สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สายอากาศและฟิลเตอร์ช่อง 6

Antenna And Filter Channel 6

T046553

นาย สาธิต ดามัน

นาย โอริสสา ชำนาญ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46553
วัน, เดือน, ปี 4 เม.ย. 2546

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANTENNA AND FILTER CHANNEL 6

MR. SATHIT DAMUN
MR. ORISSA CHUMNAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF THE TELECOMMUNICATIONS TECHNOLOGY
FACULTY OF THE ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบเสนอปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	สายอากาศและฟิลเตอร์ช่อง 6
นักศึกษา	**นาย สาธิต ดามัน รหัสประจำตัว 42015662**
	นายโอริสสา ชำนาญ รหัสประจำตัว 42015673
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	อ. สมภพ แก้วมีชัย
ระดับการศึกษา	ปริญญาอุตสหกรรมศาสตร์บัณฑิต
	สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม
ภาควิชา	เทคนิคอุตสหกรรม
ปีการศึกษา	2544

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

.....

(อาจารย์สมภพ แก้วมีชัย)

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	สายอากาศและฟิลเตอร์ช่อง 6
นักศึกษา	**นาย สาธิต คามัน รหัสประจำตัว 42015662**
	นายโอริสสา ชำนาญ รหัสประจำตัว 42015673
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	อ. สมภพ แก้วมีชัย
ระดับการศึกษา	ปริญญาอุตสหกรรมศาสตร์บัณฑิต
	สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม
ภาควิชา	เทคนิคอุตสหกรรม
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอ วิธีการนำเอาความถี่ 181-188 เม็กกะเฮิร์ท ซึ่งตรงกับช่อง 6 ของระบบโทรทัศน์ย่าน VHF มาใช้ประโยชน์ในการส่งสัญญาณกับเครื่องส่งขนาด 10 วัตต์โครงงานนี้ประกอบไปด้วย วงจรฟิลเตอร์ และสายอากาศยากิ-อุดะ ที่ออกแบบเฉพาะช่วงความถี่นี้

ส่วนของการทดสอบผล ต้องการให้ วงจรฟิลเตอร์ มีผลตอบสนองในช่วงความถี่ที่ต้องการ และสายอากาศ ต้องการให้ทางด้านส่งเกิดอัตราส่วนคลื่นนิ่งน้อยที่สุด โดยใช้ VSWR METER เป็นตัววัดคลื่นนิ่ง และทำให้ทางด้านรับสามารถรับสัญญาณได้สูงสุดโดยใช้เครื่องวัดความแรงสัญญาณเพื่อดูรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THESIS TITLE	**ANTENNA AND FILTER CHANNEL 6**
STUDENT	**Mr. Sathit Damun No. 42015662**
	Mr. Orissa Chumnan No. 42015673
ADVISOR	**Mr. Somphop Khaewmeechai**
COURSE	**Bachelor of Industrial Technology in Telecommunications**
DEPARTMENT	**Industrial Technology**
YEAR	**2001**

ABSTRACT

This thesis describes the mothod brought band 181-188 MHz of frequency that direct with channel 6 of televition system in band VHF come using advantage in transit signal with side 10 Watts of transmitter.This thesis consist of filter circuit and Yaki-Uda antenna that with design particular frequency band

Path of experimental result shown that with response in frequency band and antenna shown that with minimum standing wave ratio at the transmitter side will tend to obtain the maximum signal at the output of the receiver and the pattern of the signal radiation can be plotted by mean of filed strength meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานและปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีอันเนื่องมาจากความร่วมมือร่วมใจของคณะผู้จัดทำ โดยได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการดำเนินงานจากอาจารย์ สมภพ แก้วมีชัย รวมทั้งอาจารย์ท่านอื่นๆในภาควิชาเทคนิคอุตสหกรรมที่ได้ให้ความเอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรต่างๆ อีกทั้งต้องขอบคุณเพื่อนๆ 3U/1 ทุกๆคนที่ช่วยเหลือในหลายๆด้าน

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสาทวิชาความรู้ต่างๆจนกระทั่งสามารถทำโครงงานนี้จนสำเร็จลงได้

คณะผู้จัดทำ

10 ตุลาคม 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

1.1แนวความคิดในการทำปริญญานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์ 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.4 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ 2

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 ระบบการส่ง-รับโทรทัศน์ 3

2.2 สายนำสัญญาณ 5

2.3 คลื่นนิ่งที่เกิดขึ้นในสาย 7

2.4 สายอากาศ 11

2.5 คุณสมบัติทั่วไปของสายอากาศยากิ-อุดะไดโพล 23

2.6 การทดสอบสายอากาศ 26

2.7 วงจรฟิลเตอร์เฉพาะช่วงผ่าน (Bandpass filter) 27

บทที่ 3 การออกแบบและคำนวณสายอากาศและวงจรกรองความถี่

3.1 สายอากาศยากิ – อุดะไดโพล 35

3.2 วงจรฟิลเตอร์เฉพาะช่วงผ่าน (Bandpass filter) 40

บทที่ 4 การทดสอบสายอากาศและวงจรฟิลเตอร์

4.1 ผลการวัดคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศยากิอุดะไดโพล 42

4.2 การวัดคุณสมบัติของวงจรฟิลเตอร์ 44

4.3 การทดสอบโดยการรับส่งจริง 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงสายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน 5

รูปที่ 2.2 แสดงสายนำสัญญาณโคแอกเชียล 6

รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดคลื่นนิ่งบนสายนำสัญญาณ 8

รูปที่ 2.4 แสดงการกระจายแรงดันและกระแสบนสายนำสัญญาณยาว $\frac{\lambda}{4}$ ซึ่งมีโหลดเป็นวงจรปิด 11

รูปที่ 2.5 ไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ 12

รูปที่ 2.6 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดรอบๆ ฮาล์ฟเวฟไดโพล 13

รูปที่ 2.7 โพลาไรเซชั่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 14

รูปที่ 2.8 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศฮาล์เวฟไดโพลโดยมองบนระนาบแนวราบ 15

รูปที่ 2.9 แสดงการวัดความกว้างลำคลื่น (Beam width) ในรูปแบบการแพร่คลื่นค่า dBหรือ μV/m นรูปแบบการแพร่คลื่นที่แสดงไว้เป็นค่าสมมติเพื่อแสดงการเปรียบเทียบ 16

รูปที่ 2.10 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศฮาล์ฟเวฟไดโพลวางตัวในแนวราบ 19

รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศฮาล์ฟเวฟไดโพลวางตัวในแนวดิ่ง 19

รูปที่ 2.12 แสดงสายอากาศฟูลเวฟไดโพล 20

รูปที่ 2.13 สายอากาศไดโพลชนิด 1 ½ λ 21

รูปที่ 2.14 สายอากาศชนิดฮาล์ฟเวฟไดโพล(ใช้เป็นตัวถูกขับ)ต่อเรียงกับตัวพาราซิติกเป็นอาเรย์ 22

รูปที่2.15แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศยากิ แบบ 3 อีลีเมนท์ 23

รูปที่2.16 บล็อกไดอะแกรมการวัด VSWR 26

รูปที่2.17 การจัดรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น 27

รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะการทำงานของวงจรฟิลเตอร์แบบแบนด์กว้าง 28

รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะการทำงานของวงจรฟิลเตอร์แบบแบนด์แคบ 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.20 การแปลงแถบความถี่จากความถี่ต่ำผ่านเป็นความถี่ช่วงผ่าน 30

รูปที่ 2.21 การแปลงองค์ประกอบวงจรตามความถี่ต่ำผ่านไปเป็นความถี่ช่วงผ่าน 31

รูปที่ 2.22 แสดงวงจรฟิลเตอร์ คาปาซิตีฟคัปปลิ้ง 32

รูปที่ 2.23 แสดงวงจรทั่วไปของฟิลเตอร์ แบบ คาปาซิเตอร์ คัปปลิ้ง 32

รูปที่ 3.1 แสดงเดิร์ฟที่ใช้ออกแบบในการคำนวนความยาวแต่ละอีลีเมนท์ของสายอากาศยากิ ขณะที่ยังไม่ได้ชดเชย 37

รูปที่ 3.2 แสดงเส้นเดิร์ฟที่ใช้ชดเชยความยาวแต่ละอีลีเมนท์เนื่องจากขนาดของบูม 38

รูปที่ 3.3 แสดงสายอากาศยากิ 5 อิลิเมนต์ที่ออกแบบ 39

รูปที่ 3.4 แสดงวงจรฟิลเตอร์เฉพาะช่วงผ่านที่ออกแบบ 41

รูปที่ 4.1 แสดงการวัดคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ 42

รูปที่ 4.2 แสดงผลการวัด SWR ของสายอากาศ 42

รูปที่ 4.3 แสดงผลการวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 43

รูปที่ 4.4 แสดงผลการวัดการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของคลื่น 43

รูปที่ 4.5 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศยากิอุดะ ไดโพล 44

รูปที่ 4.6 แสดงรูปวงจรฟิลเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ 44

รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบฟิลเตอร์โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Pspice 45

รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบฟิลเตอร์โดยการวัดจาก RF generator 45

รูปที่ 4.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมในการทดสอบการรับส่ง 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ช่องโทรทัศน์ในความถี่ย่าน วี.เอช.เอฟ. 4

ตารางที่ 2 แสดง Bessel Capacitive Coupled Resonators ของวงจรฟิลเตอร์ 33

ตารางที่ 3 แสดงพาราซิติคอีลีเมนท์ของสายอากาศยากิ-อุดะ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวความคิดในการทำปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันโทรทัศน์นับได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตของคนเราไปแล้วก็ว่าได้เพราะสามารถให้ทั้งความรู้ ข่าวสาร และบันเทิงที่ราคาถูกเป็นสื่อที่สามารถเข้าใจได้ง่าย และเข้าถึงเกือบทุกพื้นที่ของประเทศปัจจุบันประเทศไทยมีสถานีโทรทัศน์จำนวน 6 ช่อง (Channals) คือ ช่อง 3, 5, 7, 9, 11 และ ITV

การรับส่งโทรทัศน์ในปัจจุบันบางประเทศใช้การส่งขึ้นดาวเทียม และผู้รับสามารถติดตั้งจานรับดาวเทียมรับจากดาวเทียมเองโดยไม่จำเป็นต้องผ่านสถานีเครือข่าย แต่สำหรับในประเทศไทยบางสถานีใช้วิธีการส่งออกการสายอากาศส่งแต่การส่งโดยทางสายอากาศส่งโดยที่ผู้รับจะต้องติดตั้งสายอากาศรับแล้วกำหนดทิศทางให้ตรงกับสายอากาศส่ง แต่การส่งแบบนี้จะมีข้อจำกัดเรื่องอาณาบริเวณการรับส่งบางสถานีแก้ปัญหาโดยตั้งสถานีทวนสัญญาณหรือสถานีเครือข่าย โดยอาจใช้วิธีส่งจากสถานีแม่ไปยังสถานีเครือข่าย โดยการยิงไมโครเวฟหรือบางสถานีใช้การส่งผ่านดาวเทียมไปยังสถานีเครือข่าย ซึ่งในอนาคตประเทศไทยอาจจะได้รับจากดาวเทียมโดยตรงก็เป็นได้ ปัญหาของการตั้งสถานีโทรทัศน์เพิ่มในประเทศไทย ซึ่งในการขออนุญาติของเอกชนยังเป็นปัญหาเรื่องตัวบทกฎหมายที่เกี่ยวกับความมั่นคงของประเทศอยู่อีกมาก

เพื่อตอบสนองความเจริญเติบโตของวงการโทรทัศน์ไทย ทางอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้จัดทำจึงได้มีแนวความคิดในการทำลายอากาศส่งโทรทัศน์ขึ้นมา เพื่อรองรับความเจริญเติบโตของวงการโทรทัศน์ไทยโดยเลือกเอาช่อง 6 ซึ่งอยู่ในย่าน VHF ซึ่งมีความถี่อยู่ระหว่าง 181-188 MHz เพื่อใช้ทดลองส่งกับเครื่องส่งขนาด 10W ที่มีอยู่แล้ว โดยได้เลือกเอาเสาอากาศชนิดยากิ (Yagi-uda Antenna) เหตุผลในการเลือกเอาสายอากาศชนิดยากิ เพราะเป็นลายลักษณ์ที่มีโครงสร้างง่ายๆ น้ำหนักเบาในขณะเดียวกันมีคุณสมบัติในการกระจายคลื่นได้ดี มีอัตราขยายสูง แบนวิดก็แคบส่วนทฤษฎีเกี่ยวกับสายอากาศ และสายส่งสัญญาณรวมทั้งการออกแบบ และข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจะกล่าวถึงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1)เพื่อศึกษาถึงการออกแบบและการสร้างสายอากาศที่อยู่ในช่วงความถี่ที่ต้องการได้

2)เพื่อศึกษาถึงการออกแบบและการสร้างวงจรฟิลเตอร์ เพื่อนำมาใช้กรองความถี่ในช่วงความถี่ที่ต้องการได้

3)เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาสายอากาศและส่งสัญญาณไปในช่วงความถี่ใหม่

1.3ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1)สามารถนำช่วงความถี่ที่ไม่ได้ใช้มาใช้ในการส่งสัญญาณได้

2)สามารถนำความรู้ไปใช้ในการสร้างสายอากาศในช่วงความถี่ต่างๆ เองได้

1.4เนื้อหาของปริญญานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงความสำคัญ ที่มา วัตถุประสงค์ และประโยชน์ของโครงงาน

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีทั่วๆ ไปของสายอากาศ และวงจรฟิลเตอร์

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและคำนวณสายอากาศและวงจรฟิลเตอร์

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดสอบสายอากาศและวงจรฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 ระบบการส่ง-รับโทรทัศน์

การให้บริการวิทยุกระจายเสียงและโทรทัศน์ที่ได้ผลดีจำเป็นต้องมีการวางแผนงานจัดสรรความถี่ที่ดีและอยู่ภายใต้มาตรฐานทางเทคนิคที่ดี มาตรฐานของโทรทัศน์ขาวดำระบบอเมริกัน 525 เส้น และโทรทัศน์ขาวดำระบบยุโรป 625 เส้นเนื่องจากโทรทัศน์สีจำเป็นต้องมีมาตรฐานที่เข้ากันได้กับโทรทัศน์และเรื่องอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างไร โทรทัศน์สีของระบบนั้น ก็จะต้องมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน หรือไปได้ด้วยกัน

ช่องสัญญาณของโทรทัศน์

สัญญาณโทรทัศน์ที่ถูกส่งออกอากาศจะประกอบด้วยสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง สัญญาณภาพจะมีคลื่นพาห์ของภาพ (Picture Carrier) ในระบบ Amplitude Modulation และสัญญาณเสียงก็จะมีคลื่นพาห์ของเสียง (Sound Carrier) ในระบบ Frequency Modulation การส่งสัญญาณภาพออกอากาศ อาจเลือกส่งแบบ Amplitude-modulated double sidebands หรือเลือกส่งแบบอื่นก็ได้ แต่เนื่องจากขอบเขตของความถี่ในสัญญาณภาพมีมากหากส่งความถี่ที่เกี่ยวข้องไปทั้งหมดจะทำให้ความกว้างและช่องโทรทัศน์มีมากเกินไปจึงนิยมใช้วิธีส่งไซด์แบนด์ด้านสูง (Upper Sideband) เต็มที่ และส่งบางส่วนทางไซด์แบนด์ด้านต่ำ (Lower Sideband) วิธีการส่งแบบนี้เรียกว่า Vestigial Sideband Transmission คลื่นพาห์ของภาพกับคลื่นพาห์ของเสียงที่เหมาะสม อาจเลือกใช้ให้มีความถี่อยู่ในย่านความถี่ วี. เอช.เอฟ. (Very High Frequency) หรือในย่านความถี่ ยู.เอช.เอฟ. (Ultra High Frequency) ก็ได้ ตารางข้างล่าง แสดงให้ทราบว่าโทรทัศน์ระบบอเมริกัน 525 เส้นและโทรทัศน์ระบบยุโรป 625 เส้นมีช่องอะไรบ้างในย่านความถี่ วี.เอช.เอฟ. ซึ่งแบ่งออกเป็น วี.เอช.เอฟ. ย่านต่ำ (VHF low-band) กับ วี.เอช.เอฟ. ด้านสูง (VHF high band) โทรทัศน์ระบบอเมริกันซึ่งมีความกว้างของช่องโทรทัศน์ช่องละ 5 เมกกะเฮิร์ทซ์ ส่วนโทรทัศน์ระบบยุโรป ซึ่งมีความกว้างของช่องโทรทัศน์ช่องละ 7 เมกกะเฮิร์ทซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ช่องโทรทัศน์ในความถี่ย่าน วี.เอช.เอฟ.

โทรทัศน์ช่องที่		โทรทัศน์ระบบยุโรป 625 เส้น			โทรทัศน์ระบบอเมริกัน 525 เส้น		
		ความกว้างของช่อง (MHz)	คลื่นพาห์ของภาพ (MHz)	คลื่นพาห์ของเสียง (MHz)	ความกว้างของช่อง (MHz)	คลื่นพาห์ของภาพ (MHz)	คลื่นพาห์ของเสียง (MHz)
Low Band VHF TV	2	47 – 54	48.25	53.75	54 – 60	55.25	59.75
	3	54 – 61	55.25	60.75	60 – 66	61.25	65.75
	4	61 - 68	62.25	67.75	66 - 72	67.25	71.75
High band VHF TV	5	174 – 181	175.25	180.75	76 – 82	77.25	81.75
	6	181 – 188	182.25	187.75	76 – 82	83.25	87.75
	7	188 – 195	189.25	194.75	82 – 88	175.25	179.75
	8	195 – 202	196.25	201.75	174 – 180	181.25	185.75
	9	202 – 209	203.25	208.75	180 – 186	187.25	191.75
	10	209 – 216	210.25	215.75	186 – 192	193.25	197.75
	11	216 - 223	217.25	222.75	192 – 198	199.25	203.75
	12	-	-	-	204 – 210	205.25	209.75
	13	-	-	-	210 - 216	211.25	215.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สายนำสัญญาณ (Transmission Line)

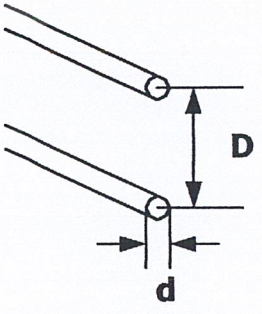
ถ้ากล่าวถึงระบบสื่อสารแล้ว คงละเว้นที่จะกล่าวถึงสายนำสัญญาณไม่ได้ เพราะว่า ในระบบสื่อสารที่สมบูรณ์แบบ สายนำสัญญาณจะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่ง ทำการเชื่อมต่อเพื่อถ่ายเทกำลังงานระหว่างเครื่องรับส่งและสายอากาศ โดยที่สายนำสัญญาณทุกชนิดจะต้องมีคุณสมบัติประจำตัวอย่างหนึ่งว่า อิมพีแดนซ์ประจำตัวของสายนำสัญญาณ (Characteristic Impedance)

สายนำสัญญาณ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. สายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน (Two-Wire line) หรืออาจเรียกว่าสายนำสัญญาณแบบสมดุล นำมาใช้งานเฉพาะที่ความถี่ต่ำๆ ในช่วงต้นของสเปกตรัมความถี่ย่านไมโครเวฟเท่านั้น
2. สายนำสัญญาณโคแอกเชียล เหมาะในงานประเภท short line length คือช่วงสั้นๆ ในช่วงกลางของความถี่ย่านไมโครเวฟ รวมทั้งการรับส่งในระยะใกล้ของช่วงความถี่ที่สูงขึ้นไป
3. ท่อนำคลื่น (Wave Guide) ใช้ในงานที่ความถี่สูง
4. สตริปไลน์และไมโครสตริป ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในวงจร เราจึงมักพบสตริปไลน์และไมโครสตริป เป็นอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งบนแผ่นวงจรพิมพ์ในงานด้านไมโครเวฟอยู่เสมอ

2.2.1 สายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน (Two-wire line)

สายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน ประกอบด้วยแท่งตัวนำ 2 เส้น วางห่างกันด้วยระยะคงที่ สายนำสัญญาณชนิดนี้นิยมใช้เฉพาะในช่วงความถี่ต่ำสุด หรือช่วงต้นของแถบความถี่ในย่านไมโครเวฟ



รูปที่ 2.1 แสดงสายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristic Impedance ของสายนำสัญญาณแบบคู่ขนานคือ

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

Z_0 = Characteristic Impedance (Ω)

D = ระยะห่างระหว่างแท่งตัวนำทั้งสอง

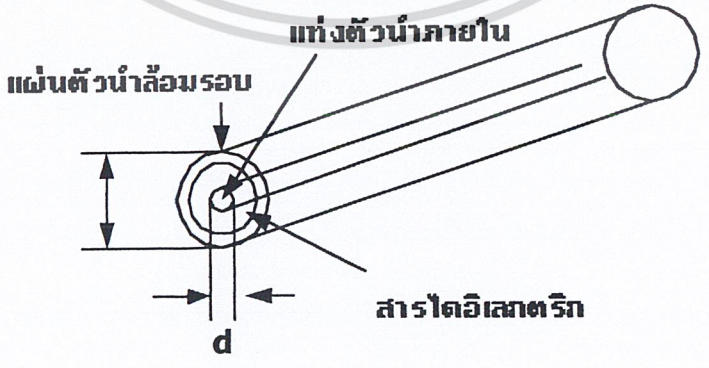
d = เส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งตัวนำแต่ละแห่ง

ε' = ค่าคงตัวไดอิเลคตริกสัมพัทธ์ (ε' = เมื่อสาร dielectirc เป็นอากาศ)

ค่าอัตรา $\frac{2D}{d}$ จะเป็นตัวกำหนดค่าชาแรคเตอริสติคอิมพีแดนซ์ (Characteristic Impedance) ของสายแบบคู่ขนานนี้ ดังนั้น จึงเป็นไปได้ว่าเราอาจจะพบสายแบบคู่ขนานที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำและระยะห่างระหว่างตัวนำต่างกันแต่มีค่าชาแรคเตอริสติคอิมพีแดนซ์เท่ากันเนื่องจากมีค่าตราส่วน $\frac{2D}{d}$ เท่ากันนั่นเอง

2.2.2 สายโคแอกเชียล (Coaxial Line)

สายโคแอกเชียล ประกอบด้วยตัวนำ 2 เส้นขนานกัน แต่ตัวนำภายนอกจะเปลี่ยนรูปเป็นแผ่นตัวนำล้อมรอบแท่งตัวนำอีกเส้นหนึ่ง ซึ่งวางในแนวศูนย์กลางใช้แกนร่วมกันโดยมีสารไดอิเลคตริกคั่นกลาง ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงสายนำสัญญาณโคแอกเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristic Impedance ของสาย Coaxial คือ

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

Z_0 = Characteristic Impedance (Ω)

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในของตัวนำภายนอก

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในของตัวนำภายใน

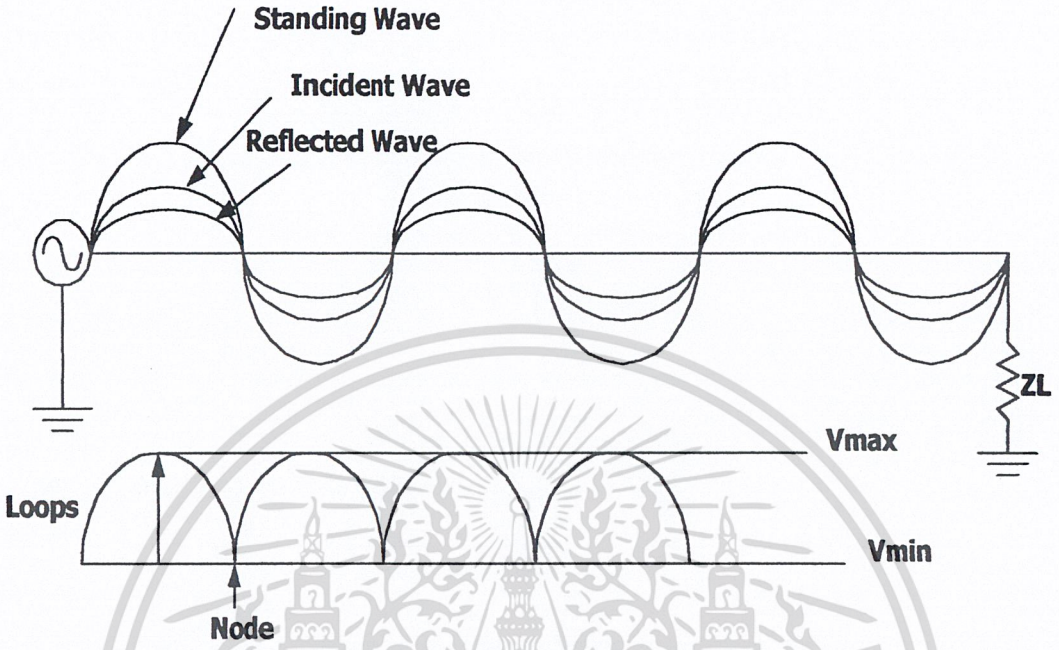
ε' = ค่าคงตัวไดอิเลคตริกสัมพัทธ์ (ε' = เมื่อสาร dielectirc เป็นอากาศ)

ค่า Characteristic Impedance ของสายโคแอกเชียลนั้นขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{D}{d}$ ของตัวนำทั้งสอง ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของสาย

2.3 คลื่นนิ่ง (Standing Wave) ที่เกิดขึ้นในสาย

คลื่นนิ่งเกิดจากการรวมหรือบวกกันของคลื่นตกกระทบ (Incident Wave) และคลื่นสะท้อนกลับ (Reflected Wave) โดยมีจุดโนดอยู่กับที่ ระหว่างจุดโนดทั้งหลายลูกคลื่นจะเปลี่ยนไปถึงจุดสูงสุด (Loops) และลดลงจนถึงจุดต่ำสุด (node) และคลื่นนิ่งจะสามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีความถี่ของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนกลับมีค่าเท่ากันเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดคลื่นนิ่งบนสายนำสัญญาณ

ค่าแรงดันสูงสุด (V_{max}) ของคลื่นนิ่งได้มาจากการรวมกันของคลื่นตกกระทบจากแหล่งจ่าย (Source) และคลื่นสะท้อนกลับที่มีเฟสตรงกัน (In phase)

$$V_{max} = V_i + V_r$$

ค่าแรงดันสูงสุด (V_{min}) ของคลื่นนิ่งได้มาจากการรวมกันของคลื่นตกกระทบจากแหล่งจ่าย (Source) และคลื่นสะท้อนกลับที่มีเฟสตรงข้ามกัน (In phase)

$$V_{min} = V_i + V_r$$

อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดต่อแรงดันต่ำสุด เรียกว่า "อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน" (Voltage Standing Wave Ratio, VSWR)

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_i + V_r}{V_i - V_r}$$

VSWR แสดงในหน่วยเดซิเบล (dB) เรียกว่า อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Sanding Wave Ration, SWR)

$$SWR(dB) = 20 \log (VSWR)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสายนำสัญญาณที่ต่ออยู่กับโหลดที่เป็นรีซิสทีพ (Resistive load, Z_L) ค่า SWR จะได้

$$SWR = \frac{Z_L}{Z_O} \quad \text{ในกรณี} \quad Z_L > Z_O$$

$$SWR = \frac{Z_O}{Z_L} \quad \text{ในกรณี} \quad Z_O > Z_L$$

เมื่อ Z_O = Characteristic Impedance ของสายนำสัญญาณ

Z_L = ความต้านทานของ load ที่ต่ออยู่ปลายทาง

หรือถ้าพิจารณาในรูปคลื่นกระแส ค่า SWR จะได้

$$SWR = \frac{I_{max}}{I_{min}} = \frac{I_i + I_r}{I_i - I_r}$$

ในทางอุดมคติถ้าเกิดการ Matching ทุกๆ ตำแหน่งบนสายนำสัญญาณนั่นคือ

$$V_{max} = V_{min}$$

จะได้ $$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = 1.0$$

ซึ่งในทางปฏิบัติจะเป็นได้ยาก ดังนั้น VSWR จะมีค่ามากกว่า 1 เสมอ

ข้อพิจารณาการเลือกใช้สาย

เงื่อนไขที่ใช้พิจารณามีดังนี้

1. การสูญเสียในสาย

สายที่มีอัตราการสูญเสียในสายต่ำถือว่ามีคุณภาพดีให้กำลังส่งถึงสายอากาศได้ดีมีข้อสังเกตว่าถ้าใช้โฟมไดอิเล็คตริกจะช่วยลดอัตราการสูญเสียลงได้มาก เช่น สายเบอร์ RG-8/U แบบโฟมมีค่าอัตราการสูญเสียน้อยกว่า RG-8/U ธรรมดา หรือพิจารณาที่จำนวน ลวดตัวนำชั้นในก็ได้ เช่น สายเบอร์ RG-58/U มีลวดตัวนำเป็นเส้นเดี่ยวจะมีการสูญเสียน้อยกว่าสายเบอร์ RG-58/U ที่มีลวดตัวนำเป็นเส้นฝอย 19 เส้น

2. การโค้งงอของสาย

ในงานที่สายถูกใช้แบบบิดหรือโค้งงอบ่อยๆ เช่น สายอากาศทิศทางที่ต้องมีโรเตอร์หมุนหาทิศทางเราควรใช้สายที่มีลวดตัวนำตรงกลางจำนวนหลายเส้นจะได้ไม่ขาดเร็วเกินไป อย่างเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบอร์ RG-58 C/U หรือพิจารณาที่สารไดอิเล็กตริก ไม่ควรใช้แบบโฟมเพราะไดเล็กตริกจะนิ่มและมีรูพรุน ถ้ามีการบิดสายไปมาอาจทำให้แนวลวดนำไม่อยู่ตรงกลาง ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายเปลี่ยนไป และค่าการสูญเสียในสายเพิ่มขึ้น สำหรับสายโฟมและสายเดี่ยว ความใช้กับงานที่มีการติดตั้งสายในตำแหน่งแน่นอน

3. การชีลด์ (shield) สายนำสัญญาณ

เราชีลด์สายเพราะต้องการป้องกันไม่ให้คลื่นวิทยุภายนอกมารบกวนคลื่นวิทยุในสายได้ และกันไม่ให้คลื่นในสายไปรบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอกเช่นกัน ดังนั้นสายโคแอกเชียลที่มีการชีลด์ดีจะให้คุณภาพดีขึ้น

วิธีการชีลด์ที่ใช้มี

- การใช้ลวดทองแดงสานเป็นตัวนำชั้นนอก โดยพิจารณาว่าสามารถครอบคลุมพื้นที่ไดอิเล็กตริกได้มากเท่าใด เช่น อาจครอบคลุมได้ 95% หรือในการที่รบกวนสูง ต้องใช้ถึง 100% ก็ได้ โดยดูได้จากความถี่แน่นในการสานลวดทองแดง
- ใช้ท่ออะลูมิเนียม (ในสายฮาร์ด ไลน์) หรือท่อทองแดง (ในสายเฮลิคอล)
- ใช้วิธีทำเป็นชีลด์ 2 ชั้น อย่างเช่น สายเบอร์ RG-214/U ที่ใช้วิธีชีลด์เป็นลวดทองแดงชุบเงินถักทั้ง 2 ชั้น ครอบคลุมพื้นที่ได้ 100% (มีราคาแพงมาก)

4. ความสามารถในการรับกำลังไฟฟ้า

ระดับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในสายสำคัญมาก เพราะถ้ามีมากเกินขีดกำหนดอาจทำให้สายเสียหายแตกหักได้

- อัตราทนแรงดันของสารไดอิเล็กตริก
- ค่าความต้านทานของลวดตัวนำ
- ขีดจำกัดอุณหภูมิของสารไดอิเล็กตริกและเปลือกหุ้ม
- ระยะเวลาใช้งาน
- อัตราลดทอนที่ความถี่นั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. อายุการใช้งาน

ขึ้นกับเงื่อนไขต่อไปนี้

- สภาพการใช้งานทางไฟฟ้าและสภาพการติดตั้งสาย

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

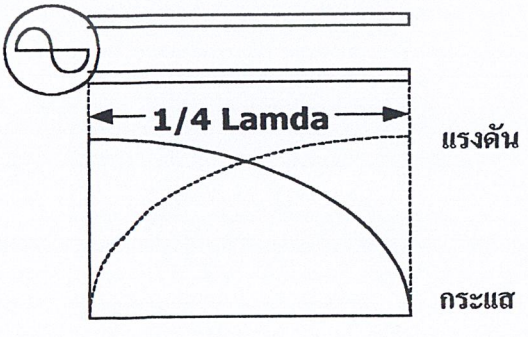
การหาอินพุทอิมพีแดนซ์ใช้สมการทั่วไป คือ

$$Z = Z_O \frac{Z_L + jZ_O \tan(\beta L)}{Z_O + jZ_L \tan(\beta L)}$$

2.4 สายอากาศ (Anterna)

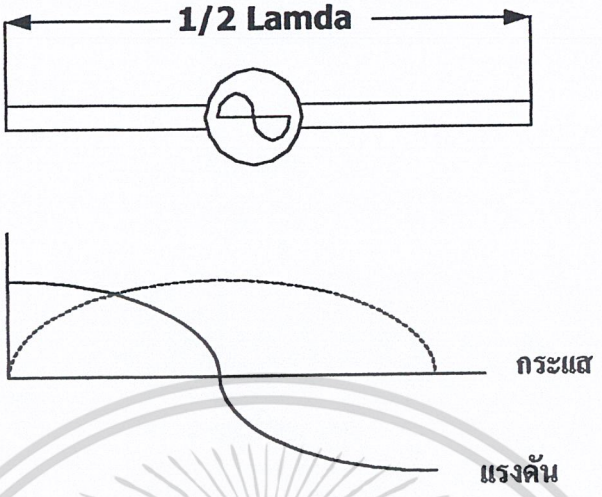
หลักการของสายอากาศ

สายอากาศเป็นส่วนสำคัญของเครื่องรับและเครื่องส่ง ทำหน้าที่แพร่คลื่นจากเครื่องส่งให้ออกอากาศและรับคลื่นวิทยุเข้าสู่เครื่องรับ สายอากาศก็เหมือนกับวงจรไฟฟ้า ที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ สายอากาศส่วนใหญ่จึงทำด้วยลวดตัวนำเป็นท่อตันหรือกลวงเป็นเส้นตรงหรือโค้งงอแล้วแต่ชนิดของสายอากาศ โดยทั่วไปจะมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น เราสามารถใช้สายอากาศทำหน้าที่เป็นได้ทั้งสายอากาศส่งหรือสายอากาศรับ เนื่องจากในทางทฤษฎีจะมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน



รูปที่ 2.4 แสดงการกระจายแรงดันและกระแสบนสายนำสัญญายาว $\frac{\lambda}{4}$ ซึ่งมีโหลดเป็นวงจรเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ

จากรูป (ก) แสดงสายนำสัญญาณชนิดสมดุลยาว $\frac{\lambda}{4}$ แบบวงจรเปิด จะเห็นว่าคลื่นที่ออกจากเครื่องส่งผสมกับคลื่นสะท้อนกลับได้ผลลัพธ์เป็นคลื่นนิ่ง ความจริงแล้วพลังงานบางส่วนที่ออกไปยังปลายด้านที่เปิดวงจรจะแพร่กระจายคลื่นออกอากาศไปได้ อย่างไรก็ตามปริมาณคลื่นที่แพร่ออกไปจะน้อย ด้วยเหตุผล 2 ประการคือ ประการแรก สภาพแวดล้อมซึ่งเป็นโหลดของสายนำสัญญาณไม่แมทซ์ทำให้พลังงานจ่ายให้โหลด (ส่งออกอากาศ) ได้น้อย ประการที่สอง สายทั้งสองเส้นอยู่ใกล้กันมาก และต่างเฟสกัน 180 องศา คลื่นที่แผ่ออกไปส่วนใหญ่จะหักล้างกันเอง

ถ้าเราถ่วงปลายสายนำสัญญาณให้ห่างออกเป็น 2 เส้น การแพร่กระจายคลื่นทั้งคู่จะมีโอกาสหักล้างกันได้น้อยลง และนอกจากนี้พลังงานที่จ่ายให้โหลด (ส่งอกอากาศ) จะจ่ายได้มากขึ้น การแพร่คลื่นจะเพิ่มขึ้นเต็มที่เมื่อปลายสายอยู่ในแนวเดียวกัน ดังรูป (ข) สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะกระจายออกไปรอบๆ ทำให้การแพร่คลื่นออกได้เต็มที่ สายอากาศชนิดนี้เรียกว่า ไดโพล ความยาวของสายแต่ละข้างเท่ากับ $\frac{\lambda}{4}$ และความยาวรวมเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$ ของไดโพลชนิดนี้จึงเรียกว่า ฮาล์ฟเวฟไดโพล

รูปคลื่นนิ่งของแรงดันและกระแสบนสายอากาศไดโพล จะเป็นดังรูป (ค) สังเกตว่าปลายทั้งสองของสายอากาศเสมือนเปิดวงจร แรงดันจึงมากที่สุดและมีกระแสไหลน้อยที่สุด จุดกลางของสายอากาศซึ่งเรียกว่า จุดฟีด (feed point) จะมีกระแสไหลมากที่สุด และแรงดันต่ำที่สุด ดังนั้นตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปอิมพีแดนซ์ของฮาล์ฟไดโพลน่าจะมีค่าศูนย์ แต่ความจริงอิมพีแดนซ์จะเท่ากับ 73 โอห์ม ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานบางส่วนสูญเสียในการแพร่คลื่นออกไป และไม่สะท้อนกลับ

การแพร่คลื่นของสายอากาศ

เนื่องจากปลายสายอากาศไดโพลทั้งสองด้านมีแรงดันสูง จึงทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่ปลายทั้งสอง สนามไฟฟ้านี้ เกิดขึ้นในทำนองเดียวกับสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นประจุของตัวเก็บประจุ (Capacitor) แต่สนามไฟฟ้าในที่นี้ไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะแผ่นประจุแต่กระจายออกสู่อากาศดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดรอบๆ ฮาล์ฟเวฟไดโพล

สังเกตว่าในกรณีเดียวกันนี้จะทำให้สนามแม่เหล็กเกิดขึ้นเพราะมีกระแสไหลในสายอากาศ เนื่องจากกระแสไหลมากสุดบริเวณจุดฟีด สนามแม่เหล็กบริเวณจุดฟีดจึงแรงทั้งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถแพร่กระจายออกไปได้ คลื่นดังกล่าวจะเดินทางไปเรื่อยๆ แม้ว่ากระแสและแรงดันจะหยุดป้อนให้สายอากาศแล้วก็ตาม

อย่างไรก็ตามเมื่อคลื่นเดินทางยิ่งห่างจากสายอากาศเท่าใด พลังงานก็จะอ่อนลง แอมปลิจูดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรานิยมวัดเป็นแรงดันที่เหนี่ยวนำบนสายอากาศ เราเรียกค่าที่วัดได้นี้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"ความแรงสนาม (field strength)" โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า "ฟิลด์สเตรนมิเตอร์ (Field strength Meter)

ความแรงสนามจะขึ้นอยู่กับระยะห่างจากเครื่องส่ง และกำลังของเครื่องส่ง ความแรงจะน้อยลง ณ จุดที่ห่างออกไปโดยแปรผกผันกับระยะทาง เช่น เมื่อระยะทางไกลออกไป 2 เท่า ความแรงของสัญญาณจะลดลงครึ่งหนึ่ง ในทำนองเดียวกันถ้ากำลังของเครื่องส่งมากขึ้นความแรงสนามก็จะแรงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามความแรงสนามเป็นค่าแรงดันที่เหนี่ยวนำบนสายอากาศ แต่เนื่องจากกำลังไฟฟ้าแปรตามกำลังสองของแรงดัน ฉะนั้นความแรงสนามจะเป็นสัดส่วนกับรากที่สองของกำลังที่เครื่องส่ง นั่นคือถ้ากำลังส่งเพิ่มเป็น 2 เท่า ความแรงสนามจะเป็น ($\sqrt{2}$) เท่า

โพลาไรเซชั่น (Polarization)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่ออกจากสายอากาศ ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก สนามทั้งสองนี้จะตั้งฉากซึ่งกันและกัน และทั้งคู่ก็ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยดังรูปด้านล่าง ในที่นี้สนามไฟฟ้าจะอยู่ในแนวราบ เรียกว่า คลื่นนี้มีโพลาไรเซชั่นแนวราบ ถ้าสนามไฟฟ้าอยู่ในแนวดิ่ง เรียกว่า คลื่นนี้มีโพลาไรเซชั่นแนวดิ่ง ฉะนั้นทิศทางของสนามไฟฟ้าจะเป็นตัวกำหนดทิศทางการแพร่กระจาย



รูปที่ 2.7 โพลาไรเซชั่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

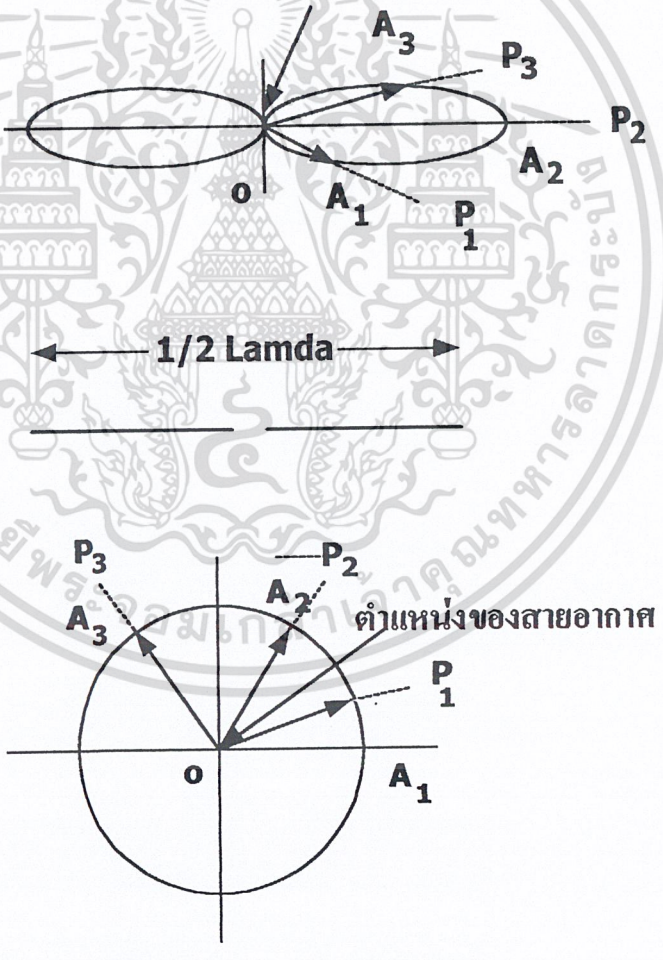
สายอากาศที่วางตัวในแนวราบจะเกิดโพลาไรเซชั่นในแนวราบ และสายอากาศที่วางตัวในแนวดิ่งจะเกิดโพลาไรเซชั่นในแนวดิ่ง ความสำคัญของโพลาไรเซชั่นนั้นอยู่ตรงที่คลื่นที่ส่งมาแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลาไรเซชั่นแนวตรงจะรับด้วยสายอากาศที่วางตัวในแนวราบได้ดีกว่าสายอากาศที่วางตัวในแนวดิ่ง

รูปแบบการแพร่คลื่น (Radiation Pattern)

รูปแบบการแพร่คลื่นเป็นการเขียนไดอะแกรมเพื่อแสดงความสามารถในการส่งหรือรับสัญญาณของสายอากาศในทิศทางต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากสายอากาศจะมีความสามารถในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน



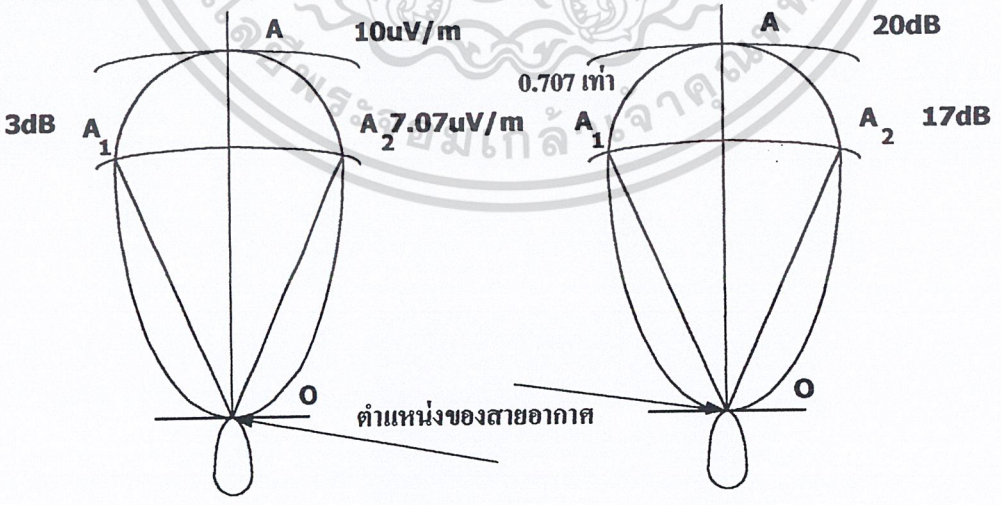
รูปที่ 2.8 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศฮาล์ฟเวฟไดโพลโดยมองบนระนาบแนวราบ (รูป ก) และมองบนระนาบแนวดิ่ง (รูป ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปซึ่งแสดงรูปแบบการแพร่คลื่นบนระนาบแนวราบและบนระนาบแนวดิ่งของสายอากาศมาร์โคนี่ สังเกตว่าตำแหน่งของสายอากาศอยู่ ณ จุด O ในรูป (ค) ระยะความยาวของลูกศร OA แสดงความแรงของคลื่นที่แพร่ออก (หรือรับได้) จากสายอากาศในทิศทาง OP_1 สมมติว่าเราต้องการทราบความสามารถของสายอากาศในการแพร่คลื่นในทิศทางอื่น ก็สามารถทำได้โดยเคลื่อนที่ไปรอบจุด O นั่นคือ จุด P_1 วนไปรอบๆ จุด O นั่นเอง ความแรงของสัญญาณที่วัดได้ในทิศทางอื่นจะมีค่าเท่ากับระยะความยาวของลูกศร เช่น ในทิศทาง OP_2 ความแรงจะเป็น OA_2 ส่วนในทาง OP_3 ความแรงจะเป็น OA_3 เป็นต้น กล่าวโดยสรุปแบบการแพร่กระจายคลื่น ก็คือ รูปภาพที่แสดงความสามารถในการแพร่คลื่น (หรือรับคลื่น) เปรียบเทียบกันในทิศต่างๆ นั่นเอง

บีมวิดท์ (Beam width)

สายอากาศชนิดต่างๆ ก็มีรูปแบบการแพร่คลื่นต่างๆ กัน วิธีหนึ่งที่จะเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่คลื่นก็คือดูจากลักษณะของรูปแบบการว่าทิศทางการแพร่คลื่นออกไปในลักษณะใดแทนที่จะต้องเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่คลื่นทุกๆ จุดความกว้างของลำคลื่น (Beam width) เป็นการวัดความกว้างของลำคลื่นโดยคิดจากมุมของลำคลื่นในทิศทางที่พุ่งไปแรงมากที่สุด ดังรูปซึ่งแสดงการวัดความกว้างของลำคลื่น



รูปที่ 2.9 การวัดความกว้างลำคลื่น (Beam width) ในรูปแบบการแพร่คลื่นค่า dB หรือ μV/m บนรูปแบบการแพร่คลื่นที่แสดงไว้เป็นค่าสมมติเพื่อแสดงการเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สังเกตว่าจะพิจารณาเฉพาะลำคลื่นในทิศทางที่แรงที่สุด คือ OA แล้วอ่านค่าของความกว้างของมุมระหว่าง OA_1 และ OA_2 มีความยาวลดลงเหลือ 0.707 เท่าของ OA หรือ OA_1 ส่วน OA_2 สั้นกว่า OA อยู่ 3dB นั่นคือบีมวิดท์เท่ากับ α

อัตราขยายของสายอากาศ (Gain)

อัตราขยายของสายอากาศเป็นการเปรียบเทียบเอาท์พุทของสายอากาศในทิศทางใดทิศทางหนึ่งเทียบกับเอาท์พุทของสายอากาศอ้างอิง (Reference Antenna) ปกตินิยมใช้สายอากาศฮาล์ฟเวฟไดโพลเป็นสายอากาศอ้างอิง (บางครั้งก็ใช้สายอากาศสมมุติที่เรียกว่า สายอากาศไอโซโทรปิคเป็นสายอากาศอ้างอิง)

การต้านทานการแพร่คลื่น

การป้อนกำลังคลื่นวิทยุให้แก่สายอากาศที่เพื่อส่งออกอากาศนั้นจะต้องทำการป้อนผ่านสายนำสัญญาณ ดังที่ทราบมาแล้วค่าคาแรคเตอริสติคอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณจะต้องเท่ากับความต้านทานของโหลด (ในที่นี้คือสายอากาศ) มิฉะนั้นจะเกิดคลื่นนิ่งบนสายนำสัญญาณ คือมีการสะท้อนกลับของคลื่น

ความต้านทานของสายอากาศในที่นี้ไม่สามารถหาได้โดยการใช้โอห์มมิเตอร์วัดคร่อมขั้วต่อของสายอากาศ เนื่องจากโอห์มมิเตอร์วัดค่าความต้านทานในทางดีซี (เป็นค่าของกระแสตรง) ส่วนค่าความต้านทานของสายอากาศในที่นี้เป็น ค่าความต้านทานการแพร่คลื่น

ความต้านทานการแพร่คลื่นของสายอากาศเป็นความต้านทานสมมติ โดยคิดจากกำลังที่สายอากาศสามารถเปลี่ยนเป็นคลื่นส่งออกอากาศไป เช่น สายอากาศแพร่คลื่น 100 watts ออกไปโดยกินกระแส 2A. หมายความว่าสายอากาศมีความต้านทานแพร่คลื่น เท่ากับ

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{100}{2^2} = 25\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

46553

สายอากาศไดโพล (Dipole Antena)

สายอากาศแบบฮาล์ฟเวฟไดโพล เป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ความยาวของสายอากาศเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$ ที่ความถี่ใช้งาน ซึ่งคำนวณความยาวได้จากสูตร

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3*10^8}{f}$$

λ = ความยาวคลื่น (m)

f = ความถี่ใช้งาน (H_Z)

c = ความเร็วแสงในอากาศ (m/s)

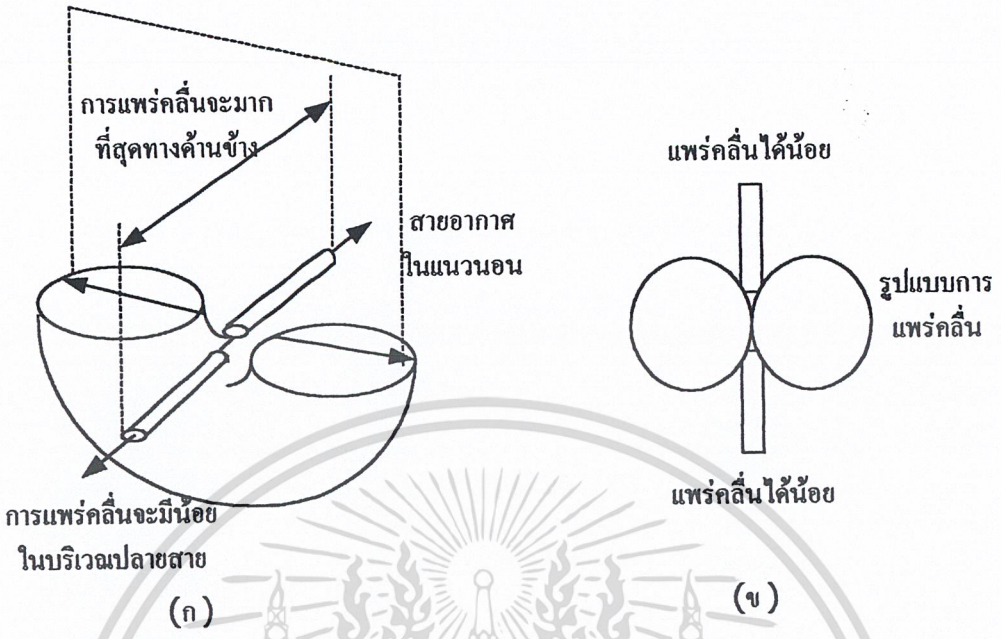
สูตรนี้ใช้คำนวณในกรณีที่คลื่นเดินทางในอากาศ (free space) หรือในกรณีที่คลื่นเดินทางในเส้นลวดสายอากาศปลายของสายอากาศเปรียบเสมือนมีความยาวทางไฟฟ้ามากกว่าปกติ เนื่องจากเสมือนมีตัวเก็บประจุต่อที่ปลายสาย สูตรคำนวณความยาวสายอากาศจึงต้องแก้ไขเล็กน้อยเป็น

$$\text{ความยาว} \frac{\lambda}{2} = \frac{142.5}{f(_{MHz})} \text{ (m)}$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{\lambda}{2} = \frac{468}{f(_{MHz})} \text{ (ฟุต)}$$

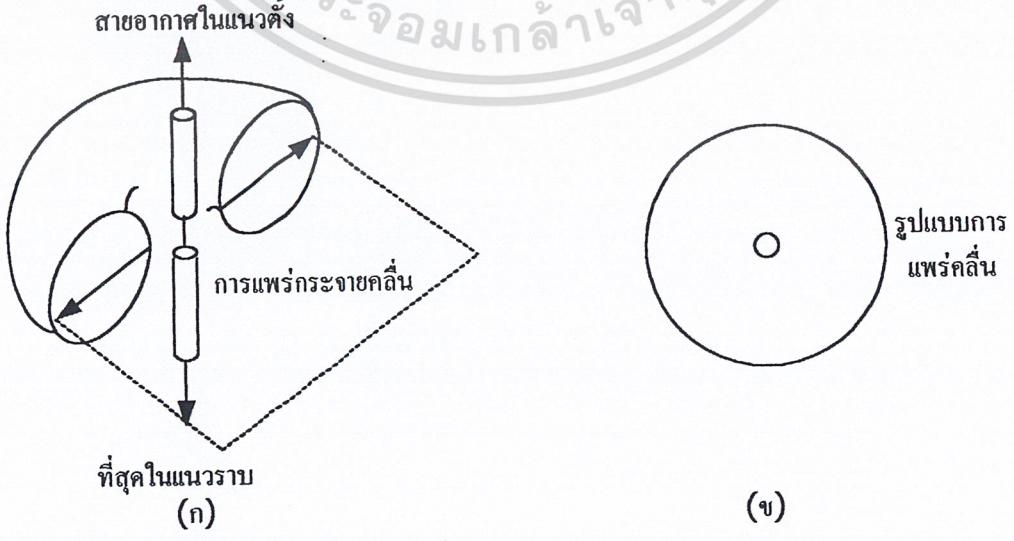
โดยที่สูตรข้างบนเป็นสูตรที่แก้ไขความจุที่ปลายสายอากาศแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



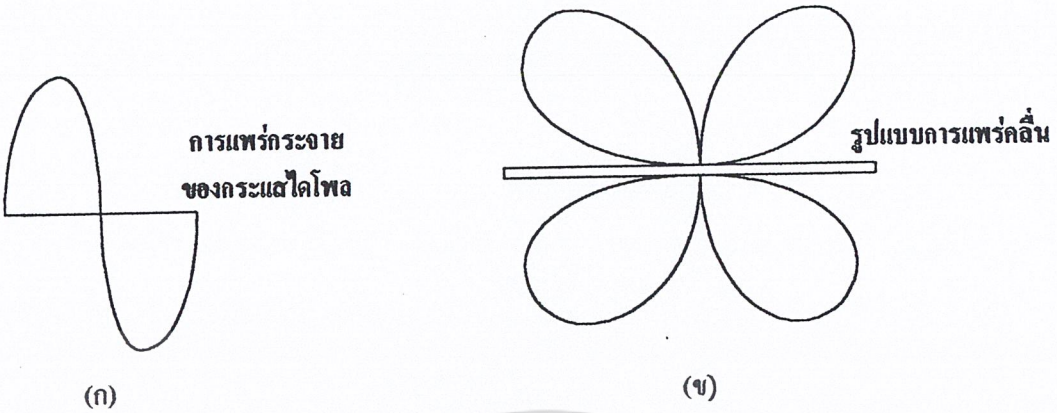
รูปที่ 2.10 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศฮาล์ฟเวฟไดโพล วางตัวในแนวราบ

ในรูปที่ 2.10(ก) แสดงให้เห็นรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศฮาล์ฟเวฟไดโพล ที่วางตัวในแนวราบ สังเกตว่าการแพร่คลื่นจะมากที่สุดด้านข้าง (broadside) และน้อยที่สุดทางปลายสาย รูปที่ 2.10(ข) แสดงการพล็อตรูปแบบการแพร่คลื่นระนาบในแนวราบ สังเกตว่าการแพร่คลื่นจะน้อยที่สุดในทิศชี้ขึ้นข้างบนและล่างของรูปภาพ



รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศฮาล์ฟเวฟไดโพลวางตัวในแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

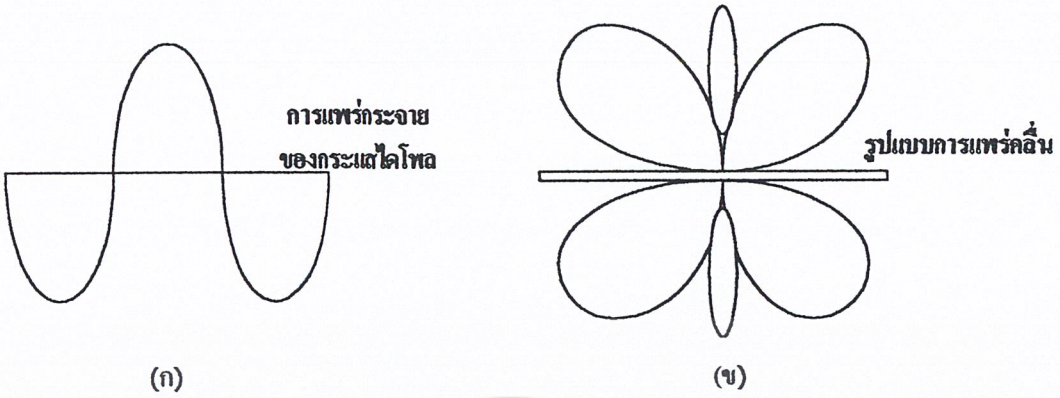


รูปที่ 2.12 แสดงสายอากาศฟูลเวฟไดโพล

สำหรับรูปที่ 2.11(ก) เป็นรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศชนิดเดิม แต่วางตัวในแนวดิ่ง สังเกตว่าในกรณีนี้ การแพร่คลื่นจะเท่ากันหมดในทิศทางรอบตัวของสายอากาศส่วนการแพร่คลื่นจะน้อยที่สุดในทิศทางขึ้นฟ้าและลงดินและสายอากาศ เมื่อเขียนกราฟแสดงรูปการแพร่อื่นลงบนระนาบในแนวราบจะได้เป็นวงกลม เพราะมีการแพร่คลื่นไปรอบๆ ตัวของสายอากาศเท่ากัน

สายอากาศไดโพลที่มีความยาว $\frac{\lambda}{2}$ จะทำงานเป็นสายอากาศชนิดฮาร์ฟเวฟ เมื่อความถี่สูงขึ้นสายอากาศจะทำงานเปลี่ยนไป เนื่องจากความยาวของสายอากาศเทียบกับความยาวคลื่นจะได้ค่ายาวขึ้น เช่น สายอากาศฮาล์ฟเวฟไดโพล จะทำงานเป็นสายอากาศฟูลเวฟไดโพล เมื่อความถี่เพิ่มเป็น 2 เท่า (คือเป็นความถี่ฮาร์โมนิกที่สอง) การแพร่กระจายของกระแสบนฟูลเวฟไดโพล จะเป็น ดังรูปที่ 2.12 (ก) สังเกตว่ากระแสจะไหลน้อยที่สุดที่ตรงกลาง นั่นคือ สายอากาศชนิดนี้จะมีอิมพีแดนซ์สูงที่สุดกลาง (จุด Feed) ถ้าต้องการให้อิมพีแดนซ์ ณ จุดฟีดน้อยลง เราจะต้องฟีดที่จุดอื่นโดยเลื่อนไปยังจุดที่มีกระแสไหลมากขึ้น รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศชนิดฟลูเวฟไดโพล จะเป็นดังรูปที่ 2.12(ข) สังเกตว่ารูปแบบจะแตกออกเป็นหลายโลบ ทั้งนี้เนื่องมาจากการแพร่กระจายกระแสบนลวดไดโพลนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



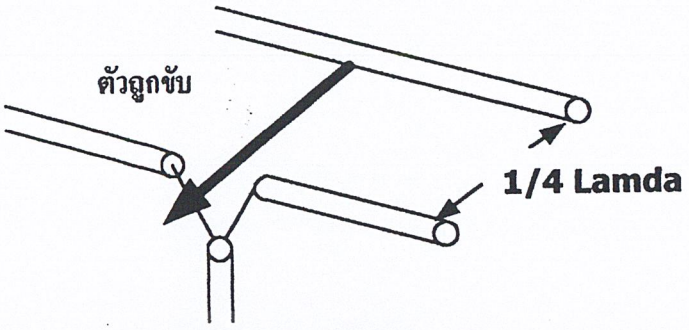
รูปที่ 2.13 สายอากาศไดโพลชนิด 1 ½ λ

ถ้านำสายอากาศฮาล์ฟเวฟไดโพลมาใช้งานที่ความถี่ฮาร์โมนิกที่สามดังรูปข้างบน การแพร่ระจายกระแสบนลวดไดโพลจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน เนื่องจากความยาวของไดโพลจะเป็น 1 ½ λ เท่าของความยาวคลื่น (λ) ดังรูป 2.13(ก) กระแสจะมากที่สุดบริเวณจุดกลางของสายอากาศ ฉะนั้น ณ จุดฟีด (ป้อน) อิมพีแดนซ์จะมีค่าต่ำ แต่รูปแบบการแพร่คลื่นจะมีจำนวนโลบมากขึ้นไปอีก ดังรูปที่ 2.13(ข) โดยเพิ่มเป็นโลบเล็กๆ 2 โลบ ทางด้านข้างบนสายอากาศ

พาราซิติกอาร์เรย์ (Parasitic Array)

สายอากาศที่ไม่ได้ต่อเข้ากับสายนำสัญญาณแต่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสหรือรายดันบนตัวมันได้ เรียกว่า "ตัวพาราซิติก" (parasitic element) ดังรูปข้างล่าง ตัวพาราซิติกวางห่างจากไดโพลเป็นระยะเท่ากับ $\frac{\lambda}{4}$ ไดโพลนี้เรียกว่าตัวถูกขับ (driven element) ทั้งตัวพาราซิติกและตัวถูกขับมีความยาวเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$ จึงรีโซแนนท์ที่ความถี่ใช้งาน รูปแบบการแพร่คลื่นของตัวถูกขับ (Dipole) จะเป็นแบบบีม 2 ทาง ออกทางด้านข้างของสายอากาศ สายอากาศที่ใช้ร่วมกับตัวพาราซิติกนี้เรียกว่า "พาราซิติกอาเรย์"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 สายอากาศชนิดฮาล์ฟเวฟไดโพล(ใช้เป็นตัวถูกขับ)ต่อเรียงกับตัวพาราซิติกเป็นอาเรย์

พิจารณาการเดินทางของคลื่นเข้าสู่สายอากาศ สมมติว่าเข้ามาในทิศทางที่ถึงตัวไดโพลก่อน จะเห็นว่าคลื่นเดินทางถึงตัวพาราซิติกเป็นระยะทางแตกต่างเลยจากตัวถูกขับอยู่ $\frac{\lambda}{4}$ ฉะนั้นกว่าที่จะถึงตัวพาราซิติกเฟสของเครื่องจะเปลี่ยนไป 90 องศา พอคลื่นไปถึงตัวพาราซิติกก็จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสบนตัวนำพาราซิติก ซึ่งมีเฟสกลับทางไปอีก 180 องศา (ตรงข้ามกับคลื่นที่ไปเหนี่ยวนำตัวมัน) กระแสที่ไหลในตัวพาราซิติกจะแพร่คลื่นออก คลื่นส่วนหนึ่งจะแพร่กลับมาทางตัวถูกขับซึ่งต้องเดินทางเป็นระยะทาง $\frac{\lambda}{4}$ อีก เฟสจะเลื่อนไปอีก 90 องศา รวมทั้งสิ้นเฟสจะเลื่อนไป 90+180+90 เท่ากับ 360 องศา คลื่นที่แพร่จากตัวพาราซิติกจึงเสริมกับคลื่นที่เดินทางมาทางด้านไดโพลฉะนั้น การแพร่คลื่นในทิศทางที่เข้ามาทางตัวไดโพลจะดีที่สุด ทิศทางนี้จะเป็นด้านหน้าของสายอากาศตัวพาราซิติก ในที่นี้ทำงานเหมือนตัวสะท้อนคลื่นจึงเรียกว่า "รีเฟลกเตอร์

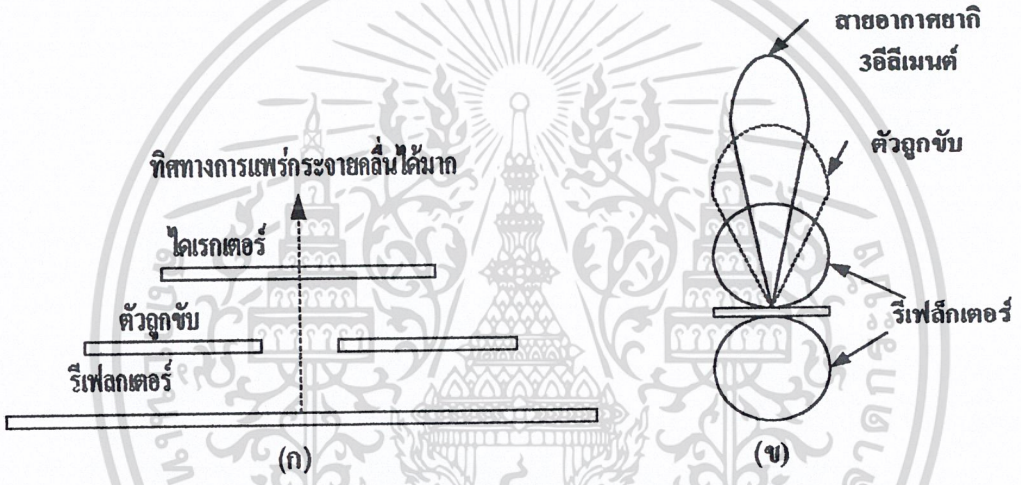
สำหรับทิศทางด้านหลังของสายอากาศคลื่นจะถึงตัวรีเฟลกเตอร์ก่อนถึงไดโพล ทำให้เฟสต่างกันอยู่ 90 องศา แต่คลื่นที่เหนี่ยวนำบนรีเฟลกเตอร์แพร่ไปทางไดโพลจะมีการกลับ เฟส 180 องศา และเฟสล้าหลังเนื่องจากการเดินทางไปทางไดโพลอีก 90 องศา รวมแล้วเฟสของคลื่นที่เดินทางไปถึงตัวไดโพลกับคลื่นที่แพร่จากตัวรีเฟลกเตอร์จะต่างกันอยู่ –90+180+90 เท่ากับ 180 องศาทำให้เกิดการหักล้างกัน ฉะนั้นการแพร่คลื่นที่ทิศทางด้านหลังจะได้น้อยที่สุด

รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศที่ใช้ร่วมกับตัวพาราซิติก (reflector) จะขึ้นอยู่กับปริมาณและเฟสของกระแสที่ไหลในตัวพาราซิติก กระแสที่ได้รับการเหนี่ยวนำจากคลื่นที่มาตกกระทบกับพาราซิติกนั้นจะขึ้นอยู่กับความยาวของตัวพาราซิติกและระยะห่างจากตัวถูกขับ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติแล้วการวัดระยะห่างของตัวรีเฟลกเตอร์มักจะอยู่ห่างจากตัวถูกขับอยู่ในช่วง 0.18λ ถึง 0.2λ ส่วนความยาวของตัวรีเฟลกเตอร์มักจะยาวกว่า $\frac{\lambda}{2}$ อีกประมาณ 5%

ตัวพาราซิติกอีกแบบหนึ่งซึ่งวางอยู่ทางด้านหน้าของสายอากาศทำงานคล้ายๆ กับตัวรีเฟลกเตอร์ เรียกว่า "ไดเรกเตอร์ (director)" ความยาวของไดเรกเตอร์จะสั้นกว่า $\frac{\lambda}{2}$ ไดโพล ประมาณ 5% และไดเรกเตอร์จะอยู่ห่างจากตัวถูกขับประมาณ 0.1λ



รูปที่ 2.15 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศยากิ แบบ 3 อีลีเมนท์

สายอากาศยากิ แบบ 3 อีลีเมนท์ ประกอบด้วยตัวถูกขับและตัวพาราซิติกอีก 2 ตัวคือ ไดเรกเตอร์และรีเฟลกเตอร์ ดังในรูป (ก) ส่วนในรูป (ข) แสดงให้เห็นรูปแบบการแพร่คลื่นของตัวถูกขับ (ไดโพล) อย่างเดียว และการเสริมของรูปแบบการแพร่คลื่นของตัวรีเฟลกเตอร์กับไดเรกเตอร์ ทำให้เราได้รูปแบบโดยรวมเป็นลักษณะบีมทางเดียวและบีมวิดท์แคบลงหรือเกน (Gain) สูงขึ้น เราสามารถใช้ตัวพาราซิติกจำนวนมากขึ้นเพื่อให้แกนของสายอากาศ เพิ่มขึ้น

2.5 คุณสมบัติทั่วไปของสายอากาศยากิ-อุดะไดโพล

สายอากาศยากิ-อุดะ ไดโพลเป็นสายอากาศที่ใช้งานได้ตั้งแต่ย่าน HF [ความถี่ 3-30 MHz], VHF [ความถี่ 30-300 MHz), และ UHF [ความถี่ 300-3000 MHz] ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศ

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีไดโพลตัวเดียวเป็นตัวเดียวเป็นตัวรับพลังงานโดยตรง ส่วนตัวประกอบอื่นๆ ทำหน้าที่เป็นตัวประกอบพาราซิติกทั้งหมดค่ากระแสที่ไหลในแต่ละตัวประกอบได้มาจากการเหนี่ยวนำ(Induced) โดยมิวชวลคับปลิ้ง (Mutual coupling) จากตัวไดโพล ที่รับพลังงาน และจากตัวประกอบระหว่างซึ่งกันและกันอีกด้วย

ในการจัดรูปแบบของลำคลื่น (Beam) ของสายอากาศนี้จัดในรูปแบบเอนฟายด์ (End fire) โดยมีส่วนตัวนำคลื่นอยู่ในแนวของลำคลื่น ซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดที่สั้นกว่าขนาดของตัวป้อน (โดยมาตราฐาน ขนาดของตัวป้อนจะมีขนาดที่ รีโซแนนท์ที่ความยาวที่น้อยกว่าครึ่งความยาวคลื่น ($\lambda/2$) เล็กน้อย ปกติใช้ความยาวประมาณ $0.45\lambda \sim 0.49\lambda$) ขณะที่ความยาวของตัวคลื่นจะอยู่ในช่วง $0.4\lambda \sim 0.45\lambda$ เนื่องจากความยาวของตัวนำคลื่นแต่ละตัวประกอบนี้จะปรากฏค่าของคาปาซิติฟซึ่งทำให้ค่าในตัวระกอบนั้นๆ มีค่ากระแสนำหน้า (Lead) ค่าของอินดิว อี เอม เอฟ (induced emf.) และในทำนองเดียวกัน ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวสะท้อนคลื่น (ซึ่งมีความยาวมากกว่ารีโซแนนท์ของตัวมันเอง) จะปรากฏค่าของอินดัคติฟ ซึ่งจะทำให้เฟสของกระแสล้าหลัง (Lag) ค่าอินดิว อี เอม เอฟ นั่นคือการจัดเรียงตัวของตัวประกอบแบบยากิ-อุดะนี้จึงทำให้ค่ากระแสด้านขนาดและเฟสแบบก้าวหน้า (Progressive phase shift) ซึ่งยังผลให้มีการเพิ่มพลังงานไปทางด้านหน้า

ลักษณะเด่นของสายอากาศยากิ-อุดะ ไดโพล

(1) เป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างแบบง่ายๆ

(2) มีน้ำหนักเบา

(3) ง่ายต่อการสร้าง

(4) ราคาถูก

(5) สามารถออกแบบให้ได้ค่าคุณสมบัติที่พึงปรารถนาได้ง่าย

(6) สามารถให้ค่าของลำคลื่นในทิศทางเดียว (Unidirectional beam)

(7) ให้อัตราการขยายค่อนข้างสูง

(8) สามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ทั้งในงานสื่อสารทั่วไป และที่รู้จักกันเป็นอย่างดีในการใช้รับสัญญาณโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียของสายอากาศยากิ-อุดะ ไดโพลโดยทั่วไปจะมีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ที่ต่ำ และค่าแถบความถี่ใช้งาน (Bandwidth) แคบ แต่ถึงกระนั้นก็ตามเราสามารถปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าวให้มีค่าเหมาะสมได้ ในทางปฏิบัติทางหนึ่งที่นิยมทำกันคือ การใช้โฟนเดดไดโพล (Folded dipole) แทนไดโพลธรรมดาซึ่งทำให้ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้นประมาณ 4 เท่า โดยไม่มีผลกระทบต่อพารามิเตอร์อื่นๆ

หัวข้อที่ควรคำนึงในการออกแบบสายอากาศยากิ-อุดะ ไดโพล

ค่าคุณสมบัติของ การแพร่กระจายคลื่นที่ควรสนใจของ สายอากาศยากิ-อุดะ ไดโพลมีดังนี้

(1) ค่าอัตราการขยายทางด้านหน้าและด้านหลัง (Forward and Backward gain)

(2) ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ (Input impedance)

(3) ค่าแถบความถี่ใช้งาน (Bandwidth)

(4) ค่าอัตราส่วนด้านหน้า ต่อ ด้านหลัง (Front-to-back ratio)

(5) ค่าขนาดของการแพร่กระจายคลื่นที่พึงประสงค์และไม่พึงประสงค์ (main & minor lobe)

หลักการโดยทั่วไปในการพิจารณาการจัดเรียงของ สายอากาศยากิ-อุดะ ไดโพลพอจะสรุปได้ดังนี้

(1) ควรพิจารณาระยะ และ ขนาดของ ตัวสะท้อนคลื่นและตัวปิ้อนก่อนเป็นลำดับแรกเพราะจะมีผลต่อค่า Front-to-Back ratio เป็นอย่างมาก

(2) การพิจารณาขนาดและแบบของตัวปิ้อน โดยทั่วไปขนาดของ เส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของตัวปิ้อนมีจะมีผลน้อยในเรื่องอัตราการขยาย แต่จะมีผลอย่างมากในเรื่อง อินพุทอิมพีแดนซ์ ในทางปฏิบัตินิยมเลือกใช้ค่าที่มีขนาดใกล้เคียงรีโซแนนท์

(3) การพิจารณาหาขนาดและระยะห่างของตัวนำคลื่นจะมีผลต่อ Forward gain, backward gain, และอินพุทอิมพีแดนซ์ ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าเป็นตัวประกอบที่สำคัญที่สุดของการจัด การเรียงตัวของสายอากาศยากิ-อุดะ ไดโพล เพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุด (Optiumum)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การทดสอบสายอากาศ

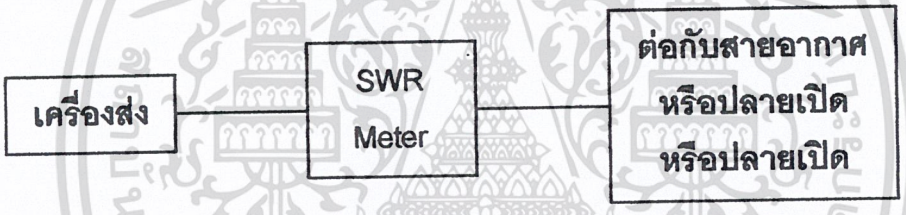
คุณสมบัติของสายอากาศที่จำเป็นต้องทดสอบคือ VSWR, Radiation Pattern, Gain, Impedance, Polarization และ Front to back ratio

2.6.1 การวัด VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

ทำได้โดยใช้ SWR มิเตอร์ วัดสัญญาณซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของแรงดันหรือกระแสก็ได้ที่ออกจากเครื่องส่งไปสู่สายอากาศหรือวัดสัญญาณในทิศทางฟอร์เวิร์ด(Forward) และสัญญาณที่สะท้อนกลับ (Reflected) จากสายอากาศกลับสู่เครื่องส่ง

สูตรการคำนวณหา VSWR คือ

$$VSWR = \frac{I_{max}}{I_{min}} = \frac{I_i + I_r}{I_i - I_r}$$



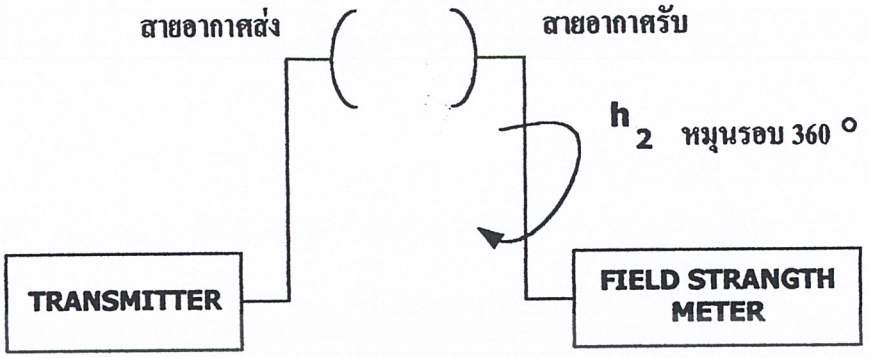
รูปที่ 2.16 บล็อกไดอะแกรมการวัด VSWR

โดยการเปลี่ยนจุดวัดของสายนำสัญญาณไปเรื่อยๆ ตามลำดับ ในที่นี้ความยาวของสายนำสัญญาณจะใช้หน่วยความยาวคลื่น (λ)

2.6.2 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

เป็นการวัดรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางต่างๆ โดยรอบตัวสายอากาศ ซึ่งสายอากาศแต่ละแบบจะมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่แตกต่างกัน ซึ่งมีอุปกรณ์ในการวัดดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 การจัดรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น

ในการวัดสายอากาศส่ง จะส่ง 6 ลักษณะ และสายอากาศรับก็รับได้ 6 ลักษณะเช่นเดียวกัน คือ

1. ในระนาบแนวนอน (Horizontal Plane)
2. ในระนาบแนวตั้ง (Vertical Plane)
3. Left hand circular
4. Right hand circular
5. 45° Slant
6. 135° Slant

โดยการหมุนสายอากาศรับไปรอบๆ ตัวเอง 360° ซึ่งสามารถปรับหมุนไปตามช่วงที่ต้องการได้แล้วนำค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้บันทึกลงในโพลาร์กราฟ (Polar Graph)

การตั้งสายอากาศส่งและรับให้ห่างกัน ควรจะเป็นระยะทางอย่างน้อยที่สุด

$$R = \frac{2D^2}{\lambda}$$

D : ขนาดอะเพอเจอร์ของสายอากาศ

λ : ความยาวคลื่นของความถี่สูงสุด

และระยะห่างของสายอากาศทั้งสองมีความสัมพันธ์กับความสูงคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

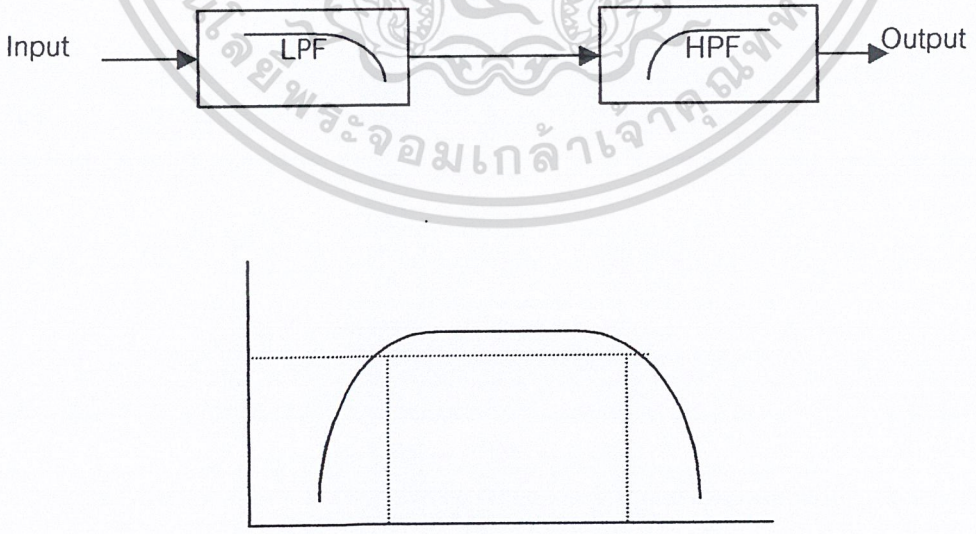
$$R = \frac{4h_1h_2}{\lambda}$$

2.7 วงจรฟิลเตอร์เฉพาะช่วงผ่าน (Bandpass filter)

Bandpass filter จะแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ Narrow band และ Wide band โดยที่ถ้าอัตราส่วนระหว่างความถี่ คัทออฟด้านสูง (Upper cutoff frequency) และความถี่คัทออฟด้านต่ำ (Lower cutoff frequency) มีค่ามากกว่า 2 แสดงว่าต้องใช้ฟิลเตอร์แบบ Wide band filter แต่ถ้าอัตราส่วนระหว่างความถี่คัทออฟด้านสูงและความถี่คัทออฟด้านต่ำมีค่าต่ำๆประมาณ 2หรือมีค่าน้อยกว่าก็จะต้องใช้ฟิลเตอร์แบบ Narrow band filter

2.7.1 วงจรฟิลเตอร์แบบแบนด์กว้าง (Wide band filter)

ลักษณะของ วงจรฟิลเตอร์แบบแบนด์กว้าง คือ ฟิลเตอร์ที่ประกอบด้วยส่วนของ Lowpass filter และ Highpass filter โดยแต่ละส่วนจะแยกกันโดยอิสระซึ่งผลที่ได้จากการรวมกันอย่างเหมาะสมก็จะทำให้ได้ช่วงความถี่ที่ต้องการซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.18

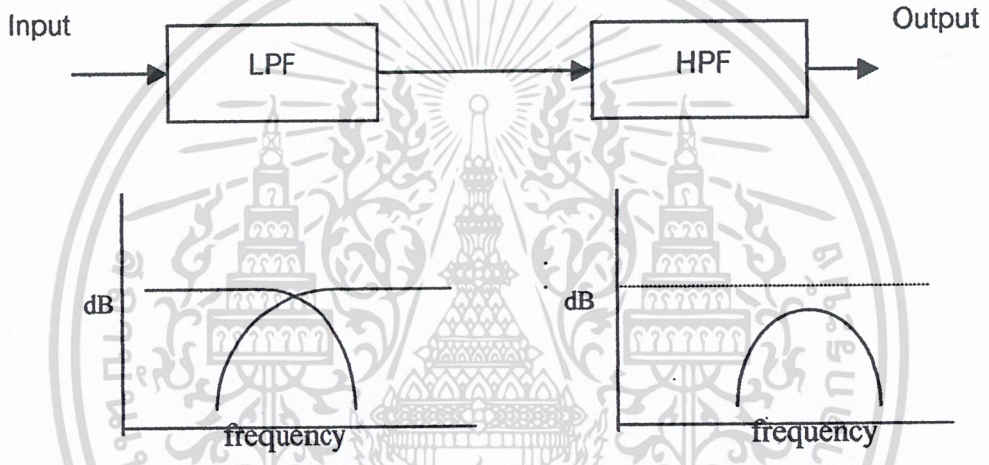


รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะการทำงานของวงจรฟิลเตอร์แบบแบนด์กว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 วงจรฟิลเตอร์แบบแบนด์แคบ (Narrow band filter)

วงจรฟิลเตอร์แบบแบนด์แคบจะมีอัตราส่วนระหว่างความถี่คัทออฟด้านสูงและความถี่คัทออฟด้านต่ำมีค่าต่ำๆ ประมาณ 2 หรือมีค่าน้อยกว่าซึ่งลักษณะของ Narrow band bandpass filter จะแตกต่างกับ Wide band bandpass filter คือในการออกแบบมันจะไม่สามารถแยกส่วนของ Lowpass filter และ Highpass filter ออกจากกันได้ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะการทำงานของวงจรฟิลเตอร์แบบแบนด์แคบ

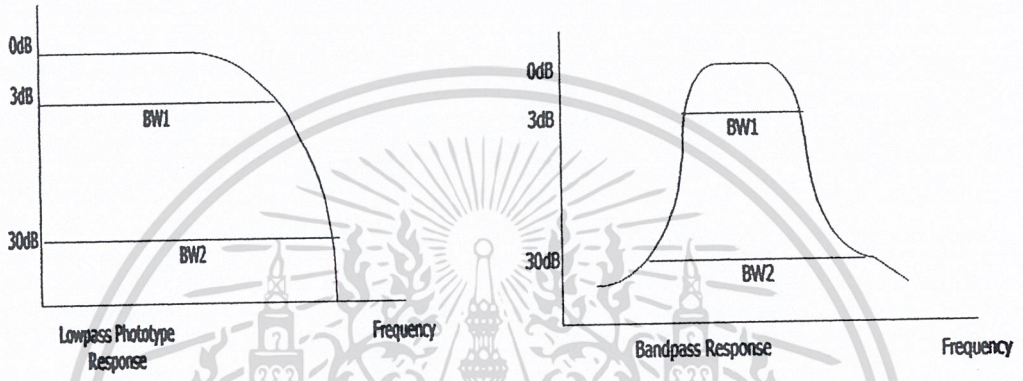
ในการออกแบบวงจรกรองความถี่ช่วงผ่านนั้นจะใช้คุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านมาออกแบบโดยใช้การทรานส์ฟอร์มจากวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน โดยการจะระบุคุณสมบัติการลดทอนของวงจรกรองความถี่ช่วงผ่านนั้นจะต้องทำในเทอร์มของเดิร์ฟตอบสนองของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านดังรูปที่ 2.18 โดยจะเห็นได้ว่าวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะถูก ทรานส์ฟอร์มไปเป็นวงจรกรองความถี่ช่วงผ่านอัตราส่วนของแถบความถี่ที่ลดทอนจะมีค่าเท่าเดิม ตัวอย่างเช่น วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่มีความถี่คัทออฟ 3-dB หรือมีแถบความถี่ 2 กิโลเฮิร์ต จะแปลงไปเป็นวงจรกรองความถี่ช่วงผ่านที่มีแถบความถี่ 3-dB เท่ากับ 2 กิโลเฮิร์ต โดยแกน f / f_c ที่ถูกนอร์มอลไลซ์แล้วของเดิร์ฟการลดทอนวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะกลายเป็นอัตราส่วนของแถบความถี่ นั่นคือ

$$\frac{BW}{BW_C} = \frac{f}{f_C}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย BW = แถบความถี่ที่ค่าการลดทอนที่ต้องการ

BWc = แถบความถี่ที่ 3-dB ของวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน



รูปที่ 2.20 การแปลงแถบความถี่จากความถี่ต่ำผ่านเป็นความถี่ช่วงผ่าน

ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ช่วงผ่านจะมีค่าสมมาตรเฉพาะในสเกลล็อกเท่านั้น ซึ่งในสเกลลิเนียร์จะไม่อยู่ตรงกลาง โดยจะหาค่าความถี่กึ่งกลางจากสูตร

$$f_o = \sqrt{f_L f_U}$$

โดย f_L และ f_U เป็นความถี่ใดๆ (ความถี่หนึ่งอยู่ก่อนช่วงพาสแบนด์อีกความถี่หนึ่งอยู่หลังช่วงพาสแบนด์)

โดยที่

f_L คือ ความถี่พาสแบนด์ด้านต่ำ

f_U คือ ความถี่พาสแบนด์ด้านสูง

พารามิเตอร์ที่สำคัญของ Bandpass filter อีกอย่างหนึ่งคือ filter selectivity factor (Q) ซึ่งสามารถหาได้โดย

$$Q = \frac{f_o}{BW}$$

เมื่อ Bw คือ passband bandwidth ($f_L - f_U$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความชันของ Bandpass filter (As) สามารถหาได้จาก

$$As = \frac{\text{Stopband Bandwidth}}{\text{Passband Bandwidth}}$$

ซึ่งค่าความชันนี้จะเป็นตัวกำหนดในการเลือกค่านอมอลไลท์ของ Lowpass filter จาก Frequency respons curves เพื่อใช้ในการคำนวนหา Bandpass filter ที่มี passband และ stopband ตามต้องการ

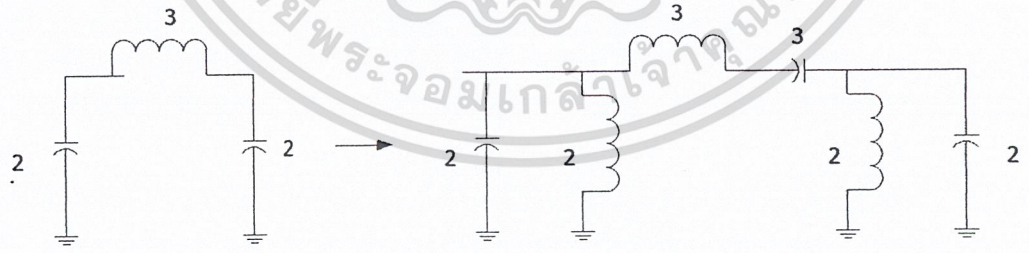
วิธีสร้างวงจรความถี่ช่วงผ่านมีขั้นตอนดังนี้

1.ทำการแปลงความต้องการของวงจรกรองความถี่ช่วงผ่านไปเป็นวงจรความถี่ต่ำผ่าน

2.ทำการหาอันดับที่เหมาะสมของวงจร โดยพิจารณาจากกราฟผลตอบสนองของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

3.หาผลตอบสนองของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

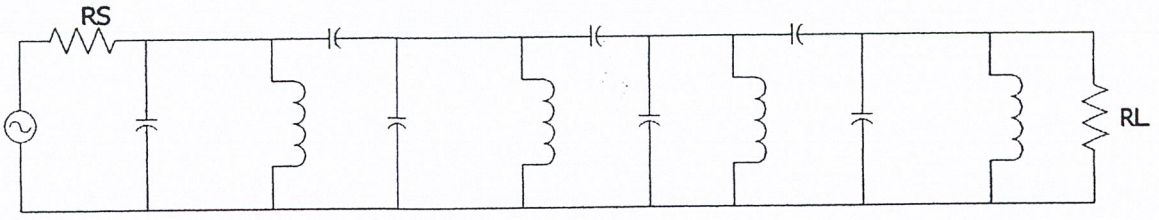
4.ทำการแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านไปเป็นวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน โดยเพิ่มส่วนประกอบเข้าไปในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ถ้าหากองค์ประกอบเป็นตัวเก็บประจุก็ใส่ตัวเหนี่ยวนำเพิ่มเข้าไปดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การแปลงองค์ประกอบวงจรตามความถี่ต่ำผ่านไปเป็นความถี่ช่วงผ่าน

วงจรครองความถี่เฉพาะช่วงผ่าน แบนแคบสามารถที่จะออกแบบโดยใช้เทคนิคการคับปลิ้ง ซึ่งวงจรจูนแบบขนาน ถูกทำให้ถ่ายโอน โดยอุปกรณ์ คือ ขดลวดหรือตัวเก็บประจุ ดังรูป 2.22

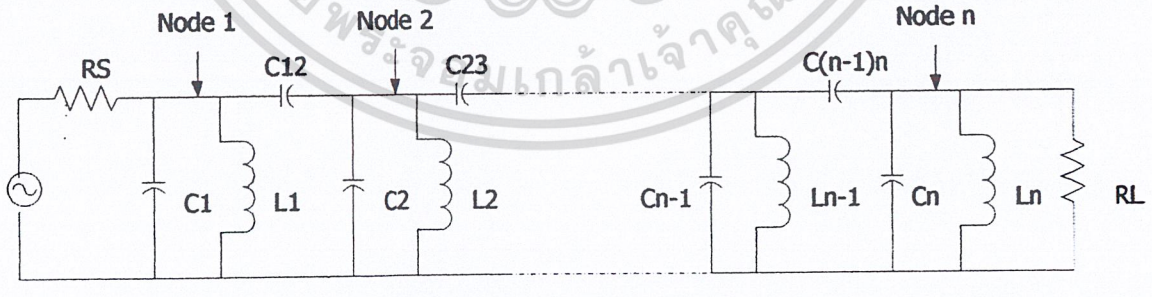
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.22 แสดงวงจรฟิลเตอร์ คาปาซิตีฟคัปปลิ้ง

ค่า Q ของวงจร จะมีค่าตั้งแต่ 10 หรือมากกว่า ในทางปฏิบัติ สำหรับอุปกรณ์จะได้โดยการแปลง วงจรกรองความถี่ต่ำไปเป็นวงจรกรองความถี่เฉพาะช่วง สำหรับ ค่า Q ที่สูงมากจะง่ายไปด้วย ในการปรับ เพราะสามารถเพิ่มจำนวน โนด ทั้งหมดได้ จะมีลักษณะเหมือนกับความถี่

ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการปรับค่าสำหรับวิธีการออกแบบที่ดีที่สุด สมมุติว่า อุปกรณ์คัปปลิ้ง มี อิมพีแดนท์ คงที่กับความถี่ เพื่อทำให้แบนวิดแคบ ที่ไฟ DC ตัวเก็บประจุที่คัปปลิ้ง จะตอบสนองเริ่มต้นที่ 0 db สาเหตุนี้ ผลตอบสนองความถี่จะเพิ่มขึ้นไม่สมมาตร กับ คุณสมบัติและความสัมพันธ์ตัวเลขก็จะเบี่ยงเบน จากความถี่ศูนย์กลางรูปร่าง ของผลตอบสนอง จะกวาดลงบนความถี่บนความถี่ด้านต่ำ ของช่วงผ่านนั้น รูปวงจรทั่วไปของฟิลเตอร์แบบคาปาซิเตอร์ คัปปลิ้ง แสดงดังรูป 2.23



รูปที่ 2.23 แสดงวงจรทั่วไปของฟิลเตอร์ แบบ คาปาซิเตอร์ คัปปลิ้ง

เมื่อ n คืออันดับของฟิลเตอร์ ขยาย n ที่ขนานด้วยวงจรจูน และควบคุม โนด n ตามตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงBessel Capacitive Coupled Resonators

N	q1	qn	k12	k23	k34	k45	k56	k67	k78
2	0.5755	2.148	0.900						
3	0.337	2.203	1.748	0.684					
4	0.233	2.240	2.530	1.175	0.644				
5	0.394	0.275	1.910	0.750	0.650	1.987			
6	0.415	0.187	2.000	0.811	0.601	1.253	3.038		
7	0.187	0.242	3.325	1.660	1.293	0.695	0.674	2.203	
8	0.139	0.242	4.284	2.079	1.484	1.246	0.678	0.697	2.286

ค่าที่ใส่ในตาราง พารามิเตอร์ q และ k สำหรับบอกโพลทั้งหมดของฟิลเตอร์ พารามิเตอร์ ที่ใช้ทำให้เกิดส่วนประกอบสำหรับวงจรฟิลเตอร์ดังรูป 2.23 จากโครงข่าย q1 และ qn จะกำหนดให้สอดคล้อง กับส่วนแรกและส่วนสุดท้ายของวงจรรีโซแนนท์ และพารามิเตอร์ k กำหนดให้เทอมของ k12,k23,..... สัมพันธ์ กับ คาปาซิเตอร์ คัปปลิ้ง ในรูป 2.23

วิธีการออกแบบ มีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. คำนวนค่า Q ของฟิลเตอร์ แบบ ช่วงผ่าน ซึ่งกำหนดจากสูตร

$$Q_{bp} = \frac{f_o}{BW}$$

2. คำนวณ ค่าของ q และ k จากตารางที่ 2 โดยการเลือกชนิดและอันดับของฟิลเตอร์ ตามสูตร

$$Q1 = Qbp \times q1$$

$$Qn = Qbp \times qn$$

$$Kxy = \frac{Kxy}{Qbp}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.เลือกค่าอินดักแตนท์ ที่เหมาะสม คำนวนหารีซีสเตอร์ Rs และ RL

$$Rs = WoLG1$$

$$RL = WoLGn$$

4.หาคาปาซิเตอร์ ทั้งหมด ที่เป็นโนด คำนวนโดย

$$Cnode = \frac{1}{Wo2L}$$

และคาปาซิเตอร์ คัปปลิ้งซึ่งคำนวนจาก

$$Cxy = Kxy\ Cnode$$

5. คาปาซิเตอร์ ทั้งหมดที่ต่อ แต่ละโนดจะไม่เท่ากับ คาปาซิเตอร์ ที่เป็นโนด เพราะ คาปาซิเตอร์ที่ต่อขนานสามารถปรับค่าให้เท่ากับ Cnode แต่ว่าจะมีค่าน้อย คาปาซิเตอร์ คัปปลิ้ง ที่ต่อแต่ละโนดคำนวนได้คือ

$$C1 = Cnode - C12$$

$$C2 = Cnode - C12 - C23$$

$$C7 = Cnode - C67 - C78$$

แต่ละโนด เป็นการปรับความถี่ fo กับ โนด ที่อยู่ติดกันอยู่กับกราวด์ ดังนั้น คาปาซิเตอร์ ที่ต่อแต่ละโนด จะอยู่ขนานแต่ตรงข้ามกับวงจรจูน

วงจรฟิลเตอร์ ที่สมบูรณ์ จะขยายอิมพีแดนท์ ด้วยการสแกนค่า จาก ต้นกำเนิดไปยังโหลดภายนอกที่ปรากฏ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและคำนวณสายอากาศและวงจรกรองความถี่

3.1 สายอากาศยากิ – อุดะไดโพล

สายอากาศที่ออกแบบจะใช้รับส่งสัญญาณในช่วงความถี่ช่อง 6 คือ 181-188 MHz ซึ่งมีขั้นตอนการออกแบบคือ

1. หาความถี่ fo $= \frac{f_{max}+f_{min}}{2} = \frac{188+181}{2} = 184.5$ MHz

และ $\lambda = \frac{C}{fo} = \frac{300x10^{6}}{184.5x10^{6}} = 1.626$ m

2. ออกแบบโดยให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์ของอีลีเมนต์ d = 0.95 cm และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบูม D = 1.9 cm และต้องการค่าเกน (gain) = 9.2 dB ดูจากตารางที่ 3 จากตารางจะเห็นว่ามีอีลีเมนต์จำนวน 5 อีลีเมนต์โดยมีค่าต่างๆ ดังนี้

$l1'' = 0.482\lambda$, $l3'' = l5'' = 0.482\lambda$, $l4'' = 0.424\lambda$

ความยาวรวมทั้งหมดเท่ากับ

$0.8\lambda = 0.8 \times 1.626m = 1.3008m$

ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ

$0.2\lambda = 0.2 \times 1.62\ m = 32.52$ cm

3. หาค่าขนาดของอีลีเมนต์และบูมต่อความยาวไฟฟ้า

$\frac{d}{\lambda} = \frac{0.95x10^{-2}}{1.626} = 0.0058426$

$\frac{D}{\lambda} = \frac{1.9x10^{-2}}{1.626} = 0.011685$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

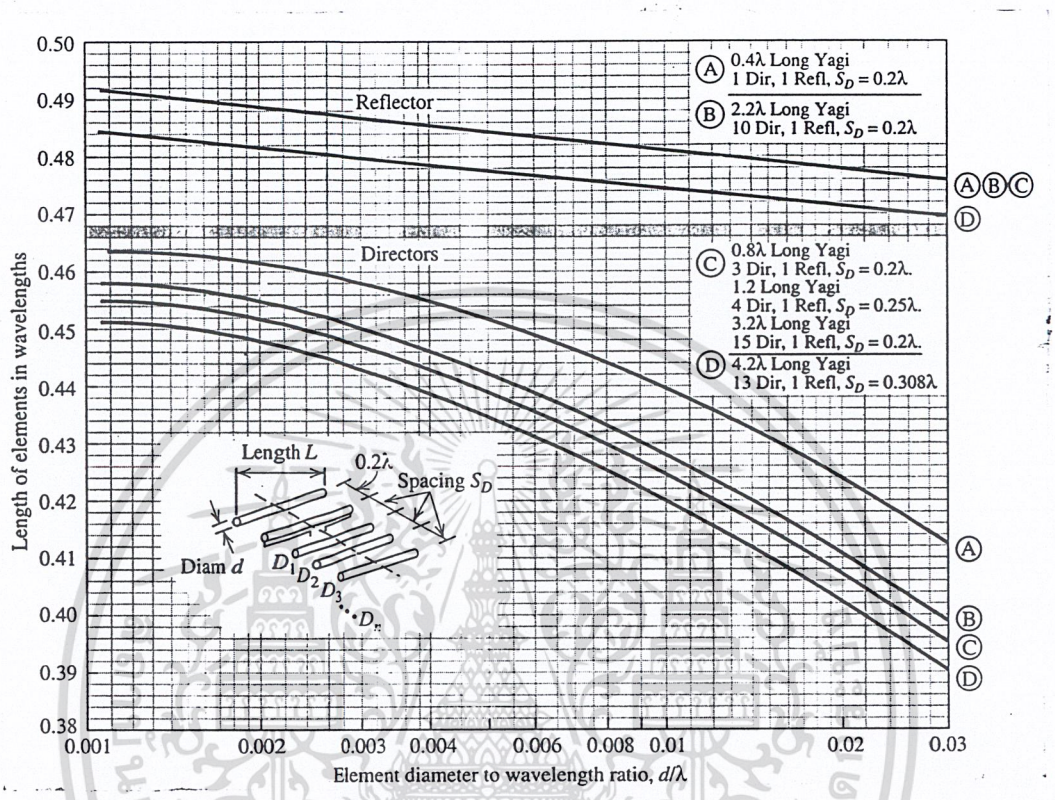
ตารางที่ 3 แสดงพาราซิติคอีลีเมนท์ของสายอากาศยากิ-อุดะ

d/λ = 0.0085 s_{12} = 0.2A		LENGTH OF YAGI-UDA (IN WAVE LENGTHS)					
		0.4	0.8	1.20	2.2	3.2	4.2
LENGTH OF REFLECTOR (l_1/λ)		0.482	0.482	0.482	0.482	0.482	0.475
LENGTH OF DIRECTORS, λ	L3	0.442	0.428	0.428	0.423	0.428	0.424
	L4		0.424	0.420	0.415	0.420	0.424
	L5		0.428	0.420	0.407	0.407	0.420
	L6			0.428	0.398	0.398	0.407
	L7				0.390	0.394	0.403
	L8				0.390	0.390	0.398
	L9				0.390	0.386	0.394
	L10				0.390	0.386	0.390
	L11				0.398	0.386	0.390
	L12				0.407	0.386	0.390
	L13					0.386	0.390
	L14					0.386	0.390
	L15					0.386	0.390
	L16					0.386	0.390
	L17					0.386	0.390
SPACING BETWEEN DIRECTORS (s_{λ}/λ)		0.20	0.20	0.25	0.20	0.20	0.308
DIRECTIVITY RELATIVE TO HALF-WAVE DIPOLE (dB)		7.1	9.2	10.2	12.25	13.4	14.2
DESIGN CURVE (SEE FIGURE 10.25)		(A)	(B)	(B)	(C)	(B)	(D)

SOURCE : PETER P.VIEZBICKE, YAGI ANTENNA DESIGN, NBS TECHNICAL NOTE 688, DECEMBER 1976.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กำหนดจุด $l1''$, $l3''$ = $l5''$, $l4''$ ลงบนรูป



รูปที่ 3.1 แสดงเคิร์ฟที่ใช้ออกแบบในการคำนวนความยาวแต่ละอีลีเมนท์ของสายอากาศยากิขณะที่ยังไม่ได้ชดเชย

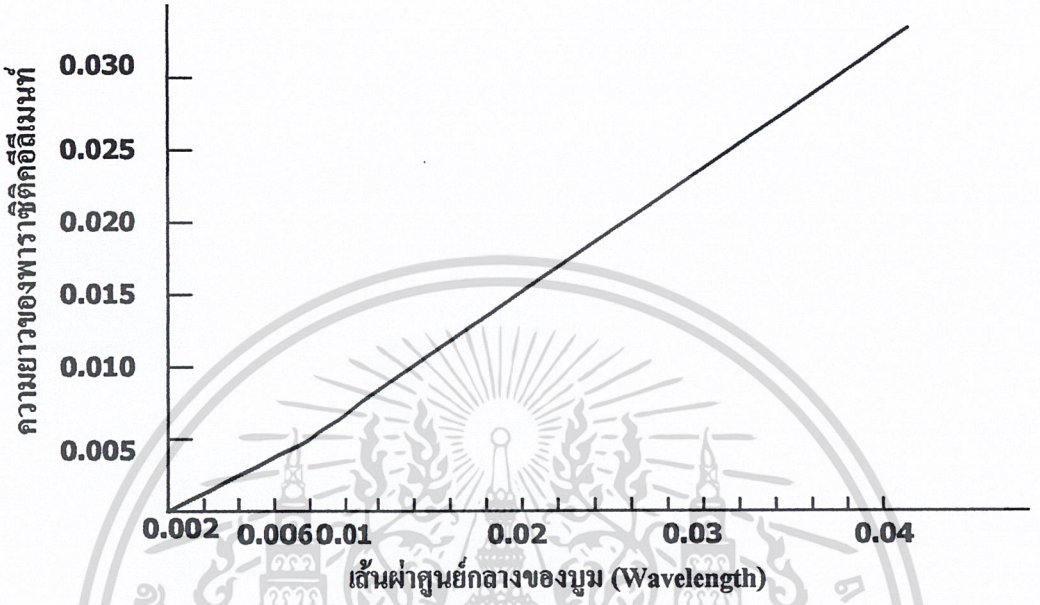
5. จากรูปลากเส้นดิ่งผ่านจุด $\frac{d}{\lambda}$ = 0.0058426 ตัดเส้นโค้ง B ได้ความยาวที่ยังไม่ชดเชย คือ $l1' = 0.483\lambda$, $l3' = l5' = 0.439\lambda$

6. ใช้ Divider วัดระยะ Δl ตามเส้นโค้ง B ระหว่างจุด $l3' = l5' = 0.428\lambda$ ย้ายระยะนี้จากจุด $l3' = l5' = 0.439\lambda$ บันเส้นโค้ง B ลงมาตามเส้นโค้งจะได้ความยาว $l4''$ ที่ยังไม่ชดเชยคือ $l4$

$\therefore l1' = 0.483\lambda$, $l3' = 0.439\lambda$, $l4' = 0.438\lambda$

7.แก้ความยาวของอีลีเมนต์เพื่อชดเชยสำหรับค่าเส้นผ่านศูนย์บูมค่า $\frac{D}{\lambda}$ = 0.011685 นำมาพล็อตในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงเส้นเคิร์ฟที่ใช้ชดเชยความยาวแต่ละอีลีเมนท์เนื่องจากขนาดของบูม

จะได้ความยาวที่ต้องเพิ่มในแต่ละอีลีเมนต์ประมาณ 0.0075λ

$$\therefore \quad l1 = (0.485 + 0.0075)\lambda = 0.8 \text{ m}$$

$$l3 = l5 = (0.439+0.0075)\lambda = 0.726 \text{ m}$$

$$l4 = (0.433 + 0.0075)\lambda = 0.716 \text{ m}$$

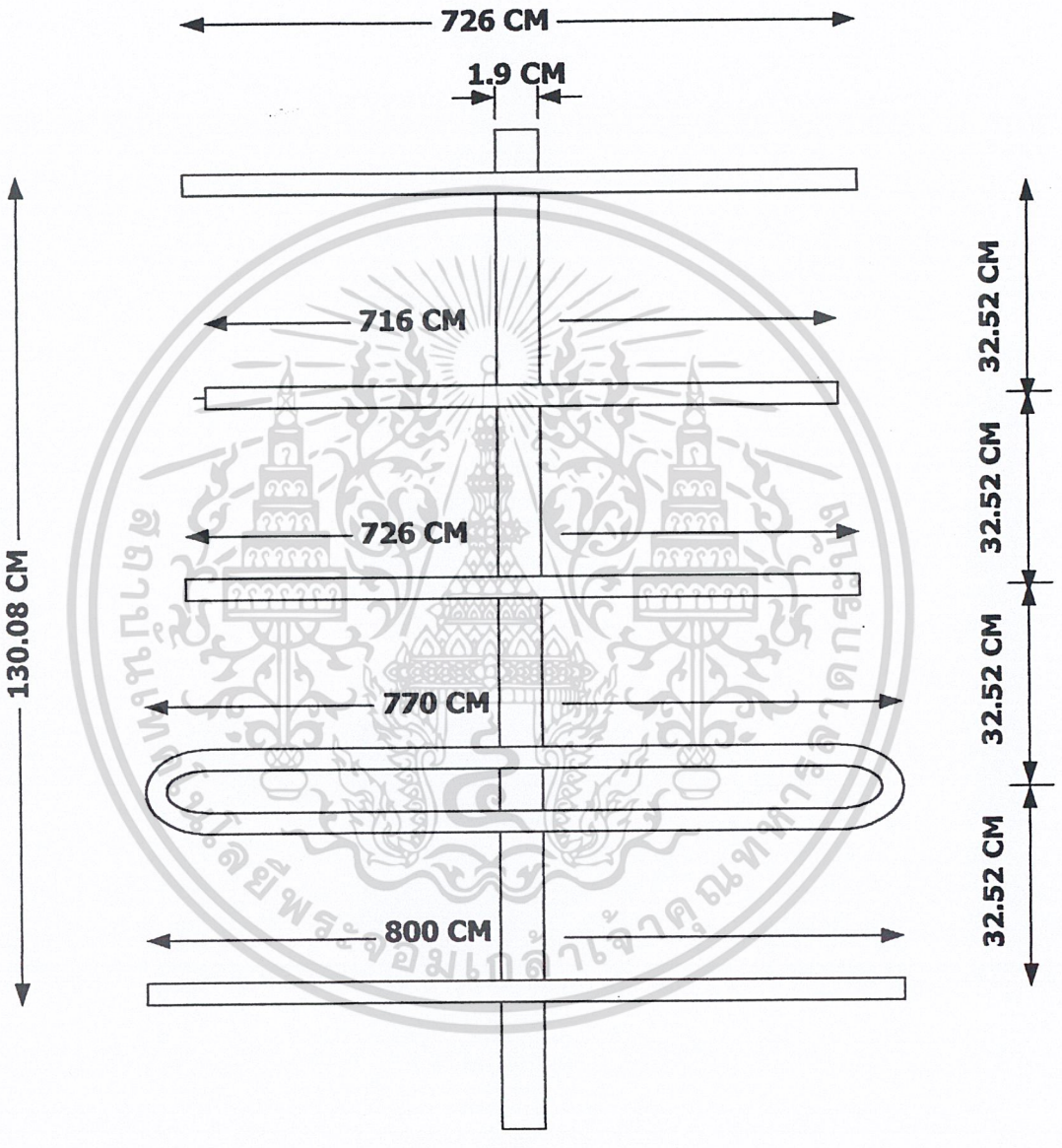
$$l2 = \frac{\lambda}{2} = \frac{1.626}{2} = 0.813 \text{ m}$$

โดยที่ l1 เป็นตัวสะท้อนคลื่น, l2 เป็นไดเวนอิลิเมนต์ และ l3, l4, l5 เป็นดังกำหนด ทิศทาง

ในทางปฏิบัตินั้น ความยาวของสายอากาศจะมีค่าน้อยกว่าความยาวของครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความยาวคลื่นกับเส้นผ่าศูนย์กลางตัวนำที่ใช้ทำสายอากาศนั้น (K)

$$\therefore l2 = \frac{\lambda}{2} \times K(0.95) = 0.77 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงสายอากาศยากิ 5 อิลิเมนต์ที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรฟิลเตอร์เฉพาะช่วงผ่าน (Bandpass filter)

การออกแบบวงจรฟิลเตอร์

ต้องการ Bandpass filter ที่มีความถี่อยู่ในช่วงความถี่ 181-188 MHz

ดังนั้น Center frequency จะเท่ากับ 184.5 MHz

เลือกใช้ n = 4

ดังนั้นจะได้ Parameter q และ k สำหรับ Bessel filter

ดังนี้คือ q1 = 0.233 ,q4 2.240 , k12 = 2.530, k23 = 1.175, k34 = 0.064

หาค่า Passband Q จาก

$$Qbp = \frac{fo}{Bw} = \frac{184.5}{7\,MHz} = 26.36$$

จะได้ค่า

$$Q1 = Qbp \times q1 = 6.14$$

$$Q4 = 59.05$$

$$K12 = \frac{k12}{Qpb} = 0.096$$

$$K23 = 0.045$$

$$K34 = 0.024$$

เลือกค่า L ที่เหมาะสมโดยเลือก L = 220nH

จะได้

$$Rs = WoLQ1 = 1.56\ K$$

$$RL = WoLQ4 = 15.07\ K$$

$$Cnode = 1/Wo^2L = 3.38\ pF$$

หาค่า C Coupling

$$C12 = K12 \times Cnode = 0.32\ pF$$

$$C23 = 0.15\ pF$$

$$C34 = 0.08\ pF$$

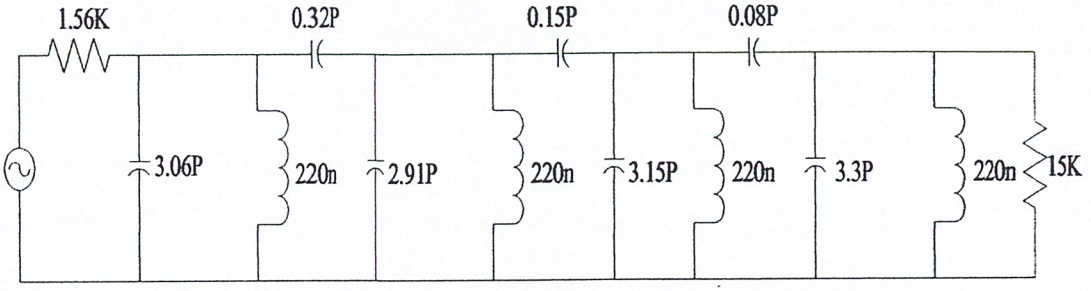
หา Shunt Capacitor

$$C1 = Cnode - C12 = 3.06\ pF$$

$$C2 = Cnode - C12 - C23 = 2.91\ pF$$

$$C3 = Cnode - C23 - C34 = 3.15\ pF$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



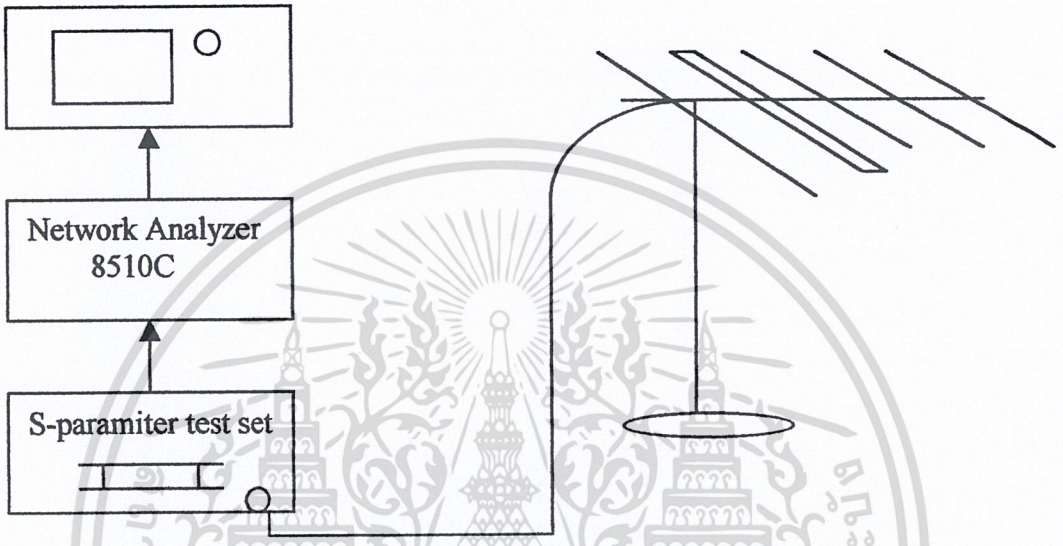
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรฟิลเตอร์เฉพาะช่วงผ่านที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

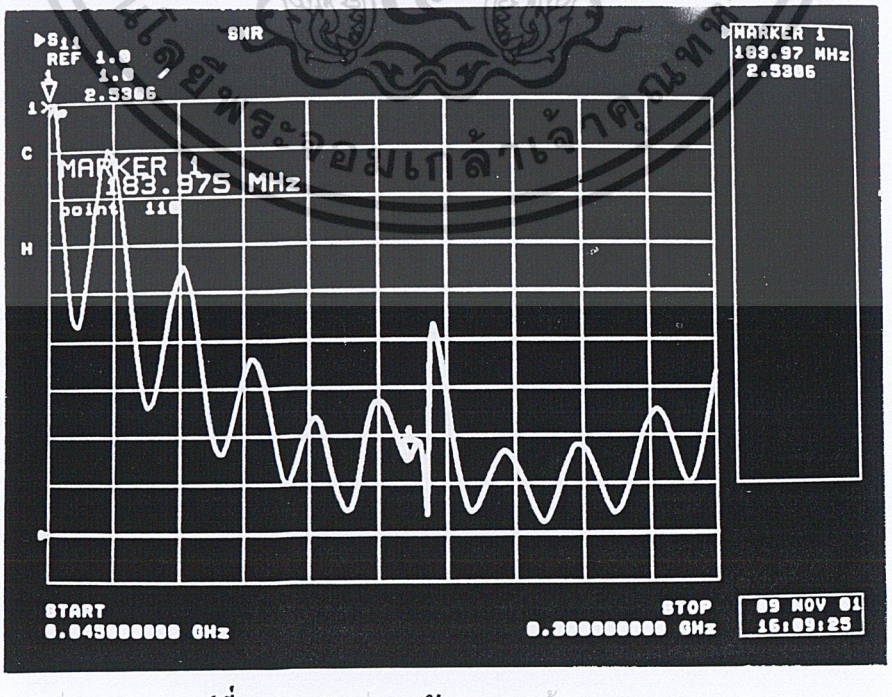
การทดสอบสายอากาศและวงจรฟิลเตอร์

4.1 ผลการวัดคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศยากิอุดะไดโพล



รูปที่ 4.1 แสดงการวัดคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ

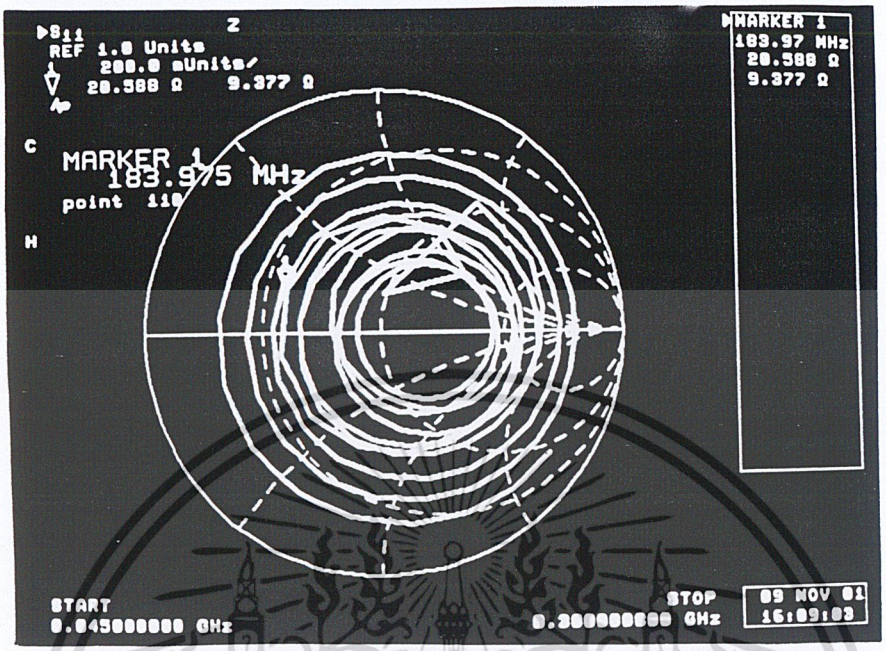
ผลการวัด SWR ของสายอากาศ



รูปที่ 4.2 แสดงผลการวัด SWR ของสายอากาศ

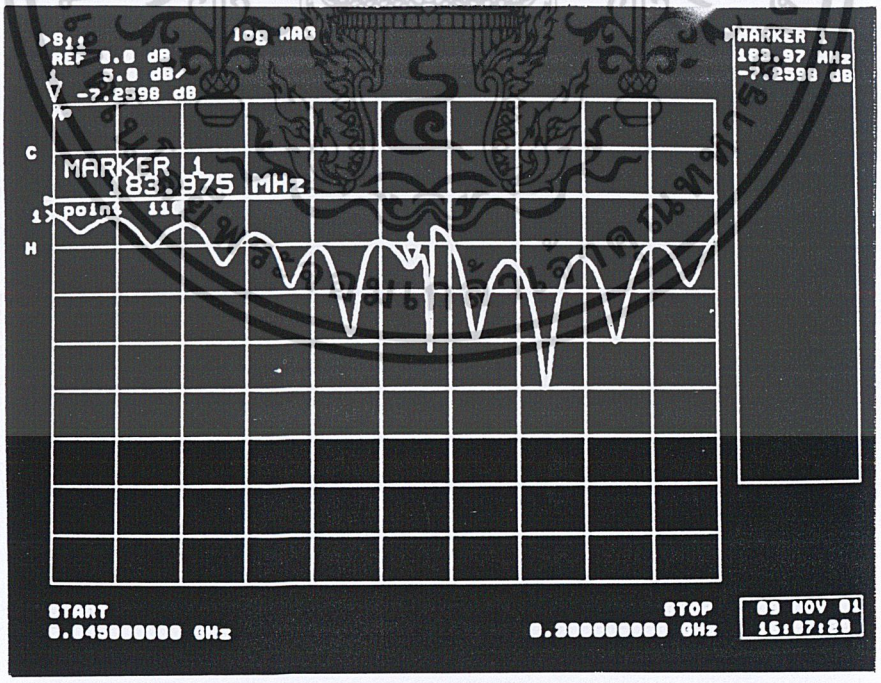
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำ[illegible]ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ



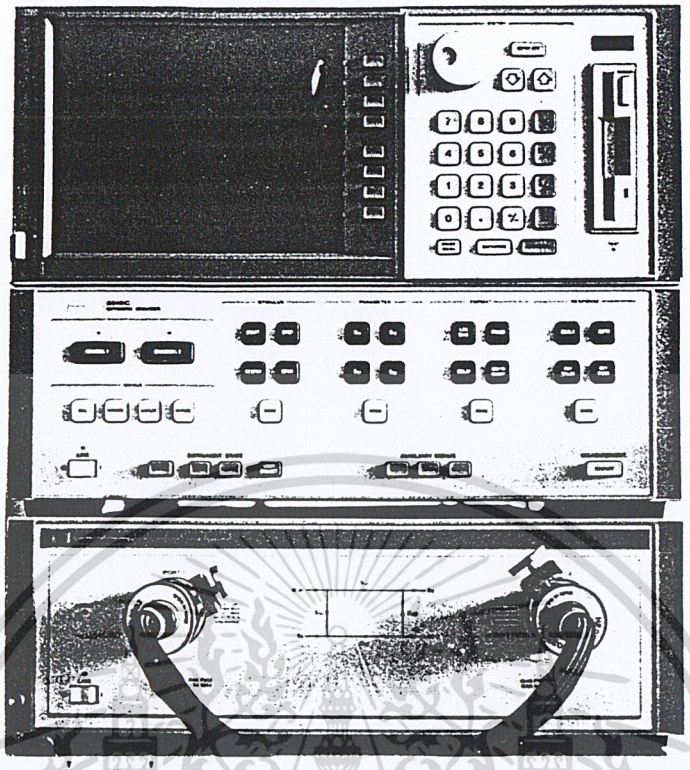
รูปที่ 4.3 แสดงผลการวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

ผลการวัดการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของคลื่น



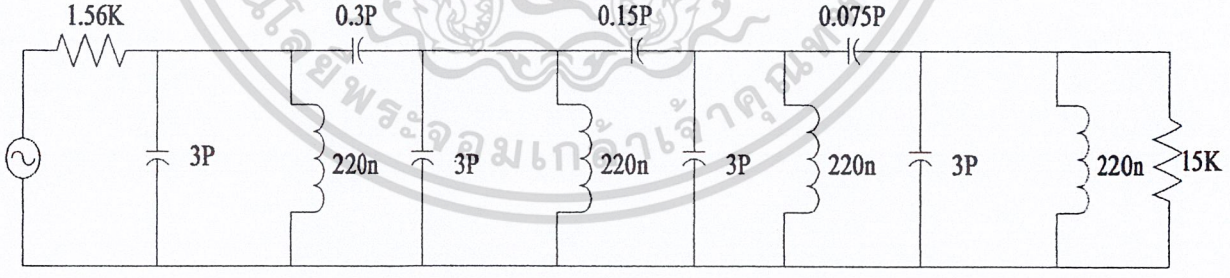
รูปที่ 4.4 แสดงผลการวัดการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศยากิอุดะไดโพล

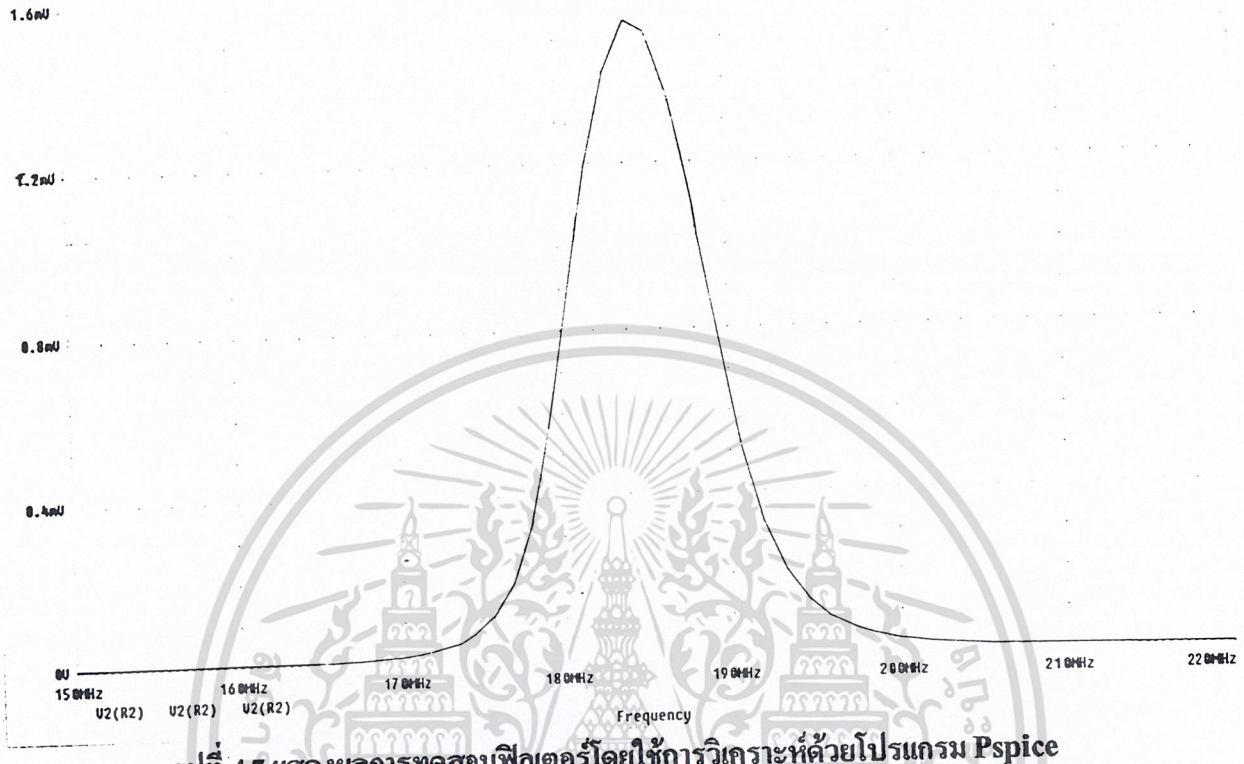
4.2 การวัดคุณสมบัติของวงจรฟิลเตอร์



รูปที่ 4.6 แสดงรูปวงจรฟิลเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

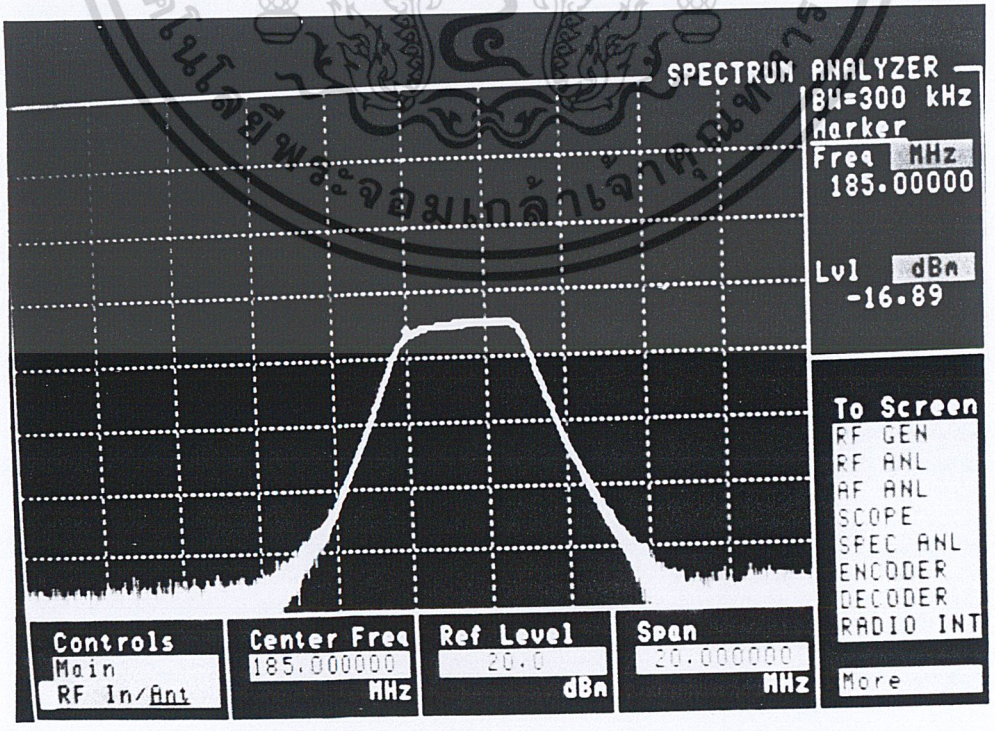
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบฟิลเตอร์โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Pspice



รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบฟิลเตอร์โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Pspice

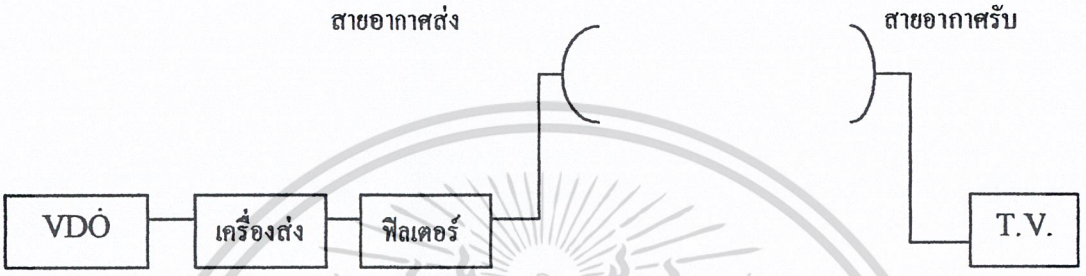
ผลการทดสอบฟิลเตอร์โดยการวัดจาก RF generator



รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบฟิลเตอร์โดยการวัดจาก RF generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบโดยทำการทดลองรับส่ง



รูปที่ 4.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมในการทดสอบการรับส่ง

ผลการทดสอบ

จากการทดลองส่งสัญญาณออกอากาศทางช่อง 6 ปรากฏว่าทางด้านรับสามารถรับสัญญาณได้ดีแต่ในการส่งระยะไกลๆคุณภาพของสัญญาณยังไม่ดีเท่าที่ควรและในการส่งจะต้องไม่ให้เครื่องส่งอยู่ในสถานที่ที่มีอุณหภูมิสูงๆเพราะจะทำให้เกิดการรบกวนภายในเครื่องส่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Antenna theory and Design , Waren L.Stutzman Gary A.Thiele

2. Electronic Filter Design Handbook , Arthur B. Williams

3. ทฤษฎีสายอากาศ โมไนย ไกรฤกษ์ และ วิวัติน์ กิรานนท์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

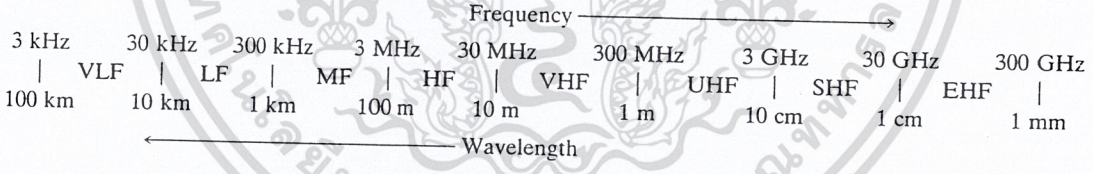
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix A

Tables of Commonly Used Frequencies

(in U.S.)

A.1 RADIO FREQUENCY BANDS



A.2 TELEVISION CHANNEL FREQUENCIES

VHF			
Channel No.	Frequency Range (MHz)	Channel No.	Frequency Range (MHz)
2	54–60	8	180–186
3	60–66	9	186–192
4	66–72	10	192–198
5	76–82	11	198–204
6	82–88	12	204–210
7	174–180	13	210–216

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix B

Material Data and Other Constants

B.1 CONDUCTIVITIES OF GOOD CONDUCTORS

Conductor	Conductivity (S/m)
Silicon steel	2×10^6
Brass	1.1×10^7
Aluminum	3.5×10^7
Gold	4.1×10^7
Copper	5.7×10^7
Silver	6.1×10^7

B.2 WIRE DATA

Wire Size AWG	Diameter in mm (in.)	Single Copper Wire Continuous Duty Current Capacity (A)	Copper Wire dc Resistance per Unit Length (Ω/100 m)
8	3.264 (0.1285)	73	0.1952
9	2.906 (0.1144)	—	0.2462
10	2.588 (0.1019)	55	0.3103
11	2.305 (0.0907)	—	0.3914
12	2.053 (0.0808)	41	0.4935
13	1.828 (0.0720)	—	0.6224
14	1.628 (0.0641)	32	0.7849
16	1.291 (0.0508)	22	1.248
18	1.024 (0.0403)	16	1.984
20	0.812 (0.0320)	11	3.155
22	0.644 (0.0253)	—	5.017
24	0.511 (0.0201)	—	7.98
26	0.405 (0.0159)	—	12.69
28	0.321 (0.0129)	—	20.17
30	0.255 (0.0100)	—	32.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Line Characteristics

TABLE B–1

Radio Frequency Transmission Lines

Class of Cables	*Type*	*Inner Conductor*	*Nominal Overall Diam. (in.)*	*Nominal Capacitance (pF/ft)*	*Maximum Operating Voltage (rms)*
50 ohms	RG–8A/U	7/0.0296	0.405	29.5	4000
50 ohms	RG–58C/U	19/0.0071	0.195	28.5	1900
50 ohms	RG–122/U	27/0.005	0.160	29.3	1900
50 ohms	RG–55A/U	0.035	0.216	28.5	1900
50 ohms	RG–174/U	7/0.0063	0.100	30.0	1000
50 ohms	RG–196A/U	7/0.0040	0.080	29.0	1000
High attenuation	RG–126/U	7/0.0203	0.275	29.0	3000
High attenuation	RG–21A/U	0.053	0.332	29.0	2700
High delay	RG–65A/U	0.008*	0.405	44.0	1000
Twin conductor	RG–86/U	7/0.0285	0.30 × 0.65	7.8	—
Twin conductor	RG–130/U	7/0.0285	0.625	17.0	8000

* Formex F. Helix with diameter of 0.128 in.

TABLE B–2

Typical Power Line Characteristics at 60 Hz

Circuit Voltage (kV, L–L)	*Conductor Size (thousands of cir. mils, or AWG)*	*Equiv. Spacing (ft)*	*R (at 50°C—ohms per phase per mile)*	*X (ohms per phase per mile)*	*Shunt C (megohms per phase per mile)*	*Surge Imped. (ohms, L–N)*
69	2/0	8	0.481	0.784	0.182	378
69	336.4	19	0.306	0.808	0.191	393
115	336.4	13	0.306	0.762	0.180	370
115	336.4	22	0.306	0.826	0.196	402
138	397.5	15	0.259	0.764	0.181	371
138	397.5	24	0.259	0.821	0.195	399
161	397.5	17	0.259	0.779	0.185	379
161	397.5	25	0.259	0.826	0.196	402

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1

Characteristics of Commonly Used Transmission Lines

Type of line	Z_0 Ohms	VF %	pF per foot	OD	Dielectric Material	Max Operating Volts (RMS)
RG-6	75.0	75	18.6	0.266	Foam PE	—
RG-8X	52.0	75	26.0	0.242	Foam PE	—
RG-8	52.0	66	29.5	0.405	PE	4000
RG-8 foam	50.0	80	25.4	0.405	Foam PE	1500
RG-8A	52.0	66	29.5	0.405	PE	5000
RG-9	51.0	66	30.0	0.420	PE	4000
RG-9A	51.0	66	30.0	0.420	PE	4000
RG-9B	50.0	66	30.8	0.420	PE	5000
RG-11	75.0	66	20.6	0.405	PE	4000
RG-11 foam	75.0	80	16.9	0.405	Foam PE	1600
RG-11A	75.0	66	20.6	0.405	PE	5000
RG-12	75.0	66	20.6	0.475	PE	4000
RG-12A	75.0	66	20.6	0.475	PE	5000
RG-17	52.0	66	29.5	0.870	PE	11000
RG-17A	52.0	66	29.5	0.870	PE	11000
RG-55	53.5	66	28.5	0.216	PE	1900
RG-55A	50.0	66	30.8	0.216	PE	1900
RG-55B	53.5	66	28.5	0.216	PE	1900
RG-58	53.5	66	28.5	0.195	PE	1900
RG-58 foam	53.5	79	28.5	0.195	Foam PE	600
RG-58A	53.5	66	28.5	0.195	PE	1900
RG-58B	53.5	66	28.5	0.195	PE	1900
RG-58C	50.0	66	30.8	0.195	PE	1900
RG-59	73.0	66	21.0	0.242	PE	2300
RG-59 foam	75.0	79	16.9	0.242	Foam PE	800
RG-59A	73.0	66	21.0	0.242	PE	2300
RG-62	93.0	86	13.5	0.242	Air space PE	750
RG-62 foam	95.0	79	13.4	0.242	Foam PE	700
RG-62A	93.0	86	13.5	0.242	Air space PE	750
RG-62B	93.0	86	13.5	0.242	Air space PE	750
RG-133A	95.0	66	16.2	0.405	PE	4000
RG-141	50.0	70	29.4	0.190	PTFE	1900
RG-141A	50.0	70	29.4	0.190	PTFE	1900
RG-142	50.0	70	29.4	0.206	PTFE	1900
RG-142A	50.0	70	29.4	0.206	PTFE	1900
RG-142B	50.0	70	29.4	0.195	PTFE	1900
RG-174	50.0	66	30.8	0.100	PE	1500
RG-213	50.0	66	30.8	0.405	PE	5000
RG-214*	50.0	66	30.8	0.425	PE	5000
RG-215	50.0	66	30.8	0.475	PE	5000
RG-216	75.0	66	20.6	0.425	PE	5000
RG-223*	50.0	66	30.8	0.212	PE	1900
9913 (Belden)*	50.0	84	24.0	0.405	Air space PE	—
9914 (Belden)*	50.0	78	26.0	0.405	Foam PE	—
Aluminum Jacket, Foam Dielectric						
1/2 inch	50.0	81	25.0	0.500		2500
3/4 inch	50.0	81	25.0	0.750		4000
7/8 inch	50.0	81	25.0	0.875		4500
1/2 inch	75.0	81	16.7	0.500		2500
3/4 inch	75.0	81	16.7	0.750		3500
7/8 inch	75.0	81	16.7	0.875		4000
Open wire	—	97	—	—		—
75-ohm transmitting twin lead	75.0	67	19.0	—		—
300-ohm twin lead	300.0	82	5.8	—		—
300-ohm tubular	300.0	80	4.6	—		—
Open Wire, TV Type						
1/2 inch	300.0	95	—	—		—
1 inch	450.0	95	—	—		—

Dielectric Designation	*Name*	*Temperature Limits*
PE	Polyethylene	−65° to +80°C
Foam PE	Foamed polyethylene	−65° to +80°C
PTFE	Polytetrafluoroethylene (Teflon)	−250° to +250°C

*Double shield

—

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A-8 CELESTIAL RADIO SOURCES FOR PATTERN, SQUINT, GAIN AND APERTURE EFFICIENCY MEASUREMENTS

Source	Position (epoch 1950.0)									Size, arc min.	Isolation, deg.	Flux density, Jy‡						Polarization, percent	Distance, light-years (and red shift)§
	Right ascension				Declination							38 MHz	178 MHz	750 MHz	1.4 GHz	2.7 GHz	5 GHz		
	Hours	Min.	Sec.	Sec. error	Deg.	Arc min.	Arc sec.	Arc sec. error											
3C20	00	40	19.6	0.4	51	47	09	2		1	1	112	43	17	11.3	6.4	4.2	1.8	
3C196	08	09	59.4	0.2	48	22	07	2		0.25	1	166	68	23	13.9	7.7	4.4	1.2	8×10^9 ($z = 0.9$)
3C273	12	26	32.9	0.1	02	19	39	2		0.35	1	140	63	45	40	42	45	2	3×10^9 ($z = 0.16$)
3C295	14	09	33.6	0.3	52	26	14	2		0.3	0.5	94	83.5	35	22.4	12	6.5	0.4	7.5×10^9 ($z = 0.85$)
3C348	16	48	40.1	0.6	05	04	28	5		2	1	1690	351	84	44.5	22.4	11.9	1.5	3×10^9 ($z = 0.15$)
3C380	18	28	13.4	0.2	48	42	40	2		0.25	0.5	211	59	22	14.4	10	7.5	1.2	7×10^9 ($z = 0.7$)
Cygnus A	19	57	44.5	0.5	40	35	02			1.6	†	22 000	8700	2980	1590	785	371	0.2	10^9
3C123	04	33	55.2	0.2	29	34	14	2		0.1		57	189	72	45.8	27	16	1.2	
3C286	13	28	49.7	0.2	30	46	02	2		0.04	0.5	32	24	18	14.6	10	7.5	9	
Cas A	23	21	07		58	33	48			5	†	37 200	11 600	3880	2410	1470	910	—	11 000

† In compiex galactic plane region.
‡ Jy = 10^{-26} W m^{-2} Hz^{-1}.
§ 1 light year = 9.46×10^{12} km.