาศ และมีทิศทางที่พุ่งออกไปสองข้างตัวในอีกระนาบหนึ่ง คือระนาบที่ตัดตามความยาวของสายอากาศ ตามรูปที่ 2.9 นั้น แสดงรูปแบบในอีกระนาบซึ่งมีลักษณะคล้ายเลข 8

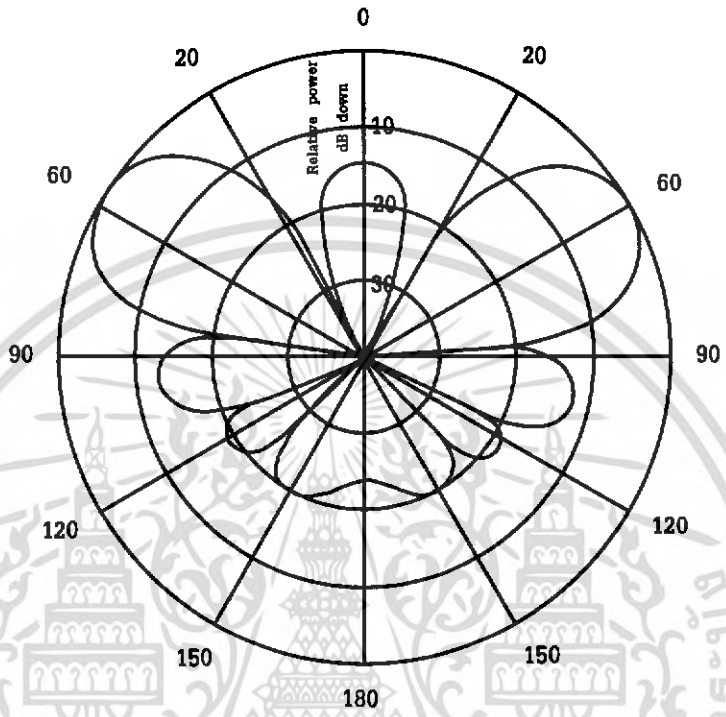


รูปที่ 2.8 รูปแบบการกระจายของค่ากระแส และแรงดันบนสายอากาศไดโพล

กรณีที่ความเข้มของพลังงานที่กระจายออกไปจากสายอากาศในแต่ละทิศทางนั้นมีค่าต่างกันย่อมจะมีทิศทางอยู่ทิศทางหนึ่ง ที่ทำให้พลังงานสามารถกระจายออกไปได้มากที่สุด ทิศทางที่พลังงานสามารถกระจายออกไปจากสายอากาศได้มากที่สุดนี้ ตามปกติแล้วจะถือว่าเป็นทิศทางของสายอากาศนั้น ค่าที่ช่วยแสดงบอกให้รู้ว่าสายอากาศมีสมรรถภาพในการกระจายคลื่นไปในทิศทางที่กำหนดเอาไว้ได้มากหรือน้อยอย่างไร ได้แก่ ค่าอัตราการขยายตามทิศทาง (Directive Gain) และ ค่าความเป็นทิศทาง (Directivity) ของสายอากาศนั้น อัตราการขยายตามทิศทางของสายอากาศนั้น มีคำจำกัดความ คือ อัตราส่วนของความเข้มของสนามไฟฟ้าจากสายอากาศนั้น ในทิศทางที่กำหนดต่อความเข้มของสนามไฟฟ้าจากสายอากาศมาตรฐาน เมื่อกำลังคลื่นทั้งหมดที่กระจายออกจากสายอากาศทั้งสองมีค่าเท่ากัน ที่กล่าวไว้ว่า สายอากาศมาตรฐานนั้น ตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วหมายถึง สายอากาศแบบไอโซทรอปิค (Isotropic) ซึ่งหมายถึง สายอากาศที่สามารถกระจายคลื่นนอกจากตัวเองไปได้เท่ากันหมดในทุกทิศทุกทางรอบตัวเอง จึงถือว่ามีคามมีทิศทางในทุกทิศทุกทางเท่ากัน



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างของรูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบแนวนอน

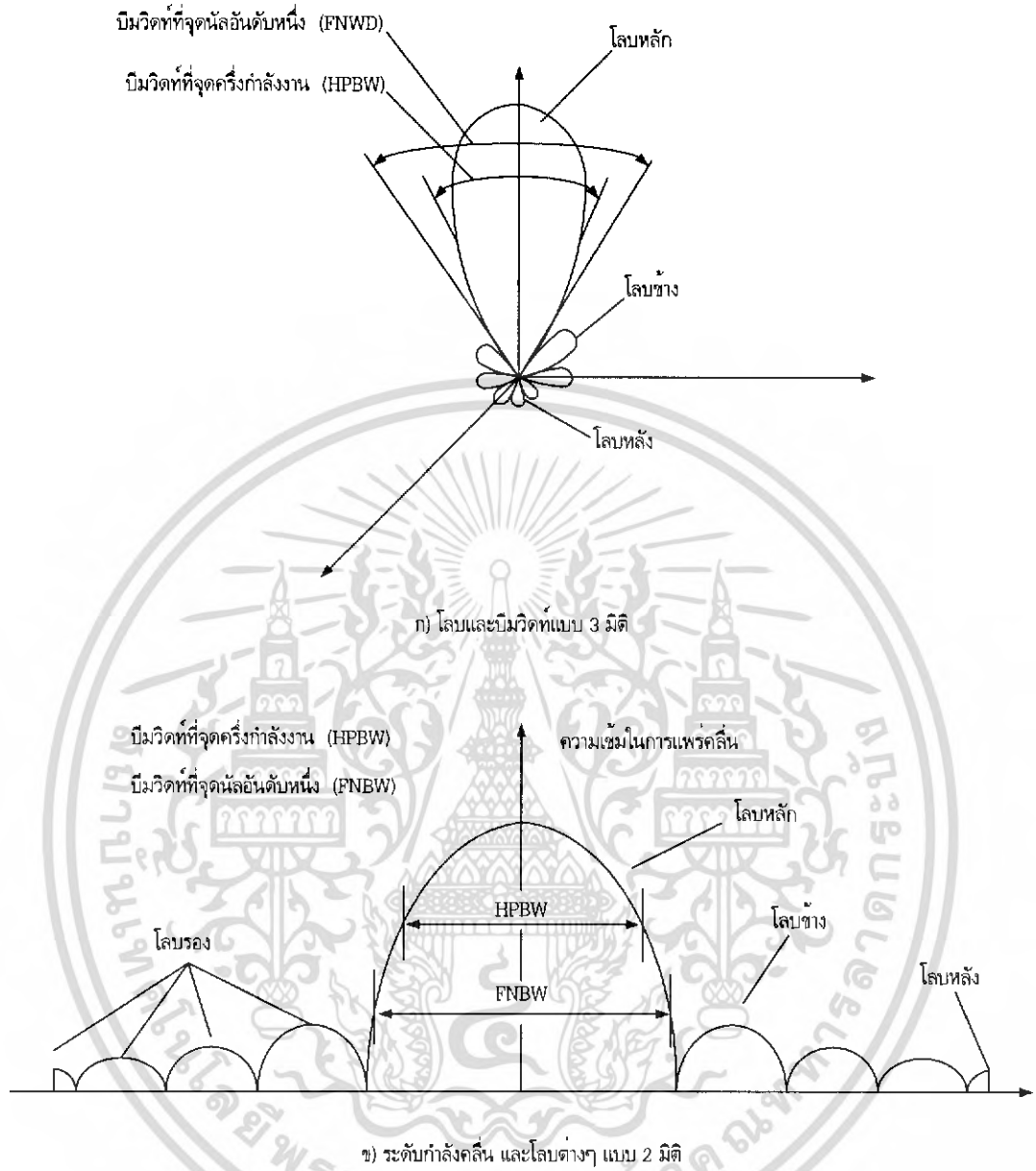
2.10 ส่วนต่างๆ ของรูปแบบการแพร่คลื่น

แต่ละส่วนของรูปแบบการแพร่คลื่นเรียกว่าโลบ (Lobe) ซึ่งยังแบ่งย่อยเป็น โลบหลัก, โลบรอง, โลบข้างและโลบหลังอีกด้วย

จากรูปได้ว่า ความหมายของโลบ คือ ส่วนของรูปแบบการแพร่คลื่นที่มีความเข้มของกำลังคลื่นสูง (รอบๆ เป็นความเข้มต่ำ)

โลบหลัก (Major Lobe) หรืออาจเรียกบีม (Beam) หลัก หมายถึง โลบที่มีการแพร่ไปในทิศทางที่มีการแพร่มากที่สุดในรูปที่ 2.10 โลบหลักมีทิศทางตามจุด $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางแบบมีลำคลื่นมากกว่าหนึ่ง จะมีโลบหลักมากกว่าหนึ่งโลบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ส่วนของรูปแบบการแพร่คลื่น

โลบรอง (Minor Lobe) คือ โลบอื่นๆ ที่ไม่ใช่โลบหลัก ในรูปที่ 2.10 (ก) และ (ข) ทุกโลบยกเว้นโลบหลักระบุเป็นโลบรองได้

โลบข้าง (Side Lobe) คือ โลบที่มีอยู่ในทิศทางอื่น นอกเหนือจากทิศทางของโลบหลักทั่วไปแล้ว โลบข้างจะอยู่ติดกับโลบหลัก และมีทิศรอบบีมหลัก

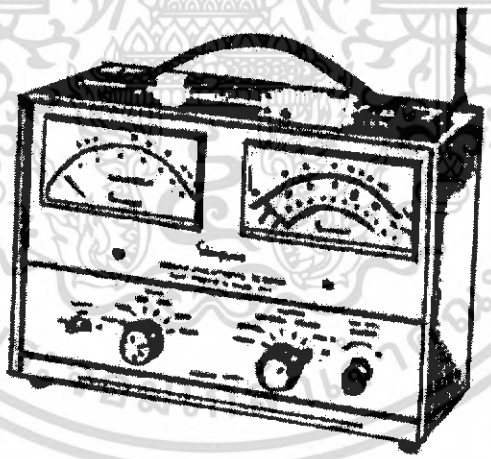
โลบหลัง (Back Lobe) คือ โลบรองที่มีทิศตรงข้ามกับโลบหลัก (ต่างกัน180 องศา) โลบรองจะเกิดในทิศที่ต้องการเสมอ จึงควรลดขนาดให้น้อยที่สุด สำหรับโลบข้างจัดเป็นโลบรองที่มีขนาดมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเบื้องต้น

ชนิดของสายอากาศและการติดตั้งสายอากาศบนรถยนต์ จะไม่มีผลต่อรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ แนวความคิดโดยทั่วไปของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ สามารถกำหนดได้โดยใช้เครื่องมือ ซึ่งเกี่ยวข้องกับเครื่องวัดความเข้มสนามไฟฟ้า (Field Strength Meter) ดังแสดงรูปที่ 2.11 ซึ่งให้ความเชื่อถือได้แน่นอนในการอ่านค่าความสัมพันธ์ได้อย่างแท้จริง และหน้าปัทม์มิเตอร์มักจะถูกแบ่งไว้ตั้งแต่ 1 ถึง 10 เดซิเบลโวลท์ต่อเมตร (Decibel volt per meter : dBv/m)

เครื่องวัดควรจะใช้ได้ที่ค่าระยะทางไกลที่สุดจากสายอากาศซึ่งยังคงแสดงค่าได้ สายอากาศควรจะอยู่ในที่โล่ง ห่างจากสิ่งกีดขวางในระยะ 100 ฟุต ขั้นแรก กำหนดทิศทางของสัญญาณสูงสุดไว้ โดยให้เข็มของมิเตอร์อ่านได้เต็มหน้าปัทม์ บันทึกระยะทางจากสายอากาศ และเป็นไปรอบๆ สายอากาศอย่างช้าๆ โดยรักษาระยะห่างให้เท่ากัน และสังเกตดูเครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กโดยรักษาระดับของสายอากาศให้อยู่ในแนวดิ่งตลอดเวลา จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของเข็มมิเตอร์เมื่อเดินไปรอบๆ สายอากาศ ไม่ใช่เรื่องผิดปกติที่เข็มมิเตอร์ตกลงมาใกล้ศูนย์ แต่จุดนี้จะมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันของความยาวเส้นรอบวง อย่างไรก็ตาม เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่ (Spectrum Analyzer) สามารถนำมาใช้สำหรับการทดสอบได้ โดยการปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตและวาดผลที่ได้บนกระดาษกราฟวงกลม



รูปที่ 2.11 รูปเครื่องวัดความเข้มสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 การวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กส่วนใหญ่แสดงอยู่ในรูปของ dBv/m แต่เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่ มักถูกปรับแต่งให้อยู่ในหน่วย dBm ดังนั้น เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่ที่อ่านได้จึงอยู่ในหน่วย dBm และจะต้องแปลงหน่วยให้อยู่ในรูป dBv/m ซึ่งสามารถทำได้ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรก การเปลี่ยนรูป dBm ไปเป็น dBV โดยการบวกค่า 107 dB เข้ากับ dBm

ขั้นตอนต่อมาเปลี่ยนรูป dBV ไปเป็น dBv/m ขั้นตอนนี้ ต้องการค่าตัวแปรสายอากาศ (K) ที่ทราบค่า ค่าตัวแปรสายอากาศ (K) สามารถหาได้จากสูตร

$$K = 20\log F - G \qquad (2.4)$$

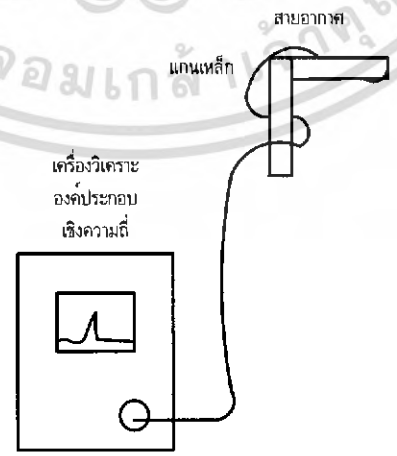
โดยที่ค่า K คือ ตัวแปรสายอากาศ

F คือ ความถี่ในหน่วยเมกะเฮริตซ์ (MHz)

G คือ อัตราการขยายสายอากาศในหน่วยเดซิเบล

ขั้นตอนการหารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

1. ต่ออุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 2.12
2. หมุนสายอากาศไปช้าๆ จนกระทั่งได้ค่าสัญญาณที่มีขนาดสูงสุดที่เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่แสดงผลออกมา
3. อ่านค่าแอมปลิจูดในรูปหน่วย dBm จากเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่
4. แปลงรูปหน่วย dBm ให้อยู่ในรูป dBV/m โดยการบวกค่า 107 dB กับค่าตัวแปรสายอากาศ (K) สำหรับสายอากาศที่ใช้งานกับเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่



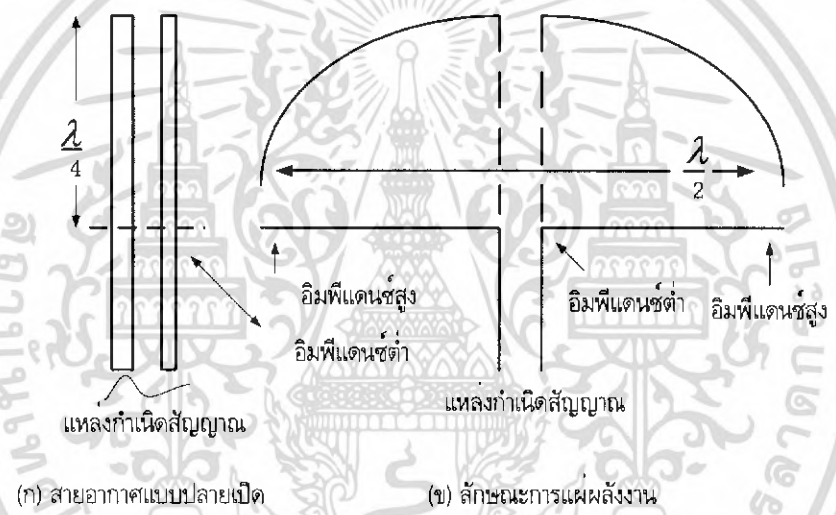
รูปที่ 2.12 การวัดหาค่าความเข้มสนามไฟฟ้าโดยใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 สายอากาศพื้นฐานแบบต่างๆ

2.13.1 สายอากาศไดโพล

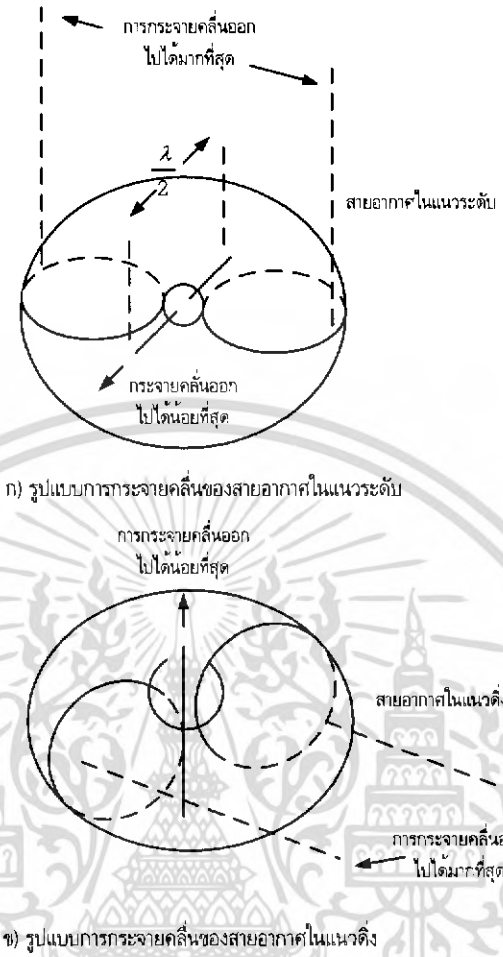
มีสายส่งสัญญาณที่มีปลายหนึ่งต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดสัญญาณ และมีปลายอีกข้างหนึ่งเปิดอยู่ ดังรูปที่ 2.13 (ก) ปลายด้านที่เปิดอยู่ย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์สูง ถ้าทำการหาค่าอิมพีแดนซ์ตามตำแหน่งต่างๆ บนสายส่งสัญญาณ โดยเริ่มจากปลายเปิดย้อนลงไปตามสาย จะพบว่าค่าอิมพีแดนซ์ตามตำแหน่งต่างๆ นั้น จะค่อยๆ ลดลง และจะมีค่าต่ำสุด ณ ตำแหน่งที่ห่างจากปลายเปิดนั้นเท่ากับ $\lambda/4$ และเมื่อการแผ่สายทั้งสองออกจากกัน ดังรูปที่ 2.13 (ข) จะเห็นว่ามีกระแสไหลเข้าสู่สาย ณ ตำแหน่งตรงจุดต่อนี้ได้มากที่สุด คือ จะมีพลังงานไหลเข้าในส่วนนี้ได้มากที่สุด



รูปที่ 2.13 สายอากาศไดโพล

ความแรงของกระแส และแรงดันตามจุดต่างๆ บนสายส่งที่ได้กางแผ่ออกไปแล้ว จะมีลักษณะรูปแบบดังรูปที่ 2.14 ซึ่งพบว่าการกางแผ่สายนำสัญญาณออกในตำแหน่งนี้ มีการกระจายของแรงดันได้มากที่สุด หมายถึง เกิดการกระจายคลื่นทีอีเอ็มออกมาจากสายนำสัญญาณส่วนนี้ได้มากที่สุด ดังนั้น สายนำสัญญาณส่วนนี้จะกลายเป็นสายอากาศขึ้นมา สายอากาศในลักษณะนี้จึงมีชื่อเรียกตามลักษณะที่มีแขนหรือขั้วที่ยื่นออกไปนั้นว่า สายอากาศไดโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



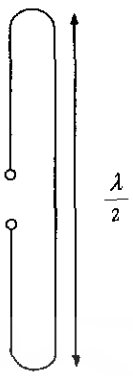
รูปที่ 2.14 รูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล

2.13.2 สายอากาศไดโพลแบบห่วง

ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของไดโพลแบบ $\lambda/2$ ที่รีโซแนนซ์ มีค่าเท่ากับ 73 โอห์ม ในขณะที่การเพิ่มพาราซิติกอีลีเมนท์ จะมีผลลดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์อย่างเช่น อาจเหลือ 50 โอห์ม สำหรับการมีรีแฟลกเตอร์และไดเรกเตอร์อย่างละหนึ่งอันหรือเหลือ 20 โอห์ม ถ้ามีไดเรกเตอร์หลายอัน แต่สายนำสัญญาณหรือโคแอกเชียลเคเบิลที่ใช้กับอาร์เรย์แบบยากิจะมีค่าอิมพีแดนซ์มาตรฐาน คือ 50 โอห์ม หรือ 75 โอห์ม ดังนั้นถ้าสายอากาศที่ใช้งานไม่แม็ชท์หรือมีค่าอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากับสายนำสัญญาณ อาจเกิดคลื่นนิ่งหรือสแตนดิ้งเวฟบนสายนำสัญญาณ เป็นการสูญเสียพลังงานของระบบไป

ตามที่อธิบายมา ทางแก้ปัญหานี้คือต้องเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ของไดโพลให้มากขึ้นจากเดิม เพื่อว่าเวลาใช้งานร่วมกับพาราซิติกอีลีเมนท์ ค่าอิมพีแดนซ์ที่ลดลงมาก็ยังมีโอกาสเท่ากับค่า 50 โอห์ม หรือ 75 โอห์ของสายนำสัญญาณได้ ไดโพลที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูงกว่าค่าเดิม เราใช้ไดโพลแบบห่วงแก้ปัญหานี้ ดังแสดงในรูป 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

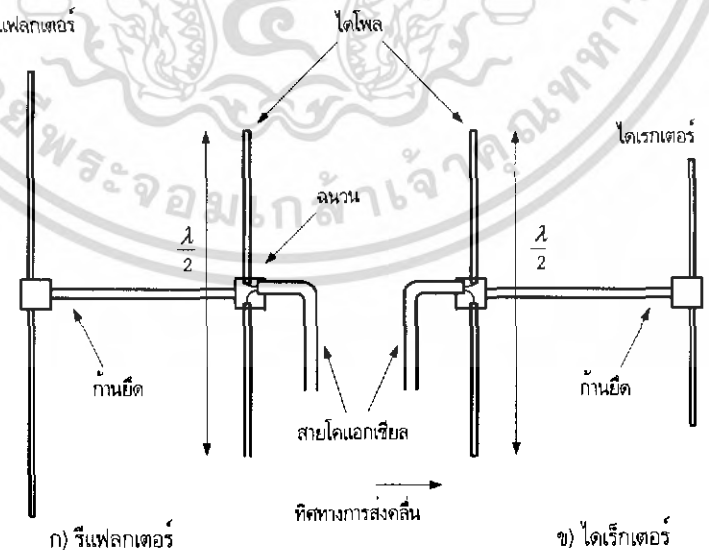


รูปที่ 2.15 ไดโพลแบบห่วงขนาด λ/2

2.13.3 สายอากาศแบบยากิ

การสร้างสายอากาศยากิจากไดโพลแบบ λ/2 และพาราซิติก (Parasitic Element) คุณสมบัติของไดโพลแบบ λ/2 ที่มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบราบของไดโพลที่วางตั้งเป็นวงกลมและในระนาบแนวตั้งพบว่าไม่มีการแพร่หรือรับคลื่น ซึ่งงานสื่อสารวิทยุทั่วไปจะต้องการประสิทธิภาพของสายอากาศที่มีไดเร็คติวิตี้มากกว่าหนึ่ง

การเพิ่มพลังงานในไดเร็คติวิตี้ทำได้โดยการใช้ไดโพลแบบ λ/2 ร่วมกับพาราซิติกอีลีเมนท์ ที่เรียกว่า รีแฟลกเตอร์ ซึ่งเป็นแท่งตัวนำที่มีขนาดยาวกว่า λ/2 อยู่ประมาณ 5% โดยติดตั้งไว้อีกด้านของสายอากาศในทิศทางตรงข้ามกับทิศที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด ดังรูปที่ 2.16 (ก)



รูปที่ 2.16 สายอากาศไดโพลแบบ λ/2 พร้อมกับรีแฟลกเตอร์และไดเร็กเตอร์

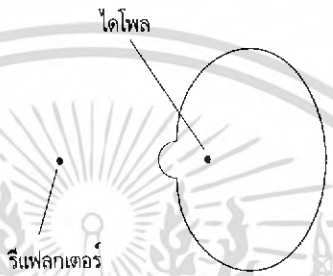
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีแฟลกเตอร์มีผลต่อรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพลแบบ $\lambda/2$ เนื่องจากมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถูกเหนี่ยวนำที่มันมีผลให้ตัวรีแฟลกเตอร์สามารถแพร่คลื่นเองได้

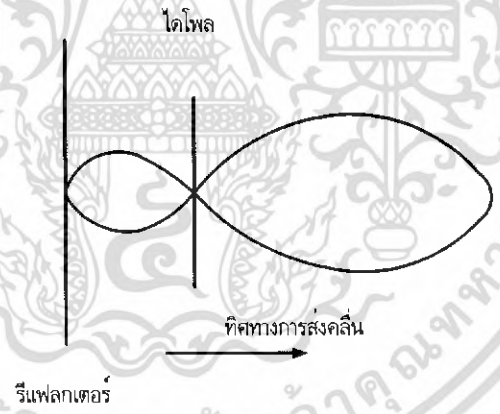
ตัวแปรที่มีผลต่อรูปแบบการแพร่คลื่น มี

1. ความยาวของรีแฟลกเตอร์
2. ระยะห่างจากไดโพล

พิจารณาในรูปที่ 2.17 และ 2.18 ตามลำดับ



รูปที่ 2.17 รูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล $\lambda/2$ และรีแฟลกเตอร์ในระนาบแนวราบ



รูปที่ 2.18 รูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล $\lambda/2$และรีแฟลกเตอร์ในระนาบแนวตั้ง

จากทั้งรูปที่ 2.17 และ 2.18 เห็นได้ชัดว่าไดเร็คติวิตี้ของอาร์เรย์แบบนี้ดีกว่าไดโพลอย่างเดียว เหตุที่ รีแฟลกเตอร์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคือ เมื่อเราป้อนแรงดันไฟฟ้า (ที่ความถี่รีโซแนนซ์) และกระแสให้กับไดโพลจะมีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปทุกทิศในแนวตั้งฉากกับไดโพล พลังงานบางส่วนเดินทางมาที่รีแฟลกเตอร์และเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเกิดขึ้น ซึ่งมีเฟสตามหลังแรงดันไฟฟ้าส่วนที่ป้อนให้ไดโพลอยู่โดยคิดจากระยะห่างของอีลีเมนท์ อย่างเช่น ถ้าระยะห่างเท่ากับ 0.5λ ทำให้ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่รีแฟลกเตอร์มีเฟสตามหลังส่วนที่ป้อนให้ไดโพลอยู่ 180 องศา สิ่งนี้มีผลต่อกระแสในทำนองเดียวกัน

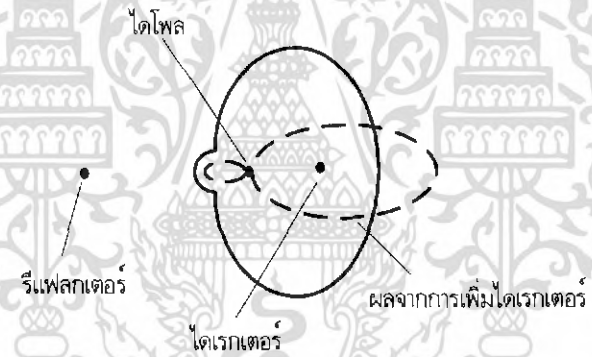
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนนี้รีแฟลกเตอร์สามารถแพร่คลื่นได้ในทุกทิศที่ตั้งฉากกับมันเช่นกันถ้าความยาวของรีแฟลกเตอร์และระยะห่างระหว่างไดโพลกับรีแฟลกเตอร์ถูกพิจารณาเลือกมาอย่างเหมาะสมแล้ว พลังงานส่วนที่แพร่มาจากรีแฟลกเตอร์จะไปเสริมในส่วนของไดโพลในทิศทางที่ต้องการ ไม่เช่นนั้นทุกอย่างตรงข้ามกัน คือ มีการหักล้างของพลังงานเกิดขึ้น

การเพิ่มค่าไดเร็คติวิตี้ และอัตราการขยายของไดโพล สามารถทำได้อีกโดยเพิ่มพาราซิติกอีลีเมนท์อันใหม่ลงไป โดยวางในตำแหน่งตรงข้ามกับรีแฟลกเตอร์ เราเรียกอีลีเมนท์ใหม่ว่า ไดเร็กเตอร์ (Director) ที่มีขนาดสั้นกว่า $\lambda/2$ อยู่ประมาณ 5% ขณะที่ไดโพลแพร่คลื่นจะมีบางส่วนเหนี่ยวนำให้ไดเร็กเตอร์สามารถแพร่คลื่นได้ เช่นเดียวกับรีแฟลกเตอร์

การพิจารณาเลือกความยาวของไดเร็กเตอร์ และระยะห่างระหว่างไดโพลกับไดเร็กเตอร์นับว่าสำคัญมาก เพราะถ้าเลือกค่าถูกต้อง พลังงานที่แพร่จากไดเร็กเตอร์จะไปเสริมกับส่วนของไดโพลเป็นการเพิ่มค่าไดเร็คติวิตี้ และอัตราขยายมากขึ้น

พิจารณาผลที่มีต่อรูปแบบการแพร่คลื่นของไดเร็กเตอร์ ไดโพล และรีแฟลกเตอร์ได้ในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 รูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล $\lambda/2$,รีแฟลกเตอร์ และไดเร็กเตอร์ในระนาบแนวนอน

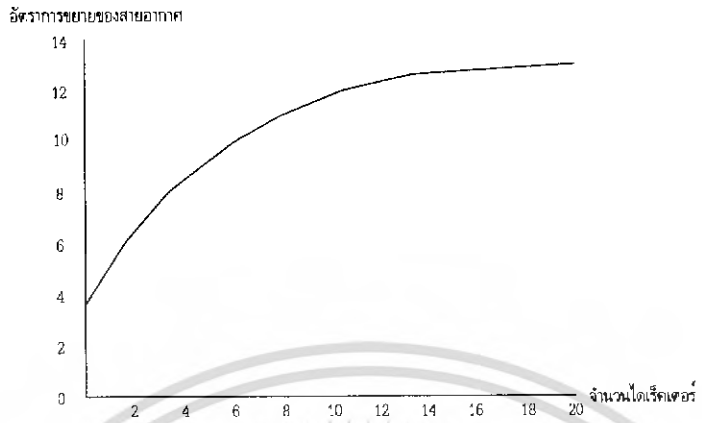
การเพิ่มค่าไดเร็คติวิตี้หรืออัตราขยายของสายอากาศให้มากกว่านี้ไม่อาจทำได้ โดยเพิ่มรีแฟลกเตอร์ตัวที่สองลงไป เพราะว่าสนามแม่เหล็กหลังรีแฟลกเตอร์ตัวแรกมีค่าอ่อนมากจนนำมาเหนี่ยวนำไม่ได้ แต่การเพิ่มไดเร็กเตอร์ให้มากจำนวนขึ้นมีผลให้ค่าอัตราขยายของสายอากาศเพิ่มได้จริง ดังกราฟในรูป 2.20

ในทางปฏิบัติ การพิจารณาเลือกค่าระยะห่างระหว่างอีลีเมนท์ต้องคำนึงถึง 2 ประการ คือ

1. อัตราขยายที่ต้องการของอาร์เรย์
2. อัตราส่วนฟรอนด์ทูแบคที่ต้องการ

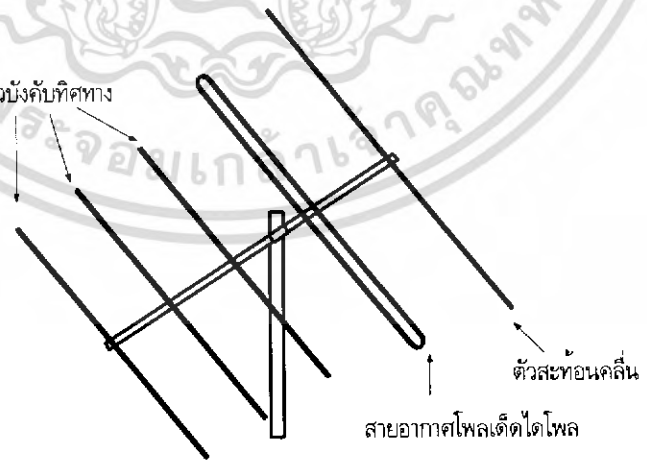
ทั่วไปแล้ว ระยะห่างระหว่างไดโพลกับรีแฟลกเตอร์ มีค่าระหว่าง 0.15λ–0.25λ และระยะห่างระหว่าง ไดโพลกับไดเร็กเตอร์ มีค่าระหว่าง 0.1λ-0.15λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



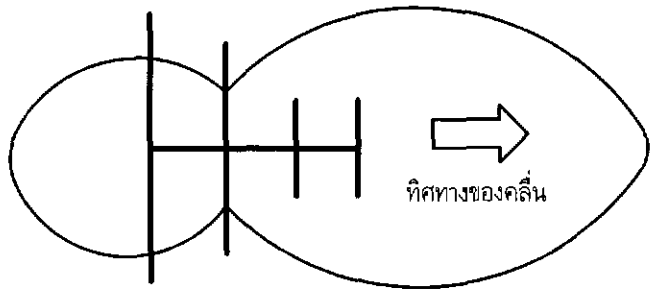
รูปที่ 2.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนไดเร็คเตอร์กับอัตราขยายของสายอากาศยากิในทิศที่มีการแพร่มากที่สุด

สายอากาศแบบยากิมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเหมือนกับสายอากาศไดโพล แต่จะมีอินพุตอิมพีแดนซ์มากกว่าอยู่ 4 เท่า การใส่ตัวสะท้อนคลื่น (Reflector) และตัวบังคับทิศทาง (Director) ให้กับสายอากาศโพลเด็ดไดโพลดังรูปที่ 2.21 เพื่อทำให้สายอากาศมีทิศทาง และกำลังขยายดีขึ้นตามแนวความคิดของดอกเตอร์ยากิ (Dr.Yagi) ทำให้สายอากาศนี้มีชื่อว่า สายอากาศยากิ แต่อย่างไรก็ตาม จำนวนของตัวสะท้อนคลื่นที่มากกว่าหนึ่งตัวนั้นมีผลต่อทิศทางของสายอากาศน้อยมาก ดังนั้น จึงนิยมใช้ตัวสะท้อนคลื่นกับสายอากาศชนิดนี้เพียงตัวเดียว



รูปที่ 2.21 สายอากาศยากิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 รูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศยากิ

2.13.4 สายอากาศแบบแนวนอน

สายอากาศโทรทัศน์อย่างง่ายๆ จะเป็นสายไดโพล (Dipole) ครึ่งความยาวคลื่นแบบแนวนอน ดังรูปที่ 2.23 (ก) ดังนั้น สายอากาศในเครื่องรับโทรทัศน์แทบทั้งหมดจะเป็นแบบแนวนอน

สายอากาศฮาล์ฟเวฟแบบแนวนอนถือเป็นรูปแบบพิเศษของวงจรจูนรีโซแนนซ์ โดยมีค่า Q ของสายอากาศขึ้นกับความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างค่ารีแอคแตนซ์เทียบกับค่ารีซิสแตนซ์กราฟผลตอบสนองของสายอากาศแบบนี้จะมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับที่เกิดในวงจรจูนด์แบบ LC ทั่วๆ ไป ความคมชัดของกราฟผลตอบสนองขึ้นกับโครงสร้างของสายอากาศ ในกรณีที่ทำจากสายทองแดงขนาดเล็กจะได้สายอากาศที่มีค่า Q สูง คือ มีกราฟที่คมชัดมากเพราะทำงานเพียงในแถบความถี่แคบๆ หากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสายตัวนำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับความยาวสายที่ใช้สายอากาศที่ได้จะมีความไวน้อยลง แต่ครอบคลุมช่วงความถี่กว้างขึ้น

ในทางไฟฟ้า สายอากาศไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น จะสมมูลย์กับสายนำสัญญาณขนาดหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นที่มีปลายทางเปิดวงจรไว้ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเดินไปตามผิวของสายอากาศ โดยที่สายไฟมีความต้านทาน การเคลื่อนที่ของคลื่นวิทยุจึงช้ากว่าการเดินทางในอวกาศ โดยในทางทฤษฎีแล้วจะสั้นกว่าราว 6% เมื่อเทียบกับความยาวคลื่นในอวกาศ เช่น ที่ความถี่ 300 เมกะเฮิรตซ์ จะมีความยาวคลื่นเท่ากับ 1 เมตร แต่สายอากาศต้องตัดให้สั้นเหลือ 94 เซนติเมตร เพื่อชดเชยการล่าช้า 6%

สายอากาศไดโพลจึงมีอิมพีแดนซ์ ซึ่งเมื่อป้อนสัญญาณเข้าตรงกลาง สายอากาศจะมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 75 โอห์ม สายอากาศโทรทัศน์รุ่นแรกๆ จะเป็นแบบนี้ แล้วใช้สายส่งเป็นสายโคแอคเชียล 73 โอห์ม อย่างไรต่อมาพบว่าการใช้สายอากาศแบบสองขาซนิดวกกลับ (Folded Dipole) ดังรูปที่ 2.23 (ข) ซึ่งมีอินพุทอิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม เมื่อป้อนสัญญาณเข้าตรงกลางจะให้ประสิทธิภาพดีกว่าแบบไดโพลธรรมดา สายส่งที่ใช้จึงต้องระยะห่างของคู่สายเพิ่มขึ้น เพราะมีอิมพีแดนซ์สูงกว่าแต่จะให้กราฟผลตอบที่มีแถบความถี่ (Bandwidth) เพิ่มขึ้น สิ่งนี้เป็นเรื่องจำเป็นมากในการรับสัญญาณโทรทัศน์ซึ่งต้องมีแถบความถี่อย่างน้อย 6 เมกะเฮิรตซ์ ขณะนี้จึงใช้สายส่งและสายอากาศแบบ 300 โอห์ม แทนเป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแบบสองขาชนิดวกกลับ จริงๆ แล้วคือ สายตัวนำเดี่ยวขนาดความยาวครึ่งความยาวคลื่นที่วางไว้เหนือคู่สายตัวนำเดิมที่ยาวเท่ากับหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่น โดยปลายทั้งสองต่อชนกันดังรูปที่ 2.23 (ข) วิธีนี้ไม่เพียงแต่ทำให้ได้ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์สูงขึ้นในระหว่างสายอากาศกับเครื่องรับ แต่ยังเพิ่มปริมาณการรับคลื่นด้วย อย่างไรก็ตาม รูปแบบการกระจายคลื่นยังคงเหมือนสายไดโพลทั่วๆไป

ก) สายอากาศไดโพล ข) สายอากาศโพลเด็ดไดโพล

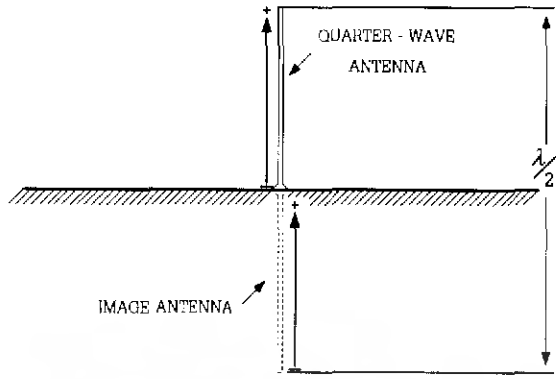
รูปที่ 2.23 สายอากาศเชิงแนวนอนแบบต่างๆ

2.13.5 สายอากาศแนวดิ่ง

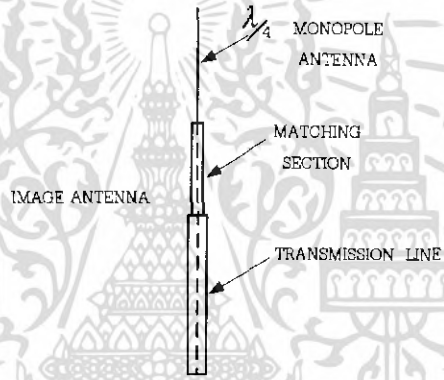
สายอากาศแนวดิ่งที่รู้จักกันมากที่สุด คือ สายอากาศแบบมาร์โคนี่ (Marconi) หรือมีชื่อเต็มทางเทคนิคว่า สายอากาศแบบแนวดิ่งแบบหนึ่งในสี่คลื่น (Grounded Quarter-wave Vertical Antenna) ดังรูปที่ 2.24 ส่วนที่เหลืออยู่เหนือผิวดินจะยาวเท่ากับ λ (ความยาวคลื่น) โดยทางทฤษฎีการทำงานจะเกิดภาพเสมือนของสายอากาศใต้พื้นดินด้วยรูปแบบการกระจายคลื่นจะคล้ายกับครึ่งหนึ่งของรูปโดนัส โดยการปักสายอากาศไว้ตรงกลางรูของรูปโดนัส รูปแบบการกระจายคลื่นในระนาบจึงเป็นรูปวงกลมโดยมีอินพุทอิมพีแดนซ์ประมาณ 37 โอห์ม

สายอากาศแบบมาโคนี่นิยมใช้ในเครื่องสื่อสารขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้ (Mobile) เพราะว่ามีรูปแบบการกระจายคลื่นรอบทิศทางในการใช้งานต้องนำไปติดตั้งเหนือพื้นดิน อาจติดตั้งบนเสาไม้สูงๆ แล้วส่งผ่านสัญญาณไปตามสายโคแอกเชียล จึงมักเรียกสาอากาศชนิดนี้ว่าสายอากาศแบบ Quarter-wave Monopole ดังรูปที่ 2.25 สายตัวนำรอบนอกของสายโคแอกเชียลจะต่อกับพื้นดินทำให้เกิดรูปแบบการกระจายคลื่นในระนาบเฉพาะทิศทางหนึ่งๆ แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 สายอากาศเชิงแนวดิ่งแบบ Grounded Quarter-wave หรือเรียกว่า สายอากาศแบบมาโคนี่



รูปที่ 2.25 สายอากาศแบบ Quarter-wave monopole

2.13.6 สายอากาศแบบช่อง

ถ้าเราเจาะช่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กลงบนแผ่นเหล็กเราสามารถนำช่องเหล็กนี้มาทำสายอากาศคลื่นวิทยุได้โดยการฟีดคลื่นผ่านสายนำสัญญาณเข้าที่ทั้งสองด้านของช่องนี้ ดังรูป 2.26

รูปที่ 2.26 แสดงสายอากาศแบบช่อง

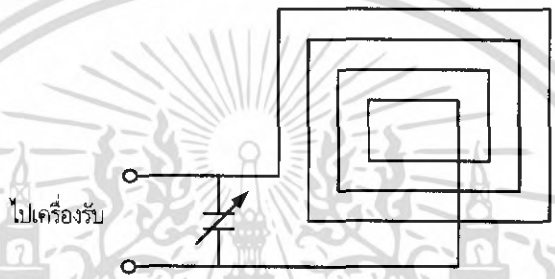
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแบบนี้ไม่มีการแพร่คลื่นในระนาบเดียวกันกับแผ่นเหล็ก แต่ระนาบที่ตั้งฉากกับแผ่นเหล็กจะมีรูปแบบการแพร่คลื่นเหมือนกับไดโพลแบบ $\lambda/2$

ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบช่องสูงกว่าแบบไดโพล $\lambda/2$ คือ มีค่า 475 โอห์ม เทียบกับ 73 โอห์ม

2.13.7 สายอากาศแบบลูป

ประกอบด้วยจำนวนรอบที่ลวดตัวนำพันเป็นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งขนาดของสายอากาศต้องมีค่าน้อยกว่าความยาวคลื่นของสัญญาณที่รับเข้ามา พิจารณารูป 2.27

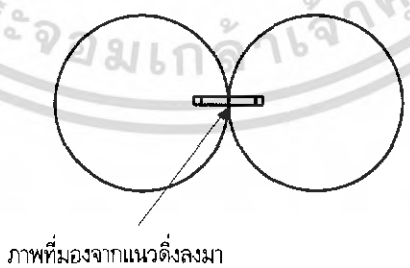


รูปที่ 2.27 แสดงสายอากาศแบบลูป

จากรูปเป็นสายอากาศแบบลูปรูปสี่เหลี่ยมที่มีจำนวนรอบ 4 รอบ และมีส่วนจูนความถี่ของสัญญาณโดยใช้ตัวประจุไฟฟ้าแบบปรับค่าได้

แรงดันไฟฟ้าที่ส่งจากสายอากาศไปให้เครื่องรับมีค่าขึ้นกับพื้นที่ของลูป และจำนวนรอบของลวดตัวนำ (พื้นที่ของลูปจำกัดความต้องการตั้งสายอากาศในบริเวณจำกัด)

รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศลูปเป็นรูปเลขแปด แสดงในรูป 2.28

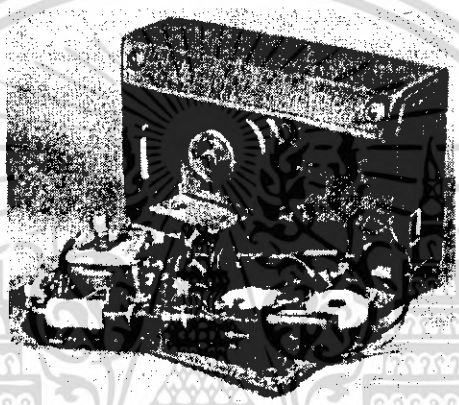


รูปที่ 2.28 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นในแนวราบของสายอากาศแบบลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นได้ชัดว่าไม่มีการรับสัญญาณคลื่นในทิศตั้งฉากกับระนาบของลูป (ทิศที่มองตรงเข้าหาสายอากาศ) คุณสมบัติข้อนี้เหมาะมากสำหรับการใช้สายอากาศแบบลูปในงานหาทิศทาง (Direction finding)

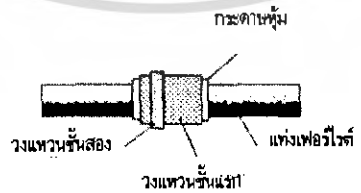
ถ้าเปลี่ยนจากเดิมที่ใช้ลวดตัวนำมาเป็นวัสดุที่มีส่วนผสมของแม่เหล็กอยู่ เช่น เฟอร์ไรต์ (ferrite) เราพบว่าสนามแม่เหล็กของคลื่นที่รับเข้ามาจะมารวมกันหนาแน่นภายในพื้นที่ของลูป เป็นการเพิ่มความหนาแน่นของฟลั๊กซ์ในสนามใดๆ ที่ตัดกับลูป มีผลให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำเข้าไปในลูปมีค่าเพิ่มขึ้นโดยวิธีใช้พวกเฟอร์ไรต์แทนลวดตัวนำให้ผลเหมือนการเพิ่มขนาดของลูปในเครื่องรับวิทยุทรานซิสเตอร์จะมีใช้สายอากาศแท่งเฟอร์ไรต์อยู่ ดังรูป 2.29



รูปที่ 2.29 แสดงสายอากาศแท่งเฟอร์ไรต์ภายในเครื่องรับวิทยุ

สายอากาศแบบนี้จะมีคอยล์หรือวงแหวนเล็กพันรอบแท่งเฟอร์ไรต์อยู่ (มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.25 - 0.5 นิ้ว)

ข้อดีของสายอากาศนี้คือ ขนาดที่เล็ก เหมาะจะติดตั้งในแผ่นวงจรได้เป็นอย่างดี ในรูป 2.30 ที่แสดงโครงสร้างมาตรฐานของสายอากาศแท่งเฟอร์ไรต์

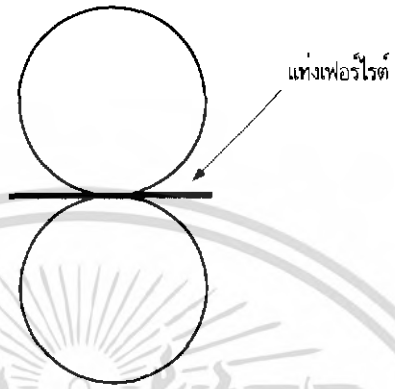


รูปที่ 2.30 แสดงโครงสร้างของแท่งเฟอร์ไรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงแหวน 2 วงจะให้คุณสมบัติการรับได้ภายในหนึ่งย่านความถี่ ถ้าต้องการให้ได้มากกว่านี้ต้องเพิ่มคู่วงแหวนเข้าไป

สำหรับรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศแบบนี้ แสดงในรูป 2.31



รูปที่ 2.31 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศแท่งเฟอร์ไรต์

เห็นได้ว่า เพื่อให้ผลการตอบสนองของสัญญาณต่อสายอากาศได้ดีที่สุดแล้ว เราควรวางสายอากาศให้ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่รับเข้ามา

2.14 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง

อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio : SWR) หมายถึง อัตราส่วนของค่าแรงดันไฟฟ้ามากที่สุดต่อค่าน้อยที่สุด ที่ปรากฏบนสายนำสัญญาณหรือแทนด้วยอัตราส่วนของ Emax ต่อ Emin ดังในรูปที่ 2.32 เราเรียกว่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio) เขียนแทนว่า VSWR หรือใช้ SWR ก็ได้

เขียนเป็นสูตร

$$SWR \equiv \frac{E\max}{E\min} \tag{2.5}$$

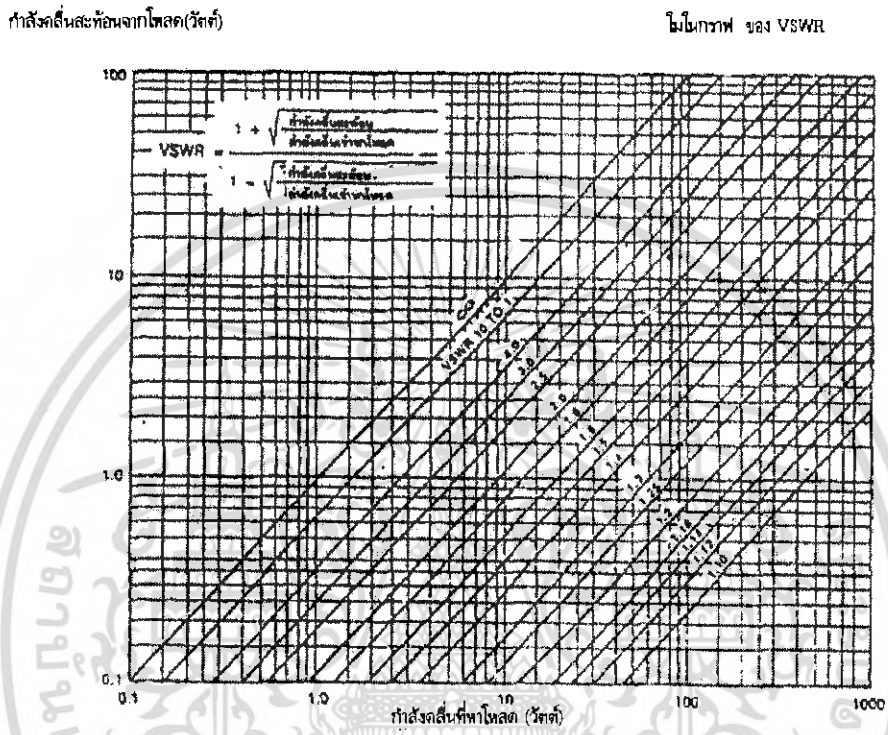
โดยในที่นี้ SWR คือ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

$E\max$ คือ ค่าแรงดันสูงสุด

$E\min$ คือ ค่าแรงดันต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำนองเดียวกัน ค่ากระแสมากที่สุดต่อค่าน้อยที่สุด (Imax/Imin) หาได้เช่นเดียวกับ VSWR พิจารณารูปที่ 2.32 โมโนกราฟของการหา VSWR โดยคิดจากกำลังเคลื่อนที่สะท้อนและส่วนมาหาโหลด วัดโดยใช้ อาร์. เอฟ. วัตต์มิเตอร์



รูปที่ 2.32 โมโนกราฟของ VSWR

นอกจากนี้ค่า SWR ยังใช้บอกคุณสมบัติต่างๆ ของสายที่ไม่แม็ชท์ได้ด้วย หรือใช้บอกถึงประสิทธิภาพของสายได้ โดยถ้าโหลดไม่มีค่ารีแอ็กแตนซ์อยู่เลย ค่า SWR จึงคิดได้จากอัตราส่วนระหว่างความต้านทานของโหลด (R) กับอิมพีแดนซ์ประจำตัว (Zo) ของสาย หรือแยกพิจารณาเป็นกรณี 2 แบบ คือ

SWR = R/Zo (ค่า R มากกว่า Zo)

หรือ SWR = Zo/R (ค่า R น้อยกว่า Zo)

สรุปได้ว่าการไม่แม็ชท์ของสายนำสัญญาณเกิดมากขึ้น จะมีผลให้ความแตกต่างระหว่างค่า Zo และ R มีมากขึ้น หรือค่า SWR มีขนาดมากขึ้น ส่วนสายที่มีการแม็ชท์กับโหลดอย่างสมบูรณ์จะไม่มีคลื่นนิ่งเกิดบนสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 การแม็ชท์สายนำสัญญาณ

การใช้งานสายนำสัญญาณที่ค่าอัตราส่วน SWR ต่ำ ต้องใช้โหลดที่แม็ชท์กับอิมพีแดนซ์ประจำสายให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด

ปัญหาข้อข้อนี้มีทางแก้ 2 วิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 เลือกสายนำสัญญาณที่มีค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายแม็ชท์กับความต้านทานของสายอากาศที่จุดต่อ

วิธีที่ 2 ปรับค่าความต้านทานของสายอากาศให้แม็ชท์กับค่า Zo ของสายนำสัญญาณที่เลือกใช้

วิธีแรกง่ายและไม่ยุ่งยากที่จะต่อโดยตรง แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้มีสูงมากเพราะว่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศและสายนำสัญญาณที่มีค่าเท่ากันหาได้น้อยชนิดมาก สำหรับวิธีที่สองให้อิสระในการประยุกต์ใช้งานสูง ข้อเสียประการเดียว คือ ความยุ่งยากในการสร้าง

จากที่ได้กล่าวมาก่อนแล้วว่า ระบบสายอากาศส่วนมากมีการเปลี่ยนค่าความต้านทานอย่างเห็นชัดเมื่อความถี่เพิ่มจากค่าพื้นฐานเป็นจำนวนเท่าของค่านั้น

ด้วยเหตุนี้การแม็ชท์อิมพีแดนซ์สายนำสัญญาณจึงมักทำได้เฉพาะย่านความถี่เดียวเท่านั้น โดยส่วนใหญ่ระบบสายอากาศที่แม็ชท์จะใช้ในกิจการหนึ่งแถบความถี่ ถึงแม้ว่าบางกรณีอาจเกินไปจากแถบความถี่ที่กำหนดก็จะไม่มากนัก

แถบความถี่นี้พอพิจารณาดูจากช่วงที่มีค่า SWR ต่ำหรือดูจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ต่อความถี่ โดยค่าอิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนเพียงเล็กน้อยเมื่อค่าความถี่เปลี่ยนไป มีผลให้ค่า SWR ต่ำ และแถบความถี่กว้าง

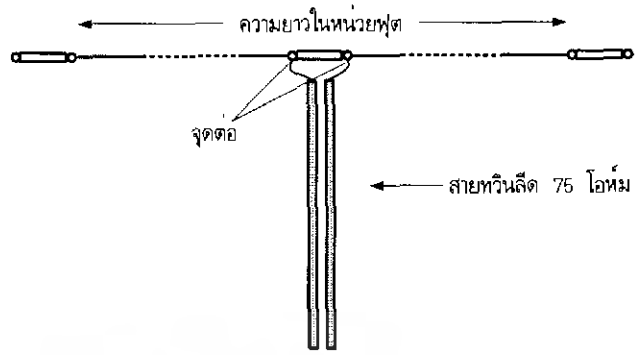
การรีโซแนนซ์สายอากาศจุดที่ควรให้ความสนใจในการแม็ชท์สายอากาศกับสายนำสัญญาณ คือ อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อต้องเป็นความต้านทานอย่างเดียวเท่านั้น หมายความว่าระบบสายอากาศจะรีโซแนนซ์ที่ความถี่ในกรณีสายแม็ชท์แล้ว

2.15.1 การแม็ชท์โดยตรง

ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกึ่งกลางของสายอากาศรีโซแนนซ์ขนาด $\lambda/2$ ที่ความสูง $\lambda/4$ หรือมากกว่านี้ (จำนวนเท่า) มีค่าเป็นความต้านทานอย่างเดียวและมีค่าประมาณ 70 โอห์ม

สามารถนำสายนำสัญญาณ (ส่ง) แบบทวิดลีดมีค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายเท่ากับ 70 โอห์มมาสร้างสามารถใช้งานได้ ถึงแม้จะเกิดค่า SWR ขนาดต่ำก็ตามดังแสดงในรูปที่ 2.33

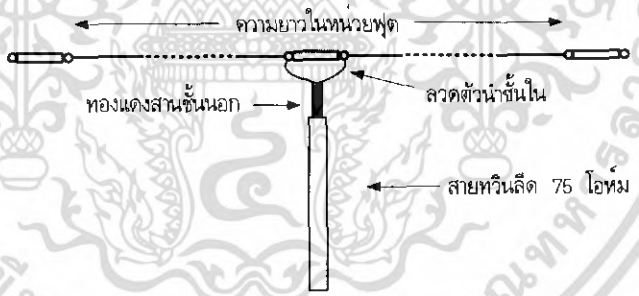
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 การต่อไดโพลแบบ λ/2 กับสายทวินลีด 75 โอห์ม

วิธีต่อในรูปที่ 2.33 ใช้งานได้ดี เมื่อความถี่ใช้งานเป็นจำนวนเท่าเลขคี่ของความถี่พื้นฐานอย่างเช่น สายอากาศจะรีโซแนนซ์ที่ความถี่ 7 เมกะเฮิรตซ์ สามารถทำงานในความถี่ 21 เมกะเฮิรตซ์ โดยเกิดค่า SWR ต่ำได้ดี (3 เท่าจากความถี่พื้นฐาน) แต่กรณีเป็นจำนวนเท่าเลขคู่ของความถี่พื้นฐาน จะให้ผลการทำงานไม่ดี

กรณีใช้สายโคแอกเชียลแทนที่จะใช้สายทวินลีด เหมือนกรณีก่อน สามารถใช้สายโคแอกเชียลแบบ 75 โอห์ม ใช้ชนิด RG-11 ต่อแทนได้ในรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 การต่อสายอากาศแบบ λ/2 กับสายโคแอกเชียลขนาด 75 โอห์ม

บางครั้งอาจใช้สายโคแอกเชียลที่มีอิมพีแดนซ์ประมาณ 52 โอห์ม เช่น ชนิด RG-8 เมื่อความสูงของสายอากาศต่ำกว่า λ/4 เพราะจะมีผลลดค่าความต้านทานการแพร่คลื่นของสายอากาศลง

สำหรับหลักการเกี่ยวข้องกับค่า SWR เหมือนกับแบบทวินลีด แต่ส่วนที่แตกต่างกันระหว่างทั้งสองกรณี คือ สายแบบทวินลีดเป็นสายที่มีความสมดุลทางไฟฟ้าอยู่ ส่วนสายโคแอกเชียลไม่มีสมดุลทางไฟฟ้า หรือในกรณีต่อกับสายโคแอกเชียล ด้านนอกของตัวนำชั้นนอกไม่ได้ต่อกับสายอากาศผิดกับตัวนำชั้นใน และด้านในของตัวนำชั้นนอกที่ต่อโดยตรงอยู่มีผลลัพธ์ กระแสบางส่วนไหลบนด้านนอกนี้ เป็นการสูญเสียอย่างหนึ่ง ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของสายนำสัญญาณมีขนาดเล็กมาก เมื่อเทียบกับความยาวของสายอากาศ

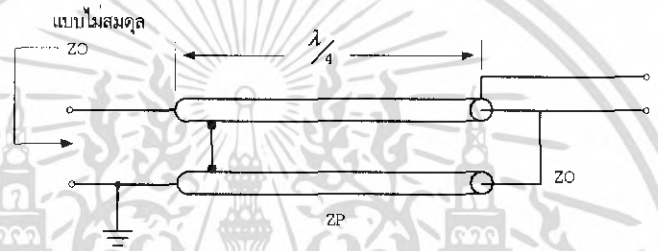
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และใช้ในย่านความถี่วิทยุสมัครเล่นช่วงความถี่ต่ำแล้ว ผลจากความไม่สมดุลทางไฟฟ้านี้สามารถไม่คิดได้ เพราะมีขนาดน้อยมาก แต่ในย่านความถี่ VHF และ UHF จะมีผลอย่างมาก

2.15.2 บาลัน

ในย่านความถี่สูง วิธีต่อโดยตรงระหว่างสายที่มีความสมดุล กับสายที่ไม่มีความสมดุล มีผลทำให้เกิดสูญเสียพลังงานที่แพร่ออกมา หรือเกิดการแทรกจากสัญญาณรบกวนภายนอกได้ บาลันจัดเป็นวงจรที่ใช้เชื่อมต่อสายแบบสมดุลกับแบบไม่สมดุล โดยไม่มีผลกระทบใดๆ

สำหรับย่านความถี่คลื่นวิทยุถ้ามีใช้กำลังไฟฟ้าจนถึง 5 กิโลวัตต์ หรือความถี่จนถึง 30 เมกะเฮิรตซ์ จะใช้บาลันได้



รูปที่ 2.35 บาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 1 : 1

จากรูปที่ 2.35 ปลายบาลันด้านแบบไม่สมดุล ตัวนำชั้นนอกของสายโคแอกเชียลต่อตรงกับตัวนำแท่งกลม (ตัวล่าง) ซึ่งตัวนำล่างนี้มีค่าอิมพีแดนซ์ประจำตัวนำเท่ากับ Zp ทั้งสองมีความยาวขนาด $\lambda/4$ ดังนั้น ถ้าพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ที่มองเข้ามาทางขวามือของบาลันมีค่าเท่ากับ Zp^2/θ หรือเป็นวงจรเปิด

2.16 เครื่องส่งวิทยุ

2.16.1 วงจรออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) คือ วงจรที่ทำให้เกิดกระแสสลับความถี่วิทยุหรือเรียกว่าวงจรก่อกำเนิดความถี่วิทยุ เป็นวงจรอันดับต้นของเครื่องส่งวิทยุ และมีใช้อยู่ในเครื่องรับวิทยุแบบซุปเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์ วงจรออสซิลเลเตอร์มีหลายชนิด เช่น

1. ชนิดใช้ผลึก (Quartz Crysal) ควบคุมความถี่วิทยุซึ่งได้ความถี่คงที่แน่นอนดีมาก
2. ชนิดวีเอฟโอ (Variable Frequency Oscillator:VFO) ความถี่ที่ได้จะไม่คงที่แน่นอนนัก
3. ชนิดสังเคราะห์ความถี่ (Frequency Synthesizer) ได้ความถี่คงที่แน่นอน ต้องใช้วงจรกรองกระแสป้องกันมิให้สัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16.2 ความกว้างของแถบคลื่นความถี่

การส่งคลื่นวิทยุเป็นพาหะอย่างเดียวจะไม่เกิดแถบคลื่นวิทยุหรือแถบข้าง จนกระทั่งมีการแปรรูปคลื่นวิทยุ จึงเกิดแถบคลื่นวิทยุแผ่กว้างออกไปจากความถี่วิทยุที่เป็นคลื่นพาห์ ตามแต่ละประเภทของการแปรรูปคลื่นวิทยุ เช่น

1. การแปรรูปคลื่นวิทยุทางขนาดหรือเอเอ็ม

สำหรับวิทยุโทรทัศน์ชนิดที่มีแถบข้างเป็น 2 ข้าง (Double Side Band : DSB) ถ้าเป็นวิทยุโทรทัศน์ชนิดที่มีแถบข้างเดียว หรือเรียกว่า ซิงเกิ้ลไซแบนด์ ใช้ความถี่เสียงไม่เกิน3,000 เฮิรตซ์ จะแถบคลื่นวิทยุกว้าง 3,000 บวกกับอีก 3,000 เท่ากับ 6,000 ความถี่เสียงไม่เกิน 3,000 เฮิรตซ์ จะมีแถบคลื่นวิทยุกว้าง 3,000 เฮิรตซ์ หรือเท่ากับ 3 กิโลเฮิรตซ์

2. การแปรรูปทางความถี่ หรือเอฟเอ็ม

สำหรับวิทยุโทรศัพท์เพื่อการพาณิชย์ใช้ความถี่เสียงไม่เกิน 3 กิโลเฮิรตซ์ จะมีแถบคลื่นกว้าง 36 กิโลเฮิรตซ์ แต่สำหรับวิทยุโทรศัพท์ในกิจการวิทยุสมัครเล่นนั้นจะถูกบีบให้แถบคลื่นวิทยุลดลงเหลือกว้างเพียง 16 กิโลเฮิรตซ์ เท่านั้น

2.16.3 คลื่นวิทยุที่คลื่นอื่นปะปนออกไป

เครื่องส่งวิทยุที่ดีจะส่งคลื่นที่บริสุทธิ์ออกไปเป็นคลื่นพาห์ แต่เครื่องส่งวิทยุบางเครื่องจะส่งคลื่นอย่างอื่นปะปนออกไปด้วย เนื่องจากความบกพร่องของวงจรเครื่องส่ง คลื่นเหล่านี้ได้แก่

1. คลื่นฮาร์โมนิก

ซึ่งมีขนาดความถี่เป็น 2 เท่า 3 เท่า เป็นต้น ของความถี่คลื่นพาห์ทำให้กำลังคลื่นพาห์ลดน้อยลงเพราะต้องแบ่งกำลังไปอยู่ที่คลื่นฮาร์โมนิกและไม่ให้ประโยชน์ใด ในการรับฟังคลื่นฮาร์โมนิกยังไปรบกวนเครื่องรับอื่นๆ ที่กำลังรับฟังคลื่นของสถานีอื่นซึ่งมีความถี่ตรงกับคลื่นฮาร์โมนิกนี้ด้วย

2. คลื่นพาราซิติก (Parasitic Oscillation)

มักเกิดขึ้นในวงจรขยายแรงไฟความถี่วิทยุย่านวีเอชเอฟ และเอชเอฟ มีความถี่ไม่แน่นอนปะปนแพร่ออกไปพร้อมกับคลื่นพาห์ ทำให้คลื่นมีกำลังลดลง เพราะกำลังส่วนหนึ่งต้องเสียไปในการส่งคลื่นพาราซิติกนี้

คลื่นที่ปะปนออกไปกับคลื่นนี้เป็นคลื่นเทียม (Spuriouus Transmission) เป็นตัวไปรบกวนเครื่องรับอื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียง เช่น ไปก่อกวนเครื่องรับโทรทัศน์ และเครื่องรับวิทยุ ดังนั้น เครื่องส่งวิทยุคมนาคมที่ดี จะต้องมีวงจรทำลายคลื่นฮาร์โมนิก และคลื่นเทียม หรือลดความแรงของคลื่นที่ไม่พึงประสงค์เหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17 เครื่องรับวิทยุ

2.17.1 ประสิทธิภาพของเครื่องรับวิทยุ

สิ่งที่แสดงประสิทธิภาพของเครื่องรับวิทยุทุกชนิด ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารทางวิทยุ ได้แก่

1. ความไวในการรับ

ความสามารถในการรับสัญญาณวิทยุเบาๆ มีความแรงน้อยได้ เครื่องรับที่มีความไวน้อยต้องการสัญญาณวิทยุที่แรงมากๆ จึงจะทำให้ได้ยินเสียงได้

2. ความสามารถเลือกสัญญาณ

ความสามารถแยกสถานีวิทยุที่ต้องการรับฟังให้ออกมาจากลุ่มสัญญาณของ สถานีวิทยุข้างเคียงได้ ทำให้เสียงรบกวนจากสถานีที่ไม่ต้องการรับฟังเบาบางลงไปมากๆ ถ้าเครื่องรับมีความสามารถเลือกรับสัญญาณดี ทำให้การเลือกรับสัญญาณที่ต้องการได้ง่าย และถูกต้องแม่นยำ

3. ความชัดเจนของสัญญาณเสียง

ความสามารถที่ทำให้เสียงที่รับฟังได้จากเครื่องรับวิทยุชัดเจน คล้ายคลึงเสียงที่มาจากต้นทางมากที่สุดในการรับฟังวิทยุโทรทัศน์เพราะวิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์ มีทั้งเสียงพูดและเสียงดนตรี มีย่านความถี่เสียงกว้างกว่าที่ใช้ในงานวิทยุโทรทัศน์มาก

4. ความมีเสถียรภาพดี

ความสามารถทำให้สัญญาณวิทยุปรับนิ่งอยู่ตรงความถี่วิทยุที่รับฟังได้ตลอดเวลา เครื่องรับวิทยุบางแบบหรือบางเครื่อง โดยเฉพาะเครื่องรับวิทยุใช้หลอด เมื่อปรับให้รับคลื่นของสถานีวิทยุแห่งหนึ่งได้แล้ว จะได้ยินเสียงดังที่สุดอยู่ช่วงเวลาหนึ่งแล้วเสียงจะเบาลงไป เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเครื่องรับทำให้ค่าของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ค่าคาปาซิเตอร์หรือค่าอินดัคเตอร์ที่เปลี่ยนไป ทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นคลาดเคลื่อนไป หรือเหลื่อมไปจากความถี่วิทยุที่ส่งมาจึงต้องปรับแต่งเครื่องรับให้ได้ความถี่ตรงกับความถี่ที่ส่งมาอีกครั้ง เสียงจึงจะดังขึ้นเท่าเดิม เครื่องรับชนิดใช้ทรานซิสเตอร์จะมีเสถียรภาพดีกว่าเครื่องรับชนิดหลอด

2.17.2 ดีเทคเตอร์

วงจรสำคัญที่เครื่องรับวิทยุจะขาดเสียไม่ได้คือ วงจรดีเทคเตอร์ (Detector) เพราะ ดีเทคเตอร์เป็นตัวแยกสัญญาณเสียงออกจากสัญญาณวิทยุ

ในระบบการแปรรูปคลื่นวิทยุทางขนาด หรือเอเอ็ม ใช้หลอดไดโอด หรือสิ่งที่ทำงานได้อย่างหลอดไดโอดเช่นแร่เยอรมันเนียมหรือแร่ซิลิกอน ในสมัยเริ่มแรกที่มีวิทยุกระจายเสียงเครื่องรับวิทยุกระจายเสียงมีดีเทคแบบง่ายๆ เป็นกาลินาหรือแร่ซิลิกอน เรียกว่า เครื่องแร่ ต่อมาดีเทคเตอร์จึงเป็นหลอดไดโอดและเป็นทรานซิสเตอร์ มีชื่อเรียกว่าต่างๆ กันตามการทำงาน เช่น ไดโอดดีเทคเตอร์, รีเจนเนอเรทีฟดีเทคเตอร์, เพลทเทคเตอร์ และโปรดักดีเทคเตอร์ เป็นต้น ส่วนการแปรรูปคลื่นวิทยุทางความถี่หรือเอฟเอ็มดีเทคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า ดิสคริมิเนเตอร์ (Frequency Discriminator) ต่อมามีเรโชดีเทคเตอร์ (Ratio Detector) ซึ่งเรียกดีเทคเตอร์ว่า ดีมอดูเลเตอร์ เพื่อให้หมายถึงสิ่งที่ทำหน้าที่กลับกันกับมอดูเลเตอร์

2.17.3 ระบบการรับคลื่นวิทยุ

เครื่องรับวิทยุแบบง่ายที่สุด คือ เครื่องแร่ มีดีเทคเตอร์เป็นก้อนแร่กับเข็มจิ้มแร่ และใช้หูฟังเป็นเครื่องเปลี่ยนความถี่เสียงเป็นคลื่นเสียง เครื่องแร่ใช้รับวิทยุกระจายเสียง และเครื่องรับวิทยุโทรศัพท์ระบบเอเอ็ม กับวิทยุโทรเลขรหัสมอร์สชนิดมีเสียงได้ แต่รับวิทยุโทรเลขรหัสมอร์สชนิดไม่มีเสียงได้

เครื่องรับวิทยุชนิดหลอดที่มีใช้ทั่วไป คือ แบบที่ใช้ดีเทคเตอร์แบบรีเจนเนอเรที(Regrnerative Detector) เพียงหลอดเดียว ใช้รับวิทยุกระจายเสียง, วิทยุโทรศัพท์, วิทยุโทรเลขรหัสมอร์สชนิดมีเสียง และวิทยุโทรเลขรหัสมอร์สชนิดไม่มีเสียงได้

การรับสัญญาณวิทยุโทรเลขรหัสมอร์สชนิดไม่มีเสียง ใช้วิธีปรับแต่งวงจรป้อนกำลังให้ดีเทคเตอร์เกิดการออสซิลเลตเป็นความถี่เกือบเท่าความถี่วิทยุที่ฟัง ให้ผลต่างของความถี่ทั้งสองที่มากระทบกันเป็นความถี่เสียงประมาณ 500 - 1,000 เฮิรตซ์ เช่น เมื่อรับฟังความถี่ 14,000 กิโลเฮิรตซ์ แล้วะได้ยินเสียงกระทบกันความถี่ 500 เฮิรตซ์

ถ้าลดการป้อนกำลังกลับให้น้อยลงจนไม่เกิดการออสซิลเลต ดีเทคเตอร์จะอยู่ในสภาวะรีเจนเนอเรต (Regennerate) คือ เป็นรีเจนเนอเรทีฟดีเทเตอร์ มีความไวในการรับฟังมากขึ้น รับสัญญาณวิทยุโทรเลขชนิดมีเสียง, วิทยุโทรศัพท์, และวิทยุกระจายเสียงได้ความแรงสูงมาก เครื่องรับวิทยุแบบปรับเปลี่ยนความถี่วิทยุมีหลอดขยายแรงไฟความถี่วิทยุเป็นต้น ทำหน้าที่ปรับความถี่วิทยุของวงจรขาเข้าให้ได้เท่ากับความถี่วิทยุที่รับฟังแล้ว จึงส่งแรงไปขยายแล้วไปเข้าหลอดรีเจนเนอเรทีฟดีเทคเตอร์ เมื่อได้แรงไฟความถี่เสียงออกจากหลอดดีเทคเตอร์แล้วจึงส่งเข้าหลอดขยายไฟความถี่เสียง และส่งกระแสสลับความถี่เสียงเข้าหูฟัง หรือลำโพงเสียงเป็นอันดับสุดท้าย

เครื่องรับแบบซุปเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์มีหลักการทำงานที่สำคัญ คือ ใช้วิธีเปลี่ยนความถี่วิทยุที่รับเข้ามาให้เป็นความถี่กลางเสียก่อน เพื่อขยายความแรงให้มากขึ้น แล้วจึงส่งเข้าวงจรดีเทคเตอร์เพื่อแยกเอาความถี่เสียงออกมา

ภาคแรกของเครื่องรับวิทยุเป็นภาคขยายแรงไฟความถี่วิทยุที่รับมาจากสายอากาศ แล้วจึงส่งเข้าภาคผสมความถี่หรือภาคเปลี่ยนความถี่ โดยมีวงจรทำให้เกิดความถี่วิทยุภายในเครื่องรับแล้วส่งความถี่วิทยุที่ทำให้เกิดขึ้นนี้เข้าไปผสมกับความถี่วิทยุที่รับเข้ามา ทำให้เกิดผลต่างเป็นจำนวนเท่ากับ 455 กิโลเฮิรตซ์ หรือ 465 กิโลเฮิรตซ์ หลังจากนั้น จึงส่งความถี่เข้าภาคขยายแรงไฟซึ่งมีตอนเดียวหรือสองตอน แล้วส่งผลที่ได้ไปเข้าวงจร การไดโอดดีเทคเตอร์เพื่อแยกความถี่เสียงออกจากความถี่ไอเอฟและส่งความถี่เข้าภาคขยายแรงไฟความถี่เสียงต่อไป

การที่มีภาคขยายแรงไฟความถี่วิทยุจะทำให้เครื่องรับมีความไวสูง การเปลี่ยนความถี่วิทยุเป็นความถี่ไอเอฟ ซึ่งเป็นความถี่ขนาดต่ำลงมา ทำให้เครื่องรับสามารถเลือกสัญญาณได้ดี ลดการรบกวนจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีข้างเคียงลงได้มากขึ้น และช่วยขยายแรงไฟความถี่ไอเอฟได้แรงกว่าที่จะขยายความถี่วิทยุ ดังนั้น เครื่องรับวิทยุแบบซุปเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์ จึงมีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องรับแบบอื่นๆ ทั้งหมด

แม้เครื่องรับวิทยุแบบซุปเปอร์เฮตเทอร์โรดาย์มีมา 50 ปีแล้ว แต่ยังเป็นเครื่องรับที่ทันสมัย ปัจจุบันมีการดัดแปลงวงจรแต่ละภาคเพื่อให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น ใช้วิธีการแปลงความถี่ 2 ครั้ง ครั้งแรกเปลี่ยนความถี่จากความถี่วิทยุที่รับเข้ามาให้เป็นความถี่ไอเอฟขนาดความถี่ 10.7 เมกะเฮิรตซ์ ก่อน เมื่อผ่านภาคขยายแล้วจึงเปลี่ยนความถี่ 10.7 เมกะเฮิรตซ์ เป็นไอเอฟ 465 กิโลเฮิรตซ์ อีกครั้งหนึ่งในภายหลัง ซึ่งวิธีนี้ เรียกว่า ดับเบิ้ลหรือมัลติคอนเวอร์ชันซุปเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 การออกแบบสายอากาศ

3.1.1 สายอากาศแบบไดโพล

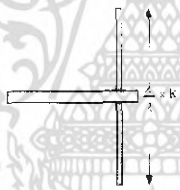
สายอากาศไดโพลจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.1 ซึ่งจะมีส่วนประกอบ คือ ความยาวของไดโพล เท่ากับ $\lambda/2$ และในรูปที่ 3.2 คือ สายอากาศไดโพลจริงที่ได้จากการออกแบบ

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ของอลูมิเนียมที่ใช้สร้างเท่ากับ 0.95

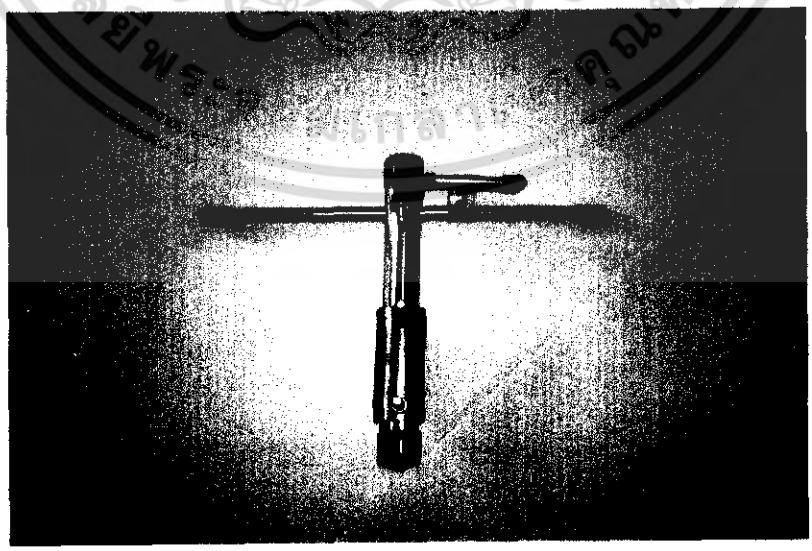
λ คือ ค่าความยาวคลื่นที่ใช้งานที่ความถี่ 450 เมกะเฮิรตซ์ เท่ากับ 66.66 เซนติเมตร

$$\text{ความยาวของไดโพล} = \frac{\lambda}{2} \times k = (0.5 \times 66.66 \text{ เซนติเมตร}) \times (0.95)$$

$$= 31.66 \text{ เซนติเมตร}$$



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งการออกแบบสายอากาศแบบไดโพล



รูปที่ 3.2 สายอากาศไดโพลจริงที่ได้จากการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 สายอากาศไดโพลแบบห่วง

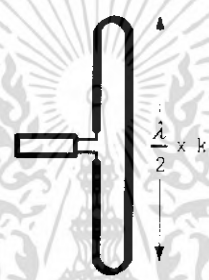
สายอากาศไดโพลแบบห่วงจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.3 ซึ่งจะมีส่วนประกอบ คือ ความยาวของไดโพลเท่ากับ λ /2 และในรูปที่ 3.4 คือ สายอากาศไดโพลแบบห่วงจริงที่ได้จากการออกแบบ

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ของอลูมิเนียมที่ใช้สร้างเท่ากับ 0.95

λ คือ ค่าความยาวคลื่นที่ใช้งานที่ความถี่ 450 เมกะเฮิรตซ์

ความยาวของไดโพล = $\frac{\lambda}{2}$ x k = (0.5 x 66.66 เซนติเมตร)x(0.95)

= 31.66 เซนติเมตร

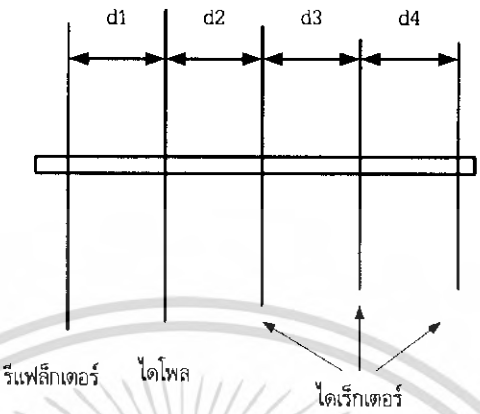


รูปที่ 3.3 ตำแหน่งการออกแบบสายอากาศแบบไดโพลแบบห่วง

รูปที่ 3.4 สายอากาศแบบไดโพลแบบห่วงจริงที่ได้จากการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 สายอากาศแบบยากิ



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งส่วนประกอบของสายอากาศแบบยากิ

จากรูปที่ 3.5 เพื่อหาค่าของแต่ละอีลีเมนต์ ดังขั้นตอนการออกแบบต่อไปนี้

1. เลือกว่าจะใช้อัตราขยายเท่าไร โดยดูจากรูปที่ 3.5 แล้วดูว่าที่อัตราขยายที่ต้องการนั้นต้องใช้ความยาวบูมเท่าไรสำหรับย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน ถ้าคิดว่ายาวเกินไป ต้องยอมลดอัตราขยายลงเพื่อให้ความยาวบูมสั้นลง

2. เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอีลีเมนต์ว่าจะเอาค่าเท่าใดจาก 0.001λ ถึง 0.04λ (เพื่อให้สามารถใช้กราฟในรูปที่ 3.6 ได้) ขนาดที่เลือกนี้ควรแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักของตัวมันเองได้โยไม่โก่งงอ ยิ่งอีลีเมนต์ใหญ่ขึ้นยิ่งทำให้แถบความถี่ใช้งานของสายอากาศกว้างขึ้น

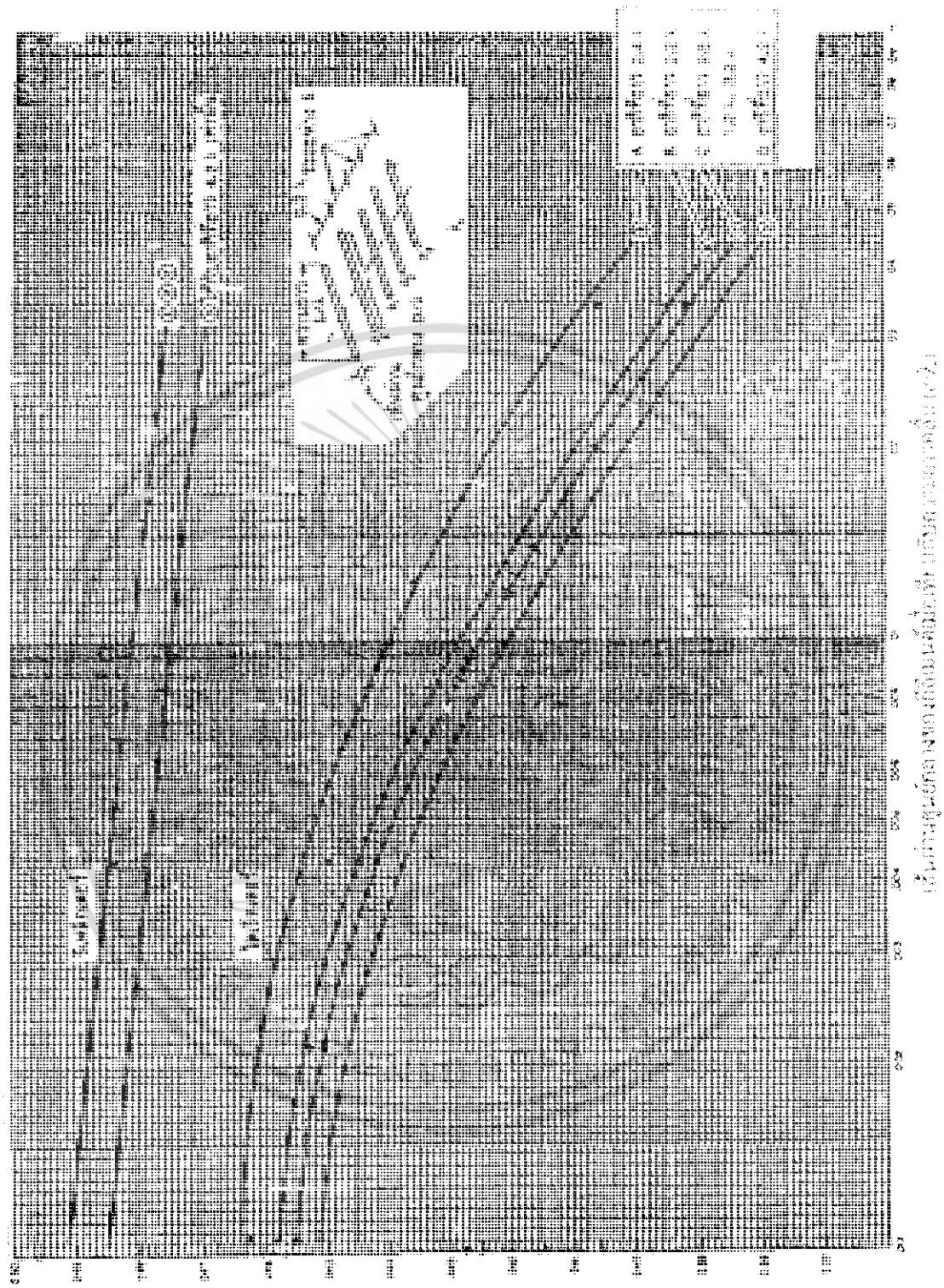
3. เลือกขนาดของบูมว่าจะใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเท่าไร โดยพิจารณาว่าต้องแข็งแรงเพียงพอสำหรับความยาวบูมที่ต้องการ และกำหนดวิธียึดอีลีเมนต์ด้วยว่าจะยึดลอยเหนือบูมโดยใช้ฉนวนคั่นระหว่างอีลีเมนต์และบูม หรือจะยึดทะลุสอดผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางของบูม

4. หาความยาวจริงของไดเร็กเตอร์และรีเฟล็กเตอร์สำหรับค่า d/λ ที่ใช้จากกราฟในรูปที่ 3.4 โดยใช้เส้นกราฟสำหรับความยาวบูมนั้น ค่าที่อ่านได้โดยตรงเลย คือ ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ และไดเร็กเตอร์ตัวที่ 1(D1)ส่วนไดเร็กเตอร์ตัวอื่นๆ ต้องใช้วิธีเทียบระยะห่างบนกราฟที่ห่างจากตำแหน่งที่เส้น d/λ นั้นๆ ตัดกับเส้นกราฟ ให้ห่างเท่ากับที่ตำแหน่งที่เส้น 0.0085λ ตัดกับเส้นกราฟห่างจากแต่ละไดเร็กเตอร์(ดูจากตารางที่ 2)บนเส้นกราฟแล้วเทียบว่าเท่ากับความยาวเท่าใด

5. ในกรณีที่ยึดอีลีเมนต์ผ่านกลางบูมโดยสัมผัสทางไฟฟ้า ให้เพิ่มความยาวของทุกอีลีเมนต์โดยใช้กราฟในรูปที่ 3.7

และการจากการออกแบบจะได้สายอากาศยากิจริงดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กราฟช่วยการออกแบบสายอากาศแบบยากิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ λ =66.66 เซนติเมตร จะได้

รีเฟร็กเตอร์ยาว = 0.418 λ = 0.481 x 66.66 เซนติเมตร

= 32.063 เซนติเมตร

ไดโพลยาว= 0.466 λ = 0.466 x 66.66 เซนติเมตร

= 31.063 เซนติเมตร

ไดเร็กเตอร์ตัวที่ 1 = 0.4275 λ = 0.4275 x 66.66 เซนติเมตร

= 28.497 เซนติเมตร

ไดเร็กเตอร์ตัวที่ 2 = 0.4185 λ = 0.4185 x 66.66 เซนติเมตร

= 27.897 เซนติเมตร

ไดเร็กเตอร์ตัวที่ 3 = 0.4185 λ = 0.4185 x 66.66 เซนติเมตร

= 27.897 เซนติเมตร

ระยะห่างแต่ละอีลีเมนต์

ระยะห่างระหว่างไดโพลกับรีเฟร็กเตอร์

d1 = 0.2 λ = 0.2 x 66.66 เซนติเมตร

= 13.332 เซนติเมตร

ระยะห่างระหว่างไดโพลกับไดเร็กเตอร์และระยะห่างระหว่างไดเร็กเตอร์กับไดเร็กเตอร์

d2 = d3 = d4 = 0.25 x 66.66 เซนติเมตร

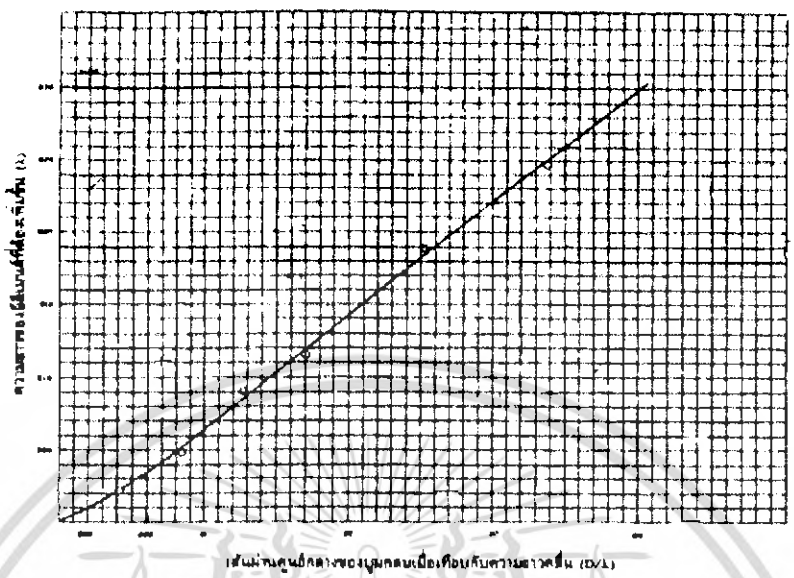
= 16.665 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

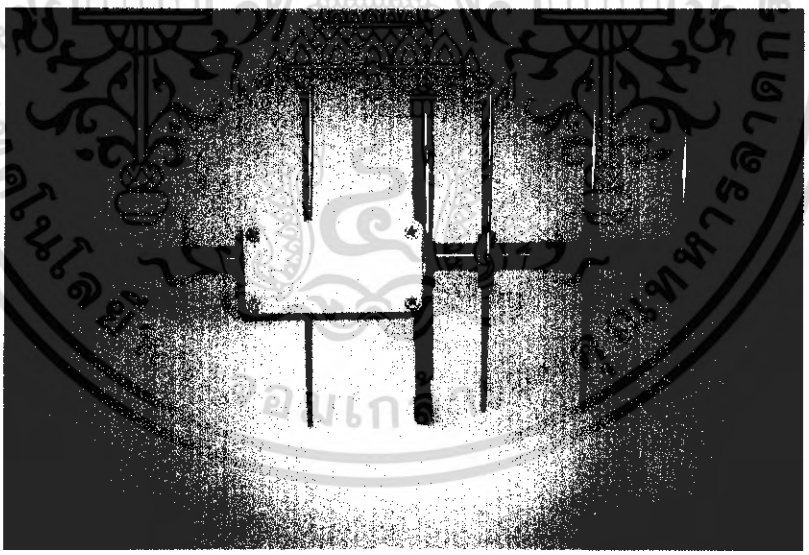
ตารางที่ 3.1 ความยาวที่เหมาะสมของแต่ละอีลีเมนต์สำหรับสายอากาศแบบยากิที่มีความยาวของบูมต่างกัน 6 ขนาด และเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอีลีเมนต์เป็น 0.0085 λ

ความยาวของบูม(λ)	0.4	0.8	1.2	2.2	3.2	4.2
จำนวนอีลีเมนต์ทั้งหมด	3	5	6	12	17	25
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์(λ)	0.482	0.482	0.482	0.482	0.482	0.475
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ 1(λ)	0.442	0.428	0.428	0.428	0.428	0.424
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ 2(λ)	-	0.424	0.420	0.415	0.420	0.424
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ 3(λ)	-	0.428	0.420	0.407	0.407	0.420
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ 4(λ)	-	-	0.428	0.398	0.398	0.407
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ 5(λ)	-	-	-	0.390	0.394	0.403
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ 6(λ)	-	-	-	0.390	0.390	0.398
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ 7(λ)	-	-	-	0.390	0.386	0.394
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ 8(λ)	-	-	-	0.390	0.386	0.390
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ 9(λ)	-	-	-	0.398	0.386	0.390
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ 10(λ)	-	-	-	0.407	0.386	0.390
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ 11(λ)	-	-	-	-	0.386	0.390
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ 12(λ)	-	-	-	-	0.386	0.390
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ 13(λ)	-	-	-	-	0.386	0.390
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ 14(λ)	-	-	-	-	0.386	-
ความยาวของรีเฟร็กเตอร์ 15(λ)	-	-	-	-	0.386	-
ระยะห่างระหว่างไดเร็กเตอร์(λ)	0.20	0.20	0.25	0.20	0.20	0.308
อัตราขยาย	7.10	9.20	10.20	12.25	13.40	14.20
ตำแหน่งเส้นกราฟ	A	C	C	B	C	D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความยาวของอีลีเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้น เมื่อไดโพลอีลีเมนต์ทะลุผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางของบูมกลม โดยสัมผัสทางไฟฟ้ากับบูมด้วย



รูปที่ 3.8 สายอากาศแบบยากิจริงที่ได้จากการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

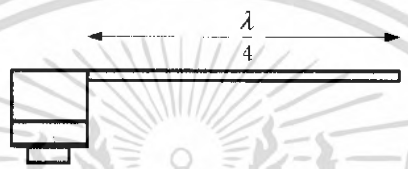
3.1.4 สายอากาศแนวนอน

สายอากาศแบบแนวนอนจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.9 โดยสายอากาศแนวนอนจริงที่ได้จากการออกแบบจะแสดงในรูปที่ 3.10 ซึ่งความยาวของสายอากาศแนวนอนจะเท่ากับ λ /4

เมื่อ λ = 66.66 เซนติเมตร จะได้

$$\text{ความยาวของสายอากาศแนวนอน} = \frac{\lambda}{4} = 0.25 \text{ x } 66.66 \text{ เซนติเมตร}$$

$$= 16.66 \text{ เซนติเมตร}$$



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งการออกแบบสายอากาศแนวนอน

รูปที่ 3.10 สายอากาศแนวนอนจริงที่ได้จากการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 สายอากาศแนวดิ่ง

สายอากาศแนวดิ่งที่ออกแบบจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.11 และจากรูปที่ 3.12 คือ สายอากาศแนวดิ่งจริงที่ได้จากการออกแบบ

เมื่อ λ = 66.66 เซนติเมตร จะได้

ความยาวของสายอากาศแนวดิ่ง = $\frac{\lambda}{4}$ = 0.25 x 66.66 เซนติเมตร

= 16.66 เซนติเมตร

รูปที่ 3.11 ตำแหน่งการออกแบบสายอากาศแนวดิ่ง

รูปที่ 3.12 สายอากาศแนวดิ่งจริงที่ได้จากการออกแบบ

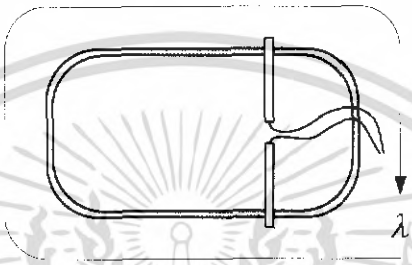
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 สายอากาศแบบช่อง

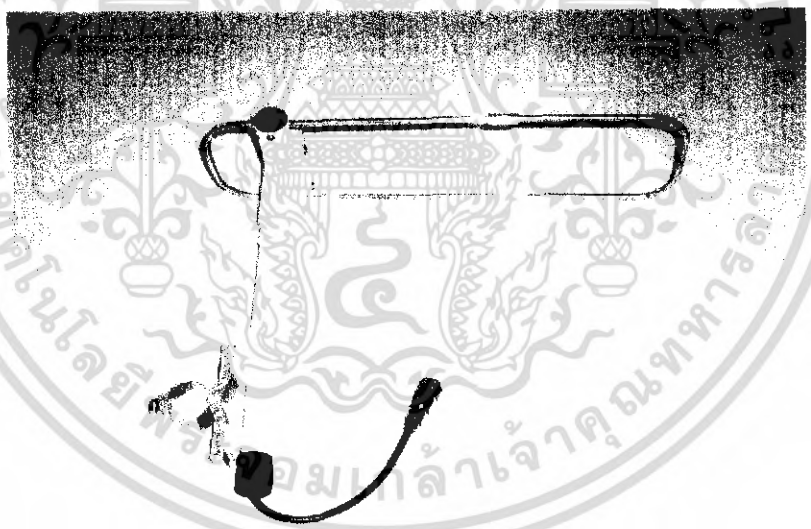
สายอากาศแบบช่องที่ออกแบบจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.13 และจากรูปที่ 3.14 คือ สายอากาศแบบช่องจริงที่ได้จากการออกแบบ

เมื่อ λ = 66.66 เซนติเมตร

ดังนั้นความยาวของสายอากาศแบบช่อง = λ = 66.66 เซนติเมตร



รูปที่ 3.13 ตำแหน่งการออกแบบสายอากาศแบบช่อง



รูปที่ 3.14 สายอากาศแบบช่องจริงที่ได้จากการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

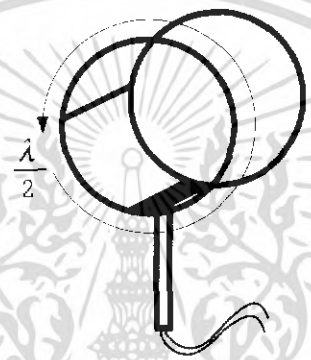
3.1.7 สายอากาศแบบลูป

สายอากาศแบบลูปที่ออกแบบจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.15 และจากรูปที่ 3.16 คือ สายอากาศแบบลูปจริงที่ได้จากการออกแบบ

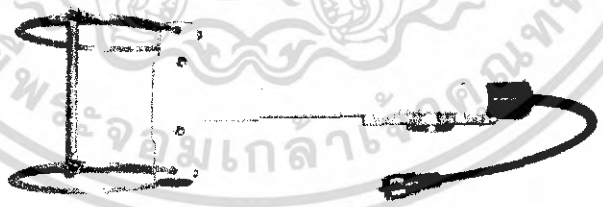
เมื่อ λ = 66.66 เซนติเมตร จะได้

ความยาวของสายอากาศแบบลูป = $\frac{\lambda}{2}$ = 0.5 x 66.66 เซนติเมตร

= 31.66 เซนติเมตร



รูปที่ 3.15 ตำแหน่งการออกแบบสายอากาศแบบลูป

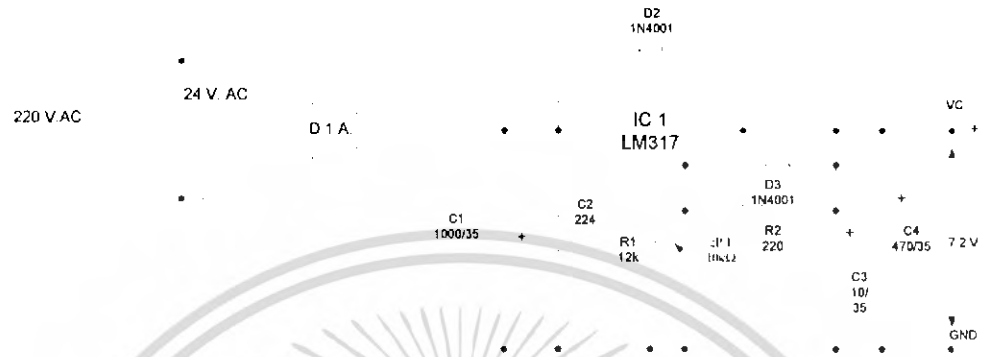


รูปที่ 3.16 สายอากาศแบบลูปจริงที่ได้จากการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แหล่งจ่ายแรงดัน

การออกแบบแหล่งจ่ายแรงดันที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันให้กับเครื่องส่งออกแบบตามวงจรในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 วงจรแหล่งงจ่ายแรงดัน

ทางด้านขดลวดปฐมภูมิใช้อินพุตแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ และแรงดันออกจากหม้อแปลงทางด้านขดลวดทุติยภูมิเป็นแรงดันไฟสลับ 24 โวลต์แล้วผ่านวงจรเร็กกูเลเตอร์ โดยใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ LM317 เพื่อจำกัดแรงดันไฟและมี VR1 เป็นตัวปรับแรงดันโดยวงจรนี้สามารถปรับแรงดันได้ตั้งแต่ 1.5 โวลต์ ถึง 30 โวลต์ แต่ในการนำไปใช้งานร่วมกับวิทยุทางด้านส่งจะใช้แรงดันเพียง 7.2 โวลต์ เมื่อปรับแรงดันได้ตามต้องการแล้วก็จะป้อนให้กับวิทยุทางด้านส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

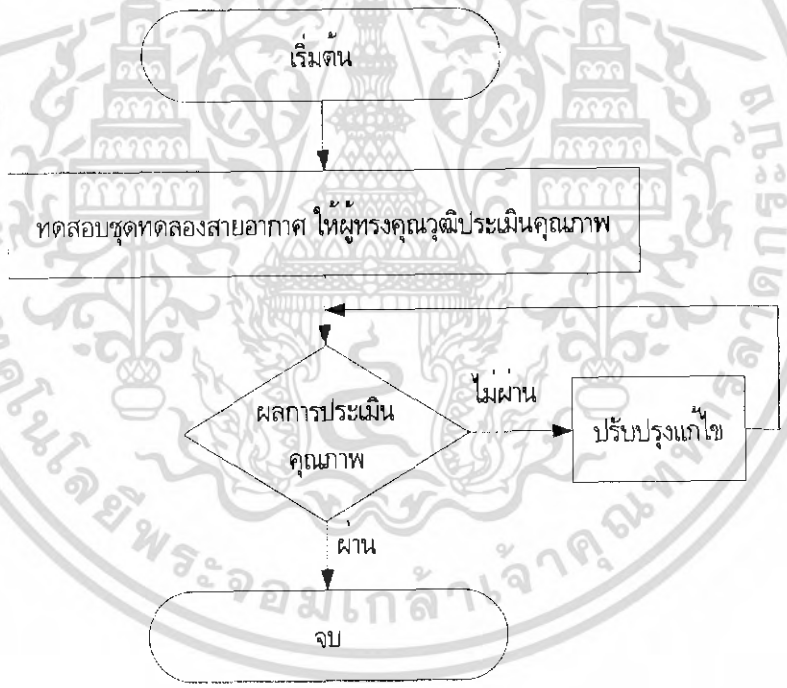
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในบทที่ 4 นี้จะเป็นการกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง เพื่อหาคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่านดำเนินการประเมินเพื่อหาคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ โดยนำเสนอผลการทดสอบพร้อมทั้งการวิเคราะห์ตามลำดับดังนี้

4.2 วิธีดำเนินการทดสอบ



รูปที่ 4.1 แผนผังการดำเนินการทดสอบ

1. ทดสอบการใช้งานชุดทดลองสายอากาศตามใบงานที่สร้างขึ้นให้ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านคุณภาพ จำนวน 3 ท่าน ทำการประเมินเพื่อหาคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ
2. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ
3. ทำการเก็บข้อมูลที่ได้จากการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำชุดทดลองสายอากาศมาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
5. นำแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศที่ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

4.3 คุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ

คุณภาพของชุดทดลองสายอากาศที่ได้จากการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านคุณภาพจำนวน 3 ท่าน โดยวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติและได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับดังนี้

4.3.1 การหาคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ

การวิเคราะห์หาคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ ผู้จัดทำได้ดำเนินการโดยพิจารณาจากการกรอกแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่านโดยผลการประเมินดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คะแนนจากการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านคุณภาพ

รายการประเมิน	คะแนนเต็ม 5 คะแนน		
	ผู้ทรงคุณวุฒิ		
	ท่านที่ 1	ท่านที่ 2	ท่านที่ 3
ด้านชุดทดลอง			
1. มีขนาดเหมาะสม	4	4	4
2. มีความสะดวกต่อการใช้งาน	4	4	4
3. การวางรูปแบบมีความเหมาะสม	5	4	4
4. ความชัดเจนในส่วนประกอบต่างๆ	4	5	4
ด้านใบงาน			
5.ใบงานสอดคล้องกับชุดทดลอง	5	5	4
6. ส่วนประกอบของใบงานครบถ้วน	4	5	4
7. ความชัดเจนในลำดับขั้นการทดลอง	3	4	3
รวมคะแนน	29	31	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพชุดทดลองสายอากาศ ผู้จัดทำได้ดำเนินการโดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิเป็นผู้ประเมิน โดยในแบบประเมินจะแบ่งผลการประเมินออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือทางด้านการออกแบบชุดทดลองและทางด้านการใช้งานชุดทดลองอยู่ในแบบประเมินเดียวกัน ผลการวิเคราะห์คุณภาพดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
ด้านชุดทดลอง			
1. มีขนาดเหมาะสม	4	0	ดี
2. มีความสะดวกต่อการใช้งาน	4	0	ดี
3. การวางรูปแบบมีความเหมาะสม	4.33	0.57	ดี
4. ความชัดเจนในส่วนประกอบต่างๆ	4.33	0.57	ดี
ด้านใบงาน			
5. ใบงานสอดคล้องกับชุดทดลอง	4.66	0.57	ดีมาก
6. ส่วนประกอบของใบงานครบถ้วน	4.33	0.57	ดี
7. ความชัดเจนถูกต้องในลำดับขั้นการทดลอง	3.33	0.57	ปานกลาง
รวมคะแนน	4.14	0.40	ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองการทำงานของชุดทดลองสายอากาศ

4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1. การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่งต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่ง ดังรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 การติดตั้งสายอากาศกับเครื่องส่ง

1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

2. การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200 W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L บันทึกผลที่ได้

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

2.8 สามารถหาค่า SWR หาได้จากสูตร

$$SWR = \frac{PF + PR}{PF - PR}$$

3. การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

รูปที่ 4.3 การติดตั้งสายอากาศส่งและสายอากาศรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน ระยะห่างประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 4.3 โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวตั้ง

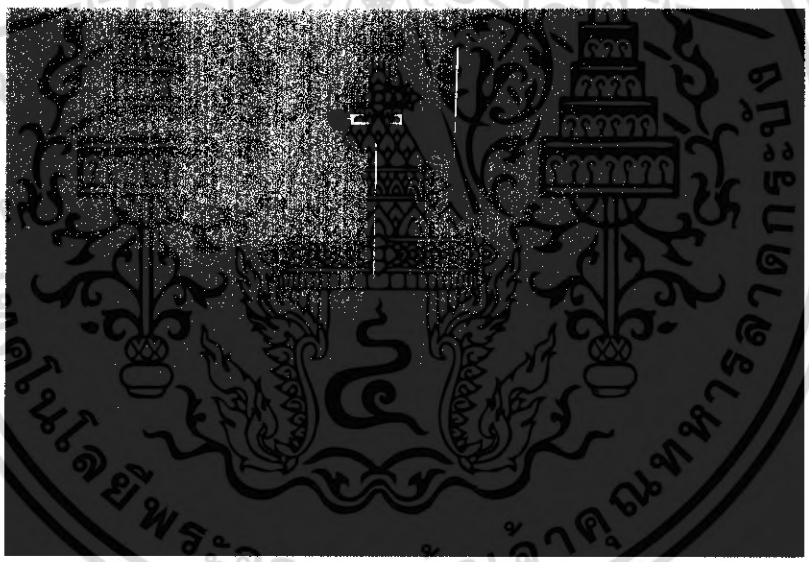
3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่ง อ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 - 45 μA บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่ 1

3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกผลลงในตารางที่ 1 ทุกครั้งในช่อง จนกระทั่ง ครบ 350 องศา

3.6 นำค่ากระแสที่รับได้จากตารางที่ 1 พล็อตลงบนตารางที่ 2 (ANTENNA POWER PATTERN)

4. นำสายอากาศชนิดต่างๆ ทั้ง 7 ชนิดที่เครื่องส่งโดยทำการทดลองทีละชนิดคือ

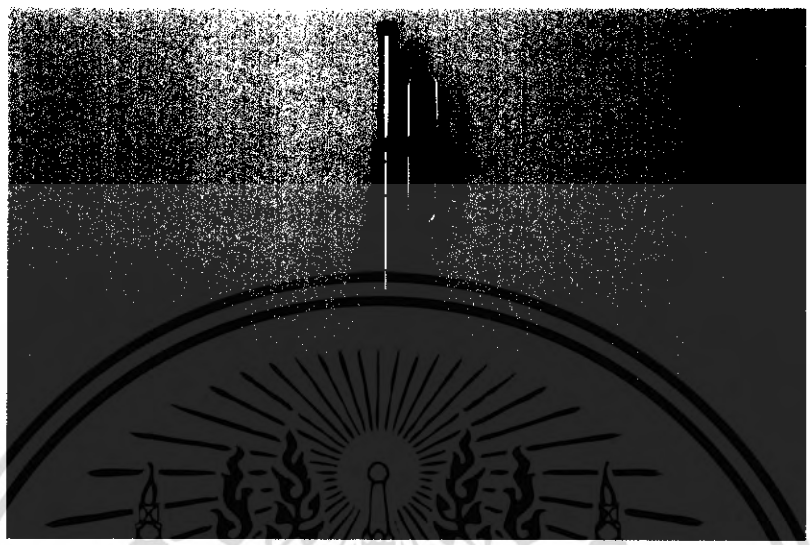
4.1 สายอากาศไดโพล



รูปที่ 4.4 การต่อสายอากาศไดโพลทางเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 สายอากาศไดโพลแบบห่วง



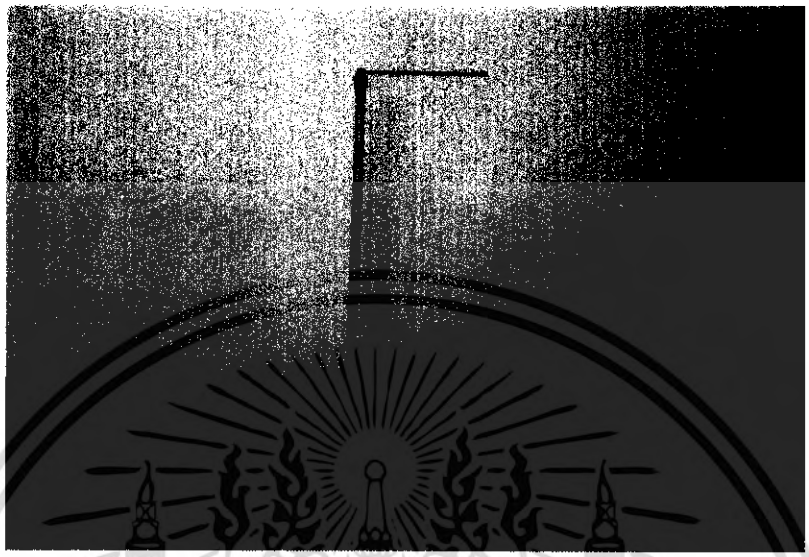
รูปที่ 4.5 การต่อสายอากาศไดโพลแบบห่วงทางเครื่องส่ง

4.3 สายอากาศแบบยากิ

รูปที่ 4.6 การต่อสายอากาศแบบยากิทางเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สายอากาศแนวนอน



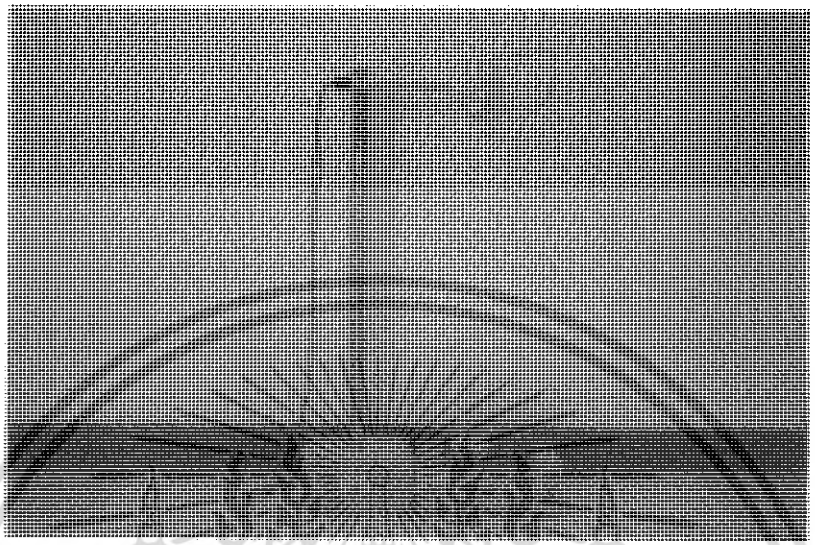
รูปที่ 4.7 การต่อสายอากาศแนวนอนทางเครื่องส่ง

4.5 สายอากาศแนวดิ่ง

รูปที่ 4.8 การต่อสายอากาศแนวดิ่งทางเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 สายอากาศแบบช่อง



รูปที่ 4.9 การต่อสายอากาศแบบช่องทางเครื่องส่ง

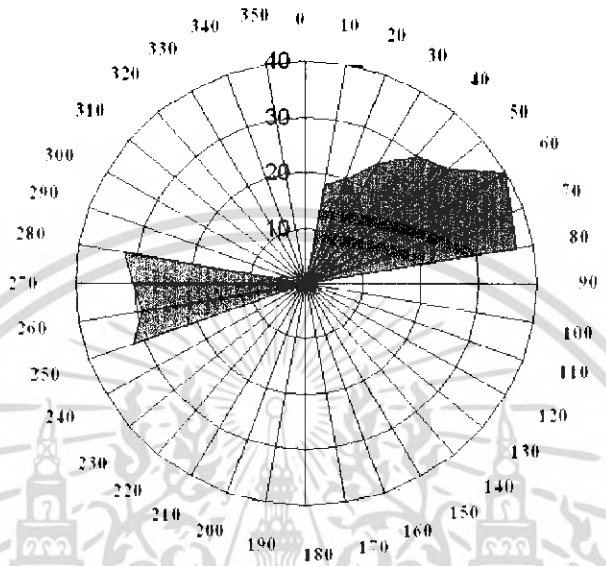
4.7 สายอากาศแบบลูป

รูปที่ 4.10 การต่อสายอากาศแบบลูปทางเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

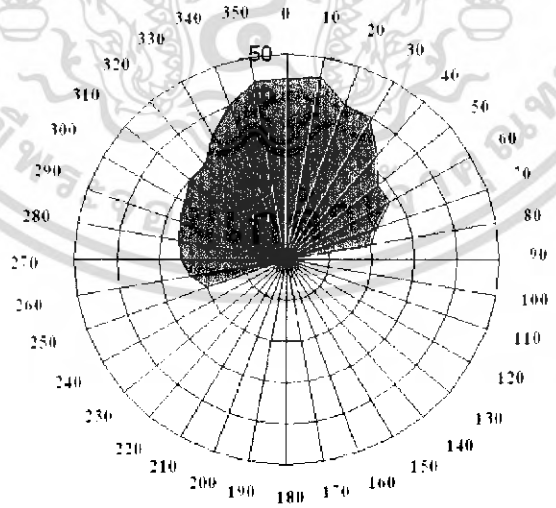
4.4.2 ผลการทดลอง

1. ผลการทดลองของสายอากาศไดโพล



รูปที่ 4.11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล

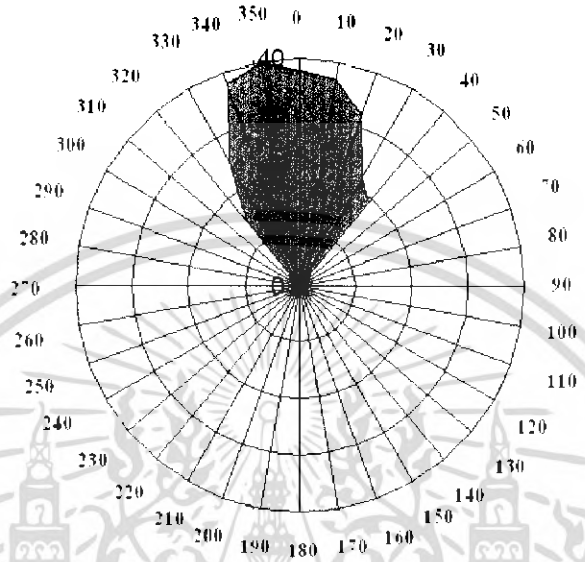
2. ผลการทดลองของสายอากาศไดโพลแบบห่วง



รูปที่ 4.12 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วง

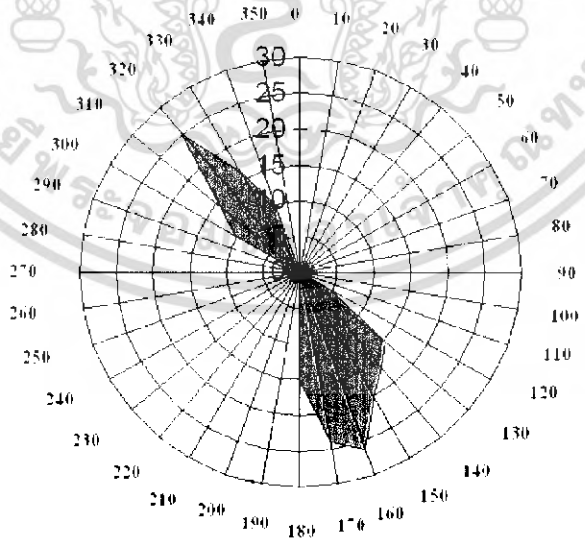
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการทดลองของสายอากาศแบบยากิ



รูปที่ 4.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิ

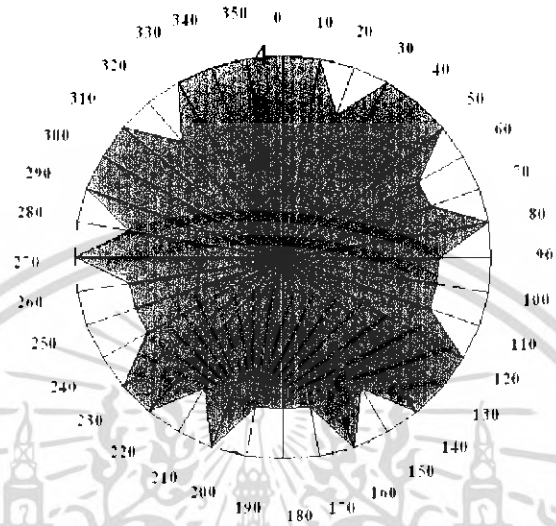
4. ผลการทดลองของสายอากาศแนวนอน



รูปที่ 4.14 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวนอน

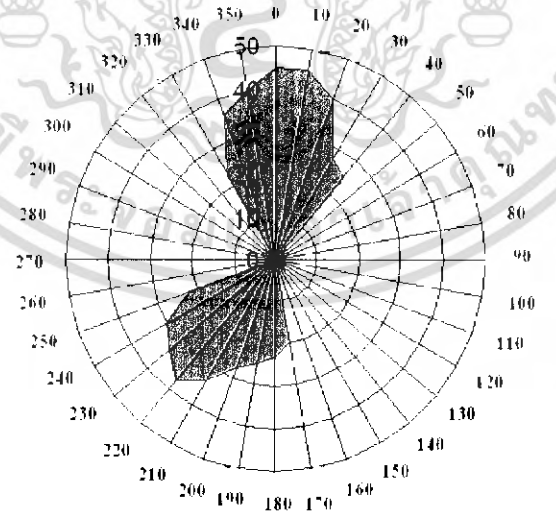
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลการทดลองของสายอากาศแนวดิ่ง



รูปที่ 4.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวดิ่ง

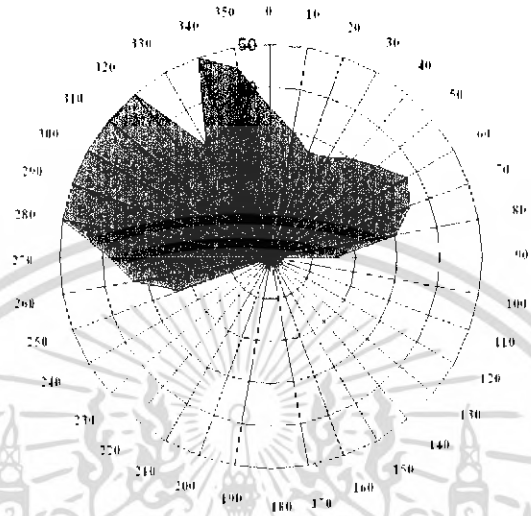
6. ผลการทดลองของสายอากาศแบบช่อง



รูปที่ 4.16 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ผลการทดลองของสายอากาศแบบลูป



รูปที่ 4.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุป

ชุดทดลองสายอากาศนี้เป็นชุดทดลองที่ประกอบด้วย ชุดทดลองและใบงาน

ชุดทดลองจะประกอบด้วยเครื่องส่ง เครื่องรับ เครื่องวัด SWR&POWER METER และสายอากาศทั้งหมด 7 ชนิด โดยชุดทดลองนี้จะสามารถวัดค่า SWR ค่า PF ค่า PR และสามารถวัดเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแต่ละชนิดได้

ใบงานการทดลองแบ่งออกเป็น 7 ใบงาน ซึ่งทั้ง 7 ใบงาน จะเป็นใบงานแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสาอากาศทั้งหมดแต่จะเปลี่ยนตามชนิดของสายอากาศทั้ง 7 ชนิด

5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบโครงงานปรากฏว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เครื่องส่ง เริ่มแรกได้ทำการออกแบบวงจรโดยใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ในการผลิตความถี่ผลที่ได้คือ วงจรสามารถผลิตความถี่ได้ตามที่ต้องการ แต่กำลังที่ได้ต่ำเกินไปเมื่อต่อเข้ากับวงจรขยายสัญญาณให้มีความแรงมากขึ้นก็จะมีปัญหาในเรื่องการแมตช์ระหว่างอินพุทกับเอาท์พุท ทำให้สัญญาณไม่เกิดการขยาย ทั้งนี้เพราะว่าวงจรขยายความถี่สูงจำเป็นจะต้องทำให้ระหว่างอินพุทและเอาท์พุทเกิดการแมตช์จึงจะทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานสูงสุด และวงจรขยายก็จำเป็นที่จะต้องประกอบด้วย RLC จึงทำให้ยุ่งยากในการแมตช์อิมพีแดนช์ระหว่างอินพุทและเอาท์พุทและจะมีปัญหาในเรื่องการสร้างขดลวด (coil) ซึ่งไม่มีเครื่องวัดค่าและขดลวดยังมีขนาดของค่าที่เล็กมากทำให้ขดลวดที่สร้างขึ้นมาผิดพลาดจากค่าที่คำนวณไว้มาก ประกอบกับตัวเก็บประจุที่ใช้ในความถี่สูงยังมีค่าเล็กมากและต้องการตัวเก็บประจุที่มีการสูญเสียต่ำ ซึ่งไม่สามารถหาซื้ออุปกรณ์ได้ในท้องตลาดจึงประสบปัญหาทำให้วงจรขาดเสถียรภาพมากจึงทำให้ วงจรขยายสัญญาณไม่ได้ตามต้องการ

   วิธีการแก้ไข นำวิทยุความถี่ 400-470 MHz มาใช้แทน

2. ระดับของสายอากาศที่แกนหมุนทั้งที่ภาคส่งและภาครับมีระดับไม่เท่ากันเวลาเปลี่ยนสายอากาศเนื่องจากสายอากาศแต่ละชนิดมีขนาดไม่เท่ากัน

   วิธีการแก้ไข กำหนดจุดแต่ละด้านขีดเป็นเซนติเมตรไว้เพื่อ ทำให้การติดตั้งสายอากาศตรงจุดที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สายอากาศยากิมีปัญหาคือ เนื่องจากทำจุดติดตั้งที่แกนหมุนไว้ที่ปลายสายอากาศทำให้เวลาติดตั้งที่แกนหมุนสายอากาศมีลักษณะเอียง

วิธีการแก้ไข ทำการเปลี่ยนจุดติดตั้งให้อยู่ที่กลางสายอากาศยากิเพื่อให้เวลาติดตั้งที่แกนหมุนสายอากาศมีความสมดุล

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. เพิ่มสเต็ปปิ้งมอเตอร์เพื่อให้หมุนสายอากาศได้ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น
2. สร้างเครื่องส่งที่มีกำลังส่งต่ำกว่านี้เพื่อง่ายต่อการทดลอง เนื่องจากการทดลองในส่วนของ Transmission lines แบบสตับปลายเปิดจะมีการสะท้อนกลับของสัญญาณมาที่เครื่องส่งมากจะทำให้เครื่องส่งพังได้
3. เพิ่มชนิดของสายอากาศให้มากขึ้นเพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างของสายอากาศและลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแต่ละชนิดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

วิสุทธิ์ อธิพรธรรม.2546. **วิศวกรรมสายอากาศ.** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วิสันต์ อาชาเดโชพล.2537. **สายอากาศและเทคนิคการติดตั้ง.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

F.R.Connor.1989. **Antennas.** EdwardArnold (Publishers) ltd.,

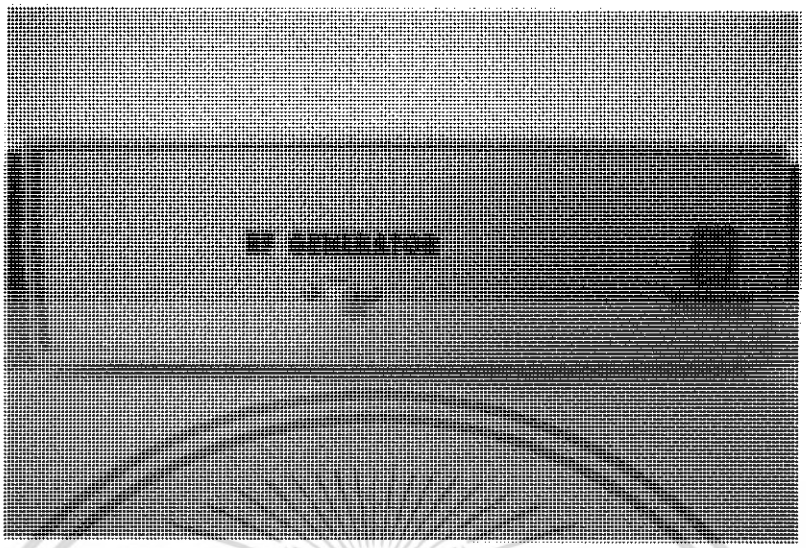
Hayt,William H.1989. **Engneerring Electromagnetics** 5th ed. Singapore:McGraw-Hill.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

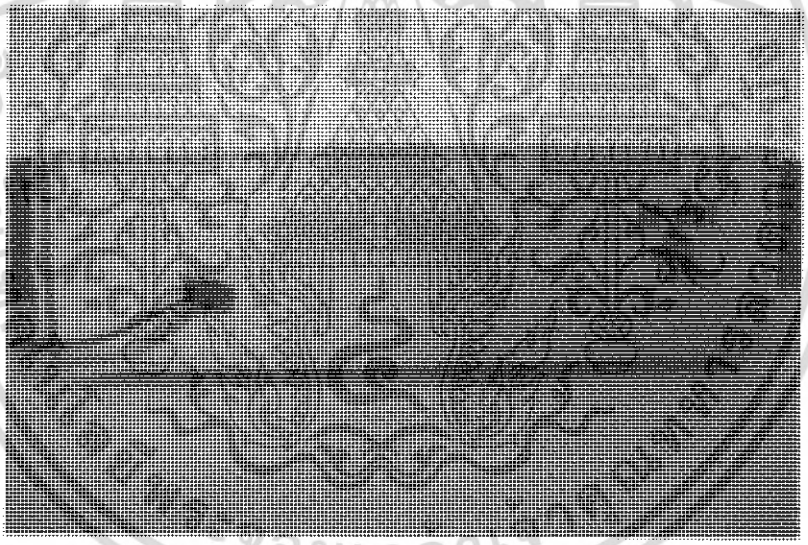
ภาคผนวก ก

เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

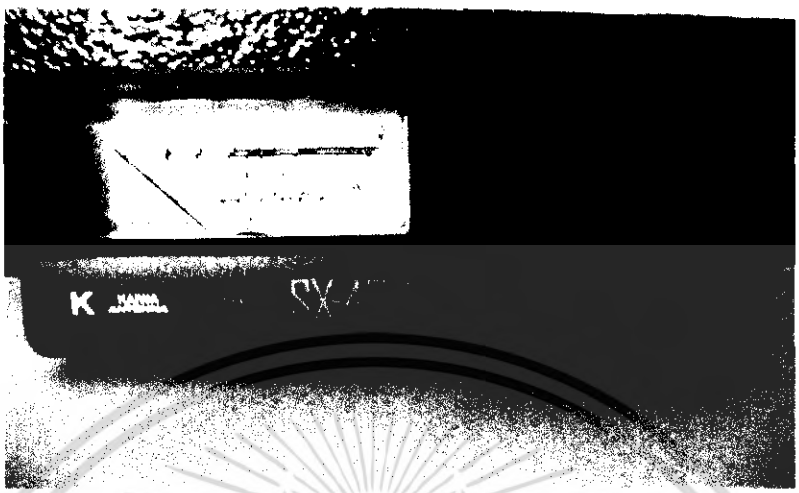


รูปที่ ก.1 ด้านหน้าของเครื่องส่ง



รูปที่ ก.2 ด้านหลังของเครื่องส่ง

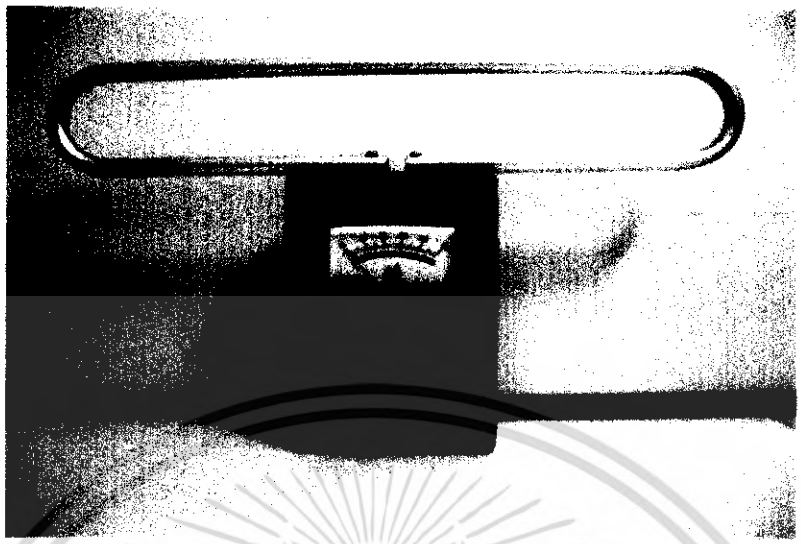
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



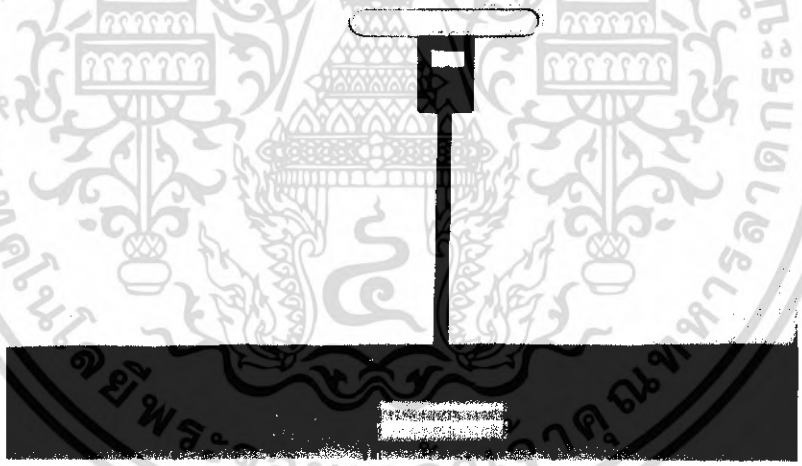
รูปที่ ก.3 ด้านหน้าของเครื่อง SWR & POWER METER

รูปที่ ก.4 ด้านหลังของเครื่อง SWR & POWER METER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



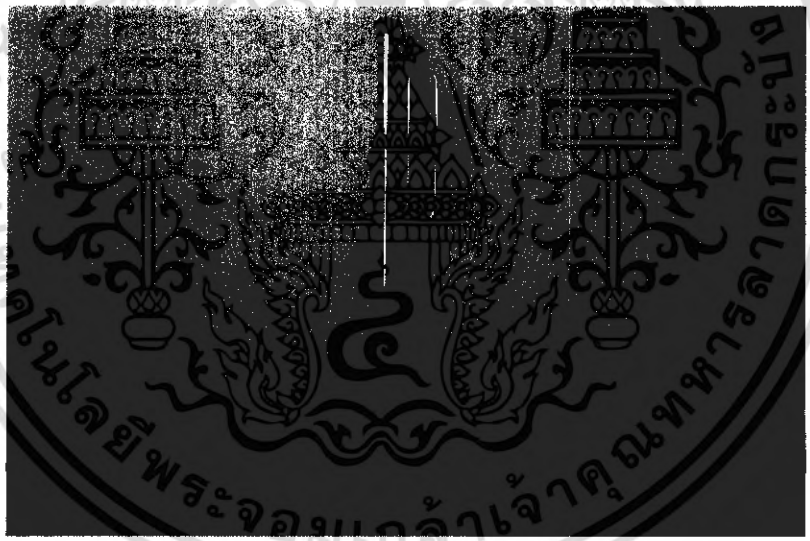
รูปที่ ก.5 ด้านหน้าของเครื่องรับ



รูปที่ ก.6 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

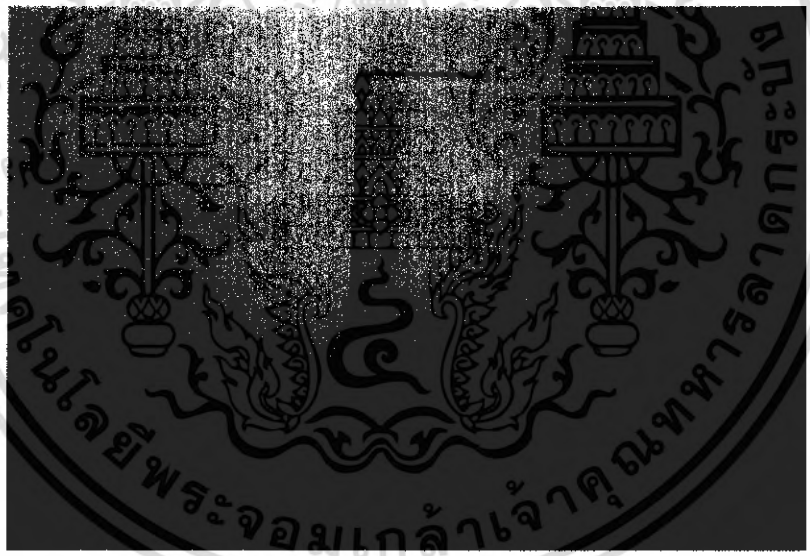
รูปที่ ก.7 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องส่งกับสายอากาศไดโพล



รูปที่ ก.8 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องส่งกับสายอากาศไดโพลแบบห่วง

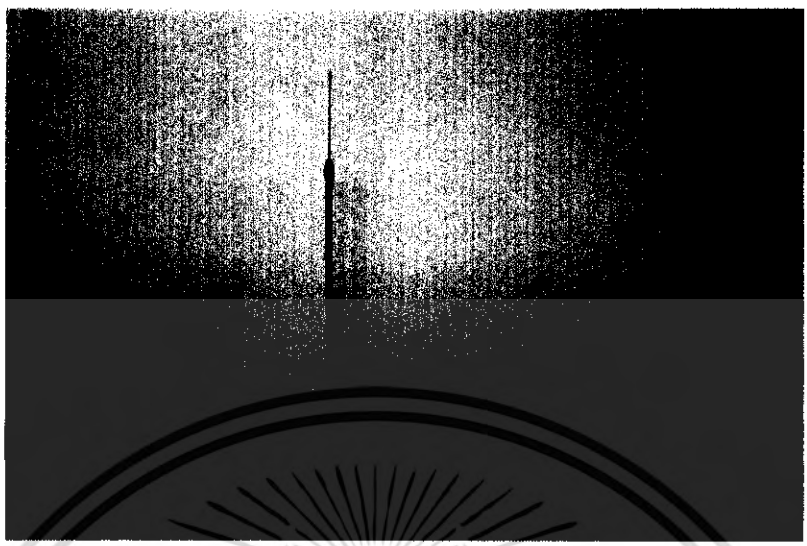
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.9 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องส่งกับสายอากาศแบบยากิ

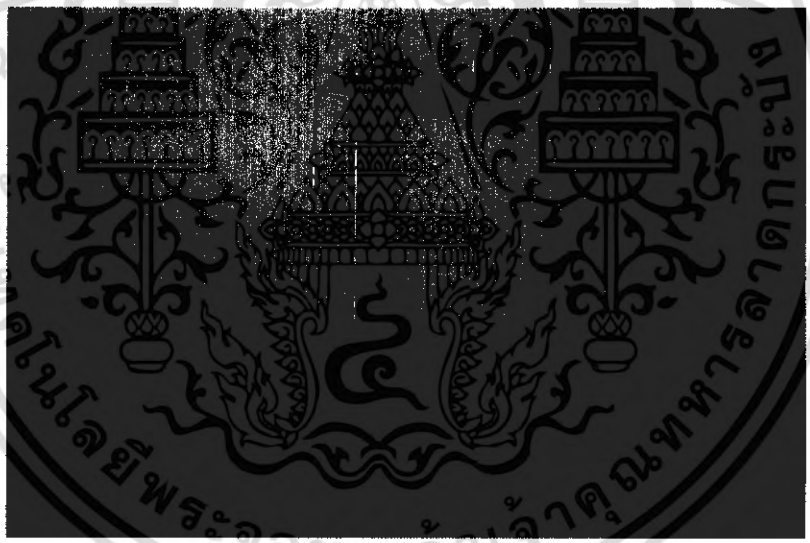


รูปที่ ก.10 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องส่งกับสายอากาศแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

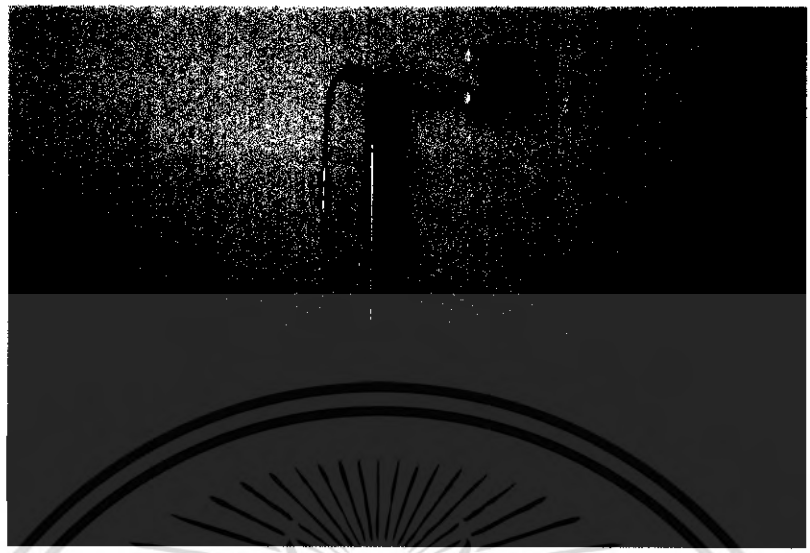


รูปที่ ก.11 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องส่งกับสายอากาศแนวดิ่ง



รูปที่ ก.12 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องส่งกับสายอากาศแบบช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



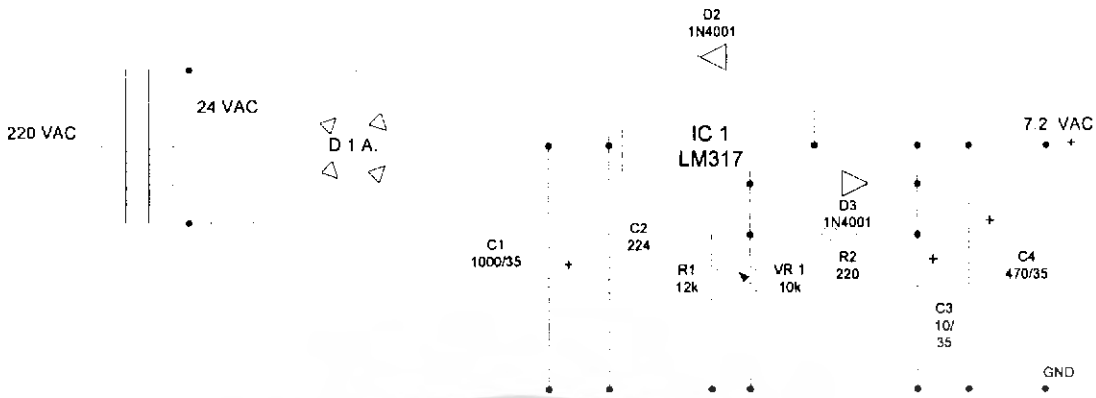
รูปที่ ก.13 การติดตั้งการใช้งานส่วนของเครื่องส่งกับสายอากาศแบบลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

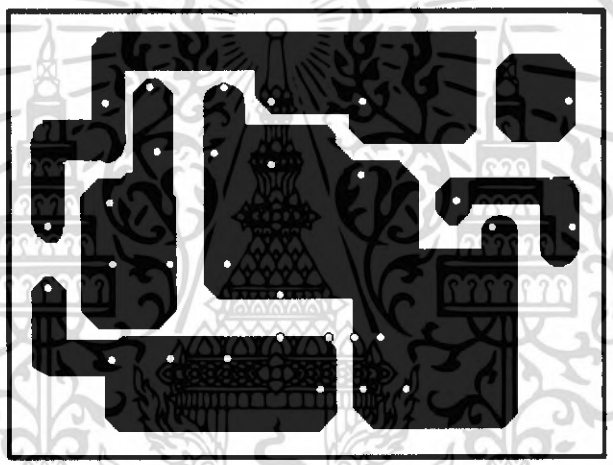
ภาคผนวก ข

วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

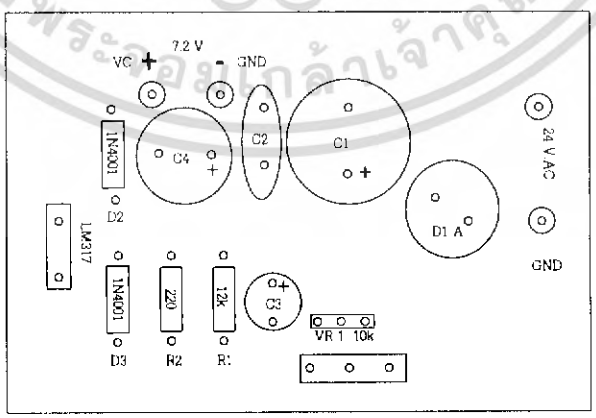
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน



รูปที่ ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน



รูปที่ ข.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC 1	LM317	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D1	BRIDGE	1 ตัว
D2,D3	1N4001	2 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	1000/35	1 ตัว
C2	220000 pF	1 ตัว
C3	10/35	1 ตัว
C4	470/35	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1	12 kΩ	1 ตัว
R2	220 Ω	1 ตัว
VR1	10 kΩ	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
T1	หม้อแปลง 220/24 1 A	1 ตัว

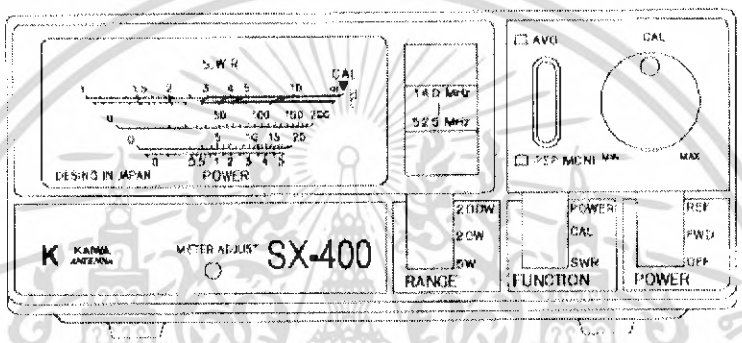
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWR & POWER METER SX-400

140-525MHz



คู่มือการใช้ SWR & POWER METER

Measure swr

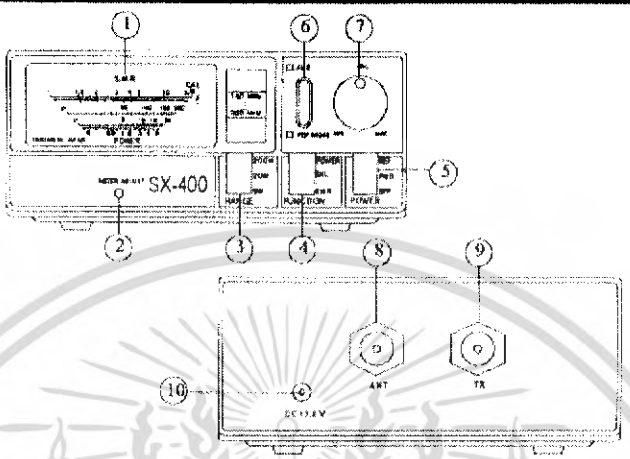
Measure forward RF power

Measure reflected RF power

K KAIWA *ANTENNA*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้ SWR & POWER METER



1. METER เป็นสเกลที่แสดงค่าต่าง ๆ ในการวัด
2. METER ADJUST เป็นจุดปรับเข็มมิเตอร์ให้ชี้อยู่ที่ตำแหน่ง 0
3. RANGE SWITCH เป็น SWITCH ใช้ในการเลือกวัดกำลังส่ง ของเครื่อง รับ-ส่ง โดยใช้ร่วมกับ FUNCTION SWITCH และ POWER SWITCH มีอยู่ด้วยกัน 3 ระดับ คือ

3.1 5W (5 วัตต์) ใช้ในการวัดกำลังส่งของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งไม่ เกิน 5 วัตต์ ส่วนมากจะเป็นวิทยุประเภทพกติดตัวทั่วไป

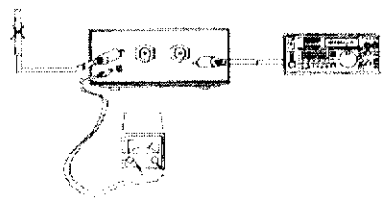
3.2 20 (20วัตต์) ใช้ในการวัดกำลังส่งของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งไม่เกิน 20 วัตต์ ส่วนมากจะเป็นวิทยุประเภท MOBLIE

3.3 200W (200 วัตต์) ใช้ในการวัดกำลังส่งของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งไม่เกิน 200 วัตต์ ส่วนมากจะเป็นวิทยุประเภท MOBLIE , BASE STATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดกำลังส่ง โดยใช้ SWR & POWER METER SX-400

1. ต่อสายนำสัญญาณจากสายอากาศของเครื่องรับ-ส่ง ไปยังขั้ว TX ของตัว SWR & POWER METER

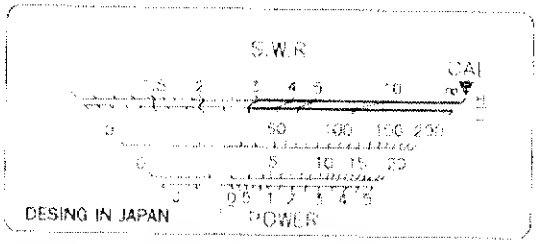


2. ต่อ DAMMY LOAD ที่มีขนาดมากกว่ากำลังส่งของเครื่องที่จะมาทำการวัดเข้าที่ขั้ว ANT และหากต้องการวัดกำลังส่งที่สายอากาศ ก็ให้นำสายอากาศมาต่อเข้ากับ DAMMY LOAD
3. ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง (5W,20W,200W) ให้สูงกว่ากำลังส่งของเครื่องวิทยุรับ-ส่งที่จะทำการวัด แล้วจึงทำการปรับ เปลี่ยนสตระดับลงมาเพื่อทำการอ่านค่าของกำลังส่ง
4. ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER
5. ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD หรือ REF
6. เลือกความถี่ที่ต้องการ กดปุ่ม PTT ที่ตัวเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ค้างไว้ แล้วอ่านค่ากำลังส่งตามสเกลของ RANGE SWITCH ที่ตั้งไว้ (ไม่ควรกด PTT นานเกินควรเพราะจะไปรบกวนผู้ที่ใช้ความถี่เดียวกัน)
7. หากวัดค่ากำลังส่งของเครื่องวิทยุ รับ-ส่งประเภท SSB ให้กดปุ่ม AVG SWITCH ลงที่

ตำแหน่งต่ำ (PEP MONI) เพื่อหน่วงไม่ให้เข็มมิเตอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นและลงเร็วเกินไป ในขณะกดและปล่อย PTT เพราะจะทำให้เข็มมิเตอร์งอได้

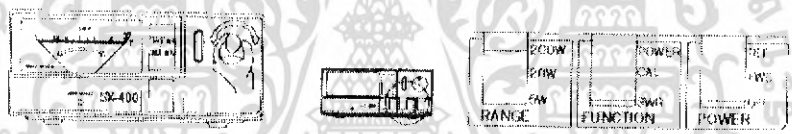
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเกลมิเตอร์ SX-400



การวัดค่า SWR ของสายอากาศ ด้วย SX-400

1. ต่อสายนำสัญญาณจากสายอากาศของเครื่องรับ-ส่ง ไปยังขั้ว **TX** ของตัว SWR & POWER METER
2. ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว **ANT** ของตัว SWR & POWER METER
3. ที่ **RANGE SWITCH** อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)
4. ที่ **POWER SWITCH** อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)
5. ที่ **FUNCTION SWITCH** อยู่ที่ตำแหน่ง **CAL** และปุ่ม **CAL** อยู่ที่ตำแหน่ง **MIN**



6. เลือกความถี่ที่ต้องการ กดปุ่ม PTT ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม **CAL** ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกลอยู่ที่ CAL และปล่อยปุ่ม PTT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL ไปที่ SWR แล้วกดปุ่ม PTT ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5 W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5 W (วัตต์)

8. ค่า SWR หาได้จากสูตร

$$SWR = \frac{\sqrt{PF} + \sqrt{PR}}{\sqrt{PF} - \sqrt{PR}}$$

SWR	1.0	1.1	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0
Reflected RF power %	0	0.22	0.8	4.0	11.1	18.4	25.0

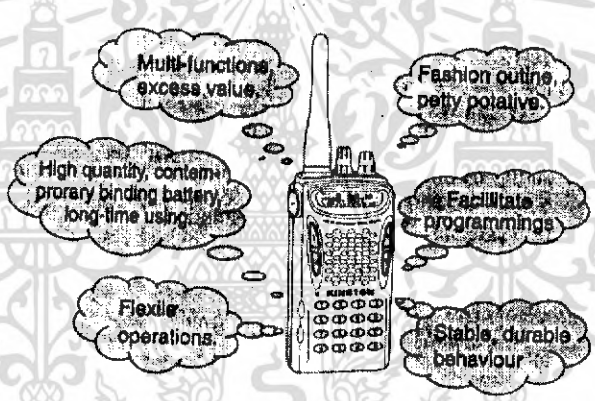
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน

KINGTON TG-2118/3118/3318

คุณสมบัติหลัก

- ช่องสัญญาณความถี่ 15 หน่วยความจำ
- หน้าจอ LCD สว่าง สะดวกต่อการใช้งาน แม้ในสถานที่มืด
- ฟังก์ชันการทำงานโดยรวม ตัวอุปกรณ์สะดวกในการเคลื่อนย้ายที่ มีเสถียรภาพสูง สามารถใช้งานได้ในช่วงเวลายาวนานได้อย่างสบาย
- มีฟังก์ชันประหยัดพลังงานไฟฟ้า ทำให้ใช้ได้ในระยะเวลาที่ยาวนานเพิ่มขึ้น
- หูฟัง/ไมค์ สะดวกในการฟังและสนทนา

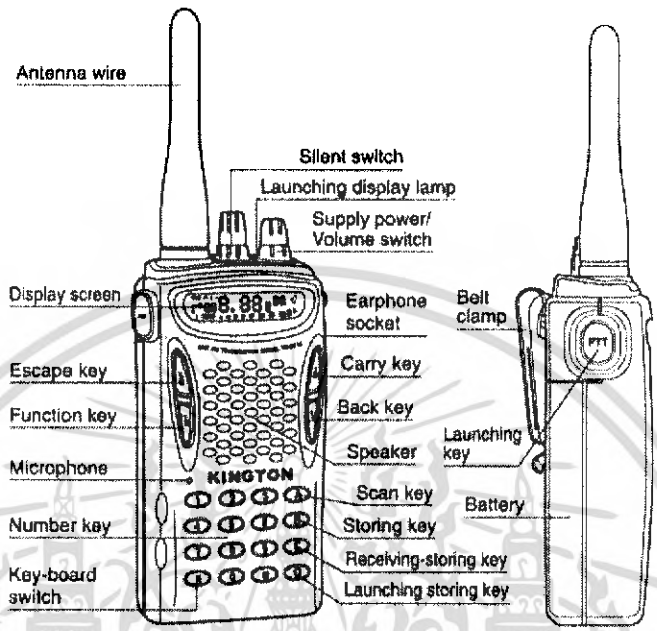


การดูแลและบำรุงรักษา

ระบบที่ใช้ในการติดต่อ ที่คุณเลือกนี้เป็นผลิตภัณฑ์ทางไฟฟ้า โปรดปฏิบัติตามคำแนะนำข้างล่างนี้จะทำให้อุปกรณ์มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

- ไม่ควรให้สัมผัสหรือรับแสงอาทิตย์ เป็นระยะเวลานาน หรือในที่ที่มีอุณหภูมิสูง เนื่องจากอาจทำให้ประสิทธิภาพบางส่วนลดลง
- ไม่ควรให้อยู่ในที่ที่มีการกัดกร่อน
- ถ้าหากอยู่อาศัยในต่างประเทศ ให้นำเครื่องกับ แบตเตอรี่ ถอดแยกออกจากกัน แล้วค่อยใส่อีกครั้งหนึ่ง หรือให้ติดต่อกับตัวแทนจำหน่าย Kington

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การใช้งานเบื้องต้น

Switch power supply:

1. ข้อแนะนำ ให้หมุนปุ่ม OFF PWR/VOL โดยเปิดแหล่งจ่ายไฟ เมื่อหมุนขึ้นจะมีเสียง และหน้าจอแสดงผลสว่าง
2. เมื่อปิดแหล่งจ่ายไฟ หมุนปุ่ม OFF PWR/VOL หน้าจอแสดงผลจะไม่แสดงผล

Justify volume:

ข้อแนะนำ หมุนปุ่ม OFF PWR/VOL โดยสามารถหมุนโดยนับเป็นรอบ

Justify soundline level:

ข้อแนะนำ หมุนปุ่มเสียงให้ได้ค่าแสดงผลหน้าจอ BUSY และเสียงจะหายไป ความไวในการรับส่งระหว่างช่วงที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ (1)

Picture (1)

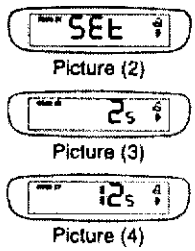
Step in frequency 25/12.5KHz choice:

กดฟังก์ชัน [SET] ดังแสดงในรูปที่ (2)

กดเลข [4] ในความถี่ 25 KHz ดังแสดงในรูปที่ (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ารับความถี่ 12.5 KHz ให้เลือกเลข [4] ดังแสดงในรูปที่ (4)



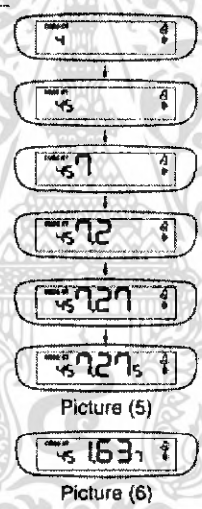
Frequency select:

แนะนำให้ป้อนค่าความถี่ตามที่คุณต้องการโดยกดเลข

ตัวอย่าง ต้องการค่า 457.275 ดังรูปที่ (5) แสดงเวลาไม่เกิน 10 นาที

ข้อแนะนำ ต้องการป้อน ครึ่งความถี่ที่ ให้เลือกความถี่ที่ 12

ตัวอย่าง 4,5,1,6,3,7 จะแสดงผลอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ (6)



Frequency/ channel store:

ในหมวดการทำงานของช่องสัญญาณ ให้ใช้เลขที่ Input ของความถี่

ถ้า Input ผลต่างของความถี่ ในช่องสัญญาณที่ 1

459.250MHz (รับความถี่)

457.250MHz (การแพร่ความถี่)

ถ้าหากต้องการความถี่ความเหมือนกัน ในช่องสัญญาณที่ 2

461.225MHz (รับความถี่)

461.225MHz (การแพร่ความถี่)

ความถี่ 459.250MHz ที่รับเป็นค่า ดังแสดงในรูปที่ (7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Picture (7)

กด [B] เลขช่องสัญญาณ จนเลขแสดงผลสว่างสักครู่หนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ (8)

กด [<] หรือ [>] เมื่อหมุนช่องสัญญาณไปตามเลขที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ (9)

กด [C] เลขจะหายไป เลขของค่าความถี่ ดังแสดงในรูปที่ (7)

ป้อนค่า 457.25MHz การส่งความถี่ ดังแสดงในรูปที่ (10)

กด [B] เลขช่องสัญญาณที่ 1 จะสว่าง ดังแสดงในรูปที่ (11)

กด [D] เลขของช่องสัญญาณความถี่จะหายไป ดังแสดงในรูปที่ (10)

ป้อนค่าความถี่ ที่ช่องสัญญาณที่ 2 461.225MHz อีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ (12)

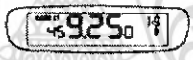
กด [B] เลขของช่องสัญญาณจะสว่าง ดังแสดงในรูปที่ (13)

กด [<] หมุนช่องสัญญาณที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ (14)

กด [C] ช่องสัญญาณความถี่ที่แสดงบนจอจะหายไป ให้ปรับตั้งค่าความถี่ ดังแสดงในรูปที่ (12)

ไม่ควรป้อนค่าส่งความถี่เหมือนกัน กด [B] เลขช่องสัญญาณที่ 2 จะสว่าง ดังแสดงในรูปที่ (14)

Picture (8)



Picture (9)

Picture (10)

Picture (11)

Picture (12)

Picture (13)

Picture (14)

กด [D] เลขของช่องสัญญาณจะหายไป ปรับค่าการส่งความถี่ได้ ดังแสดงในรูปที่ (15)

Picture (15)

เมื่อเครื่องเก็บช่องสัญญาณไว้ 15 ช่อง มีทั้งผลต่างค่าความถี่ และค่าความถี่ที่เหมือนกัน การทำงานเบื้องต้นจะปรับตั้งช่องสัญญาณความถี่ ตามความต้องการของผู้ใช้ ไม่ควรซ่อมแซมแก้ไขค่าความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Deleting:

กด [SET] เปิดแหล่งจ่ายไฟและรอให้มีเสียงก่อนแล้วปล่อย [SET] จะแสดงการลบความจำ ดังแสดงในรูปที่ (22)

Earphone:

เสียบใส่หูฟังวิทยุ รับฟังตามความเหมาะสม กดหูฟังถ้าหากต้องการจะสนทนา

Different frequency installation:

กด [SET] กดเลข [6] ดังแสดงในรูปที่ (23)

กด [SET] กดเลข [6] ดังแสดงในรูปที่ (24)

กด [SET] กดเลข [6] ดังแสดงในรูปที่ (25)

Picture (22)

Picture (23)

Picture (24)

Picture (25)

Picture (26)

มีการเปลี่ยนแปลงพิจารณาจากข้างล่างนี้

เมื่อ + คือ แสดงการส่งความถี่ที่สูงกว่าการรับความถี่

เมื่อ - คือ แสดงการส่งความถี่ต่ำกว่าการรับความถี่

Frequency difference installation:

กด [SET] กดเลข [7] ดังแสดงในรูปที่ (26)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดเลข และป้อนค่าความแตกต่างของความถี่

ตัวอย่าง

เมื่อต้องการความถี่ที่มีค่าความแตกต่างที่ 10MHz กดเลข 1,0,0 ดังแสดงในรูปที่ (27)

เมื่อต้องการความถี่ที่มีค่าความแตกต่าง 05.7MHz กดเลข 0,5,7 ดังแสดงในรูปที่ (28)

Different frequency difference storing installation:

ตัวอย่าง

(1) 459.250MHz (การรับความถี่)

457.250MHz (การส่งความถี่)

(2) 455.100MHz (การรับความถี่)

465.100MHz (การส่งความถี่)

ป้อนค่ารับเข้า 459.250MHz ดังแสดงในรูปที่ (29)

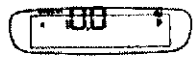
กด [SET] กดเลข [6] ดังแสดงในรูปที่ (30)

กด [SET] กดเลข [6] ดังแสดงในรูปที่ (31)

กด [SET] กดเลข [7] เป็นการแสดงผลของค่าความถี่สุดท้าย มีการปรับตั้งค่าความถี่ ดังแสดงในรูปที่ (32)

กดเลข 0,2,0 ดังแสดงในรูปที่ (33)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


Picture (27)

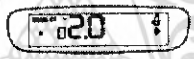
Picture (28)

Picture (29)

Picture (30)

Picture (31)

Picture (32)


Picture (33)

กด [SET] เพื่อกู้ข้อมูลความถี่ในเครื่องใหม่ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ (34)

กด [B] ที่ความถี่ ดังแสดงในรูปที่ (35)

กด [>] เลือกความถี่ที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ (36)

กด [C] เพื่อรับเก็บ ดังแสดงในรูปที่ (37)

ป้อนข้อมูลที่ 455.100MHz ดังแสดงในรูปที่ (38)

กด [SET] กดเลข [6] ดูการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ (39)

กด [SET] กดเลข [7] ดังแสดงในรูปที่ (40)

กดเลข 1,0,0 ดังแสดงในรูปที่ (41)

กด [SET] ดังแสดงในรูปที่ (42)

กด [B] ดังแสดงในรูปที่ (43)

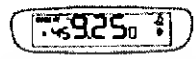
กด [>] เลือกความถี่ 3 ดังแสดงในรูปที่ (44)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

图(34)

图(35)

图(36)



图(37)

图(38)

图(39)

图(40)

图(41)

图(42)

图(43)

图(44)

กด [C] ดังแสดงในรูปที่ (45)

กด [SET] กดเลข [3] ดังแสดงในรูปที่ (46)

กด [PTT] สำหรับเริ่มการติดต่อ ดังแสดงในรูปที่ (47)

图(45)

图(46)

图(47)

ข้อแนะนำ ไม่ควรปรับค่าความถี่เกินกว่าเครื่องส่งความถี่ และหากปรับตามความต้องการก็จะไม่มีผลอะไรเกิดขึ้น

Battery charging:

ผู้ใช้สามารถชาร์ตแบตเตอรี่ได้โดยแบ่งเป็น 2 วิธี

(1) การชาร์ตแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียบแหล่งจ่ายไฟ ในขณะนั้นไฟแดงจะสว่าง และหากไฟเขียวสว่างให้นำเครื่องออก ควรใช้เวลาชาร์ต 7-8 ชั่วโมง

(2) การชาร์ตทั้งตัวเครื่อง

เสียบแหล่งจ่ายไฟ จัดวางอุปกรณ์ชาร์ต จนไฟเขียวสว่างขึ้น จึงปิดระหว่างการชาร์ต กำหนดเวลาชาร์ตไม่ให้เกินกับข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

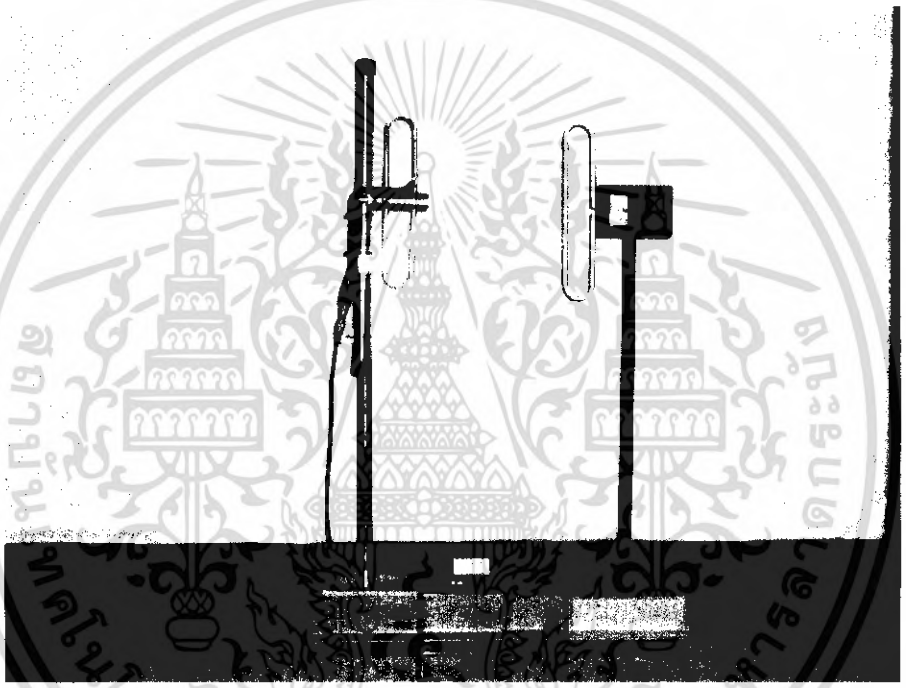
ภาคผนวก จ

คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน

ชุดทดลองสายอากาศ



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำแนะนำเบื้องต้น

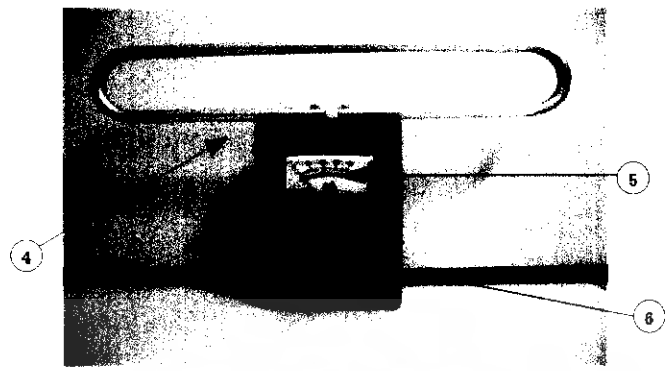
ก่อนที่จะลงมือใช้งานชุดทดลองสายอากาศ ควรทำการศึกษาการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจ เพื่อการทดลองที่ถูกต้อง และเป็นการป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับชุดทดลองสายอากาศ

2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม

รูปที่ จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องส่ง (ด้านหน้า)

รูปที่ จ.2 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องส่ง (ด้านหลัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.3 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องรับ (ด้านหน้า)

จากรูปที่ จ.1 ถึง จ.4 มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. สวิตช์ปิด - เปิดการทำงานที่ตัวเครื่องส่ง
2. RF GENERATOR
3. RF OUT
4. สายอากาศไดโพลแบบห่วงที่เครื่องรับ
5. หน้าจอของเครื่องรับ
6. ATTENUATOR ที่เครื่องรับ

3. การติดตั้งและใช้งาน

3.1 การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

3.1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่ง ต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่ง

3.1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

3.1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของเครื่อง SWR & POWER METER

3.1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

3.1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

3.1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

3.1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า

3.1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

3.1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

3.2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

3.2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของเครื่อง SWR & POWER METER

3.2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

3.2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

3.2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

3.2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

3.2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

3.3 การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

3.3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกันระยะห่างประมาณ 2 เมตร โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวตั้ง

3.3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่ง อ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 - 45 μA

3.3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา จนกระทั่งครบ 350 องศา

4.การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาในการใช้งานชุดทดลองสายอากาศ สามารถตรวจสอบแนวทางแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้จากตารางที่ จ.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้น

อาการ	สาเหตุและ/หรือวิธีแก้ไข
เมื่อเปิดสวิตช์ไฟฟ้าของเครื่องไม่มีอะไรเกิดขึ้น หลอดไฟสัญญาณไม่ติด	ตรวจสอบว่ามีไฟฟ้ามาปกติหรือไม่ และเสียบเข้าที่ถูกต้องหรือไม่
เมื่อเปิดสวิตช์ไฟฟ้าของเครื่องไฟสัญญาณติด แต่ไม่มีการทำงานใดๆ เกิดขึ้น	ตรวจสอบแรงดันจากแหล่งจ่ายของเครื่องที่จุดต่อสำหรับภายนอก และความแน่นหนาของจุดเชื่อมโยงสัญญาณภายในจุดต่างๆ

5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

5.1 การดูแลรักษา

1. ตรวจสอบขั้วสายไฟของวงจรภายในเครื่องส่งให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานเสมอ
2. ควรจะมีการซ่อมบำรุงตัวเครื่องส่งเป็นระยะเพื่อป้องกันและลดอัตราการเสื่อมสภาพของตัวเครื่อง เพื่อให้การใช้งานตัวเครื่องเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
3. การเก็บรักษาชุดทดลองควรเก็บให้เป็นระเบียบเรียบร้อย และแยกประเภทอย่างชัดเจน

5.2 ข้อควรระวัง

1. ควรศึกษาคู่มือการใช้งานของชุดทดลองก่อนการใช้งาน
2. การเคลื่อนย้ายควรระมัดระวังอย่าให้มีการกระแทก เพื่อป้องกันความเสียหายของส่วนประกอบต่างๆ ของชุดทดลอง

6. ข้อมูลจำเพาะ

ตารางที่ จ.2 ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
การส่งความถี่	เครื่องส่งสามารถส่งความถี่ได้ 450 เมกะเฮิรตซ์
ย่านการวัดของ SWR & POWER METER	สามารถวัดได้ในช่วงความถี่ 140 — 525 เมกะเฮิรตซ์
แหล่งจ่ายพลังงาน	ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 — 60 เฮิรตซ์
ความถี่ใช้งานของสายอากาศ	ใช้งานในความถี่ 450 เมกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
หนังสือแต่งตั้งผู้ทรงคุณวุฒิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม โทร. 3703

ที่ ศธ 0524.04(5)/ ๙๑ **วันที่** 27 มีนาคม 2549

เรื่อง ขอเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์

ด้วยภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ ที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำโครงงานการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอนของนักศึกษาเป็นอย่างยิ่ง จึงมีความประสงค์เรียนเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ ในวิชาโครงงานการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอน เรื่อง "ชุดทดลองสายอากาศ" ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยมีนักศึกษาดำเนินการจัดทำดังนี้

1. นายจักรินทร์	ปุ่นปะโคน	รหัสประจำตัว 47035301
2. นายนรีศักดิ์	เชื่อนสันพันธ์	รหัสประจำตัว 47035311
3. นางสาวเปรมฤดี	จันทน์แดง	รหัสประจำตัว 47035316
4. นางสาวลฎาภา	ดวงแก้ว	รหัสประจำตัว 47035321

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือจากท่าน และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูรศิทธ์ ราตรี)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม โทร. 3703

ที่ ศธ 0524.04(5)/(ว) 1 **วันที่** 27 มีนาคม 2549

เรื่อง ขอเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ

เรียน อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์

ด้วยภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ ที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำโครงงานการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอนของนักศึกษาเป็นอย่างยิ่ง จึงมีความประสงค์เรียนเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ ในวิชาโครงงานการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอน เรื่อง "ชุดทดลองสายอากาศ" ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยมีนักศึกษาดำเนินการจัดทำดังนี้

1. นายจักรินทร์	ปุ่นชะโคน	รหัสประจำตัว 47035301
2. นายนริศักดิ์	เชื่อมสัมพันธ์	รหัสประจำตัว 47035311
3. นางสาวปรมฤดี	จันทน์แดง	รหัสประจำตัว 47035316
4. นางสาวลฎากา	ดวงแก้ว	รหัสประจำตัว 47035321

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือจากท่าน และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรสิทธ์ ราตรี)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม โทร. 3703

ที่ ศธ 0524.04(5)/ [illegible] **วันที่** 27 มีนาคม 2549

เรื่อง ขอเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ

เรียน อาจารย์อมรรัช ชัยชนะ

ด้วยภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ธอล. พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ ที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำโครงงานการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอนของนักศึกษาเป็นอย่างยิ่ง จึงมีความประสงค์เรียนเชิญเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ ในวิชาโครงงานการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอน เรื่อง "ชุดทดลองสายอากาศ" ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยมีนักศึกษาดำเนินการจัดทำดังนี้

1. นายจักรินทร์	ปุ่นปะโคน	รหัสประจำตัว 47035301
2. นายนริศักดิ์	เชื่อมสัมพันธ์	รหัสประจำตัว 47035311
3. นางสาวเปรมฤดี	จันทน์แดง	รหัสประจำตัว 47035316
4. นางสาวสฎาภา	ดวงแก้ว	รหัสประจำตัว 47035321

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือจากท่าน และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรสิทธ์ ราตรี)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช
ใบงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล

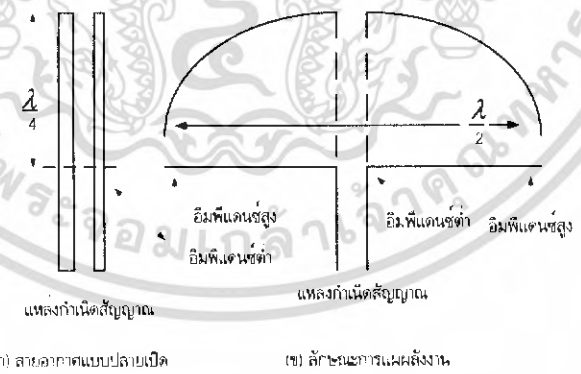
วัตถุประสงค์

1. บอกและอธิบายความหมายของคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของสายอากาศไดโพลได้
2. อธิบายขั้นตอนการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลได้
3. วัดและอธิบายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Generator) พร้อมแกนหมุน	1	ชุด
2. เครื่องรับสัญญาณพร้อมสายอากาศรับสัญญาณแบบติดตั้งอยู่กับที่	1	ชุด
3. สายอากาศไดโพล	1	ชุด
4. สายโคแอกเชียลพร้อมหัวต่อ	3	ชุด
5. เครื่องวัด SWR & POWER METER	1	เครื่อง

ทฤษฎีเบื้องต้น



(ก) สายอากาศแบบปลายเปิด (ข) ลักษณะการแผ่พลังงาน

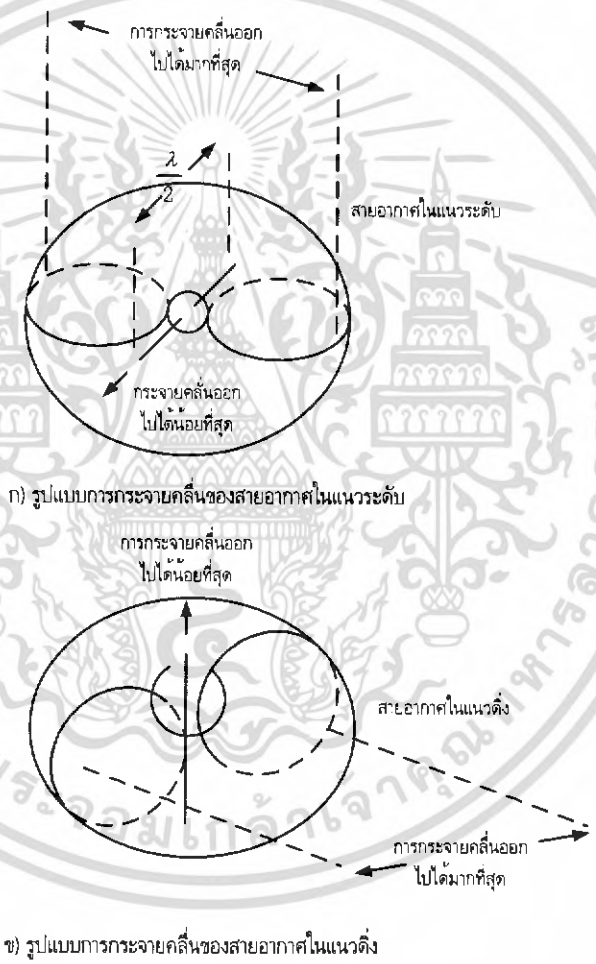
รูปที่ 1 สายอากาศไดโพล

สายอากาศไดโพลมีสายส่งสัญญาณที่มีปลายหนึ่งต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดสัญญาณ และมีปลายอีกข้างหนึ่งเปิดอยู่ ดังรูปที่ 1 (ก) ปลายด้านที่เปิดอยู่ย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์สูง ถ้าทำการหาค่าอิมพีแดนซ์ตามตำแหน่งต่างๆ บนสายส่งสัญญาณ โดยเริ่มจากปลายเปิดย้อนลงไปตามสาย จะพบว่าค่าอิมพีแดนซ์ตามตำแหน่งต่างๆ นั้น จะค่อยๆ ลดลง และจะมีค่าต่ำสุด ณ ตำแหน่งที่ห่างจากปลายเปิดนั้นเท่ากับ $\lambda/4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อการแผ่สายทั้งสองออกจากกัน ดังรูปที่ 1 (ข) จะเห็นว่ามีกระแสไหลเข้าสู่สาย ณ ตำแหน่งตรงจุดต่อนี้ได้มากที่สุด คือ จะมีพลังงานไหลเข้าในส่วนนี้ได้มากที่สุด

ความแรงของกระแสและแรงดันตามจุดต่างๆ บนสายส่งที่ได้กางแผ่ออกไปแล้ว จะมีลักษณะรูปแบบดังรูปที่ 2 ซึ่งพบว่าการกางแผ่สายนำสัญญาณออกในตำแหน่งนี้ มีการกระจายของแรงดันได้มากที่สุด หมายถึง เกิดการกระจายคลื่นทีอีเอ็มออกมาจากสายนำสัญญาณส่วนนี้ได้มากที่สุด ดังนั้น สายนำสัญญาณส่วนนี้จะกลายเป็นสายอากาศขึ้นมา สายอากาศในลักษณะนี้จึงมีชื่อเรียกตามลักษณะที่มีแขนหรือขั้วที่ยื่นออกไปนั้นว่า สายอากาศไดโพล



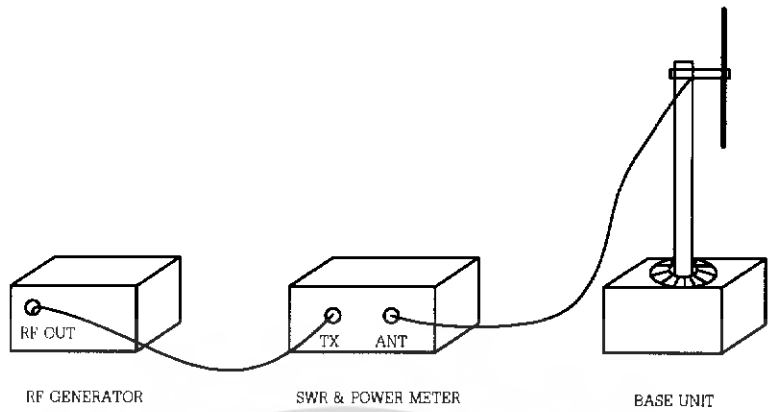
รูปที่ 2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่ง ต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่งดังรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 การติดตั้งสายอากาศไดโพลเข้ากับเครื่องส่งและ SWR

1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

2. การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L บันทึกผลที่ได้

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

2.8 สามารถหาค่า SWR หาได้จากสูตร

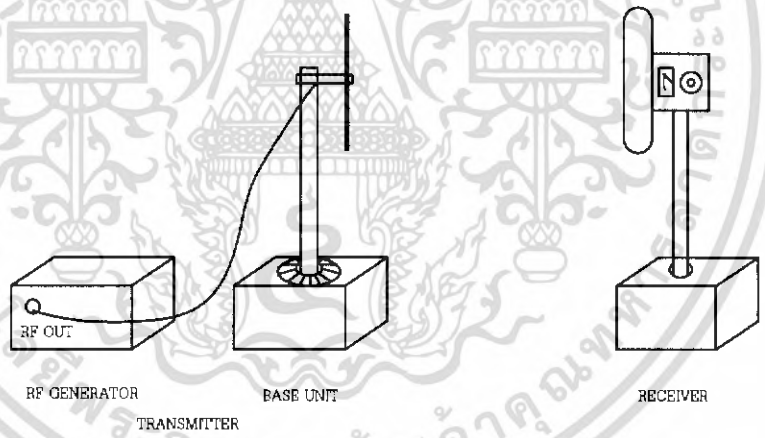
$$\text{SWR} = \frac{PF + PR}{PF - PR}$$

3. การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน ระยะห่างประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 4 โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวตั้ง



รูปที่ 4 การติดตั้งชุดลองเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล

3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่ง อ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 - 45 μA บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่ 1

3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกผลลงในตารางที่ 1 ทุกครั้งในช่อง จนกระทั่ง ครบ 350 องศา

3.6 นำค่ากระแสที่รับได้จากตารางที่ 1 พล็อตลงบนตารางที่ 2 (ANTENNA POWER PATTERN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ค่า SWR ที่ได้จากการวัดเท่ากับ .....

ค่า PF ของสายอากาศไดโพลเท่ากับ .....

ค่า PR ของสายอากาศไดโพลเท่ากับ .....

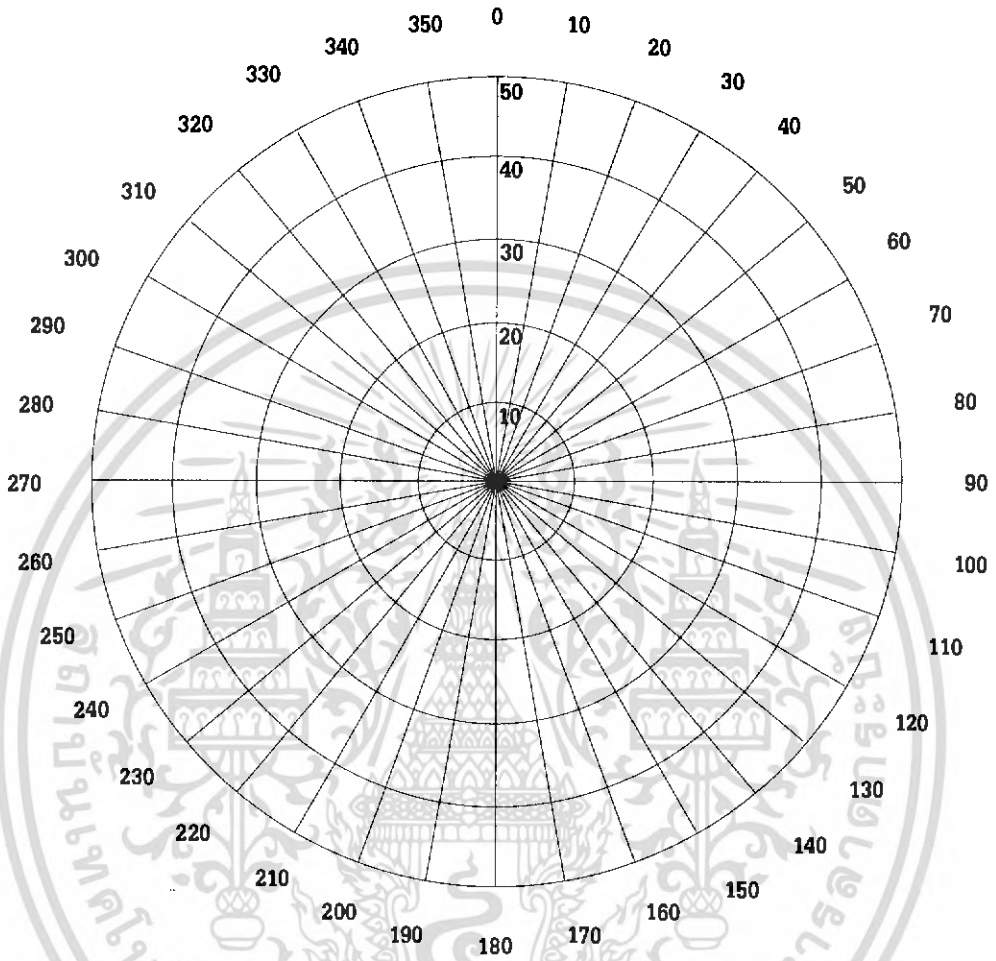
ค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศไดโพลเท่ากับ .....

ตารางที่ 1 บันทึกผลเพื่อพล็อตลงบน ANTENNA POWER PATTERN

มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)	มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)
0°		180°	
10°		190°	
20°		200°	
30°		210°	
40°		220°	
50°		230°	
60°		240°	
70°		250°	
80°		260°	
90°		270°	
100°		280°	
120°		300°	
130°		310°	
140°		320°	
150°		330°	
160°		340°	
170°		350°	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ANTENNA POWER PATTERN



สรุปผลการทดลอง

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายคุณสมบัติเบื้องต้นของสายอากาศไดโพล
2. จงอธิบายถึงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 2
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วง

วัตถุประสงค์

1. บอกและอธิบายความหมายของคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของสายอากาศไดโพลแบบห่วงได้
2. อธิบายขั้นตอนการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วงได้
3. วัดและอธิบายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วงได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Generator) พร้อมแกนหมุน	1	ชุด
2. เครื่องรับสัญญาณพร้อมสายอากาศรับสัญญาณแบบติดตั้งอยู่กับที่	1	ชุด
3. สายอากาศไดโพลแบบห่วง	1	ชุด
4. สายโคแอกเชียลพร้อมหัวต่อ	3	ชุด
5. เครื่องวัด SWR & POWER METER	1	เครื่อง

ทฤษฎีเบื้องต้น

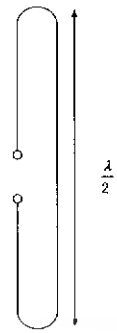
ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของไดโพลแบบ $\lambda/2$ ที่รีโซแนนซ์ มีค่าเท่ากับ 73 โอห์ม ในขณะที่การเพิ่มพาราซิติกอีลีเมนท์ จะมีผลลดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์อย่างเช่น อาจเหลือ 50 โอห์ม สำหรับการมีรีแฟลกเตอร์และไดเรกเตอร์อย่างละหนึ่งอันหรือเหลือ 20 โอห์ม ถ้ามีไดเรกเตอร์หลายอัน แต่สายนำสัญญาณหรือโคแอกเชียลเคเบิลที่ใช้กับอาร์เรย์แบบยากิจะมีค่าอิมพีแดนซ์มาตรฐาน คือ 50 โอห์ม หรือ 75 โอห์ม ดังนั้นถ้าสายอากาศที่ใช้งานไม่แม็ชท์หรือมีค่าอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากับสายนำสัญญาณ อาจเกิดคลื่นนิ่งหรือสแตนดิ้งเวฟบนสายนำสัญญาณ เป็นการสูญเสียพลังงานของระบบไป

ตามที่อธิบายมา ทางแก้ปัญหานี้คือต้องเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ของไดโพลให้มากขึ้นจากเดิม เพื่อว่าเวลาใช้งานร่วมกับพาราซิติกอีลีเมนท์ ค่าอิมพีแดนซ์ที่ลดลงมาก็ยังมีโอกาสเท่ากับค่า 50 โอห์ม หรือ 75 โอห์ม ของสายนำสัญญาณได้

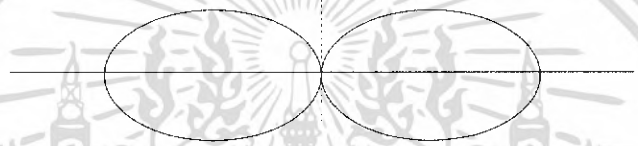
ไดโพลที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูงกว่าค่าเดิม เราใช้ไดโพลแบบห่วงแก้ปัญหานี้ ดังแสดงในรูปที่ 1

สำหรับการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วงจะแสดงในรูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 ไดโพลแบบห่วงขนาด λ/2

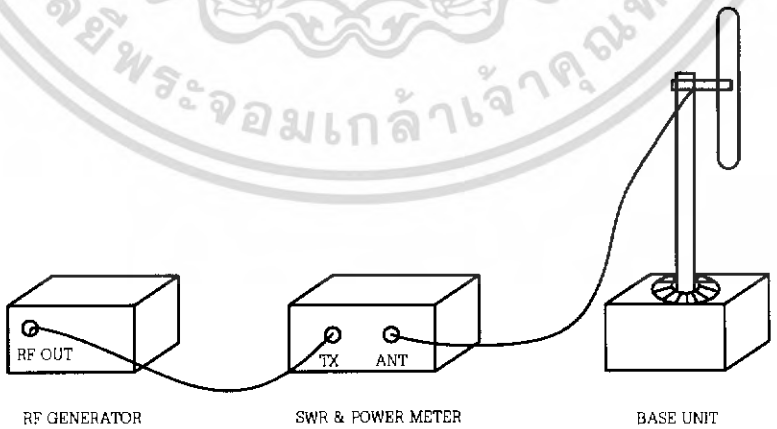


รูปที่ 2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่ง ต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่งดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดตั้งสายอากาศไดโพลแบบห่วงเข้ากับเครื่องส่งและ SWR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

2. การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L บันทึกผลที่ได้

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

2.8 สามารถหาค่า SWR หาได้จากสูตร

$$\text{SWR} = \frac{PF + PR}{PF - PR}$$

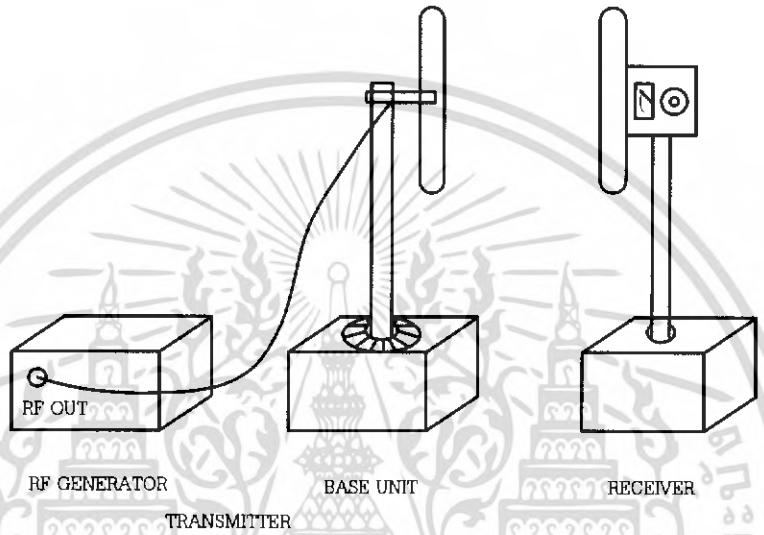
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน ระยะห่างประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 4 โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวตั้ง



รูปที่ 4 การติดตั้งชุดลองเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วง

3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่ง อ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 – 45 μA บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่ 1

3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกผลลงในตารางที่ 1 ทุกครั้งในช่อง จนกระทั่ง ครบ 350 องศา

3.6 นำค่ากระแสที่รับได้จากตารางที่ 1 พล็อตลงบนตารางที่ 2 (ANTENNA POWER PATTERN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ค่า SWR ที่ได้จากการวัดเท่ากับ .....

ค่า PF ของสายอากาศไดโพลแบบห่วงเท่ากับ .....

ค่า PR ของสายอากาศไดโพลแบบห่วงเท่ากับ .....

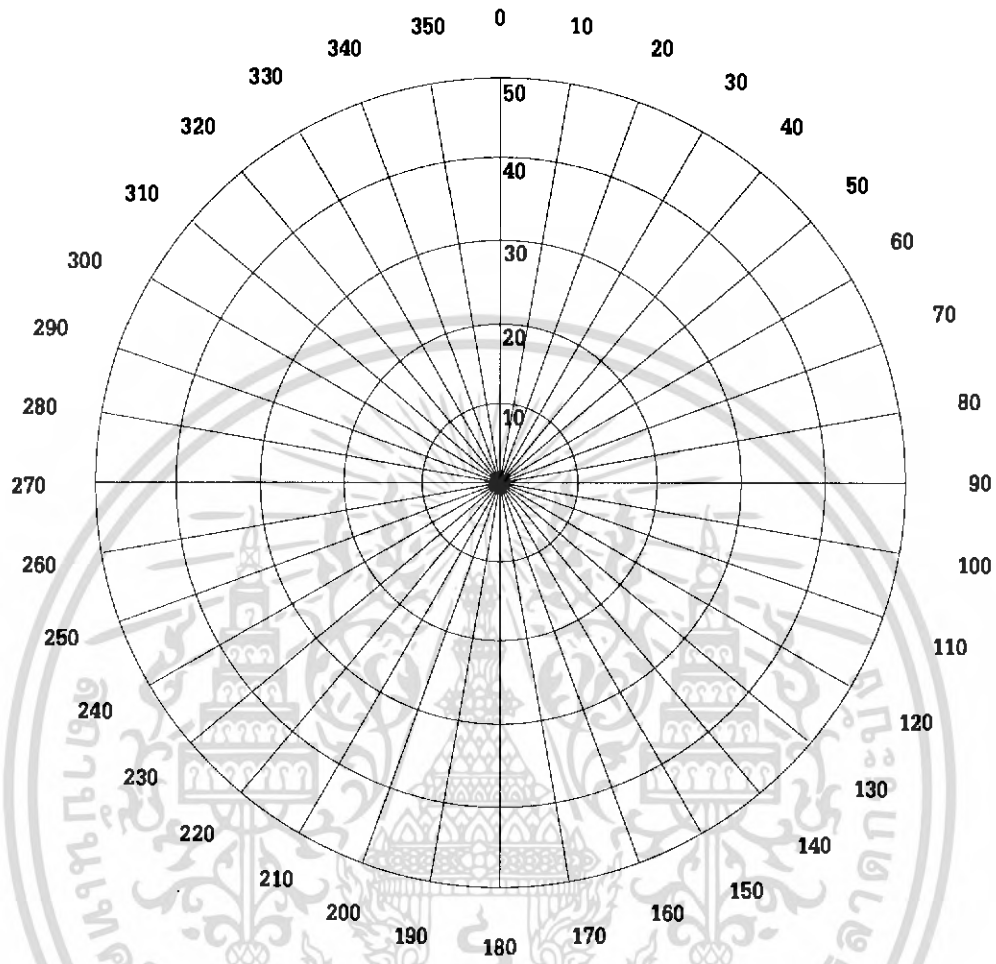
ค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศไดโพลแบบห่วงเท่ากับ.....

ตารางที่ 1 บันทึกผลเพื่อพล็อตลงบน ANTENNA POWER PATTERN

มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)	มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)
0°		180°	
10°		190°	
20°		200°	
30°		210°	
40°		220°	
50°		230°	
60°		240°	
70°		250°	
80°		260°	
90°		270°	
100°		280°	
110°		290°	
120°		300°	
130°		310°	
140°		320°	
150°		330°	
160°		340°	
170°		350°	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ANTENNA POWER PATTERN



สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายคุณสมบัติเบื้องต้นของสายอากาศไดโพลแบบห่วง
2. จงอธิบายถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 3
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิ

วัตถุประสงค์

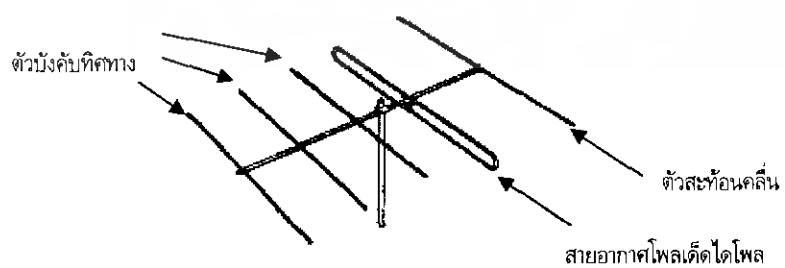
1. บอกและอธิบายความหมายของคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของสายอากาศแบบยากิได้
2. อธิบายขั้นตอนการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิได้
3. วัดและอธิบายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Generator) พร้อมแกนหมุน	1	ชุด
2. เครื่องรับสัญญาณพร้อมสายอากาศรับสัญญาณแบบติดตั้งอยู่กับที่	1	ชุด
3. สายอากาศแบบยากิ	1	ชุด
4. สายโคแอกเชียลพร้อมหัวต่อ	3	ชุด
5. เครื่องวัด SWR & POWER METER	1	เครื่อง

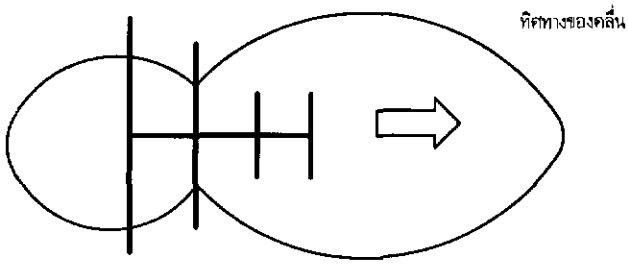
ทฤษฎีเบื้องต้น

สายอากาศแบบยากิมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเหมือนกับสายอากาศไดโพล แต่จะมีอินพุตอิมพีแดนซ์มากกว่าอยู่ 4 เท่า การใส่ตัวสะท้อนคลื่น (Reflector) และตัวบังคับทิศทาง (Director) ให้กับสายอากาศโพลเด็ดไดโพลดังรูปที่ 1 เพื่อทำให้สายอากาศมีทิศทาง และกำลังขยายดีขึ้นตามแนวความคิดของดอกเตอร์ยากิ (Dr.Yagi) ทำให้สายอากาศนี้มีชื่อว่า สายอากาศยากิ แต่อย่างไรก็ตาม จำนวนของตัวสะท้อนคลื่นที่มากกว่าหนึ่งตัวนั้นมีผลต่อทิศทางของสายอากาศน้อยมาก ดังนั้น จึงนิยมใช้ตัวสะท้อนคลื่นกับสายอากาศชนิดนี้เพียงตัวเดียว โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิจะแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 สายอากาศแบบยากิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

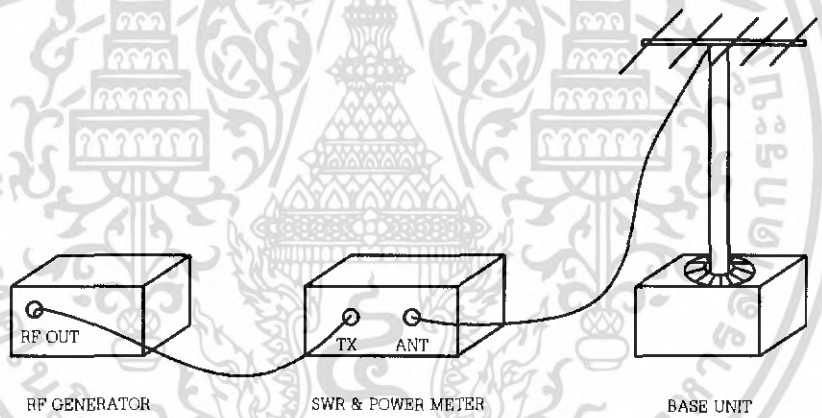


รูปที่ 2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิ

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่ง ต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่งดังรูป



รูปที่ 3 การติดตั้งสายอากาศแบบยากิเข้ากับเครื่องส่งและ SWR

1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

2. การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L บันทึกผลที่ได้

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

2.8 สามารถหาค่า SWR หาได้จากสูตร

$$SWR = \frac{PF + PR}{PF - PR}$$

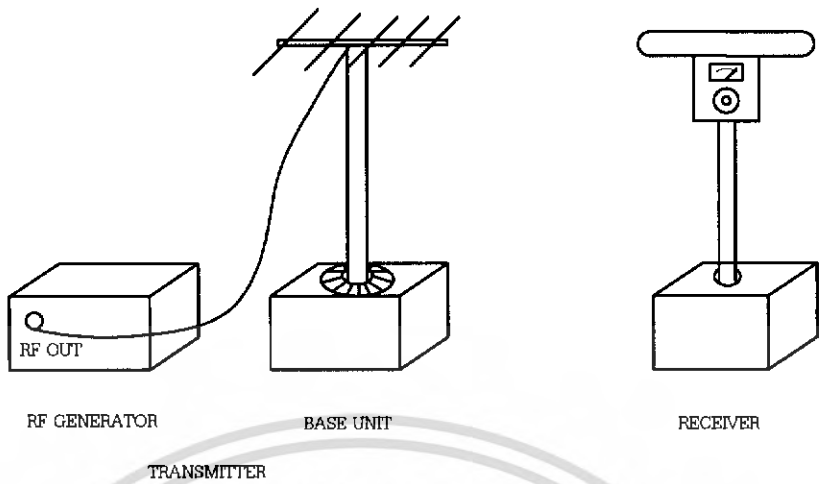
3. การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน ระยะห่างประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 4 โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 การติดตั้งชุดลองเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิ

3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่ง อ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 – 45 μA บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่ 1

3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกผลลงในตารางที่ 1 ทุกครั้งในช่อง จนกระทั่ง ครบ 350 องศา

3.6 นำค่ากระแสที่รับได้จากตารางที่ 1 พล็อตลงบนตารางที่ 2 (ANTENNA POWER PATTERN)

ผลการทดลอง

ค่า SWR ที่ได้จากการวัดเท่ากับ .....

ค่า PF ของสายอากาศแบบยากิเท่ากับ .....

ค่า PR ของสายอากาศแบบยากิเท่ากับ .....

ค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศแบบยากิเท่ากับ

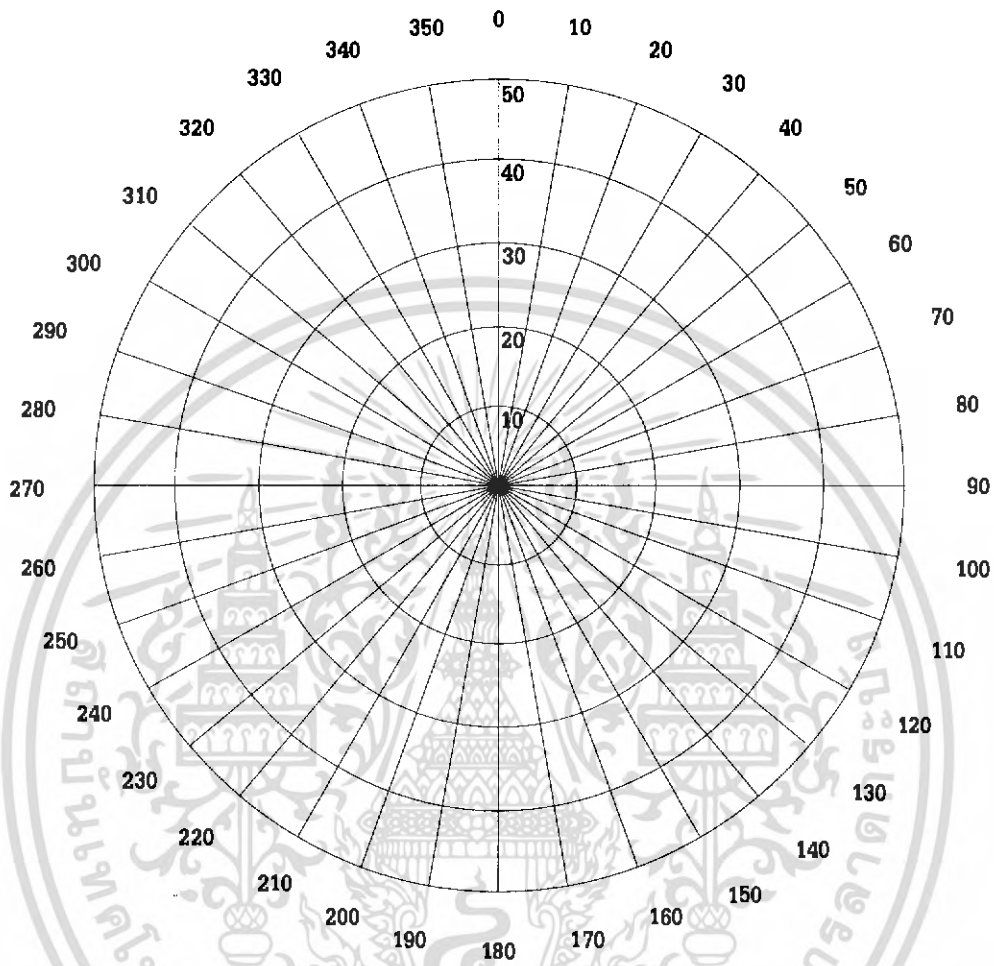
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 บันทึกผลเพื่อพล็อตลงบน ANTENNA POWER PATTERN

มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)	มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)
0°		180°	
10°		190°	
20°		200°	
30°		210°	
40°		220°	
50°		230°	
60°		240°	
70°		250°	
80°		260°	
90°		270°	
100°		280°	
110°		290°	
120°		300°	
130°		310°	
140°		320°	
150°		330°	
160°		340°	
170°		350°	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ANTENNA POWER PATTERN



สรุปผลการทดลอง

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายคุณสมบัติเบื้องต้นของสายอากาศแบบยากิ
2. จงอธิบายถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวนอน

วัตถุประสงค์

1. บอกและอธิบายความหมายของคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของสายอากาศแนวนอนได้
2. อธิบายขั้นตอนการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวนอนได้
3. วัดและอธิบายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวนอนได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

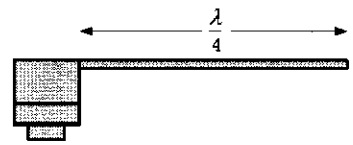
1. เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Generator) พร้อมแกนหมุน	1	ชุด
2. เครื่องรับสัญญาณพร้อมสายอากาศรับสัญญาณแบบติดตั้งอยู่กับที่	1	ชุด
3. สายอากาศแนวนอน	1	ชุด
4. สายโคแอกเชียลพร้อมหัวต่อ	3	ชุด
5. เครื่องวัด SWR & POWER METER	1	เครื่อง

ทฤษฎีเบื้องต้น

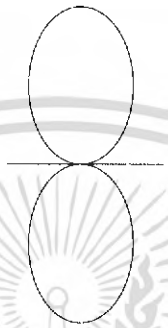
สายอากาศฮาล์ฟเวฟแบบแนวนอนถือเป็นรูปแบบพิเศษของวงจรจูนรีโซแนนซ์ โดยมีค่า Q ของสายอากาศขึ้นกับความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างค่ารีแอคแตนซ์เทียบกับค่ารีซิสแตนซ์กราฟผลตอบสนองของสายอากาศแบบนี้จะมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับที่เกิดในวงจรจูนด์แบบ LC ทั่วๆ ไป ความคมชัดของกราฟผลตอบสนองขึ้นกับโครงสร้างของสายอากาศ ในกรณีที่ทำจากสายทองแดงขนาดเล็กจะได้สายอากาศที่มีค่า Q สูง คือ มีกราฟที่คมชัดมากเพราะทำงานเพียงในแถบความถี่แคบๆ หากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสายตัวนำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับความยาวสายที่ใช้สายอากาศที่ได้จะมีความไวน้อยลง แต่ครอบคลุมช่วงความถี่กว้างขึ้น ในทางไฟฟ้า สายอากาศไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น จะสมมูลย์กับสายนำสัญญาณขนาดหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นที่มีปลายทางเปิดวงจรไว้ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเดินไปตามผิวของสายอากาศ โดยที่สายไฟมีความต้านทาน การเคลื่อนที่ของคลื่นวิทยุจึงช้ากว่าการเดินทางในอวกาศ โดยในทางทฤษฎีแล้วจะสั้นกว่าราว 6% เมื่อเทียบกับความยาวคลื่นในอวกาศ เช่น ที่ความถี่ 300 เมกะเฮิรตซ์ จะมีความยาวคลื่นเท่ากับ 1 เมตร แต่สายอากาศต้องตัดให้สั้นเหลือ 94 เซนติเมตร เพื่อชดเชยการล่าช้า 6%

สายอากาศแนวนอนจะมีลักษณะดังรูปที่ 1 และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 สายอากาศแนวนอน

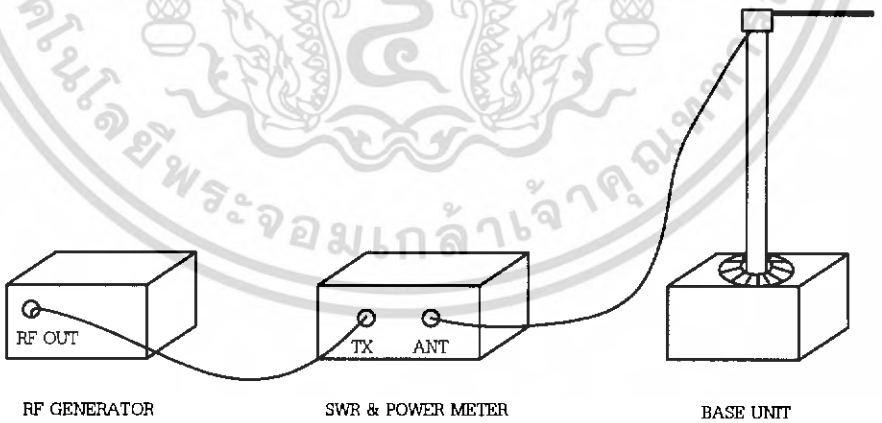


รูปที่ 2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวนอน

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่ง ต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่งดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดตั้งสายอากาศแนวนอนเข้ากับเครื่องส่งและ SWR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

2. การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L บันทึกผลที่ได้

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

2.8 สามารถหาค่า SWR หาได้จากสูตร

$$\text{SWR} = \frac{PF + PR}{PF - PR}$$

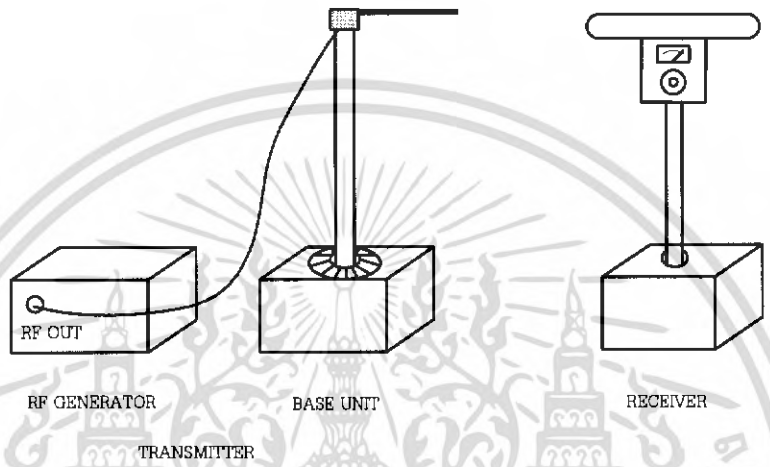
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน ระยะห่างประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 4 โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวนอน



รูปที่ 4 การติดตั้งชุดลองเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวนอน

3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่ง อ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 – 45 μA บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่ 1

3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกผลลงในตารางที่ 1 ทุกครั้งในช่อง จนกระทั่ง ครบ 350 องศา

3.6 นำค่ากระแสที่รับได้จากตารางที่ 1 พล็อตลงบนตารางที่ 2 (ANTENNA POWER PATTERN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ค่า SWR ที่ได้จากการวัดเท่ากับ .....

ค่า PF ของสายอากาศแนวนอนเท่ากับ .....

ค่า PR ของสายอากาศแนวนอนเท่ากับ .....

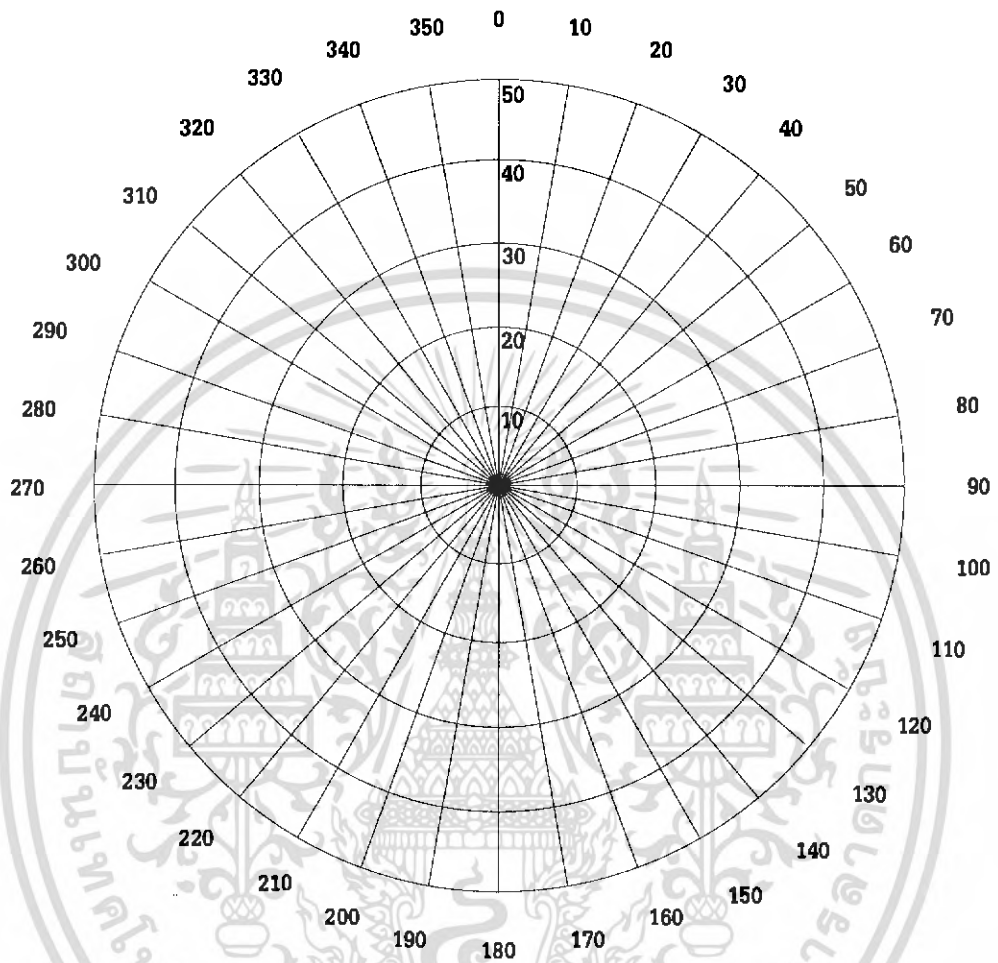
ค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศแนวนอนเท่ากับ .....

ตารางที่ 1 บันทึกผลเพื่อพล็อตลงบน ANTENNA POWER PATTERN

มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)	มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)
0°		180°	
10°		190°	
20°		200°	
30°		210°	
40°		220°	
50°		230°	
60°		240°	
70°		250°	
80°		260°	
90°		270°	
100°		280°	
110°		290°	
120°		300°	
130°		310°	
140°		320°	
150°		330°	
160°		340°	
170°		350°	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ANTENNA POWER PATTERN



สรุปผลการทดลอง

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายคุณสมบัติเบื้องต้นของสายอากาศแนวนอน
2. จงอธิบายถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 5
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวดิ่ง

วัตถุประสงค์

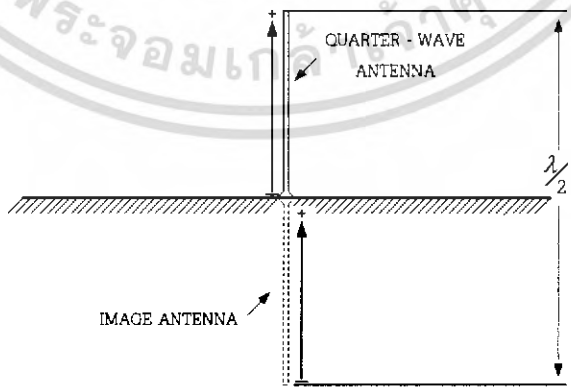
1. บอกและอธิบายความหมายของคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของสายอากาศแนวดิ่งได้
2. อธิบายขั้นตอนการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวดิ่งได้
3. วัดและอธิบายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวดิ่งได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Generator) พร้อมแกนหมุน	1	ชุด
2. เครื่องรับสัญญาณพร้อมสายอากาศรับสัญญาณแบบติดตั้งอยู่กับที่	1	ชุด
3. สายอากาศแนวดิ่ง	1	ชุด
4. สายโคแอกเชียลพร้อมหัวต่อ	3	ชุด
5. เครื่องวัด SWR & POWER METER	1	เครื่อง

ทฤษฎีเบื้องต้น

สายอากาศแนวดิ่งที่รู้จักกันมากที่สุด คือ สายอากาศแบบมาร์โคนี่ (Marconi) หรือมีชื่อเต็มทางเทคนิคว่า สายอากาศแบบแนวดิ่งแบบหนึ่งในสี่คลื่น (Grounded Quarter-wave Vertical Antenna) ดังรูปที่ 1

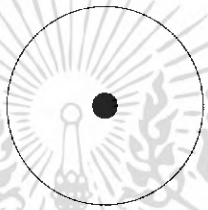


รูปที่ 1 สายอากาศเชิงแนวดิ่งแบบ Grounded Quarter-wave หรือเรียกว่า สายอากาศแบบมาโคนี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่เหลืออยู่เหนือผิวดินจะยาวเท่ากับ λ (ความยาวคลื่น) โดยทางทฤษฎีการทำงานจะเกิดภาพเสมือนของสายอากาศใต้พื้นดินด้วยรูปแบบการกระจายคลื่นจะคล้ายกับครึ่งหนึ่งของรูปโดนัส โดยการปักสายอากาศไว้ตรงกลางรูของรูปโดนัส รูปแบบการกระจายคลื่นในระนาบจึงเป็นรูปวงกลมโดยมีอินพุทอิมพีแดนซ์ประมาณ 37 โอห์ม

สายอากาศแบบมาโคนี่นิยมใช้ในเครื่องสื่อสารขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้ (Mobile) เพราะว่ามีรูปแบบการกระจายคลื่นรอบทิศทางดังรูปที่ 2 โดยในการใช้งานต้องนำไปติดตั้งเหนือพื้นดิน อาจติดตั้งบนเสาไม้สูงๆ แล้วส่งผ่านสัญญาณไปตามสายโคแอกเชียล จึงมักเรียกสาอากาศชนิดนี้ว่าสายอากาศแบบ Quarter-wave Monopole

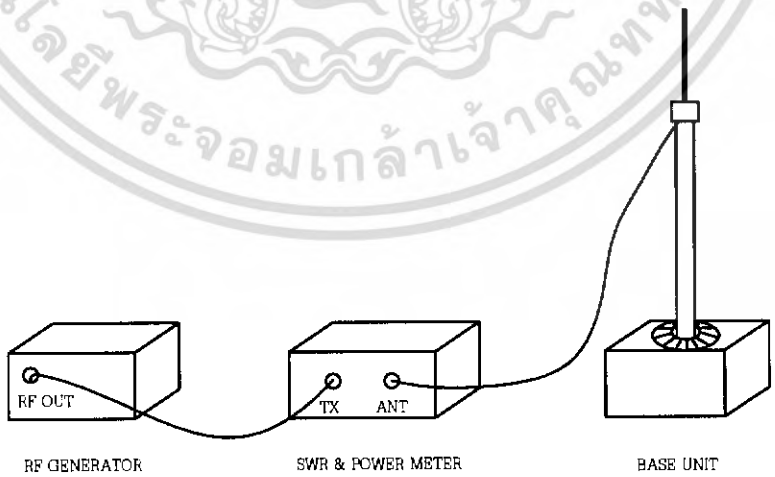


รูปที่ 2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวดิ่ง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่ง ต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่งดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดตั้งสายอากาศแนวดิ่งเข้ากับเครื่องส่งและ SWR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

2. การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L บันทึกผลที่ได้

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

2.8 สามารถหาค่า SWR หาได้จากสูตร

$$\text{SWR} = \frac{PF + PR}{PF - PR}$$

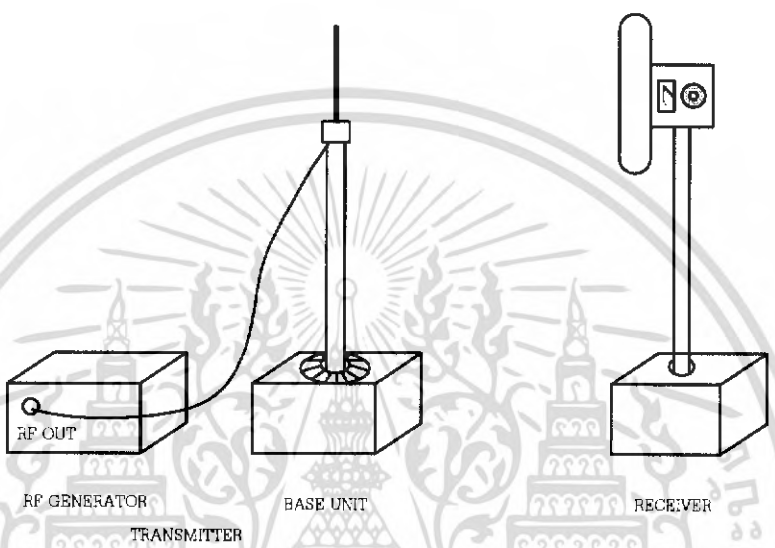
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน ระยะห่างประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 4 โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวตั้ง



รูปที่ 4 การติดตั้งชุดลองเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวดิ่ง

3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่ง อ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 – 45 μA บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่1

3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกผลลงในตารางที่ 1 ทุกครั้งในช่อง จนกระทั่ง ครบ 350 องศา

3.6 นำค่ากระแสที่รับได้จากตารางที่ 1 พล็อตลงบนตารางที่ 2 (ANTENNA POWER PATTERN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ค่า SWR ที่ได้จากการวัดเท่ากับ

ค่า PF ของสายอากาศแนวดิ่งเท่ากับ

ค่า PR ของสายอากาศแนวดิ่งเท่ากับ

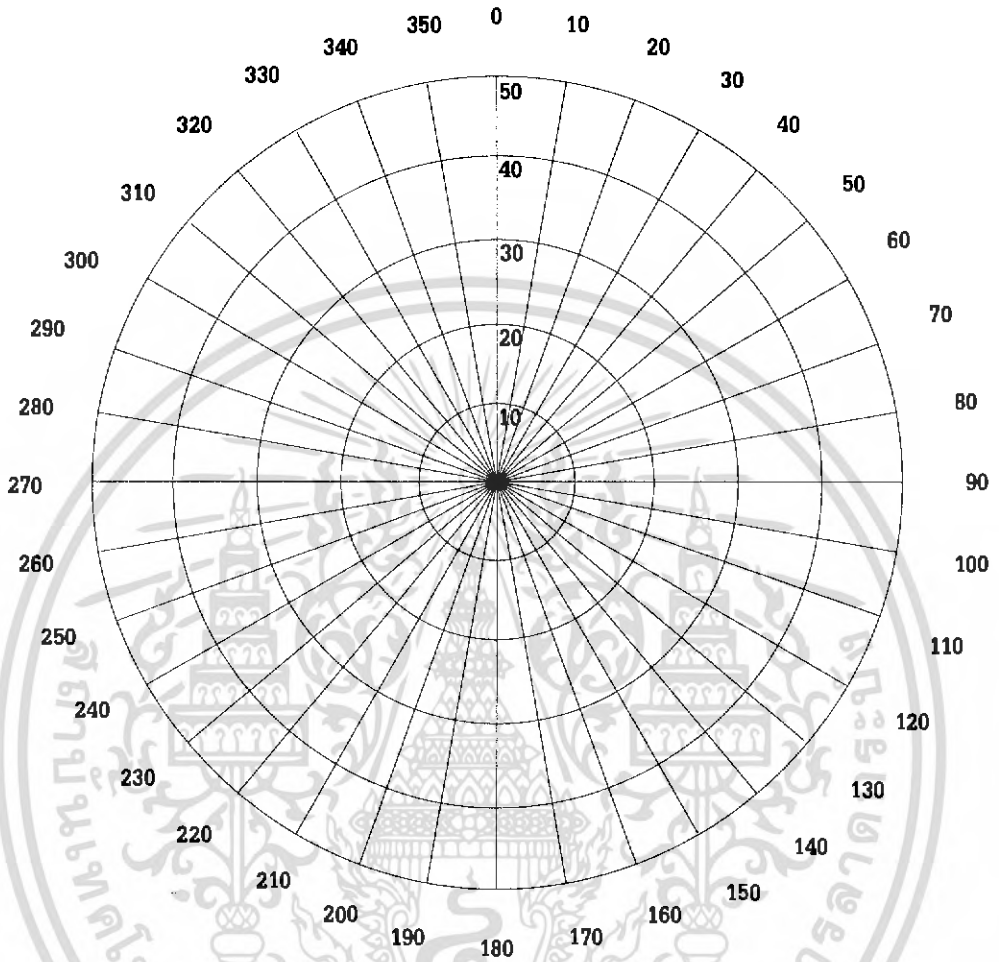
ค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศแนวดิ่งเท่ากับ

ตารางที่ 1 บันทึกผลเพื่อพล็อตลงบน ANTENNA POWER PATTERN

มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)	มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)
0°		180°	
10°		190°	
20°		200°	
30°		210°	
40°		220°	
50°		230°	
60°		240°	
70°		250°	
80°		260°	
90°		270°	
100°		280°	
110°		290°	
120°		300°	
130°		310°	
140°		320°	
150°		330°	
160°		340°	
170°		350°	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ANTENNA POWER PATTERN



สรุปผลการทดลอง

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

คำถามท้ายการทดลอง

1.จงอธิบายคุณสมบัติเบื้องต้นของสายอากาศแนวดิ่ง

2.จงอธิบายถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 6
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบช่อง

วัตถุประสงค์

1. บอกและอธิบายความหมายของคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของสายอากาศแบบช่องได้
2. อธิบายขั้นตอนการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบช่องได้
3. วัดและอธิบายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบช่องได้

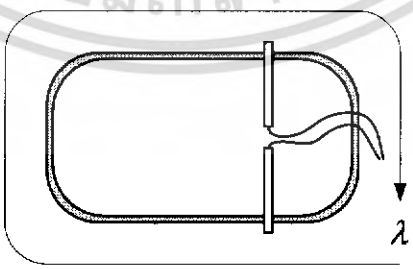
เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Generator) พร้อมแกนหมุน	1	ชุด
2. เครื่องรับสัญญาณพร้อมสายอากาศรับสัญญาณแบบติดตั้งอยู่กับที่	1	ชุด
3. สายอากาศแบบช่อง	1	ชุด
4. สายโคแอกเชียลพร้อมหัวต่อ	3	ชุด
5. เครื่องวัด SWR & POWER METER	1	เครื่อง

ทฤษฎีเบื้องต้น

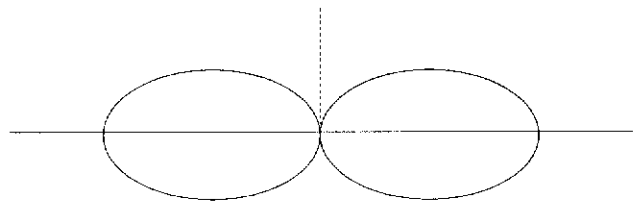
สายอากาศแบบช่องดังรูปที่ 1 ไม่มีการแพร่คลื่นในระนาบเดียวกันกับแผ่นเหล็ก แต่ระนาบที่ตั้งฉากกับแผ่นเหล็กจะมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเหมือนกับไดโพลแบบ $\lambda/2$ ดังรูปที่ 2

ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบช่องสูงกว่าแบบไดโพล $\lambda/2$ คือ มีค่า 475 โอห์ม เทียบกับ 73 โอห์ม



รูปที่ 1 สายอากาศแบบช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

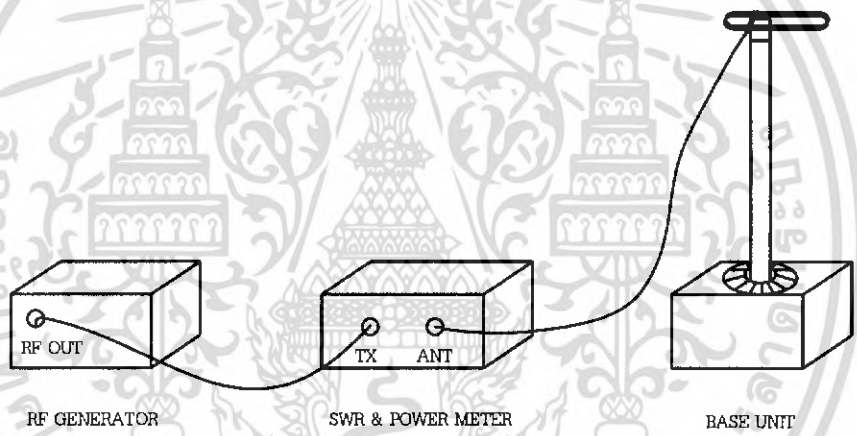


รูปที่ 2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบช่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่ง ต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่งดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดตั้งสายอากาศแบบช่องเข้ากับเครื่องส่งและ SWR

1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

2. การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L บันทึกผลที่ได้

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

2.8 สามารถหาค่า SWR หาได้จากสูตร

$$\text{SWR} = \frac{PF + PR}{PF - PR}$$

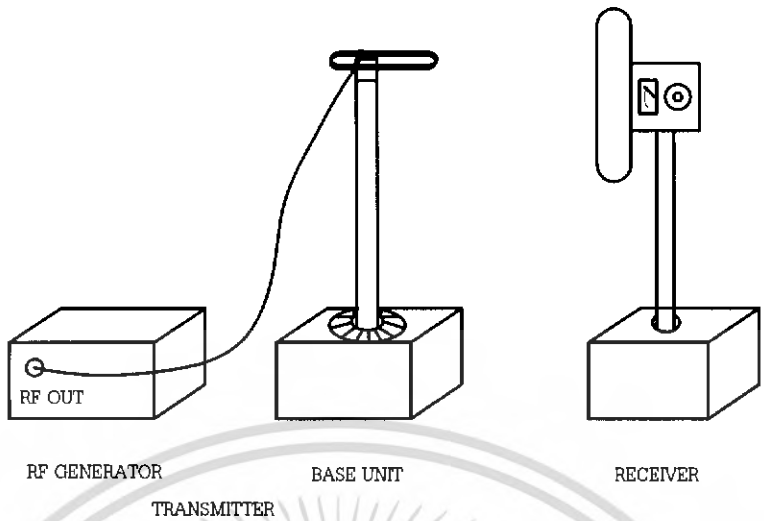
3. การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน ระยะห่างประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 4 โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 การติดตั้งชุดลองเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบช่อง

3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่ง อ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 – 45 μA บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่1

3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกผลลงในตารางที่ 1 ทุกครั้งในช่อง จนกระทั่ง ครบ 350 องศา

3.6 นำค่ากระแสที่รับได้จากตารางที่ 1 พล็อตลงบนตารางที่ 2 (ANTENNA POWER PATTERN)

ผลการทดลอง

ค่า SWR ที่ได้จากการวัดเท่ากับ .....

ค่า PF ของสายอากาศแบบช่องเท่ากับ .....

ค่า PR ของสายอากาศแบบช่องเท่ากับ .....

ค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศแบบช่องเท่ากับ .....

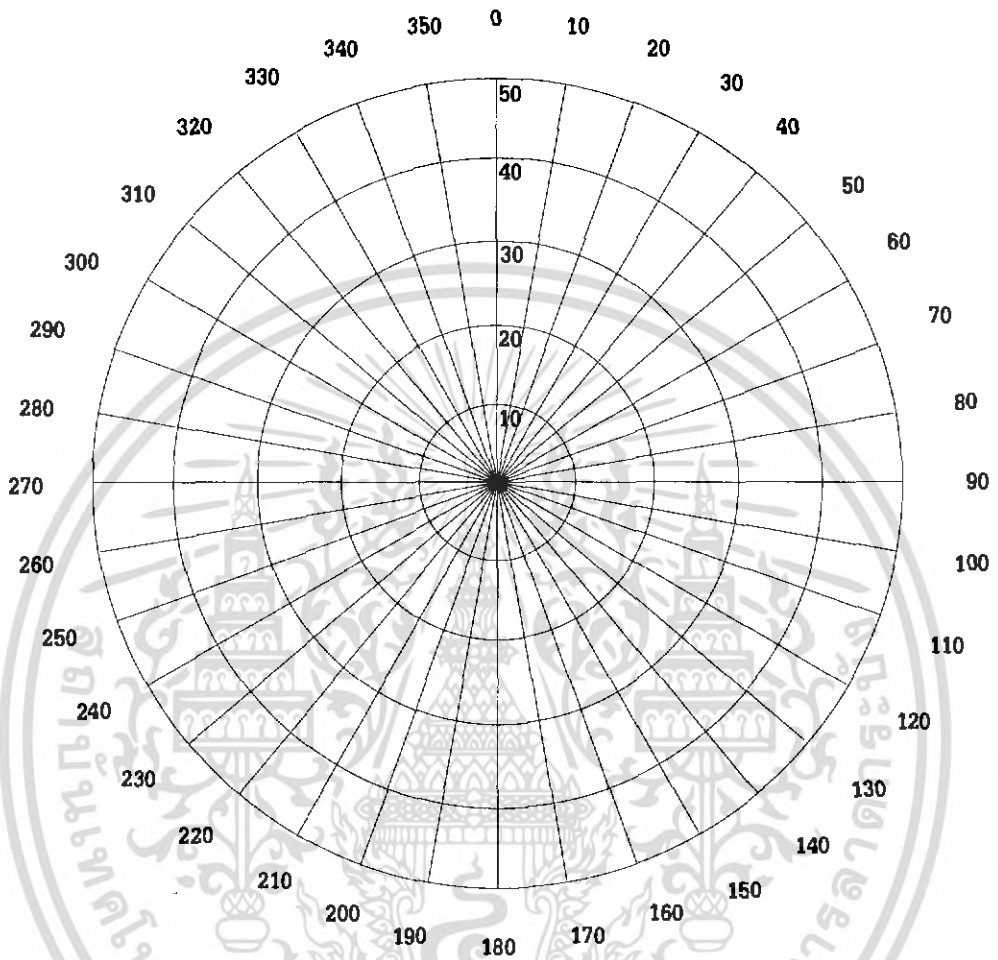
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 บันทึกผลเพื่อพล็อตลงบน ANTENNA POWER PATTERN

มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)	มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)
0°		180°	
10°		190°	
20°		200°	
30°		210°	
40°		220°	
50°		230°	
60°		240°	
70°		250°	
80°		260°	
90°		270°	
100°		280°	
110°		290°	
120°		300°	
130°		310°	
140°		320°	
150°		330°	
160°		340°	
170°		350°	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ANTENNA POWER PATTERN



สรุปผลการทดลอง

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

คำถามท้ายการทดลอง

1.จงอธิบายคุณสมบัติเบื้องต้นของสายอากาศแบบช่อง

2.จงอธิบายถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 7
แบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบลูป

วัตถุประสงค์

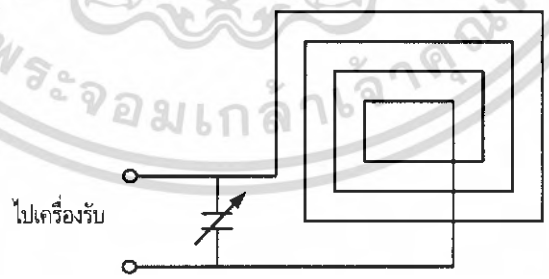
1. บอกและอธิบายความหมายของคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของสายอากาศแบบลูปได้
2. อธิบายขั้นตอนการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบลูปได้
3. วัดและอธิบายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบลูปได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Generator) พร้อมแกนหมุน	1	ชุด
2. เครื่องรับสัญญาณพร้อมสายอากาศรับสัญญาณแบบติดตั้งอยู่กับที่	1	ชุด
3. สายอากาศแบบลูป	1	ชุด
4. สายโคแอกเชียลพร้อมหัวต่อ	3	ชุด
5. เครื่องวัด SWR & POWER METER	1	เครื่อง

ทฤษฎีเบื้องต้น

ประกอบด้วยจำนวนรอบที่ลวดตัวนำพันเป็นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งขนาดของสายอากาศต้องมีค่าน้อยกว่าความยาวคลื่นของสัญญาณที่รับเข้ามาดังรูปที่ 1

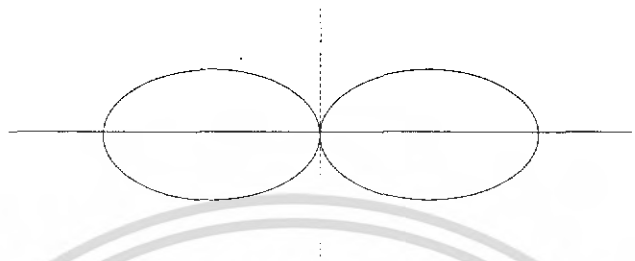


รูปที่ 1 สายอากาศแบบลูป

จากรูปเป็นสายอากาศแบบลูปรูปสี่เหลี่ยมที่มีจำนวนรอบ 4 รอบ และมีส่วนจูนความถี่ของสัญญาณโดยใช้ตัวประจุไฟฟ้าแบบปรับค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าที่ส่งจากสายอากาศไปให้เครื่องรับมีค่าขึ้นกับพื้นที่ของลูป และจำนวนรอบของลวดตัวนำ (พื้นที่ของลูปจำกัดความต้องการตั้งสายอากาศในบริเวณจำกัด) แบบรูปการแพร่คลื่นของสายอากาศลูปเป็นรูปเลขแปดดังรูปที่ 2

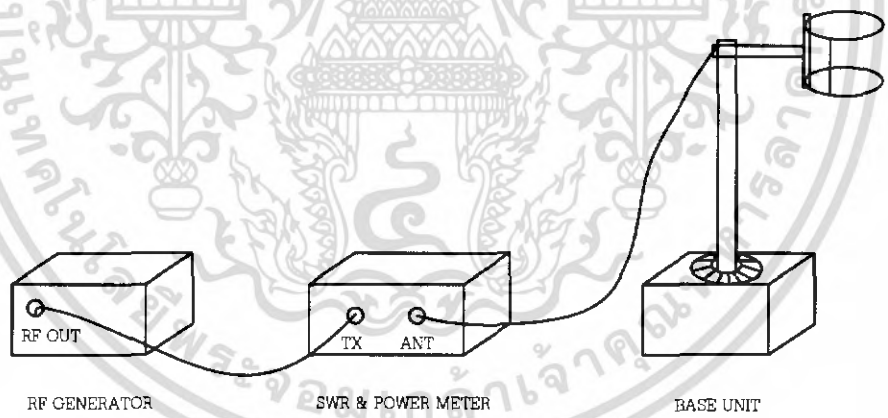


รูปที่ 2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบลูป

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่ง ต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่งดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดตั้งสายอากาศแบบลูปเข้ากับเครื่องส่งและ SWR

1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

2. การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L บันทึกผลที่ได้

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

2.8 สามารถหาค่า SWR หาได้จากสูตร

$$SWR = \frac{PF + PR}{PF - PR}$$

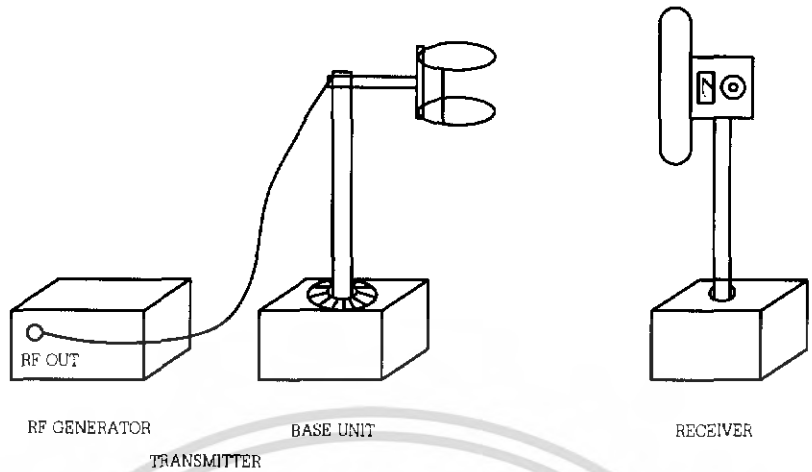
3. การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน ระยะห่างประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 4 โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 การติดตั้งชุดลองเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบลูป่

3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่ง อ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 – 45 μA บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่ 1

3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกผลลงในตารางที่ 1 ทุกครั้งในช่อง จนกระทั่ง ครบ 350 องศา

3.6 นำค่ากระแสที่รับได้จากตารางที่ 1 พล็อตลงบนตารางที่ 2 (ANTENNA POWER PATTERN)

ผลการทดลอง

ค่า SWR ที่ได้จากการวัดเท่ากับ .....

ค่า PF ของสายอากาศแบบลูปเท่ากับ .....

ค่า PR ของสายอากาศแบบลูปเท่ากับ .....

ค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศแบบลูปเท่ากับ .....

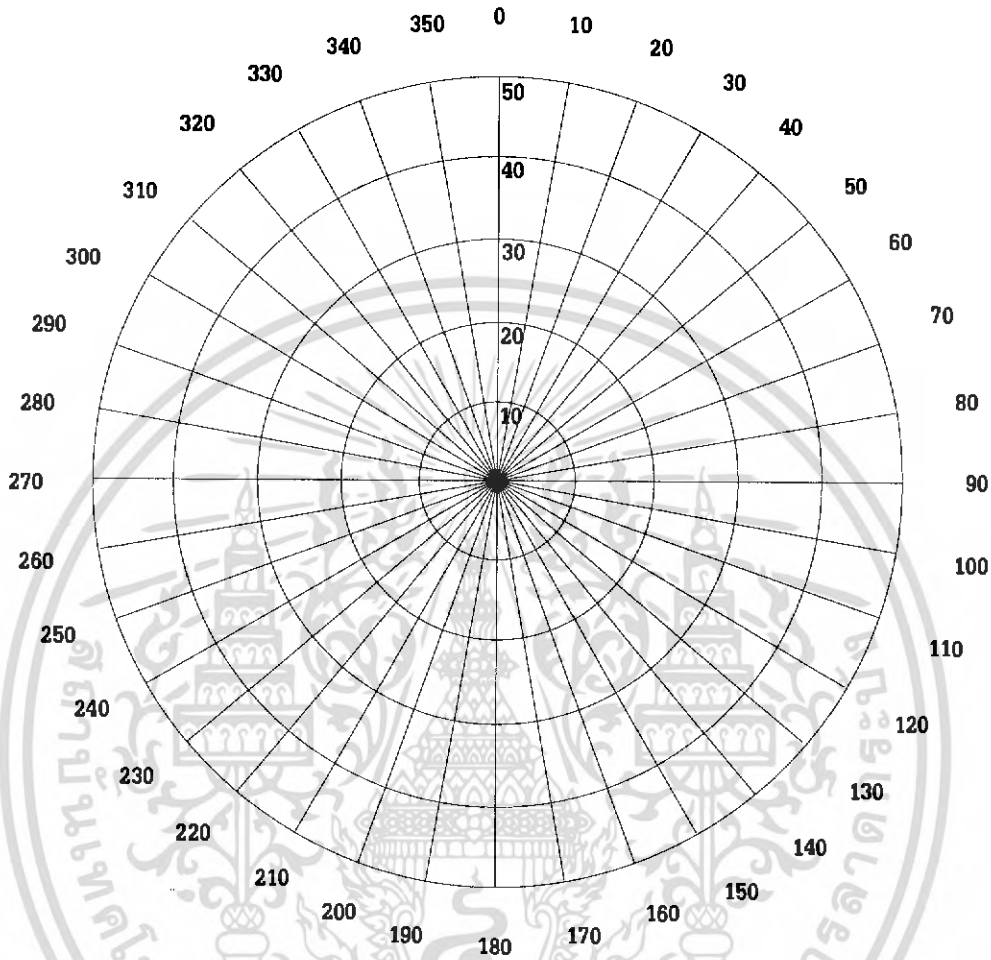
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 บันทึกผลเพื่อพล็อตลงบน ANTENNA POWER PATTERN

มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)	มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)
0°		180°	
10°		190°	
20°		200°	
30°		210°	
40°		220°	
50°		230°	
60°		240°	
70°		250°	
80°		260°	
90°		270°	
100°		280°	
110°		290°	
120°		300°	
130°		310°	
140°		320°	
150°		330°	
160°		340°	
170°		350°	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ANTENNA POWER PATTERN



สรุปผลการทดลอง

คำถามท้ายการทดลอง

1.จงอธิบายคุณสมบัติเบื้องต้นของสายอากาศแบบลูป

2.จงอธิบายถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ
เฉลยใบงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยใบงานที่ 1
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล

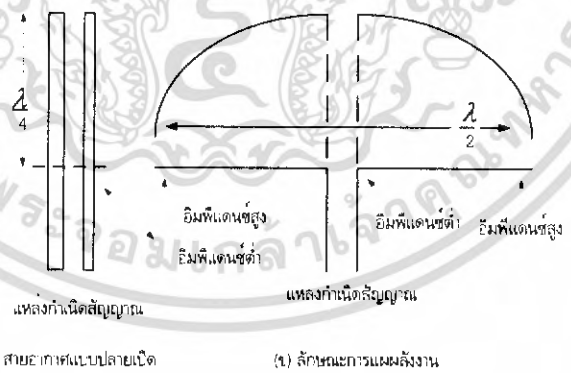
วัตถุประสงค์

1. บอกและอธิบายความหมายของคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของสายอากาศไดโพลได้
2. อธิบายขั้นตอนการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลได้
3. วัดและอธิบายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Generator) พร้อมแกนหมุน	1	ชุด
2. เครื่องรับสัญญาณพร้อมสายอากาศรับสัญญาณแบบติดตั้งอยู่กับที่	1	ชุด
3. สายอากาศไดโพล	1	ชุด
4. สายโคแอกเชียลพร้อมหัวต่อ	3	ชุด
5. เครื่องวัด SWR & POWER METER	1	เครื่อง

ทฤษฎีเบื้องต้น



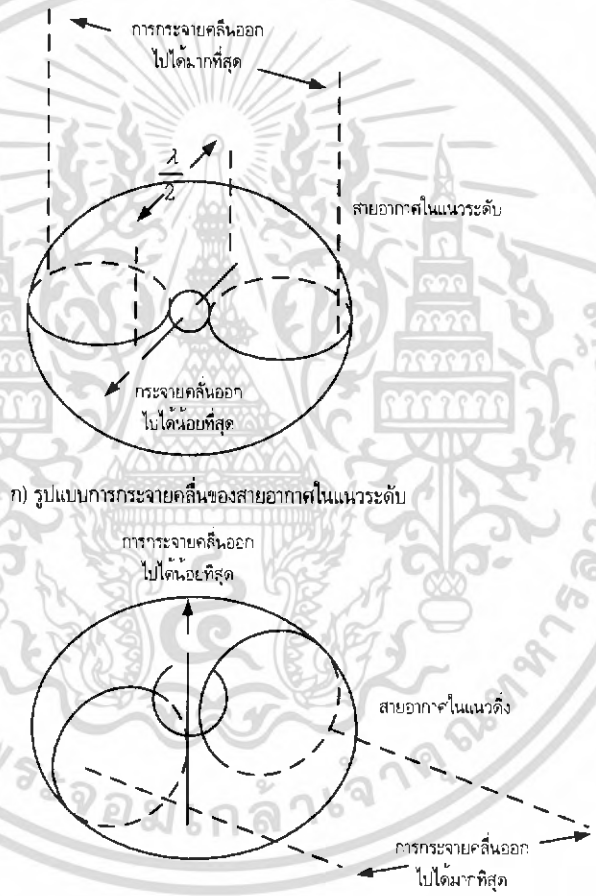
รูปที่ 1 สายอากาศไดโพล

สายอากาศไดโพลมีสายส่งสัญญาณที่มีปลายหนึ่งต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดสัญญาณ และมีปลายอีกข้างหนึ่งเปิดอยู่ ดังรูปที่ 1 (ก) ปลายด้านที่เปิดอยู่ย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์สูง ถ้าทำการหาค่าอิมพีแดนซ์ตามตำแหน่งต่างๆ บนสายส่งสัญญาณ โดยเริ่มจากปลายเปิดย้อนลงไปตามสาย จะพบว่าค่าอิมพีแดนซ์ตามตำแหน่งต่างๆ นั้น จะค่อยๆ ลดลง และจะมีค่าต่ำสุด ณ ตำแหน่งที่ห่างจากปลายเปิดนั้นเท่ากับ $\lambda/4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อการแผ่สายทั้งสองออกจากกัน ดังรูปที่ 1 (ข) จะเห็นว่ามีกระแสไหลเข้าสู่สาย ณ ตำแหน่งตรงจุดต่อนี้ได้มากที่สุด คือ จะมีพลังงานไหลเข้าในส่วนนี้ได้มากที่สุด

ความแรงของกระแสและแรงดันตามจุดต่างๆ บนสายส่งที่ได้กางแผ่ออกไปแล้วจะมีลักษณะรูปแบบดังรูปที่ 2 ซึ่งพบว่าการกางแผ่สายนำสัญญาณออกในตำแหน่งนี้ มีการกระจายของแรงดันได้มากที่สุด หมายถึง เกิดการกระจายคลื่นทีอีเอ็มออกมาจากสายนำสัญญาณส่วนนี้ได้มากที่สุด ดังนั้น สายนำสัญญาณส่วนนี้จะกลายเป็นสายอากาศขึ้นมา สายอากาศในลักษณะนี้จึงมีชื่อเรียกตามลักษณะที่มีแขนหรือขั้วที่ยื่นออกไปนั้นว่า สายอากาศไดโพล



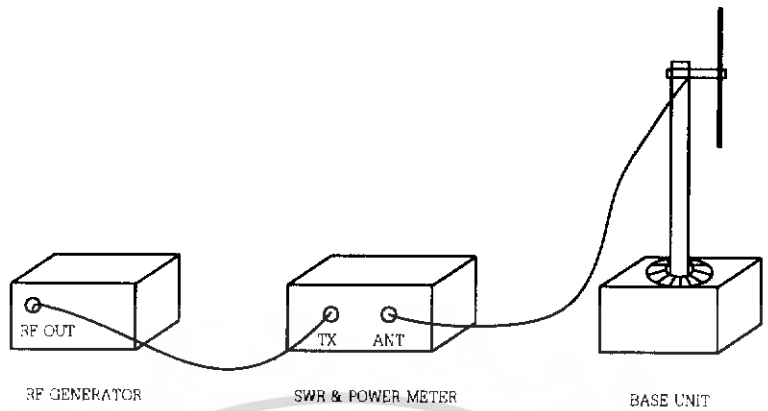
รูปที่ 2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่ง ต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่งดังรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 การติดตั้งสายอากาศไดโพลเข้ากับเครื่องส่งและ SWR

1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

2. การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L บันทึกผลที่ได้

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

2.8 สามารถหาค่า SWR หาได้จากสูตร

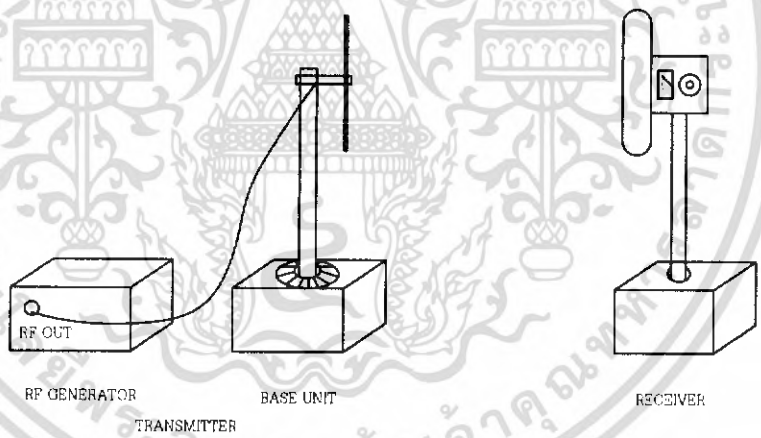
$$\text{SWR} = \frac{PF + PR}{PF - PR}$$

3. การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน ระยะห่างประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 4 โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวตั้ง



รูปที่ 4 การติดตั้งชุดลองเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล

3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่ง อ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 - 45 μA บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่1

3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกผลลงในตารางที่ 1 ทุกครั้งในช่อง จนกระทั่ง ครบ 350 องศา

3.6 นำค่ากระแสที่รับได้จากตารางที่ 1 พล็อตลงบนตารางที่ 2 (ANTENNA POWER PATTERN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ค่า SWR ที่ได้จากการวัดเท่ากับ 1.7

ค่า PF ของสายอากาศไดโพลเท่ากับ 0.7

ค่า PR ของสายอากาศไดโพลเท่ากับ 0.01

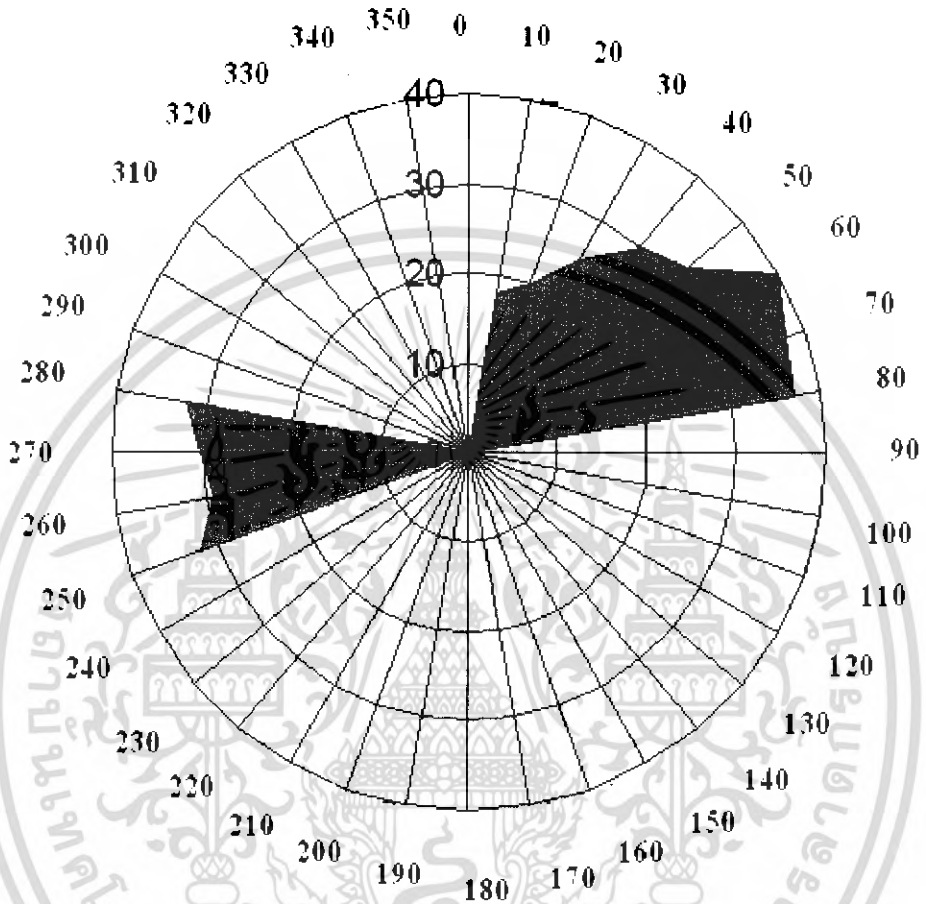
ค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศไดโพลเท่ากับ 1.02

ตารางที่ 1 บันทึกผลเพื่อพล็อตลงบน ANTENNA POWER PATTERN

มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)	มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)
0°	0	180°	0
10°	18	190°	0
20°	20	200°	0
30°	25	210°	0
40°	30	220°	0
50°	32	230°	0
60°	40	240°	0
70°	38	250°	0
80°	37	260°	32
90°	0	270°	29
100°	0	280°	30
110°	0	290°	32
120°	0	300°	0
130°	0	310°	0
140°	0	320°	0
150°	0	330°	0
160°	0	340°	0
170°	0	350°	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ANTENNA POWER PATTERN



สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำให้ทราบค่า SWR ของสายอากาศไดโพล และกำลังส่งของสายอากาศไดโพล เพื่อนำค่ามาคำนวณเปรียบเทียบค่า SWR ที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณว่ามีค่าที่แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด และจากการที่นำค่ากระแสที่รับได้มาพล็อตหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ทำให้ทราบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จากการทดลองสายอากาศไดโพลกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากทฤษฎี ว่าตรงตามทฤษฎีหรือไม่ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่า SWR ที่ได้จากการวัดกับค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศก็แตกต่างจากทฤษฎี ซึ่งในการใช้งานจริง สายอากาศถูกติดตั้งไว้ใกล้กับวัสดุต่างๆ ทำให้แบบรูปการแพร่คลื่นไม่อาจระบุถึงประสิทธิภาพแท้จริงของสายอากาศได้เต็มร้อยเปอร์เซนต์ ถึงกระนั้นแบบรูปการแพร่คลื่นใช้ประโยชน์ในแง่การเปรียบเทียบความแตกต่างกันของสายอากาศแต่ละชนิดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1.จงอธิบายคุณสมบัติเบื้องต้นของสายอากาศไดโพล

ตอบ สายอากาศไดโพลครึ่งคลื่นมีความยาวเท่ากับ $\lambda/2$ ที่ประกอบจากความยาว $\lambda/4$ สองส่วน และป้อนพลังงานตรงกึ่งกลาง

2.จงอธิบายถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล

ตอบ มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นออกไปทางด้านข้างทั้งสองข้างเป็นรูปเลขแปดแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยใบงานที่ 2
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วง

วัตถุประสงค์

1. บอกและอธิบายความหมายของคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของสายอากาศไดโพลแบบห่วงได้
2. อธิบายขั้นตอนการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วงได้
3. วัดและอธิบายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วงได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Generator) พร้อมแกนหมุน	1	ชุด
2. เครื่องรับสัญญาณพร้อมสายอากาศรับสัญญาณแบบติดตั้งอยู่กับที่	1	ชุด
3. สายอากาศไดโพลแบบห่วง	1	ชุด
4. สายโคแอกเชียลพร้อมหัวต่อ	3	ชุด
5. เครื่องวัด SWR & POWER METER	1	เครื่อง

ทฤษฎีเบื้องต้น

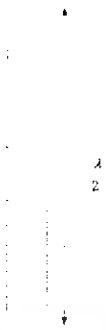
ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของไดโพลแบบ $\lambda/2$ ที่รีโซแนนซ์ มีค่าเท่ากับ 73 โอห์ม ในขณะที่การเพิ่มพาราซิติกอีลีเมนท์ จะมีผลลดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์อย่างเช่น อาจเหลือ 50 โอห์ม สำหรับการมีรีเฟลกเตอร์และไดเรกเตอร์อย่างละหนึ่งอันหรือเหลือ 20 โอห์ม ถ้ามีไดเรกเตอร์หลายอัน แต่สายนำสัญญาณหรือโคแอกเชียลเคเบิลที่ใช้กับอาร์เรย์แบบยากิจะมีค่าอิมพีแดนซ์มาตรฐาน คือ 50 โอห์ม หรือ 75 โอห์ม ดังนั้น ถ้าสายอากาศที่ใช้งานไม่แม็ชท์หรือมีค่าอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากับสายนำสัญญาณ อาจเกิดคลื่นนิ่งหรือสแตนดิ้งเวฟบนสายนำสัญญาณ เป็นการสูญเสียพลังงานของระบบไป

ตามที่อธิบายมา ทางแก้ปัญหานี้คือต้องเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ของไดโพลให้มากขึ้นจากเดิม เพื่อว่าเวลาใช้งานร่วมกับพาราซิติกอีลีเมนท์ ค่าอิมพีแดนซ์ที่ลดลงมาก็ยังมีโอกาสเท่ากับค่า 50 โอห์ม หรือ 75 โอห์ม ของสายนำสัญญาณได้

ไดโพลที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูงกว่าค่าเดิม เราใช้ไดโพลแบบห่วงแก้ปัญหานี้ ดังแสดงในรูปที่ 1

สำหรับการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วงจะแสดงในรูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



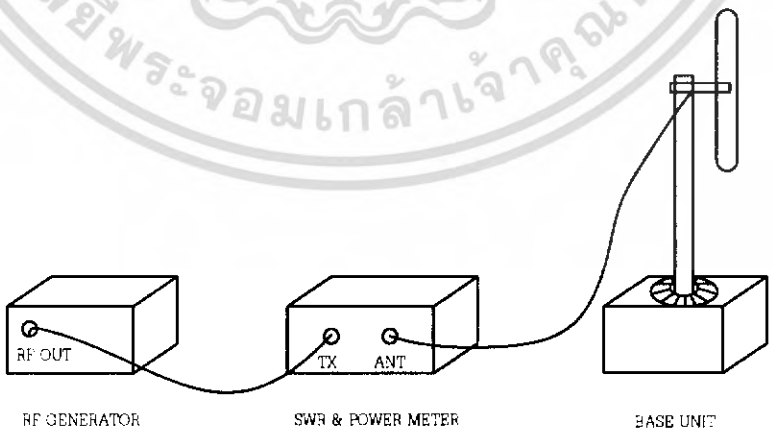
รูปที่ 1 ไดโพลแบบห่วงขนาด $\lambda/2$

รูปที่ 2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่ง ต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่งดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดตั้งสายอากาศไดโพลแบบห่วงเข้ากับเครื่องส่งและ SWR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

2. การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L บันทึกผลที่ได้

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

2.8 สามารถหาค่า SWR หาได้จากสูตร

$$\text{SWR} = \frac{PF + PR}{PF - PR}$$

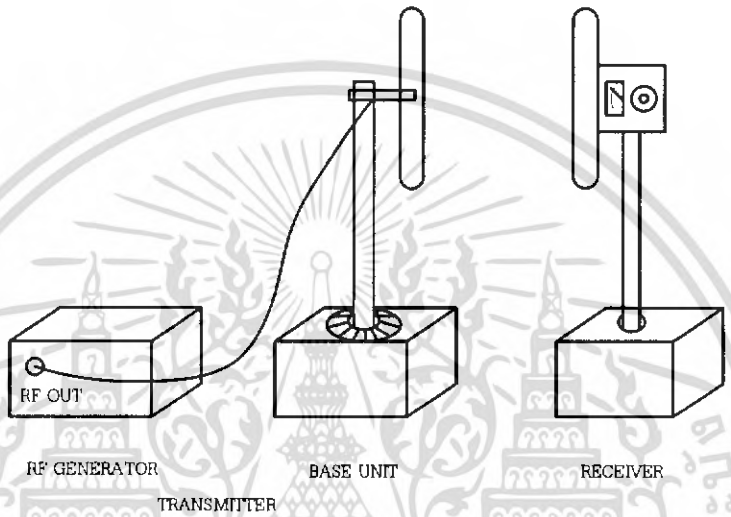
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน ระยะห่างประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 4 โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวตั้ง



รูปที่ 4 การติดตั้งชุดลองเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วง

3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่งอ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 – 45 μA บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่1

3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกผลลงในตารางที่ 1 ทุกครั้งในช่อง จนกระทั่ง ครบ 350 องศา

3.6 นำค่ากระแสที่รับได้จากตารางที่ 1 พล็อตลงบนตารางที่ 2 (ANTENNA POWER PATTERN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ค่า SWR ที่ได้จากการวัดเท่ากับ 1.3

ค่า PF ของสายอากาศไดโพลแบบห่วงเท่ากับ 0.4

ค่า PR ของสายอากาศไดโพลแบบห่วงเท่ากับ 0.03

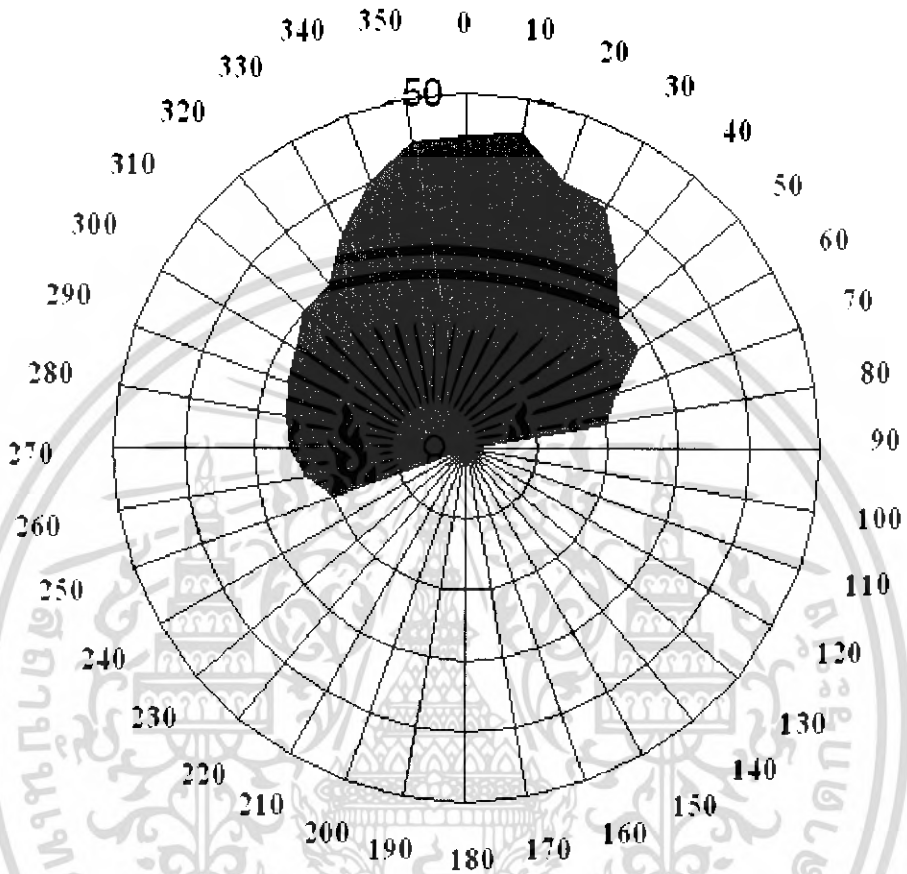
ค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศไดโพลแบบห่วงเท่ากับ 1.16

ตารางที่ 1 บันทึกผลเพื่อพล็อตลงบน ANTENNA POWER PATTERN

มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)	มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)
0°	44	180°	0
10°	44	190°	0
20°	43	200°	0
30°	40	210°	0
40°	39	220°	0
50°	33	230°	0
60°	28	240°	0
70°	28	250°	0
80°	22	260°	20
90°	20	270°	23
100°	0	280°	25
110°	0	290°	26
120°	0	300°	27
130°	0	310°	28
140°	0	320°	30
150°	0	330°	30
160°	0	340°	35
170°	0	350°	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ANTENNA POWER PATTERN



สรุปผลการทดลอง

.....จากการทดลองทำให้ทราบค่า SWR ของสายอากาศแบบไดโพลแบบห่วง และกำลังส่งของสายอากาศไดโพลแบบห่วง เพื่อนำค่ามาคำนวณเปรียบเทียบค่า SWR ที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณว่ามีค่าที่แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด และจากการที่นำค่ากระแสที่รับได้มาพล็อตหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ทำให้ทราบแบบรูปการแพรกระจายคลื่นที่ได้ จากการทดลองสายอากาศไดโพลแบบห่วงกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากทฤษฎี ว่าตรงตามทฤษฎีหรือไม่ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่า SWR ที่ได้จากการวัดกับค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศก็แตกต่างจากทฤษฎี ซึ่งในการใช้งานจริง สายอากาศถูกติดตั้งไว้ใกล้กับวัสดุต่างๆ ทำให้แบบรูปการแพร่คลื่นไม่อาจระบุถึงประสิทธิภาพแท้จริงของสายอากาศได้เต็มร้อยเปอร์เซนต์ ถึงกระนั้นแบบรูปการแพร่คลื่นใช้ประโยชน์ในแง่การเปรียบเทียบความแตกต่างกันของสายอากาศแต่ละชนิดได้.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1.จงอธิบายคุณสมบัติเบื้องต้นของสายอากาศไดโพลแบบห่วง

ตอบ สายอากาศไดโพลครึ่งคลื่นมีความยาวเท่ากับ $\lambda/2$ ที่ประกอบจากความยาว $\lambda/4$ สองส่วน และป้อนพลังงานตรงกึ่งกลาง มีลักษณะเป็นห่วง

2.จงอธิบายถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลแบบห่วง

ตอบ มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นออกไปทางด้านข้างทั้งสองข้างเป็นรูปเลขแปดแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยใบงานที่ 3
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิ

วัตถุประสงค์

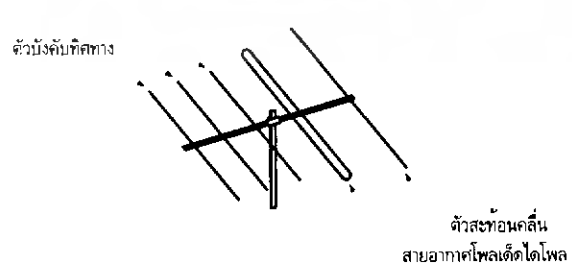
1. บอกและอธิบายความหมายของคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของสายอากาศยากิได้
2. อธิบายขั้นตอนการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศยากิได้
3. วัดและอธิบายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศยากิได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Generator) พร้อมแกนหมุน	1	ชุด
2. เครื่องรับสัญญาณพร้อมสายอากาศรับสัญญาณแบบติดตั้งอยู่กับที่	1	ชุด
3. สายอากาศแบบยากิ	1	ชุด
4. สายโคแอกเชียลพร้อมหัวต่อ	3	ชุด
5. เครื่องวัด SWR & POWER METER	1	เครื่อง

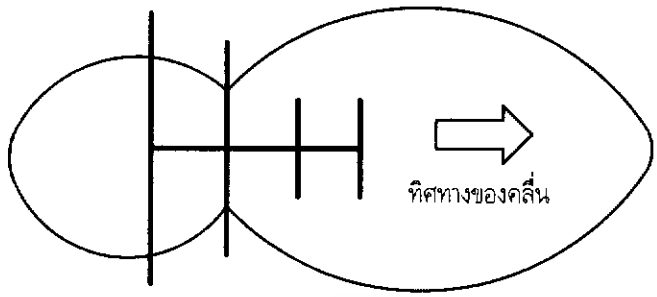
ทฤษฎีเบื้องต้น

สายอากาศแบบยากิมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเหมือนกับสายอากาศไดโพล แต่จะมีอินพุตอิมพีแดนซ์มากกว่าอยู่ 4 เท่า การใส่ตัวสะท้อนคลื่น (Reflector) และตัวบังคับทิศทาง (Director) ให้กับสายอากาศโพลเด็ดไดโพลดังรูปที่ 1 เพื่อทำให้สายอากาศมีทิศทาง และกำลังขยายดีขึ้นตามแนวความคิดของดอกเตอร์ยากิ (Dr.Yagi) ทำให้สายอากาศนี้มีชื่อว่า สายอากาศยากิ แต่อย่างไรก็ตาม จำนวนของตัวสะท้อนคลื่นที่มากกว่าหนึ่งตัวนั้นมีผลต่อทิศทางของสายอากาศน้อยมาก ดังนั้น จึงนิยมใช้ตัวสะท้อนคลื่นกับสายอากาศชนิดนี้เพียงตัวเดียว โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิจะแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 สายอากาศแบบยากิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

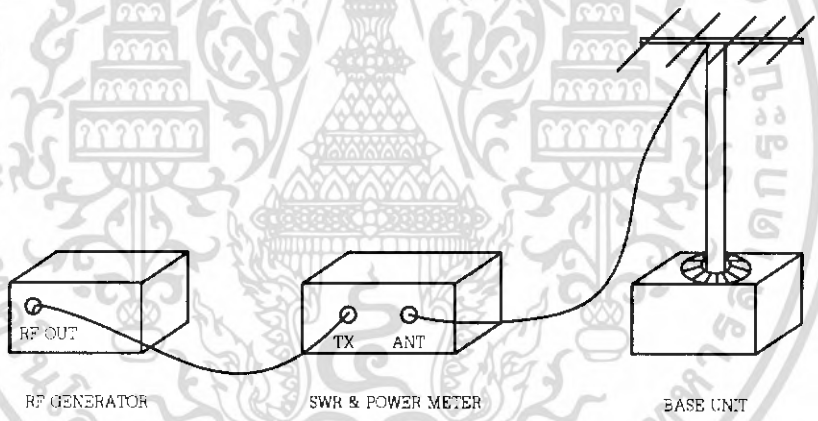


รูปที่ 2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิ

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่ง ต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่งดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดตั้งสายอากาศแบบยากิเข้ากับเครื่องส่งและ SWR

1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

2. การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L บันทึกผลที่ได้

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

2.8 สามารถหาค่า SWR หาได้จากสูตร

$$\text{SWR} = \frac{PF + PR}{PF - PR}$$

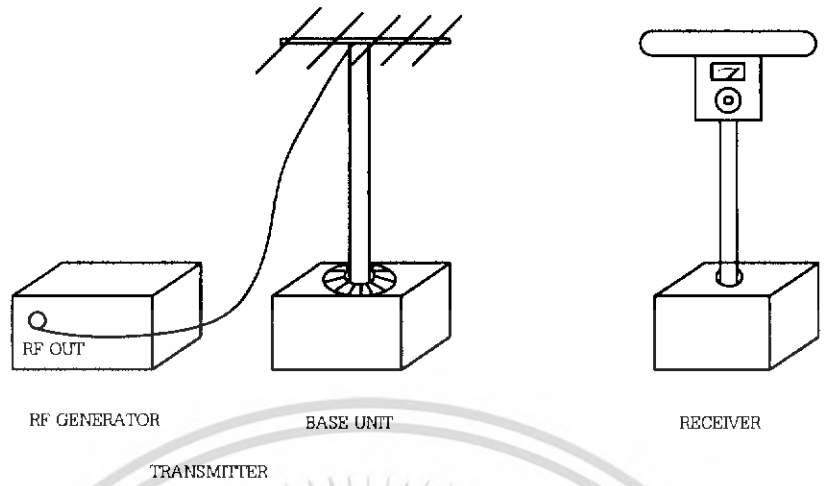
3. การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน ระยะห่างประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 4 โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 การติดตั้งชุดลองเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิ

3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่ง อ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 – 45 μA บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่1

3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกผลลงในตารางที่ 1 ทุกครั้งในช่อง จนกระทั่ง ครบ 350 องศา

3.6 นำค่ากระแสที่รับได้จากตารางที่ 1 พล็อตลงบนตารางที่ 2 (ANTENNA POWER PATTERN)

ผลการทดลอง

ค่า SWR ที่ได้จากการวัดเท่ากับ	1.1
ค่า PF ของสายอากาศแบบยากิเท่ากับ	0.6
ค่า PR ของสายอากาศแบบยากิเท่ากับ	0.01
ค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศแบบยากิเท่ากับ	1.03

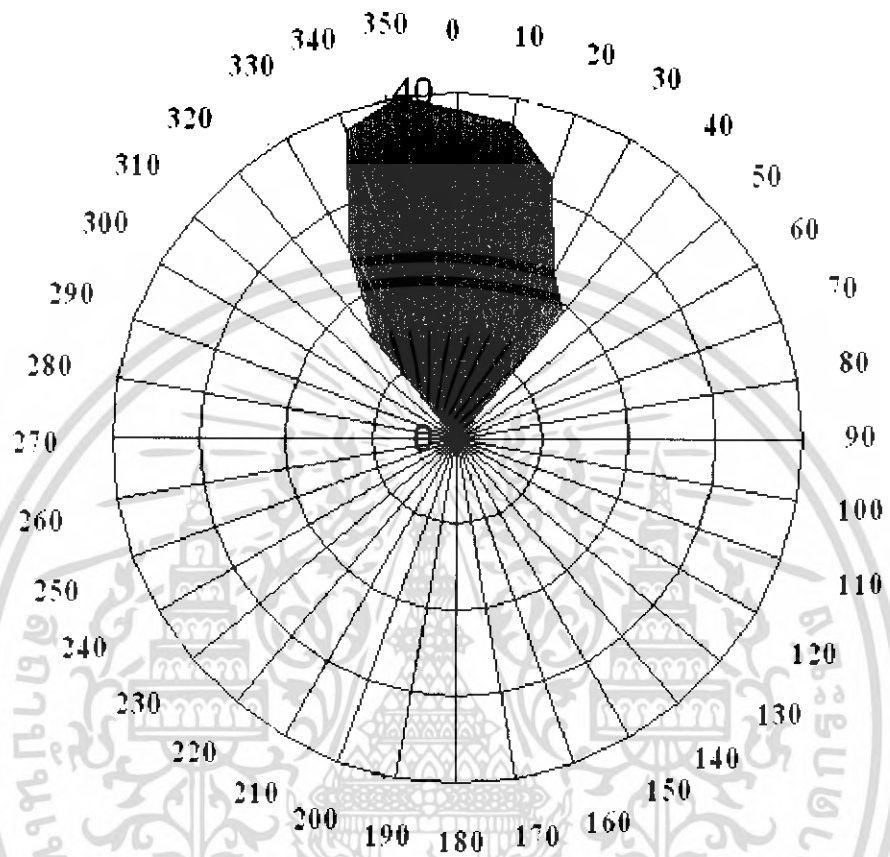
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 บันทึกผลเพื่อพล็อตลงบน ANTENNA POWER PATTERN

มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)	มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)
0°	38	180°	0
10°	37	190°	0
20°	32	200°	0
30°	22	210°	0
40°	14	220°	0
50°	0	230°	0
60°	0	240°	0
70°	0	250°	0
80°	0	260°	0
90°	0	270°	0
100°	0	280°	0
110°	0	290°	0
120°	0	300°	0
130°	0	310°	0
140°	0	320°	15
150°	0	330°	25
160°	0	340°	38
170°	0	350°	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ANTENNA POWER PATTERN



สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำให้ทราบค่า SWR ของสายอากาศแบบยากิ และกำลังส่งของสายอากาศแบบยากิ เพื่อนำค่ามาคำนวณเปรียบเทียบค่า SWR ที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณว่ามีค่าที่แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด และจากการที่นำค่ากระแสที่รับได้มาพล็อตหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ทำให้ทราบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้ จากการทดลองสายอากาศแบบยากิกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากทฤษฎี ว่าตรงตามทฤษฎีหรือไม่ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่า SWR ที่ได้จากการวัดกับค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศก็แตกต่างจากทฤษฎี ซึ่งในการใช้งานจริง สายอากาศถูกติดตั้งไว้ใกล้กับวัสดุต่างๆ ทำให้แบบรูปการแพร่คลื่นไม่อาจระบุถึงประสิทธิภาพแท้จริงของสายอากาศได้เต็มร้อยเปอร์เซนต์ ถึงกระนั้นแบบรูปการแพร่คลื่นใช้ประโยชน์ในแง่การเปรียบเทียบความแตกต่างกันของสายอากาศแต่ละชนิดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายคุณสมบัติเบื้องต้นของสายอากาศแบบยากิ

ตอบ สายอากาศยากิประกอบไปด้วยไดโพล $\lambda/2$ ร่วมกับพาราซิติกอีลีเมนท์ โดยถ้าวางไว้ด้านหลังสายอากาศแบบไดโพลเรียกว่า Reflector และถ้าวางในด้านหน้าสายอากาศแบบไดโพลนี้เรียกว่า Director

2. จงอธิบายถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิ

ตอบ มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นให้สภาพเจาะจงทิศทางไปด้านหน้าเพิ่มขึ้นในระนาบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยใบงานที่ 4

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวนอน

วัตถุประสงค์

1. บอกและอธิบายความหมายของคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของสายอากาศแนวนอนได้
2. อธิบายขั้นตอนการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวนอนได้
3. วัดและอธิบายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวนอนได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

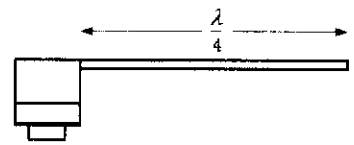
1. เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Generator) พร้อมแกนหมุน	1	ชุด
2. เครื่องรับสัญญาณพร้อมสายอากาศรับสัญญาณแบบติดตั้งอยู่กับที่	1	ชุด
3. สายอากาศแนวนอน	1	ชุด
4. สายโคแอกเชียลพร้อมหัวต่อ	3	ชุด
5. เครื่องวัด SWR & POWER METER	1	เครื่อง

ทฤษฎีเบื้องต้น

สายอากาศฮาล์ฟเวฟแบบแนวนอนถือเป็นรูปแบบพิเศษของวงจรจูนรีโซแนนซ์ โดยมีค่า Q ของสายอากาศขึ้นกับความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างค่ารีแอคแตนซ์เทียบกับค่ารีซิสแตนซ์กราฟผลตอบสนองของสายอากาศแบบนี้จะมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับที่เกิดในวงจรจูนด์แบบ LC ทั่วๆ ไป ความคมชัดของกราฟผลตอบสนองขึ้นกับโครงสร้างของสายอากาศ ในกรณีที่ทำจากสายทองแดงขนาดเล็กจะได้สายอากาศที่มีค่า Q สูง คือ มีกราฟที่คมชัดมากเพราะทำงานเพียงในแถบความถี่แคบๆ หากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสายตัวนำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับความยาวสายที่ใช้สายอากาศที่ได้จะมีความไวน้อยลง แต่ครอบคลุมช่วงความถี่กว้างขึ้น ในทางไฟฟ้า สายอากาศไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น จะสมมูลย์กับสายนำสัญญาณขนาดหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นที่มีปลายทางเปิดวงจรไว้ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเดินไปตามผิวของสายอากาศ โดยที่สายไฟมีความต้านทาน การเคลื่อนที่ของคลื่นวิทยุจึงช้ากว่าการเดินทางในอวกาศ โดยในทางทฤษฎีแล้วจะสั้นกว่าราว 6% เมื่อเทียบกับความยาวคลื่นในอวกาศ เช่น ที่ความถี่ 300 เมกะเฮิรตซ์ จะมีความยาวคลื่นเท่ากับ 1 เมตร แต่สายอากาศต้องตัดให้สั้นเหลือ 94 เซนติเมตร เพื่อชดเชยการล่าช้า 6%

สายอากาศแนวนอนจะมีลักษณะดังรูปที่ 1 และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



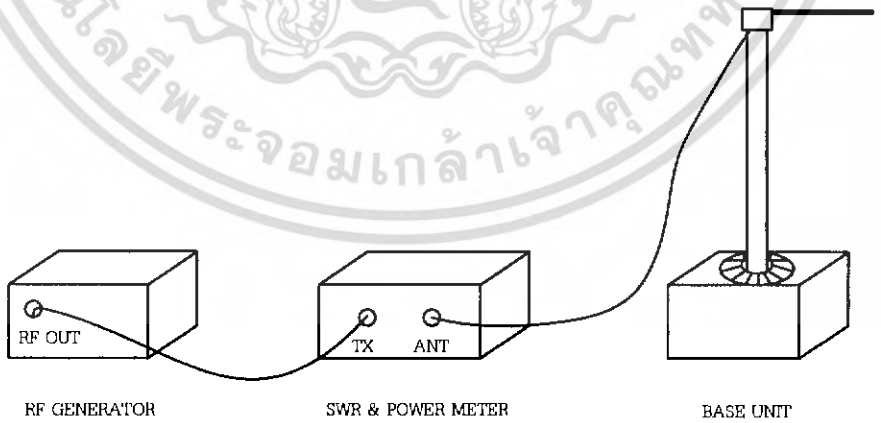
รูปที่ 1 สายอากาศแนวนอน

รูปที่ 2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวนอน

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่ง ต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่งดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดตั้งสายอากาศแนวนอนเข้ากับเครื่องส่งและ SWR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

2. การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L บันทึกผลที่ได้

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

2.8 สามารถหาค่า SWR หาได้จากสูตร

$$\text{SWR} = \frac{PF + PR}{PF - PR}$$

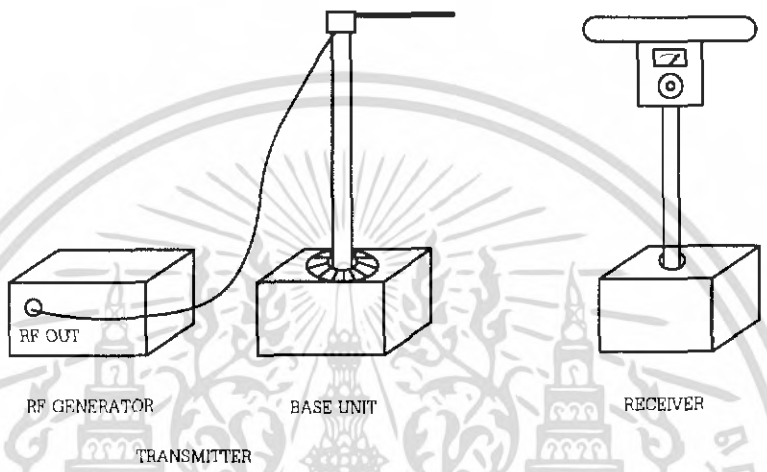
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน ระยะห่างประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 4 โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวนอน



รูปที่ 4 การติดตั้งชุดลองเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวนอน

3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่ง อ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 - 45 μA บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่ 1

3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกผลลงในตารางที่ 1 ทุกครั้งในช่อง จนกระทั่ง ครบ 350 องศา

3.6 นำค่ากระแสที่รับได้จากตารางที่ 1 พล็อตลงบนตารางที่ 2 (ANTENNA POWER PATTERN)

ผลการทดลอง

ค่า SWR ที่ได้จากการวัดเท่ากับ 1.4

ค่า PF ของสายอากาศแนวนอนเท่ากับ 0.8

ค่า PR ของสายอากาศแนวนอนเท่ากับ 0.05

ค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศแนวนอนเท่ากับ 1.13

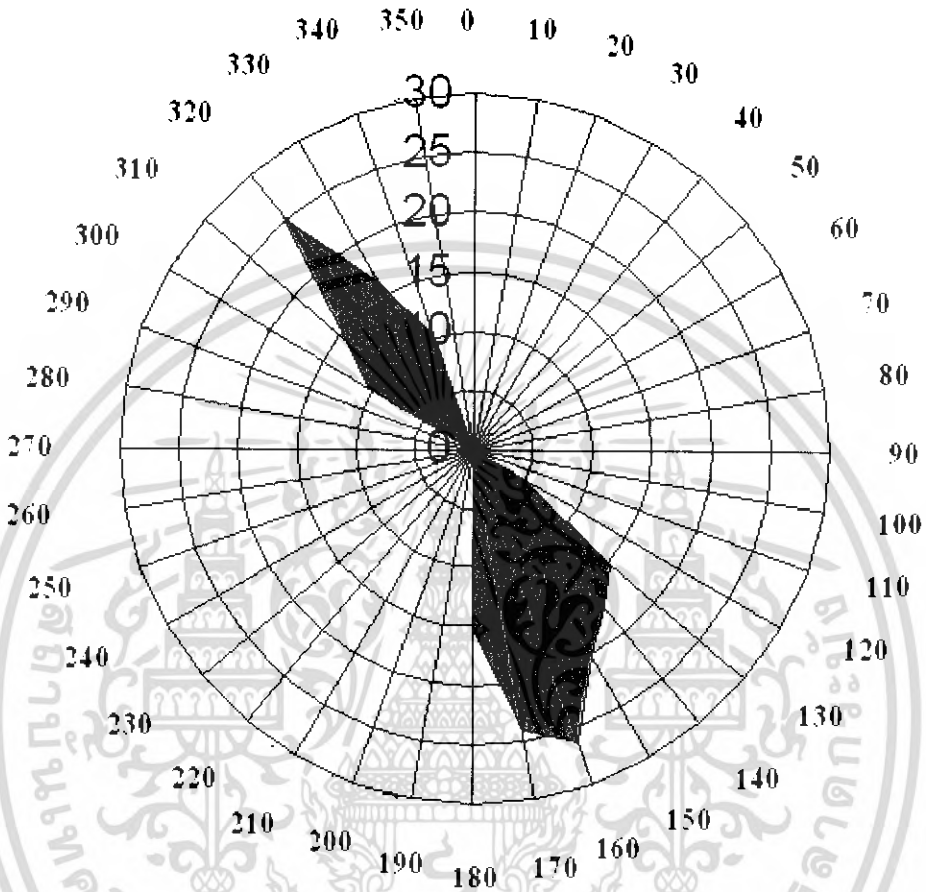
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 บันทึกผลเพื่อพล็อตลงบน ANTENNA POWER PATTERN

มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)	มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)
0°	0	180°	15
10°	0	190°	0
20°	0	200°	0
30°	0	210°	0
40°	0	220°	0
50°	0	230°	0
60°	0	240°	0
70°	0	250°	0
80°	0	260°	0
90°	0	270°	0
100°	0	280°	0
110°	0	290°	0
120°	5	300°	10
130°	15	310°	14
140°	17	320°	25
150°	20	330°	16
160°	26	340°	10
170°	24	350°	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ANTENNA POWER PATTERN



สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำให้ทราบค่า SWR ของสายอากาศแนวนอน และกำลังส่งของสายอากาศแนวนอน เพื่อนำค่ามาคำนวณเปรียบเทียบค่า SWR ที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณว่ามีค่าที่แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด และจากการที่นำค่ากระแสที่รับได้มาพล็อตหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ทำให้ทราบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้ จากการทดลองสายอากาศแนวนอนกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากทฤษฎี ว่าตรงตามทฤษฎีหรือไม่ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่า SWR ที่ได้จากการวัดกับค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศก็แตกต่างจากทฤษฎี ซึ่งในการใช้งานจริง สายอากาศถูกติดตั้งไว้ใกล้กับวัสดุต่างๆ ทำให้แบบรูปการแพร่คลื่นไม่อาจระบุถึงประสิทธิภาพแท้จริงของสายอากาศได้เต็มร้อยเปอร์เซนต์ ถึงกระนั้นแบบรูปการแพร่คลื่นใช้ประโยชน์ในแง่การเปรียบเทียบความแตกต่างกันของสายอากาศแต่ละชนิดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1.จงอธิบายคุณสมบัติเบื้องต้นของสายอากาศแนวนอน

ตอบ เป็นสายอากาศไดโพล $\lambda/4$ แบบแนวนอน โดยสายอากาศโทรทัศน์อย่างง่ายๆ แทบทั้งหมดจะเป็นแบบแนวนอน

2.จงอธิบายถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวนอน

ตอบ มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นออกไปทางด้านข้างทั้งสองข้างเป็นรูปเลขแปดแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยใบงานที่ 5
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวดิ่ง

วัตถุประสงค์

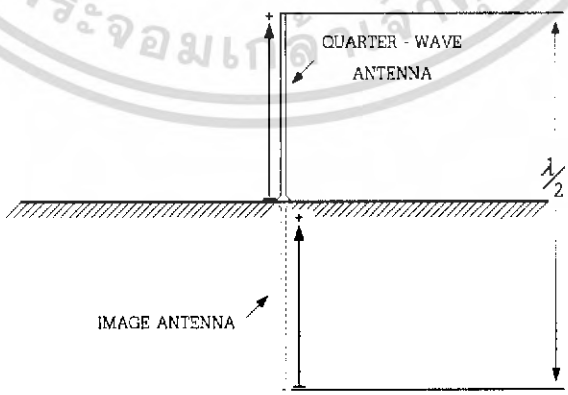
1. บอกและอธิบายความหมายของคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของสายอากาศแนวดิ่งได้
2. อธิบายขั้นตอนการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวดิ่งได้
3. วัดและอธิบายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวดิ่งได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Generator) พร้อมแกนหมุน	1	ชุด
2. เครื่องรับสัญญาณพร้อมสายอากาศรับสัญญาณแบบติดตั้งอยู่กับที่	1	ชุด
3. สายอากาศแนวดิ่ง	1	ชุด
4. สายโคแอกเชียลพร้อมหัวต่อ	3	ชุด
5. เครื่องวัด SWR & POWER METER	1	เครื่อง

ทฤษฎีเบื้องต้น

สายอากาศแนวดิ่งที่รู้จักกันมากที่สุด คือ สายอากาศแบบมาร์โคนี่ (Marconi) หรือมีชื่อเต็มทางเทคนิคว่า สายอากาศแบบแนวดิ่งแบบหนึ่งในสี่คลื่น (Grounded Quarter-wave Vertical Antenna) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สายอากาศเชิงแนวดิ่งแบบ Grounded Quarter-wave หรือเรียกว่า สายอากาศแบบมาโคนี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่เหลืออยู่เหนือผิวดินจะยาวเท่ากับ λ (ความยาวคลื่น) โดยทางทฤษฎีการทำงานจะเกิดภาพเสมือนของสายอากาศใต้พื้นดินด้วยรูปแบบการกระจายคลื่นจะคล้ายกับครึ่งหนึ่งของรูปโดนัส โดยการปักสายอากาศไว้ตรงกลางรูของรูปโดนัส รูปแบบการกระจายคลื่นในระนาบจึงเป็นรูปวงกลมโดยมีอินพุทอิมพีแดนซ์ประมาณ 37 โอห์ม

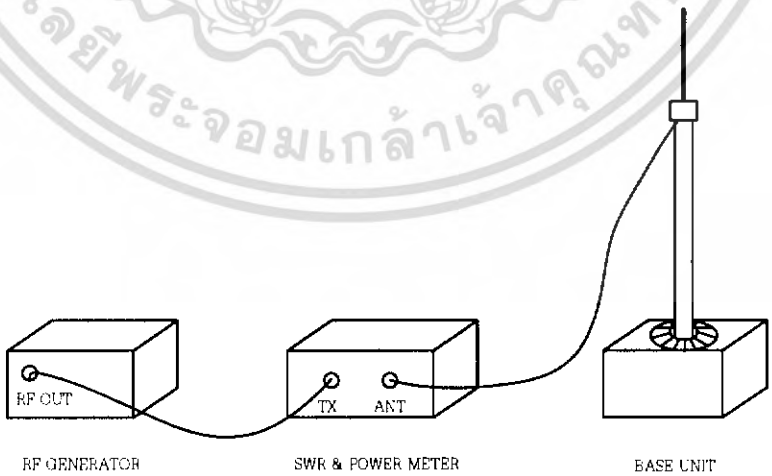
สายอากาศแบบมาโคนี่นิยมใช้ในเครื่องสื่อสารขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้ (Mobile) เพราะว่ามีรูปแบบการกระจายคลื่นรอบทิศทางดังรูปที่ 2 โดยในการใช้งานต้องนำไปติดตั้งเหนือพื้นดิน อาจติดตั้งบนเสาไม้สูงๆ แล้วส่งผ่านสัญญาณไปตามสายโคแอกเซียล จึงมักเรียกสาอากาศชนิดนี้ว่าสายอากาศแบบ Quarter-wave Monopole

รูปที่ 2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวดิ่ง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่ง ต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่งดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดตั้งสายอากาศแนวดิ่งเข้ากับเครื่องส่งและ SWR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

2. การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L บันทึกผลที่ได้

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

2.8 สามารถหาค่า SWR หาได้จากสูตร

$$\text{SWR} = \frac{PF + PR}{PF - PR}$$

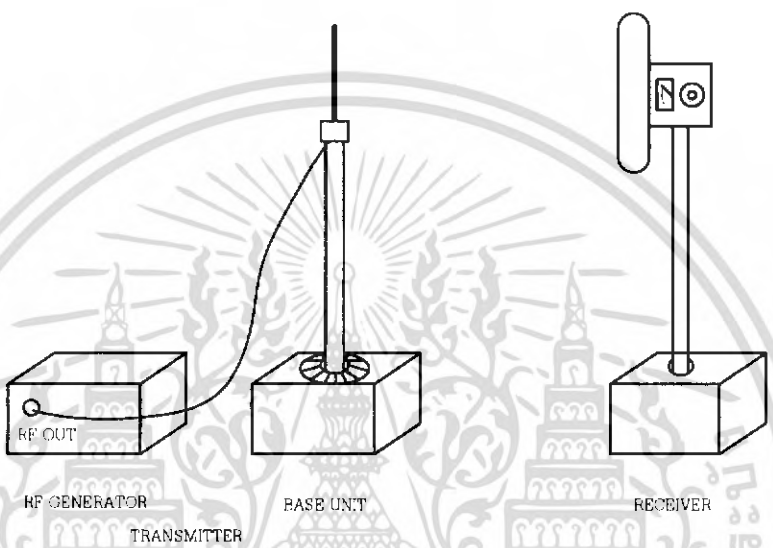
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน ระยะห่างประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 4 โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวตั้ง



รูปที่ 4 การติดตั้งชุดลองเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวดิ่ง

3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่ง อ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 – 45 μA บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่ 1

3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกผลลงในตารางที่ 1 ทุกครั้งในช่อง จนกระทั่ง ครบ 350 องศา

3.6 นำค่ากระแสที่รับได้จากตารางที่ 1 พล็อตลงบนตารางที่ 2 (ANTENNA POWER PATTERN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ค่า SWR ที่ได้จากการวัดเท่ากับ 1.4

ค่า PF ของสายอากาศแนวดิ่งเท่ากับ 0.8

ค่า PR ของสายอากาศแนวดิ่งเท่ากับ 0.1

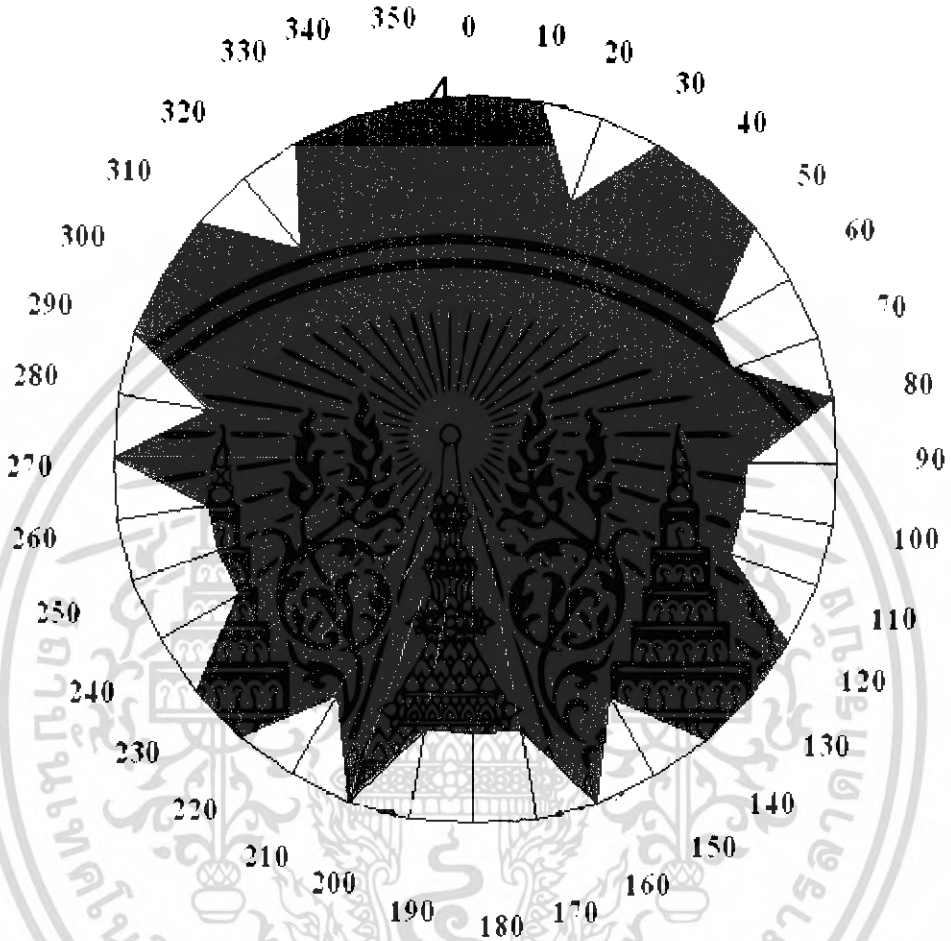
ค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศแนวดิ่งเท่ากับ 1.28

ตารางที่ 1 บันทึกผลเพื่อพล็อตลงบน ANTENNA POWER PATTERN

มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)	มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)
0°	4	180°	3
10°	4	190°	3
20°	3	200°	3
30°	4	210°	4
40°	4	220°	3
50°	4	230°	4
60°	3	240°	4
70°	3	250°	3
80°	4	260°	3
90°	3	270°	3
100°	3	280°	4
110°	3	290°	3
120°	4	300°	4
130°	4	310°	4
140°	4	320°	4
150°	4	330°	3
160°	3	340°	4
170°	4	350°	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ANTENNA POWER PATTERN



สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำให้ทราบค่า SWR ของสายอากาศแนวดิ่ง และกำลังส่งของสายอากาศแนวดิ่ง เพื่อนำค่ามาคำนวณเปรียบเทียบค่า SWR ที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณว่ามีค่าที่แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด และจากการที่นำค่ากระแสที่รับได้มาพล็อตหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ทำให้ทราบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้ จากการทดลองสายอากาศแนวดิ่งกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากทฤษฎี ว่าตรงตามทฤษฎีหรือไม่ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่า SWR ที่ได้จากการวัดกับค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศก็แตกต่างจากทฤษฎี ซึ่งในการใช้งานจริง สายอากาศถูกติดตั้งไว้ใกล้กับวัสดุต่างๆ ทำให้แบบรูปการแพร่คลื่นไม่อาจระบุถึงประสิทธิภาพแท้จริงของสายอากาศได้เต็มร้อยเปอร์เซนต์ ถึงกระนั้นแบบรูปการแพร่คลื่นใช้ประโยชน์ในแง่การเปรียบเทียบความแตกต่างกันของสายอากาศแต่ละชนิดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1.จงอธิบายคุณสมบัติเบื้องต้นของสายอากาศแนวดิ่ง

ตอบ เป็นสายอากาศความยาวคลื่น $\lambda/4$ จะต้องให้ความสนใจในแง่ของความสูงของสายอากาศ และการติดตั้งในแนวตั้งกับพื้นโลก

2.จงอธิบายถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแนวดิ่ง

ตอบ มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นออกรอบตัวทุกทิศทางเป็นรูปวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยใบงานที่ 6

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบช่อง

วัตถุประสงค์

1. บอกและอธิบายความหมายของคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของสายอากาศแบบช่องได้
2. อธิบายขั้นตอนการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบช่องได้
3. วัดและอธิบายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบช่องได้

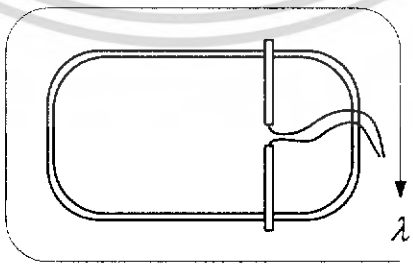
เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Generator) พร้อมแกนหมุน	1	ชุด
2. เครื่องรับสัญญาณพร้อมสายอากาศรับสัญญาณแบบติดตั้งอยู่กับที่	1	ชุด
3. สายอากาศแบบช่อง	1	ชุด
4. สายโคแอกเชียลพร้อมหัวต่อ	3	ชุด
5. เครื่องวัด SWR & POWER METER	1	เครื่อง

ทฤษฎีเบื้องต้น

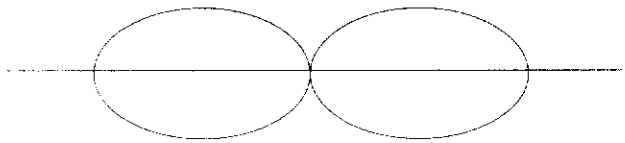
สายอากาศแบบช่องดังรูปที่ 1 ไม่มีการแพร่คลื่นในระนาบเดียวกันกับแผ่นเหล็ก แต่ระนาบที่ตั้งฉากกับแผ่นเหล็กจะมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเหมือนกับไดโพลแบบ $\lambda/2$ ดังรูปที่ 2

ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบช่องสูงกว่าแบบไดโพล $\lambda/2$ คือ มีค่า 475 โอห์ม เทียบกับ 73 โอห์ม



รูปที่ 1 สายอากาศแบบช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

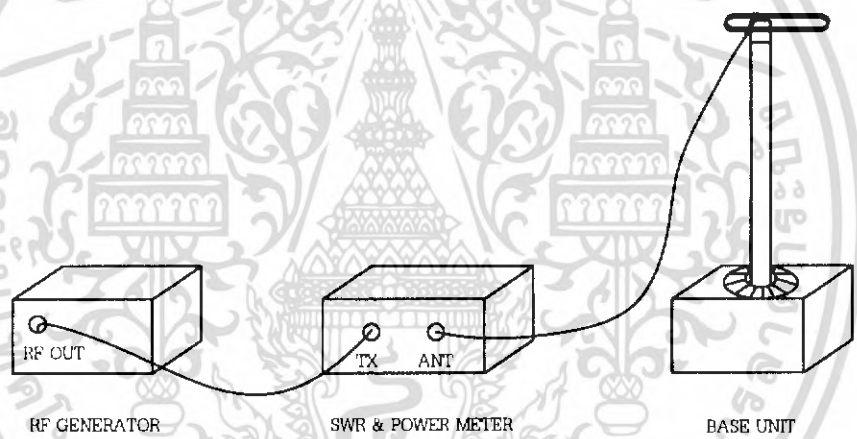


รูปที่ 2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบช่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่ง ต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่งดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดตั้งสายอากาศแบบช่องเข้ากับเครื่องส่งและ SWR

1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

2. การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L บันทึกผลที่ได้

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

2.8 สามารถหาค่า SWR หาได้จากสูตร

$$SWR = \frac{PF + PR}{PF - PR}$$

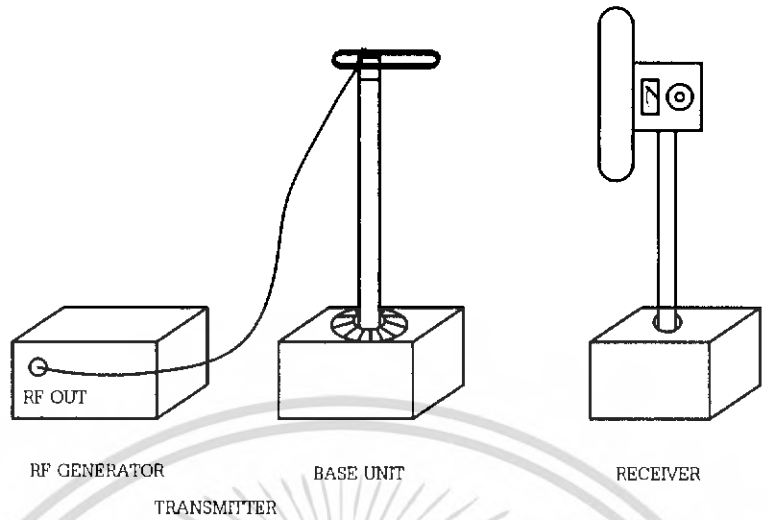
3. การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน ระยะห่างประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 4 โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 การติดตั้งชุดลองเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบช่อง

3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่ง อ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 - 45 μA บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่ 1

3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกผลลงในตารางที่ 1 ทุกครั้งในช่อง จนกระทั่ง ครบ 350 องศา

3.6 นำค่ากระแสที่รับได้จากตารางที่ 1 พล็อตลงบนตารางที่ 2 (ANTENNA POWER PATTERN)

ผลการทดลอง

ค่า SWR ที่ได้จากการวัดเท่ากับ 1.1

ค่า PF ของสายอากาศแบบช่องเท่ากับ 0.6

ค่า PR ของสายอากาศแบบช่องเท่ากับ 0.01

ค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศแบบช่องเท่ากับ 1.03

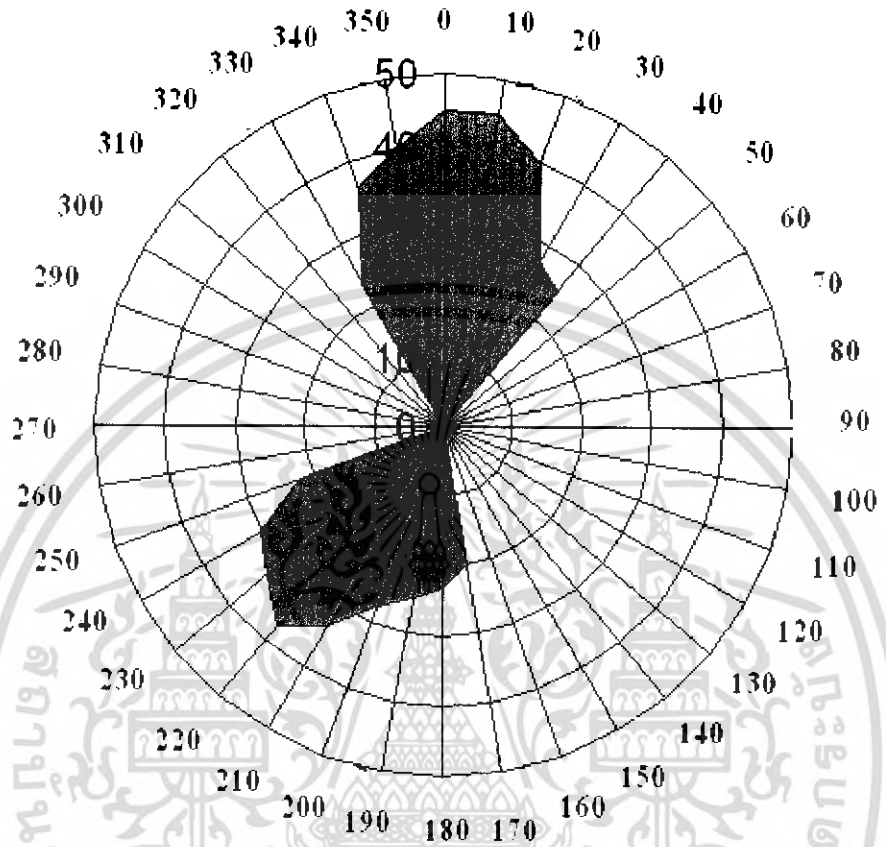
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 บันทึกผลเพื่อพล็อตลงบน ANTENNA POWER PATTERN

มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)	มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)
0°	45	180°	0
10°	45	190°	20
20°	40	200°	23
30°	27	210°	25
40°	24	220°	27
50°	0	230°	33
60°	0	240°	37
70°	0	250°	33
80°	0	260°	30
90°	0	270°	22
100°	0	280°	0
110°	0	290°	0
120°	0	300°	0
130°	0	310°	0
140°	0	320°	0
150°	0	330°	0
160°	0	340°	0
170°	0	350°	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ANTENNA POWER PATTERN



สรุปผลการทดลอง

.....จากการทดลองทำให้ทราบค่า SWR ของสายอากาศแบบช่อง และกำลังส่งของสายอากาศแบบช่อง เพื่อนำค่ามาคำนวณเปรียบเทียบค่า SWR ที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณว่ามีค่าที่แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด และจากการที่นำค่ากระแสที่รับได้มาพล็อตหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ทำให้ทราบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้ จากการทดลองสายอากาศแบบช่องกันแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากทฤษฎี ว่าตรงตามทฤษฎีหรือไม่ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่า SWR ที่ได้จากการวัดกับค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศก็แตกต่างจากทฤษฎี ซึ่งในการใช้งานจริง สายอากาศถูกติดตั้งไว้ใกล้กับวัสดุต่างๆ ทำให้แบบรูปการแพร่คลื่นไม่อาจระบุถึงประสิทธิภาพแท้จริงของสายอากาศได้เต็มร้อยเปอร์เซนต์ ถึงกระนั้นแบบรูปการแพร่คลื่นใช้ประโยชน์ในแง่การเปรียบเทียบความแตกต่างกันของสายอากาศแต่ละชนิดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1.จงอธิบายคุณสมบัติเบื้องต้นของสายอากาศแบบช่อง

ตอบ สายอากาศแบบช่องความยาวคลื่นเท่ากับ λ ใช้งานย่านความถี่สูง

2.จงอธิบายถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบช่อง

ตอบ มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นออกไปทางด้านข้างทั้งสองข้างเป็นรูปเลขแปดแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยใบงานที่ 7
แบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบลูป

วัตถุประสงค์

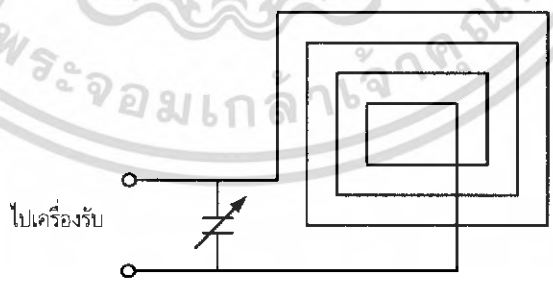
1. บอกและอธิบายความหมายของคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของสายอากาศแบบลูปได้
2. อธิบายขั้นตอนการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบลูปได้
3. วัดและอธิบายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบลูปได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Generator) พร้อมแกนหมุน	1	ชุด
2. เครื่องรับสัญญาณพร้อมสายอากาศรับสัญญาณแบบติดตั้งอยู่กับที่	1	ชุด
3. สายอากาศแบบลูป	1	ชุด
4. สายโคแอกเชียลพร้อมหัวต่อ	3	ชุด
5. เครื่องวัด SWR & POWER METER	1	เครื่อง

ทฤษฎีเบื้องต้น

ประกอบด้วยจำนวนรอบที่ลวดตัวนำพันเป็นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งขนาดของสายอากาศต้องมีค่าน้อยกว่าความยาวคลื่นของสัญญาณที่รับเข้ามาดังรูปที่ 1

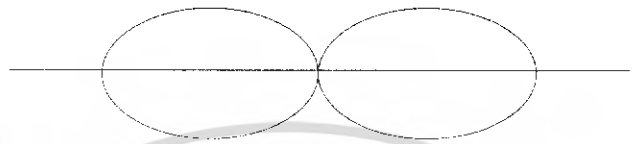


รูปที่ 1 สายอากาศแบบลูป

จากรูปเป็นสายอากาศแบบลูปรูปสี่เหลี่ยมที่มีจำนวนรอบ 4 รอบ และมีส่วนจูนความถี่ของสัญญาณโดยใช้ตัวประจุไฟฟ้าแบบปรับค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าที่ส่งจากสายอากาศไปให้เครื่องรับมีค่าขึ้นกับพื้นที่ของลูป และจำนวนรอบของลวดตัวนำ (พื้นที่ของลูปจำกัดความต้องการตั้งสายอากาศในบริเวณจำกัด) แบบรูปการแพร่คลื่นของสายอากาศลูปเป็นรูปเลขแปดดังรูปที่ 2

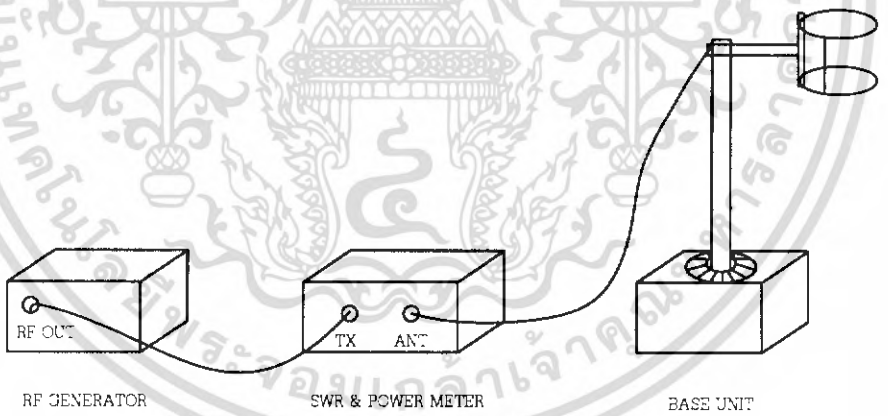


รูปที่ 2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบลูป

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การวัดกำลังส่งของสายอากาศ

1.1 ประกอบและติดตั้งสายอากาศเข้าที่เครื่องส่ง ต่อสายเคเบิลเข้ากับเครื่องส่งดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดตั้งสายอากาศแบบลูปเข้ากับเครื่องส่งและ SWR

1.2 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

1.3 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

1.4 ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง 5W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER

1.6 ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD เพื่อวัดค่า PF

1.7 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

1.8 เปลี่ยนที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง REF เพื่อวัดค่า PR

1.9 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้แล้วอ่านค่า บันทึกผลที่ได้

2. การวัดค่า SWR ของสายอากาศ

2.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่ง ไปยังขั้ว Tx ของตัว SWR&POWER METER

2.2 ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER

2.3 ที่ RANGE SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)

2.4 ที่ POWER SWITCH อยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

2.5 ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN

2.6 กดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกล และปล่อยปุ่ม RF GENERATOR

2.7 เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม RF GENERATOR ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L บันทึกผลที่ได้

H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W (วัตต์)

L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W (วัตต์)

2.8 สามารถหาค่า SWR หาได้จากสูตร

$$\text{SWR} = \frac{PF + PR}{PF - PR}$$

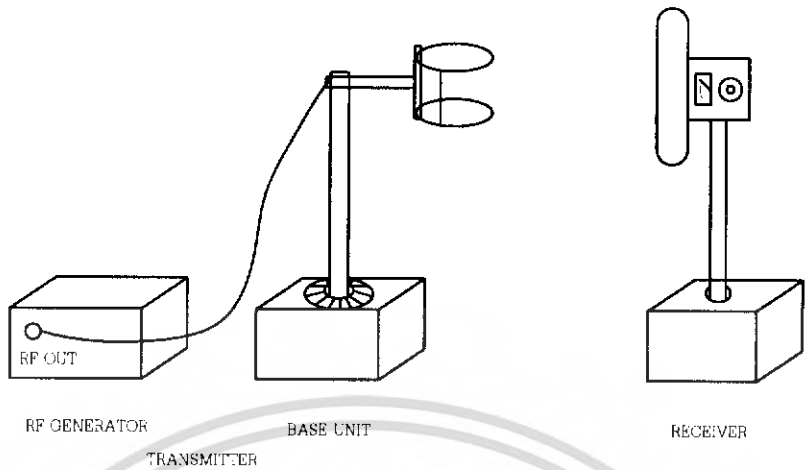
3. การหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

3.1 ต่อสายนำสัญญาณจาก RF OUT ของเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศที่แกนหมุน

3.2 ติดตั้งสายอากาศให้ตรงจุดที่กำหนดไว้ และอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

3.3 ปรับสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน ระยะห่างประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 4 โดยติดตั้งสายอากาศรับให้อยู่ในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 การติดตั้งชุดลองเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบลูป

3.4 กดปุ่ม RF GENERATOR ที่เครื่องส่ง อ่านค่ากระแสที่รับได้จาก RF DETECTOR โดยทำการปรับค่า ATTENUATOR ให้มีค่ากระแสอยู่ประมาณ 40 – 45 μA บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่ 1

3.5 จากนั้นทำการหมุนแกนสายอากาศไปยังทิศทางที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกผลลงในตารางที่ 1 ทุกครั้งในช่อง จนกระทั่ง ครบ 350 องศา

3.6 นำค่ากระแสที่รับได้จากตารางที่ 1 พล็อตลงบนตารางที่ 2 (ANTENNA POWER PATTERN)

ผลการทดลอง

ค่า SWR ที่ได้จากการวัดเท่ากับ 1.1

ค่า PF ของสายอากาศแบบลูปเท่ากับ 0.5

ค่า PR ของสายอากาศแบบลูปเท่ากับ 0.01

ค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศแบบช่องเท่ากับ 1.04

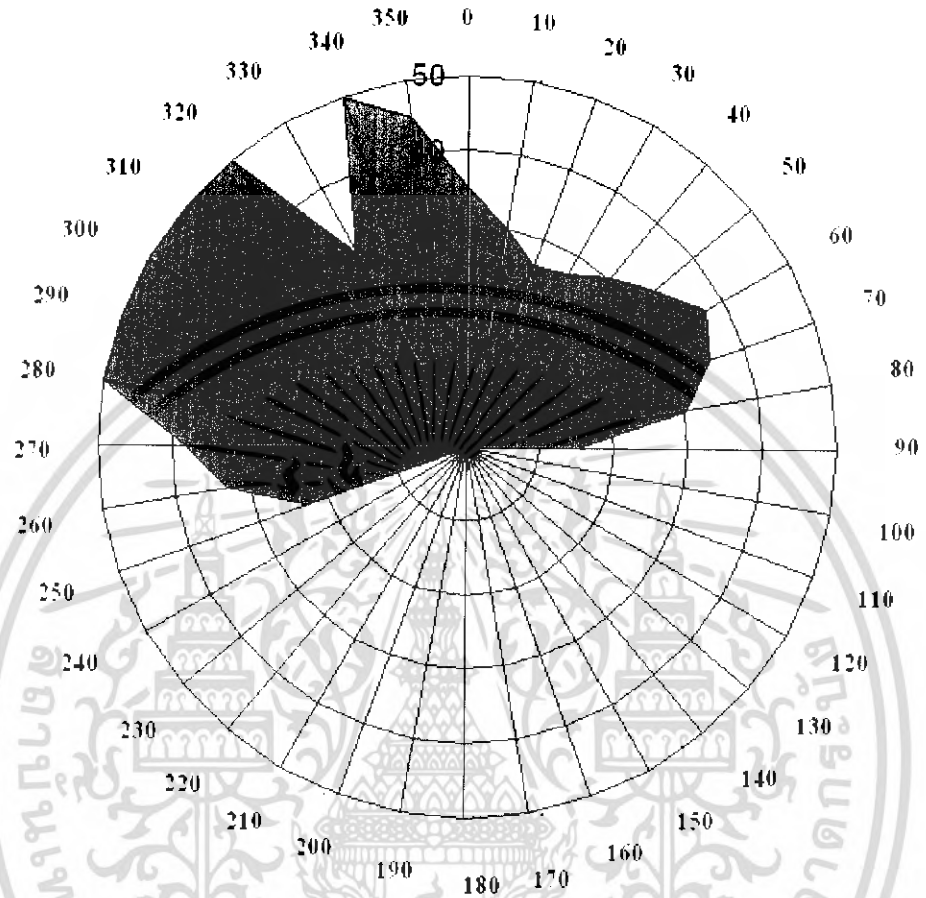
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 บันทึกผลเพื่อพล็อตลงบน ANTENNA POWER PATTERN

มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)	มุม (°)	กระแสที่รับได้ (μA)
0°	50	180°	0
10°	45	190°	0
20°	41	200°	0
30°	42	210°	0
40°	45	220°	0
50°	48	230°	0
60°	52	240°	0
70°	50	250°	38
80°	45	260°	48
90°	42	270°	53
100°	40	280°	65
110°	36	290°	65
120°	32	300°	65
130°	25	310°	65
140°	18	320°	65
150°	17	330°	65
160°	0	340°	65
170°	0	350°	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ANTENNA POWER PATTERN



สรุปผลการทดลอง

.....จากการทดลองทำให้ทราบค่า SWR ของสายอากาศแบบลูป และกำลังส่งของสายอากาศแบบลูป เพื่อนำค่ามาคำนวณเปรียบเทียบค่า SWR ที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณว่ามีค่าที่แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด และจากการที่นำค่ากระแสที่รับได้มาพล็อตหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ทำให้ทราบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้ จากการทดลองสายอากาศแบบลูปกับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากทฤษฎี ว่าตรงตามทฤษฎีหรือไม่ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่า SWR ที่ได้จากการวัดกับค่า SWR ที่ได้จากการคำนวณมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศก็แตกต่างจากทฤษฎี ซึ่งในการใช้งานจริง สายอากาศถูกติดตั้งไว้ใกล้กับวัสดุต่างๆ ทำให้แบบรูปการแพร่คลื่นไม่อาจระบุถึงประสิทธิภาพแท้จริงของสายอากาศได้เต็มร้อยเปอร์เซนต์ ถึงกระนั้นแบบรูปการแพร่คลื่นใช้ประโยชน์ในแง่การเปรียบเทียบความแตกต่างกันของสายอากาศแต่ละชนิดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายคุณสมบัติเบื้องต้นของสายอากาศแบบลูป

ตอบ สายอากาศแบบลูปความยาวคลื่น $\lambda/4$ มีลักษณะเป็นลูปชนิดวงกลม

2. จงอธิบายถึงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบลูป

ตอบ มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นออกไปทางด้านข้างทั้งสองข้างเป็นรูปเลขแปดแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฌ
ตัวอย่างใบประเมิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบประเมินเพื่อหาคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศ

หัวข้อเรื่อง.....

กรุณาทำเครื่องหมาย / ลงในช่องที่ตรงกับระดับความคิดเห็นของท่าน

รายการประเมิน	ระดับค่าความคิดเห็น					ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม
	5	4	3	2	1	
ด้านชุดทดลอง 1. มีขนาดเหมาะสม						
2. มีความสะดวกต่อการใช้งาน						
3. การวางรูปแบบมีความเหมาะสม						
4. ความชัดเจนในส่วนประกอบต่างๆ						
ด้านใบงาน 5. ใบงานสอดคล้องกับชุดทดลอง						
6. ส่วนประกอบของใบงานครบถ้วน						
7. ความชัดเจนถูกต้องในลำดับขั้นการทดลอง						

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ลงชื่อ

(.....)

ผู้ประเมิน

5 หมายถึงเห็นด้วยในระดับมากที่สุด

4 หมายถึงเห็นด้วยในระดับมาก

3 หมายถึงเห็นด้วยในระดับปานกลาง

2 หมายถึงไม่เห็นด้วย

1 หมายถึงไม่เห็นด้วยอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-สกุล	นายจักรินทร์ ปุนประโคน
วัน เดือน ปีเกิด	1 ธันวาคม พ.ศ. 2525
ภูมิลำเนา	16 หมู่ที่ 7 ตำบลโคกม้า อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ 31140 โทรศัพท์ 0-6792-5897
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านโคกกลาง จังหวัดบุรีรัมย์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนประโคนชัยพิทยาคม จังหวัดบุรีรัมย์
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนประโคนชัยพิทยาคม จังหวัดบุรีรัมย์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
ความสนใจพิเศษ	กีฬา
คติพจน์	ทำวันนี้ให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-สกุล	นายนริศักดิ์ เชื่อมสัมพันธ์
วัน เดือน ปีเกิด	30 กรกฎาคม พ.ศ. 2526
ภูมิลำเนา	23/2 หมู่ที่ 11 ตำบลดอนฉิมพลี อำเภอบางน้ำเปรี้ยว
	จังหวัดฉะเชิงเทรา 24170 โทรศัพท์ 0-1575-9333
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดโพธิ์เย็น จังหวัดฉะเชิงเทรา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนมัธยมวัดหนองจอก จังหวัดกรุงเทพฯ
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนมัธยมวัดหนองจอก จังหวัดกรุงเทพฯ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
	ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
ความสนใจพิเศษ	กีฬา
คติพจน์	พรุ่งนี้ต้องดีกว่าวันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-สกุล	นางสาวเปรมฤดี จันทน์แดง
วัน เดือน ปีเกิด	23 สิงหาคม พ.ศ. 2526
ภูมิลำเนา	114 หมู่ที่ 12 ตำบลธารเกษม อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี 18120 โทรศัพท์ 0-9215-7037
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพระนารายณ์ จังหวัดลพบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคลพบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
ความสนใจพิเศษ	ดนตรี
คติพจน์	อย่าเป็นทุกข์ในสิ่งที่เสียไป จงพอใจในสิ่งที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-สกุล	นางสาวลฎาภา ดวงแก้ว
วัน เดือน ปีเกิด	21 ธันวาคม พ.ศ. 2526
ภูมิลำเนา	180/39 หมู่ที่ 4 ตำบลบ้านหลุม อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย 64000 โทรศัพท์ 0-1298-3206
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดศรีรัตนาราม จังหวัดพิษณุโลก
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนอุดมดรุณี จังหวัดสุโขทัย
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคสุโขทัย
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคสุโขทัย
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
ความสนใจพิเศษ	ดนตรี
คติพจน์	ความพยายามอยู่ที่ไหนความสำเร็จย่อมอยู่ที่นั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้