

สายอากาศภายในอาคารสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DVB-T2
INDOOR ANTENNA FOR DVB-T2 RECEIVER



โดย

นายวรารุณี

บานเย็นงาม

นางสาวชนิกานต์

มหาณา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

สายอากาศภายในอาคารสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DVB-T2

INDOOR ANTENNA FOR DVB-T2 RECEIVER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ปีการศึกษา 2557 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2557

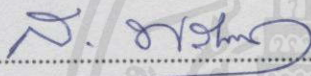
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศภายในอาคารสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DVB-T2
INDOOR ANTENNA FOR DVB-T2 RECEIVER

ผู้จัดทำ

1. นายวรารุติ บานเย็นงาม 53011425
2. นางสาวชนิกานต์ มหาวนา 54010276


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.สถาพร พรหมวงศ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศภายในอาคารสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์
ระบบ DVB-T2

INDOOR ANTENNA FOR DVB-T2 RECEIVER

โดย นายวราวุฒิ บานเย็นงาม 53011425

นางสาวชนิกานต์ มหาวนา 54010276

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สถาพร พรหมวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน ประเทศไทยได้ใช้เทคโนโลยีโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบ DVB-T2 (Digital video broadcasting – second generation terrestrial) ซึ่งสายอากาศเป็นส่วนสำคัญของระบบนี้ ดังนั้น ปริมาณนิพนธ์ฉบับนี้มีจุดประสงค์ เพื่อการศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศ โดยออกแบบและสร้างสายอากาศแบบไมโครสตริปสำหรับเครื่องรับโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบ DVB-T2 ในแถบความถี่สูงยิ่ง (470 MHz - 870 MHz) พร้อมทั้งวัดคุณลักษณะของสายอากาศ โดยประเมินผลจากค่า $|S_{11}|$ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน อินพุทอิมพีแดนซ์ และแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น รวมทั้งทดสอบกับการประยุกต์ใช้งานจริง

ABSTRACT

Nowadays, Digital video broadcasting – second generation terrestrial system (DVB-T2) is entered in Thailand. The antenna is the important part for this system. This thesis studies and designs the microstrip antenna for DVB-T2 receiver in the ultra-high frequency (UHF) band (470 MHz - 870 MHz). The characteristics of antenna such as $|S_{11}|$, voltage standing wave ratio (VSWR), Input impedance and pattern radiation are evaluated. After that, this antenna is tested with real application.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 วิศวกรรมระบบสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในประเทศไทย	3
2.2 ทฤษฎีและโครงสร้างสายอากาศ	9
2.3 คุณสมบัติที่สำคัญของสายอากาศ	26
2.4 วงจรขยายสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DVB-T2	42
บทที่ 3	
การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์	49
3.1 การออกแบบ	49
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	68
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	72
บทที่ 4	
ผลการทดลอง	74
4.1 ค่า $ S_{11} $ คุณสมบัติของสายอากาศ	74
4.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 4.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน ศึกษานี้ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ ภายใต้อาณัติของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 อินพุทอิมพีแดนซ์	76
4.4 การแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ	79
4.5 การคำนวณอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริป	81
4.6 การคำนวณอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปที่มีวงจรถยาย สัญญาณ	82
4.7 ฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณ	85
4.8 การประยุกต์ใช้งาน	88
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	90
5.1 สรุปผล	90
5.2 ข้อเสนอแนะ	91
บรรณานุกรม	92
ภาคผนวก	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	5
2.2	10
2.3	10
2.4	12
2.5	12
2.6	13
2.7	13
2.8	14
2.9	15
2.10	16
2.11	17
2.12	19
2.13	21
2.14	24
2.15	26
2.16	27
2.17	28
2.18	28
2.19	29
2.20	29
2.21	30
2.22	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23 โพลาริเซชันแบบวงกลม	35
2.24 โพลาริเซชันแบบวงรี	36
2.25 การสื่อสารไร้สายในอวกาศว่าง	40
2.26 วงจรรวมไมโครเวฟแบบโมนอลิทริก	42
2.27 วงจรไบอัสที่	43
2.28 วงจรกรองความถี่ต่ำ	44
2.29 วงจรการลดทอนสัญญาณแบบตัวพายแบบไม่สมดุล	45
2.30 วงจรการลดทอนสัญญาณแบบตัวพายแบบสมดุล	46
2.31 วงจรการลดทอนสัญญาณแบบตัวที่แบบไม่สมดุล	47
2.32 วงจรการลดทอนสัญญาณแบบตัวที่แบบสมดุล	48
3.1 แผนผังระบบการทำงานของปริญญานิพนธ์	50
3.2 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น	55
3.3 ผลการจำลองค่า $ S_{11} $ คุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริป	56
3.4 ผลการจำลองอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น	57
3.5 ผลการจำลองของค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น	58
3.6 สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น	59
3.7 วงจรรวมไมโครเวฟแบบโมนอลิทริก	60
3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราขยายของวงจรไมโครเวฟแบบโมนอลิทริกกับความถี่	61
3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไบอัสกับแรงดัน	61
3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราขยายของวงจรไมโครเวฟแบบโมนอลิทริกกับกระแสไบอัส	62
3.11 วงจรไบอัสตัวที่	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 วงจรกรองความถี่ต่ำ	63
3.13 วงจรลดทอนสัญญาณ	64
3.14 วงจรขยายสัญญาณโทรทัศน์	65
3.15 ลายวงจรที่ออกแบบด้วยโปรแกรม ALTIUM DESIGNER	66
3.16 วงจรขยายสัญญาณโทรทัศน์	66
3.17 วงจรสมมูลของสายอากาศไมโครสตริปที่มีวงจรถ่ายสัญญาณโทรทัศน์	67
3.18 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม	68
3.19 ตัวกำเนิดฟังก์ชัน	68
3.20 แหล่งจ่ายกำลัง	69
3.21 เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์	69
3.22 ชุดปรับเทียบชนิด OPEN, SHORT และ LOAD	70
3.23 สายนำสัญญาณ	71
3.24 สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น	71
4.1 การเปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดลองวัดค่า $ S_{11} $ คุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น	75
4.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดลองวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น	76
4.3 ผลการทดลองวัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริป	77
4.4 ผลการทดลองวัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรถ่ายสัญญาณโทรทัศน์	78
4.5 การเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า	79
4.6 การเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	80
4.7 ผลการทดลองวัดวงจรถ่ายสัญญาณโทรทัศน์	83

สารบัญรูป (ต่อ)

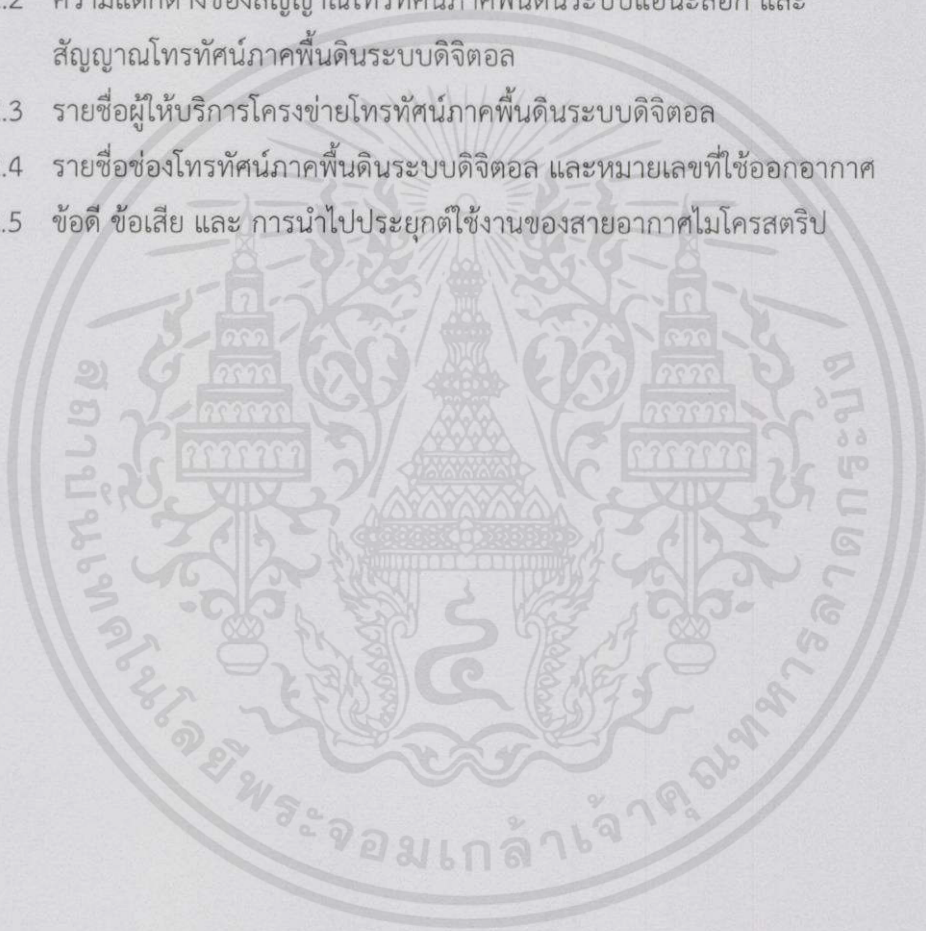
รูปที่		หน้า
4.8	ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ	85
4.9	เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ	86
4.10	อัตราการขยายของสายอากาศ	87
4.11	การทดลองประยุกต์ใช้งานจริง	88
4.12	การทดลองประยุกต์ใช้งานจริง	89



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ย่านความถี่การส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบ VHF และ UHF ในประเทศไทย	4
2.2 ความแตกต่างของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบแอนะล็อก และสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล	5
2.3 รายชื่อผู้ให้บริการโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล	7
2.4 รายชื่อช่องโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล และหมายเลขที่ใช้ออกอากาศ	7
2.5 ข้อดี ข้อเสีย และ การนำไปประยุกต์ใช้งานของสายอากาศไมโครสตริป	11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในประเทศไทยได้มีการเปลี่ยนแปลงระบบการแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์ครั้งใหญ่อีกครั้ง คือ การเปลี่ยนแปลงจากระบบการแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์แบบอนาล็อกในมาตรฐาน PAL มาเป็นระบบการแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์แบบดิจิทัลในมาตรฐาน DVB-T2 ซึ่งปัจจุบัน ระบบการแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์แบบอนาล็อกควบคู่ไปกับระบบดิจิทัลจนถึงปี พ.ศ. 2563 แล้วหลังจากนั้นก็将会การใช้การแพร่สัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลอย่างถาวร ซึ่งในการรับสัญญาณโทรทัศน์นี้ จะต้องมื่ออุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ สายอากาศนั่นเอง

ในปฏิญานพนธ์นี้ได้มีการศึกษาแนวคิดจากงานวิจัย เพื่อเป็นแนวทาง และ แนวคิด สำหรับการออกแบบสายอากาศนี้ด้วยดังนี้ มีการนำเสนอสายอากาศโมโนโพลที่ประกอบด้วยหลายวงแหวนและระนาบกราวด์แบบปลอก [1] โดยคำนึงถึงความสูงของสายอากาศ โดยมีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันเท่ากับ 2.5 : 1 ทำได้โดยใช้เทคนิคการแมตซ์ของอิมพีแดนซ์ เทคนิคการตัดบากที่ระนาบกราวด์ที่อยู่ด้านตรงข้ามกับส่วนป้อนสัญญาณและการปรับความสูงของระนาบกราวด์ การนำเสนออยู่ในช่วงความถี่ 463 MHz ถึง 871 MHz และแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง ที่มีอัตราขยายสูงสุด 4.2 dBi , มีการนำเสนอเกี่ยวกับ สายอากาศโมโนโพลที่ป้อนด้วยสายไมโครสตริปแถบกว้างขนาดเล็กกะทัดรัดแบบปลอก [2] จากการศึกษาพบว่า สายอากาศแบบโมโนโพลที่มีขนาดเล็กกะทัดรัดสำหรับการใช้งานในระบบทีวีดิจิทัล ในการออกแบบจะเป็นการคดเคี้ยวในส่วนของแพตช์ ซึ่งโครงสร้างนี้จะถูกนำไปใช้สำหรับการลดขนาด โดยต้องเลือกความยาวและระยะห่างของแขน ในการออกแบบจะมีย่านความถี่ที่ครอบคลุมระบบทีวีดิจิทัล คือ 470 - 862 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่กว้าง, มีการนำเสนอสายอากาศโมโนโพลแบบช่องขนาดเล็กที่สามารถใช้ในย่านความถี่ 460 MHz ถึง 1000 MHz [3] จากผลการทดลองค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันมีค่าต่ำกว่า 2 โดยมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง และอัตราขยายอยู่ในช่วง 1.1 – 2.4 dBi ซึ่งเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในโทรทัศน์ระบบดิจิทัล และต่อมามีการนำเสนอสายอากาศแผ่นระนาบสี่เหลี่ยมที่ใช้ในย่านความถี่ 530 MHz ถึง 880 MHz โดยมีช่องโค้งแยกเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 3 แผ่นย่อย [4] ส่วนที่หายไปของระนาบกราวด์ เป็นโครงสร้างที่ใช้สำหรับการลดขนาดและการแมตซ์ของอิมพีแดนซ์

ทางปริญญานิพนธ์จึงสังเกตเห็นถึงความสำคัญของสายอากาศภายในอาคารสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ดังนั้นทางปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบสายอากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นบาง และ น้ำหนักเบา มีขนาดที่พอเหมาะสำหรับการติดตั้งสายอากาศ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการสายอากาศภายในอาคารสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DVB-T2 ในย่านความถี่ช่วง 470 MHz ถึง 870 MHz
- 2) เพื่อทำการทดสอบวัดคุณลักษณะของสายอากาศภายในอาคารสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DVB-T2 ในย่านความถี่ช่วง 470 MHz ถึง 870 MHz
- 3) เพื่อทำการประเมินผลคุณลักษณะของสายอากาศภายในอาคารสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DVB-T2 เทียบกับสายอากาศทั่วไปในย่านความถี่ 470 MHz ถึง 870 MHz

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1) ทำการออกแบบ และ สร้างสายอากาศภายในอาคารสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DVB-T2 ด้วยการจำลองทางคอมพิวเตอร์
- 2) ทำการทดสอบวัดคุณสมบัติและพารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น ค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศ ทิศทางหรือการแผ่กระจายคลื่น และอัตราขยายของสายอากาศ
- 3) ทำการประเมินผลประสิทธิภาพในการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DVB-T2 ของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ในส่วนแรกเป็นเรื่องเกี่ยวกับวิวัฒนาการของระบบรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ในส่วนที่สองเป็นเรื่องเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของสายอากาศ และส่วนที่สามเป็นเรื่องเกี่ยวกับคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ

2.1 วิวัฒนาการระบบสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในประเทศไทย

2.1.1 สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบแอนะล็อกในประเทศไทย

ในพุทธศักราช 2498 ประเทศไทยมีการแผ่กระจายสัญญาณโทรทัศน์ครั้งแรกเป็นระบบขาวดำ 525 เส้น มาตรฐาน NTSC (National television standard committee) ออกอากาศผ่านสถานีไทยโทรทัศน์ช่อง 4 ที่บางขุนพรหม ต่อมาในปีพ.ศ. 2513 มีการเปลี่ยนแปลงระบบการส่งโทรทัศน์ขาวดำมาเป็นระบบการส่งโทรทัศน์สี 625 เส้น มาตรฐาน PAL (Phase alternation line) ซึ่งมาตรฐานนี้ได้มีการแบ่งแถบความถี่ของการใช้งานออกเป็นย่านความถี่ VHF (Very high frequency) และย่านความถี่ UHF (Ultra high frequency) โดยที่ย่านความถี่ VHF ซึ่งได้ถูกใช้จนเต็ม สถานีโทรทัศน์ที่จัดตั้งขึ้นมาใหม่จึงต้องใช้ในย่านความถี่ UHF ดังนั้น ย่านความถี่การส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบ VHF และ UHF ในประเทศไทย เป็นดังตารางที่ 2.1 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่การส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบ VHF และ UHF ในประเทศไทย [5,6]

สถานีโทรทัศน์	ระบบ	ช่วงความถี่ (MHz)	แบนด์วิดท์ (MHz)
สถานีวิทยุโทรทัศน์ไทยทีวีสีช่อง 3	UHF Band-IV ช่อง 32	558 – 566	8
	UHF Band-V ช่อง 60	782 – 790	8
สถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5	VHF Band-I ช่อง 5	174 – 181	7
สถานีโทรทัศน์สีกองทัพบกช่อง 7	VHF Band-III ช่อง 7	188 – 195	7
สถานีโทรทัศน์โมเดิร์นไนน์ทีวีช่อง 9	VHF Band-III ช่อง 9	202 – 209	7
สถานีวิทยุโทรทัศน์แห่งประเทศไทยช่อง 11	VHF Band-III ช่อง 11	216 – 223	7
สถานีโทรทัศน์ทีวีไทย	UHF Band-IV ช่อง 29	534 – 542	8

2.1.2 สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอลในประเทศไทย

ในประเทศไทย ได้มีการเปลี่ยนระบบโทรทัศน์แอนะล็อกมาตรฐาน PAL มาเป็น ระบบโทรทัศน์ดิจิตอลมาตรฐาน DVB - T2 (Digital Video broadcasting – second generation terrestrial) ซึ่งเป็นระบบโทรทัศน์ดิจิตอลภาคพื้นดินที่ก้าวหน้าและทันสมัยที่สุด เนื่องจากพัฒนาปรับปรุงมาจากระบบมาตรฐาน DVB-T มีประสิทธิภาพการใช้งานดีที่สุด โดยนำเทคโนโลยีการผสมสัญญาณ OFDM (Orthogonal frequency division multiplex) โดยการแบ่งคลื่นความถี่วิทยุเป็นความถี่ย่อยจำนวนมาก เพื่อให้ส่งสัญญาณที่มีความคงทน และใช้เทคนิคระบบป้องกันแก้ไขความผิดพลาดของสัญญาณ ดังนั้น ประสิทธิภาพการส่งสัญญาณของข้อมูลจึงมากกว่าระบบมาตรฐาน DVB-T อยู่ ประมาณ 1.5 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แผนผังการใช้งานระบบมาตรฐาน DVB-T2 [7]

นอกจากนี้ ในระบบมาตรฐาน DVB-T2 สามารถมีช่องรายการโทรทัศน์จำนวนมากเพียงพอสำหรับการจัดสรรให้หน่วยงานต่างๆ เพิ่มความคงทนของสัญญาณในการส่งการระดับต่ำรวมทั้ง ปรับคุณภาพสูงขึ้นในอนาคต จะเห็นได้ว่า ความแตกต่างของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบแอนะล็อก และ สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล แสดงดังตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ความแตกต่างของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบแอนะล็อก และ สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล [7]

คุณภาพของสัญญาณ	สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดิน	
	ระบบแอนะล็อก	ระบบดิจิทัล
คุณภาพของสัญญาณภาพ	Analog Signal   สัญญาณจะเปลี่ยนไปตามระดับความแรงของสัญญาณที่รับได้	Digital Signal   คุณภาพคมชัดอยู่เสมอ
คุณภาพเสียง	สัญญาณเสียงมาในระบบสเตอริโอ 2 ช่องสัญญาณ	สัญญาณเสียงมาในระบบรอบทิศทาง 5.1 ช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ความแตกต่างของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบแอนะล็อก และ สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล [7]

คุณภาพของสัญญาณ	สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดิน	
	ระบบแอนะล็อก	ระบบดิจิทัล
คุณภาพของภาพ	 ความละเอียดของภาพสูงสุด ซึ่งจะอยู่ในระดับเพียงความคมชัดมาตรฐาน (SD) คือ 4:3	 ความละเอียดของภาพสูงสุด ซึ่งจะอยู่ในระดับความคมชัดสูงเต็มที่(Full HD) คือ 16:9
ประสิทธิภาพการใช้คลื่นความถี่	ช่องรายการได้เพียงช่องรายการเดียว	-ระบบ DVB-T ส่งสัญญาณในแบบ SDTV ได้ 8-10 รายการ -ระบบ HDTV 2 รายการ และ SDTV 2 รายการ

นอกจากนี้สัญญาณโทรทัศน์สามารถส่งผ่านช่องนำสัญญาณ หรือ สายเคเบิลไปยังเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งเป็นการติดต่อโดยตรงระหว่างสถานีส่งกับผู้รับสัญญาณ เช่น การส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านสายโคแอกเซียล หรือ สายส่งใยแก้วนำแสง (เคเบิลทีวีท้องถิ่น) ผ่านดาวเทียม (จานดำ จานเหลือง เป็นต้น รวมทั้ง UBC) โทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต (IPTV) เป็นต้น

2.1.2.1 รายชื่อช่องโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล และ หมายเลขที่

ใช้ออกอากาศ

ทางสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้มีการประมูลหมายเลขช่องโทรทัศน์ที่ใช้ออกอากาศ โดยผู้ที่ประมูลชนะด้วยมูลค่าเงินสูงสุดได้เลือกหมายเลขก่อนตามลำดับ ในการประมูลครั้งนี้ได้มีผู้ให้บริการโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ในปัจจุบันมีทั้งหมด 5 MUX จากผู้ให้บริการ 4 องค์กร แสดงดังตามตารางที่ 2.3 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 รายชื่อผู้ให้บริการโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล [7]

อุปกรณ์รวม ส่งสัญญาณ	เลขช่องสัญญาณ (เฉพาะสถานีกรุงเทพฯ)	ความถี่ (MHz)	ผู้ให้บริการโครงข่าย
MUX#1	26	514	สถานีวิทยุโทรทัศน์แห่งประเทศไทย เอ็นบีที เอชดี (PRD)
MUX#2	36	594	สถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก (TV MUX2)
MUX#3	40	626	บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน) (MCOT)
MUX#4	44	658	องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพ สาธารณะแห่งประเทศไทย (TPBS)
MUX#5	52	722	สถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก (TV MUX5)

ทางกสทช.ได้ทำการจัดช่องรายการโทรทัศน์ที่จะออกอากาศตามแต่ละประเภท
มีทั้งหมด 48 ช่อง แสดงดังตารางที่ 2.4 ดังนี้

ตารางที่ 2.4 รายชื่อช่องโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล และหมายเลขที่ใช้ออกอากาศ [7]

ประเภทบริการสาธารณะ มีทั้งหมด 12 ช่อง				
เลขช่อง	ความถี่	สัญลักษณ์	ชื่อช่อง	ระบบการออกอากาศ
1	594 MHz (MUX#2)		ททบ.5	HD
2	514 MHz (MUX#1)		NBT	HD
3	658 MHz (MUX#4)		Thai PBS	HD
4-12	ไม่มีการออกอากาศ เนื่องจากยังไม่มีผู้ได้รับใบอนุญาตให้บริการ			
ประเภทบริการทางธุรกิจ หมวดยุติเด็ก เยาวชน และครอบครัว มีทั้งหมด 3 ช่อง				
13	658 MHz (MUX#4)		3 Family	SD
14	626 MHz (MUX#3)		MCOT Kid & Family	SD
15	658 MHz (MUX#4)		LOCA	SD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานและการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) รายชื่อช่องโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล และหมายเลขที่ใช้ออกอากาศ [7]

ประเภทบริการทางธุรกิจ หมวดยุทธศาสตร์ และ สาระ มีทั้งหมด 7 ช่อง				
เลขช่อง	ความถี่	สัญลักษณ์	ชื่อช่อง	ระบบการออกอากาศ
16	594 MHz (MUX#2)		TNN	SD
17	658 MHz (MUX#4)		THV	SD
18	722 MHz (MUX#5)		NEW TV	SD
19	626 MHz (MUX#3)		Spring News	SD
20	722 MHz (MUX#5)		Bright TV	SD
21	626 MHz (MUX#3)		VOICE TV	SD
22	722 MHz (MUX#5)		Nation TV	SD
ประเภทบริการทางธุรกิจ หมวดยุทธศาสตร์ทั่วไป มีทั้งหมด 14 ช่อง				
23	594 MHz (MUX#2)		WORKPOINT TV	SD
24	594 MHz (MUX#2)		True 4 U	SD
25	722 MHz (MUX#5)		GMM TV	SD
26	722 MHz (MUX#5)		NOW	SD
27	722 MHz (MUX#5)		8	SD
28	658 MHz (MUX#4)		3 SD	SD
29	722 MHz (MUX#5)		MONO 29	SD
30	626 MHz (MUX#3)		MCOT HD	HD
31	594 MHz (MUX#2)		One	HD
32	626 MHz (MUX#3)		ไทยรัฐทีวี	HD
33	658 MHz (MUX#4)		3 HD	HD
34	722 MHz (MUX#5)		Amarin TV HD	HD
35	594 MHz (MUX#2)		7 HD	HD
36	722 MHz (MUX#5)		PPTV	HD
ประเภทบริการชุมชน มีทั้งหมด 12 ช่อง ตั้งแต่ช่องที่ 37 - 48 ปัจจุบันยังไม่ให้ใบอนุญาตบริการ				

2.2 ทฤษฎีและโครงสร้างสายอากาศ

สายอากาศ คือ อุปกรณ์หรือโครงสร้างที่ใช้สำหรับรับและส่งคลื่นความถี่วิทยุ (Radio frequency) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และในทางกลับกันก็เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในการสื่อสารไร้สาย

2.2.1 สายอากาศโมโนโพล

สายอากาศโมโนโพล (Monopole antenna) เนื่องจากเป็นสายอากาศที่มีน้ำหนักเบา และมีโครงสร้างของสายอากาศที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการออกแบบและสร้าง โดยสวนประกอบของสายอากาศที่ทำหน้าที่ในแผ่กระจายคลื่นจะถูกติดตั้งอยู่บนระนาบกราวด์แบบอนันต์ซึ่งสายอากาศนี้จะมีคุณลักษณะคล้ายกับสายอากาศไดโพล (Dipole antenna) ข้อเสียของสายอากาศโมโนโพลคือสามารถใช้งานได้เพียงแถบความถี่เดียว

2.2.2 สายอากาศไมโครสตริป

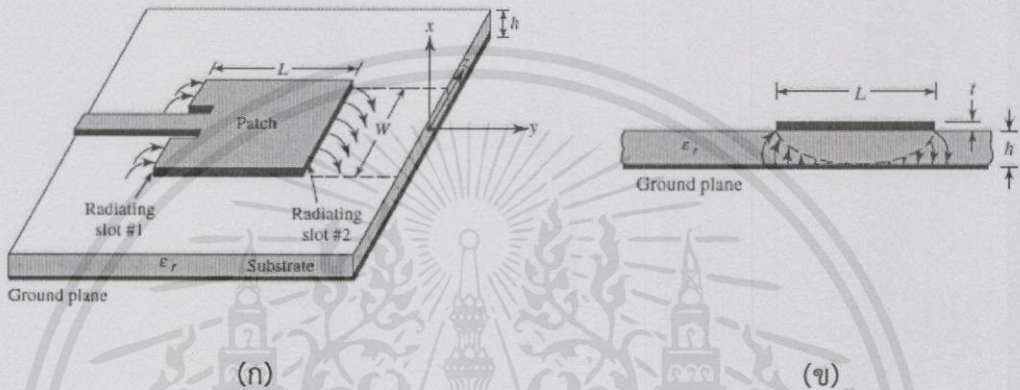
สายอากาศไมโครสตริปนี้ เป็นการพัฒนารูปแบบหนึ่งของสายอากาศเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์มือถือ เนื่องจากถูกออกแบบมาให้ใช้งาน กับความถี่ใดความถี่หนึ่ง โดยเฉพาะ รูปร่างจึงอิงตามความเหมาะสมของความถี่ใช้งานเป็นหลัก การสร้างสายอากาศชนิดนี้มีต้นทุนต่ำ น้ำหนักเบา และมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในการสื่อสารแบบไร้สาย

เป็นสายอากาศที่นิยมการใช้งานอย่างแพร่หลายตั้งแต่คริสต์ศักราช 1970 ใช้หลักการและเทคนิคของโฟโต้เทค (Photo-tech) ต่อมาได้มีการพัฒนาสายอากาศชนิดอื่นๆ ที่มีโครงสร้างเป็นระนาบเรียบคล้ายกับสายอากาศแผ่นไมโครสตริป เช่น สายอากาศแบบร่องด้ายสายส่งสตริป (Straplines slot antenna) สายอากาศแผ่นแบบโพรบด้านหลัง (Cavity backed printed antenna) และ สายอากาศไดโพลแบบแผ่น (Printed dipole antenna)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

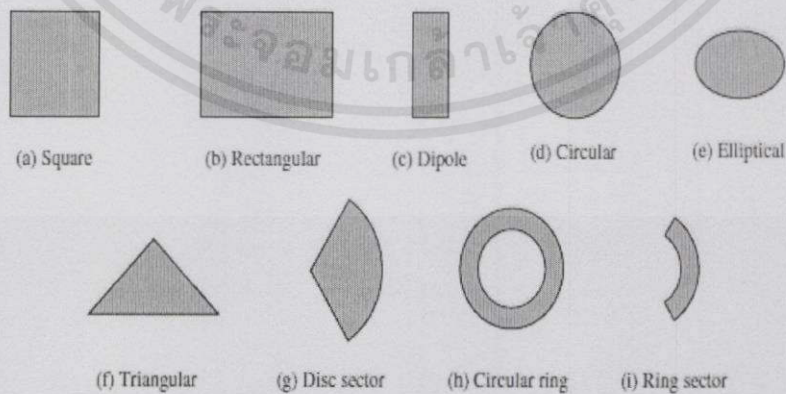
2.2.2.1 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ แผ่นตัวนำ วัสดุฐานรอง และระนาบกราวด์ แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป [8]

จากรูปที่ 2.2 พบว่า แผ่นตัวนำ (Patch) เป็นแผ่นโลหะบาง ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่กระจายคลื่นและสามารถออกแบบให้มีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปได้หลายรูปแบบ จะขึ้นอยู่กับ การนำไปใช้งานหรือจุดประสงค์ของการสร้าง เช่น รูปสี่เหลี่ยม รูปสามเหลี่ยม รูปวงกลม เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.3 รูปแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบต่างๆ [8]
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุฐานรอง (Substrate) โดยปกติแล้วสภาวะยอมสัมพัทธ์ (Relative permittivity: ϵ_r) ของวัสดุฐานรองนั้นจะอยู่ในช่วง $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ โดยขนาดและชนิดของวัสดุฐานรองจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่การใช้งาน แต่โดยส่วนมากจะมีลักษณะบาง จะทำให้สายอากาศมีประสิทธิภาพสูง และมีแบนด์วิดท์กว้างขึ้น แต่สายอากาศก็จะมีขนาดใหญ่ด้วย

ระนาบกราวด์ (Ground plane) เป็นแผ่นนำไฟฟ้าที่อยู่ด้านล่างของวัสดุฐานรอง ไดอิเล็กทริก ซึ่งทำหน้าที่เป็นระนาบสร้างเงาหรือกราวด์เพลนให้กับแผ่นไมโครสตริป ซึ่งในทางอุดมคติจะมีขนาดใหญ่มากเป็นอนันต์

สายอากาศไมโครสตริปมีข้อดีหลายอย่างเมื่อเทียบกับสายอากาศชนิดอื่นที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟ โดยมีการความถี่ใช้งานอยู่ในช่วง 100 MHz ถึง 50 GHz ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.5 ข้อดี ข้อเสีย และการนำไปประยุกต์ใช้งานของสายอากาศไมโครสตริป [8]

ข้อดี	ข้อเสีย	การนำไปประยุกต์ใช้งาน
1. น้ำหนักเบา	1. แบนด์วิดท์แคบ	1. การสื่อสารผ่านดาวเทียม
2. กระบวนการสร้างไม่ซับซ้อน	2. มีกำลังงานต่ำ	2. การติดต่อทางวิทยุสื่อสาร
3. ไม่ต้องใช้โพรบด้านหลัง	3. มีการแผ่กระจายคลื่นในครึ่งระนาบ	3. เรดาร์ และดรอปปเปอร์
4. มีการโพลาไรซ์ทั้งแบบวงกลมและเส้นตรงด้วยการเปลี่ยนแปลงจุดป้อนสัญญาณ	4. ประสิทธิภาพของโลบหลักในการแผ่กระจายไม่ดี	4. ระบบส่งงานและควบคุม
5. ติดตั้งง่าย	5. ประสิทธิภาพต่ำ	5. เป็นตัวแผ่กระจายคลื่นที่ใช้ในทางการแพทย์
		6. ตัวรับที่ใช้ในการเดินเรือ

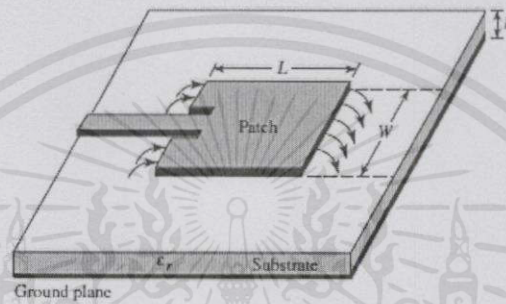
2.2.2.2 รูปแบบการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริป สามารถป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปนั้นมี 4 วิธี ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การป้อนสัญญาณด้วยสายส่งไมโครสตริป (Microstrip line)

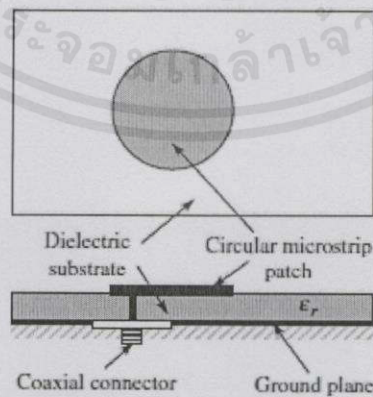
เป็นวิธีการป้อนสัญญาณเข้าไปที่ขอบของแผ่นไมโครสตริปสายส่งที่ใช้ป้อนสัญญาณทำจากแผ่นตัวนำเดียวกับแผ่นไมโครสตริป ซึ่งวิธีนี้สามารถสร้างและการแมตช์ของสายอากาศโดยการกำหนดตำแหน่งป้อนสัญญาณ โดยมีแบนด์วิดท์ ประมาณ 2 - 5 % ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การป้อนสัญญาณด้วยสายส่งไมโครสตริป [8]

2) การป้อนสัญญาณโพรบโคแอกเซียล (Probe coaxial feed)

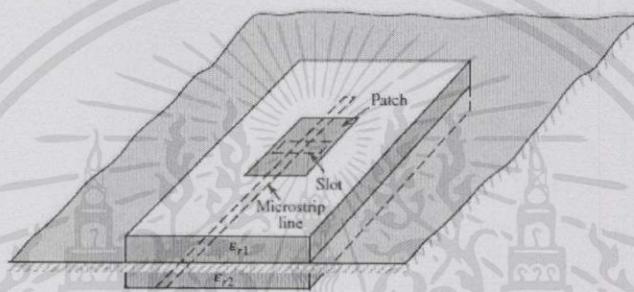
เป็นวิธีการป้อนสัญญาณ โดยตัวนำ (Connector) ที่อยู่ด้านในของโพรบ จะเชื่อมต่อกับแพตช์ที่ใช้ในการแผ่กระจายคลื่น และตัวนำตัวนอก เชื่อมต่อกับระนาบกราวด์ โดยมีแบนด์วิดท์ ประมาณ 1 - 3 % ดังแสดงในรูปที่ 2.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.5 การป้อนสัญญาณโพรบโคแอกเซียล [8]

3) การป้อนสัญญาณผ่านช่องเปิด (Aperture coupled feed)

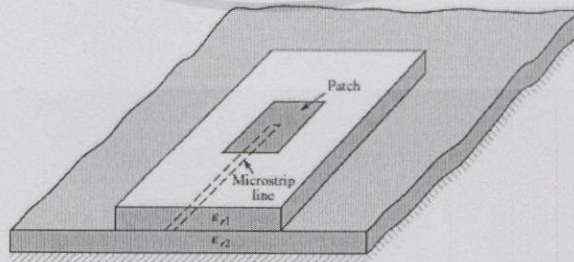
เป็นวิธีการป้อนสัญญาณที่ไม่ต้องสัมผัสกับแผ่นไมโครสตริป โดยใช้ช่องเปิดเป็นตัวเชื่อมต่อ ซึ่งมีแผ่นไมโครสตริปอยู่ด้านบนวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกเป็นมีระนาบกราวด์อยู่ที่ด้านล่าง และที่ระนาบกราวด์นี้จะมีช่องเปิด (Slot) เพื่อแก้ไขการเกิดโหมดอันดับสูง วิธีนี้เป็นการออกแบบและการสร้างค่อนข้างซับซ้อน โดยมีแบนด์วิดท์ ประมาณ 1 - 4 % ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การป้อนสัญญาณผ่านช่องเปิด [8]

4) การป้อนสัญญาณสัญญาณด้วยการวางไว้ใกล้กัน (Proximity coupled feed)

เป็นวิธีการป้อนสัญญาณที่สร้างยาก สามารถแมตซ์โดยการปรับความยาวของส่วนป้อนสัญญาณสตับ (feed stub) และอัตราส่วนของแพตช์ โดยมีแบนด์วิดท์ ประมาณ 13 % ดังแสดงในรูปที่ 2.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.7 การป้อนสัญญาณสัญญาณด้วยการวางไว้ใกล้กัน [8]

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงบนสื่อใดๆและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

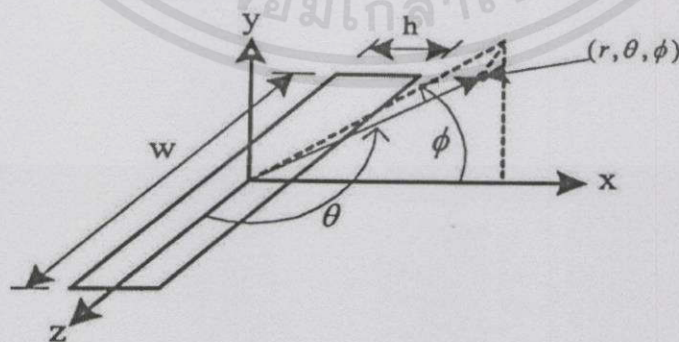
2.2.2.3 การวิเคราะห์โดยพิจารณาจากแบบจำลอง

1) แบบจำลองสายส่งสัญญาณ

เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด แต่ให้ผลที่ไม่ถูกต้องนักและมีความยืดหยุ่นน้อย แต่วิธีนี้จะทำให้เห็นภาพทางฟิสิกส์ได้ดี กรณีที่ใช้แบบจำลองโครงข่ายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า จะถูกแทนด้วยอาร์เรย์ (Array) ของตัวแพร่กระจายคลื่น 2 ตัว ที่มีช่องเปิดแคบๆ (Slot) แต่ละอันกว้าง W และสูง h วางห่างกันด้วยระยะ L โดยพื้นฐานแล้ว แบบจำลองสายส่งสัญญาณจะแทนสายอากาศไมโครสตริปด้วยร่อง 2 ร่อง แยกจากกันโดยมีอิมพีแดนซ์ค่าต่างๆ ของสายส่งสัญญาณคั่นอยู่ระหว่างร่องทั้ง 2 ด้วยระยะทาง L

2) ผลของฟริงกิง (fringing)

เนื่องจากขนาดของแพตช์นั้นจะถูกจำกัดไว้ด้วยขนาดความกว้างและความยาวที่แน่นอน ดังนั้น สนามที่บริเวณขอบของแพตช์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างร่องทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ปริมาตรของสนามฟริงกิงจะเป็นฟังก์ชันของขนาดของแพตช์ และความสูงของวัสดุฐานรองรับสำหรับในสนามไฟฟ้า (E-plane) สนามที่แผ่กระจายจะเป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนระหว่างความยาวแพตช์, L ต่อความสูง h ของวัสดุฐานรองรับ (L/h) และ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรองรับ ดังนั้นสำหรับสายอากาศไมโครสตริป ที่มี $L/h \gg 1$ สนามที่แผ่กระจายจะลดลง ซึ่งค่าพวกนี้จะมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ ของสายอากาศ ซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาด้วย

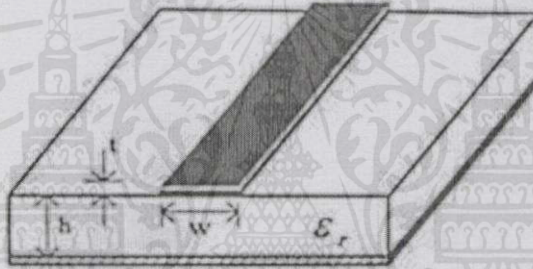


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

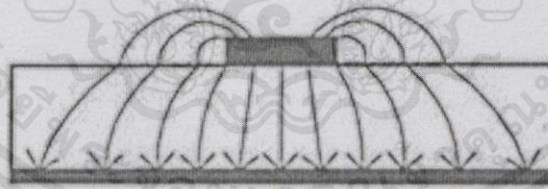
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์ลงนิตยสารหรือสิ่งพิมพ์ใดๆของข้าพเจ้าเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 ระบบพิกัดในการแผ่กระจายร่อง [9]

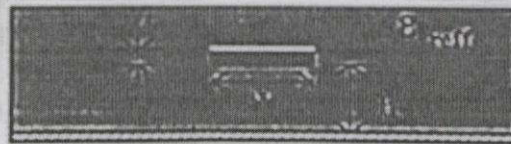
สำหรับสายส่งสัญญาณไมโครสตริป ดังแสดงรูปที่ 2.9(ก) ลักษณะของสนามไฟฟ้า แสดงได้ดังรูปที่ 2.9(ข) ซึ่งเป็นลักษณะของเส้นที่แสดงสนามระหว่าง ไดอิเล็กตริก 2 ชั้น ที่ไม่เอกพันธ์หรือไม่เป็นเนื้อเดียวกันเอง ซึ่งปกติมักจะเป็นวัสดุฐานรองกับอากาศ สนามไฟฟ้าส่วนใหญ่ จะเกิดขึ้นภายในวัสดุฐานรอง และบางส่วนจะเกิดขึ้นในอากาศ เมื่อค่า $L/h \gg 1$ และ สนามไฟฟ้า จะรวมกันอยู่ในวัสดุฐานรองมากขึ้น การแผ่กระจายของสนามในลักษณะนี้จะทำให้ขนาดทางไฟฟ้า ของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปกว้างกว่าขนาดจริงๆของมัน ดังนั้น คลื่นจะเดินไปในวัสดุ ฐานรอง และบางส่วนเดินทางไปในอากาศ ซึ่งเราจะต้องศึกษาเกี่ยวกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ประสิทธิภาพ (Effective Dielectric Constant) เพื่อพิจารณาเกี่ยวกับการแผ่กระจายของสนามและ การเดินทางของคลื่นในสายส่งสัญญาณ



รูปที่ 2.9 (ก) สายส่งสัญญาณ [9]

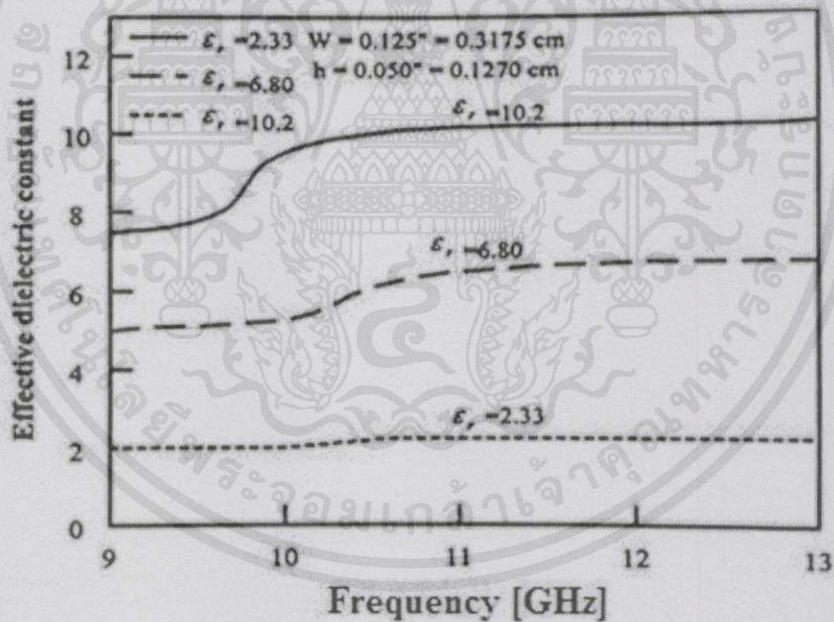


รูปที่ 2.9 (ข) กระแสสนามไฟฟ้า [9]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.9 (ค) ลักษณะของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิภาพ [9]
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อทำความรู้จักกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล เราจะสมมติให้ ตัวนำของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปถูกวางอยู่เหนือระนาบสร้างเงาภายในวัสดุฐานรองที่เป็นไดอิเล็กตริกเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9(ค) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลจะถูกนิยามให้เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรองที่สมำเสมอ ดังในรูปที่ 2.9(ค) ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าในอุดมคติ ซึ่งลักษณะที่เกิดขึ้นจริงๆ นั้น แสดงในรูปที่ 2.9(ก) สำหรับสายส่งสัญญาณที่มีอากาศอยู่เหนือวัสดุฐานรอง ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล จะมีค่าอยู่ในช่วง $1 < \epsilon_{\text{reff}} < \epsilon_r$ กรณีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีค่ามากกว่า 1 มากๆ ($\epsilon_r \gg 1$) มีค่า ϵ_{reff} จะเข้าใกล้ค่าคงที่ ϵ_r จริงๆ ของวัสดุฐานรอง ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลนี้จะเป็นฟังก์ชันของความถี่ เมื่อความถี่ในการทำงานมีค่าสูงขึ้นสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่จะรวมกันอยู่ในวัสดุฐานรอง ดังนั้น สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปจะมีพฤติกรรมคล้ายกับการส่งสัญญาณที่อยู่ในวัสดุฐานรองเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงความถี่ที่มีผลต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลบนวัสดุฐานรองที่แตกต่างกัน 3 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลต่อความถี่ [9]

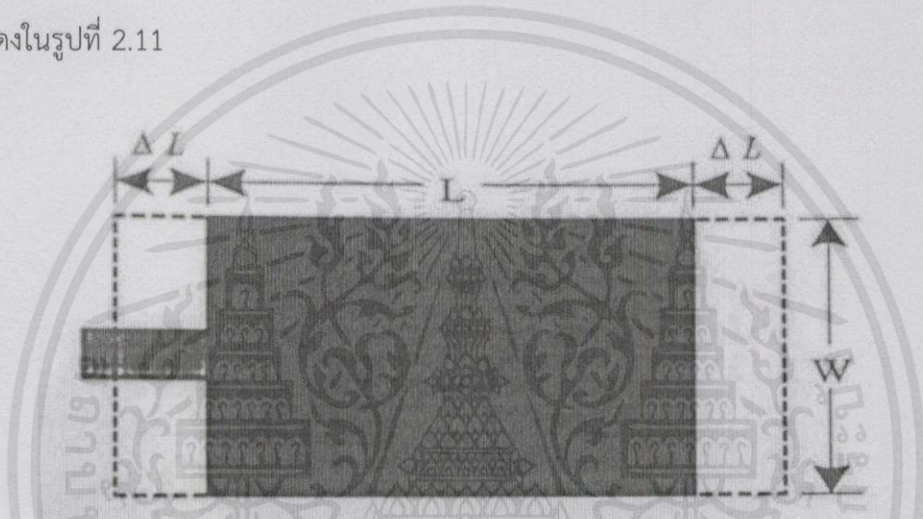
สำหรับความถี่ต่ำๆ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลจะมีลักษณะคงที่ แต่เมื่อความถี่อยู่ในช่วงกลางๆ ค่าจะเริ่มสูงขึ้น ค่าเริ่มต้น (ที่ความถี่ต่ำ) ของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล เรียกว่า “ค่าสแตติก” (Static) ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการที่ 2.1

$$\frac{W}{h} > 1 ;$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

3) ความกว้าง, ความยาวประสิทธิผล และ ความถี่เรโซแนนซ์

ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ความยาวประสิทธิภาพผลของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

จากรูปที่ 2.11 เนื่องจากผลของสนามฟริ่งจึงจะทำให้ขนาดทางไฟฟ้าของแพตช์มีขนาดใหญ่กว่าขนาดจริงสำหรับในระนาบสนามไฟฟ้า โดยที่ขนาดของแพตช์ด้านยาวนั้นจะยาวออกไปจากเดิมทั้ง 2 ด้าน โดยความยาวแต่ละด้านที่ยาวออกไปให้เป็น ΔL ซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกประสิทธิผล ϵ_{reff} และอัตราส่วนความกว้างต่อความสูง (W/h) วิธีที่นิยมในการประมาณค่าความสัมพันธ์ของความยาวที่ขยายออกไปตามสมการที่ 2.2

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นความยาวแต่ละด้านของแพตช์จะยาวออกมา ΔL และความยาวประสิทธิผลจะมีค่าเป็นไปตามสมการที่ 2.3

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (2.3)$$

สำหรับโหมดหลัก (Dominant Mode) TM_{010} ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปจะเป็นฟังก์ชันของความยาวของแพตช์ ตามสมการที่ 2.4

$$(f_r)_{010} = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon}} = \frac{V_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.4)$$

โดยที่ V_0 คือ ความเร็วแสงในสุญญากาศ สมการที่ 2.3 ไม่ได้คำนึงถึง ผลของฟริงกิงด้วย ส่วนสมการที่ 2.4 เป็นสมการที่แก้ไขปรับปรุงแล้ว โดยรวมผลของฟริงกิงซึ่งทำให้ได้สมการที่ 2.5

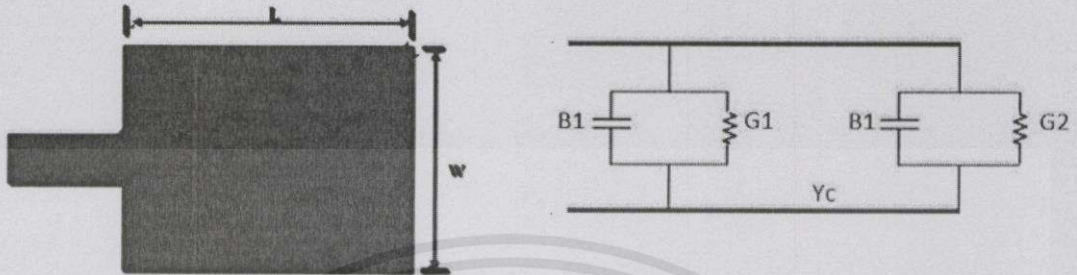
$$\begin{aligned} (f_r)_{010} &= \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon}} = \frac{1}{2(L+2\Delta L)\sqrt{\epsilon_{reff}}\sqrt{\mu_0\epsilon}} \\ &= q \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon}} = q \frac{V_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\text{โดยที่ } q = \frac{(f_{rc})_{010}}{(f_r)_{010}}$$

ค่า q นี้เป็นค่าที่เรียกว่า “ฟริงกิง แฟคเตอร์” (fringing factor) เมื่อความสูงของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้น สนามฟริงกิงนี้จะมากขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ค่าความนำ ดังแสดงรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 (ก) สายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยม รูปที่ 2.12 (ข) วงจรเทียบเท่าแบบจำลองสายส่ง

ร่องสำหรับการแพร่กระจายคลื่นแต่ละร่องจะถูกแทนด้วยค่าแอดมิตแตนซ์สมมูล Y แบบขนาน (ซึ่งประกอบด้วยค่าความนำ G และ ค่าซัสเซปแตนซ์ B) ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.12 แต่ละร่องให้ชื่อเป็น #1 และ #2 ค่าแอดมิตแตนซ์ สมมูลของร่องที่ #1 ซึ่งสมมติให้มีความกว้างเป็นอนันต์ และสม่ำเสมอ จะได้ตามสมการที่ 2.6

$$Y_1 = G_1 + jB_1 \quad (2.6)$$

สำหรับร่องที่มีความกว้าง W จะได้ตามสมการที่ 2.7 - 2.8

$$G_1 = \frac{W}{120\lambda_0} \left[1 - \frac{(k_0 h)^2}{24} \right] \text{ เมื่อ } \frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10} \quad (2.7)$$

$$B_1 = \frac{W}{120\lambda_0} [1 - 0.636 \ln(k_0 h)] \text{ เมื่อ } \frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10} \quad (2.8)$$

ดังนั้นร่องที่ #2 ก็มีค่าเหมือนกับร่องที่ #1 แอดมิตแตนซ์สมมูล จะมีค่าเป็น

$$Y_2 = Y_3, G_2 = G_3, B_2 = B_3 \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความนำของร่องเพียงร่องเดียวสามารถหาได้โดยอาศัยแบบจำลองโพรงได้ด้วย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่าความนำถูกนิยามเป็นไปตามสมการที่ 2.10

$$G_1 = \frac{2P_{rad}}{|V_0|^2} \quad (2.10)$$

เมื่ออาศัยสนามไฟฟ้า กำลังงานที่แพร่กระจายออกสามารถเขียนเป็นสมการได้ตามสมการที่ 2.11

$$P_{rad} = \frac{|V_0|^2}{2\pi\eta_0} \int_0^\pi \left[\frac{\sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta\right)}{\cos\theta} \right]^2 \sin^3\theta d\theta \quad (2.11)$$

ดังนั้นค่าความนำในสมการที่ 2.12 สามารถเขียนได้เป็น

$$G_1 = \frac{I_1}{120\pi^2} \quad (2.12)$$

โดยที่

$$I_1 = \int_0^\pi \left[\frac{\sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta\right)}{\cos\theta} \right]^2 \sin^3\theta d\theta$$

$$= -2 + \cos(X) + XS_i(X) + \frac{\sin(X)}{X} \quad (2.12 ก)$$

$$X = k_0 W \quad (2.12 ข)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของสมการที่ 2.12 และ สมการที่ 2.12 (ก) ในลักษณะที่ไม่สมมาตร

$$G_1 = \begin{cases} \frac{1}{90} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)^2; W \ll \lambda_0 \\ \frac{1}{120} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right); W \gg \lambda_0 \end{cases} \quad (2.13)$$

ค่าของสมการที่ 2.13 สำหรับ $W \gg \lambda_0$ เป็นค่าในอุดมคติซึ่งกำหนดโดยสมการที่ 2.7 กราฟ ของค่า G ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ W / λ_0 แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ค่าความนำของร่องซึ่งเป็นฟังก์ชันของความกว้างของร่อง [9]

5) ความต้านทานด้านเข้าที่จุดเรโซแนนซ์

ค่าแอดมิตแตนซ์รวมของร่องที่ #1 (แอดมิตแตนซ์ด้านเข้า) สามารถหาได้โดยการแปลงค่าแอดมิตแตนซ์ของร่อง #2 จากจุดต่อที่ด้านนอก ไปยังจุดที่ด้านเข้า โดยใช้สมการการแปลงแอดมิตแตนซ์ของสายส่งสัญญาณ ในอุดมคติทั้งสอง ระหว่างกันด้วยระยะ $\lambda/2$ โดยที่ λ คือความยาวคลื่นในไดอิเล็กทริกของวัสดุฐานรอง แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลของฟริงกิงความยาวทางไฟฟ้าของแพตช์จะยาวกว่าความยาวจริงของแพตช์ ดังนั้นร่องทั้งสองจะวางอยู่ห่างกันน้อยกว่า $\lambda/2$ การแปลงแอดมิตแตนซ์ ของร่องที่ #2 จะได้ตามสมการที่ 2.14

$$\tilde{Y}_2 = \tilde{G}_2 + j\tilde{B}_2 = G_1 - jB_1 \quad (2.14)$$

หรือ

$$\tilde{G}_2 = G_1 \quad (2.14 \text{ ก})$$

$$\tilde{B}_2 = -B_1 \quad (2.14 \text{ ข})$$

ดังนั้น แอดมิตแตนซ์ด้านเข้ารวมที่จุดเรโซแนนซ์ จะเป็นค่าจำนวนจริง ซึ่งกำหนดตามสมการที่ 2.15

$$Y_{in} = Y_1 + \tilde{Y}_2 = 2G_1 \quad (2.15)$$

ดังนั้น แอดมิตแตนซ์ด้านเข้ารวมจะมีค่าเป็นจำนวนจริง และอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่จุดเรโซแนนซ์ จะเป็นจำนวนจริง

$$Z_{in} = \frac{1}{Y_{in}} = R_m = \frac{1}{2G_1} \quad (2.16)$$

จากสมการที่ 2.16 ความต้านทานด้านเข้าที่จุดเรโซแนนซ์นั้นไม่คำนึงถึงผลของปรากฏการณ์เชื่อมต่อร่วม (Mutual Coupling) ระหว่างร่องทั้งสอง ซึ่งเมื่อรวมผลปรากฏการณ์เชื่อมต่อร่วมแล้วสมการที่ 2.16 จะกลายเป็นสมการที่ 2.17

$$R_m = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเครื่องหมาย (+) แสดงว่าเป็นโหมตคี และเครื่องหมาย (-) แสดงว่าเป็นโหมตคู้ ค่า การเชื่อมต้อร่วม (Mutual) ของค่าความนำถุณิยามให้อยู่ในเทอมของสนามระยะไกล ตาม สมการที่ 2.18

$$G_{12} = \frac{1}{|V_0|^2} \operatorname{Re} \iint_s E_1 \times H_2^* ds \quad (2.18)$$

โดยที่ E_1 เป็นสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายโดยร่องที่ #1

H_2 เป็นสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายโดยร่องที่ #2

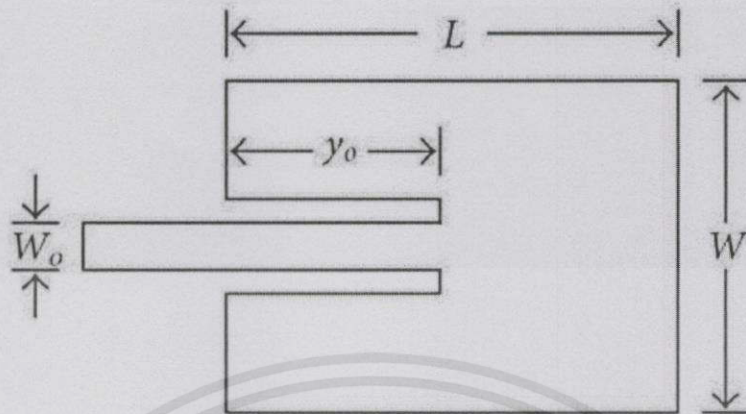
V_0 เป็นแรงดันระหว่างร่อง และการอินทิกรัลจะเป็นการอินทิกรัลทรงกลม ที่มีรัศมีใหญ่มาก ค่า G_{12} นี้จึงสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$G_{12} = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \left[\frac{\sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta\right)}{\cos\theta} \right]^2 J_0(k_0 L \sin\theta) \sin^3\theta d\theta \quad (2.19)$$

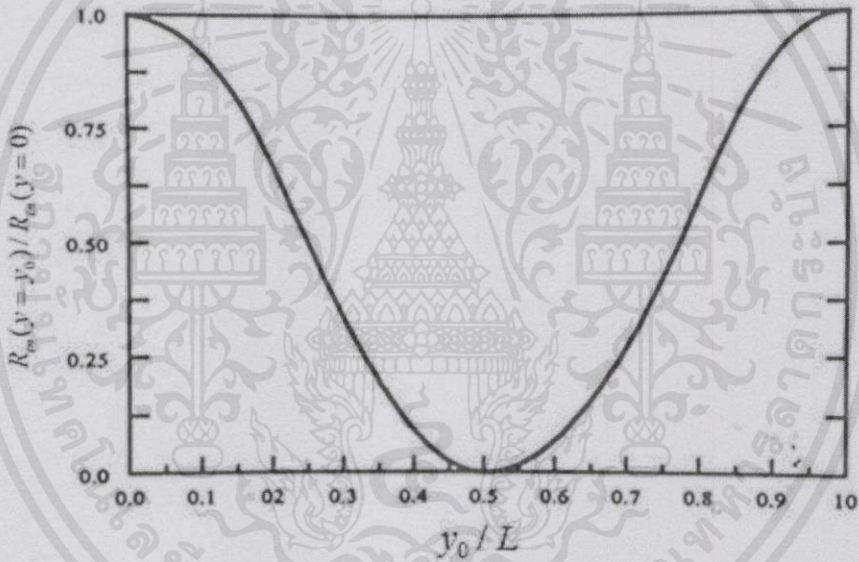
โดยที่ J_0 คือ เบสเซล ฟังก์ชัน (Bessel Function) ประเภทที่ 1 อันดับศูนย์ (First Kind of Order zero) ปกติแล้วสำหรับสายอากาศไมโครสตริป ค่าเชื่อมต้อร่วมของค่าความนำ สามารถหาได้โดยใช้สมการที่ 2.19 จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความนำของตัวเอง (Self Conductance G_1) ของสมการที่ 2.19 หรือ สมการที่ 2.12

ดังแสดงในสมการที่ 2.19 และ สมการที่ 2.17 ความต้านทานอินพุตจะไม่ขึ้นอยู่กั ความสูง (h) ของวัสดุฐานรอง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วค่า h นี้จะมีค่าน้อยมาก ดังนั้น $k_0 h \ll 1$ ความต้านทานอินพุตจึงไม่ขึ้นอยู่กั h ดังนั้น ความต้านทานอินพุต สามารถทำให้ลดลงได้โดยการ เพิ่มความกว้าง W ของแพตช์ซึ่งค่าอัตราส่วน W/L ต้องมีค่าไม่เกิน 2 เนื่องจากประสิทธิภาพของ ช่องเปิดของแพตช์เดี่ยวจะเริ่มลดลงเมื่อค่า W/L นี้มากกว่า 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เซาะส่วนบ่อนสัญญาณ



(ข) ความต้านทานอินพุทของโมไลซ์

รูปที่ 2.14 ตำแหน่งการบ่อนสัญญาณและการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานด้านเข้า [9]

ความต้านทานด้านเข้าที่จุดเรโซแนนซ์ คำนวณได้ด้วยสมการที่ 2.17 แต่ค่าความต้านทานอินพุทนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยอาศัยการบ่อนเข้าไปในแพ็คซ์ ด้วยระยะทาง y_0 จากร่องที่ #1 ดังแสดงในรูปที่ 2.14 วิธีการนี้สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อทำการแมตช์สายอากาศไมโครสตริป โดยใช้สายบ่อนสัญญาณแบบไมโครสตริป โดยอิมพีแดนซ์คุณลักษณะเอกสารนี้กำหนดได้จากสกรวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_c = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \ln \left[\frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h} \right]; \frac{W_0}{h} \leq 1 & (2.20 \text{ ก}) \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{re}} \left[\frac{W_0}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W_0}{h} + 1.444 \right) \right]}; \frac{W_0}{h} > 1 & (2.20 \text{ ข}) \end{cases}$$

โดย W_0 คือ ความกว้างของสายป้อนสัญญาณแบบไมโครสตริป ดังแสดงในรูปที่ 2.14 อาศัยการวิเคราะห์โดย Modal-expansion ความต้านทานด้านเข้าที่จุดป้อนเข้าแพตช์สามารถประมาณได้จาก

$$R_{in}(y=y_0) = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \left[\cos^2 \left(\frac{\pi y_0}{L} \right) + \frac{G_1^2 + B_1^2}{Y_c^2} \sin^2 \left(\frac{\pi y_0}{L} \right) - \frac{B_1}{Y_c} \sin \left(\frac{2\pi y_0}{L} \right) \right] \quad (2.21)$$

โดยที่ $Y_c = \frac{1}{Z_c}$ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว $\frac{G_1}{Y_c} \ll 1$ และ $\frac{B_1}{Y_c} \ll 1$ ดังนั้นสมการ (3.17) นี้ จะลดลงเหลือ

$$\begin{aligned} R_{in} &= \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \\ &= R_{in}(y=0) \cos^2 \left(\frac{\pi y_0}{L} \right) \end{aligned} \quad (2.21\text{ก})$$

กราฟของค่าตามสมการที่ 2.21 (ก) ที่ Normalized แสดงดังรูปที่ 2.14 (ข)

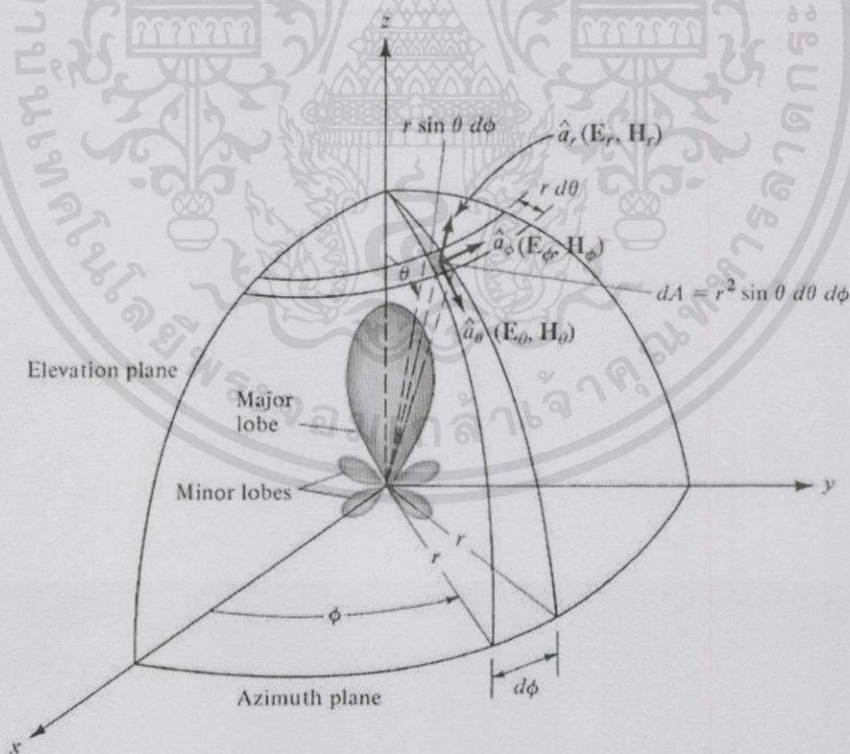
ค่าคงที่ที่ได้จากสมการที่ 2.21 นี้จะสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง แต่การป้อนสัญญาณเข้าไปในแพตช์นี้จะทำให้เกิดค่าความจุที่จุดต่อ ซึ่งจะมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งปกติแล้วจะมีผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 1% จากสมการที่ 2.21 (ก) และรูปที่ 2.14 ค่าสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อป้อนเข้าที่ขอบร่อง ($y_0 = 0$) โดยที่แรงดันจะมีค่าสูงสุดและกระแสมีค่าต่ำสุด โดยปกติการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วจะมีค่าอยู่ในช่วง $150\Omega - 300\Omega$ ค่าต่ำสุดจะปรากฏขึ้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแพ็คซ์ ($y_0 = L/2$) โดยที่แรงดันมีค่าเป็นศูนย์ และกระแสมีค่ามากที่สุด เมื่อย้ายจุดป้อนจากขอบเข้าไปยังจุดกึ่งกลางของแพ็คซ์ อิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่จุดเรโซแนนซ์ จะลดลงอย่างช้าๆ และจะเป็นศูนย์ที่จุดกึ่งกลางแพ็คซ์ แต่เมื่อค่อยๆ ย้ายจุดป้อนเข้าใกล้กึ่งกลาง แพ็คซ์ ($y_0 = L/2$) ฟังก์ชัน $\cos^2\left(\frac{\pi y_0}{L}\right)$ จะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

2.3 คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ

2.3.1 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ (Radiation pattern)

รูปภาพแสดงคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ส่วนใหญ่มักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far field) ดังแสดงในรูปที่ 2.15

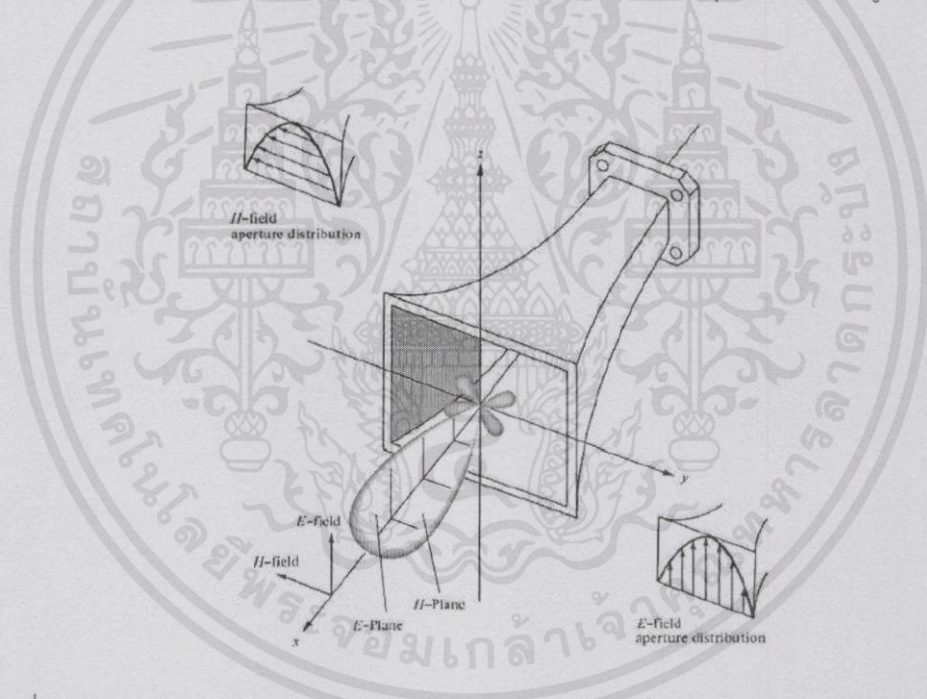


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.15 ระบบพิกัดแสดงคุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ [8]
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.15 แสดงแบบรูปของกำลัง (Power pattern) ของสายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่คงที่ ส่วนแบบรูปของสนาม (Field pattern) เป็นกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก หรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆ ที่มีรัศมีคงที่

2.3.1.1 แบบรูปหลัก (Principal pattern)

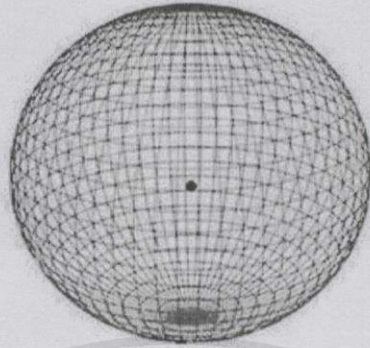
แบบรูปหลักของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก สำหรับสายอากาศที่มี โพลาริเซชันแบบเชิงเส้น แบบรูปในระนาบสนามไฟฟ้า จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้าและทิศทางของการแผ่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ส่วนแบบรูปในระนาบสนามแม่เหล็ก จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามแม่เหล็ก และทิศทางของการแผ่กระจายคลื่นที่ต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แบบรูปหลักระนาบสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กของสายอากาศปากแตร [8]

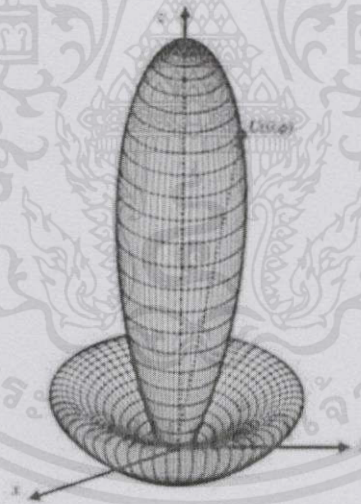
2.3.1.2 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น

1) แบบรูปไอโซทรอปิก (Isotropic pattern) เป็นสายอากาศที่ถูกสมมติขึ้น มีคุณสมบัติแผ่กระจายคลื่นเท่ากันในทุกทิศทาง ใช้ในการเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติ และทิศทางของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.17



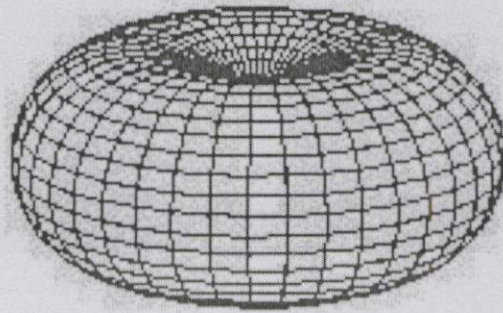
รูปที่ 2.17 แบบรูปไอโซทรอปิก [8]

2) แบบรูปชี้ทิศทาง (Directional pattern) เป็นสายอากาศที่มีคุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่น หรือรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แบบรูปชี้ทิศทาง [8]

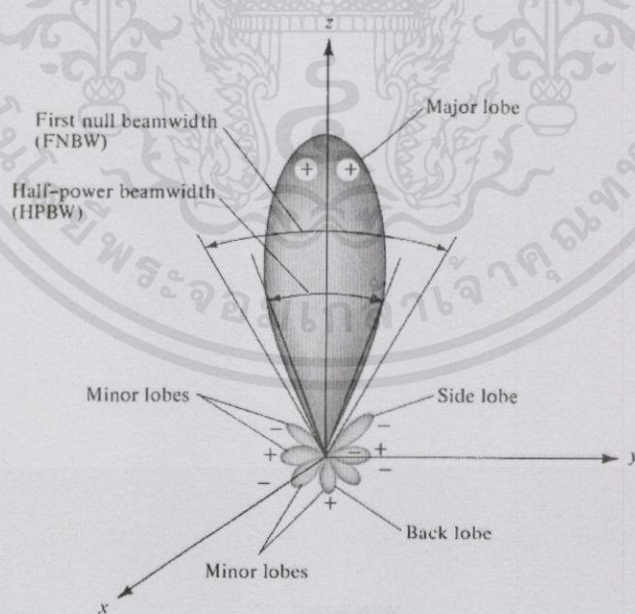
3) แบบรูปรอบทิศทาง เป็นสายอากาศที่มีคุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่นรอบทิศทาง หรือไม่มีทิศทางในระนาบอาซิมุท (Azimuth plane) แต่มีทิศทางในเอกสารนี้ ระนาบเอเลเวชัน (Elevation pattern) ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



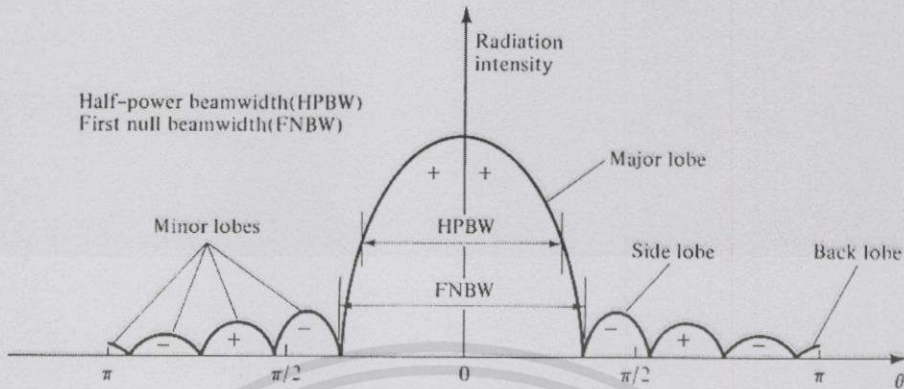
รูปที่ 2.19 แบบรูปรอบทิศทาง [8]

2.3.1.3 ลำคลื่นของแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ (Radiation pattern lobes)

ลำคลื่นของแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ เป็นส่วนหนึ่งของแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ เป็นส่วนที่มีความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.20 และ 2.21 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.20 ลำคลื่นในรูปแบบเชิงขั้วแบบ 3 มิติ [8]
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ลำคลื่นในรูปแบบเชิงเส้นแบบ 2 มิติ [8]

จากรูปที่ 2.20 และ รูปที่ 2.21 จะประกอบไปด้วยลำคลื่นแบบต่างๆ ดังนี้

- 1) ลำคลื่นหลัก (Major lobe หรือ main lobe) เป็นลำคลื่นที่มีทิศทางการแผ่กระจายคลื่นแรงมากที่สุด
- 2) ลำคลื่นย่อย (Minor lobe) เป็นลำคลื่นที่มีทิศทางการแผ่กระจายคลื่นแรงน้อยกว่าลำคลื่นหลัก
- 3) ลำคลื่นย่อยด้านข้าง (Side lobe) เป็นลำคลื่นย่อยที่อยู่ติดกับลำคลื่นหลัก และอยู่ในระนาบเดียวกับลำคลื่นหลัก
- 4) ลำคลื่นย่อยด้านหลัง (Back lobe) เป็นลำคลื่นย่อยที่อยู่ตรงข้ามกับระนาบลำคลื่นหลัก

2.3.2 ความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่น (Radiation power density)

ความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่น คือ ความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่นต่อพื้นที่ใน 1 ตารางเมตร สามารถหาได้จากสมการที่ 2.22

$$W_{av} = \frac{1}{2} \text{Re}[E \times H^*] \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เมื่อ W_{av} คือ ความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่น (W/m^2)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหากมีเหตุขัดแย้งกันให้ยึดข้อเท็จจริงของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (Radiation intensity)

ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น คือ กำลังงานที่แผ่กระจายออกจากสายอากาศต่อมุมตัน สามารถหาได้จากสมการที่ 2.23

$$U = r^2 W_{av} \quad (2.23)$$

เมื่อ U คือ ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (W/sr)

W_{av} คือ ความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่น (W/m²)

2.3.4 กำลังงานการแผ่กระจายคลื่น (Radiation power)

กำลังงานการแผ่กระจายคลื่น คือ กำลังงานของการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ไหลผ่านพื้นที่ผิวปิด สามารถหาได้จากสมการที่ 2.24

$$P_{rad} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin\theta d\theta d\phi \quad (2.24)$$

เมื่อ P_{rad} คือ กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด (W)

U คือ ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (W/sr)

2.3.5 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง คือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศในทิศทางนั้นเทียบกับสายอากาศไอโซทรอปิก ซึ่งเป็นสายอากาศที่ใช้สำหรับการอ้างอิง สามารถหาได้จากสมการที่ 2.25 และ 2.26 ตามลำดับ

$$D = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_{max} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.26)$$

- เมื่อ D คือ ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง
 D_{max} คือ ค่าสูงสุดของสภาพเจาะจงทิศทาง
 P_{rad} คือ กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด (W)
 U คือ ค่าความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (W/sr)
 U_{max} คือ ค่าสูงสุดของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (W/sr)

โดยทั่วไปจะแสดงค่าสภาพเจาะจงทิศทาง และค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด เป็นหน่วย เดซิเบล สามารถหาได้จากสมการที่ 2.27 และ 2.28 ตามลำดับ

$$D(dBi) = 10\log(D) = 10\log\left(\frac{4\pi U}{P_{rad}}\right) \quad (2.27)$$

$$D_{max}(dBi) = 10\log(D_{max}) = 10\log\left(\frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}}\right) \quad (2.28)$$

2.3.6 อัตราขยายกำลัง (Power gain)

อัตราขยายกำลังของสายอากาศ เป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากค่าสภาพเจาะจงทิศทาง โดยรวมค่าประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามด้วย ที่ค่าสภาพเจาะจงทิศทางจะอธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น สามารถหาได้จากสมการที่ 2.29

$$G = e_r D \quad (2.29)$$

- เมื่อ G คือ อัตราขยาย
 e_r คือ ประสิทธิภาพของอากาศ
 D คือ ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปมักจะแสดงค่าอัตราขยายเป็นหน่วยเดซิเบล สามารถหาได้จากสมการที่ 2.30

$$G(dB) = 10 \log(e_r D) \quad (2.30)$$

2.3.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna efficiency)

ประสิทธิภาพของสายอากาศ จะคำนึงถึงการสูญเสียต่างๆ ที่ขึ้นและภายในโครงสร้างของสายอากาศด้วยสาเหตุมาจาก

2.3.7.1 การสะท้อนกลับเนื่องมาจากความไม่แมตช์ (Mismatch) ระหว่างสายส่ง (Transmission line) กับสายอากาศ

2.3.7.2 การสูญเสียทั้งในตัวนำ และฉนวน โดยทั่วไป ค่าประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.31

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (2.31)$$

เมื่อ e_t คือ ประสิทธิภาพทั้งหมด

e_r คือ ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับ $= (1 - |\Gamma|^2)$

e_c คือ ประสิทธิภาพของตัวนำ

e_d คือ ประสิทธิภาพของฉนวน

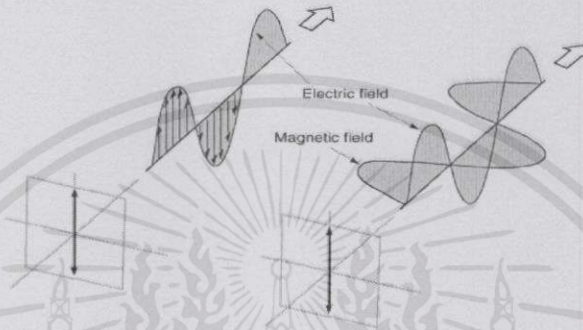
2.3.8 โพลาริเซชัน (Polarization)

โพลาริเซชันของคลื่นที่แผ่กระจายนั้น ใช้แสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่แผ่กระจายออกไป โดยอธิบายขนาดและทิศทางของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าแปรผันตามเวลา การโพลาริเซชัน แสดงการกวาดของยอดเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ณ ตำแหน่งที่คงที่ และ การมองตามหลังคลื่นที่เดินทาง ซึ่งโพลาริเซชันแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.8.1 โพลาริเซชันแบบเชิงเส้น (Linear polarization)

โพลาริเซชันแบบเชิงเส้น เป็นโพลาริเซชันที่สนามไฟฟ้าไม่เปลี่ยนทิศทางกับการเดินทางของคลื่น โดยสนามไฟฟ้าจะตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 โพลาริเซชันแบบเชิงเส้น [10]

ซึ่งการโพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ การโพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแนวตั้ง (Vertical polarization) การโพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแนวนอน (Horizontal polarization) และการโพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแนวเอียง (Slant polarization) ดังนี้

1) โพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแนวตั้ง จะใช้ในสัญญาณโทรศัพท์ จะมีหน่วยเวกเตอร์ของคลื่น สามารถหาได้จากสมการที่ 2.32

$$\hat{p} = \hat{\alpha}_y \quad (2.32)$$

2) โพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแนวนอน จะใช้ในสัญญาณโทรทัศน์ จะมีหน่วยเวกเตอร์ของคลื่น สามารถหาได้จากสมการที่ 2.33

$$\hat{p} = \hat{\alpha}_x \quad (2.33)$$

3) โพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแนวเอียง มีหน่วยเวกเตอร์ของคลื่น สามารถหาได้จากสมการที่ 2.34

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\hat{\rho} = \frac{E_x \hat{\alpha}_x + E_y \hat{\alpha}_y}{\sqrt{|E_x|^2 + |E_y|^2}} \quad (2.34)$$

2.3.8.2 โพลารไรเซชันแบบวงกลม (Circular polarization)

โพลารไรเซชันแบบวงกลม เป็นโพลารไรเซชันที่สนามไฟฟ้าเปลี่ยนทิศทางตลอดเวลา ด้วยขนาดคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 โพลารไรเซชันแบบวงกลม [10]

ซึ่งการโพลารไรเซชันแบบวงกลมแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ การโพลารไรเซชันแบบวงกลมหมุนขวา (Right - hand circular polarization) และการโพลารไรเซชันแบบวงกลมหมุนซ้าย (Left - hand circular polarization) แสดงดังนี้

1) โพลารไรเซชันแบบวงกลมหมุนขวา โดยมีหน่วยเวกเตอร์ของคลื่น สามารถหาได้จากสมการที่ 2.35

$$\hat{\rho} = \frac{\hat{\alpha}_x - j\hat{\alpha}_y}{\sqrt{2}} \quad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) โพลาริเซชันแบบวงกลมหมุนซ้าย โดยมีหน่วยเวกเตอร์ของคลื่น สามารถหาได้จากสมการที่ 2.36

$$\hat{\rho} = \frac{\hat{\alpha}_y + j\hat{\alpha}_x}{\sqrt{2}} \quad (2.36)$$

2.3.8.3 โพลาริเซชันแบบวงรี (Elliptically polarization)

โพลาริเซชันแบบวงรี เป็นโพลาริเซชันที่สนามไฟฟ้าเปลี่ยนทิศทางและขนาดตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 โพลาริเซชันแบบวงรี [10]

ซึ่งการโพลาริเซชันแบบวงรีแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ การโพลาริเซชันแบบวงรีหมุนขวา (Right - hand elliptically polarization) และการโพลาริเซชันแบบวงกลมหมุนซ้าย (Left - hand circular polarization) แสดงดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะทางเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
1) โพลาริเซชันแบบวงรีหมุนขวา โดยมีหน่วยเวกเตอร์ของคลื่นสามารถหาได้จากสมการที่ 2.37

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ผู้ใช้ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\hat{\rho} = \frac{E_x \hat{\alpha}_x - jE_y \hat{\alpha}_y}{\sqrt{|E_x|^2 + |E_y|^2}} \quad (2.37)$$

2) โพลาริเซชันแบบวงกลมหมุนซ้าย โดยมีหน่วยเวกเตอร์ของคลื่น สามารถหาได้จากสมการที่ 2.38

$$\hat{\rho} = \frac{E_x \hat{\alpha}_x + jE_y \hat{\alpha}_y}{\sqrt{|E_x|^2 + |E_y|^2}} \quad (2.38)$$

2.3.8.4 ตัวประกอบการสูญเสียของโพลาริเซชัน (Polarization loss factor : PLF)

โดยทั่วไป การโพลาริเซชันของสายอากาศอาจไม่เหมือนกับโพลาริเซชันของคลื่นที่เดินทางมายังสายอากาศ ซึ่งเรียกว่า การเกิดโพลาริเซชันมิสมัทช์ (Polarization mismatch) ทำให้สายอากาศเกิดการสูญเสียจากโพลาริเซชัน สามารถหาได้จากสมการที่ 2.39

$$PLF = |\hat{\rho}_{\text{wave}} \cdot \hat{\rho}_{\text{antenna}}|^2 \quad (2.39)$$

2.3.9 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งของแรงดัน (Voltage standing wave ratio :VSWR)

อัตราส่วนของค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีค่ามากที่สุดต่อค่าน้อยที่สุด ในระบบสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีค่า VSWR เท่ากับ 1 สายอากาศไม่เกิดการสะท้อนกลับ ถือว่า เป็นสายอากาศที่ดี แต่ถ้าสายอากาศมีค่า VSWR เป็นอนันต์สายอากาศจะเกิดการสะท้อนกลับ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.40

$$VSWR = \frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{min}}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}, 1 \leq VSWR \leq \infty \quad (2.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ V_{max} คือ แรงดันไฟฟ้าที่มีค่ามากที่สุด (V)

V_{min} คือ แรงดันไฟฟ้าที่มีค่าน้อยที่สุด (V)

Γ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนเชิงซ้อน (Complex reflection coefficient)

สามารถหาได้จากอัตราส่วนผลต่างและผลรวมระหว่างอินพุทอิมพีแดนซ์กับคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ ถ้าสายอากาศมีค่า $|\Gamma|$ เป็น 0 นั่นคือ สายอากาศจะไม่เกิดการสะท้อนกลับ ถือว่า เป็นสายอากาศที่ดี แต่ถ้าสายอากาศมีค่า $|\Gamma|$ เป็น 1 สายอากาศจะเกิดการสะท้อนกลับ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.41

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o}; \quad 0 \leq |\Gamma| \leq 1 \quad (2.41)$$

เมื่อ Z_{in} คือ อินพุทอิมพีแดนซ์ (Ω)

Z_o คือ คุณลักษณะอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ (Ω)

2.3.10 การสูญเสียย้อนกลับ (Return loss)

การย้อนกลับของสายอากาศแสดงค่ากำลังที่สูญเสียที่โหลด เมื่ออิมพีแดนซ์ของสายส่งและสายอากาศไม่แมตช์กัน การสูญเสียย้อนกลับมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน ถ้าสายอากาศมีค่าการสูญเสียย้อนกลับเป็น 0 สายอากาศจะเกิดการสะท้อนกลับ แต่ถ้าสายอากาศมีค่าการสูญเสียย้อนกลับเป็นอนันต์สายอากาศไม่เกิดการสะท้อนกลับ ถือว่า เป็นสายอากาศที่ดี สามารถหาได้จากสมการที่ 2.42

$$RL(\text{dB}) = -20 \log |\Gamma|; \quad 0 \leq RL \leq \infty \quad (2.42)$$

2.3.11 อินพุทอิมพีแดนซ์ (Input impedance)

อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ เป็นอิมพีแดนซ์ที่ขั้วของสายอากาศ ซึ่งจะพิจารณา

ว่าการคำนวณอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ และคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ จะเห็นได้ว่า ในการคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที Z_{in} เท่ากับ Z_o จะเกิดการแมตช์อย่างสมบูรณ์ จะทำให้ไม่เกิดการสะท้อนกลับ ถ้ากรณีที Z_{in} ไม่เท่ากับ Z_o ไม่เกิดการแมตช์ จะทำให้เกิดการสะท้อน ซึ่งแสดงอัตราส่วนของแรงดันต่อกระแสที่ ขั้วต่อทั้งสอง หรือ อัตราส่วนของสนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็กในจุดที่กำหนด สามารถหาได้จาก สมการที่ 2.43

$$Z_{in} = R_m + jX_{in} \quad (2.43)$$

เมื่อ X_{in} คือ ความต้านทานเชิงจินตภาพ (Ω)

R_{in} คือ ความต้านทาน = $R_r + R_L$ (Ω)

R_r คือ ความต้านทานการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ (Ω)

R_L คือ ความต้านทานการสูญเสียของสายอากาศ (Ω)

2.3.12 แบนด์วิดท์ (Bandwidth)

แบนด์วิดท์ของสายอากาศเป็นช่วงของความถี่ที่สามารถนำไปใช้งานได้ดี ซึ่งช่วงความถี่ ถูกกำหนดโดยค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน ประมาณ 2 หรือพิจารณาจากค่า $|S_{11}|$ คุณสมบัติของ สายอากาศที่ระดับ -10 dB สามารถหาได้จากสมการที่ 2.44

$$BW(\%) = \frac{f_h}{f_l} \times 100\% \quad (2.44)$$

เมื่อ BW คือ แบนด์วิดท์ของสายอากาศ

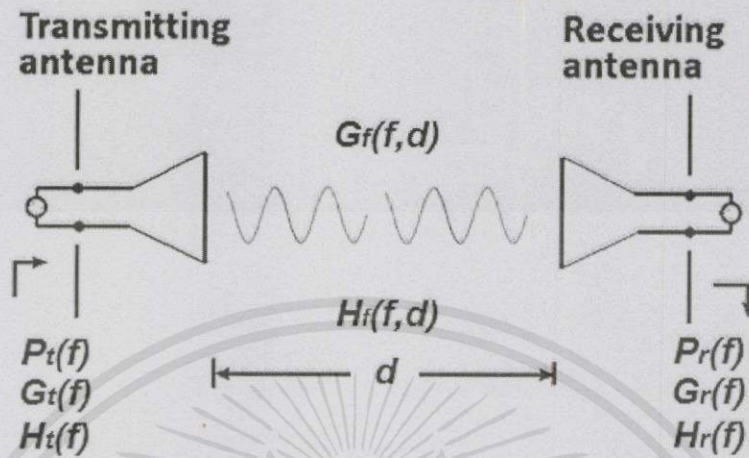
f_h คือ ขอบความถี่สูงของย่านความถี่ (Hz)

f_l คือ ขอบความถี่ต่ำของย่านความถี่ (Hz)

2.3.13 สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis' transmiss equation) [14]

สมการการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง นอกจากนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการคำนวณสำหรับช่องสัญญาณในระดับสายตา ดังแสดงในรูปที่ 2.25

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 การสื่อสารไร้สายในระดับสายอากาศอวกาศว่าง [11]

สามารถคำนวณอัตราการขยายของสมการฟรีส สามารถหาได้จากสมการที่ 2.45

$$G_{Friss}(f,d) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_t(f)G_f(f,d)G_r(f) \quad (2.45)$$

เมื่อ $G_{Friss}(f,d)$ คือ อัตราการขยายของฟรีส (dB)

$P_r(f)$ คือ กำลังอินพุตเข้าไปยังสายอากาศตัวรับ (W)

$P_t(f)$ คือ กำลังอินพุตเข้าไปยังสายอากาศตัวส่ง (W)

$G_t(f)$ คือ อัตราขยายประสิทธิภาพผลของสายอากาศตัวส่ง (dB)

$G_r(f)$ คือ อัตราขยายประสิทธิภาพผลของสายอากาศตัวรับ (dB)

$G_f(f,d)$ คือ อัตราขยายการแพร่กระจายอวกาศว่าง (dB) $= \left(\frac{c}{4\pi df} \right)^2$

d คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่ง (m)

c คือ ความเร็วของแสง (3×10^8 m/s)

f คือ ความถี่ (Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ สามารถคำนวณหาสูตรฟังก์ชันการถ่ายโอนของอวกาศว่างได้ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.46

$$H_{Friis}(f,d) = H_t(f)H_f(f,d) \cdot H_r(f) \quad (2.46)$$

เมื่อ $H_{Friis}(f,d)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณอวกาศว่าง

$$H_f(f,d) \text{ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนอวกาศว่าง } = \frac{c}{4\pi df} e^{-j2\pi fd/c}$$

$H_r(f)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศตัวรับ

$H_t(f)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศตัวส่ง

d คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่ง (m)

c คือ ความเร็วของแสง (3×10^8 m/s)

f คือ ความถี่ (Hz)

ในกรณีที่สายอากาศตัวส่ง และตัวรับที่เหมือนกัน จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.47

$$H_t(f) = H_r(f) = \sqrt{\frac{H_{Friis}(f,d)}{H_f(f,d)}} \quad (2.47)$$

เมื่อ $H_{Friis}(f,d)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณอวกาศว่าง

$$H_f(f,d) \text{ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนอวกาศว่าง } = \frac{c}{4\pi df} e^{-j2\pi fd/c}$$

$H_r(f)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศตัวรับ

$H_t(f)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศตัวส่ง

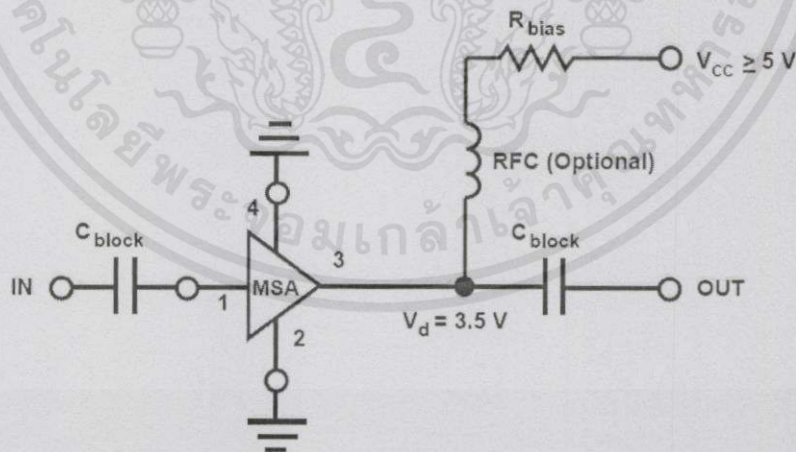
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วงจรขยายสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DVB-T2

วงจรขยายสัญญาณโทรทัศน์ของสายอากาศสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DVB-T2 โดยวงจรจะทำหน้าที่ ขยายสัญญาณและมีค่าอัตราขยายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการรับสัญญาณดีขึ้น ซึ่งในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณโทรทัศน์ ประกอบด้วย 4 วงจร ดังนี้

2.4.1 วงจรรวมไมโครเวฟแบบโมโนลิทริก

วงจรรวมไมโครเวฟแบบโมโนลิทริก เป็นอุปกรณ์ชนิดของวงจรรวมที่ทำงานในย่านความถี่ไมโครเวฟ (300 MHz ถึง 300 GHz) อุปกรณ์เหล่านี้จะทำหน้าที่ เช่น การผสมคลื่นไมโครเวฟ, การขยายกำลังสัญญาณ, การขยายสัญญาณรบกวนต่ำ และการสวิตซ์ซึ่งในย่านความถี่สูงซึ่งอินพุท และเอาต์พุทของวงจรรวมไมโครเวฟแบบโมโนลิทริก มีการแมตซ์ซึ่งที่อิมพีแดนซ์ 50 Ω ซึ่งง่ายต่อการต่อวงจรรวมไมโครเวฟแบบโมโนลิทริกเป็นแบบคลาสเคส นอกจากนี้ อุปกรณ์ทดสอบในย่านความถี่ไมโครเวฟ ส่วนใหญ่ถูกออกแบบ ใช้งานในสภาพอิมพีแดนซ์ที่ 50 Ω โดยทางปริยญาณิพนธ์เลือกใช้ วงจรรวมไมโครเวฟแบบโมโนลิทริก รุ่น MSA-0865 (MAR-6) ในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณ ดังแสดงรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 วงจรรวมไมโครเวฟแบบโมโนลิทริก [14]

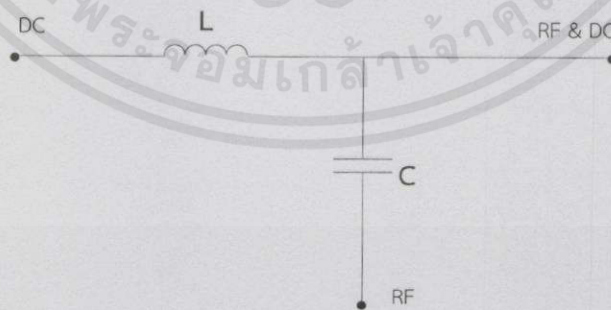
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.26 วงจรรวมไมโครเวฟแบบโมนอลิทิก เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบคลาสเคส ในวงจรไมโครเวฟแบบโมนอลิทิก จะประกอบด้วยตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่กั้นสัญญาณ DC และช่วยให้สัญญาณ RF ไหลผ่านได้ดี เมื่อจ่ายไฟที่ต่ำที่สุดคือ 5 V ตัวต้านทาน ทำหน้าที่ไบอัสตรงไปยัง RFC ที่ทำหน้าที่กั้นไม่ให้สัญญาณ RF ไหลผ่าน จากนั้นแรงดันที่เกิดขึ้นที่ตัวอุปกรณ์มีค่าประมาณ 3.5 V ทำให้มีกระแสของตัวอุปกรณ์ ประมาณ 15 mA ซึ่งการที่วงจรไบอัสแหล่งจ่ายไฟ เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ

2.4.1.1 การขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Amplifier : LNA) เป็นการขยายสัญญาณที่ใช้ในการขยายสัญญาณอ่อนมาก เช่น สายอากาศ เป็นอุปกรณ์ที่กำหนดคุณสมบัติความสามารถในการรับสัญญาณ ขยายสัญญาณในย่านไมโครเวฟจากสายอากาศให้มีความแรงเพิ่มขึ้น โดยให้กำเนิดสัญญาณรบกวนออกมาต่ำมาก สัญญาณที่เดินทางมาจากระยะไกล จะมีขนาดลดลง และอาจจะมีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน ดังนั้น การขยายสัญญาณ โดยต้องการให้สัญญาณรบกวนมีค่าต่ำมาก จำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิของวงจรขยาย และเครื่องรับให้มีค่าต่ำๆ

2.4.2 วงจรไบอัสตัวที่

วงจรไบอัสตัวที่ เป็นวงจรที่ใช้ตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่ในการกั้นสัญญาณ DC ไม่ให้ไหลผ่าน และช่วยให้สัญญาณ RF ผ่านไหลวงจรได้ดี และ ใช้ตัวเหนี่ยวนำในการกั้นสัญญาณ RF และช่วยให้สัญญาณ DC ผ่านไหลเข้าสู่วงจรได้ดี ดังแสดงรูปที่ 2.27 ดังนี้



รูปที่ 2.27 วงจรไบอัสตัวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.27 สามารถคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุ เมื่อวงจรเกิดการเรโซแนนซ์ จะได้ว่า $X_L = X_C$ จึงจะทำให้สามารถแยกความถี่ที่ 470 MHz ซึ่งเป็นความถี่ต้นของสายอากาศได้ เพราะถ้าสัญญาณความถี่สูงกว่า 470 MHz กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ เนื่องจาก ค่า X_L มีค่ามากกว่าค่า X_C สามารถหาได้จากสมการที่ 2.47 - 2.48

$$X_L = X_C \quad (2.47)$$

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.48)$$

2.4.3 วงจรกรองความถี่ต่ำ

วงจรกรองความถี่ต่ำ ใช้สำหรับกรองความถี่ที่ต้องการออก เพื่อจะสามารถแยกสัญญาณ DC ออกจาก สัญญาณ RF ดังแสดงรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 วงจรกรองความถี่ต่ำ

จากรูปที่ 2.28 เมื่อวงจรเกิดเรโซแนนซ์ จะได้ว่า $R = X_C$ จึงจะทำให้สามารถแยกความถี่ที่ 470 MHz ซึ่งเป็นความถี่ต้นของสายอากาศได้ เพราะถ้าสัญญาณความถี่สูงกว่า 470 MHz กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน เนื่องจากตัวต้านทานมีค่ามากกว่าค่า X_C สามารถหาได้จากสมการที่ 2.49-2.50

$$R = X_C \quad (2.49)$$

$$R = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.50)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

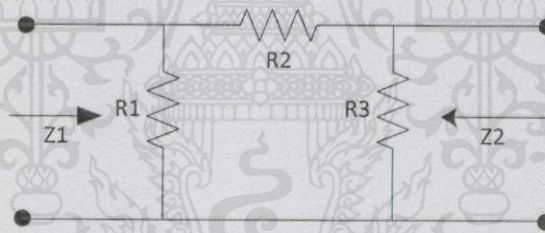
2.4.4 วงจรลดทอนสัญญาณ

วงจรลดทอนสัญญาณ เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ลดสัญญาณที่เข้ามาที่อินพุต ขนาดของสัญญาณที่ได้ที่เอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับการออกแบบของค่าคงตัว ในการออกแบบวงจรลดทอนสัญญาณสามารถออกแบบได้ 2 แบบ คือ แบบตัวพวย และ แบบตัวที แสดงดังนี้

2.4.4.1 วงจรลดทอนสัญญาณแบบตัวพวย

วงจรลดทอนสัญญาณแบบตัวพวย สามารถออกแบบให้มีค่าอิมพีแดนซ์ที่เท่ากัน หรือไม่เท่ากันก็ได้ โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท มีดังนี้

1) วงจรลดทอนสัญญาณแบบตัวพวยแบบไม่สมดุล เป็นวงจรที่มีอิมพีแดนซ์ทั้งอินพุต (Z_1) และ เอาต์พุต (Z_2) มีค่าไม่เท่ากัน ดังแสดงรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 วงจรการลดทอนสัญญาณแบบตัวพวยแบบไม่สมดุล

จากรูปที่ 2.29 สามารถคำนวณหา R_1 , R_2 , และ R_3 ได้จากสมการที่ 2.51 – 2.54

ดังนี้

$$R_1 = Z_1 \times \left(\frac{K^2 - 1}{K^2 - 2K \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} + 1} \right) \quad (2.51)$$

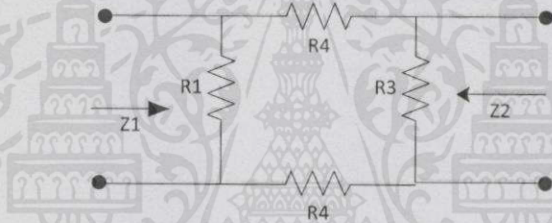
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_2 = \sqrt{Z_1 \times Z_2} \times \left(\frac{K^2 - 1}{2K} \right) \quad (2.52)$$

$$R_3 = Z_2 \times \left(\frac{K^2 - 1}{K^2 - 2K \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1} + 1}} \right) \quad (2.53)$$

เมื่อ $K = 10^{\frac{dB}{20}}$ (2.54)

2) วงจรลดทอนสัญญาณแบบตัวพายแบบสมดุลง เป็นวงจรที่มีอิมพีแดนซ์ทั้งอินพุต (Z_1) และ เอาต์พุต (Z_2) มีค่าเท่ากัน ดังแสดงรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 วงจรการลดทอนสัญญาณแบบตัวพายแบบสมดุลง

จากรูปที่ 2.30 สามารถคำนวณหา R_1 , R_2 , R_3 และ R_4 ได้จากสมการที่ 2.55 - 2.57

ดังนี้

กำหนดให้ $Z = Z_1 = Z_2$

$$R_1 = R_3 = Z \times \left(\frac{K+1}{K-1} \right) \quad (2.55)$$

$$R_2 = R_4 = Z \times \left(\frac{K^2 - 1}{4K} \right) \quad (2.56)$$

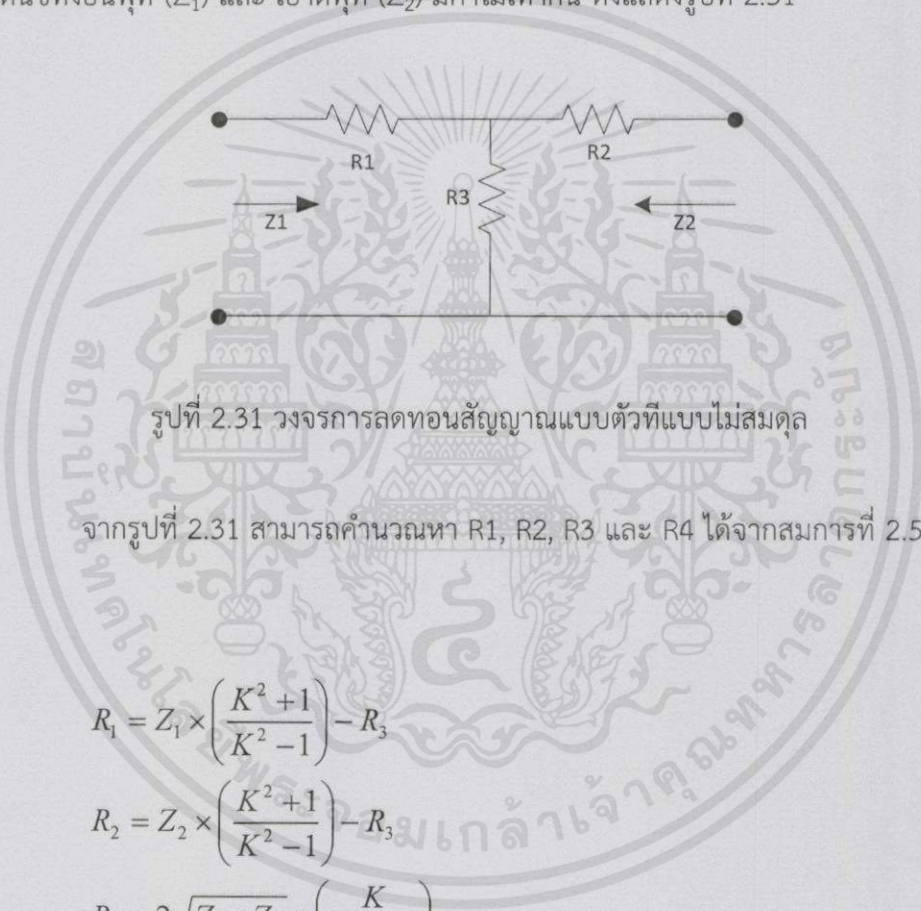
เมื่อ $K = 10^{\frac{dB}{20}}$ (2.57)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4.2 วงจรลดทอนสัญญาณแบบตัวที่

วงจรลดทอนสัญญาณแบบตัวที่ สามารถออกแบบให้มีค่าอิมพีแดนซ์ที่เท่ากัน หรือไม่เท่ากันก็ได้ โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท มีดังนี้

1) วงจรลดทอนสัญญาณแบบตัวที่แบบไม่สมดุล เป็นวงจรที่มีอิมพีแดนซ์ทั้งอินพุท (Z_1) และ เอาต์พุท (Z_2) มีค่าไม่เท่ากัน ดังแสดงรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 วงจรการลดทอนสัญญาณแบบตัวที่แบบไม่สมดุล

จากรูปที่ 2.31 สามารถคำนวณหา R_1 , R_2 , R_3 และ R_4 ได้จากสมการที่ 2.58 – 2.61

ดังนี้

$$R_1 = Z_1 \times \left(\frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \right) - R_3 \tag{2.58}$$

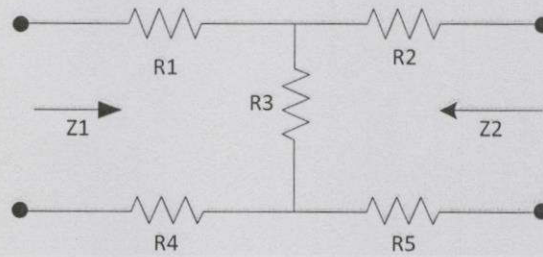
$$R_2 = Z_2 \times \left(\frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \right) - R_3 \tag{2.59}$$

$$R_3 = 2\sqrt{Z_1 \times Z_2} \times \left(\frac{K}{K^2 - 1} \right) \tag{2.60}$$

$$\text{เมื่อ } K = 10^{\frac{dB}{20}} \tag{2.61}$$

2) วงจรลดทอนสัญญาณแบบตัวที่แบบสมดุล เป็นวงจรที่มีอิมพีแดนซ์ทั้งอินพุท (Z_1) และ เอาต์พุท (Z_2) มีค่าเท่ากัน ดังแสดงรูปที่ 2.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ซึ่งผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 วงจรการลดทอนสัญญาณแบบตัวที่แบบสมดุล

จากรูปที่ 2.32 สามารถคำนวณหา R_1 , R_2 , R_3 , R_4 และ R_5 จากสมการที่ 2.62 – 2.64

ดังนี้

กำหนดให้ $Z = Z_1 = Z_2$

$$R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = \frac{Z}{4} \times \left(\frac{K+1}{K-1} \right) \quad (2.62)$$

$$R_3 = 2Z \times \left(\frac{K}{K^2-1} \right) \quad (2.63)$$

เมื่อ $K = 10^{\frac{dB}{20}}$ (2.64)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปฏิญญานิพนธ์

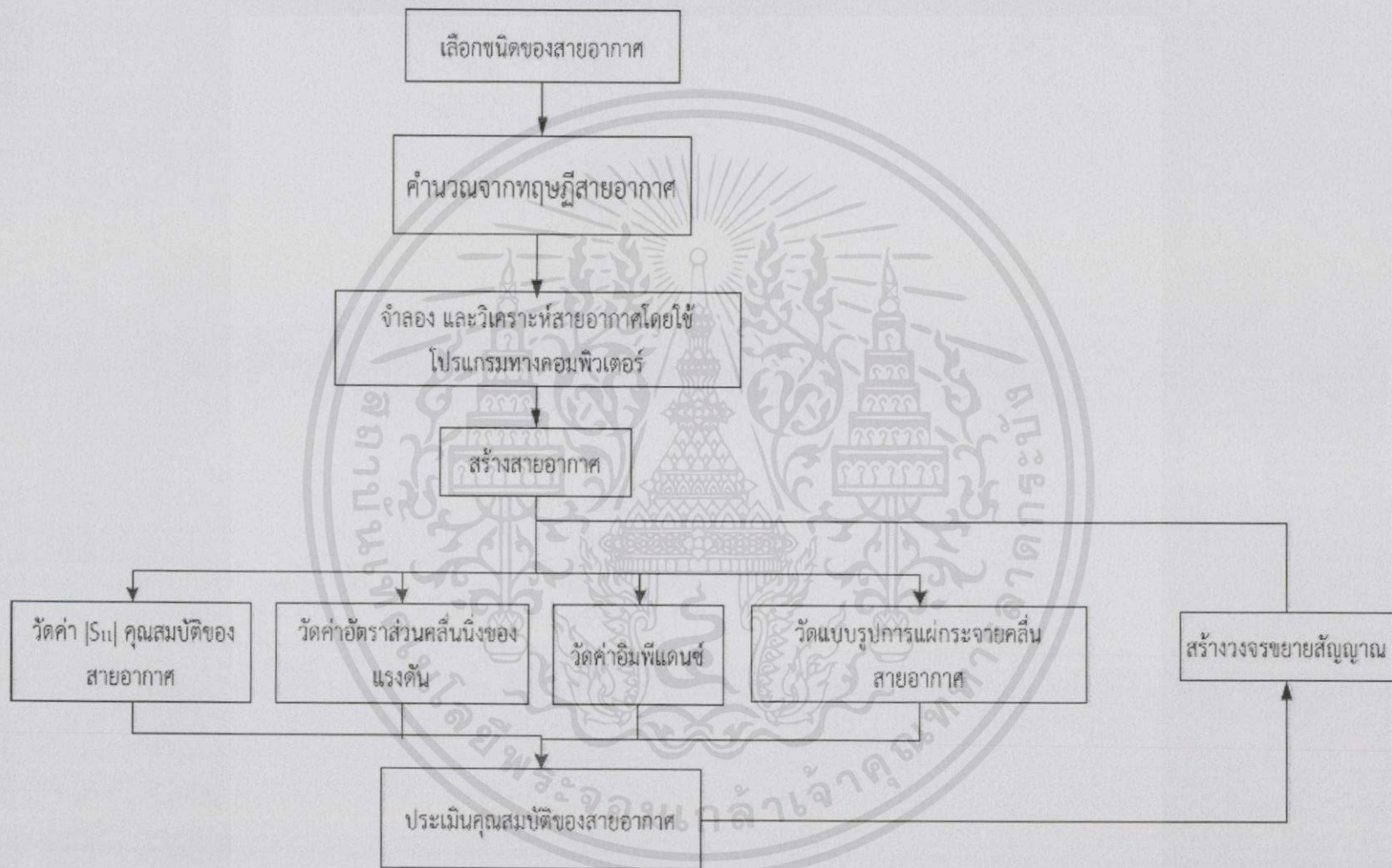
ในบทนี้ จะกล่าวถึงการออกแบบและการจัดทำปฏิญญานิพนธ์ โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ในส่วนแรกเป็นการคำนวณการออกแบบสายอากาศ รวมทั้งการวิเคราะห์การออกแบบสายอากาศ ต่อมาในส่วนที่สองเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และส่วนที่สามเป็นการจัดเก็บผลการทดลอง

3.1 การออกแบบ

3.1.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบการทำงาน

สายอากาศสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DVB – T2 มีขั้นตอนดังนี้ เริ่มต้นจากคำนวณสายอากาศ และจำลองสายอากาศโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ จากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศที่ต้องการ ถ้าสายอากาศไม่ผ่านคุณสมบัติของสายอากาศตามที่ต้องการให้กลับมาปรับปรุงสายอากาศใหม่ แต่ถ้าสายอากาศผ่านคุณสมบัติตามที่ต้องการ ต่อมาสร้างสายอากาศตามที่ได้จำลองไว้ พร้อมวัดผลการทดลอง 4 ส่วน คือ ส่วนแรกค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศ ส่วนที่สองวัดอินพุตอิมพีแดนซ์ ส่วนที่สามวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน และส่วนที่สี่ทำการวัดแบบรูปแผ่กระจายคลื่น แล้วประเมินคุณสมบัติของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนผังระบบการทำงานของปริญญานิพนธ์

3.1.2 การเลือกชนิดสายอากาศ

การเลือกชนิดของสายอากาศนั้น ทางปริญญาณิพนธ์จะทำการเลือกสายอากาศโดยพิจารณาจากจุดประสงค์เป็นหลัก ซึ่งในจุดประสงค์หลักของปริญญาณิพนธ์นี้ คือ ทำการศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DVB -T2 ดังนั้น จึงมีวิธีการดำเนินการเลือกชนิดสายอากาศ ดังนี้

3.1.2.1 เลือกสายอากาศที่สามารถรองรับแบบรูปการแผ่กระจายแบบรอบทิศทาง

เนื่องจากการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DVB - T2 จะต้องรองรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ทุกทิศทาง ดังนั้น จึงต้องเลือกสายอากาศที่แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง เพื่อแก้ไขปัญหาในกรณีที่ไม่มีสถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์อยู่หลายที่ จะสามารถรับสัญญาณได้ดีในทุกทิศทาง

3.1.2.2 เลือกสายอากาศที่สามารถทำงานได้ในย่านความถี่กว้าง

ย่านความถี่ที่ใช้งานตั้งแต่ 470 MHz ถึง 870 MHz ซึ่งแบนวิดธ์ของความถี่ มีค่าประมาณ 400 MHz จึงอยู่ในย่านความถี่กว้าง ดังนั้น สายอากาศที่จะสร้างขึ้นนั้นจึงต้องรองรับการทำงานในย่านความถี่กว้างด้วย

3.1.2.3 เลือกสายอากาศที่สามารถรองรับการโพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแนวนอน

สายอากาศของภาคส่งสัญญาณโทรทัศน์จากสถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์ เป็นการโพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแนวนอน ดังนั้น การรับ-ส่งสัญญาณของสายอากาศ ถ้ากรณีสายอากาศของภาครับ และภาคส่งจะต้องมีการโพลาริเซชันที่เหมือนกัน จะส่งผลทำให้ในส่วนของภาครับสัญญาณจะสามารถรับสัญญาณได้ดี หากสายอากาศที่จะสร้างขึ้นเป็นสายอากาศในภาครับสัญญาณโทรทัศน์ จะต้องโพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแนวนอน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.4 เลือกอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ มีค่าเท่ากับ 50 Ω

เนื่องจากอุปกรณ์ในการวัด ส่วนใหญ่จะใช้ตัวคอนเนคเตอร์ SMA 50 Ω เนื่องจาก ค่าอิมพีแดนซ์ 50 Ω อยู่ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์ที่มีการลดทอนต่ำสุด ซึ่งมีค่า 77.5 Ω และที่ 30 Ω ซึ่งจะเกิดการส่งถ่วงกำลังสูงสุด

3.1.2.5 เลือกสายอากาศที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน และน้ำหนักเบา

สายอากาศที่ต้องการออกแบบ ควรให้มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน โดยมีน้ำหนักไม่มากจนเกินไป ดังนั้น ลักษณะที่เหมาะสมควรจะเป็นสายอากาศแบบเป็นแผ่น

3.1.2.6 เลือกสายอากาศที่สามารถหาวัดได้ และไม่แพงจนเกินไป

จากเหตุผลทั้ง 6 ข้อที่ผ่านมา สายอากาศที่มีเหมาะสมสำหรับปริญญาโทสมควรจะเป็น “สายอากาศไมโครสตริบแบบแผ่น” ซึ่งมีคุณสมบัติครบทั้ง 6 ข้อที่ต้องการ

3.1.3 การคำนวณของสายอากาศที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DVB - T2

สำหรับการคำนวณส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบ ในที่นี้ใช้วิธีการคำนวณแบบจำลองสายส่ง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้รับคลื่นหรือแผ่นตัวนำ และส่วนป้อนสัญญาณ ดังนี้

3.1.3.1 การคำนวณส่วนที่ใช้รับคลื่น หรือแผ่นตัวนำ

1) ความกว้างของแผ่นตัวนำ (W) สามารถหาได้จากสมการที่ 3.1

ดังนี้

$$W = \frac{c}{2f_0} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 666 \times 10^6} \times \sqrt{\frac{2}{4.4+1}}$$

$$W = 0.137m = 137mm$$

เมื่อ W คือ ความกว้างของแผ่นตัวนำ (mm)

c คือ ความเร็วของแสงในสุญญากาศ (3×10^8 m/s)

f_o คือ ค่าความถี่กลางที่ใช้งาน (Hz)

ϵ_r คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของสารตัวกลาง โดยใช้ ϵ_r เท่ากับ 4.4

2) ความยาวของแผ่นตัวนำ (L) สามารถหาได้จากสมการที่ 3.2 สมการที่ 3.3 และสมการที่ 3.4 ตามลำดับ ดังนี้

$$\begin{aligned} \epsilon_{\text{reff}} &= \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right) + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2 \sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \right) \\ &= \left(\frac{4.4 + 1}{2} \right) + \left(\frac{4.4 - 1}{2 \sqrt{1 + \frac{12(1.53)}{137}}} \right) \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = 4.3$$

เมื่อ ϵ_{reff} คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลสัมพัทธ์

ϵ_r คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของสารตัวกลาง โดยใช้ ϵ_r เท่ากับ 4.4

W คือ ความกว้างของแผ่นตัวนำ (mm)

h คือ ความหนาของสารตัวกลาง (mm)

$$\Delta L = 0.412h \left[\frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \right] \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta L = 0.72 \text{ mm}$$

จะได้ ΔL เท่ากับ 0.72 mm นำค่าที่ได้จากสมการที่ 3.3 แทนลงในสมการที่ 3.4

ดังนี้

$$L = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2\Delta L \quad (3.4)$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 666 \times 10^6 \times \sqrt{4.3}} - (2 \times 0.72 \times 10^{-3})$$

$$L = 107 \text{ mm}$$

เมื่อ L คือ ความยาวของแผ่นตัวนำ (mm)

c คือ ความเร็วของแสงในสุญญากาศ (3×10^8 m/s)

f_0 คือ ค่าความถี่กลางที่ใช้งาน (Hz)

ϵ_{reff} คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลสัมพันธ์

3.1.3.2 การคำนวณส่วนป้อนสัญญาณ

1) ความกว้างของส่วนป้อนสัญญาณ (W_1) สามารถหาได้จากสมการที่ 3.5 แสดงดังนี้

$$Z_0 = \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}} \left(\frac{W_1}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W_1}{h} + 1.444 \right) \right); \frac{W_1}{h} > 1 \quad (3.5)$$

$$50 = \sqrt{4.3} \left(\frac{W_1}{1.53} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W_1}{1.53} + 1.444 \right) \right)$$

$$22.72 = \frac{W_1}{1.53} + 0.667 \ln \left(\frac{W_1}{1.53} + 1.444 \right)$$

$$W_1 \approx 32 \text{ mm}$$

เมื่อ Z_0 คือ ค่าอิมพีแดนซ์ (โอห์ม) โดยใช้ $Z_0 = 50 \Omega$

ϵ_{reff} คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลสัมพันธ์

h คือ ความหนาของสารตัวกลาง (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและขอเชิญเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W_1 คือ ความกว้างของส่วนป้อนสัญญาณ (mm)

2) ความยาวของส่วนป้อนสัญญาณ (L_1) สามารถหาได้จากสมการที่ 3.6 แสดงดังนี้

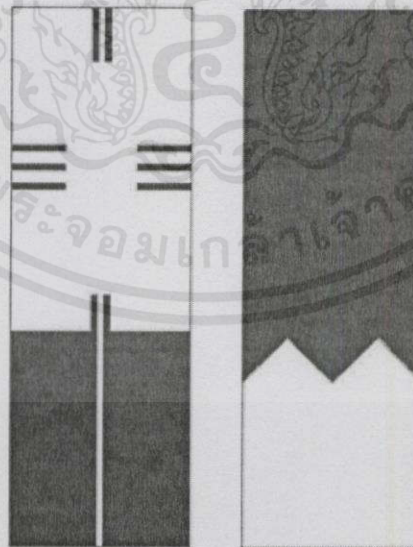
$$\begin{aligned} L_1 &= \frac{\lambda}{4} = \frac{V}{4f} \\ &= \frac{3 \times 10^8}{4 \times 666 \times 10^6} \\ L_1 &= 112.6 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.6)$$

เมื่อ L_1 คือ ความยาวของส่วนป้อนตัวนำ (mm)

c คือ ความเร็วของแสงในสุญญากาศ (3×10^8 m/s)

f_0 คือ ค่าความถี่กลางที่ใช้งาน (Hz)

จากการคำนวณหาขนาดต่างๆ ในสมการข้างต้นจะได้โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น ดังรูปที่ 3.2



ด้านหน้า

ด้านหลัง

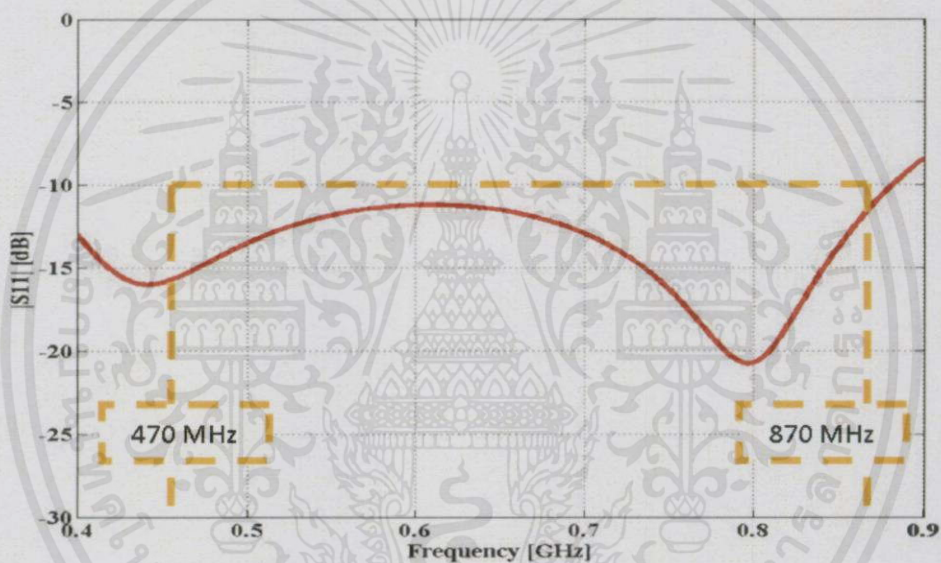
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นแบบแผ่น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ผลการจำลองของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

3.1.4.1 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

พิจารณาค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นว่า สามารถนำไปใช้จริงได้หรือไม่ โดยค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นควรมีค่าต่ำกว่า -10 dB จะสามารถใช้งานได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



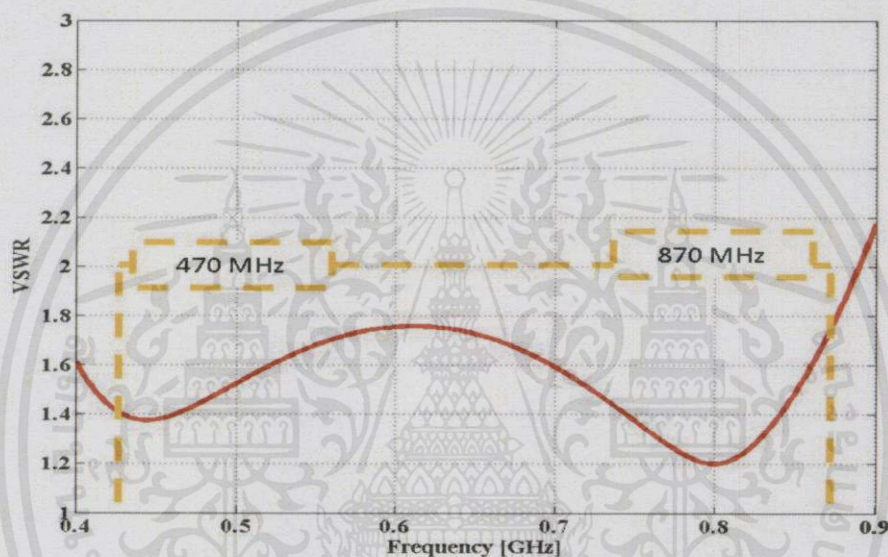
รูปที่ 3.3 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่า ผลการจำลองของค่า $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น มีค่าต่ำกว่า -10 dB ถือว่าตรงกับคุณสมบัติของสายอากาศตรงตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.2 ผลการจำลองค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

พิจารณาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นว่าสามารถนำไปใช้จริงได้หรือไม่ โดยค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นควรมีค่าต่ำกว่า 2 จะสามารถใช้งานได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



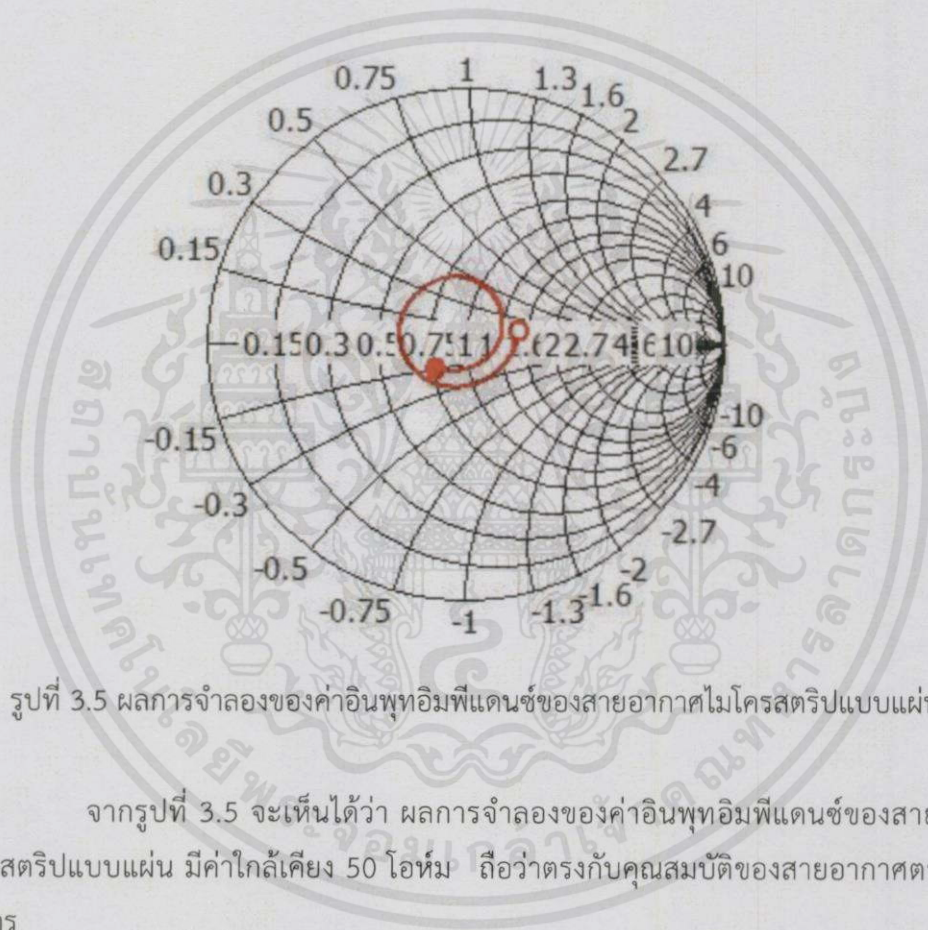
รูปที่ 3.4 ผลการจำลองค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่า ผลการจำลองค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น มีค่าต่ำกว่า 2 ถือว่าตรงกับคุณสมบัติของสายอากาศตรงตามที่ต้องการ

3.1.4.3 ผลการจำลองของค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบ

แผ่น

พิจารณาค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นว่า สามารถนำไปใช้จริงได้หรือไม่ โดยค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นควรมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียง 50 Ω จะสามารถใช้งานได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ผลการจำลองของค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

จากรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่า ผลการจำลองของค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น มีค่าใกล้เคียง 50 โอห์ม ถือว่าตรงกับคุณสมบัติของสายอากาศตรงตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 สร้างสายอากาศ

3.1.5.1 ตัดแผ่น FR-4 ให้มีขนาด 80x226 mm

3.1.5.2 นำสติกเกอร์มาติดแผ่น FR-4 ที่ได้เตรียมไว้

3.1.5.3 นำแบบที่วาดไว้มาติดบนสติกเกอร์

3.1.5.4 จากนั้นกรีดสติกเกอร์ส่วนที่ไม่ต้องการออก แล้วนำไปกัดปริน

3.1.5.5 เมื่อลอกสติกเกอร์ออกแล้ว ต่อจากนั้นนำตัวคอนเนคเตอร์

SMA 50 Ω มาบัดกรีติดกับสายอากาศ เป็นอันเสร็จเรียบร้อย ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

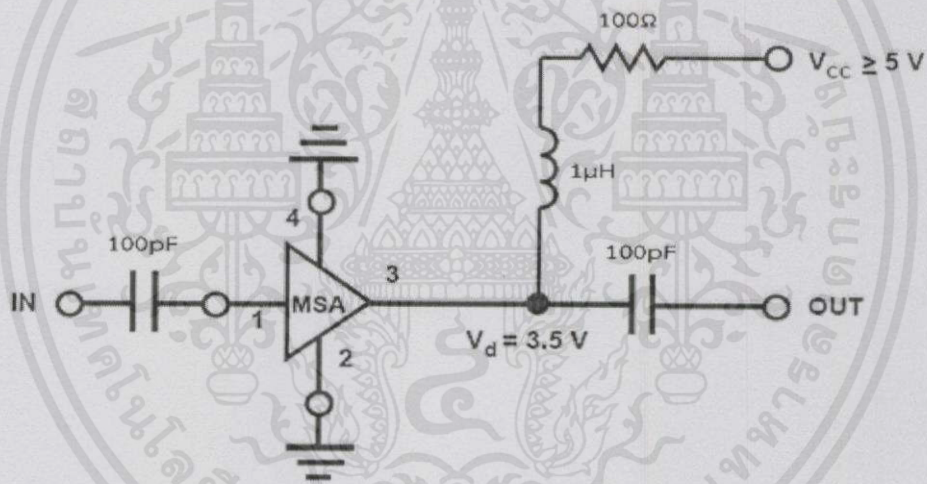
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 วงจรขยายสัญญาณโทรทัศน

วงจรขยายสัญญาณสำหรับสัญญาณภาครับโทรทัศนภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ส่งผลให้อัตราขยายในภาครับสัญญาณมีค่าเพิ่มขึ้น ในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณ ประกอบด้วย 4 วงจร ดังนี้

3.1.6.1 วงจรรวมไมโครเวฟแบบโมนอลิทริก

ทางปริญญาณิพนธ์เลือกใช้ วงจรรวมไมโครเวฟแบบโมนอลิทริกรุ่น MSA - 0865 (MAR - 6) ในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณ ดังแสดงรูปที่ 3.7

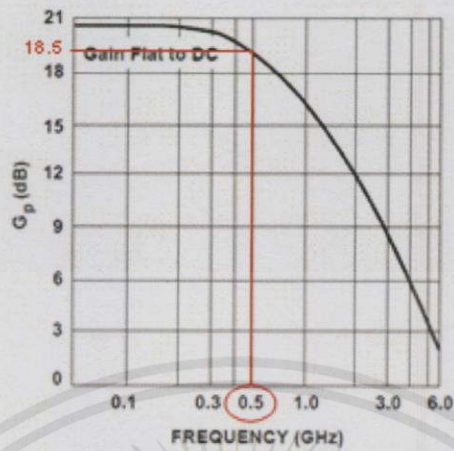


รูปที่ 3.7 วงจรรวมไมโครเวฟแบบโมนอลิทริก

จากรูปที่ 3.4 จะสามารถคำนวณหาค่า R_{bias} ได้จากสมการที่ 3.7 ดังนี้

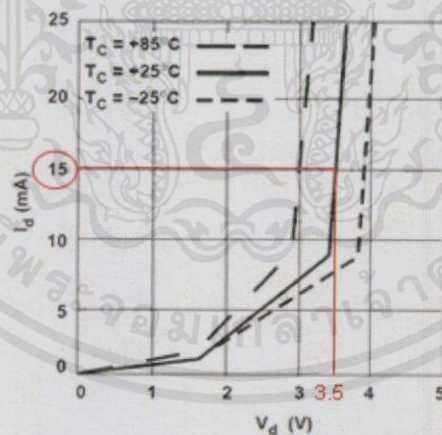
$$R_{bias} = \frac{V_{cc} - V_d}{I_{bias}} \quad (3.7)$$

โดยค่า V_{cc} มีค่า 5 V, V_d มีค่า 3.5 V ที่ความถี่ 500 MHz จะสามารถหาค่า I_{bias} (I_d) ได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายกับความถี่ ดังแสดงรูปที่ 3.5



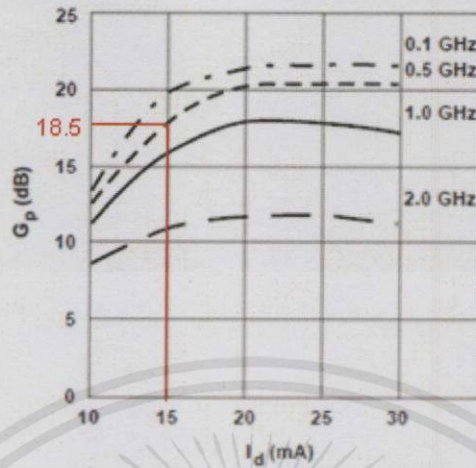
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราขยายของวงจรมิคโครเวฟแบบโมโนลิทริกกับความถี่

จากรูปที่ 3.8 จะเห็นได้ว่า ที่ความถี่ 500 MHz จะได้ค่าอัตราขยายของวงจรรวมไมโครเวฟแบบโมโนลิทริกประมาณ 18.5 dB จากนั้นจะสามารถหาค่า I_{bias} (I_d) จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไบอัสและแรงดัน ดังแสดงรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไบอัสและแรงดัน

จากรูปที่ 3.9 จะเห็นได้ว่า ที่ V_d มีค่า 3.5 โวลต์จะได้ค่ากระแสไบอัส ประมาณ 15 mA ที่ อุณหภูมิ 25 °c เมื่อนำค่ากระแสไบอัสมาตรวจสอบกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราขยายของวงจรรวมไมโครเวฟแบบโมโนลิทริก กับ กระแสไบอัส ดังแสดงรูปที่ 3.10



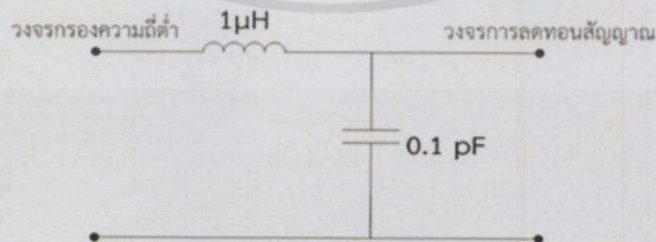
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราขยายของวงจรรวมไมโครเวฟแบบโมโนลิทริก กับ กระแสไบอัส

จากรูปที่ 3.10 พบว่า ที่ความถี่ 500 MHz จะม้ค่าอัตราขยาย ประมาณ 18.5 dB และ มีค่ากระแสไบอัสประมาณ 15 mA เมื่อนำมาคำนวณหา R_{bias} โดยใช้สมการที่ 3.7 ดังนี้

$$R_{bias} = \frac{5 - 3.5}{15 \times 10^{-3}} = 100 \Omega$$

3.1.6.2 วงจรไบอัสตัวที่

วงจรไบอัสตัวที่ เป็นวงจรที่ใช้ตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่ในการกั้นสัญญาณ DC ไม่ให้ไหลผ่าน และ ใช้ตัวเหนี่ยวนำในการกั้นสัญญาณ RF ดังแสดงรูปที่ 3.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.11 วงจรไบอัสตัวที่
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.11 กำหนดให้ค่าเหนี่ยวนำ = $1\mu\text{H}$ จากนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าได้จากสมการที่ 3.8 – 3.9 ดังนี้

เมื่อวงจรเกิดเรโซแนนซ์ จะได้ว่า $X_L = X_C$ ที่ความถี่ 470 MHz ซึ่งเป็นความถี่ต้นของสายอากาศ เพราะ สัญญาณความถี่สูงกว่า 470 MHz กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ เนื่องจาก ค่า X_L มีค่ามากกว่าค่า X_C

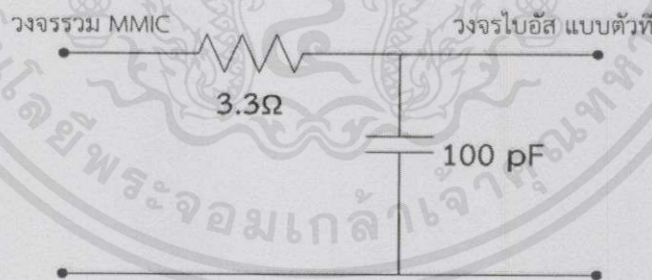
$$X_L = X_C \quad (3.8)$$

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \quad (3.9)$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 \times (470 \times 10^6)^2 \times 10^{-6}} = 0.1\text{pF}$$

3.1.6.3 วงจรกรองความถี่ต่ำ

วงจรกรองความถี่ต่ำ ใช้สำหรับกรองความถี่ที่ต้องการออก เพื่อจะสามารถแยกสัญญาณ DC ออกจาก สัญญาณ RF ดังแสดงรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 วงจรกรองความถี่ต่ำ

จากรูปที่ 3.12 กำหนดให้ค่าตัวเก็บประจุมีค่า = 100pF จากนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าตัวต้านทาน ได้จากสมการที่ 3.10 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

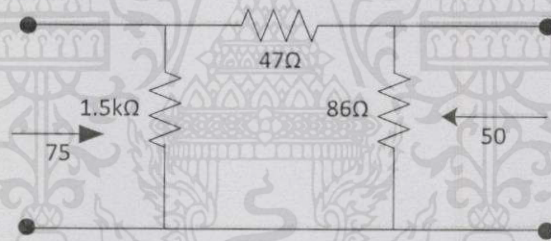
เมื่อวงจรเกิดเรโซแนนซ์ จะได้ว่า $R = X_c$ ที่ความถี่ 470 MHz ซึ่งเป็นความถี่ต้นของสายอากาศ เพราะ สัญญาณความถี่สูงกว่า 470 MHz กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน เนื่องจาก ตัวต้านทานมีค่ามากกว่าค่า X_c

$$R = \frac{1}{2\pi fC} \quad (3.10)$$

$$R = \frac{1}{2\pi \times (470 \times 10^6) \times 100 \times 10^{-12}} = 3.3 \Omega$$

3.1.5.4 วงจรลดทอนสัญญาณ

วงจรลดทอนสัญญาณ เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ลดสัญญาณที่เข้ามาที่อินพุต เพื่อการทดลองค่าของอินพุตอิมพีแดนซ์ไม่แกว่ง ดังแสดงรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วงจรลดทอนสัญญาณ

จากรูปที่ 3.13 ในวงจรการลดทอนสัญญาณนี้ มีค่าลดทอนประมาณ -6.2 dB เนื่องจากอิมพีแดนซ์อินพุต แลเอาต์พุตมีค่าไม่เท่ากัน ค่าลดทอนจึงมีค่าต่ำ สามารถแสดงการคำนวณได้ดังสมการที่ 3.11 – 3.14

กำหนดให้ ค่าลดทอน เท่ากับ -6.2 dB

$$K = 10^{\frac{dB}{20}} \quad (3.11)$$

$$K = 10^{\frac{6.2}{20}} = 2.04$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_1 = Z_1 \times \left(\frac{K^2 - 1}{K^2 - 2K \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2} + 1}} \right) \quad (3.12)$$

$$R_1 = 75 \times \left(\frac{2.04^2 - 1}{2.04^2 - 2 \times 2.04 \sqrt{\frac{75}{50} + 1}} \right) = 1440 \Omega$$

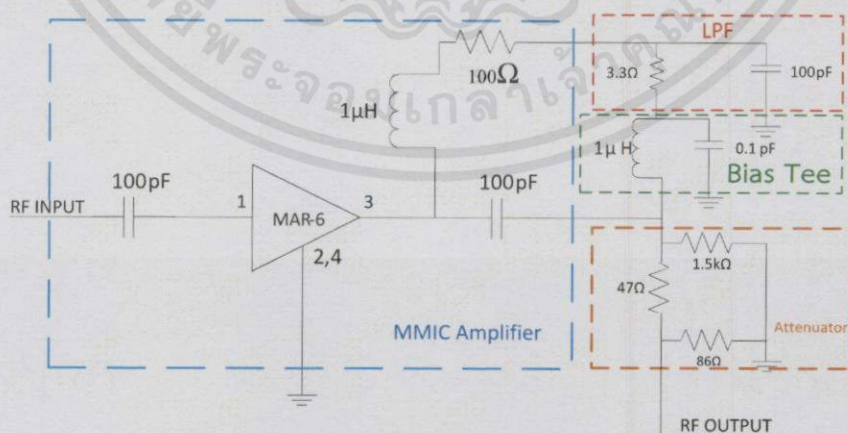
$$R_2 = \sqrt{Z_1 \times Z_2} \times \left(\frac{K^2 - 1}{2K} \right) \quad (3.13)$$

$$R_2 = \sqrt{50 \times 75} \times \left(\frac{2.04^2 - 1}{2 \times 2.04} \right) = 47 \Omega$$

$$R_3 = Z_2 \times \left(\frac{K^2 - 1}{K^2 - 2K \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1} + 1}} \right) \quad (3.14)$$

$$R_3 = 50 \times \left(\frac{2.04^2 - 1}{2.04^2 - 2 \times 2.04 \sqrt{\frac{50}{75} + 1}} \right) = 86 \Omega$$

นำวงจรทั้ง 4 วงจรมารวมกัน จะได้วงจรขยายสัญญาณโทรทัศน ดังแสดงรูปที่ 3.14

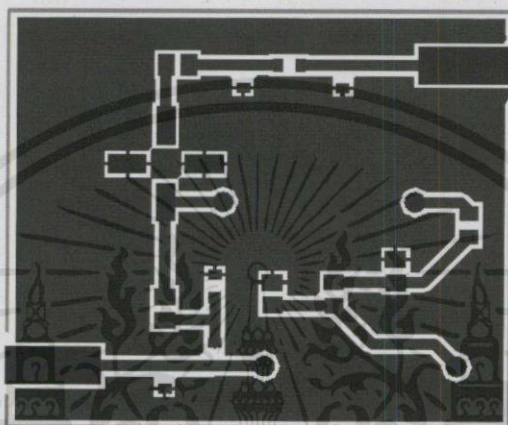


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.14 วงจรขยายสัญญาณโทรทัศน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.7 การสร้างวงจรขยายสัญญาณโทรทัศน์

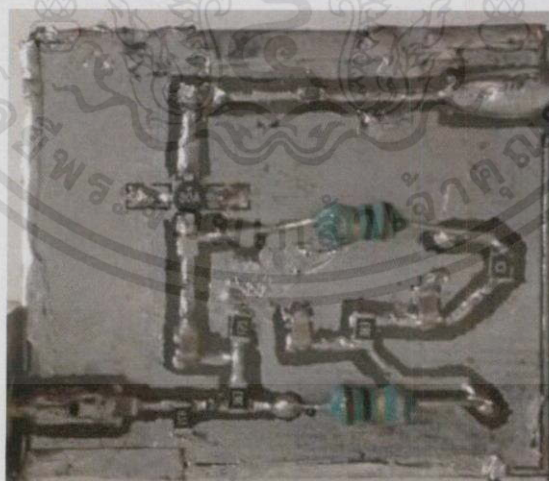
3.1.7.1 ออกแบบลายวงจรด้วยโปรแกรม altium designer ดังแสดง

รูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ลายวงจรที่ออกแบบด้วยโปรแกรม altium designer

3.1.7.2 ทำการกัดปรินท์ และลงอุปกรณ์เรียบร้อย ดังแสดงรูปที่ 3.16

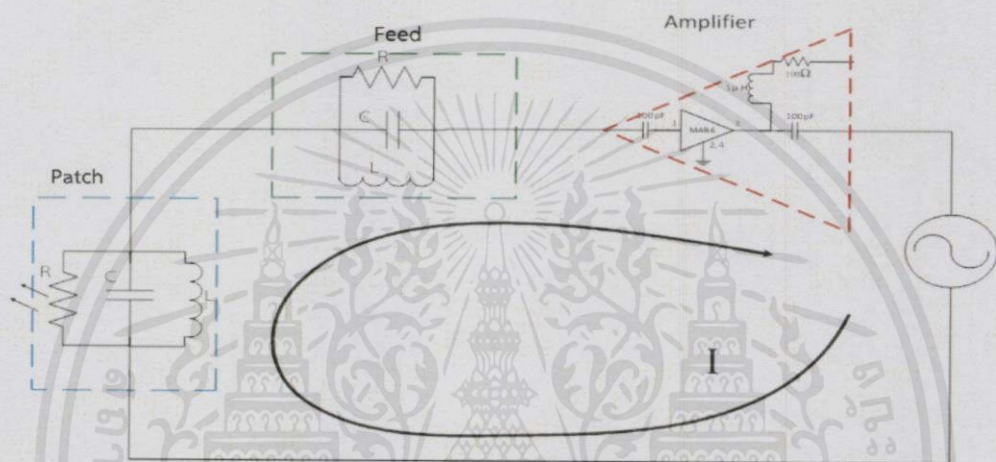


รูปที่ 3.16 วงจรขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 วงจรสมมูลของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรรขยายสัญญาณ โทรทัศน์

เมื่อนำวงจรรขยายสัญญาณมาต่อกับสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น จะสามารถเขียน
วงจรสมมูลของระบบ ดังแสดงรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 วงจรสมมูลของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรรขยายโทรทัศน์

จากรูปที่ 3.11 จะเห็นได้ว่า เมื่อสัญญาณส่งมาจากภาคส่ง สายอากาศภาครับจะรับสัญญาณ
โดยส่วนแพทช์จะมีค่าต้านทานการแผ่กระจายคลื่นจากนั้น ส่งไปยังส่วนป้อนสัญญาณ และส่งต่อไปยัง
วงจรรขยายสัญญาณ เพื่อขยายสัญญาณให้มีประสิทธิภาพในการรับสัญญาณมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

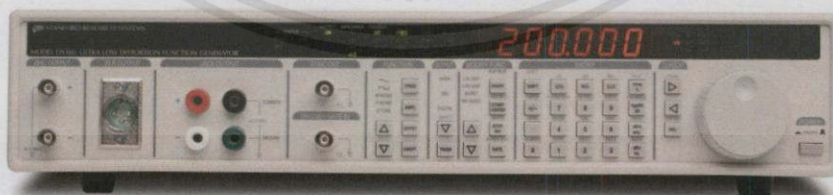
เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม เป็นเครื่องมือวิเคราะห์คลื่นสัญญาณ แสดงในรูปคลื่นเชิงความถี่ ดังแสดงรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

3.2.2 ตัวกำเนิดฟังก์ชัน

ตัวกำเนิดฟังก์ชัน เป็นเครื่องมือที่ใช้ผลิตสัญญาณทางไฟฟ้า รูปร่างต่างๆ เช่น รูปไซน์ (Sine Wave) รูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) รูปสามเหลี่ยมหรือรูปฟันเลื่อย (Triangle or Saw Tooth Wave) ดังแสดงรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ตัวกำเนิดฟังก์ชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 แหล่งจ่ายกำลัง

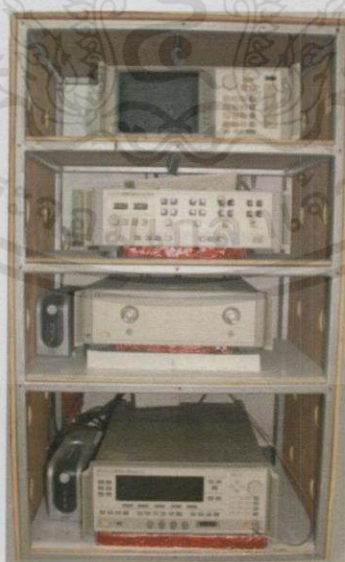
แหล่งจ่ายกำลัง เป็นอุปกรณ์ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดไฟฟ้า สามารถควบคุมแรงดันหรือกระแสเอาต์พุตให้มีค่าที่คงที่แน่นอน ดังแสดงรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แหล่งจ่ายกำลัง

3.2.4 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดคุณสมบัติของสายอากาศ ดังแสดงรูปที่ 3.21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.21 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.21 จะเห็นว่าเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์มีอุปกรณ์อื่นๆ ประกอบอยู่ด้วยโดยรายชื่อเครื่องที่ประกอบอยู่เมื่อเรียงลำดับจากบนลงล่าง มีดังนี้

- 1) จอแสดงผล (Monitor)
- 2) ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-Parameter test)
- 3) เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบสองพอร์ต (Network analyzer)
- 4) เครื่องสังเคราะห์ความถี่ (Synthesized sweeper)

3.2.5 ชุดปรับเทียบ

ชุดปรับเทียบ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับปรับสัญญาณให้เป็นระบบมาตรฐาน ซึ่งจะประกอบด้วยตัวปรับเทียบ SMA ชนิด Open, Short และ Load 50 Ω ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ชุดปรับเทียบชนิด OPEN, SHORT และ LOAD

3.2.6 สายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณ เป็นสายนำสัญญาณที่ปลายด้านหนึ่งถูกเชื่อมเข้ากับพอร์ตของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ และปลายอีกด้านหนึ่งเชื่อมต่อเข้ากับสายอากาศ เพื่อใช้ในการวัดสัญญาณ โดยจะต่อสายนำสัญญาณเข้ากับพอร์ตของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ทั้งสองพอร์ต ซึ่งพอร์ตที่หนึ่งเป็นพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 สายนำสัญญาณ

3.2.7 สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น เป็นสายอากาศที่สร้างขึ้นมี 2 แบบ คือ สายอากาศไมโครสตริป และ สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรรขยายสัญญาณ และสามารถรองรับการใช้งานในความถี่ย่านตั้งแต่ 470 MHz ถึง 870 MHz มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบตัว ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.24 สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

การจัดเก็บผลการทดลองแบ่งออกเป็น 7 ส่วน ประกอบด้วย ค่า $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศ อินพุทอิมพีแดนซ์ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น ฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณสายอากาศ วงจรขยายและการประยุกต์ใช้งาน ดังนี้

3.3.1 ค่า $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศ

ในการทดลองวัดค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศ จะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ แล้วทดลองวัดสายอากาศว่าในช่วงความถี่ 470 MHz ถึง 870 MHz มีค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศต่ำกว่า -10 dB หรือไม่

3.3.2 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

จากการทดลองวัดค่า $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศ จะเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน มีค่าที่สอดคล้องกับค่า $|S_{11}|$ ในการทดลองจะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ แล้วทดลองวัดสายอากาศว่าในช่วงความถี่ 470 MHz ถึง 870 MHz มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันต่ำกว่า 2 หรือไม่

3.3.3 อินพุทอิมพีแดนซ์

จากการทดลองวัดค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศ จะเห็นได้ว่า อินพุทอิมพีแดนซ์ จะมีค่าที่สอดคล้องกับค่า $|S_{11}|$ ในการทดลองจะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ แล้วทดลองวัดสายอากาศว่าในช่วงความถี่ 470 MHz ถึง 870 MHz มีค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 50 Ω หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น

การทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น โดยใช้สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น มีหน้าที่เป็นสายอากาศคู่เหมือนเป็นสายอากาศตัวส่งสัญญาณ และสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่ต้องการวัดเป็นสายอากาศตัวรับสัญญาณ โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศคู่เหมือนห่างกัน 2 m และทำการทดลองวัดทั้งระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็ก โดยให้มีการหมุนที่ละ 5° จนครบ 360°

3.3.5 วงจรขยาย

การทดลองวัดวงจขยาย โดยการป้อนสัญญาณโดยใช้ตัวกำเนิดฟังก์ชัน และใช้แหล่งจ่ายกำลัง 5 V ป้อนที่วงจร แล้วใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดสัญญาณ ว่ามีอัตราขยายจากสัญญาณอินพุตมาเท่าไร

3.3.6 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ

การทดลองวัดการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณ มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ S_{21} ในที่นี้จึงทำการวัดค่าพารามิเตอร์ S_{21} ในโดเมนความถี่โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ (VNA) ซึ่งจะกำหนดให้ทำงานในโหมดการวัดผลตอบสนอง เมื่อ พอร์ต 1 เป็นพอร์ตเครื่องส่ง (Tx) และพอร์ต 2 เป็นพอร์ตเครื่องรับ (Rx) โดยสายอากาศรับและส่งอยู่สูงจากพื้น 1.5 m และอยู่ห่างกัน 1 m

3.3.7 การประยุกต์ใช้งาน

นำสายอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นมาทดสอบกับโทรทัศน์โดยมีกล่องแปลงสัญญาณจากระบบดิจิทัลมาเป็นระบบแอนะล็อก ซึ่งทำหน้าที่ใช้เป็นตัวแปลงสัญญาณจากระบบดิจิทัลมาเป็นระบบแอนะล็อก โดยจะทดสอบตามสถานที่ภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

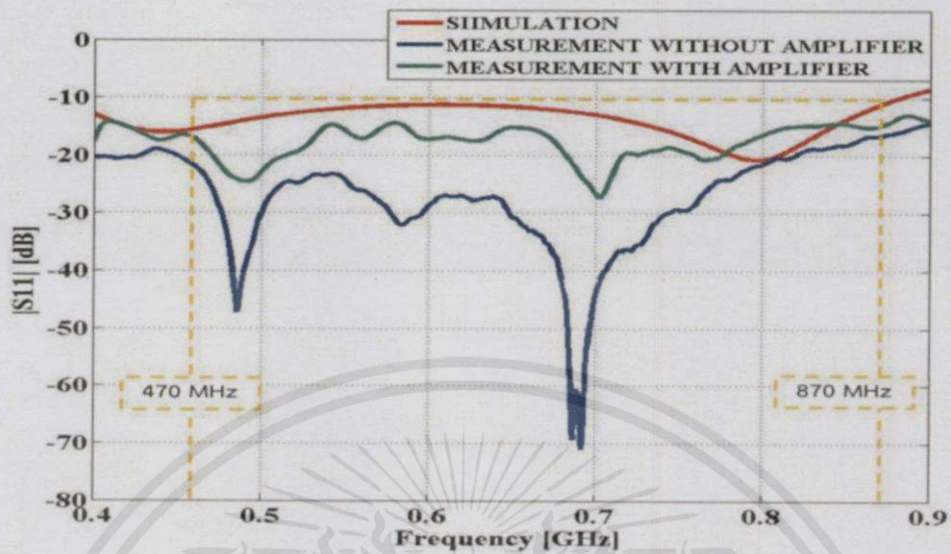
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 8 ส่วน ในส่วนแรกเป็นวัดค่า $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศ ในส่วนที่สองเป็นการทดลองวัดอินพุทอิมพีแดนซ์ ในส่วนที่สามเป็นการทดลองวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน ในส่วนที่สี่เป็นการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ในส่วนที่ห้าเป็นการคำนวณหาค่าอัตราขยายของสายอากาศ ในส่วนที่หกเป็นการคำนวณหาค่าอัตราขยายของสายอากาศที่มีวงจรถายสัญญาณ ในส่วนที่เจ็ดเป็นการทดลองวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ และในส่วนที่แปดเป็นการประยุกต์ใช้งาน

4.1 ค่า $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศ

การพิจารณาค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศ จะบ่งบอกถึงความถี่ที่จะนำไปใช้งานได้หรือไม่ ซึ่งค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศ ควรมีค่าต่ำกว่า -10 dB

ในการเปรียบเทียบค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นระหว่างผลการจำลองจากการออกแบบด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ผลการทดลองวัดสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ และ ผลการทดลองวัดสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรถายสัญญาณด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



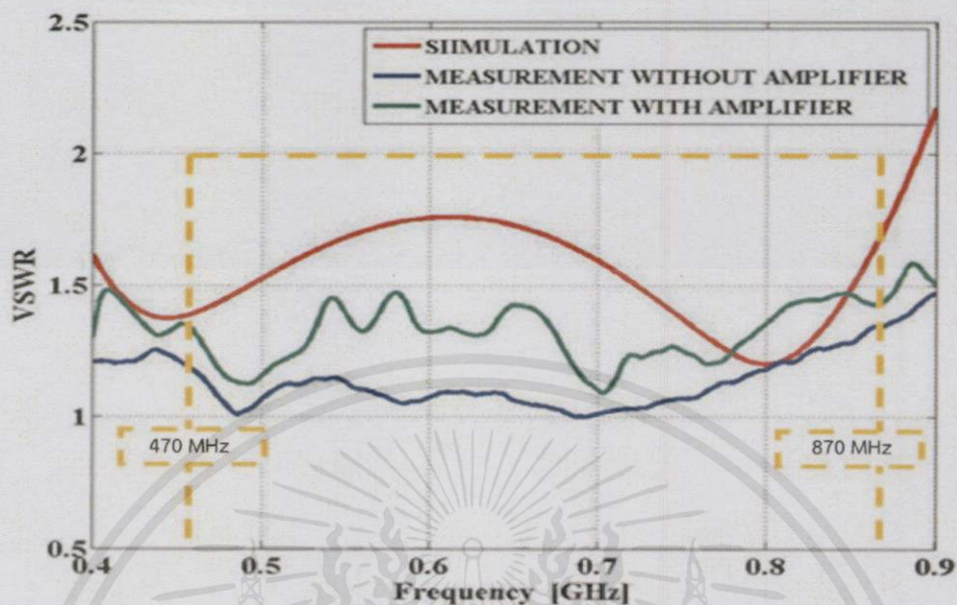
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลการจำลอง และ ผลการทดลองวัดค่า $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ผลการจำลองและผลการทดลองวัดค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นและสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรถายสัญญาณ มีค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศมีค่าที่ต่ำกว่า -10 dB ตั้งแต่ช่วงความถี่ 470 MHz ถึง 870 MHz แสดงว่าสายอากาศนี้สามารถใช้งานในช่วงความถี่นี้ได้

4.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

การพิจารณาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน จะบ่งบอกถึงความถี่ที่จะนำไปใช้สามารถใช้งานได้หรือไม่ ซึ่งค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน จะต้องมิต่ำกว่า 2

การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นระหว่างผลการจำลองจากการออกแบบด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ผลการทดลองวัดสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น และผลการทดลองวัดสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรถายสัญญาณ ดังเอกสารแสดงในรูปที่ 4.2 ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลการจำลอง และ ผลการทดลองวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

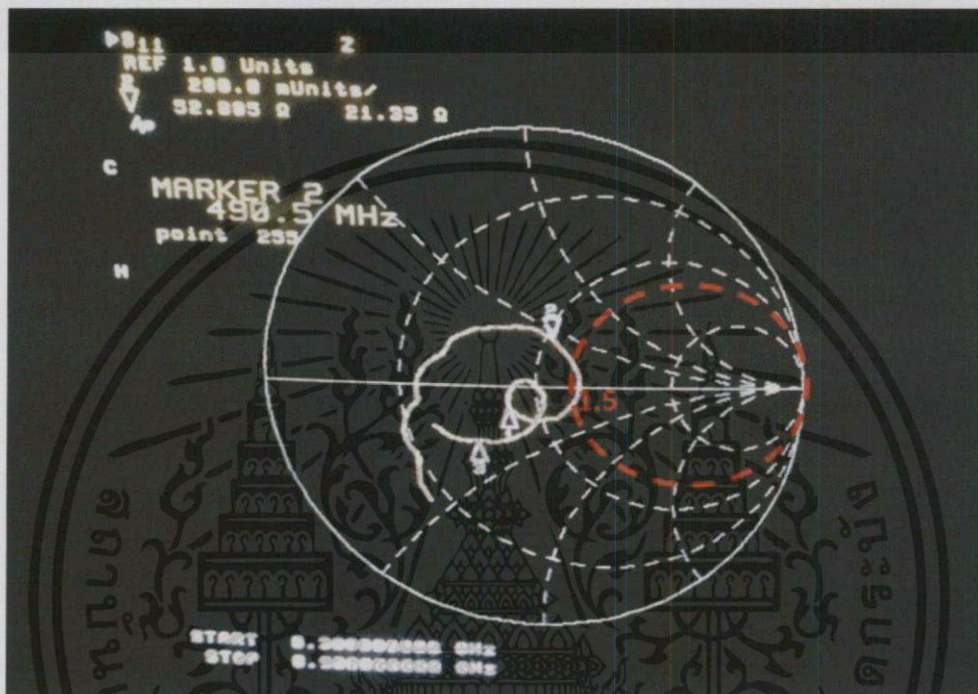
จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า ผลการจำลองและผลการทดลองวัดค่าอัตราส่วนแรงดันของคลื่นนิ่งของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นและสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรถยายสัญญาณ มีค่าอัตราส่วนแรงดันของคลื่นนิ่งของสายอากาศนั้น มีค่าที่ต่ำกว่า 2 ตั้งแต่ช่วงความถี่ 470 MHz ถึง 870 MHz แสดงว่าสายอากาศนี้สามารถใช้งานในช่วงความถี่นี้ได้

4.3 อินพุทอิมพีแดนซ์

การพิจารณาอินพุทอิมพีแดนซ์ จะบ่งบอกว่าสายอากาศจะสามารถนำไปใช้งานได้หรือไม่ เนื่องจากสายอากาศจะมีอินพุทอิมพีแดนซ์ สามารถแมตช์กับอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ ซึ่งอินพุทอิมพีแดนซ์จะต้องมีค่าเท่ากับ หรือ ใกล้เคียง 75 Ω ให้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

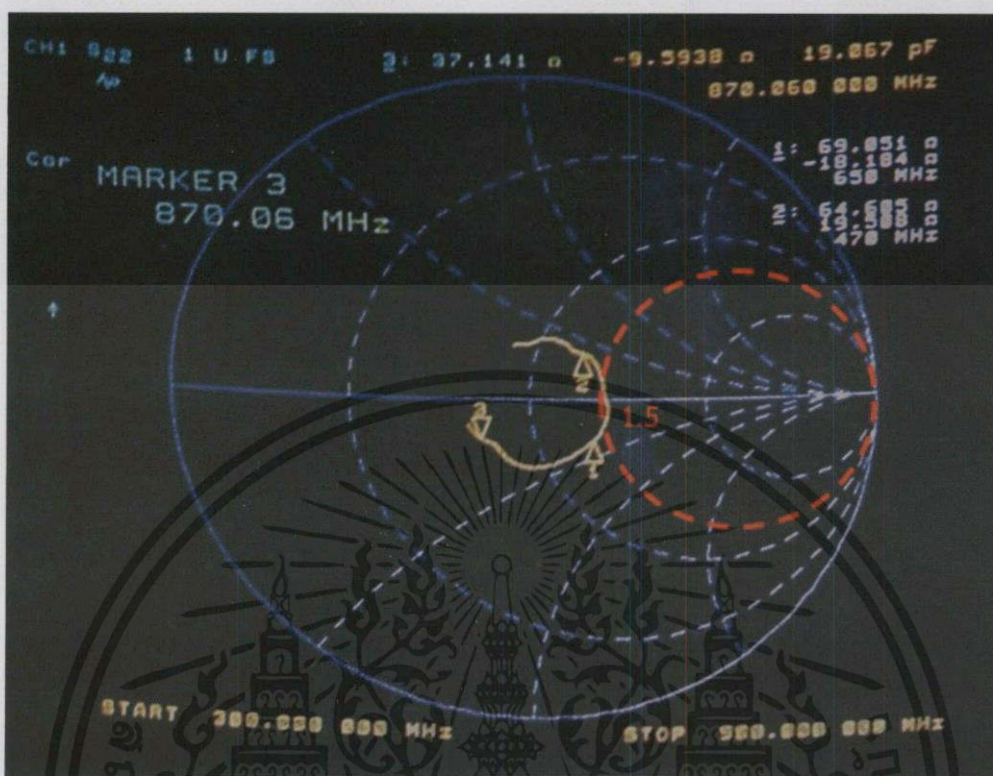
ผลการทดลองวัดสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ และผลการทดลองวัดสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรถ่ายสัญญาณด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 – 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองวัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

จากรูปที่ 4.3 พบว่า ผลการทดลองในช่วงความถี่ 470 MHz ถึง 870 MHz มีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่ยังไม่ค้อยแมตซ์พอ ซึ่งค่าที่แมตซ์คือ จะต้องอยู่ประมาณบริเวณเส้นประสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลการทดลองวัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มี วงจรขยายสัญญาณโทรทัศน์

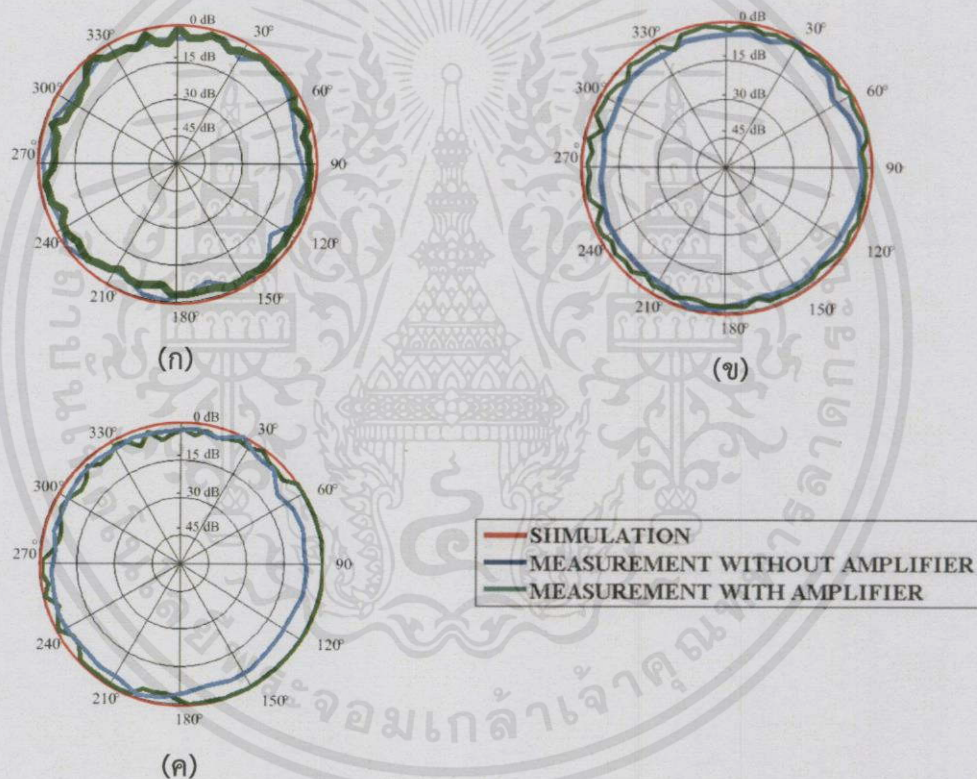
จากรูปที่ 4.4 พบว่า ผลการทดลองในช่วงความถี่ 470 MHz ถึง 870 MHz มีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศอยู่ในระดับของวงกลมเส้นปะที่ 2 จากด้านในหรือมีอินพุทอิมพีแดนซ์เท่ากับ 75Ω นั่นเอง ดังนั้น สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นจึงค่อนข้างจะแมตช์หรือสามารถแผ่กระจายคลื่นได้โดยมีการสะท้อนกลับของสัญญาณเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ

4.4.1 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) หรือระนาบ XZ

แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า ทำได้โดยการวางสายอากาศขนานกับพื้นโลก สามารถเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบของสายอากาศไมโครสตริบแบบแผ่นดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 (ก) การเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น
ในระนาบสนามไฟฟ้า 470 MHz

(ข) การเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น
ในระนาบสนามไฟฟ้า 650 MHz

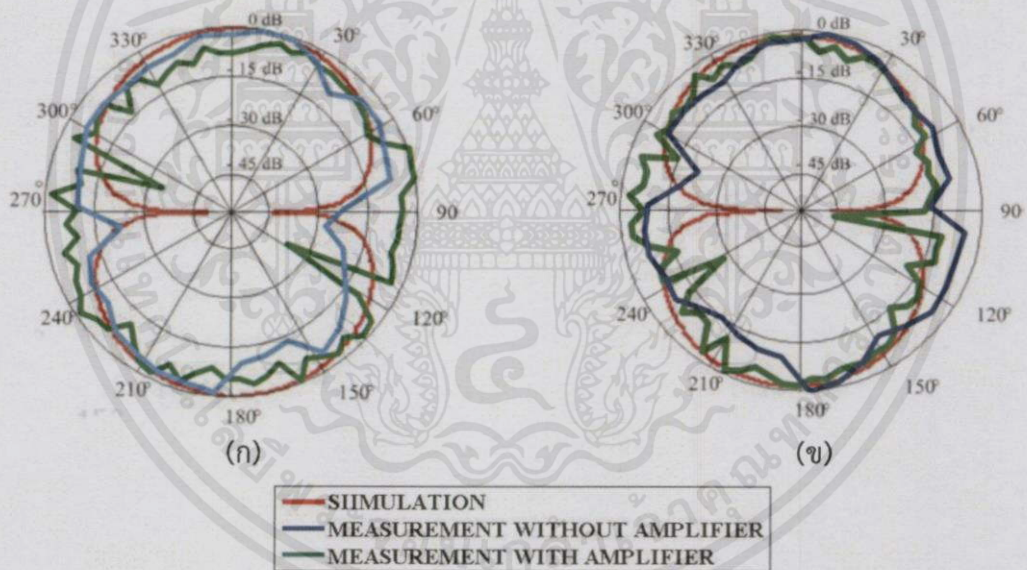
(ค) การเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น
ในระนาบสนามไฟฟ้า 870 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไปอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริบแบบแผ่น ในระนาบสนามไฟฟ้า เป็นรูปวงกลม และ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริบแบบแผ่นที่ได้จากการทดลองจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ก็จะมีลักษณะที่เป็นรูปวงกลม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มีลักษณะเป็นการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง

4.4.2 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) หรือระนาบ YZ

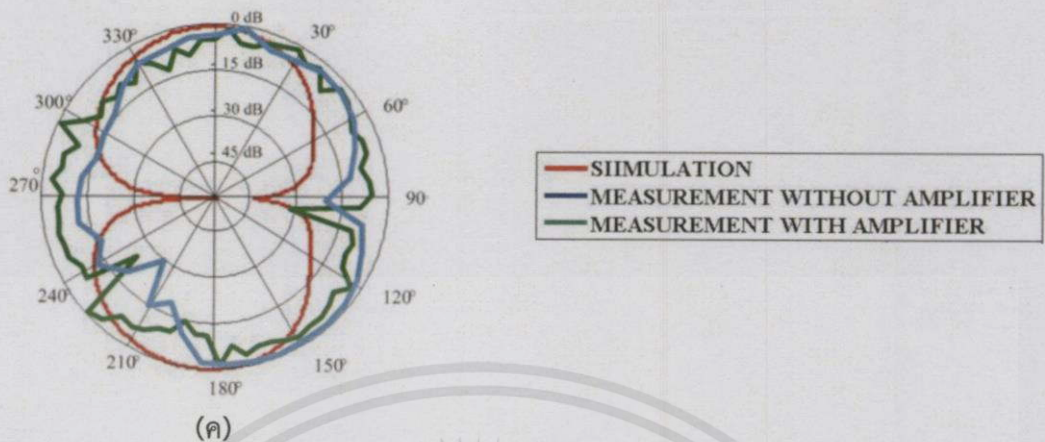
การทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก ทำได้โดยการวางสายอากาศตั้งฉากกับพื้นโลก สามารถเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นระนาบสนามแม่เหล็ก ระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบของสายอากาศไมโครสตริบแบบแผ่นดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 (ก) การเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น
ในระนาบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 470 MHz

(ข) การเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น
ในระนาบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 650 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 (ค) การเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น
ในระนาบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 870 MHz

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า ผลการจำลองแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของอากาศในระนาบสนามแม่เหล็กเป็นรูปตัวเลขแปดแนวนอน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มีลักษณะเป็นการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง และ แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่ได้จากการทดลองจากเครื่องวิเคราะห์โคจรข่ายแบบเวกเตอร์ ก็จะมีลักษณะที่เป็นรูปเลขแปด แต่ยังมีลักษณะที่แปลกไปบ้างจากผลของการจำลอง

4.5 การคำนวณอัตรายายของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

อัตรายายของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่ความถี่ 470 MHz สามารถคำนวณได้ดังนี้

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

$$\text{เมื่อ } G_t = G_r; \quad 2G_r = 20 \log \left(\frac{4\pi \times 2}{0.64} \right) - 30.5$$

$$G_r = 0.7$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่ความถี่ 650 MHz สามารถคำนวณได้ดังนี้

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

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } G_t = G_r; \quad 2G_r &= 20 \log \left(\frac{4\pi \times 2}{0.46} \right) - 33.5 \\ G_r &= 0.62 \end{aligned}$$

อัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่ความถี่ 870 MHz สามารถคำนวณได้ดังนี้

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

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } G_t = G_r; \quad 2G_r &= 20 \log \left(\frac{4\pi \times 2}{0.34} \right) - 35.9 \\ G_r &= 0.74 \end{aligned}$$

4.6 การคำนวณอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรถยายสัญญาณโทรทัศน

สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่ได้ทำการสร้างขึ้นมาจากการคำนวณ ออกแบบ และการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์นั้นยังมีคุณสมบัติของสายอากาศที่ยังไม่ดีเท่าที่ควร โดยเฉพาะอัตราขยายของสายอากาศที่ยังมีค่าน้อย ดังนั้นทางปริญญาโทจึงได้มีการคิดหาวิธีที่จะปรับปรุงสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นให้มีอัตราขยายที่ดีขึ้นกว่า โดยไม่มีการเพิ่มหรือลดขนาดของสายอากาศ จึงทำการออกแบบวงจรถยายสัญญาณโทรทัศน เพื่อนำไปประกอบรวมกับตัวสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น ซึ่งผลการทดสอบของวงจรถยายสัญญาณโทรทัศน แสดงดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลการทดลองวัดวงจรมอดูเลชันสัญญาณโทรทัศน์

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า ผลการทดลองวัดวงจรมอดูเลชันสัญญาณโทรทัศน์ ที่ความถี่ 470 MHz มีค่าอัตราขยายอยู่ประมาณ 13.84 dB ที่ความถี่ 650 MHz มีค่าอัตราขยายอยู่ประมาณ 12.89 dB และ ที่ความถี่ 870 MHz มีค่าอัตราขยายอยู่ประมาณ 12.91 dB แสดงให้เห็นว่า ค่าอัตราขยายของวงจรมอดูเลชันสัญญาณ มีค่าแปรผกผันกับความถี่ เมื่อความถี่มีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าอัตราขยายของวงจรมอดูเลชันสัญญาณยังมีค่าต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาไปใช้

เมื่อนำมาสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรรขยายสัญญาณมาคิดอัตราการขยายสัญญาณโทรทัศน์ ที่ความถี่ต้น 470 MHz ความถี่กลาง 666 MHz และ ความถี่ปลาย 870 MHz ได้ดังนี้

อัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่ความถี่ 470 MHz สามารถคำนวณได้ดังนี้

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

$$G_r + 0.7 = 20 \log \left(\frac{4\pi \times 2}{0.64} \right) - 20.1$$

$$G_r = 11.08$$

อัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่ความถี่ 666 MHz สามารถคำนวณได้ดังนี้

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

$$G_r + 0.62 = 20 \log \left(\frac{4\pi \times 2}{0.46} \right) - 22.3$$

$$G_r = 12.83$$

อัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่ความถี่ 870 MHz สามารถคำนวณได้ดังนี้

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

$$G_r + 0.74 = 20 \log \left(\frac{4\pi \times 2}{0.34} \right) - 24.7$$

$$G_r = 11.9$$

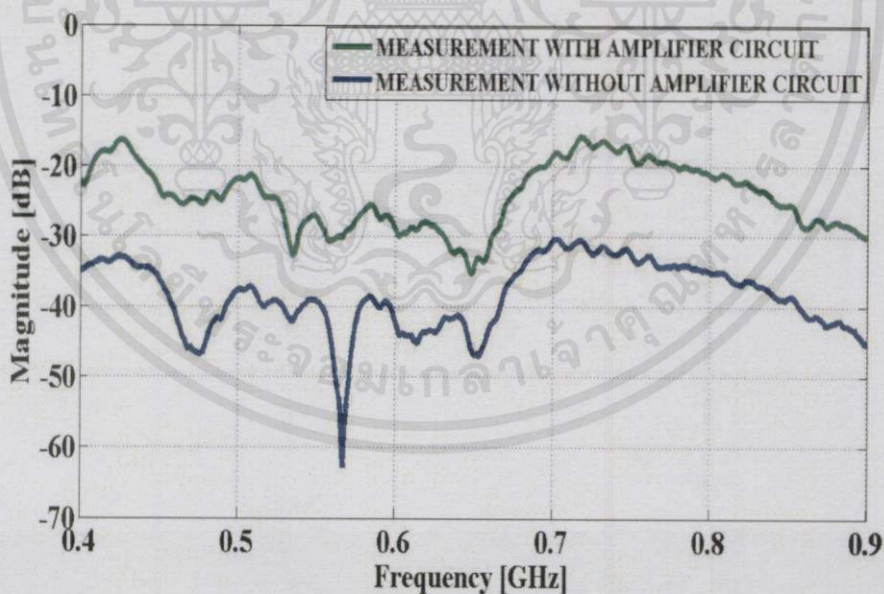
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ

การพิจารณาฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ และ ค่าอัตราขยาย แสดงดังนี้

4.7.1 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ (Chanel transfer functions: Magnitude)

ขนาด S_{21} ที่วัดได้เมื่อสายอากาศทำมุม 0° โดยกราฟเป็นการเปรียบเทียบขนาด S_{21} ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น และสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรรขยาย จะเห็นได้ว่าขนาดของ S_{21} ที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่อย่างมาก สามารถบ่งบอกได้ว่าสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น มีประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณดีหรือไม่ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

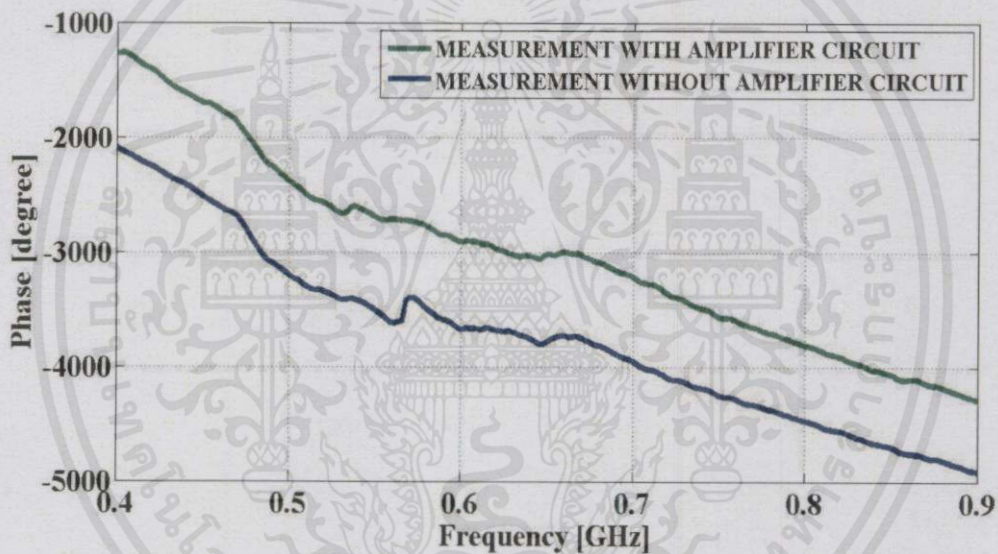


รูปที่ 4.8 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ (Channel transfer functions: Phase)

ขนาด S_{21} ที่วัดได้เมื่อสายอากาศทำมุม 0° จากกราฟเป็นการเปรียบเทียบขนาด เฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น และสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรถ่ายจะเห็นได้ว่าเฟสของ S_{21} ที่วัดได้มีเฟสที่ไม่เป็นเชิงเส้นในบางช่วงความถี่ สามารถบ่งบอกได้ว่า สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น มีประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณดีหรือไม่ ดังแสดงในรูปที่ 4.9



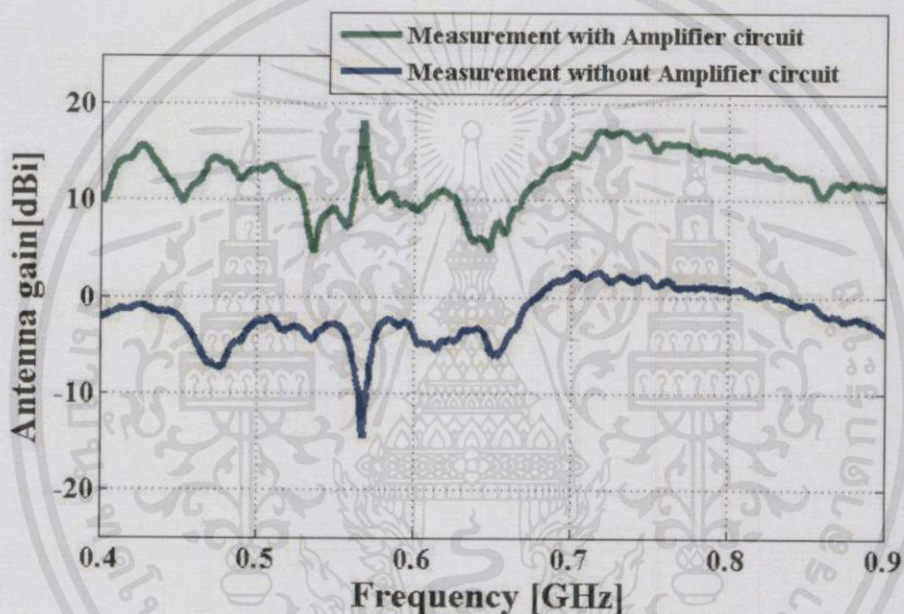
รูปที่ 4.9 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณของสายอากาศ

จากรูปที่ 4.9 พบว่า เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นประมาณช่วง 560 MHz – 580 MHz แต่เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรถ่ายสัญญาณ มีลักษณะค่อนข้างจะเป็นเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3 อัตราการขยายของสายอากาศ (Antenna transfer functions : Gain)

พารามิเตอร์ S_{21} ที่ได้จากการวัดนี้จะนำมาคำนวณหาฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของสายอากาศ ที่มุม 0° ซึ่งผลของขนาด (เกนของสายอากาศ) ที่ได้นี้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าเกนของสายอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ในช่วง 470 MHz ถึง 870 MHz เป็นอย่างมาก



รูปที่ 4.10 อัตราการขยายของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

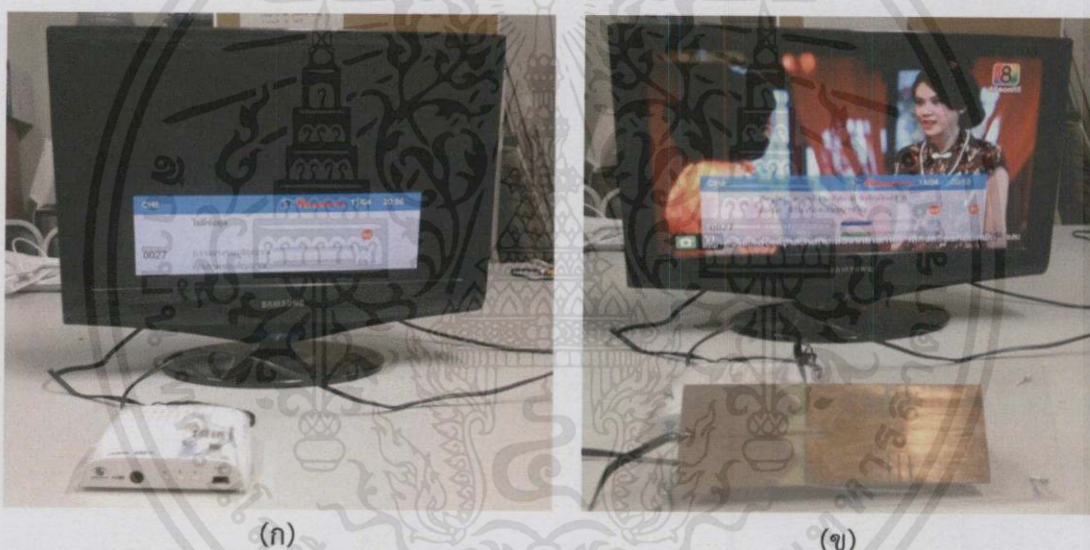
จากรูปที่ 4.10 พบว่า เมื่อนำสมการของฟรีสมาคำนวณอัตราการขยายทั้งสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรถ่ายสัญญาณ และ สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่ไม่มีวงจรถ่ายสัญญาณ จะเห็นได้ว่า สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรถ่ายสัญญาณ จะมีอัตราการขยาย สูงกว่า สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่ไม่มีวงจรถ่ายสัญญาณ เพราะฉะนั้น ประสิทธิภาพในการรับสัญญาณโทรทัศน์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรถ่ายสัญญาณจะมีคุณภาพดีกว่าสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่ไม่มีวงจรถ่ายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การประยุกต์ใช้งาน

จากการทดสอบสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่ได้สร้างต่อเข้ากับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล โดยนำสายอากาศมาต่อกับกล่องแปลงสัญญาณจากระบบดิจิทัลเป็นระบบแอนะล็อก ซึ่งทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนสัญญาณจากระบบดิจิทัลมาเป็นระบบแอนะล็อก แล้วต่อเข้ากับโทรทัศน์

4.8.1 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นกับการประยุกต์ใช้งานจริง ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 (ก) การทดลองประยุกต์ใช้งานจริง (ก่อนติดตั้งสายอากาศ)

(ข) การทดลองประยุกต์ใช้งานจริง (หลังติดตั้งสายอากาศ)

จากรูปที่ 4.11 พบว่า เมื่อติดตั้งสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นกับโทรทัศน์แล้ว จะเห็นว่า ความแรงของสัญญาณมีค่าประมาณ 38% และ คุณภาพของสัญญาณความแรงมีค่าประมาณ 37% ถือว่าประสิทธิภาพในการรับสัญญาณของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นนี้ค่อนข้างต่ำ ต้องมีการปรับตำแหน่งในการรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.2 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรถยายสัญญาณกับการ ประยุกต์ใช้งานจริง ดังแสดงในรูปที่ 4.12



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.12 (ก) การทดลองประยุกต์ใช้งานจริง (ก่อนติดตั้งสายอากาศ)

(ข) การทดลองประยุกต์ใช้งานจริง (หลังติดตั้งสายอากาศ)

จากรูปที่ 4.12 พบว่า เมื่อติดตั้งสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีวงจรถยายสัญญาณกับโทรทัศน์แล้ว จะเห็นได้ว่า ความแรงของสัญญาณมีค่าประมาณ 89% และ คุณภาพของสัญญาณความแรงมีค่าประมาณ 88% ถือว่าประสิทธิภาพในการรับสัญญาณของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นดีตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศ โดยอาศัยทดลองคุณสมบัติของสายอากาศ ขึ้นพื้นฐาน ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

5.1 สรุปผล

เนื่องจาก สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น ที่ได้ทำการสร้างตามการจำลองการ ออกแบบจากโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ พบว่า มีอัตราขยายของสายอากาศนั้นมีค่าน้อยมาก เกินไป ทางปริยญาณิพนธ์จึงได้มีแก้ไขปรับปรุง โดยปรับขนาดของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย เมื่อนำมาทดสอบกับการประยุกต์ใช้จริง ยังมีคุณภาพในการรับสัญญาณ ไม่ดีเท่าที่ควร ทางปริยญาณิพนธ์จึงได้ทำการแก้ไขโดยสร้างวงจรขยายเพิ่ม ส่งผลให้มีประสิทธิภาพ ในการรับสัญญาณดีขึ้น สามารถสรุปผลการทดลอง ดังนี้

การวัดค่า $|S_{11}|$ พบว่าคุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นเมื่อเปรียบเทียบกับ ผลจากการทดลองทั้งแบบที่มีวงจรขยายสัญญาณและแบบที่ไม่มีวงจรขยายสัญญาณกับผลจากการ จำลองของสายอากาศ มีลักษณะแตกต่างกัน แต่มีค่า $|S_{11}|$ คุณสมบัติน้อยกว่า -10 dB ทั้งหมด

การวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน เมื่อเปรียบเทียบผลจากการทดลองทั้งแบบที่มี วงจรขยายสัญญาณและแบบที่ไม่มีวงจรขยายสัญญาณกับผลจากการจำลองของสายอากาศแบบ แผ่น จะมีลักษณะแตกต่างกัน แต่มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน ต่ำกว่า 2

การวัดอินพุทอิมพีแดนซ์ เมื่อเปรียบเทียบผลจากการทดลองทั้งแบบที่ไม่มีวงจรขยาย สัญญาณกับผลจากการจำลองของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่มี ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ที่ใกล้เคียง 50Ω แต่เมื่อเพิ่มวงจรขยายสัญญาณ มีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์มีค่า ใกล้เคียง 65Ω เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศทั้ง 3 ความถี่ พบว่า สายอากาศ ไมโครสตริบแบบแผ่นที่ได้สร้างขึ้นมา มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง โดยในระนาบ สนามไฟฟ้า (ระนาบ XZ) จะมีลักษณะเป็นรูปร่างกลม และในระนาบสนามแม่เหล็ก (ระนาบ YZ) จะมีลักษณะเป็นรูปเลขแปดในแนวนอน

ประสิทธิภาพของสายอากาศสามารถประเมินผลได้จากการทดลองวัดฟังก์ชันการถ่ายโอน ซึ่งประกอบด้วย ขนาด เฟส และอัตราการขยาย โดยมีพื้นฐานอยู่บนสมการของฟรีส

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการสรุปผลการทดลองข้างต้น พบว่า ยังมีข้อผิดพลาด เนื่องจาก ผู้ทดลองขาดประสบการณ์ในการใช้เครื่องมือและการวัดผลการทดลอง หรือ เกิดจากสิ่งแวดล้อมในห้องที่ใช้ในการทดลองทั้งอุณหภูมิและ อุปกรณ์ต่างๆ อาจทำให้สัญญาณที่ส่งมาสะท้อนไปหักล้างกันทำให้เกิดการสูญหายของสัญญาณ

เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง มีแต่คอนเนคเตอร์ SMA 50 Ω แต่คอนเนคเตอร์ที่ใช้สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์เป็น 75 Ω จึงต้องทำการออกแบบสายอากาศไมโครสตริบแบบแผ่น ให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ 50 Ω เมื่อไปทดลองกับโทรทัศน์ คุณภาพของการรับสัญญาณโทรทัศน์จะไม่ดีเท่าที่ควร จึงต้องต่อตัวแปลงอิมพีแดนซ์จาก 50 Ω มาเป็น 75 Ω เพื่อให้คุณภาพของการรับสัญญาณดีขึ้น

เนื่องจากสายอากาศไมโครสตริบแบบแผ่น มีการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ซึ่งมีข้อดี คือ สามารถรับสัญญาณได้ทุกทิศทาง เนื่องจาก ไม่สามารถทราบได้ว่าสถานีภาคส่งจะส่งสัญญาณมาทิศทางใด แต่ข้อเสียของการแผ่กระจายคลื่นชนิดนี้ คือ อัตราการขยายต่ำ สาเหตุมาจากขนาดของสายอากาศมีขนาดเล็กด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] B. M. Jeng และคนอื่นๆ, “Multiple-Ring Monopole Antenna With Sleeve-Shaped Ground For Dvb-T Applications,” In Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 50, No. 2, Pp. 859-867, 2010.
- [2] Horng-Dean Chen. “Compact Broadband Microstrip-Line-Fed Sleeve Monopole Antenna For DTV Application And Ground Plane Effect” IEEE Antenna And Wireless Propagation Letters, Vol.7 , Pp 497 – 500, 2008.
- [3] Chih-Yu และคนอื่นๆ. “Compact Broadband Monopole Slot Antenna For Digital TV Application ,” In IEEE Asia-Pacific Conference On Antennas And Propagations, Singapore, 2012..
- [4] Fang Lei, Zengrui Li, Limei Luo, Hui Zhang และ Yaoqing Yang. “A Novel Monopole Antenna For Digital Television Receiving Application” Pp. 163-166, 2012
- [5] Christian Davis. “Television Frequency Table.”
<http://www.csgnetwork.com/tvfreqtable.html>.
- [6] นิกรณัน อนันตา. “ความรู้เบื้องต้นและภาพรวมของระบบโทรทัศน์ไทย.”
http://dvbthai.blogspot.com/2011/02/blog-post_15.html.
- [7] สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. “ความแตกต่างของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบแอนะล็อกและระบบดิจิตอล.”
<http://digital.nbtc.go.th/index.php/articles-en/11-difference>.
- [8] C.A.Balanis. Antenna Theory Analysis And Design. 3rd Ed. Hoboken, Nj: John Wiley&Sonc, Inc., 2005.
- [9] ยรรยง บุญธิรัศมี และคนอื่นๆ. “คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบสายอากาศไมโครสตริป” วิทยานิพนธ์ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม วิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.
- [10] รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์. “เอกสารประกอบการเรียนวิชาวิศวกรรมสายอากาศ.”
- [11] โมน้อย ไกรฤกษ์. ทฤษฎีสายอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2535
- [12] Randy Bancroft. Microstrip And Printed Antenna Design. 2nd Ed. Raleigh, Nc: Scitech Publishing, Inc., 2009.
- [13] Kin-Lu Wong. Compact And Broadband Microstrip Antennas. New York, Ny: Wiley&Sonc, Inc., 2002. 11
- [14] Cascadable Silicon Bipolar MMIC Amplifier (MSA - 0685) Data sheet. Available Source: http://f5ad.free.fr/Docs_ATV/MSA0685.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

Cascadable Silicon Bipolar MMIC Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cascadable Silicon Bipolar MMIC Amplifier

Technical Data

MSA-0685

Features

- **Cascadable 50 Ω Gain Block**
- **Low Operating Voltage:**
3.5 V Typical V_d
- **3 dB Bandwidth:**
DC to 0.8 GHz
- **High Gain:**
18.5 dB Typical at 0.5 GHz
- **Low Noise Figure:**
3.0 dB Typical at 0.5 GHz
- **Low Cost Plastic Package**

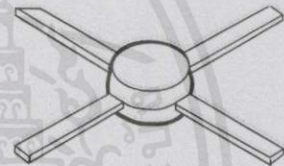
Description

The MSA-0685 is a high performance silicon bipolar Monolithic Microwave Integrated Circuit (MMIC) housed in a low cost

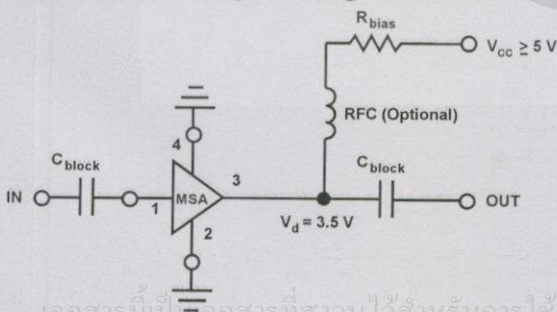
plastic package. This MMIC is designed for use as a general purpose 50 Ω gain block. Typical applications include narrow and broad band IF and RF amplifiers in commercial and industrial applications.

The MSA-series is fabricated using HP's 10 GHz f_T , 25 GHz f_{MAX} , silicon bipolar MMIC process which uses nitride self-alignment, ion implantation, and gold metallization to achieve excellent performance, uniformity and reliability. The use of an external bias resistor for temperature and current stability also allows bias flexibility.

85 Plastic Package



Typical Biasing Configuration



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MSA-0685 Absolute Maximum Ratings

Parameter	Absolute Maximum ^[1]
Device Current	50 mA
Power Dissipation ^[2,3]	200 mW
RF Input Power	+13 dBm
Junction Temperature	150°C
Storage Temperature	-65 to 150°C

Thermal Resistance^[2,4]:

$$\theta_{jc} = 110^{\circ}\text{C/W}$$

Notes:

1. Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.
2. $T_{\text{CASE}} = 25^{\circ}\text{C}$.
3. Derate at $9.1 \text{ mW}/^{\circ}\text{C}$ for $T_{\text{C}} > 128^{\circ}\text{C}$.
4. See MEASUREMENTS section "Thermal Resistance" for more information.

Electrical Specifications^[1], $T_{\text{A}} = 25^{\circ}\text{C}$

Symbol	Parameters and Test Conditions: $I_{\text{d}} = 16 \text{ mA}$, $Z_0 = 50 \Omega$	Units	Min.	Typ.	Max.	
G_{P}	Power Gain ($ S_{21} ^2$)	$f = 0.1 \text{ GHz}$	dB	20.0		
		$f = 0.5 \text{ GHz}$		17.0	18.5	
ΔG_{P}	Gain Flatness	$f = 0.1 \text{ to } 0.5 \text{ GHz}$	dB	± 0.7		
$f_3 \text{ dB}$	3 dB Bandwidth		GHz	0.8		
VSWR	Input VSWR	$f = 0.1 \text{ to } 1.5 \text{ GHz}$		1.5:1		
	Output VSWR	$f = 0.1 \text{ to } 1.5 \text{ GHz}$		1.4:1		
NF	50 Ω Noise Figure	$f = 0.5 \text{ GHz}$	dB	3.0		
$P_1 \text{ dB}$	Output Power at 1 dB Gain Compression	$f = 0.5 \text{ GHz}$	dBm	2.0		
IP_3	Third Order Intercept Point	$f = 0.5 \text{ GHz}$	dBm	14.5		
t_{D}	Group Delay	$f = 0.5 \text{ GHz}$	psec	200		
V_{d}	Device Voltage		V	2.8	3.5	4.2
dV/dT	Device Voltage Temperature Coefficient		mV/ $^{\circ}\text{C}$	-8.0		

Note:

1. The recommended operating current range for this device is 12 to 25 mA. Typical performance as a function of current is on the following page.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MSA-0685 Typical Scattering Parameters ($Z = 50 \Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $I_d = 16 \text{ mA}$)

Freq. GHz	S_{11}		S_{21}			S_{12}			S_{22}		k
	Mag	Ang	dB	Mag	Ang	dB	Mag	Ang	Mag	Ang	
0.1	.04	171	20.1	10.09	171	-22.5	.075	5	.04	-30	1.04
0.2	.02	-180	29.8	9.75	161	-22.4	.076	10	.05	-56	1.04
0.3	.02	-143	19.4	9.38	153	-22.2	.077	15	.07	-76	1.05
0.4	.03	-113	19.1	8.99	145	-21.8	.081	17	.08	-91	1.04
0.5	.05	-105	18.7	8.57	138	-21.3	.086	21	.10	-104	1.04
0.6	.07	-101	18.2	8.14	131	-20.7	.092	25	.11	-116	1.03
0.8	.10	-111	17.3	7.32	119	-19.7	.103	28	.13	-134	1.01
1.0	.13	-118	16.4	6.57	107	-18.8	.115	28	.14	-150	0.99
1.5	.21	-140	14.1	5.06	84	-17.1	.140	28	.15	180	1.00
2.0	.29	-163	12.0	3.98	65	-15.8	.163	26	.16	157	1.02
2.5	.34	-176	10.3	3.26	55	-15.2	.174	28	.16	150	1.06
3.0	.41	169	8.7	2.71	42	-14.8	.181	25	.15	143	1.10
3.5	.46	157	7.2	2.31	30	-14.2	.194	22	.13	144	1.11
4.0	.49	146	6.1	2.01	18	-13.8	.203	20	.10	156	1.13
4.5	.52	135	5.0	1.77	7	-13.4	.215	17	.09	173	1.14
5.0	.54	123	4.1	1.60	-3	-12.9	.226	15	.09	-178	1.14

Note:

1. A model for this device is available in the DEVICE MODELS section.

Typical Performance, $T_A = 25^\circ\text{C}$

(unless otherwise noted)

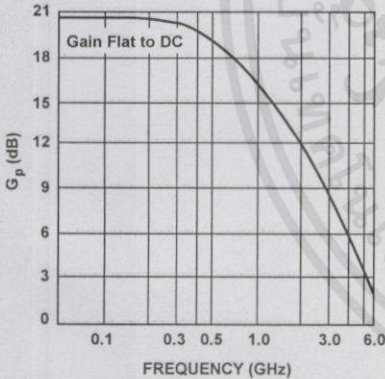


Figure 1. Typical Power Gain vs. Frequency, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $I_d = 16 \text{ mA}$.

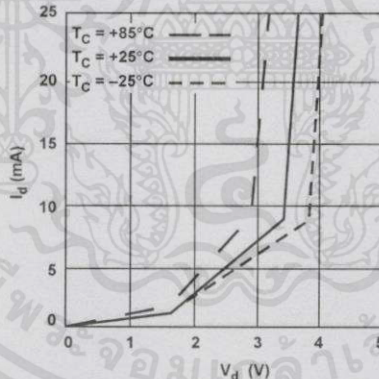


Figure 2. Device Current vs. Voltage.

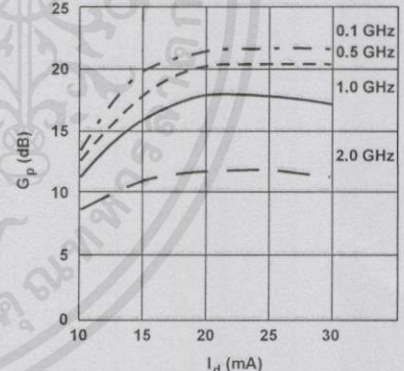


Figure 3. Power Gain vs. Current.

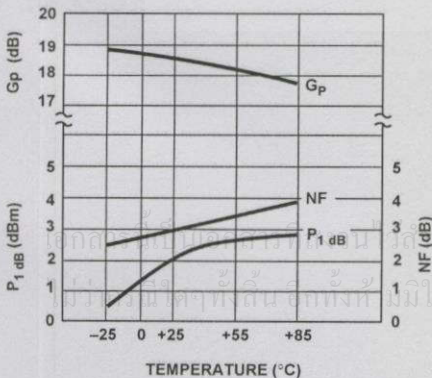


Figure 4. Output Power at 1 dB Gain Compression, NF and Power Gain vs. Case Temperature, $f = 0.5 \text{ GHz}$, $I_d = 16 \text{ mA}$.

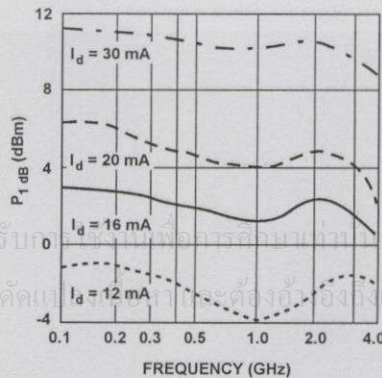


Figure 5. Output Power at 1 dB Gain Compression vs. Frequency.

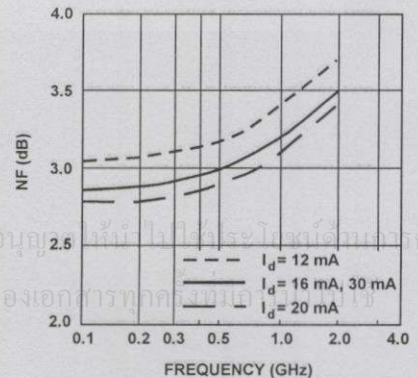
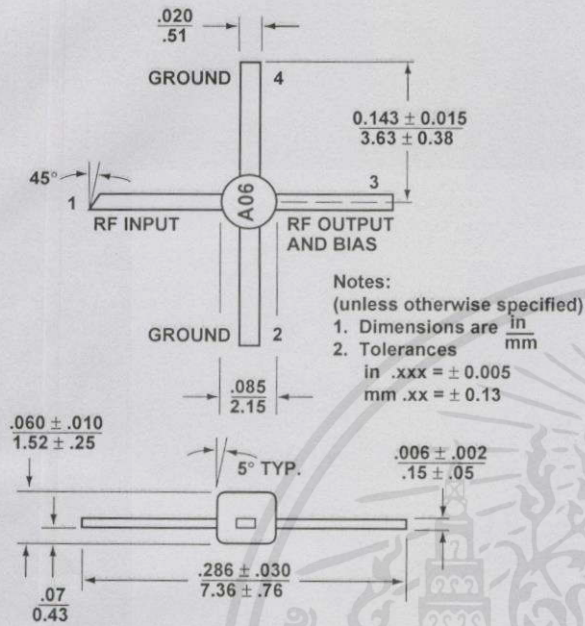


Figure 6. Noise Figure vs. Frequency.

85 Plastic Package Dimensions



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้