

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



สายอากาศโทรทัศน์ช่วงความถี่กว้าง

ร.พ.  
ก 3930  
9539

นายกำปนาท  
นายวิศรุต  
นายธีรพร

อัศวไชยวสิน  
นันท์ธนะวานิช  
มลทวีไพศาล

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....

619526939

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## BROADBAND TERRESTRIAL TV ANTENNA



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

สายอากาศโทรทัศน์ช่วงความถี่กว้าง

โดย

นายกัมปนาท อัครไชยวสิน

นายวิศรุต

นันทธนะวานิช

นายธีรพร

มลทวีไพศาล

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ปรีชา ยุกาพิน

รศ.สุวรรณ คูสำราญ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

( รศ.สุรพล รักรัตนวิชัย )

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

ประธานกรรมการ

( ผศ.ดร.ปรีชา ยุกาพิน )

กรรมการ

( รศ.สุวรรณ คูสำราญ )

กรรมการ

( อ.วิชาญ เตชิตธีระ )

กรรมการ

( อ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล )

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

สายอากาศโทรทัศน์ช่วงความถี่กว้าง

โดย

นายกัมปนาท อัครไชยวสิน

นายวิศรุต นันทธนะวานิช

นายธีรพร มลทวีไพศาล

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ปรีชา ยูพาพิน

รศ.สุวรรณ คูสำราญ

ปีการศึกษา

2539

### บทคัดย่อ

การแพร่ภาพสัญญาณโทรทัศน์ที่ใช้ในปัจจุบันนั้นมีการใช้งานอยู่ในย่านความถี่ VHF และ UHF ที่ต้องมีการใช้สายอากาศรับสัญญาณในย่านนั้นๆ โดยเฉพาะซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองจำนวนชุดสายอากาศโดยใช่เหตุ โครงการพิเศษนี้จึงได้ทำการศึกษารวมชุดสายอากาศที่แยกกันรับสัญญาณรับดังกล่าวนั้นมารวมให้เป็นสายอากาศเพียงต้นเดียว เพื่อเป็นการประหยัดในการติดตั้ง โดยสายอากาศที่จะสามารถรับสัญญาณครอบคลุมย่านความถี่ VHF และ UHF หรือครอบคลุมความถี่สัญญาณโทรทัศน์ทุกๆค่าที่มี การแพร่ภาพนั้นจะต้องมีอัตราขยาย สภาพการขึ้นน้ำ รวมทั้งความกว้างลำคลื่นที่มีค่าเหมาะสมที่จะรับสัญญาณเข้ามาที่เครื่องรับโทรทัศน์และทำให้ประสิทธิภาพการรับชมโดยรวมดีขึ้นหรือเท่าเดิมเป็นอย่างน้อย

<b>Special Project Title</b>	Broadband Terrestrial TV Antenna
<b>Name</b>	Mr.Kumpanat Assawachaiwasin Mr.Vidsarot Nuntanawanich Mr.Teeraporn Moltaweepaisan
<b>Special Project Advisor</b>	Asst.Prof.Dr.Preecha Yupapin Asso.Prof.Suwan Kusamran
<b>Department</b>	Applied Physics
<b>Academic Year</b>	1996

### Abstract

The Study of the terrestrial TV antenna which is in the frequency range of VHF and UHF region. The single antenna which can be received all region named "broadband" is the scope of this project. The constructed antenna is capable to receive the frequency range from VHF to UHF with high directivity gain and suitable beamwidth. The receiving signal/picture quality and contrast are satisfaction.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ ดังนี้

บิดา,มารดา	ผู้ให้กำเนิดและอุปการะเลี้ยงดู
ผศ.ดร.ปรีชา ยูพาพิน	ผู้ให้คำแนะนำและเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.สุวรรณ คุณสำราญ	ผู้ให้คำแนะนำและเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา
ครูและอาจารย์	ผู้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ จนสำเร็จการศึกษา
ญาติพี่น้องและเพื่อน	ผู้ให้ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ
นักวิทยาศาสตร์ทุกท่าน	ผู้ที่คิดค้นทฤษฎีต่าง ๆ ให้เราได้ศึกษา
ทบวงมหาวิทยาลัย	ผู้ให้ทุนสนับสนุนโครงการพิเศษ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า	ผู้ให้จุดเริ่มต้นที่ดีแก่ชีวิต
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	

ขอขอบคุณบุคคลเหล่านี้อย่างจริงใจ

นายกำปนาท อัครวิชัยวสิน

นายวิศรุต นันทธนะวานิช

นายธีรพร มลทวีไพศาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญรูปภาพ

สารบัญตาราง

บทที่ 1

บทนำ 1

วัตถุประสงค์ 1

ขอบข่ายการทำงาน 1

ประโยชน์ที่ได้รับ 2

บทที่ 2 ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับการแพร่กระจายคลื่นและสายอากาศ

2.1 การแบ่งชั้นบรรยากาศ 3

2.2 คุณสมบัติของชั้นไอโอโนสเฟียร์ 5

2.2.1 ความถี่วิกฤต 5

2.2.2 มุมวิกฤต 6

2.2.3 ความสูงเสมือน 6

2.3 การเคลื่อนที่ของคลื่นชนิดต่างๆ 6

2.3.1 การเคลื่อนที่ของคลื่นแบบคลื่นดิน 6

2.3.2 การเคลื่อนที่ของคลื่นท้องฟ้า 7

2.4 การแบ่งย่านความถี่ของคลื่นวิทยุ 9

2.5 สายอากาศกับสายส่ง 9

2.5.1 รูปแบบของการแพร่คลื่นของสายอากาศ 11

2.5.2 ความยาวของสายอากาศและความถี่ 13

2.5.3 อัตราขยายและสภาพการขึ้นนำของสายอากาศ 14

2.5.4 ความกว้างทางความถี่ 14

2.5.5 ชนิดของสายส่ง 15

2.5.6 คุณสมบัติเบื้องต้นในการนำของสายนำสัญญาณหรือ

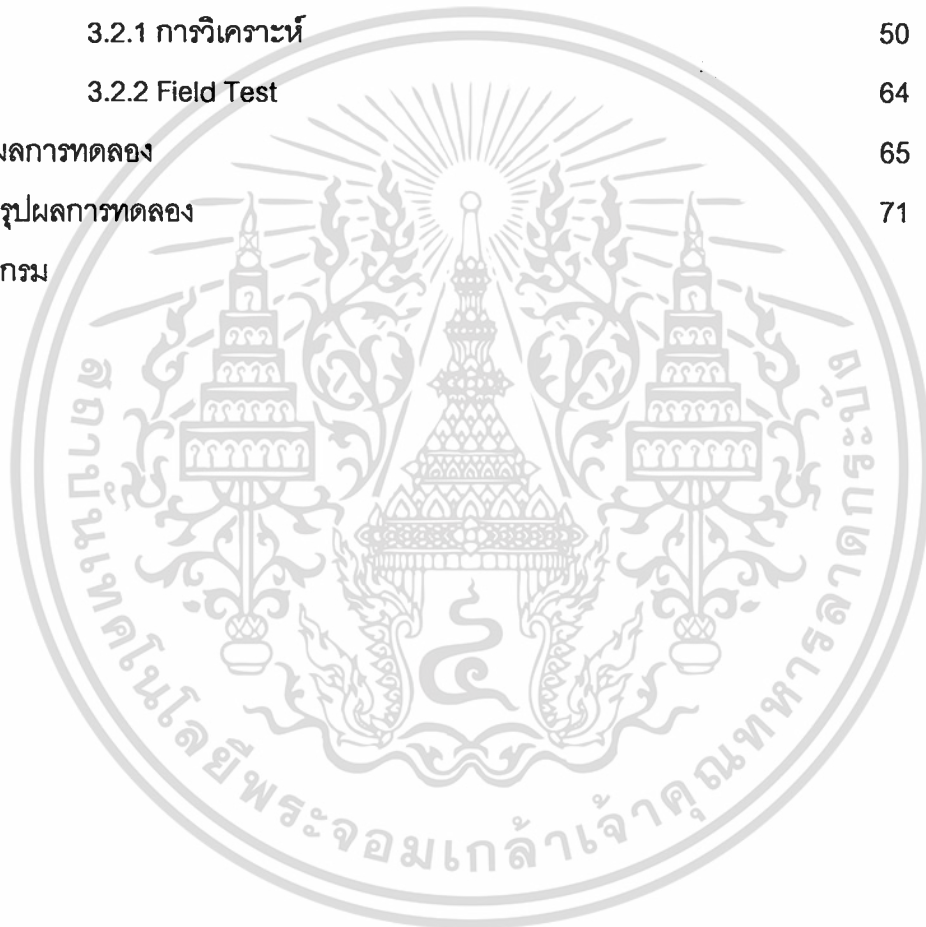
สายส่ง 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.5.7 การคำนวณสายนำสัญญาณด้วยแผ่นสมิธ	20
2.5.8 การแบ่งชนิดของสายอากาศแบบวิธีต่างๆ	23
2.5.9 สายอากาศที่ความถี่ VHF และ UHF	24
2.5.10 การเลือกสายอากาศ	26
2.6 สายอากาศแบบเฮลิคซ์	26
2.6.1 โหมดการส่งสัญญาณของเฮลิคซ์	27
2.6.2 โหมดการแพร่คลื่นของเฮลิคซ์	28
2.6.3 การแพร่คลื่นของเฮลิคซ์ขนาดเล็กในโหมดการแพร่คลื่น ในแนวตั้งฉาก	29
2.6.4 การวัดการกระจายของกระแสบนเฮลิคซ์	30
2.6.5 อิมพีแดนซ์ที่จุดปลายของเฮลิคซ์	32
2.6.6 แพตเทิร์นการแพร่คลื่นของเฮลิคซ์ในโหมดแนวแกน และ ความเร็วเฟสของคลื่นที่มาเคลื่อนที่บนเฮลิคซ์	32
2.6.7 อัตราส่วนแอมพลิจูดและเฟสสำหรับการโพลาไรเซชันแบบวงกลม สำหรับเฮลิคซ์ที่มีการแพร่คลื่นในโหมดแนวแกน	36
2.7 สายอากาศแบบลอกเพอริโอดิกไดโพล	40
2.7.1 ลักษณะโดยทั่วไปของสายอากาศแบบลอกเพอริโอดิก	41
2.7.2 ตัวอย่างและความหมายในสายอากาศแบบลอกเพอริโอดิก	41
2.8 สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในการรับสัญญาณ	44
2.9 การเลือกเสาติดตั้งสายอากาศ	45
2.10 อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมในระบบสายอากาศ	46
2.10.1 เครื่องขยายสัญญาณหรือบูสเตอร์	46
2.10.2 บาลัน	46
2.10.3 สปลิตเตอร์, คัปเปิลเลอร์ และมิกเซอร์	47
2.10.4 ตัวบั่นทอนสัญญาณ	47
2.11 หลักในการติดตั้งสายอากาศ	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	
3.1 การออกแบบและสร้างสายอากาศแบบเฮลิคซ์	48
3.1.1 การสร้างและการทดสอบ	48
3.1.2 Field Test	49
3.2 การวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศแบบลอกเพอริออดิก	50
3.2.1 การวิเคราะห์	50
3.2.2 Field Test	64
บทที่ 4 ผลการทดลอง	65
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	71
บรรณานุกรม	



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2-1 ภาพแสดงชั้นบรรยากาศและความสูงของชั้นบรรยากาศ	4
รูปที่ 2-2 ภาพแสดงชั้นบรรยากาศกับความถี่วิกฤต	5
รูปที่ 2-3 ภาพแสดงถึงความสูงเสมือน	6
รูปที่ 2-4 ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของคลื่น	7
รูปที่ 2-5 ภาพแสดงการสะท้อนของคลื่น	8
รูปที่ 2-6 ภาพแสดงการกระจายพลังงานมากที่สุดเพราะสนามไฟฟ้า ทั้ง 2 ข้างไม่มีทิศทางตรงข้ามกัน	10
รูปที่ 2-7(ก) ภาพแสดงทิศทางของสนามไฟฟ้า	11
รูปที่ 2-7(ข) ภาพแสดงทิศทางของสนามแม่เหล็ก	11
รูปที่ 2-8 ภาพแสดงการแพร่กระจายของคลื่นจากสายอากาศ	12
รูปที่ 2-9 ภาพแสดงไดโพลที่มีความยาวทางฟิสิกส์(ความยาวจริงๆ)เท่ากัน แต่ความถี่ต่างกัน รูปแบบที่ได้ก็จะแตกต่างกัน	12
รูปที่ 2-10 ภาพแสดงสายอากาศที่มีความยาวกว่าที่เหมาะสม	13
รูปที่ 2-11(ก) ภาพแสดงสายคู่แบบบิด	15
รูปที่ 2-11(ข) ภาพแสดงสายคู่แบบซิลด์	15
รูปที่ 2-11(ค) ภาพแสดงตัวนำชนิดสายเดี่ยว	15
รูปที่ 2-11(ง) ภาพแสดงสายโคแอกเซียล	15
รูปที่ 2-12 ภาพแสดงส่วนภายในของสายโคแอกเซียล	17
รูปที่ 2-13 ภาพแสดงหัวต่อสายแบบต่างๆ	18
รูปที่ 2-14 ภาพแสดง SWR ที่ปลายของสายส่งกับ SWR ที่โหลด ที่ค่าความสูญเสียของสาย(เมื่อแมตซ์)ต่างๆกัน	19
รูปที่ 2-15 ภาพแสดงวงกลมแสดงค่าความต้านทาน	20
รูปที่ 2-16 ภาพแสดงวงกลมแสดงค่ารีแอกแตนซ์	20
รูปที่ 2-17 ภาพแสดงการรวมวงกลมรูป 2-15 และ 2-16	20
รูปที่ 2-18 ภาพแสดงค่าวงกลม SWR	20
รูปที่ 2-19 ภาพแสดงวงกลม SWR	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 2-20 ภาพแสดงสายอากาศย่านความถี่ VHF	25
รูปที่ 2-21 ภาพแสดงการหาค่า K ย่านความถี่ต่างๆ	25
รูปที่ 2-22 ภาพแสดงโครงสร้างของสายอากาศเฮลิคซ์	26
รูปที่ 2-23 ภาพแสดงการกระจายของประจุในสายอากาศแบบเฮลิคซ์ ในโหมดต่างๆ	27
รูปที่ 2-24(ก) ภาพแสดงแพตเทิร์นของคลื่นที่ออกมาของเฮลิคซ์ ในโหมดตั้งฉาก	28
รูปที่ 2-24(ข) ภาพแสดงแพตเทิร์นของคลื่นที่ออกมาของเฮลิคซ์ ในโหมดแนวแกน	28
รูปที่ 2-24(ค) ภาพแสดงแพตเทิร์นของคลื่นที่ออกมาของเฮลิคซ์ ในลักษณะแพตเทิร์นแบบหลายโลบ	29
รูปที่ 2-25(ก) ภาพแสดงสายอากาศเฮลิคซ์ขนาดเล็กที่ถูกปรับปรุง สำหรับโหมดธรรมดากรณีเฮลิคซ์หลายรอบ	29
รูปที่ 2-25(ข) ภาพแสดงสายอากาศเฮลิคซ์ขนาดเล็กที่ถูกปรับปรุง สำหรับโหมดธรรมดากรณีเฮลิคซ์รอบเดียว	29
รูปที่ 2-26 ภาพแสดงการวัดการกระจายของกระแสบนเฮลิคซ์	31
รูปที่ 2-27 ภาพแสดงการแทนสายอากาศเฮลิคซ์ด้วยแหล่งกำเนิดแบบจุด ชนิดไอโซโทรปิก โดยเรียงต่อกันเป็นอะเรย์	32
รูปที่ 2-28 ภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบวงกับระยะห่าง ของเฮลิคซ์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการทำงานในโหมดต่างๆ	35
รูปที่ 2-29 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $p$ กับ $C_{\lambda}$ เมื่อค่า $\alpha$ ต่างๆกัน	36
รูปที่ 2-30 ภาพแสดง Axial Ratio ของสนามที่แผ่ออกมาในทิศทางของแกน เฮลิคซ์ตามที่กำหนดให้ และจะมีการตรวจสอบเงื่อนไขของการ โพลาไรซ์ แบบวงกลม	36
รูปที่ 2-31 ภาพแสดงเฮลิคซ์ที่ยังไม่ได้ม้วน	37
รูปที่ 2-32 ภาพแสดงรูปเฮลิคซ์เมื่อมองในทิศทางของแกน $z$ ในทิศบวก	37
รูปที่ 2-33 ภาพแสดงสายอากาศชนิดลอกเพอริโอดิก	40

	หน้า
รูปที่ 2-34 ภาพแสดงความถี่ที่ใช้งานกับ $\alpha$	42
รูปที่ 2-35 ภาพแสดงความสัมพันธ์ของอัตราขยายกับค่าคงตัว T	42
รูปที่ 2-36 ภาพแสดงเอาต์พุตอิมพีแดนซ์กับ $\alpha$	43
รูปที่ 2-37 ภาพแสดงอิมพีแดนซ์โดยเฉลี่ยกับอัตราส่วน h/a	43
รูปที่ 2-38 ภาพแสดงการนำสายอากาศชนิดเดียวกันหลายแผงมาต่อ รวมกันให้รับสัญญาณได้แรงขึ้น	44
รูปที่ 2-39 ภาพแสดงการใช้ลวดยึดเสาให้มั่นคง	45
รูปที่ 3-1 ภาพแสดงรายละเอียดของสายอากาศแบบเฮลิคซ์	49
รูปที่ 3-2 ภาพแสดงการวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 300 โอห์ม ของสายอากาศแบบเฮลิคซ์	50
รูปที่ 3-3 ภาพแสดงการวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 75 โอห์ม ของสายอากาศแบบเฮลิคซ์	50
รูปที่ 3-4 ภาพแสดงรายละเอียดของสายอากาศแบบลอกเพอริออดิก ที่พัฒนาแล้ว	52
รูปที่ 3-5 ภาพแสดงการวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 300 โอห์ม ของสายแบบลอกเพอริออดิก	64
รูปที่ 3-6 ภาพแสดงการวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 75 โอห์ม ของสายอากาศแบบลอกเพอริออดิก	64
รูปที่ 4-1 ภาพแสดงสายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่ประดิษฐ์ขึ้น	65
รูปที่ 4-2 ภาพแสดงสายอากาศแบบลอกเพอริออดิกที่ประดิษฐ์ขึ้น	66
รูปที่ 4-3(ก) ภาพแสดงภาพที่ได้จากการรับสัญญาณช่อง 3 ของ สายอากาศแบบเฮลิคซ์	67
รูปที่ 4-3(ข) ภาพแสดงภาพที่ได้จากการรับสัญญาณช่อง 5 ของ สายอากาศแบบเฮลิคซ์	67
รูปที่ 4-3(ค) ภาพแสดงภาพที่ได้จากการรับสัญญาณช่อง 7 ของ สายอากาศแบบเฮลิคซ์	67

รูปที่ 4-3(ง) ภาพแสดงภาพที่ได้จากการรับสัญญาณช่อง 9 ของ สายอากาศแบบเฮลิคซ์	68
รูปที่ 4-3(จ) ภาพแสดงภาพที่ได้จากการรับสัญญาณช่อง 11 ของ สายอากาศแบบเฮลิคซ์	68
รูปที่ 4-3(ฉ) ภาพแสดงภาพที่ได้จากการรับสัญญาณช่อง ITV ของ สายอากาศแบบเฮลิคซ์	68
รูปที่ 4-4 (ก) ภาพแสดงภาพที่ได้จากการรับสัญญาณช่อง 3 ของ สายอากาศแบบลอกเพอริออดิก	69
รูปที่ 4-4 (ข) ภาพแสดงภาพที่ได้จากการรับสัญญาณช่อง 5 ของ สายอากาศแบบลอกเพอริออดิก	69
รูปที่ 4-4 (ค) ภาพแสดงภาพที่ได้จากการรับสัญญาณช่อง 7 ของ สายอากาศแบบลอกเพอริออดิก	69
รูปที่ 4-4 (ง) ภาพแสดงภาพที่ได้จากการรับสัญญาณช่อง 9 ของ สายอากาศแบบลอกเพอริออดิก	70
รูปที่ 4-4 (จ) ภาพแสดงภาพที่ได้จากการรับสัญญาณช่อง 11 ของ สายอากาศแบบลอกเพอริออดิก	70
รูปที่ 4-4 (ฉ) ภาพแสดงภาพที่ได้จากการรับสัญญาณช่อง ITV ของ สายอากาศแบบลอกเพอริออดิก	70

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2-1 แสดงการแบ่งแยกย่านความถี่และการนำไปใช้งาน	9
ตาราง 3-1 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบ ลอกเพอริออดิกที่ความถี่ล่าง 50 MHz	53
ตาราง 3-2 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบ ลอกเพอริออดิกที่ความถี่ล่าง 60 MHz	54
ตาราง 3-3 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบ ลอกเพอริออดิกที่ความถี่ล่าง 70 MHz	55
ตาราง 3-4 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบ ลอกเพอริออดิกที่ความถี่ล่าง 80 MHz	56
ตาราง 3-5 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบ ลอกเพอริออดิกที่ความถี่ล่าง 90 MHz	57
ตาราง 3-6 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบ ลอกเพอริออดิกที่ความถี่ล่าง 100 MHz	58
ตาราง 3-7 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบ ลอกเพอริออดิกที่ความถี่ล่าง 110 MHz	59
ตาราง 3-8 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบ ลอกเพอริออดิกที่ความถี่ล่าง 120 MHz	60
ตาราง 3-9 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบ ลอกเพอริออดิกที่ความถี่ล่าง 130 MHz	61
ตาราง 3-10 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบ ลอกเพอริออดิกที่ความถี่ล่าง 140 MHz	62
ตาราง 3-11 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบ ลอกเพอริออดิกที่ความถี่ล่าง 150 MHz	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

การสื่อสารย่านความถี่วิทยุ (Radio Frequency, RF) ได้แบ่งย่านความถี่ที่ใช้งานออกเป็น ย่านต่าง ๆ ซึ่งในระบบโทรทัศนจะใช้ความถี่ในย่าน VHF และ UHF ซึ่งในการรับความถี่ในแต่ละ ย่าน จำเป็นจะต้องใช้สายอากาศแบ่งแยกในแต่ละย่านความถี่ เพื่อให้ได้ความคมชัดในการรับชม มากที่สุดจึงมีการทำสายอากาศในแต่ละย่านความถี่ขึ้นมาและได้มีการคิดค้นสายอากาศภาครับ เพื่อรับความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณแต่ทว่าในการทำเช่นนี้จะทำให้จำเป็นต้องใช้จำนวนสาย อากาศหลายชุดตามจำนวนช่องที่รับชม ดังนั้นถ้าสายเพียงต้นเดียวสามารถรับชมรายการของทุก ช่องสัญญาณได้ก็จะเป็นการดีกว่าและดูสวยงามกว่าซึ่งจุดนี้เองที่ทำให้เกิดโครงการนี้ขึ้นมา

### วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการแพร่กระจายของคลื่นและรับคลื่นของสายอากาศโทรทัศน
2. ออกแบบและสร้างสายอากาศโทรทัศนที่สามารถรับสัญญาณในย่าน VHF และ UHF ในต้นเดียวกัน
3. ทำการปรับปรุงและแก้ไขสายอากาศที่ได้มีการออกแบบไปแล้วนั้นให้มีขนาดเล็ก อัตราขยายสูงขึ้นรวมถึงมีประสิทธิภาพสูงขึ้น
4. ทดสอบสายอากาศที่ได้สร้างและแก้ไขปรับปรุงไว้

### ขอบข่ายการทำงาน

1. สร้างสายอากาศตามที่ได้ออกแบบไว้
2. ปรับปรุงสายอากาศที่มีอยู่ตามท้องตลาดเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีขนาดเล็กลงโดยมี อัตราขยายสูงขึ้นหรือเท่าเดิม
3. เปรียบเทียบสายอากาศแต่ละแบบที่ได้ทำการสร้างไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เข้าใจถึงการรับส่งคลื่นวิทยุทำให้สามารถนำไปใช้ประยุกต์ในการใช้งานด้านอื่น ๆ ได้ เช่นในด้านการสื่อสาร
2. สามารถออกแบบสายอากาศเพื่อใช้งานในย่านความถี่ตามที่ต้องการได้
3. สามารถนำสายอากาศที่ได้ออกแบบไว้มาใช้งานได้จริง
4. สามารถปรับปรุงสายอากาศที่เราต้องการให้ใช้งานในย่านความถี่ตามที่ต้องการให้ได้ มีขนาดเล็กลงโดยมีอัตราขยายสูงขึ้นหรืออย่างน้อยที่สุดมีอัตราขยายอยู่ในช่วงเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับการแพร่กระจายคลื่นและสายอากาศ

ผิวโลกถูกห่อหุ้มด้วยชั้นบรรยากาศซึ่งไม่ได้มีขอบเขตที่แน่นอนมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอากาศและความสูง จากการสำรวจพอจะแบ่งออกเป็นชั้นต่างๆ ได้ 3 ชั้นคือ โทรโปสเฟียร์ (Troposphere) สตราโตสเฟียร์ (Stratosphere) และ ไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) โดยในบางครั้งสามารถอาจกล่าวได้ว่าพื้นผิวโลกถูกล้อมรอบด้วยชั้นทางไฟฟ้า (Electrical Layer) ซึ่งกระทำตัวคล้ายกับตัวสะท้อน (Reflector) และจะป้องกันไม่ให้คลื่นทะลุผ่านไปโดยการโค้งทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่นมายังผิวโลก และยังประกอบขึ้นด้วยก๊าซที่แตกตัว (Ionized Gas) ของชั้นบรรยากาศโดย ชั้นที่ค้นพบอย่างแน่นอนและได้รับการศึกษาอย่างจริงจังคือชั้นไอโอโนสเฟียร์

ความหนาแน่นของก๊าซที่ประกอบกันเป็นชั้นบรรยากาศนี้จะลดลงที่ระยะทางมากขึ้น การกระจายรังสีจากดวงอาทิตย์จะมีทั้งแสง (Light Ray) ที่มีความถี่ต่าง ๆ กันมากมายตั้งแต่ รังสีอินฟราเรด (Infrared) จนถึงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) ซึ่งประกอบด้วย โพสิตรอน (Positron) และอิเล็กตรอน (Electron) เคลื่อนที่อยู่ที่ตลอดเวลาด้วยความเร็วเกือบเท่าความเร็วแสง ในชั้นบรรยากาศจะมีการรวมตัวและแตกตัวอย่างสลับซับซ้อน แหล่งพลังงานที่ทำให้แตกตัวคือ ดวงอาทิตย์ ซึ่งจะแผ่รังสีออกมาในรูปของพลังงานความร้อนและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อเกิดจุดยอดบนดวงอาทิตย์ขึ้นการแตกตัวของชั้นบรรยากาศจะเกิดขึ้นได้มากกว่าปกติ

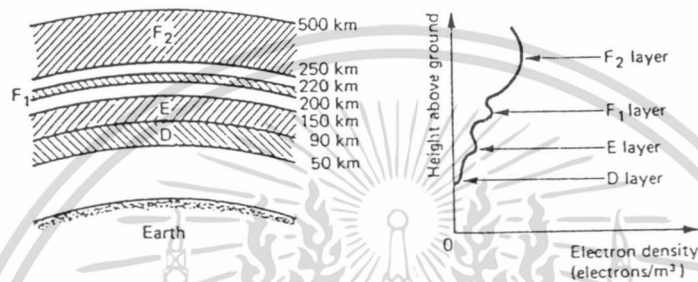
#### 2.1 การแบ่งชั้นบรรยากาศ

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบ่งออกเป็น 4 ชั้น ที่แตกต่างกันตามความสูงและความเข้ม คือ ดี อี เอฟ 1 และ เอฟ 2 โดยเอฟ 1 และ เอฟ 2 จะเกิดขึ้นเฉพาะในเวลากลางวันเท่านั้น ในช่วงเวลากลางคืน ชั้น เอฟ 1 เอฟ 2 จะรวมกันเป็นชั้นเอฟเดียว และชั้น ดี อี จะหายไปเพราะเกิดการรวมตัวกันใหม่ของไอออน (Ion) เพราะรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์หมดแล้วในตอนกลางคืน อย่างไรก็ตามชั้นที่เกิดขึ้นจริงๆ ความสูงและความเข้มของไอออนจะเปลี่ยนแปลงค่าไปตลอดเวลา

ชั้น ดี จะมีความสูงจากพื้นโลกประมาณ 50 - 90 กม. การแตกตัวในชั้นนี้จะมีน้อยเมื่อเทียบกับชั้นอื่น ๆ ผลของชั้นนี้จะทำให้ความเข้มสนามที่ความถี่สูง ๆ จะถูกบั่นทอนลง และจะดูด

เอไอเอสเป็นสมาชิกของสมาคมวิศวกรรมโทรคมนาคม (ICTAC) และสมาคมวิศวกรรมโทรคมนาคม (ICTAC) ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นความถี่วิทยุปานกลางและต่ำ จะเกิดขึ้นเฉพาะตอนกลางวันความเข้มของมันจะแปรตามความสูงของดวงอาทิตย์จากพื้นโลก ในชั้นนี้จะมีการรวมตัวของไอออนได้เร็ว การสื่อสารกลางวันในช่วงความยาวคลื่น 100 เมตร และ 80 เมตร จะไปได้ไกล



รูปที่ 2-1 แสดงชั้นบรรยากาศและความสูงของชั้นบรรยากาศ

ชั้นอี ความสูง 90 - 145 กม. จากพื้นโลก ความสูงของชั้นนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล การรวมตัวของไอออนในชั้นนี้ก็เป็นที่ไปได้เร็ว การติดต่อที่ความถี่สูงส่วนใหญ่ใช้ในชั้นนี้ ในชั้นนี้จะใช้ติดต่อไปได้ที่ระยะทางน้อยกว่า 2400 กม. ที่ระยะทางมากกว่านั้นจะติดต่อได้ไม่ดี ชั้นนี้จะดูดซึมความถี่ต่ำได้น้อยกว่าในชั้นดี

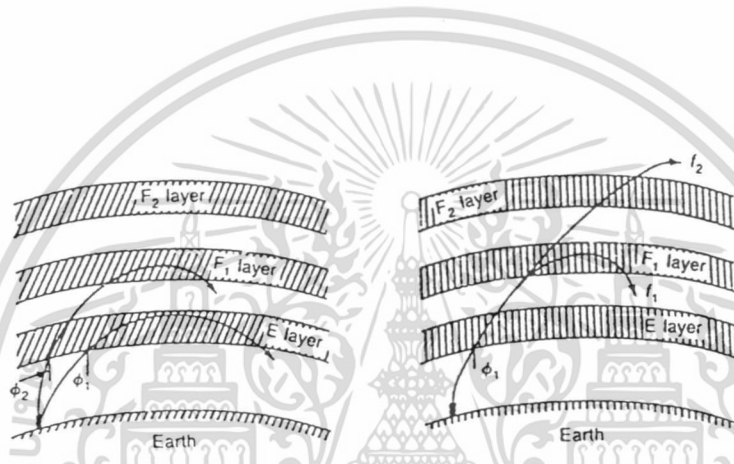
ชั้นเอฟ ห่างจากพื้นโลกประมาณ 145 - 380 กม. มีการแตกตัวของไอออนตลอดเวลา ในตอนกลางคืนจะมีเฉพาะชั้นเอฟที่ความสูงประมาณ 270 กม. การรวมตัวของไอออนในตอนกลางคืนเกิดได้ช้า เพราะฉะนั้นจะสะท้อนความถี่สูงมายังโลกและที่ความถี่สูงมากๆจะทะลุผ่านชั้นนี้ออกไปเลย เอฟ 2 จะมีการไอออนไนซ์มากที่สุดในบรรดาชั้นต่าง ๆ และเป็นชั้นที่มีประโยชน์ในการติดต่อในระยะทางไกล ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 คุณสมบัติของชั้นไอโอโนสเฟียร์

### 2.2.1 ความถี่วิกฤต ( Critical Frequency )

ในแต่ละชั้นจะมีค่าความถี่สูงสุดที่คลื่นจะสะท้อนมายังโลกเรียกว่าความถี่วิกฤต คลื่นที่มีความถี่มากกว่าความถี่วิกฤตนี้จะทะลุผ่านและจะไม่สะท้อนกลับมายังโลก นอกจากจะไปสะท้อนที่ชั้นที่สูงกว่า คลื่นที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่วิกฤตจะสะท้อนกลับมายังโลกนอกจากจะถูกดูดกลืน หรือสะท้อนโดยชั้นที่ต่ำกว่า



รูปที่ 2-2 แสดงชั้นบรรยากาศกับความถี่วิกฤต

รูปที่ 2-2 แสดงคลื่นที่มีความถี่ต่างกันจะสะท้อนในแนวตั้งไปในชั้นไอโอโนสเฟียร์ สัญญาณ 2 สัญญาณจะสะท้อนกลับมายังโลกโดยตรงและสัญญาณที่ 3 จะผ่านชั้นบรรยากาศทั้ง 2 ไป และจะไม่สะท้อนกลับ คลื่นที่สะท้อนแต่ละอันจะเป็นคลื่นที่ความถี่วิกฤตสำหรับชั้นนั้นๆ นั่นคือความถี่สูงสุดจะสะท้อนกลับและความถี่ต่ำกว่าค่านี้จะสะท้อนด้วย ปรัชญาการณีนี้อธิบายให้เข้าใจได้โดยอาศัยเรื่องการที่แสงทะลุผ่านอากาศไปยังแก้ว เมื่อสัญญาณผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ ด้วยมุมตกกระทบ 90 องศา สัญญาณจะช้าลงและสะท้อนกลับคล้ายเป็นกระจกเงา ความถี่ยิ่งสูงจะทะลุไปได้ไกล

## 2.2.2 มุมวิกฤต ( Critical Angle )

ที่ความถี่เท่ากันหรือน้อยกว่าความถี่วิกฤต คลื่นจะสะท้อนกลับมายังโลก แต่ความถี่ที่สูงกว่าความถี่วิกฤตอาจจะสามารถสะท้อนกลับมายังโลกได้ ถ้ามุมตกกระทบเหมาะสม แต่ที่มุมน้อยกว่านี้จะทำให้คลื่นที่ความถี่นี้สะท้อนกลับมายังพื้นโลกแต่ระยะทางไปไม่ได้ไกลเรียกว่า ระยะสคิป (Skip Distance) มุมตกกระทบซึ่งเล็กเท่าไรก็จะไปได้ไกลเท่านั้น

## 2.2.3 ความสูงเสมือน ( Virtual Height )

คือระยะเอชซึ่งจะยาวกว่าความสูงของชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 2-3 แสดงความสูงเสมือน

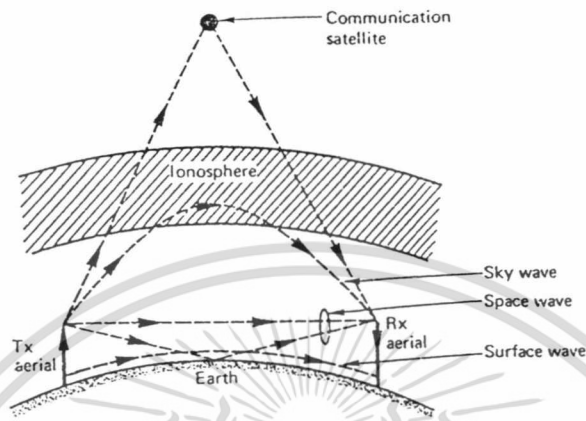
## 2.3 การเคลื่อนที่ของคลื่นชนิดต่าง ๆ

### 2.3.1 การเคลื่อนที่ของคลื่นแบบคลื่นดิน

การเคลื่อนที่แบบคลื่นดิน หมายถึง การเคลื่อนที่ของคลื่นที่ไม่ต้องอาศัยการสะท้อนจากชั้นไอโอโนสเฟียร์ การเคลื่อนที่แบบนี้เหมาะสำหรับการสื่อสารที่ระยะทางปานกลางที่ความถี่ต่ำ

คลื่นดินมี 2 ชนิดคือ คลื่นตรง (Direct Wave) และคลื่นสะท้อน (Reflected Wave) จากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับและการหักเหของคลื่นในชั้นโทรโปสเฟียร์ เพราะฉะนั้นคลื่นดินประกอบด้วยคลื่นตรง คลื่นสะท้อน คลื่นตามผิวดิน และคลื่นโทรโปสเฟียร์ โดยมีรายละเอียดการเคลื่อนที่

ของคลื่นคือ ออกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-4 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่น

คลื่นตรง เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่จากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับโดยตรง จะถูกจำกัดโดยระยะทางในแนวราบหรือเส้นสายตา (Line of Sight) ระยะทางที่ไปได้ไกลเพิ่มได้โดยการเพิ่มความสูงของสายอากาศเครื่องส่ง ความเข้มสนามไฟฟ้าของคลื่นตรงจะแปรกลับกับระยะทางของการส่ง

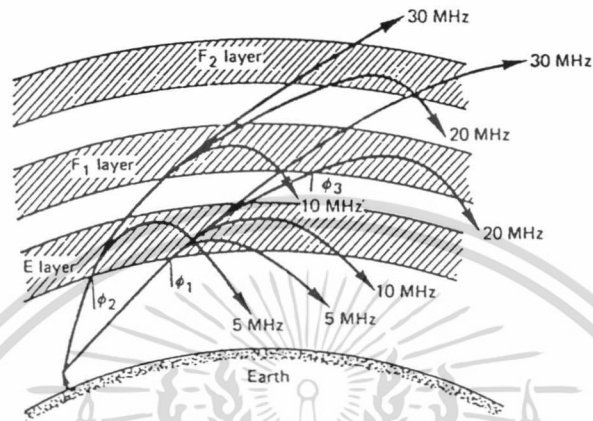
คลื่นสะท้อน เป็นคลื่นวิทยุที่เคลื่อนที่ถึงเครื่องรับ หลังจากสะท้อนจากพื้นดินหรือจากผิวทะเลสำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างจุดที่น้อยกว่า 1000 ฟุตเล็กน้อย

คลื่นตามผิวดิน อาจถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของคลื่นดิน ซึ่งมีผลมาจากสภาพการนำ (Conductivity) และค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) ของพื้นดินและสามารถเคลื่อนที่ไปตามความโค้งของผิวโลกได้

### 2.3.2 การเคลื่อนที่ของคลื่นท้องฟ้า

คลื่นท้องฟ้าเคลื่อนที่แบบคลื่นที่ 2 ที่สะท้อนในชั้น ไอโอโนสเฟียร์และโทรโปสเฟียร์ ซึ่งมีบทบาทในการติดต่อระยะทางไกลๆ ระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ คลื่นที่เคลื่อนที่แบบนี้คือ คลื่นที่มีความถี่ปานกลาง 300 - 3000 kHz ซึ่งจะสะท้อนในชั้นโทรโปสเฟียร์ และคลื่นที่มีความถี่ย่านคลื่นสั้น (Short Wave) คือ 3 - 30 MHz สะท้อนในชั้นไอโอโนสเฟียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-5 แสดงการสะท้อนของคลื่น

ความเข้มของสัญญาณขึ้นอยู่กับ

- อัตราขยายของสายอากาศ (Gain of Antenna) สายอากาศเครื่องส่งต้องมีอัตราขยายสูง
- ความเข้มสนาม (Field Intensity) จะแปรผันกับระยะทางกำลัง 2
- การดูดซึม (Absorption) เกิดในชั้นอากาศ โดยเฉพาะในช่วงกลางวัน การดูดซึมเกิดในชั้นดีของไอโอโนสเฟียร์
- ความสูงของเสาอากาศ สัญญาณที่ได้รับจะเป็นสัญญาณรวมของคลื่นที่เกิดจากการเคลื่อนที่แบบคลื่นท้องฟ้าและส่วนที่สะท้อนจากดิน
- ความถี่ที่ใช้ในการส่งโทรทัศน์ มาตรฐานการส่งโทรทัศน์ตามมาตรฐานสากลมีหลายระบบ ในแต่ละระบบก็มีใช้กันหลายกลุ่มประเทศ แต่กลุ่มก็ใช้ทั้งในย่านความถี่ VHF และย่าน UHF โดยแต่ละระบบก็มีจำนวนช่องและความถี่ที่ใช้แตกต่างกัน โดยในระบบ VHF มี 12 ช่อง UHF มี 83 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การแบ่งย่านความถี่ของคลื่นวิทยุ

### ตาราง 2-1 แสดงการแบ่งแยกย่านความถี่และการนำไปใช้งาน

ย่านความถี่	ชื่อย่านความถี่	อักษรย่อ	การนำไปใช้งาน
30-300 Hz	Extremely-low frequency	ELF	-
300-3000 Hz	Voice frequency	VF	-
3-30 kHz	Very-low frequency	VLF	-
30-300 kHz	Low frequency	LF	ใช้เป็นคลื่นวิทยุแต่ส่งได้ไม่ไกล
300-3000 kHz	Medium frequency	MF	ส่งแบบ AM ที่มีระยะไกลกว่า LF
3-30 MHz	High frequency	HF	ใช้ในงานวิทยุคลื่นสั้น , วิทยุ ตำรวจ
30-300 MHz	Very-high frequency	VHF	ด้านโทรทัศน์ วิทยุ F.M. , วิทยุ ราชการ
300-3000 MHz	Ultra-high frequency	UHF	ด้านโทรทัศน์ของต่างประเทศ , วิทยุ UHF ของหน่วยราชการ
3-30 GHz	Super-high frequency	SHF	งานสื่อสารย่านไมโครเวฟ
30-300 GHz	Extra-high frequency	EHF	-

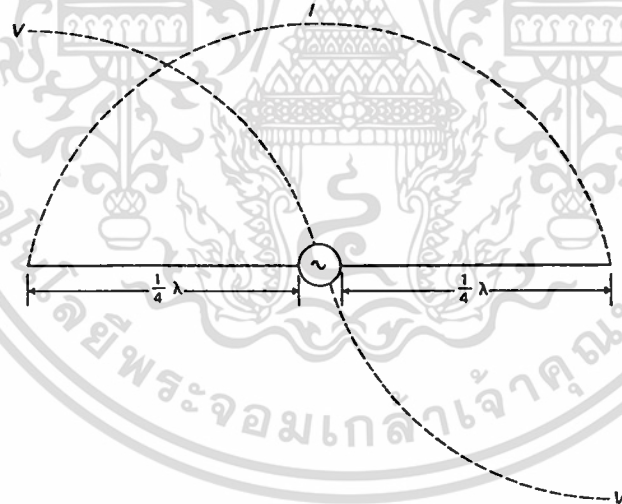
## 2.5 สายอากาศกับสายส่ง

สายอากาศแบบง่ายที่สุด คือแบบไดโพลหรือโพลไดโพล (Folded Dipole) ถูกนำไปใช้งานในรูปแบบต่างๆ ของการสื่อสารทางวิทยุ ไดโพลชนิด  $\lambda/2$  (Half Wave Dipole) เป็นส่วนประกอบขั้นพื้นฐานของระบบสายอากาศ เมื่อมีการเพิ่มขึ้นส่วนบางส่วน จะทำให้การรับหรือส่งสัญญาณไปในทิศทางที่ต้องการได้

สายอากาศแบบไดโพลนั้น สามารถเปรียบเทียบกับสายส่งชนิด RF ที่เป็นวงจรเปิดมีความยาวเท่ากับ  $\lambda/4$  โดยต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณซึ่งต้องรีโซแนนซ์ (Resonance) กับเครื่องกำเนิดสัญญาณโดยจะมีสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้ารอบตัวมันมากมาย ซึ่งความชันของผลตอบสนองของสายอากาศแบบไดโพลคล้ายกับ L - C ของวงจรรีโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของส่วนที่เป็นไดโพล ถ้าไดโพลเป็นลวดทองแดงเล็กๆจะมีคุณสมบัติคล้ายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

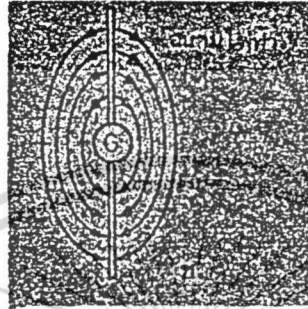
วงจรจูน (Tuned Circuit) ที่มีค่า Q มาก คือชันมากแต่จะมีความกว้างของความถี่ (Bandwidth) แคบมาก

วงจรเปิดและวงจรปิดเป็นตัวอย่างของการเกิด สแตนด์เวฟ (Standing Wave) บนสายส่ง สายส่งเหล่านี้จะกระจายพลังงานบางส่วนที่อยู่ในสายโดยสายชิลด์ (Shielded Line) จะกระจายพลังงานน้อยกว่าสายที่ไม่ได้ชิลด์ พิจารณาสายที่ไม่ได้ชิลด์ 2 สาย ที่ถูกต้องปลายด้วยโหลดที่ พอดี (Matching Load) คือเท่ากับ ลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสาย (Characteristic Impedance) ถ้ามีการแมทช์กันพอดีจะทำให้การกระจายพลังงานเพิ่มขึ้นตามเงื่อนไขการทำงาน คือเพิ่มเป็นกำลังสองของกระแส

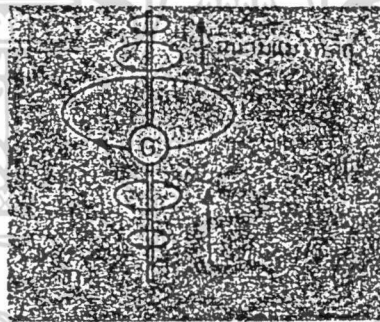


รูปที่ 2-6 แสดงถึงการกระจายพลังงานมากที่เพราะว่าสนามไฟฟ้าทั้ง 2 จะไม่มีทิศทางที่ตรงกันข้ามซึ่งกันและกันเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-7(ก) แสดงทิศทางการของสนามไฟฟ้า



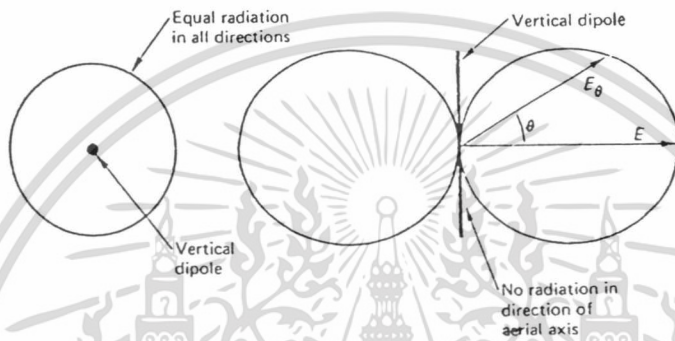
รูปที่ 2-7(ข) แสดงทิศทางการของสนามแม่เหล็ก

### 2.5.1 รูปแบบของการแพร่คลื่นของสายอากาศ

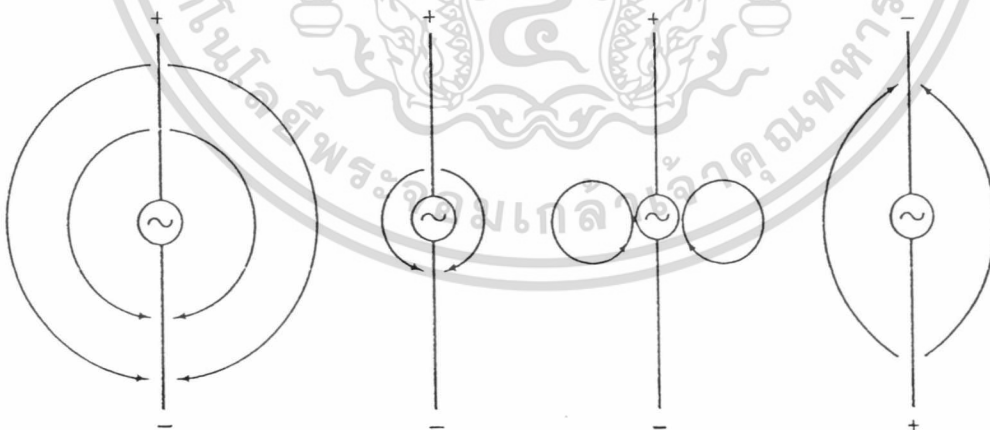
ลักษณะรูปร่างของการกระจายพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นรูปร่างต่าง ๆ กันเรียกรูปแบบหรือแพทเทิร์น ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดค่าไดเรกทิวิตี (directivity) คือการกระจายพลังงานไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าในทิศทางอื่น ๆ หมายถึงไม่ได้กระจายออกรอบตัวเท่ากัน ซึ่งมีความสำคัญในการรับหรือส่งในทิศทางเดียวและป้องกันการรบกวนจากสถานีอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของการกระจายคลื่นของสายอากาศถ้าพลังงานถูกแผ่กระจายไปทั่ว ๆ ในทุกทิศทาง รูปแบบของการแผ่กระจายจะเป็นรูปทรงกลมซึ่งมีสายอากาศแบบไดโพล อยู่ตรงจุดศูนย์กลางดังรูป



รูปที่ 2-8 แสดงการแพร่ของคลื่นจากสายอากาศ



รูปที่ 2-9 แสดงไดโพลที่มีความยาวทางฟิสิกส์ ( ความยาวจริง ๆ ) เท่ากันแต่ความถี่ต่างกัน รูป

แบบที่ได้ก็จะแตกต่างกันด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 2.5.3 อัตราขยายและสภาพการรีนำของสายอากาศ

$$\text{dB} = 10 \log \left( \frac{V_2^2}{R_2} / \frac{V_1^2}{R_1} \right)$$

dB เป็นหน่วยที่วัดอัตราขยายของสายอากาศโดยเทียบกับสายอากาศชนิดที่เรียกกันว่าสายอากาศไอโซโทปิก (Isotopic Antenna)

เพื่อความสะดวกในการหาอัตราขยายจะใช้หน่วยเป็น dB (เดซิเบล) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับกำลังงาน

$$\begin{aligned} \text{dB} &= 10 \log \frac{P_1}{P_2} \\ &= 20 \log \frac{E_1}{E_2} \end{aligned}$$

### 2.5.4 ความกว้างทางความถี่

สายอากาศที่มีค่า Q สูงจะทำให้การใช้งานได้ในช่วงความถี่ที่มีความกว้างทางความถี่แคบ คุณสมบัติของ Q ที่ค่ามาก ๆ จะมีคุณสมบัติเหมือนวงจรรزون ความกว้างทางความถี่เป็นช่วงทางความถี่ที่สายอากาศสามารถรับสัญญาณได้ดี สายอากาศที่มีความกว้างทางความถี่แคบเรียกสายอากาศชนิดแถบแคบ (Narrow Band Antenna) สายอากาศที่ทำงานได้ในช่วงความถี่กว้างเรียกว่าสายอากาศแบบแถบกว้าง (Broadband Antenna)

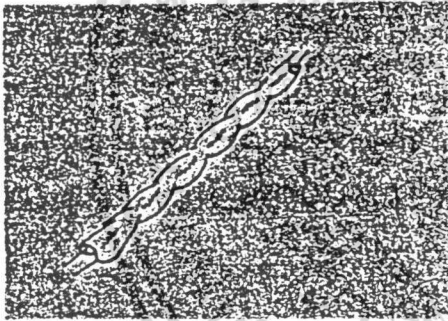
ความกว้างทางความถี่ (Bandwidth) ขึ้นกับค่าความต้านทานการแผ่ (Radiation Resistance) และรูปร่างของโลหะและเส้นผ่าศูนย์กลาง ความกว้างทางความถี่จะเพิ่มขึ้นถ้าค่าความต้านทานการแผ่และเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

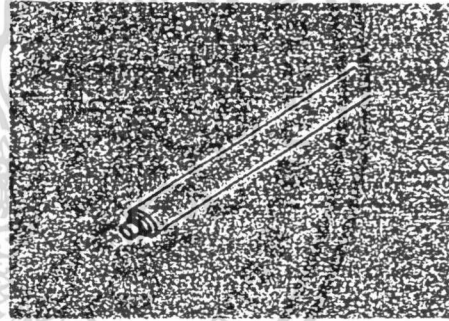
## 2.5.5 ชนิดของสายส่ง

แบ่งสายส่งออกเป็น 4 แบบ ใหญ่คือ

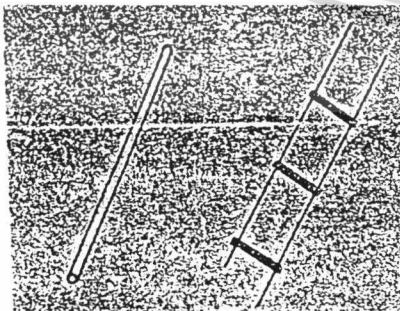
- สายคู่แบบบิด
- สายคู่ชีลด์
- ตัวนำชนิดสายเดี่ยว สองสาย (กรณีในตัวนำวางขนานกัน)
- สายโคแอกเชียลหรือสายคู่ที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน



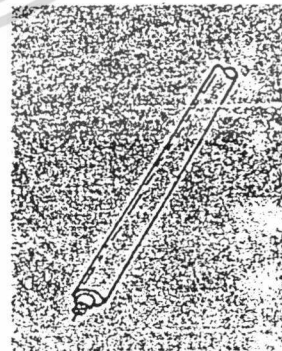
รูปที่ 2-11(ก) แสดงสายคู่แบบบิด



รูปที่ 2-11(ข) แสดงสายคู่ชีลด์



รูปที่ 2-11(ค) แสดงตัวนำชนิดสายเดี่ยว สองสาย



รูปที่ 2-11(ง) แสดงสายโคแอกเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวนำชนิดสายเดี่ยว

ก. ใช้สายเดี่ยวต่อระหว่างเครื่องส่งกับสายอากาศ ดังนั้นอีกสายจะต่อกับพื้นดินซึ่งเปรียบเสมือนเงาของสาย (Ground)

ข. ตัวนำชนิด 2 ที่มีอากาศเป็นฉนวนเป็นแบบที่ง่ายที่สุดประกอบด้วยตัวนำสองอันวางขนานกันห่างกันด้วยระยะทางเท่ากันโดยตลอดค่า  $Z_0$  ของสายสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Z_0 = \frac{276}{\sqrt{K}} \log \frac{2D}{d}$$

เมื่อ K เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของฉนวน (อากาศ = 1)

d เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ

D เป็นระยะห่างระหว่างตัวนำ

ค. ทวินลีด (twin lead) ระยะห่างระหว่างตัวนำทั้งสองจะเท่ากันตลอดสาย สายนำสัญญาณแบบโคแอกเซียลประกอบด้วยลวดตัวนำภายในตรงแกนกลางและตัวนำภายนอกเป็นรูปทรงกระบอกและมีฉนวนซึ่งทำด้วยพวยเรกซ์โพลีสไตเรีน (pyre polystyrene) คั่นกลางสายชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้กับเครื่องส่งในย่านความถี่ VHF และ UHF สายชนิดนี้ไม่เหมาะสมที่จะใช้งานที่ความถี่ต่ำๆ และมีกำลังต่ำ ข้อดีของสายส่งแบบนี้คือ ความสูญเสียของการกระจายพลังงานน้อย ความเข้มสนามแม่เหล็กและ ไฟฟ้าจะมีอยู่ภายในช่องว่างระหว่างตัวนำเท่านั้น

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{K}} \log_{10} \frac{D}{d}$$

เมื่อ D เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำภายนอก

d เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำภายใน

สายคู่ชีลด์ ประกอบด้วยตัวนำสองตัวแยกจากกันหุ้มด้วยฉนวนและหุ้มด้วยทองแดง ซึ่งจะกันชีลด์ ความชื้นและไอน้ำจะป้องกันโดยยางรอนน็อก ข้อดีคือตัวนำทั้งสองจะสมดุลกันเมื่อเทียบกับกราวนด์ ค่าตัวเก็บประจุระหว่างตัวนำแต่ละตัวโดยมีฉนวนกันจะสมำเสมอตลอดความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาว โดยปกติการต่อสายและการเข้าสายโคแอกเชียลนี้จะต้องมีหัวต่อพิเศษที่ใช้ในการต่อระหว่างสายหรือต่อจากสายเข้าไปยังเครื่องรับและเครื่องส่ง



ใช้อลูมิเนียมฟอยด์ที่เป็นแผ่นบางๆ เพื่อใช้ในการชิลด์

แผ่นชิลด์จะนำมาหุ้มกับเส้นลวดทองแดงที่ถูกหุ้มด้วยสายฉนวนจำพวกโพลีเอทีนแล้ว

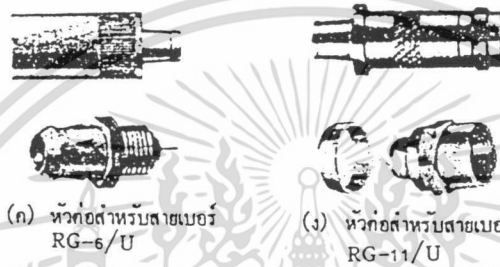
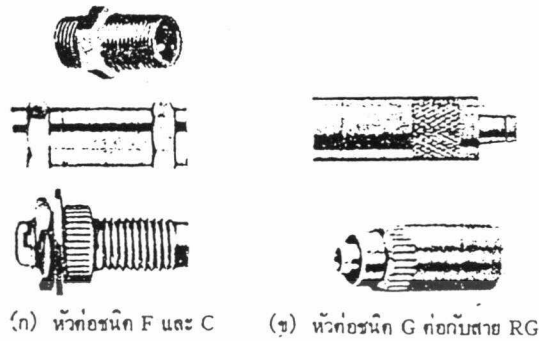
ก่อนที่จะหุ้มฉนวนครั้งสุดท้าย จะใช้เส้นลวดสานหุ้มรอบแผ่นอลูมิเนียมฟอยด์เป็นการชิลด์อีกครั้งแล้วหุ้มฉนวนรอบนอกอีกครั้งเป็นอันเสร็จ

รายละเอียดส่วนต่างๆ ของสายโคแอกเชียล

1. แท่งตัวนำลวดทองแดง
2. สารฉนวนจำพวกโพลีเอทีน
3. แผ่นอลูมิเนียมฟอยด์
4. เส้นลวดที่อยู่รอบนอกบางแบบอาจเป็นแบบสาน
5. ฉนวนทนความร้อน สิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น ความชื้น ลม ฯลฯ

รูปที่ 2-12 แสดงส่วนภายในของสายโคแอกเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-13 แสดงหัวต่อสายแบบต่าง ๆ

2.5.6 คุณสมบัติเบื้องต้นในการนำของสายนำสัญญาณหรือสายส่ง

ลักษณะทางอิมพีแดนซ์ของสาย (Characteristic Impedance,  $Z_0$ ) ถ้าสายอากาศมีอิมพีแดนซ์ที่จุดต่อระหว่างสายอากาศกับสายส่ง X โอห์ม สายส่งต้องมีลักษณะทางอิมพีแดนซ์ของสายเท่ากับ X โอห์มด้วยเพื่อให้ได้กำลังมากที่สุด ผลแตกต่างระหว่างสายอากาศและความต้านทานสูญเสียไปในตัวต้านทานการแผ่ (Radiation Resistance) ซึ่งไม่ได้สูญเสียไปจริงๆ แต่สูญหายไปในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระจายออกรอบๆ ตัว ถ้ากำลังทั้งหมดสูญหายไป (สายอากาศหรือความต้านทาน) ทั้งหมดจะไม่มีกระแสย้อนกลับมายังต้นกำเนิดจะเรียกว่าสายส่งนั้นถ่ายทอดพลังงานได้สูงสุดโดยไม่มีคลื่นสะท้อนหรือเรียกได้ว่าสายนำสัญญาณนั้น แพลท (Flat) คือมีอัตราส่วนของกระแสและแรงดันจะเท่ากันทุกตำแหน่งตามความยาวของสายส่งจากเครื่องส่งหรือเครื่องรับไปยังสายอากาศ

อัตราส่วนของแรงดันหรือกระแสที่มีค่ามากที่สุดกับแรงดันหรือกระแสน้อยที่สุดในสาย เรียกว่าอัตราส่วนสแตนด์เวฟ VSWR หรือ SWR ซึ่งจะมีค่าเท่ากันทั้งอัตราส่วนของแรงดันและกระแส SWR เป็นตัวกำหนดว่าสายสัญญาณนั้นแมทช์กันหรือไม่กับสายอากาศ SWR มีค่ามากกว่า 1 เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

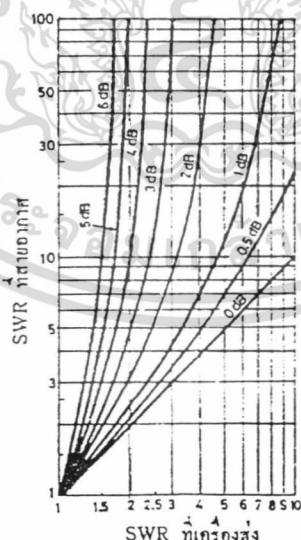
ถ้าสายส่งถูกต่อปลายด้วยโหลดที่มีความต้านทานหรือเป็นสายอากาศที่มีตัวต้านทานการแผ่ (Radiation Resistance) ที่มีค่าเท่ากับ  $Z_0$  ของสายส่งพลังงานที่ได้ในสายส่งทั้งหมดสูญเสียไปในโหลด จะทำให้สายนำสัญญาณเกิดภาวะไม่รีโซแนนซ์จะได้อัตราส่วนของแรงดัน (กระแส) ที่จุดต่าง ๆ บนสายเท่ากันตลอดเรียกว่าสายอากาศและสายส่งแมทช์กันพอดี แต่ถ้าค่าตัวต้านทานการแผ่ของสายอากาศไม่เท่ากับ  $Z_0$  ของสายนำสัญญาณจะเกิดภาวะรีโซแนนซ์บางส่วนของการกำลังที่ใส่ในสายจะสะท้อนกลับจากปลายของสายส่งกลับไปยังเครื่องส่ง

ปกติค่า SWR ในสายส่งยิ่งต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานดี มีกฎเกณฑ์เบื้องต้น 2 ข้อที่ทำให้ SWR มีค่าต่ำ (ในทางปฏิบัติ SWR ไม่ควรเกิน 1.5/1) คือ

1. สายอากาศต้องรีโซแนนซ์ที่ความถี่ใช้งานของเครื่องส่ง
2. สายอากาศต้องต่อโดยตรง (หรือต่อกับ matching) กับโหลดที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากัน

หมายเหตุ

SWR เป็นค่าที่วัดที่โหลดคือระหว่างรอยต่อของสายส่งกับปลายที่ต่อกับสายอากาศแต่การวัด SWR ที่ตำแหน่งนี้จะไม่สะดวกจึงอาจจะวัด SWR ที่รอยต่อของเครื่องส่งหรือเครื่องรับกับสายส่งก็ได้ แต่ค่าที่วัดได้ที่ตำแหน่งนี้จะน้อยกว่าตำแหน่งแรกขึ้นกับอัตราการบั่นทอนของสาย ซึ่งความสัมพันธ์ของ SWR ทั้ง 2 ตำแหน่งจะแสดงดังรูป



รูปที่ 2-14 แสดง SWR ที่ปลายของสายส่งกับ SWR ที่โหลดที่ค่าความสูญเสียของสาย (เมื่อ

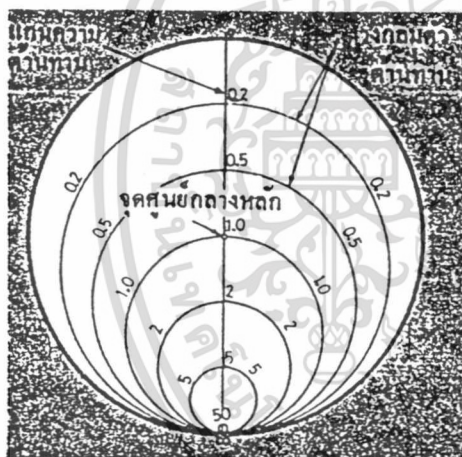
แมทช์) ต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

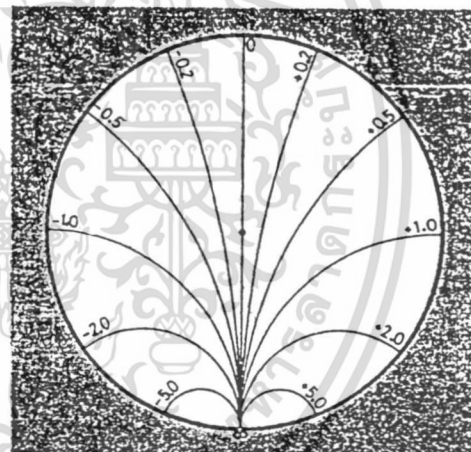
ความสูญเสียในสายส่งมีความสัมพันธ์กับความยาวในรูปของสเกลล็อก (Logarithm) ซึ่งจะแสดงค่าความสูญเสียเป็น dB เพื่อความสะดวกในการคำนวณหาความสูญเสียทั้งหมดจะนำเอาค่า dB มาบวกกันได้เลย ความสูญเสียของสายขึ้นอยู่กับชนิดของสายและความถี่ที่ใช้งาน

2.5.7 การคำนวณค่าของสายนำสัญญาณด้วยแผ่นสมิท (Smith-Chart Transmission Line Calculations)

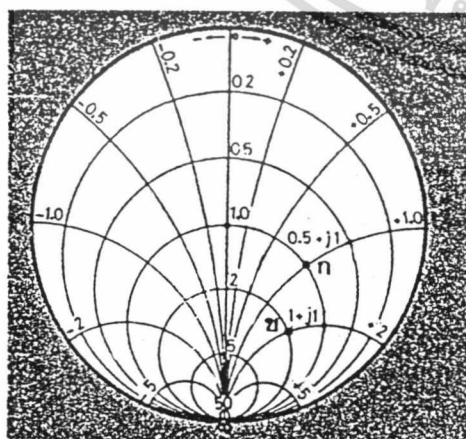
ในการหาความสูญเสียของสายส่ง SWR อิมพีแดนซ์ของสายอากาศค่อนข้างจะยุ่งยาก เพราะต้องใช้ตารางประกอบมากมาย เพื่อความสะดวกอาจจะหาค่าต่างๆ ได้จากแผ่นสมิท แผ่นสมิทประกอบด้วยวงกลม 2 ชนิด คือ วงกลมความต้านทานซึ่งมีจุดศูนย์กลางอยู่บนแกนความต้านทาน มี R เท่ากับ  $\infty$  ที่จุดศูนย์กลางบนแกนความต้านทานเรียกว่าจุดศูนย์กลางหลัก (Prime Center)



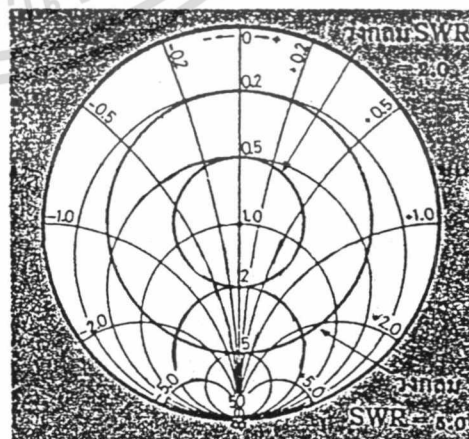
รูปที่ 2-15 แสดงวงกลมแสดงค่าความต้านทาน



รูปที่ 2-16 แสดงวงกลมแสดงค่ารีแอกแตนซ์



รูปที่ 2-17 แสดงเมื่อรวมวงกลมรูป 2-16 และ 2-17



รูปที่ 2-18 แสดงค่าของวงกลม SWR

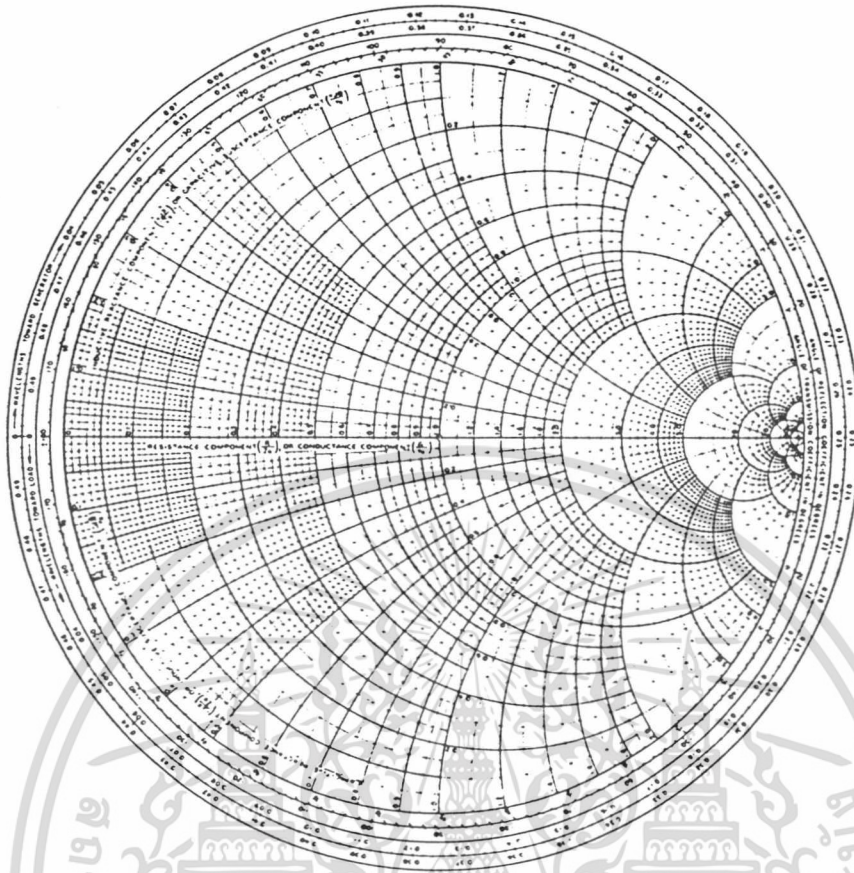
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงกลมแสดงค่ารีแอกแตนซ์ซึ่งจะสัมพันธ์กับแกนความต้านทานแกนความต้านทานทุก ๆ จุดบนวงกลมจะมีค่ารีแอกแตนซ์เท่ากันตลอด ซึ่งมีค่าเป็นบวกและลบ โดยทางขวาของแกนความต้านทานจะเป็นบวก คือค่าตัวเหนี่ยวนำ (inductance) ทางซ้ายของแกนความต้านทานจะเป็นลบ คือ ตัวเก็บประจุ (capacitance) เมื่อวงกลมความต้านทานและวงกลมรีแอกแตนซ์รวมกันจะเป็นแผ่นสมิท

วงจรเปิดและวงจรมัด SWR วงกลม SWR เป็นส่วนที่ต้องเติมลงไปบนแผ่นสมิท วงกลม SWR ทุกวงจรมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดศูนย์กลางหลักจะแทน SWR เพียงค่าเดียวตลอดเส้นรอบวงของวงกลม ค่าของ SWR จะอ่านได้จากแผ่นโดยตรงโดยการอ่านค่าความต้านทานที่วงกลมตัดแกนความต้านทานได้จุดศูนย์กลางหลัก ถ้าอ่านค่าจากจุดที่วงกลมตัดเหนือจุดศูนย์กลางหลักจะเป็นอัตราส่วนกลับกัน

เส้นรอบรูปของแผ่นสมิทด้านนอกสุดจะแทนสเกลความยาวคลื่น (Wavelength Scale) ซึ่งจะเป็นความยาวของสายส่งมีหน่วยเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่น แบ่งเป็น 2 สเกลคือ หมุนทวนเข็มนาฬิกาและหมุนตามเข็มนาฬิกา หมุนทวนเข็มนาฬิกาจะแทนความยาวของสายส่งจากเครื่องส่งหรือเครื่องรับสัญญาณไปยังโหลด หมุนตามเข็มนาฬิกาจะแทนสายส่งจากโหลดไปยังเครื่องส่งหรือเครื่องรับสัญญาณ ความยาวของเส้นรอบวงกลมทั้งวงจะเป็น  $\lambda/2$  ทั้งสองสเกล เพราะ  $Z_0$  ของสายส่งจะซ้ำค่าเดิม

นอกจากอ่านค่า SWR อินพุทอิมพีแดนซ์ได้แล้ว ยังสามารถหาคุณสมบัติอื่นๆของสายส่งได้อีก เช่น ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันสะท้อน (Voltage Reflection Coefficient) ทั้งขนาดและมุมเฟส (Phase Angle) ในการใช้งาน ถ้าเราป้อนพลังงานให้กับสายอากาศแล้วพลังงานเหล่านี้ถูกส่งออกไปในอากาศได้หมด ก็เรียกได้ว่า เครื่องส่งกับสายอากาศมีการแมทช์กันพอดี แต่ถ้าหากมีสัญญาณบางส่วนสะท้อนกลับมาใหม่อีกครั้งทำให้กำลังส่งที่ส่งออกอากาศไปได้เพียงจำนวนเล็กน้อย ก็เรียกว่า สายอากาศนั้นมิได้แมทช์กับเครื่องส่ง ดังนั้นการแมทช์กันจึงเป็นสิ่งจำเป็น และสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบสายอากาศทั้งระบบการส่งและการรับ



รูปที่ 2-19 แสดงวงกลม SWR

ระบบสายอากาศ เครื่องส่งจะส่งสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณไปยังสายอากาศ อิมพีแดนซ์ของสายอากาศมีความหมายถึงความต้านทานทางการแพร่ของคลื่น ในทำนองเดียวกันกับเครื่องรับ สายอากาศก็เปรียบเสมือนตัวรับสัญญาณที่มาจาก การแพร่มาในบรรยากาศแล้วส่งต่อมายังเครื่องรับ การวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศนี้ไม่สามารถใช้วัดกันด้วยโอห์มมิเตอร์ธรรมดาวัดได้ ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้จากโอห์มมิเตอร์ หรือบริดจ์มิเตอร์นั้น เราวัดได้แต่เพียงความต้านทานในการสูญเสียเท่านั้น

สายอากาศทั่วไปจะทำหน้าที่กระจายคลื่น (เครื่องส่ง) หรือรับคลื่นจากบรรยากาศ โดยปกติการกระจายคลื่น หรือการรับคลื่นจะเป็นไปได้โดยสมบูรณ์นั้นค่าอิมพีแดนซ์สำหรับการกระจาย กับอิมพีแดนซ์ของสายตลอดจนถึงอิมพีแดนซ์ของเครื่องรับ หรือเครื่องส่งต้องมีค่าเท่ากันตลอด สำหรับอิมพีแดนซ์ของสายนั้นก็คือลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ ซึ่งมีความหมายในแง่เป็นคุณสมบัติประจำของสายไม่ว่าจะตัดสายมาใช้งานอย่างไรก็ตาม ค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายจะมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

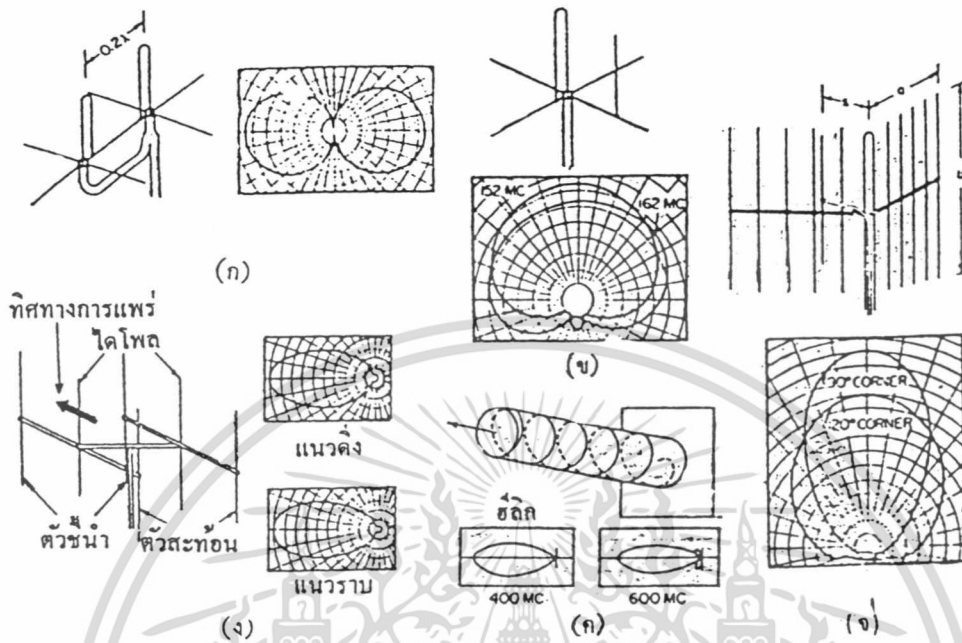
## 2.5.8 การแบ่งชนิดของสายอากาศแบบวิธีต่าง ๆ

- การแบ่งชนิดของสายอากาศตามลักษณะการใช้งานอาจแบ่งออกเป็นลักษณะกว้างๆ คือ
  - ก) แบบสายอากาศในแนวนอน (Horizontal Antenna) อาจแบ่งเป็นสายอากาศแบบไดโพล  $\lambda/2$  เช่น สายอากาศแบบไดโพล (Dipole) และสายอากาศแบบห่อ (Folded Dipole) เป็นต้น
  - ข) แบบสายอากาศในแนวตั้ง (Vertical Antenna) เช่น สายอากาศแบบดิน (Ground Antenna) แบบมาร์โคนี่ เป็นต้น
  - ค) สายอากาศแบบพิเศษ เช่น สายอากาศแบบยาگی แบบเส้นลวดยาวหรือ (Long Wire Antenna) แบบวี แบบสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน (Rhombic) เป็นต้น
- การแบ่งชนิดของสายอากาศตามความถี่ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางกว่าอาจแบ่งออกเป็น
  - ก. สายอากาศที่ความถี่ปานกลาง (Middle Frequency) และที่ความถี่สูง (High Frequency)
  - ข. สายอากาศที่ความถี่วีเอชเอฟ และยูเอชเอฟ (VHF-UHF)
- การแบ่งชนิดของสายอากาศตามความถี่เป็นหลักใหญ่จะสามารถครอบคลุมได้กว้างขวาง จึงสามารถแบ่งชนิดของสายอากาศจากลักษณะทางฟิสิกส์ คือ
  1. ขนาดความยาวของสายอากาศ เพราะความยาวของไดโพล หรือตัวขับ ตัวสะท้อนตัวชี้ นำมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นทั้งสิ้นที่ความถี่สูงหรือความถี่ปานกลางสายอากาศจะมีขนาดใหญ่และที่ความถี่วีเอชเอฟและยูเอชเอฟจะมีขนาดเล็ก
  2. น้ำหนักของสายอากาศ จะเห็นว่ามีทั้งชนิดที่ทำด้วยลวดทองแดง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสายอากาศที่มีความถี่ปานกลางและความถี่สูง ทั้งนี้เพราะถ้าทำด้วยอลูมิเนียมก็ต้องมีน้ำหนักมากเพราะความยาวมาก บางชนิดทำด้วยอลูมิเนียมแท่งกลวงหรืออลูมิเนียมแผ่น เป็นต้น
  3. รูปร่างของสายอากาศ การเรียกชื่อของสายอากาศมีพื้นฐานจากรูปร่าง เช่น สายอากาศรูปตัววี สายอากาศรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ยาگیแบบเกลียวสวน ฯลฯ

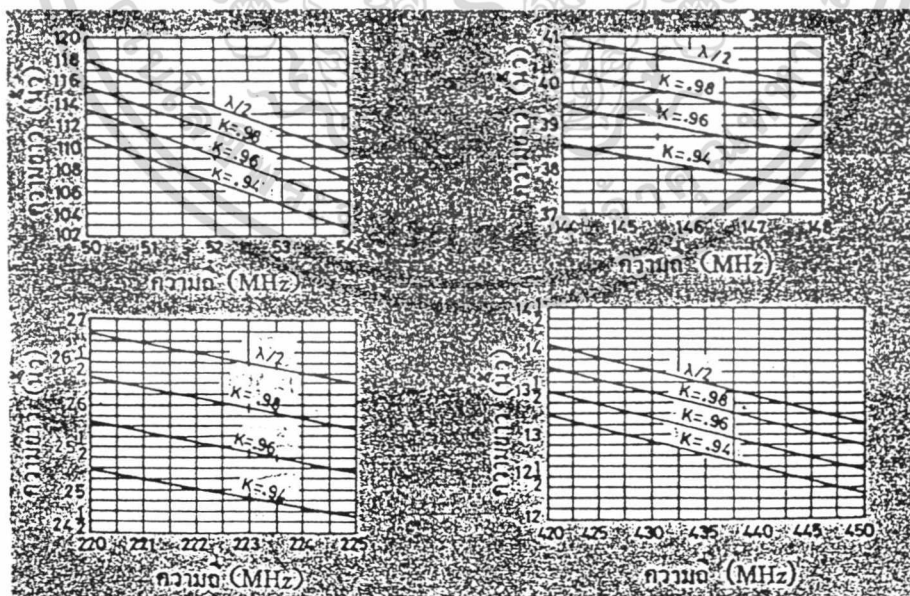
4. การติดตั้งสายอากาศที่ความถี่ปานกลางและความถี่สูงต้องการพื้นที่การติดตั้งขนาดใหญ่และไม่สูงจากพื้นดินมากนัก ส่วนใหญ่ต้องใช้เสาขนาดใหญ่ ส่วนสายอากาศ วีเอชเอฟและยูเอชเอฟมีขนาดเล็ก การติดตั้งก็สะดวกสบายจะให้อากาศพื้นดินเท่าไรก็ได้
5. ความสะดวกในการใช้งาน สายอากาศที่ความถี่ วีเอชเอฟและยูเอชเอฟมี ขนาดเล็ก กระทัดรัด เคลื่อนย้ายได้สะดวก สายอากาศของรถยนต์ส่วนใหญ่ จะเลือกแบบวี และแบบแนวตั้งติดตั้งในแนวความสูงของรถยนต์ เพราะจะได้ไม่เกะกะการจราจร เป็นต้น

### 2.5.9 สายอากาศที่ความถี่วีเอชเอฟและยูเอชเอฟ

การติดต่อสื่อสารในย่านความถี่ วีเอชเอฟและยูเอชเอฟ เริ่มจากความถี่มากกว่า 50 MHz ตำแหน่งของเครื่องส่งและสถานีรับจะมีอยู่ในทิศทางของสายตา (Line of Sight) การคำนึงถึงประสิทธิภาพ รูปแบบของการส่งของสายอากาศเครื่องส่งมักเป็นแบบทิศทางเดียว และทิศทางรอบตัวเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณา เนื่องจากการคำนวณหาขนาดของสายอากาศในย่านนี้ต้องใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์มาก เพราะฉะนั้นจึงไม่มีสูตรที่แน่นอนส่วนใหญ่ได้จากการทดลองซ้ำแล้วซ้ำอีก ในการจัดระยะความยาวรูปที่ 2-20 เป็นตัวอย่างของสายอากาศในย่านนี้ รูป ก. เป็นสายอากาศของวิทยุตำรวจเป็นแบบ 2 ทิศทาง รูป ข. เป็นสายอากาศของวิทยุตำรวจแต่เป็นทิศทางเดียว รูป ค. ใช้ในย่านยูเอชเอฟ รูป ง. และ จ. ใช้ในย่านวีเอชเอฟแบบทิศทางเดียว



รูปที่ 2-20 แสดงสายอากาศย่านความถี่เอชเอฟ



รูปที่ 2-21 แสดงการหาค่า K ย่านความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

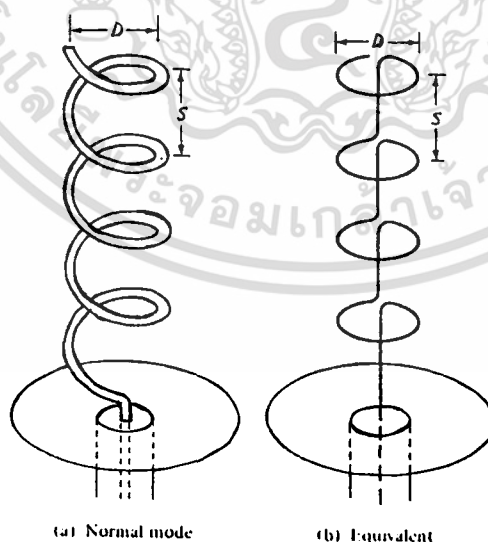
### 2.5.10 การเลือกสายอากาศ

สายอากาศกับรูปแบบและทิศทางของการรับสัญญาณ ในการเลือกสายอากาศ จำเป็นต้องพิจารณารูปแบบและทิศทางของสัญญาณที่แพร่มา ตลอดจนรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งมาจากสถานีส่งด้วย เพราะจะช่วยให้ประสิทธิภาพของการรับสูงขึ้นและสามารถขจัดสัญญาณรบกวนที่มาจากที่อื่นหรือมาจากการสะท้อนของสัญญาณให้หมดไป

สิ่งที่จะทราบได้ถึงทิศทาง การรับหรือส่งของสายอากาศ หรือรูปแบบของการรับสัญญาณของสายอากาศ จะทำได้โดยการวัดสัญญาณความถี่ที่ต้องการรับ ปริมาณของแรงที่รับได้จะขึ้นกับรูปร่างกลม ในกรณีของสายอากาศเครื่องรับเราทำได้โดยการวัดสัญญาณที่รับโดยสายอากาศ ด้วยการจูนมิเตอร์วัดสัญญาณให้ตรงกับความถี่ที่ส่งมา แล้วทำการหมุนสายอากาศไปโดยรอบ เพื่อดูว่าการวางสายอากาศในรูปใดจะได้สัญญาณมากที่สุด

### 2.6 สายอากาศแบบเฮลิคซ์ ( Helix )

ในสายอากาศแบบเฮลิคซ์โดยทั่วไปจะมีรูปแบบดังรูปที่ 2-22 คือประกอบด้วยขดลวดรูปเฮลิคซ์ซึ่งทำหน้าที่กระจายคลื่น และแผ่นสะท้อน การป้อนเพาเวอร์นั้นจะป้อนจากสายโคเอกเซียลจากทางด้านหลังของแผ่นสะท้อน โดยให้โลหะในต่อกับขดลวดรูปเฮลิคซ์และโลหะนอกต่อกับแผ่นสะท้อน



รูปที่ 2-22 แสดงโครงสร้างของสายอากาศเฮลิคซ์

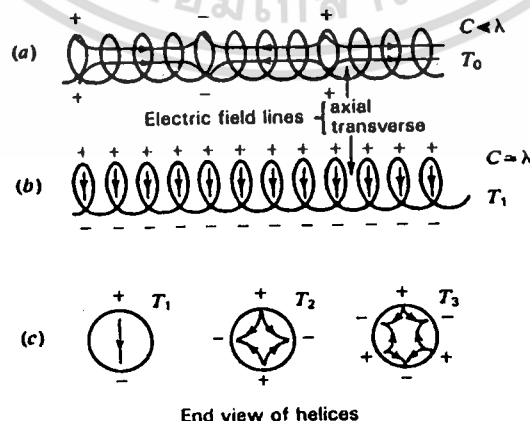
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศเฮลิคซ์ที่มีความยาวไม่จำกัดจะเป็นสายส่ง (Transmission Line) ที่สามารถรับจำนวนโหมด ได้อย่างไม่จำกัด แต่เฮลิคซ์นั้นมีความยาวจำกัด จำนวนโหมดก็จะถูกจำกัดไปด้วย แต่ในจำนวนโหมดทั้งหมดของเฮลิคซ์จะมีอยู่สองโหมดที่สำคัญคือ

1. โหมดแนวแกน (Axial Mode) ของการแพร่คลื่น โดยในโหมดนี้จะมีสนามสูงสุดในแนวแกนของเฮลิคซ์และมีโพลาริเซชันเป็นแบบวงกลมหรือเกือบกลม ในโหมดนี้จัดได้ว่ามีความสำคัญอย่างมากและจะเกิดขึ้นได้เมื่อเส้นรอบวงของเฮลิคซ์มีค่าประมาณเท่ากับความยาวคลื่น และมีข้อดีคือสามารถใช้ได้ในช่วงความถี่กว้างพอสมควร
2. โหมดตั้งฉาก (Normal Mode) ของการแพร่คลื่น โดยจะมีสนามสูงสุดในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนของเฮลิคซ์และภายใต้เงื่อนไขเฉพาะเราจะได้สนามที่แพร่ออกมาถูกโพลาริเซชันแบบวงกลม โดยในโหมดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อขนาดของเฮลิคซ์มีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น ดังนั้นจะมีประสิทธิภาพไม่สูงและใช้เป็นแบบช่วงกว้างไม่ได้

### 2.6.1 โหมดการส่งสัญญาณของเฮลิคซ์ (Transmission Modes of Helices)

ในเรื่อง "Transmission Mode" จะใช้เพื่ออธิบายถึงลักษณะการกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปตามเฮลิคซ์ที่ยาวไม่จำกัดว่ามีลักษณะการแพร่ของคลื่นเป็นอย่างไรใด Transmission Mode ในโหมดต่ำสุด เฮลิคซ์จะมีบริเวณของประจุบวกและลบติดกันโดยบริเวณของประจุบวกและลบจะถูกแยกออกจากกันโดยจำนวนรอบทั้งหลายของเฮลิคซ์ดังรูป 2-22 ในโหมดนี้มีชื่อเรียกกันว่าโหมด  $T_0$  โดยจะเกิดขึ้นเมื่อความยาวของเฮลิคซ์ ( $L$ ) 1 รอบเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นแล้วมีค่าน้อยกว่ามากตัวอย่างเช่น  $L \ll \lambda$  ดังรูป 2-23



รูปที่ 2-23 แสดงการกระจายของประจุในสายอากาศแบบเฮลิคซ์ในโหมดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

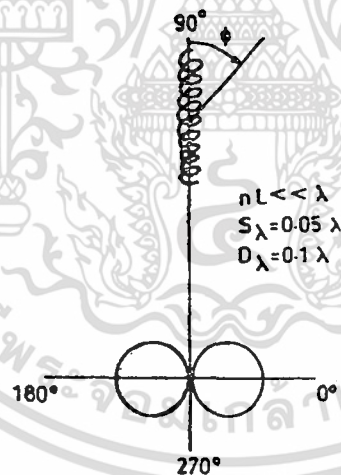
เมื่อความยาวของเส้นรอบวงมีค่าประมาณ  $1\lambda$  ( $\lambda$  ใน Free-Space) เราจะเรียกว่า Transmission Mode อันดับที่หนึ่ง (โหมด  $T_1$ ) ของเฮลิคซ์ ซึ่งจะมีลักษณะบริเวณของประจุบวกและลบห่างกันประมาณ  $n$  รอบดังรูป 2-23 (b) ในโหมดอันดับสูงๆ ขึ้นไปอีกจะมีลักษณะการกระจายของประจุดังรูป 2-24 (c)

### 2.6.2 โหมดการแผ่คลื่นของเฮลิคซ์ (Radiation Modes of Helices)

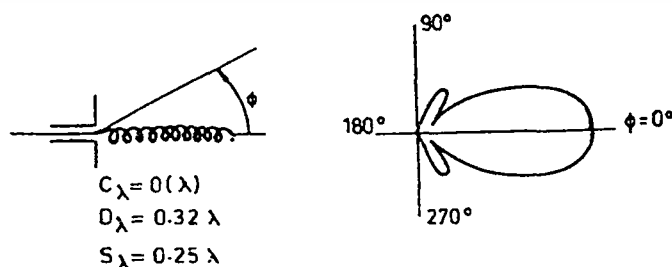
สำหรับเฮลิคซ์สั้นๆ ( $nL \ll \lambda$ ) กระจายจะสมมุติ ว่ามีขนาดเดียวและมีเฟสเหมือนกันทั้งเฮลิคซ์ และอาจจะสมมุติว่าคลื่นกำลังแพร่อยู่ในโหมด  $T_0$  ดังนั้นจะมีสนามสูงสุดในทิศทางตั้งฉากกับแกนดังรูป 2-24 (a) ซึ่งรูปแบบการแผ่คลื่นในลักษณะนี้เราจะเรียกว่า "Normal Radiation Mode" ( $R_0$  mode)

ในโหมด  $T_1$  (เกิดเมื่อเส้นรอบวง  $C_\lambda$  มีค่าประมาณ  $1\lambda$ ) ซึ่งมีการแผ่คลื่นมากที่สุดในทิศทางตามแนวแกนดังรูป 2-24 (b) ซึ่งโดยปกติจะเรียกว่า "Helical Beam Antenna"

รูป 2-24(c) แสดงให้เห็นถึงรูปแบบของเฮลิคซ์ขนาดใหญ่ที่มีจำนวนโวลจจำนวนมา

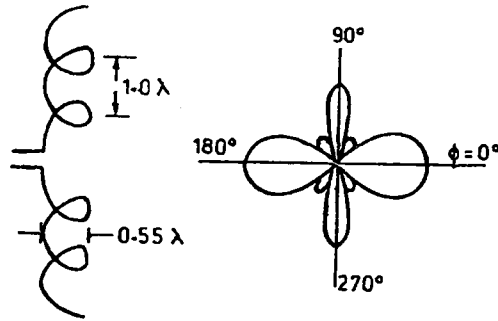


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 2-24 แสดงแพตเทิร์นของคลื่นที่ออกมาของเฮลิคซ์

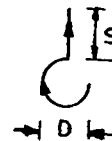
- (ก) โหมดตั้งฉาก
- (ข) โหมดแนวแกน
- (ค) แพตเทิร์นแบบหลายโลบ

2.6.3 การแพร่คลื่นของเฮลิคซ์ขนาดเล็กในโหมดการแพร่คลื่นในแนวตั้งฉาก

เมื่อมุมพิทช์เป็นศูนย์องศา เฮลิคซ์จะกลายเป็นสายอากาศแบบลูป และเมื่อมุมพิทช์เป็น 90 องศา เฮลิคซ์จะถูกยืดออกเป็นสายอากาศแบบเส้นตรง เฮลิคซ์อาจจะพิจารณาไว้ว่าประกอบไปด้วยจำนวนของลูปเล็กๆ และได้โพลสั้นๆ ต่ออนุกรมกันอยู่ดังรูป 2-25(ก) โดยเส้นผ่านศูนย์กลาง D ของลูปจะเหมือนกับเส้นผ่าศูนย์กลางของเฮลิคซ์และความยาวของไดโพลก็เหมือนกับระยะห่างระหว่างรอบ ซึ่งการสมมุติแบบนี้จะใช้ได้ดีสำหรับเฮลิคซ์เล็กๆ โดยกระแสจะถูกสมมุติว่ามีขนาดเดียวและมีเฟสเหมือนกันตลอดความยาวของเฮลิคซ์ สำหรับเฮลิคซ์ขนาดเล็กๆ สนามระยะไกล (Far-Field) จะไม่ขึ้นอยู่กับการจำนวนรอบ ดังนั้นถ้านำลูปอันเดียวต่ออนุกรมกับไดโพลสั้นๆ ดังรูป 2-27(ข) ก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดรูปแบบของสนามระยะไกล (Far-Field Pattern)



(ก) Several turns



(ข) Single turn

เอกสารนี้เป็นรูปที่ 2-25 แสดงการปรับปรุงสายอากาศเฮลิคซ์ ขนาดเล็กในโหมดธรรมดา เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยเทคโนโลยีและการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามระยะไกลของรูปเล็กของรูป 2-25(ข) โดยมีองค์ประกอบของ  $E_\phi$  ซึ่งกำหนดโดย

$$E_\phi = \frac{120\pi^2 [I] \sin \theta}{r} \frac{A}{\lambda^2}$$

โดยมีพื้นที่ของรูปคือ  $A = \pi D^2/4$  และไดโพลสั้นที่มีความยาว  $S$  ที่สนามระยะไกลมี องค์ประกอบของ  $E_\theta$  กำหนดโดย

$$E_\theta = j \frac{60\pi [I] \sin \theta}{r} \frac{S}{\lambda}$$

เราจะเห็นได้ว่า  $E_\phi$  และ  $E_\theta$  ในสมการข้างต้นจะมีเฟสต่างกันอยู่ 90 องศา อัตราส่วนของขนาด  $E_\phi$  และ  $E_\theta$  กำหนดโดย

$$AR = \frac{|E_\theta|}{|E_\phi|} = \frac{S\lambda}{2\pi A} = \frac{2S\lambda}{\pi^2 D^2}$$

โดย AR คืออัตราส่วนแกน (Axial Ratio) ของโพลาริเซชันแบบวงรี โดยถ้า  $E_\theta = 0$  โพลาริเซชันแบบวงรีจะเป็นเส้นในแนวตั้ง ( $E_\theta = 0$  หมายถึงโพลาริเซชันในแนวตั้ง) และเฮลิคซ์จะกลายเป็นไดโพลแนวตั้ง แต่ถ้า  $E_\phi = 0$  จะหมายถึงมีการโพลาริเซชันแบบวงรีจะกลายเป็นแบบวงกลม (โพลาริเซชันแบบวงกลม) ดังนั้นการแปรวังสของคลื่นจะถูกโพลาริเซชันแบบวงกลมเมื่อ

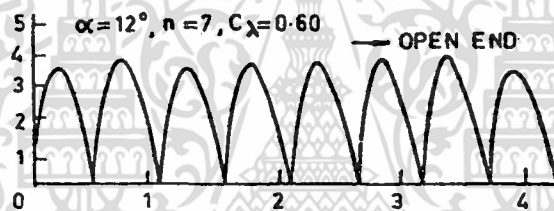
$$\pi D = \sqrt{2S\lambda} \quad \text{หรือ} \quad C_\lambda = \sqrt{2S_\lambda}$$

ซึ่งโดยทั่วไปแล้วคลื่นที่ออกมาจะถูกโพลาริเซชันแบบวงรี

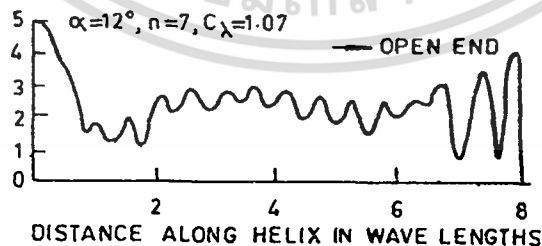
#### 2.6.4 การวัดการกระจายของกระแสบนเฮลิคซ์ (Measured Current Distribution on Helix)

เมื่อ  $C_\lambda < 2/3$  จะมีการกระจายกระแสในลักษณะที่ค่อนข้างจะเป็นรูปช้ายัด ดังรูป 2-26(ก) ถ้า  $C_\lambda$  ประมาณหนึ่ง การกระจายของกระแสจะเป็นดังรูป 2-26(ข) และเฮลิคซ์จะแปรคลื่นออกมาในโหมดแนวแกน (ในรูป 2-26(ก) นั้นเกิดจากการกระจายของกระแสมีสาเหตุมาจากเอกซารันเป็นเอกซารันที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเสริมและหักล้างกันของคลื่น 2 คลื่นที่มีทิศทางตรงข้ามกันโดยคลื่นทั้งสองเป็นคลื่นในโหมด  $T_1$  และมีขนาดเกือบจะเท่ากัน) ในรูป 2-26(ข) อาจจะสามารถคิดว่าคลื่นที่เดินทางออกไป มี 2 คลื่นที่มีความเร็วต่างกัน โดยคลื่นหนึ่งอยู่ในโหมด  $T_0$  ซึ่งคลื่นนี้จะถูกลดทอนให้อ่อนลงและอีกคลื่นหนึ่งคือคลื่นในโหมด  $T_1$  ซึ่งเป็นคลื่นที่คงที่และคลื่นที่มีขนาดเล็กลงที่สะท้อนกลับมากจะมีความเร็วแตกต่างกันจะคลื่นที่ถูกส่งออกไป โดยคลื่นในโหมด  $T_0$  ถูกลดทอนขณะที่ในคลื่นในโหมด  $T_1$  มีค่าคงที่ ในบริเวณตรงกลางของเฮลิคซ์ค่าคงที่สัมพันธ์ของคลื่นในโหมด  $T_1$  เท่านั้นที่จะถูกพิจารณา ถ้าเฮลิคซ์มีความยาวคลื่น  $T_0$  สามารถที่จะไม่นำมาคิดได้ และรูปแบบของการแพร่คลื่นสามารถคำนวณได้จากพื้นฐานของคลื่นเดียว (คลื่น  $T_1$  ที่ออกไปและมีแอมพลิจูดคงที่)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2-26 แสดงการวัดการกระจายของกระแสบนเฮลิคซ์

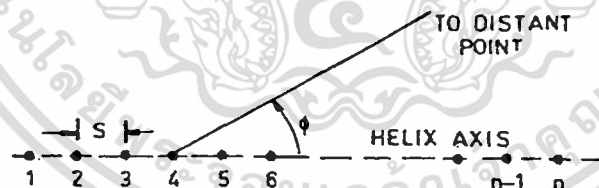
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.5 อิมพีแดนซ์ที่จุดปลายของเฮลิคซ์ (Terminal Impedance of Helix)

เมื่อ อิมพีแดนซ์  $C_{\lambda} < 2/3$  ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดปลายของที่วัดได้จะมีความไวต่อความถี่อย่างมาก เมื่อ  $3/4 < C_{\lambda} < 4/3$  เฮลิคซ์จะให้คลื่นออกมาในโหมดแนวแกน อิมพีแดนซ์ที่จุดปลายค่อนข้างจะคงที่ เนื่องจากเป็นฟังก์ชันของความถี่ โดยมีเงื่อนไขว่า มุมพิทช์และจำนวนรอบจะต้องไม่น้อยเกินไป (ใช้เป็นสายอากาศของโทรทัศน์ได้)

### 2.6.6 แพตเทิร์นการแพร่คลื่นของเฮลิคซ์ในโหมดแนวแกน และความเร็วเฟสของคลื่นที่มาจากการเคลื่อนที่บนเฮลิคซ์

เพื่อให้ได้มาซึ่งรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศแบบเฮลิคซ์ในโหมดแนวแกน อาจจะสามารถได้ว่า มีคลื่นที่กำลังเดินทางอยู่คลื่นเดียวและมีแอมพลิจูดที่สม่ำเสมอกำลังเคลื่อนที่ไปตามสายอากาศแบบเฮลิคซ์นั้น จากการใช้ทฤษฎีการทวีคูณของแพตเทิร์นจะพบว่า รูปแบบของคลื่นที่แพร่ออกมาของเฮลิคซ์ (เป็นแพตเทิร์นแบบทวีคูณ) เกิดมาจากแพตเทิร์นของรูป 1 รอบกับแพตเทิร์นของอาร์เรย์แบบแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิกแบบจุด จำนวน  $n$  จุด ดังรูป 2-27 โดย  $n$  คือจำนวนรอบระหว่างระหว่างแหล่งกำเนิดคือ ระหว่างระหว่างรอบของเฮลิคซ์ โดยในแพตเทิร์นของอาร์เรย์จะมีความแหลมมากกว่า แพตเทิร์นของเฮลิคซ์ที่มีเพียงรอบเดียว (ดังนั้นรูปแบบของ แพตเทิร์นของสนามระยะไกลโดยรวมจะมีความถูกต้องพอสมควร)



รูปที่ 2-27 แสดงการแทนสายอากาศเฮลิคซ์ด้วยแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุดชนิด ไอโซทรอปิกโดยเรียงต่อกันเป็นอาร์เรย์

อาร์เรย์แฟคเตอร์ (array factor)  $E$  ของอาร์เรย์แบบแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิกแบบจุดจำนวน  $n$  จุด ถูกกำหนดโดย

$$E = \frac{\sin(n\psi/2)}{\sin(\psi/2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย  $\psi = S_r \cos\phi + \delta$

โดย  $S_r = 2\pi S / \lambda = 2\pi S_\lambda$  ,

$$\delta = -2\pi L_\lambda / p ,$$

$p = v / c$  (ความเร็วเฟสสัมพัทธ์ของการแพร่คลื่นไปตามเฮลิคซ์)

$v$  คือ ความเร็วเฟสตามเฮลิคซ์ และ

$c$  คือ ความเร็วแสงใน free space

คลื่นที่ถูกแพร่ออกมาจะอยู่ในโหมดแนวแกนถ้าสนามจากแหล่งกำเนิดทั้งหมดมีเฟสตรงกัน  
ที่จุดบนแกนเฮลิคซ์ ( $\phi = 0^\circ$ ) หรือเงื่อนไขเอนไฟล์ (end-fire) พื้นฐานที่ต้องการคือ

$$\psi = -2\pi m$$

เมื่อ  $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

เครื่องหมายลบในสมการเกิดขึ้นเนื่องจากความจริงที่ว่าเฟสของแหล่งกำเนิดที่สองถูก  
หน่วงเวลาทำให้เฟสเลื่อนออกไป  $2\pi L_\lambda / p$  เมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดที่ 1 ในลักษณะเดียวกันแหล่ง  
กำเนิดที่ 3 ก็ถูกเลื่อนออกไปด้วยจำนวนเดียวกัน จากแหล่งกำเนิดสอง เป็นต้น ให้  $\phi$  เป็น  $0^\circ$  และ  
จะได้

$$L_\lambda / p = S_\lambda + m$$

โดยถ้า  $m=1$  และ  $p=1$  จะได้

$$L_\lambda - S_\lambda = 1 \text{ หรือ } L - S = \lambda$$

สมการนี้เป็นความสัมพันธ์โดยประมาณระหว่าง  $L$  กับ  $S$  เมื่อเฮลิคซ์ให้คลื่นในโหมดแนว  
แกนแต่อย่างไรก็ตาม  $L_2 = \pi_2 D_2 + S_2$  ดังนั้นสามารถเขียนได้ใหม่ในรูป

$$D = \frac{\sqrt{2S_\lambda + 1}}{\pi}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$C_\lambda = \sqrt{2S_\lambda + 1}$$

นำ  $C_\lambda$  มาจุดลงบนเส้นโค้งในรูป 2-28 โดยเส้นโค้งนี้กำหนดให้เป็นลิมิตบนสุด (upper limit) โดยประมาณของบริเวณโหมดแนวแกนหรือโหมดบีม (beam mode) ซึ่งอธิบายการทำงานของเฮลิคซ์ในโหมด  $T_m$  เมื่อ  $m=2$  ก็ จะกลายเป็น

$$L_\lambda = S_\lambda + 2$$

หรือ

$$C_\lambda = 2\sqrt{S_\lambda + 1}$$

ซึ่งสมการข้างบนนี้ยังคงแสดงให้เห็นว่าเส้นโค้งในรูป 2-27 และสอดคล้องกับโหมด  $T_2$  ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า  $m$  นี้จะสอดคล้องกับลำดับของโหมดการ transmission บนเฮลิคซ์ที่กำลังให้คลื่นที่มีสนามสูงสุดในแนวแกน ดดยมีกรณีที่สำคัญที่สุดคือ  $m=1$

แต่ถ้า  $m=0$  ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ใช้ไม่ได้นอกเสียจากว่า  $P>1$  เนื่องจาก  $m=0$  และ  $p=1$  จะได้  $L=S$  ซึ่งจะเกิดได้เมื่อเฮลิคซ์กลายเป็นเส้นตรงซึ่งสนามของคลื่นในทิศทางแกนของสายอากาศแบบเส้นตรงจะเป็นศูนย์ ดังนั้นจะไม่สามารถมีสนามได้เมื่อ  $m=0$

$$p = L_\lambda / (S_\lambda + 1)$$

จากสามเหลี่ยมในรูป 2-22 จะได้

$$p = \frac{1}{\sin \alpha + (\cos \alpha / C_\lambda)}$$

สมการที่กล่าวมาให้ความสัมพันธ์ระหว่าง  $p=v/c$  และขนาดของเฮลิคซ์เพื่อให้สนามมีเฟสตรงกันในทิศทางแนวแกน รูป 2-28 แสดงให้เห็นว่า  $p$  เป็นฟังก์ชันของ  $C_\lambda$  เมื่อค่าของ  $\alpha$  ต่างกัน เส้นโค้งของ  $p$  และ แสดงให้เห็นว่าในเฮลิคซ์ที่กำลังให้คลื่นในโหมดแนวแกน เราอาจจะคิดว่า  $p$  มีค่าน้อยกว่า 1 หรือคิดได้ว่า  $v$  น้อยกว่า  $c$

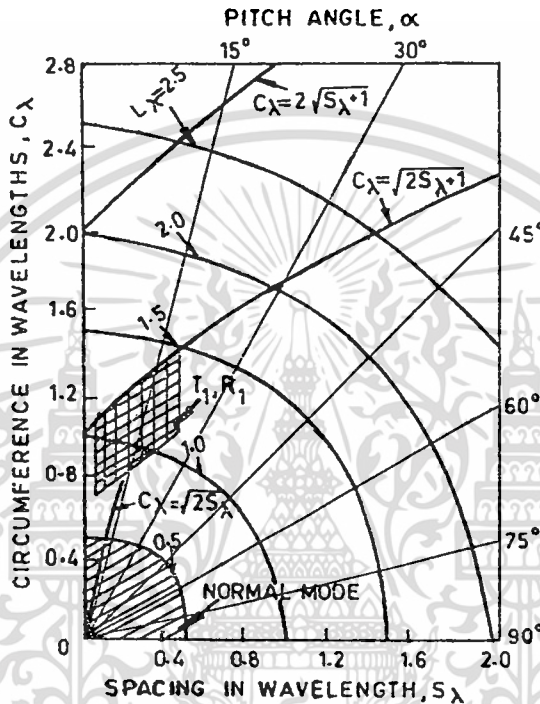
ถ้าเราใช้เงื่อนไขของ Hansen และ Woodyard เพื่อให้ directivity เพิ่มขึ้นเราจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\psi = -(2\pi m + \pi/n)$$

จะได้

$$p = \frac{L_\lambda}{S_\lambda + m + (1/2n)}$$



รูปที่ 2-28 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบวงกับระยะห่างของเฮลิคซ์ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการทำงานในโหมดต่างๆ

เมื่อ  $m=1$

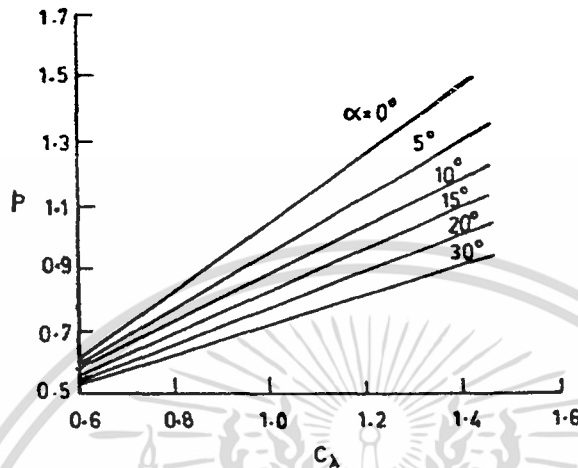
$$p = \frac{L_\lambda}{S_\lambda + (2n + 1) / 2n}$$

สำหรับค่า  $n$  ที่มีค่ามากๆ สามารถเขียนได้ใหม่คือ

$$p = \frac{L_\lambda}{\sin \alpha + [(2n + 1) / 2n][\cos \alpha / C_\lambda]}$$

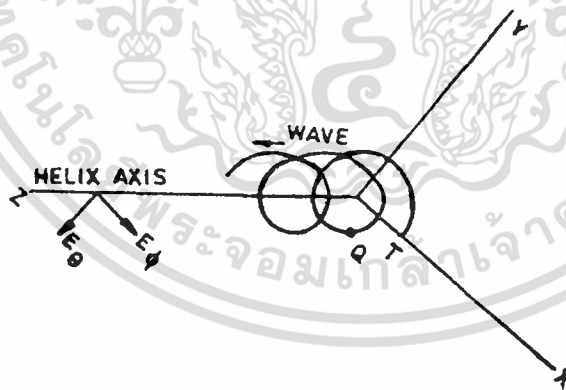
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่าเงื่อนไขความสามารถในการชี้ทิศที่เพิ่มขึ้นนั้นถูกประมาณว่าเป็นเงื่อนไขธรรมชาติบนการแพร่เฮลิคซ์ในโหมดแนวแกน



รูปที่ 2-29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $p$  กับ  $C_\lambda$  เมื่อค่า  $\alpha$  ต่างๆกัน

2.6.7 อัตราส่วนแกนและเงื่อนไขสำหรับการไหลโรเซชันแบบวงกลมสำหรับเฮลิคซ์ที่มีการแพร่คลื่นในโหมดแนวแกน

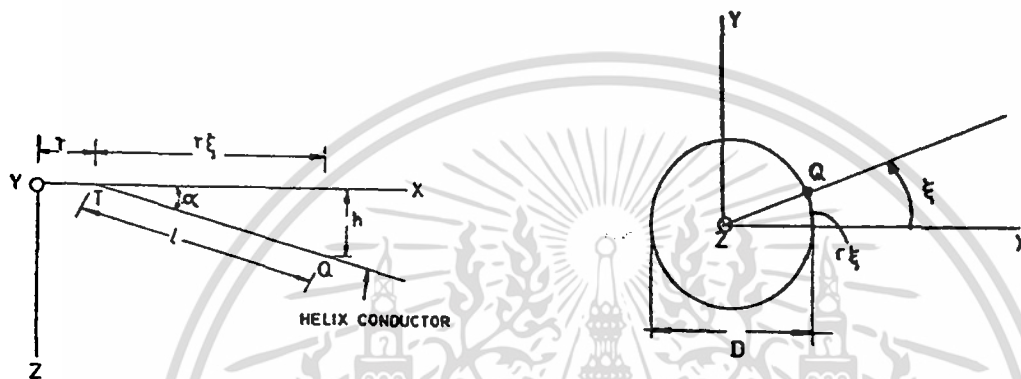


รูปที่ 2-30 แสดง axial ratio ของสนามที่แผ่ออกมาในทิศทางของแกนเฮลิคซ์ตามที่กำหนดให้และจะมีการตรวจสอบเงื่อนไขของการ polarize แบบวงกลม

องค์ประกอบสนามไฟฟ้า  $E_0$  และ  $E_\phi$  ที่จุดที่ไกลออกไปบนแกนจะถูกกำหนดขึ้น โดยสมมติว่าคลื่นที่เดินทางอยู่มีความสม่ำเสมอเพียงที่ในเฮลิคซ์และให้  $p$  เป็นความเร็วเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพันธ์ให้  $D$  เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของเฮลิคซ์ และ  $S$  เป็นระยะห่างระหว่างรอบ ถ้าเฮลิคซ์ไม่ถูกม้วนในระนาบ  $x-z$  plane เราจะได้รูป 2-31 และ 2-32 ซึ่งแสดงให้เห็นเฮลิคซ์ซึ่งมองมาจากจุดบน



รูปที่ 2-31 แสดงเฮลิคซ์ที่ยังไม่ได้ม้วน รูปที่ 2-32 แสดงเฮลิคซ์เมื่อมองในทิศทางแกน z ในทิศบวก

แกน  $z$  มุม  $\xi$  ถูกวัดจากระนาบ  $x-z$  จุด  $Q$  ของเฮลิคซ์เป็นจุด Coordinate ซึ่งกำหนดได้ โดย  $r, \xi, z$  และระยะทางจากจุดปลาย  $T$  ของมันคือ  $l$  ซึ่งถูกวัดไปตามเฮลิคซ์ จากรูป 2-31 และ 2-32 เราจะได้

$$h = l \sin \alpha, Z_p - h = Z_p - l \sin \alpha$$

$$\alpha = \tan^{-1} S / \pi D = \cos^{-1}(r\xi / l)$$

$$r\xi = l \cos \alpha$$

โดยที่  $Z_p$  คือ Coordinate ของ  $z$  ของจุดที่ห่างออกไปบนแกน  $z$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบ  $E_\phi$  ของสนามไฟฟ้าที่จุด  $p$  ของเฮลิคซ์ที่มีจำนวน  $n$  รอบคือ

$$E_\phi = E_0 \int_0^{2\pi n} \sin \xi \exp\{j\omega\{t - (Z_p/c) + (l \sin \alpha/c) - (l/pc)\}\} d\xi$$

โดยที่  $E_0$  คือค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับขนาดของกระแสบนเฮลิคซ์

$$\frac{l \sin \alpha}{c} - \frac{l}{pc} = \frac{r\xi}{c} \left( \tan \alpha - \frac{1}{p \cos \alpha} \right) = \frac{r\xi q}{c}$$

โดยที่

$$q = \tan \alpha - 1/p \cos \alpha$$

ลดรูปได้เป็น

$$E_\phi = E_0 \exp\{j(\omega t - \beta Z_p)\} \int_0^{2\pi n} \sin \xi \exp(jk\xi) d\xi$$

โดยที่

$$\beta = \omega/c = 2\pi/\lambda$$

และ

$$k = \beta r q = L\lambda (\sin \alpha - 1/p)$$

เมื่ออินทิเกรตแล้วจะได้

$$E_\phi = \frac{E_0 \exp\{j(\omega t - \beta Z_p)\}}{(k^2 - 1)} (\exp(j2\pi n k) - 1)$$

ในลักษณะเดียวกันสูตรของ  $E_\theta$  องค์ประกอบ  $\theta$  ของสนามไฟฟ้าคือ

$$E_\theta = E_0 \int_0^{2\pi n} \cos \xi \exp\{j\omega\{t - \frac{Z_p}{c} + \frac{l \sin \alpha}{c} - \frac{1}{pc}\}\} d\xi$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งลดรูปได้คือ

$$E_\theta = \frac{jE_{1k}}{(k^2 - 1)}(\exp(j2\pi mk) - 1)$$

สนามจะถูกโพลาไรซ์แบบวงกลมที่จุดบนแกน z ถ้า

$$\frac{E_\phi}{E_\theta} = \pm j$$

หรือ

$$\frac{E_\phi}{E_\theta} = \frac{1}{jk} = \frac{-j}{k}$$

หรือ

$$k = \pm 1$$

Axial Ratio AR ถูกกำหนดโดย

$$AR = \frac{|E_\phi|}{|E_\theta|} = \frac{|1|}{|jk|} = \frac{1}{k}$$

และจะได้

$$AR = 1 / |L_\lambda(\sin \alpha - 1/p)|$$

เมื่อ  $k=-1$  สำหรับ Circular Polarization ให้

$$L_\lambda(\sin \alpha - 1/p) = -1$$

จะได้  $p$  คือ

$$p = L_\lambda / (S_\lambda + 1)$$

ซึ่งเป็นเงื่อนไขของ Ordinary End-Fire

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

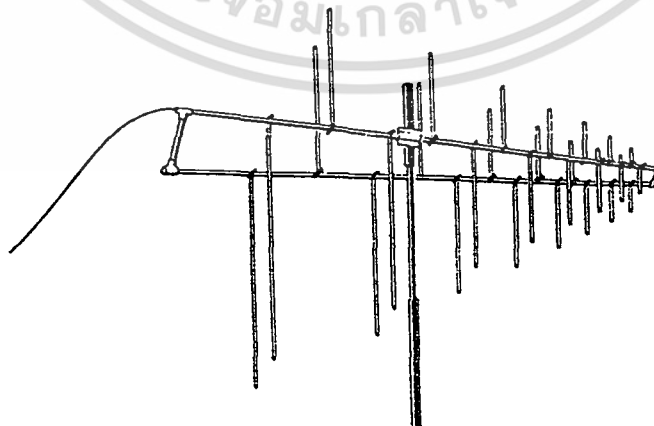
การใช้เงื่อนไขสำหรับความสามารถในการชี้ทิศที่เพิ่มขึ้นจะเห็นได้ว่า

$$AR = 2n + 1 / 2n$$

ถ้า  $n$  มีค่ามากๆ  $AR$  จะประมาณเป็น 1 และ Polarization จะเป็นแบบวงกลม

## 2.7 สายอากาศแบบลอกเพอริโอดิกไดโพล (LPDA)

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับสายอากาศแบบยาก็คือ เมื่อเพิ่มจำนวนชิ้นส่วน (Element) แล้วอัตราขยายจะสูงขึ้นแต่ช่วงกว้างของความถี่จะไม่เพิ่มขึ้นหรือบางครั้งก็ลดลงดังนั้นจึงเกิดสายอากาศแบบลอกเพอริโอดิกขึ้นในการแก้ปัญหาช่วงกว้างของความถี่นั้นกระทำโดยใช้หลักมุมเท่ากัน (Equiangular Principle) คือรูปร่างของสายอากาศขึ้นกับมุมจะไม่ขึ้นกับความถี่สายอากาศแบบลอกเพอริโอดิกไดโพลเป็นที่นิยมออกแบบสำหรับทีวีและเอฟเอ็ม ทิศทางของการกระจายคลื่นจะมีทิศทางไปยังยอดของมุมแหลมเมื่อใช้เป็นสายอากาศส่ง ความถี่ของสายอากาศแบบนี้จะถูกจำกัดโดยไดโพลตัวนอกสุดที่ยาวที่สุด คือยาว  $(\lambda/2)(492/f)$  ไดโพลตัวถัดไปจะมีความยาวสัมพันธ์กับไดโพลตัวที่ยาวที่สุดอย่างสเกลลอกๆ ไดโพลทั้งหมดจะถูกป้อนสัญญาณ (Feed) ที่จุดกึ่งกลางของแต่ละตัวเพื่อให้มุมแตกต่างกัน 180 องศา ชิ้นส่วนตัวที่ยาวที่สุดจะมีกระแสมากที่สุด เมื่อความถี่มากขึ้น ชิ้น (Element) กลางจะมีกระแสมากที่สุดและที่ความถี่สูงสุดชิ้นที่สั้นที่สุด ซึ่งสามารถออกแบบให้ใช้งานในช่วงความถี่อัตราส่วนของความถี่มากที่สุดต่อความถี่น้อยสุดเป็น 2:1 หรือมากกว่า สายอากาศแบบลอกๆ ที่ดีสามารถออกแบบให้ใช้งานได้ตั้งแต่ย่านความถี่แบนด์คลื่นสั้นจนถึงย่านยูเอชเอฟ รูปที่ 2-33 แสดงสายอากาศแบบลอกเพอริโอดิกไดโพลซึ่งประกอบด้วยไดโพลที่ความถี่ความยาวและระยะห่างแตกต่างกันและมีตัวป้อนสัญญาณทุกชิ้น (Element)



รูปที่ 2-33 แสดงสายอากาศชนิดลอกเพอริโอดิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.1 ลักษณะโดยทั่วไปของสายอากาศแบบลอกเพอริออดิก LPDA

สายอากาศแบบลอกๆ มีข้อดีหลายประการ เช่น อัตราขยายสูงอินพุทอิมพีแดนซ์สามารถคำนวณตามที่ต้องการได้ อัตราส่วนโลปหน้าต่อโลปหลัง (Front-to-Back) สูงความกว้างของช่วงความถี่กว้าง ซึ่งค่าเหล่านี้เปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อความถี่ของการทำงานเปลี่ยนไป (ซึ่งจะแตกต่างกับสายอากาศแบบอื่นๆ เมื่อความถี่รีโซแนนซ์เปลี่ยนไปจะทำให้ SWR เพิ่มขึ้น) โดยค่าที่กล่าวมานี้มีความสัมพันธ์กันอย่างสเกลลือกเป็นส่วนใหญ่

### 2.7.2 ตัวย่อและความหมายในสายอากาศแบบลอกเพอริออดิก

- $B$  = ช่วงกว้างของความถี่ของการใช้งาน (Operating Bandwidth)
- $B_s$  = ช่วงกว้างของความถี่สำหรับโครงสร้าง (Bandwidth for Structure)
- $B_{ar}$  = ช่วงกว้างของความถี่ของบริเวณแอ็กทีฟ (Bandwidth of the Active Region)
- $\tau$  = ตัวคงที่ในการออกแบบ (Design Constant)
- $\sigma$  = ตัวคงที่ระยะห่างสัมพันธ์ (Relative Spacing Constant)
- $\sigma_{opt}$  = ค่ามากที่สุดของ  $\sigma$  (Optimum Value for  $\sigma$ )
- $\alpha$  = มุมที่มีค่าครึ่งหนึ่งของมุมยอด (Apex Half-Angle)
- $Z_0$  = ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวพีดเดอร์ของสายอากาศ (Antenna-Feeder Impedance)
- $R_0$  = ค่าเฉลี่ยความต้านทานของการกระจายคลื่น (The Mean Radiation Resistance Level)
- $Z_a$  = ค่าเฉลี่ยอิมพีแดนซ์ประจำของไดโพล (Average Characteristic Impedance of a Dipole)
- $\sigma'$  = ค่าระยะห่างเฉลี่ย (Mean Spacing Factor)
- $f_l$  = ความถี่ต่ำสุดของการใช้งาน (Lowest Frequency , MHz)
- $f_h$  = ความถี่สูงสุดของการใช้งาน (Highest Frequency , MHz)
- $l$  = ความยาวของไดโพล (Element Length)
- $d$  = ระยะห่างระหว่างไดโพล (Element Spacing)

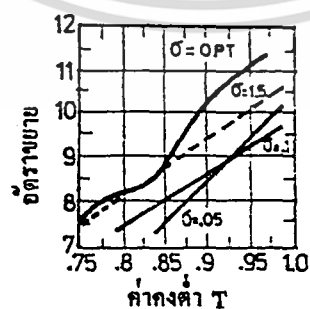
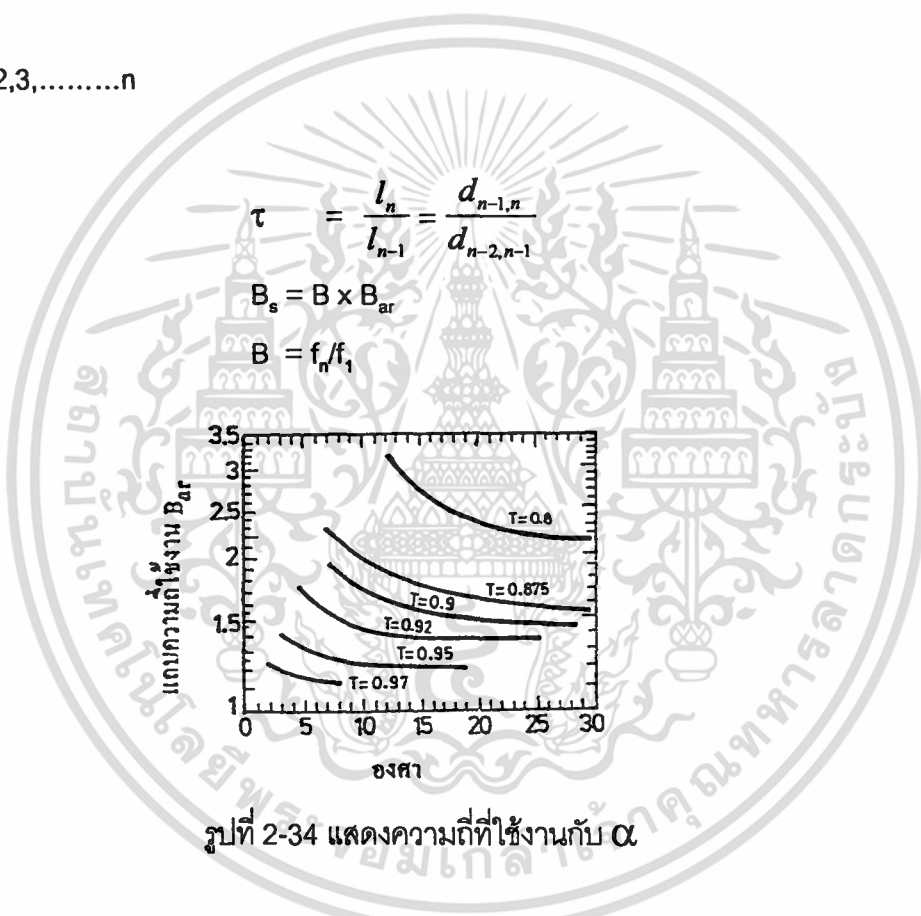
ความสัมพันธ์ระหว่างความยาว ความถี่ และระยะห่างจะแสดงในรูปสมการดังต่อไปนี้

$$f_n = f_1 / \tau^{n-1}$$

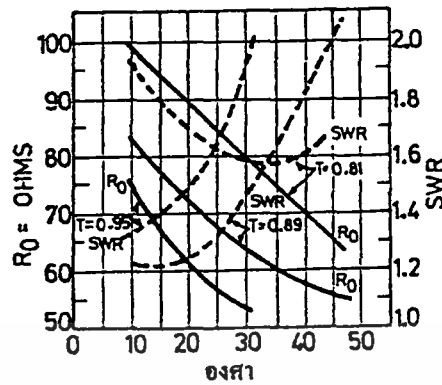
$$l_n = \tau l_{n-1}$$

$$d_{n-1,n} = \tau d_{n-2,n-1}$$

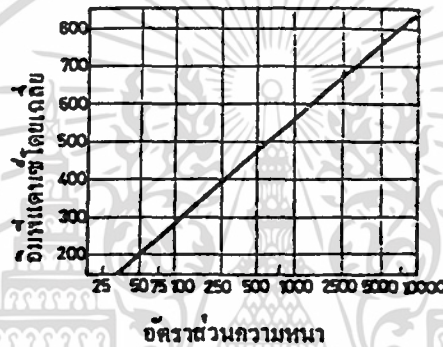
เมื่อ  $n = 1, 2, 3, \dots, n$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-36 แสดงเอทพีหุทอิมพีแดนซ์กับ  $\alpha$



รูปที่ 2-37 แสดงอิมพีแดนซ์โดยเฉลี่ยกับอัตราส่วน  $h/a$

$B_{ar}$  จะแปรกับ  $\tau$  และ  $\alpha$  ดังแสดงในรูปที่ 2-34 อัตราขยายของ LPDA หาโดย  $\tau$  และ  $\sigma_{opt}$  จะเกิดขึ้นในช่วงของ  $\tau$  ระหว่าง  $0.8 < \tau < 1.0$  ซึ่งจะให้ค่าอัตราขยายมากที่สุด ในการเพิ่มอัตราขยายทำได้โดยใช้  $\sigma_{opt}$  และ  $\tau$  ใกล้เคียง 1.0 (เช่น 0.98) ซึ่งจะเป็น 3 dBi เมื่อเทียบกับค่าน้อยที่สุด ( $= 0.05$ ) และ  $\tau = 0.9$  ดังแสดงในรูป 2-35

การเพิ่ม  $\tau$  หมายถึงการเพิ่มจำนวนขึ้นมากขึ้น และถ้าใช้  $\sigma_{opt}$  จะทำให้มุมยาวขึ้น ที่อัตราขยายสูง (8.5dBi) LPDA ที่แบนด์ ความถี่สูง (HF) โดยใช้  $\tau = 0.9$  และ  $\sigma = 0.05$  ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\tau, \sigma$  คือ

$$\sigma = \frac{1}{4} (1-\tau) \cot\alpha$$

$$\sigma = \frac{d_{n-1,n}}{2l_{n-1}}$$

$$\sigma_{opt} = 0.258-0.066$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้อนสัญญาณจากสายอากาศ ตัวไดรเวนแต่ละตัวจะมีเฟส 180° ซึ่งกันและกันกระทำทางปฏิบัติโดยต่อสลับขั้วดังแสดงในรูป

$$Z_0 = \frac{R_0^2}{8\sigma Z_a} + R_0 \frac{R_0^2}{8\sigma Z_a} + 1$$

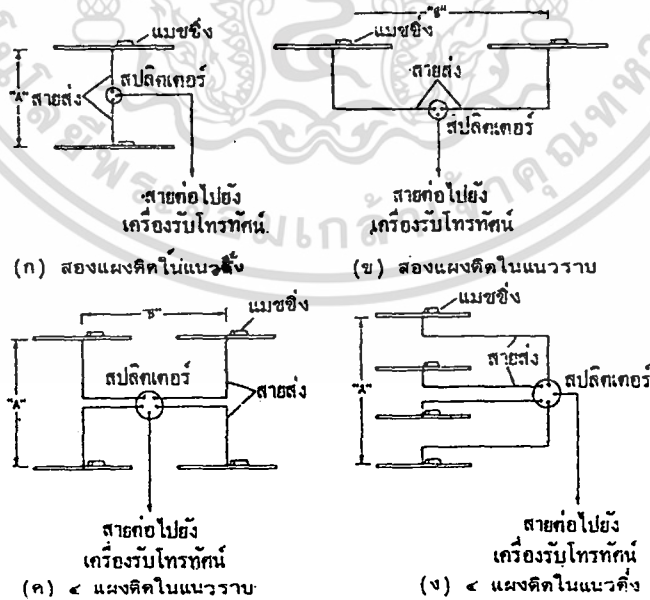
$$Z_a = 120 \left( \ln \frac{h}{a} - 2.55 \right)$$

$$\sigma = \frac{\sigma}{\sqrt{\epsilon}}$$

$$Z_1 = \lambda_{max} / 8$$

2.8 สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในการรับ

ปกติสัญญาณรบกวนย่อมปะปนเข้าไปด้วยเสมอแต่เรามักจะไม่รู้สึกรังนี้เพราะสัญญาณที่ต้องการเมื่อเทียบกับสัญญาณรบกวนแล้วมีขนาดแตกต่างกันมาก ส่วนในพื้นที่ที่สัญญาณอ่อนสัญญาณเมื่อเทียบกับสัญญาณรบกวนแล้ว จะเห็นได้ชัดว่าสัญญาณรบกวนมีโอกาสเข้ามารบกวนได้มาก อัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน หรือ signal to noise ratio ถ้าค่าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงก็แสดงว่าการรับภาพหรือเสียงได้ดี



รูปที่ 2-38 แสดงการนำสายอากาศชนิดเดียวกันหลายแผงมาต่อรวมกันให้รับสัญญาณได้แรงขึ้น

การต่อในลักษณะรวมกันในแนวราบหรือแนวตั้งก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

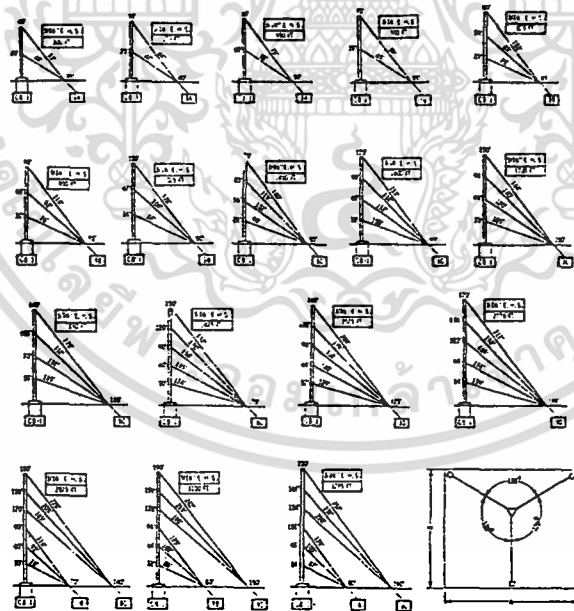
**2.9 ข้อพิจารณาในการเลือกเสาติดตั้งสายอากาศ**

เสาสำหรับติดตั้งสายอากาศมีมากมายหลายชนิด สิ่งที่สำคัญในการเลือกชนิดของเสา มีหลายประการ เช่น ความสูงของสายอากาศ น้ำหนัก การติดตั้ง นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงหลักเศรษฐศาสตร์คือการประหยัดนั่นเอง

โครงสร้างของเสาที่นิยมกันมากในกรณีที่ต้องต้อขึ้นไปสูงมากๆ มักจะเป็นโครงเหล็ก ซึ่งโครงสร้างนี้ได้มีการคำนวณไว้อย่างดีแล้วโดยการทำเป็นท่อนๆ ท่อนละ 10 ฟุต และสามารถต้อขึ้นไปได้อีกให้ยาวมากๆได้

นอกจากนี้จะต้องทราบวิธีการโยงลวดยึดสายให้มั่นคง ลวดที่ใช้ควรเป็นลวดจำพวกที่เรียกว่า ลวดสลิง และจะต้องทนทานต่อการเกิดสนิม

ระยะทางและความยาวตลอดจนการจับยึด จะขึ้นอยู่กับความสูงของเสา



**รูปที่ 2-39 แสดงการใช้ลวดยึดเสาให้มั่นคง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หมายเหตุ

1. ระยะทาง ที่แสดงที่เสาเทียบกับพื้นดิน
2. ลวดที่ใช้โยงควรเป็นลวดเหนียวหรือสลิง
3. มาตรฐานที่ใช้นี้เป็นมาตรฐานของ E.I.A.

## 2.10 อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมในระบบสายอากาศ

### 2.10.1 เครื่องขยายสัญญาณหรือบูสเตอร์

ในกรณีที่สัญญาณรับได้จากสายอากาศมีค่าน้อยมาก ไม่พอเพียงที่จะป้อนเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ ให้ทำงานได้ตามปกติ สามารถแก้ไขได้โดยการใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณจากสายอากาศให้มีขนาดใหญ่ขึ้นก่อน แล้วจึงทำการป้อนเข้ากับเครื่องรับโทรทัศน์ เรียกว่า เครื่องขยายสัญญาณหรือบูสเตอร์ (Booster)

ตัววงจรขยายสัญญาณก็เหมือนกับวงจรขยายสัญญาณอื่นทั่วไป ผิดกันแต่เพียงว่าวงจรขยาย ต้องให้อัตราขยายที่ความถี่สูงได้และจะต้องให้สัญญาณรบกวนต่ำ เครื่องขยายสัญญาณนี้ควรจะต้องติดตั้งให้ใกล้กับสายอากาศมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่จะเกิดขึ้นที่สาย

หลักใหญ่สี่ประการในการเลือกบูสเตอร์ คือ

1. ความถี่ของสัญญาณที่ต้องการขยาย และจำนวนช่องที่เครื่องรับที่ต้องการขยายสัญญาณ
2. ระดับของสัญญาณที่อินพุตของบูสเตอร์
3. อัตราขยายของบูสเตอร์
4. คุณภาพของสัญญาณหลังจากที่ขยายโดยบูสเตอร์แล้ว (สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น)

นอกจากนี้สิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมคือ อิมพีแดนซ์ของบูสเตอร์ ซึ่งจำต้องแมทซ์ซิ่งกับอิมพีแดนซ์ของสายและตัวสายอากาศ

### 2.10.2 บาลัน (หม้อแปลงที่ใช้สำหรับแมทซ์ซิ่ง)

ในการส่งสัญญาณจากสายอากาศมายังเครื่องรับ ย่อมต้องมีการแมทซ์ซิ่ง อุปกรณ์ที่ใช้ในการแมทซ์ซิ่งได้ดี และนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ หม้อแปลง เนื่องจากง่ายต่อการใช้ สะดวกต่อการติดตั้ง และยังมีราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.10.3 สปลิตเตอร์ คัปเปิลเลอร์ และมิกเซอร์

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แมทซ์ซิ่ง เช่นเดียวกับบาลัน แต่ทำหน้าที่อื่นนอกเหนือจากบาลันอีก อุปกรณ์เหล่านี้มีชื่อว่า สปลิตเตอร์ (Splitter) คัปเปิลเลอร์ (Coupler) และมิกเซอร์ (Mixer)

### 2.10.4 ตัวบั่นทอนสัญญาณ (Attenuator)

ในกรณีที่เครื่องรับอยู่ใกล้สถานีส่ง จะทำให้สัญญาณจากสถานีนั้นแรงมากกว่าปกติ เป็นผลทำให้เกิดการเพี้ยนในเครื่องรับได้ง่าย ต้องหาอุปกรณ์ ในการชวยบั่นทอนสัญญาณ เพื่อให้อยู่ในระดับที่พอเหมาะกะกับเครื่องรับ

## 2.11 หลักในการติดตั้งเสาอากาศ

1. ติดตั้งสายอากาศในบริเวณที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง เช่น ต้นไม้ ตึก เป็นต้น
2. ตัวเสาอากาศจะเป็นส่วนสูงสุดในอาคารนั้น จึงต้องคำนึงเรื่องเกี่ยวกับฟ้าผ่า ในบางกรณีทีสายอากาศไม่สูงมากนักเราอาจจะไม่ต้องใช้เครื่องป้องกันฟ้าผ่าได้
3. สายที่ใช้จากสายอากาศถึงเครื่องรับควรสั้นที่สุด ในกรณีที่มีสายเหลืออย่าม้วนกองไว้หลังเครื่องรับ
4. หลีกเลียงการติดต่อสาย
5. อย่าร้อยสายผ่านท่อโลหะ หรือคอนกรีต
6. อย่าให้สายเดินชิดกำแพงหรือส่วนที่เป็นโลหะ ควรใช้ตัวจับสายแล้วบิดสายหนึ่งรอบต่อความยาวสาย 1 ฟุต
7. ต้องให้แน่ใจว่าตัวสายอากาศอยู่ในแนวระดับขนานกับพื้น
8. ทุส่วนของเสาต้องตั้งได้ฉาก 90° กับพื้น
9. ต้องแน่ใจว่าตัวเสาอากาศอยู่ในทิศทางของการรับ

### บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

#### 3.1 การออกแบบและสร้างสายอากาศแบบ เฮลิคัล (Helical Antenna)

##### 3.1.1 การสร้างและการทดสอบ

1. หาขนาดความยาวของเส้นลวดลวดม้วนม้วนโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง  $\frac{1}{4}$  นิ้ว คำนวณโดยใช้สูตรต่าง ๆ ดังนี้

$$C = \pi D$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left\{ \frac{S}{\pi D} \right\}$$

$$L = \{ S^2 + (\pi D)^2 \}^{1/2}$$

$$A = nS$$

จากการวิเคราะห์ พบว่าถ้าต้องการใช้สายอากาศแบบเฮลิคัลนั้นทำงานในลักษณะคลื่นโพลาไรเซชันวงกลมในแนวแกนของเฮลิคัล จะต้องออกแบบให้เส้นรอบวงของเฮลิคัล มุมพิทช์ และจำนวนรอบมีค่าดังนี้

$$3/4 \leq C/\lambda \leq 4/3$$

$$12 \leq \alpha \leq 15$$

$$n > 3$$

ในการออกแบบนี้จะใช้  $n = 4, 6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อได้ค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ก็สามารถคำนวณหาความยาวของเส้นลวดนิยามที่ใช้ได้
3. ตัดลวดนิยามจากข้อ 2 ให้มีลักษณะเป็นขดลวดสปริง โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามที่ได้คำนวณได้
4. กลึงเหล็กตันเพื่อทำเป็นตัวยึดเฮลิคซ์และแผ่นสะท้อน
5. Feed สายอากาศออกจากแกนของเฮลิคซ์และแผ่นสะท้อน



รูปที่ 3-1 แสดงรายละเอียดของสายอากาศแบบเฮลิคซ์

### 3.1.2 Field Test

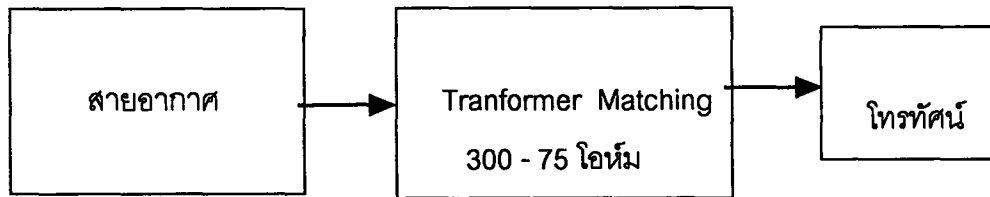
1. หาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ จากการคำนวณทางทฤษฎีพบว่าจะได้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ดังนี้

$$\text{จากสูตร} \quad Z = 140 C/\lambda$$

$$\approx 300 \text{ โอห์ม}$$

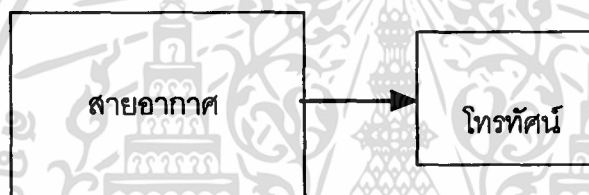
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทดสอบอิมพีแดนซ์ที่ Feed Point เท่ากับ 300 โอห์ม วัดจากสายอากาศดังรูป



รูปที่ 3-2 แสดงการวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 300 โอห์มของสายอากาศแบบเฮลิคซ์

3. ทดสอบอิมพีแดนซ์ที่ Feed Point เท่ากับ 75 โอห์ม วัดจากสายอากาศดังรูป



รูปที่ 3-3 แสดงการวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 75 โอห์มของสายอากาศแบบเฮลิคซ์

สังเกตความคมชัดของสัญญาณในแต่ละช่อง

### 3.2 การวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศแบบลวดเพอริออดิก

#### 3.2.1 การวิเคราะห์

- 1) เลือกความกว้างของความถี่ที่ต้องการใช้งานตามที่ต้องการ ระหว่างความถี่ต่ำสุดและความถี่สูงสุด
- 2) เลือก  $\tau$  และ  $\sigma$  เพื่อให้ได้อัตราขยายตามที่ต้องการโดยค่า  $\tau$  และ  $\sigma$  ที่เหมาะสมควรเป็น

$$0.8 < \tau < 0.98$$

$$0.9 < \sigma < \sigma_{op}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) หาค่ามุม  $\alpha$  จากสูตร
- 4) หาค่า  $B_{ar}$  โดยใช้  $\alpha$  และ  $\tau$  จากข้อ 2
- 5) คำนวณค่า  $B_s$
- 6) คำนวณความยาวของบวม ,  $L$  , จำนวนของไดโพล  $N$  และความยาวของไดโพลตัวที่ยาวที่สุดจากสูตร

$$L = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cot \alpha \lambda_{\max}$$

$$N = 1 + \frac{\log_{10} B_s}{\log_{10} \frac{1}{\tau}}$$

$$l_1 = \frac{492}{f_1} \text{ เมื่อ } \lambda_{\max} = \frac{984}{f_1}$$

ดูว่าความยาว  $L, N, l_1$  เป็นค่าที่เหมาะสมกับความต้องการของเราหรือไม่ ถ้าความยาวของบวมยาวเกินไป เพิ่มมุม  $\alpha$  ที่ละ 5 องศาและคำนวณซ้ำจากข้อ 2-6

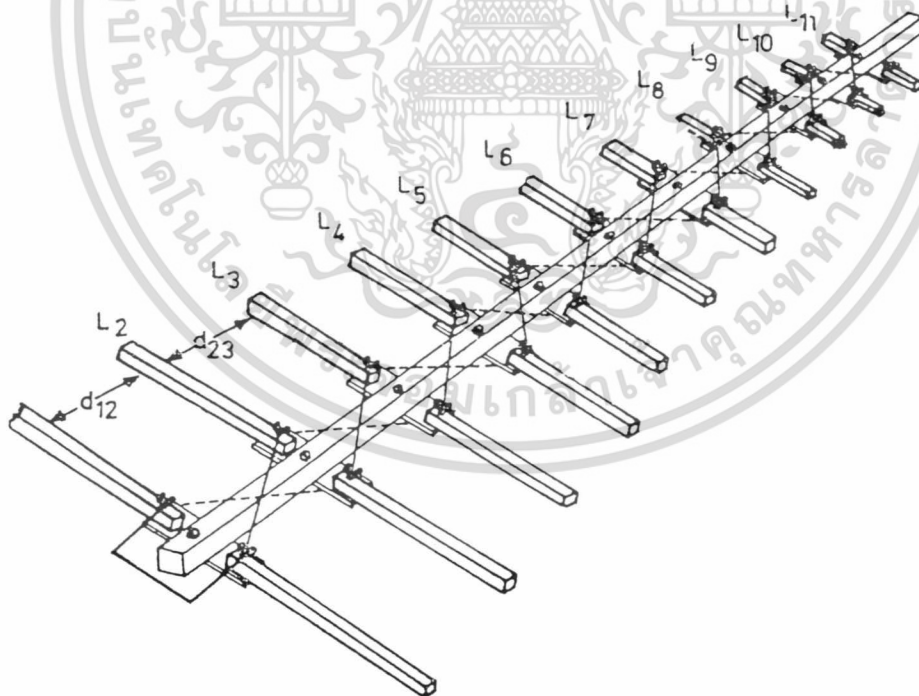
- 7) หาค่าสัด  $Z_r$  ที่ความถี่แบนด์ 3-30 MHz ปิดวงจรถั่ว ไดรเวนท์ยาวที่สุดด้วยเส้นลวดยาว 6 นิ้วทำเป็นวงจรถั่ว สำหรับความถี่วีเอชเอฟและยูเอชเอฟ คำนวณจาก  $Z_r = \lambda_{\max}/8$
- 8) ในที่สุดค่า  $\tau$  และ  $\sigma$  ก็จะได้ตามที่ต้องการ คำนวณ  $Z_0$  จากสมการที่ 9 เพื่อที่จะได้ทราบว่าเราต้องใช้บอดในการแมทชิ่งซึ่งเท่าไร โดยหาค่า  $R_0$  และหาค่า  $Z_u$  ค่า  $h/a$  ต้องเลือกความยาวครึ่งหนึ่งของไดโพล ( $h$  เป็นความยาวของครึ่งหนึ่งของไดโพล  $a$  เป็นรัศมีของตัวนำ) ที่ความถี่ตรงกลางของแบนด์ได้ใกล้เคียง  $\lambda/4$
- 9) คำนวณค่าความยาวของ ไดโพลตัวที่เหลือ
- 10) คำนวณค่าระยะห่างระหว่างไดโพลแต่ละตัวจากสูตร

$$d_{12} = \frac{1}{2} (l_1 - l_2) \cot \alpha$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $d_{12}$  เป็นระยะห่างระหว่างไดโพลตัวที่ยาวที่สุดกับไดโพลตัวถัดไปแล้ว คำนวณระยะห่างของไดโพลตัวที่เหลือจากสูตร

- 11) นำ สูตรต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศแบบลอกเพอริออดิก มาทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรม EXCEL
- 12) เริ่มใช้โปรแกรมในการคำนวณ แต่ในการคำนวณพบว่า ทางด้านความถี่ล่าง จะมีปัญหาจึงทำการวิเคราะห์ความถี่ล่างตั้งแต่ 50 - 140 MHz
- 13) จากผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม EXCEL จะใช้ความถี่ล่างที่ 120 MHz
- 14) ตัดเส้นลวดอลูมิเนียม (element) ให้ได้ตามความยาวและจำนวนที่คำนวณได้
- 15) ใช้ท่ออลูมิเนียมสี่เหลี่ยมขนาด  $\frac{3}{4}$  นิ้วเป็นแกนกลางในการยึดทุก ๆ อิลิเมนต์
- 16) ในการยึดอิลิเมนต์แต่ละอิลิเมนต์จะใช้ตัวรัดในการยึด
- 17) ต่อสายสัญญาณออกจากจุด Feed



รูปที่ 3-4 แสดงรายละเอียดของสายอากาศแบบลอกเพอริออดิกที่พัฒนาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-1 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบลอกเพอริออดิกที่มีความถี่  
ล่าง 50MHz

Lowest frequency	50.00 MHz
Highest frequency	950.00 MHz
Tau (Sigma)	0.80
Feeder Z	60.00 ohm
Boom Dia.	15.00 mm
Distance of Boom halves	29.95 mm
Gain Approx.	8.3 dBi

Element	metric dimesions		Dist. fr. From Boom end	
	Length	Half	Prev. el	
18	3.000	1.500		0.750
17	2.400	1.200	0.860	1.610
16	1.920	0.960	0.688	2.299
15	1.536	0.768	0.551	2.849
14	1.229	0.614	0.441	3.290
13	0.983	0.492	0.352	3.642
12	0.786	0.393	0.282	3.924
11	0.629	0.315	0.226	4.150
10	0.503	0.252	0.180	4.330
9	0.403	0.201	0.144	4.475
8	0.322	0.161	0.115	4.590
7	0.258	0.129	0.092	4.682
6	0.206	0.103	0.074	4.756
5	0.165	0.082	0.059	4.815
4	0.132	0.066	0.047	4.863
3	0.106	0.053	0.038	4.901
2	0.084	0.042	0.030	4.931
1	0.068	0.034	0.024	4.955
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000

El. material tot.	14.58 m
Total boom length	4.86 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-2 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบลอกเพอริออดิกที่มีความถี่  
ล่าง 60MHz

Lowest frequency	60.00 MHz
Highest frequency	950.00 MHz
Tau (Sigma)	0.80
Feeder Z	60.00 ohm
Boom Dia.	15.00 mm
Distance of Boom halves	29.95 mm
Gain Approx.	8.3 dBi

Element	metric dimesions		Dist. fr. From Boom end	
	Length	Half	Prev. el	
17	2.500	1.250	0.625	
16	2.000	1.000	0.717	1.342
15	1.600	0.800	0.574	1.916
14	1.280	0.640	0.459	2.374
13	1.024	0.512	0.367	2.742
12	0.819	0.410	0.294	3.035
11	0.655	0.328	0.235	3.270
10	0.524	0.262	0.188	3.458
9	0.419	0.210	0.150	3.609
8	0.336	0.168	0.120	3.729
7	0.268	0.134	0.096	3.825
6	0.215	0.107	0.077	3.902
5	0.172	0.086	0.062	3.964
4	0.137	0.069	0.049	4.013
3	0.110	0.055	0.039	4.052
2	0.088	0.044	0.032	4.084
1	0.070	0.035	0.025	4.109
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000

El. material tot.	12.15 m
Total boom length	4.05 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-3 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบลอคเพอริออดิกที่มีความถี่  
ล่าง 70MHz

Lowest frequency	70.00 MHz
Highest frequency	950.00 MHz
Tau (Sigma)	0.80
Feeder Z	60.00 ohm
Boom Dia.	15.00 mm
Distance of Boom halves	29.95 mm
Gain Appox.	8.3 dBi

Element	metric dimesions		Dist. fr. From Boom end	
	Length	Half	Prev. el	
16	2.143	1.071		0.536
15	1.714	0.857	0.615	1.150
14	1.371	0.686	0.492	1.642
13	1.097	0.549	0.393	2.035
12	0.878	0.439	0.315	2.350
11	0.702	0.351	0.252	2.602
10	0.562	0.281	0.201	2.803
9	0.449	0.225	0.161	2.964
8	0.360	0.180	0.129	3.093
7	0.288	0.144	0.103	3.196
6	0.230	0.115	0.082	3.279
5	0.184	0.092	0.066	3.345
4	0.147	0.074	0.053	3.397
3	0.118	0.059	0.042	3.440
2	0.094	0.047	0.034	3.473
1	0.075	0.038	0.027	3.500
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000

El. material tot.	10.41 m
Total boom length	3.47 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-4 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบลอกเพอริออดิกที่มีความถี่  
ล่าง 80MHz

Lowest frequency	80.00 MHz
Highest frequency	950.00 MHz
Tau	0.80
(Sigma)	
Feeder Z	60.00 ohm
Boom Dia.	15.00 mm
Distance of Boom halves	29.95 mm
Gain Approx.	8.3 dBi

Element	metric dimensions		Dist. fr. From Boom end	
	Length	Half	prev. el	
16	1.875	0.938		0.469
15	1.500	0.750	0.538	1.007
14	1.200	0.600	0.430	1.437
13	0.960	0.480	0.344	1.781
12	0.768	0.384	0.275	2.056
11	0.614	0.307	0.220	2.276
10	0.492	0.246	0.176	2.453
9	0.393	0.197	0.141	2.594
8	0.315	0.157	0.113	2.706
7	0.252	0.126	0.090	2.797
6	0.201	0.101	0.072	2.869
5	0.161	0.081	0.058	2.927
4	0.129	0.064	0.046	2.973
3	0.103	0.052	0.037	3.010
2	0.082	0.041	0.030	3.039
1	0.066	0.033	0.024	3.063
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000

El. material tot.	9.11 m
Total boom length	3.04 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-5 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบลอกเพอริออดิกที่มีความถี่  
 ล่าง 90MHz

Lowest frequency	90.00 MHz
Highest frequency	950.00 MHz
Tau (Sigma)	0.80
Feeder Z	60.00 ohm
Boom Dia.	15.00 mm
Distance of Boom halves	29.95 mm
Gain Appox.	8.3 dBi

Element	metric dimesions		Dist. fr. From Boom end	
	Length	Half	prev. el	
15	1.667	0.833	0.417	
14	1.333	0.667	0.478	0.895
13	1.067	0.533	0.382	1.277
12	0.853	0.427	0.306	1.583
11	0.683	0.341	0.245	1.828
10	0.546	0.273	0.196	2.024
9	0.437	0.218	0.157	2.180
8	0.350	0.175	0.125	2.305
7	0.280	0.140	0.100	2.406
6	0.224	0.112	0.080	2.486
5	0.179	0.089	0.064	2.550
4	0.143	0.072	0.051	2.601
3	0.115	0.057	0.041	2.642
2	0.092	0.046	0.033	2.675
1	0.073	0.037	0.026	2.702
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000

El. material tot.	8.04 m
Total boom length	2.70 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-6 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบลอกเพอริออดิกที่มีความถี่  
ล่าง 100MHz

Lowest frequency	100.00 MHz
Highest frequency	950.00 MHz
Tau (Sigma)	0.80
Feeder Z	60.00 ohm
Boom Dia.	15.00 mm
Distance of Boom halves	29.95 mm
Gain Approx.	8.3 dBi

Element	metric dimesions		Dist. fr. From Boom end	
	Length	Half	prev. el	
15	1.500	0.750		0.375
14	1.200	0.600	0.430	0.805
13	0.960	0.480	0.344	1.149
12	0.768	0.384	0.275	1.425
11	0.614	0.307	0.220	1.645
10	0.492	0.246	0.176	1.821
9	0.393	0.197	0.141	1.962
8	0.315	0.157	0.113	2.075
7	0.252	0.126	0.090	2.165
6	0.201	0.101	0.072	2.237
5	0.161	0.081	0.058	2.295
4	0.129	0.064	0.046	2.341
3	0.103	0.052	0.037	2.378
2	0.082	0.041	0.030	2.408
1	0.066	0.033	0.024	2.431
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000

El. material tot.	7.24 m
Total boom length	2.43 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-7 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบลอคเพอริออดิกที่ความถี่  
ล่าง 110MHz

Lowest frequency	110.00 MHz
Highest frequency	950.00 MHz
Tau (Sigma)	0.80
Feeder Z	60.00 ohm
Boom Dia.	15.00 mm
Distance of Boom halves	29.95 mm
Gain Appox.	8.3 dBi

Element	metric dimesions		Dist. fr. From Boom end	
	Length	Half	prev. el	
14	1.364	0.682		0.341
13	1.091	0.545	0.391	0.732
12	0.873	0.436	0.313	1.045
11	0.698	0.349	0.250	1.295
10	0.559	0.279	0.200	1.495
9	0.447	0.223	0.160	1.656
8	0.357	0.179	0.128	1.784
7	0.286	0.143	0.103	1.886
6	0.229	0.114	0.082	1.968
5	0.183	0.092	0.066	2.034
4	0.146	0.073	0.052	2.086
3	0.117	0.059	0.042	2.128
2	0.094	0.047	0.034	2.162
1	0.075	0.037	0.027	2.189
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000

El. material tot.	6.52 m
Total boom length	2.19 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-8 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบลอคเพอริออดิกที่ความถี่  
ล่าง 120MHz

Lowest frequency	120.00 MHz
Highest frequency	950.00 MHz
Tau	0.80
(Sigma)	
Feeder Z	60.00 ohm
Boom Dia.	15.00 mm
Distance of Boom halves	29.95 mm
Gain Approx.	8.3 dBi

Element	metric dimensions		Dist. fr. From Boom end	
	Length	Half	prev. el	
14	1.250	0.625		0.313
13	1.000	0.500	0.359	0.671
12	0.800	0.400	0.287	0.958
11	0.640	0.320	0.229	1.187
10	0.512	0.256	0.184	1.371
9	0.410	0.205	0.147	1.518
8	0.328	0.164	0.117	1.635
7	0.262	0.131	0.094	1.729
6	0.210	0.105	0.075	1.804
5	0.168	0.084	0.060	1.864
4	0.134	0.067	0.048	1.913
3	0.107	0.054	0.038	1.951
2	0.086	0.043	0.031	1.982
1	0.069	0.034	0.025	2.006
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000

El. material tot.	5.98 m
Total boom length	2.01 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-9 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบลอกเพอริออดิกที่มีความถี่  
ล่าง 130MHz

Lowest frequency	130.00 MHz
Highest frequency	950.00 MHz
Tau (Sigma)	0.80
Feeder Z	60.00 ohm
Boom Dia.	15.00 mm
Distance of Boom halves	29.95 mm
Gain Appox.	8.3 dBi

Element	metric dimesions		Dist. fr. From Boom end	
	Length	Half	prev. el	
13	1.154	0.577		0.288
12	0.923	0.462	0.331	0.619
11	0.738	0.369	0.265	0.884
10	0.591	0.295	0.212	1.096
9	0.473	0.236	0.169	1.265
8	0.378	0.189	0.136	1.401
7	0.302	0.151	0.108	1.509
6	0.242	0.121	0.087	1.596
5	0.194	0.097	0.069	1.665
4	0.155	0.077	0.056	1.721
3	0.124	0.062	0.044	1.765
2	0.099	0.050	0.036	1.801
1	0.079	0.040	0.028	1.829
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000

El. material tot.	5.45 m
Total boom length	1.83 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-10 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบลอคเพอริออดิกที่มีความถี่  
ล่าง 140MHz

Lowest frequency	140.00 MHz
Highest frequency	950.00 MHz
Tau (Sigma)	0.80
Feeder Z	60.00 ohm
Boom Dia.	15.00 mm
Distance of Boom halves	29.95 mm
Gain Appox.	8.3 dBi

Element	metric dimesions		Dist. fr. From Boom end	
	Length	Half	prev. el	
13	1.071	0.536		0.268
12	0.857	0.429	0.307	0.575
11	0.686	0.343	0.246	0.821
10	0.549	0.274	0.197	1.018
9	0.439	0.219	0.157	1.175
8	0.351	0.176	0.126	1.301
7	0.281	0.140	0.101	1.402
6	0.225	0.112	0.081	1.482
5	0.180	0.090	0.064	1.547
4	0.144	0.072	0.052	1.598
3	0.115	0.058	0.041	1.639
2	0.092	0.046	0.033	1.672
1	0.074	0.037	0.026	1.699
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000

El. material tot.	5.06 m
Total boom length	1.70 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-11 แสดงการคำนวณและออกแบบสายอากาศแบบลอคเพอริออดิกที่มีความถี่  
ล่าง 150MHz

Lowest frequency	150.00 MHz
Highest frequency	950.00 MHz
Tau (Sigma)	0.80
Feeder Z	60.00 ohm
Boom Dia.	15.00 mm
Distance of Boom halves	29.95 mm
Gain Appox.	8.3 dBi

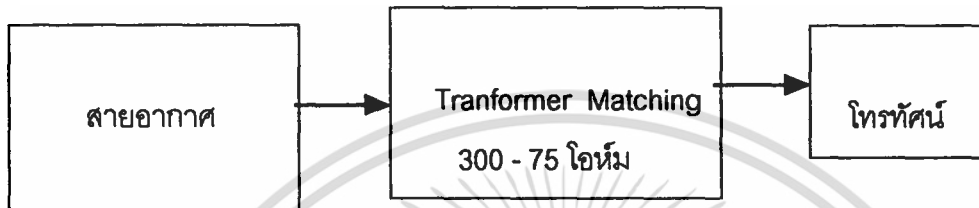
Element	metric dimesions		Dist. fr. From Boom end	
	Length	Half	prev. el	
13	1.000	0.500		0.250
12	0.800	0.400	0.287	0.537
11	0.640	0.320	0.229	0.766
10	0.512	0.256	0.184	0.950
9	0.410	0.205	0.147	1.097
8	0.328	0.164	0.117	1.214
7	0.262	0.131	0.094	1.308
6	0.210	0.105	0.075	1.383
5	0.168	0.084	0.060	1.443
4	0.134	0.067	0.048	1.492
3	0.107	0.054	0.038	1.530
2	0.086	0.043	0.031	1.561
1	0.069	0.034	0.025	1.585
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0.000	0.000	0.000	0.000

El. material tot.	4.73 m
Total boom length	1.59 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 Field Test

1. อิมพีแดนซ์ของสายอากาศจากทางทฤษฎีจะมีค่า เท่ากับ 300 โอห์ม
2. ทดสอบอิมพีแดนซ์ที่ Feed Point เท่ากับ 300 โอห์มวัดจากสายอากาศดังรูป



รูปที่ 3-5 แสดงการวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 300 โอห์ม ของสายอากาศแบบลอกเพอริออดิก

3. ทดสอบอิมพีแดนซ์ที่ Feed Point เท่ากับ 75 โอห์มวัดจากสายอากาศดังรูป



รูปที่ 3-6 แสดงการวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 75 โอห์ม ของสายอากาศแบบลอกเพอริออดิก

สังเกตความคมชัดของสัญญาณในแต่ละช่อง

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

จากการทดลองทางด้าน Field Test เป็นการหาอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเพื่อเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้และค่าที่ได้จากทางทฤษฎี โดยทำการทดลองที่บริเวณลานาดฟ้า หอสมุดรัตน์ เวลาประมาณ 10.00 - 18.00 น. และได้ผลการทดลองดังนี้

- สายอากาศแบบเฮลิคซ์



รูปที่ 4-1 ภาพแสดงสายอากาศแบบเฮลิคซ์ที่ประดิษฐ์ขึ้น

1. ทดลองหาอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเท่ากับ 300 โอห์ม โดยใช้สายอากาศทวินลิต ชนิด 300 โอห์ม จากสายอากาศต่อเข้า Transformer matching 300 - 75 โอห์มจากนั้นใช้สายนำสัญญาณแบบโคแอกเซียล RG -6 ชนิด 75 โอห์ม ต่อ จาก Transformer matching เข้าสู่เครื่องรับโทรทัศน์ พบว่าสัญญาณที่รับได้มีความคมชัด
2. ทดลองหาอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเท่ากับ 75 โอห์ม โดยใช้สายนำสัญญาณแบบโคแอกเซียล RG -6 ชนิด 75 โอห์ม ต่อเข้าโดยตรงจากสายอากาศเข้าสู่เครื่องรับโทรทัศน์ผลปรากฏว่าสัญญาณที่รับได้นั้นไม่คมชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สายอากาศแบบลอกเพอริออดิก



รูปที่ 4-2 ภาพแสดงสายอากาศแบบลอกเพอริออดิกที่ประดิษฐ์ขึ้น

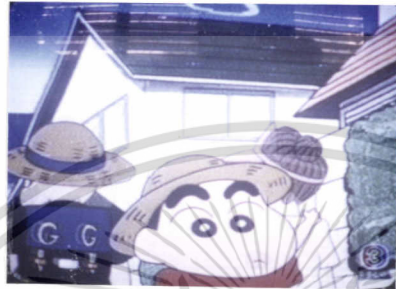
1. ทดลองหาอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเท่ากับ 300 โอห์ม โดยใช้สายอากาศทวินลีดชนิด 300 โอห์ม จากสายอากาศต่อเข้า Transformer matching 300 - 75 โอห์ม จากนั้นใช้สายนำสัญญาณแบบโคแอกเชียล RG -6 ชนิด 75 โอห์ม ต่อจาก Transformer matching เข้าสู่เครื่องรับโทรทัศน์ พบว่าสัญญาณที่รับได้มีความคมชัด
2. ทดลองหาอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเท่ากับ 75 โอห์ม โดยใช้สายนำสัญญาณแบบโคแอกเชียล RG -6 ชนิด 75 โอห์ม ต่อเข้าโดยตรงจากสายอากาศเข้าสู่เครื่องรับโทรทัศน์ ผลปรากฏว่าสัญญาณที่รับได้นั้นไม่คมชัด

ผลของการทดลองหาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศทั้ง 2 แบบเป็นไปตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการรับสัญญาณช่อง 3, 5, 7, 9, 11, ITV

- สายอากาศแบบเฮลิคอปเตอร์



(ก)



(ข)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค)



(ง)



(จ)



(ด)

รูปที่ 4-3 แสดงภาพที่ได้จากการรับสัญญาณ

(ก) ช่อง 3 (ข) ช่อง 5 (ค) ช่อง 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (ง) ช่อง 9 (จ) ช่อง 11 (ด) ช่อง ITV  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สายอากาศแบบลอกเพอริออดิก



(ก)



(ข)

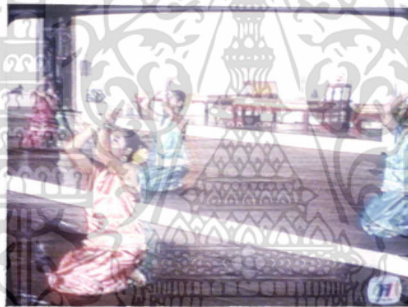


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค)



(ง)



(จ)



(ข)

รูปที่ 4-4 แสดงภาพที่ได้จากการรับสัญญาณ

(ก) ช่อง 3 (ข) ช่อง 5 (ค) ช่อง 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ(ง) ช่อง 9 (จ) ช่อง 11 (ข) ช่อง ITV อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา

สำหรับโครงการพิเศษนี้ การออกแบบและพัฒนาสายอากาศเฮลิคซ์และสายอากาศแบบ ลอกเพอริออดิกไดโพลที่เสร็จสมบูรณ์แล้วนั้น จะพบว่าได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติสามารถรับ สัญญาณโทรทัศน์ในย่านความถี่ VHF และ UHF ได้ ซึ่งในการ ตั้งสายอากาศเพื่อที่จะรับ สัญญาณนั้นจะต้องมีการหันทิศทางการของสายอากาศให้หันไปในทิศที่เหมาะสมที่จะสามารถรับ สัญญาณได้ ครอบคลุมทุกช่องสัญญาณโทรทัศน์ และนอกจากนั้นยังต้องมีการอาศัย Transformer matching ที่แปลงค่าอิมพีแดนซ์จาก 300 โอห์มที่สายอากาศให้เป็นอิมพีแดนซ์ค่า 75 โอห์ม เพื่อที่จะสามารถต่อเข้ากับสายโคแอกเซียลขนาด 75 โอห์ม แล้วทำให้รับสัญญาณ โทรทัศน์ได้อย่างคมชัดหรือเรียกว่ามีการแมทซ์กัน

ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาของโครงการนี้จะเพิ่มเติมในส่วนต่างๆมีดังนี้คือ

1. มีการต่ออุปกรณ์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพสัญญาณและลดสัญญาณรบกวน เช่น ตัวขยายสัญญาณ (บูสเตอร์) หรือ ตัวกรองความถี่
2. ในการทดสอบ Field Test ควรจะทดสอบที่บริเวณโล่งแจ้ง และตั้งสาย อากาศให้สูงพอสมควร
3. ถ้าต้องการให้สายอากาศแบบเฮลิคซ์และสายอากาศแบบลอกเพอริออดิกที่ ได้ผลิตและพัฒนาขึ้นนั้นสามารถรับสัญญาณเคเบิลทีวีได้ ก็เพียงแต่นำ วงจรรับสัญญาณคลื่น UHF มาต่อเพิ่มเข้าไปเท่านั้น

## บรรณานุกรม

1. รศ.เย็น ภู่วรรณ และ สุธี จันทรัตนวงศ์, **เทคนิคการออกแบบและติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์-เอฟเอ็ม**, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2532
2. รศ.ดร.บัณฑิต ใจนออารยานนท์, **วิศวกรรมสายอากาศ**, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537
3. D.C.Green , **RADIO SYSTEMS for Technicians**, Howard W.Sams&Co,Inc, 1985.
4. C.T. Tai , **A Study of EMF Method** , J.Appl.Phys.,Vol.20, pp 717-723, July,1949.
5. Matsch, Leander W.,Morgan,Derald J.,**Electromagnetic and Electromechanical Machines** ,Third Edition, John Wiley and son, Inc, 1989,788pp. ,1985
6. Ilvyd Temes, **Theory and Problems of Electronic Communications**, McGraw-Hill Book Com .,1986.
7. Karus and John D. , **Antennas** , 2<sup>nd</sup> ,McGraw-Hill, Inc. 1988
8. Constantine A. Balanis , **Antenna Theory : Analysis and Design** , Harper&Row, 1982.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้