สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณในการทำโครงการวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญญบุรี ในการอนุเคราะห์การวัดผลของงานวิจัยนี้

อรลาภ แสงอรุณ ผู้วิจัย

RCH
ว 369 ส
2557

สาขหมู่.....
สาขทะเบียน.137736
รับ.เดือน.ปี 17 ก.ค. 2558

.b.12694848
.i.....

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) **สายอากาศติดผนังสำหรับรับสัญญาณทีวีในประเทศไทย**

ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ) **Wall Antenna for Receiving Television Signals in Thailand**

แหล่งเงิน เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์

ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 40,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 30 กันยายน 2557

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัดและ อีเมล์

หัวหน้าโครงการวิจัย รศ. อรลาภ แสงอรุณ
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อีเมล์: ksornlar@kmitl.ac.th

ผู้ร่วมโครงการวิจัย 1. รศ. นภพินท์ อนันตรศิริชัย
ข้าราชการบำนาญ
อีเมล์: a_nop@hotmail.com

2. ดร. ไพฑูรย์ รักเหลือ
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญญบุรี
อีเมล์: PAITOON_R@RMUTT.AC.TH

คำสำคัญ (Keywords) Wall Antenna, CPS Antenna, TV Antenna

บทคัดย่อ

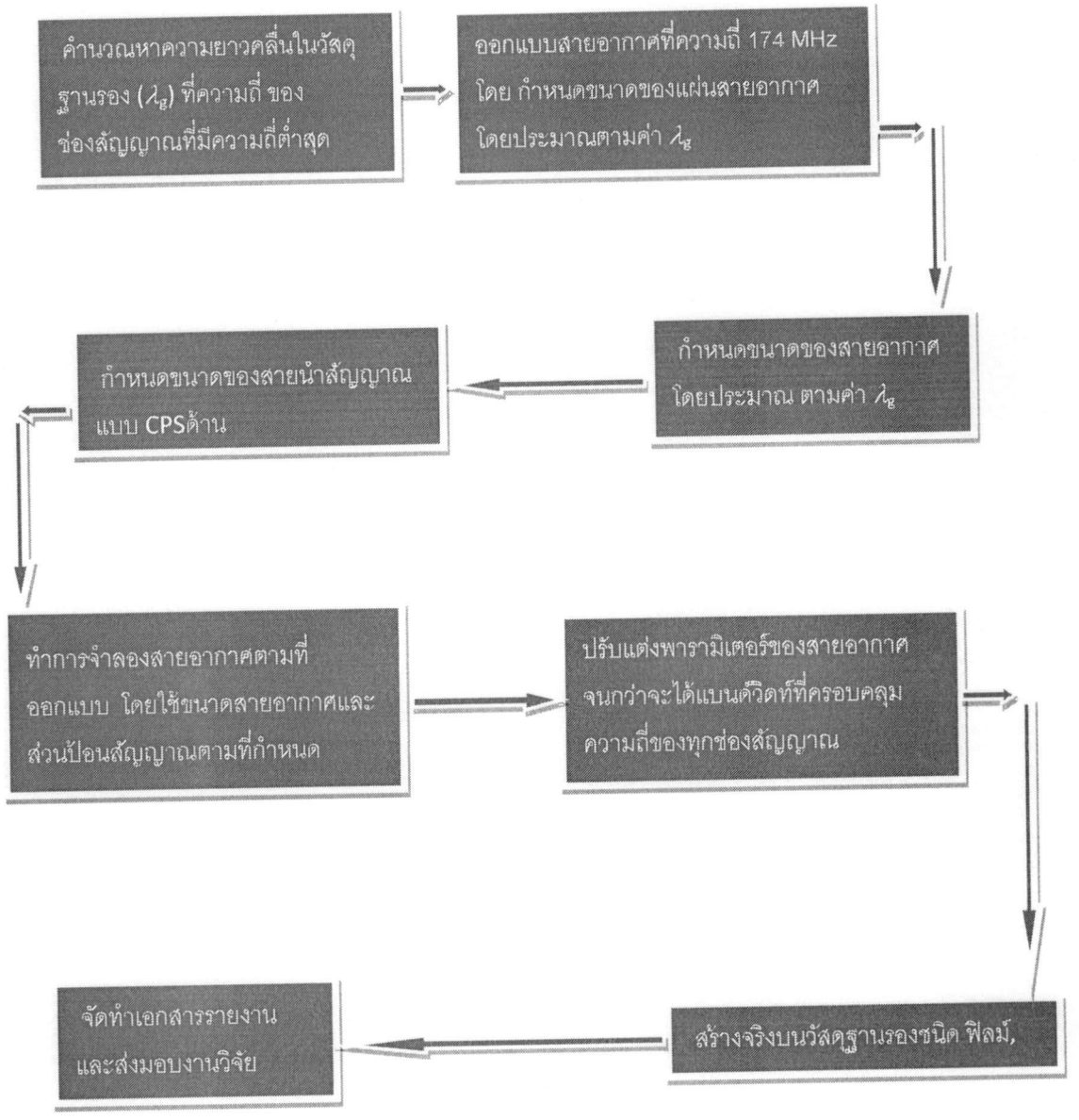
งานวิจัยนี้ เป็นการนำเสนอการออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศติดผนังสำหรับรับสัญญาณทีวีในประเทศไทย รูปร่างของสายอากาศที่ออกแบบเป็นแบบแผ่นตัวนำที่ป้อนสัญญาณด้วยเส้นตัวนำระนาบร่วม (Coplanar Stripline: CPS) โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้แบนด์วิดท์ที่ครอบคลุมมาตรฐานความถี่ของทีวีไทย 6 ช่องสัญญาณ คือ ช่อง 3 (ความถี่ 558-566 MHz) ช่อง 5 (ความถี่ 174-181 MHz) ช่อง 7 (ความถี่ 188-195 MHz) ช่อง 9 (ความถี่ 202-209 MHz) ช่อง 11 (ความถี่ 216-223 MHz) และไทยพีบีเอส (ความถี่ 534-540 MHz) โครงสร้างสายอากาศที่ออกแบบนี้ ประกอบด้วยแผ่นตัวนำที่มีการตัดเว้าเป็นรูปสามเหลี่ยมเพื่อให้เกิดแบนด์วิดธ์ครอบคลุมความถี่ของทุกช่องสัญญาณได้ โดยมีการจัดวางแผ่นตัวนำสายอากาศให้เหมาะสมบนวัสดุฐานรองที่เป็นเทคโนโลยีแผ่นฟิล์ม

Abstract

This research is presented the design and analysis of wall antenna for receiving the TV signal in Thailand. The geometry of our design antenna is the conductor sheet fed by coplanar stripline (CPS). The design objective is the bandwidth covering standard frequency of the six TV channels in Thailand. That are channel 3 (558 MHz-566 MHz), channel 5 (174 MHz-181 MHz), channel 7 (188 MHz-195 MHz), channel 9 (202 MHz-209 MHz), channel 11 (216 MHz-223 MHz) and Thai PBS (534 MHz-540 MHz). The structure of this antenna consists of the conductor sheet which is cut as triangular shape to achieve the bandwidth covering all frequencies of the six TV channels. The conductor sheet antenna is designed on the suitable substrate which is the film technology.

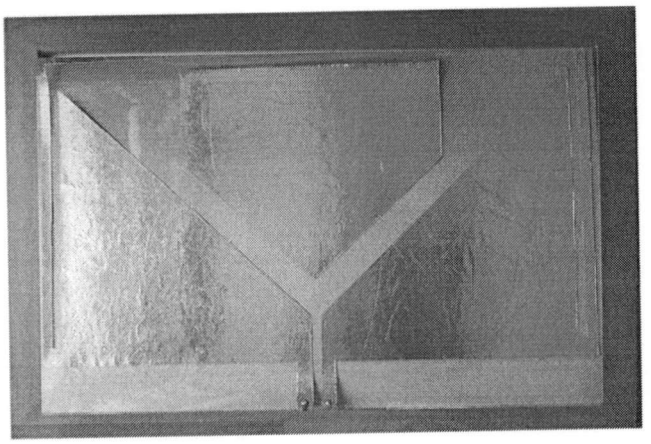
ผลการสร้างสายอากาศ

ขั้นตอนในการทำงานของโครงงานวิจัย สายอากาศติดผนังสำหรับรับสัญญาณทีวีในประเทศไทย ซึ่งมี 6 ช่องสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. ผังแสดงขั้นตอนการออกแบบสายอากาศ

ผลการจำลองสายอากาศที่ได้ออกแบบ ถูกนำไปสร้างจริงบนวัสดุฐานรองชนิดฟิลม์ ซึ่งเป็นวัสดุฐานรองที่มีราคาถูก คุณภาพปานกลาง ผลสุดท้ายจะได้เป็นสายอากาศติดผนังที่มีแบนด์วิดท์กว้างพอประมาณรองรับทุกมาตรฐานความถี่ของ 6 ช่องสัญญาณ รูปร่างสายอากาศติดผนังที่ได้ผลการวัดการสูญเสียย้อนกลับเปรียบเทียบกับผลการจำลอง แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2. สายอากาศติดผนังที่สร้างบนแผ่นฟิลม์

สารบัญ

	หน้า
กิติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อไทย	II
บทคัดย่ออังกฤษ	III
ผลการสร้างสายอากาศ	IV
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 โครงการวิจัยสายอากาศ	1
1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย	2
1.6 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
1.7 คุณสมบัติ และ รายละเอียดของชิ้นงานในโครงการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง: ทฤษฎีพื้นฐานสายอากาศ	5
2.1 บทนำ	5
2.2 คุณลักษณะและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ	5
2.2.1 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio)	6
2.2.2 การสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)	6
2.2.3 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency)	6
2.2.4 สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)	7
2.2.5 อัตราขยายของสายอากาศ (Gain)	7
2.2.6 อิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input Impedance)	8
2.2.7 แบนด์วิดธ์ (Bandwidth)	9
2.3 โครงสร้างสายนำสัญญาณแบบเส้นตัวนำระนาบร่วม	9
2.3.1 เส้นตัวนำระนาบร่วมบนวัสดุฐานรอง (Coplanar Stripline on Substrate)	9
2.4 การจำลองแบบสายอากาศด้วยโปรแกรม IE3D	10
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างสายอากาศติดผนังสำหรับรับสัญญาณทีวีในประเทศไทย	11
3.1 หลักการออกแบบสายอากาศ	11
3.2 การเลือกวัสดุที่ใช้ทำสายอากาศ	11
3.3 โครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่น	11
3.4 การออกแบบสายอากาศ	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ผลการสร้างสายอากาศติดผนัง	13
สรุปผลการวิจัย	14
เอกสารอ้างอิง	15

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 พารามิเตอร์ทางขนาดของสายอากาศแผ่นตัวนำที่ป้อนด้วย CPS	12

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ผังแสดงขั้นตอนการออกแบบ	3
1.2 ขนาดของสายอากาศ	4
2.1 โครงสร้างของ CPS บนวัสดุฐานรองที่เป็นฉนวน	9
2.2 กราฟของ CPS บนวัสดุฐานรองที่เป็นฉนวน	12
3.1 โครงสร้างสายอากาศแบบแผ่นตัวนำที่ป้อนสัญญาณด้วย CPS	12
3.2 รูปร่างสายอากาศแบบแผ่นตัวนำที่ป้อนสัญญาณด้วย CPS	12
3.3 ผลการจำลอง S_{11} ของสายอากาศติดผนังรับสัญญาณทีวี	13
3.4 สายอากาศติดผนังแบบแผ่นตัวนำป้อนด้วย CPS ที่สร้างบนแผ่นฟิลม์	13
3.5 สายอากาศติดผนังในรูปแบบสมบูรณ์	14

บทที่ 1
โครงการวิจัยสายอากาศ
สายอากาศติดผนังสำหรับรับสัญญาณทีวีในประเทศไทย
Wall Antenna for Receiving Television Signals in Thailand

1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

สายอากาศเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในรับและส่งคลื่นสัญญาณผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศ สำหรับการส่งสัญญาณทีวีจะมีสามรูปแบบ คือ ส่งผ่านสายนำสัญญาณหรือเรียกว่าเคเบิลทีวี ส่งผ่านอากาศโดยใช้สายอากาศเป็นตัวรับสัญญาณ และส่งอากาศโดยใช้จานดาวเทียมรับสัญญาณ โดยทั่วไปการรับสัญญาณทีวีจะนิยมติดตั้งสายอากาศภายนอกอาคารซึ่งจะมีขนาดใหญ่และต้องแข็งแรงทนทานต่อสภาพแวดล้อม การติดตั้งจึงต้องเลือกใช้พื้นที่ที่ไม่มีสิ่งกีดขวางทางเดินคลื่นและต้องให้เกิดการสะท้อนของสัญญาณที่เกิดจากสิ่งกีดขวางบริเวณใกล้เคียง เช่น ตึก ต้นไม้ เป็นต้น แต่ผู้ใช้อาจเลือกติดตั้งสายอากาศภายในอาคารแทนได้ ซึ่งมักเป็นสายอากาศแบบหนวดแมวที่มีความบอบบางสูง และสถานที่ตั้งสายอากาศมักเป็นตัวส่วนบนของเครื่องรับทีวี ถ้าเป็นเครื่องรับทีวีรุ่นใหม่ที่มีขนาดบางก็จะหาที่ตั้งสายอากาศได้ยาก ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดที่จะสร้างสายอากาศทีวีติดผนังที่ติดตั้งอยู่ภายในกรอบภาพโดยมีภาพเป็นตัวปิดบังสายอากาศ และแขวนภาพที่มีสายอากาศนี้ไว้บนผนังห้อง ทำให้เพิ่มความสวยงามและไม่ทำให้เกะกะสายตา

ดังนั้นในงานวิจัยที่จะจัดทำนี้ จึงมีแนวคิดในการวิเคราะห์ออกแบบและสร้างสายอากาศทีวีติดผนังที่มีรูปแบบง่ายไม่ซับซ้อน มีน้ำหนักเบา ที่สามารถรองรับการใช้งานได้ 6 ช่องสัญญาณในระบบอะนาล็อกตามที่ต้องการ โครงสร้างสายอากาศที่ออกแบบ ประกอบด้วยแผ่นตัวนำที่มีการตัดเว้าเป็นรูปสามเหลี่ยมเพื่อให้เกิดแบนด์วิดธ์ครอบคลุมความถี่ของทุกช่องสัญญาณได้ โดยมีการจัดวางแผ่นตัวนำสายอากาศให้เหมาะสมบนวัสดุฐานรองที่เป็นเทคโนโลยีแผ่นฟิล์ม ในการจัดวางสายอากาศที่ทำหน้าที่ในการแพร่กระจายคลื่นนี้ จะต้องศึกษาถึงวิธีการออกแบบสายอากาศเพื่อรองรับคลื่นความถี่ของ 6 ช่องสัญญาณทีวี เนื่องจากสายอากาศมีหลายแบบหลายรูปร่าง แต่ละชนิดมีข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบแตกต่างกันไป การพิจารณาเลือกสายอากาศชนิดใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและประเภทของงานที่ต้องใช้สายอากาศ ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศก็มีหลากหลายแบบ มีทั้งแบบสายอากาศที่วางลอยอยู่ในอากาศ หรือวางอยู่บนวัสดุฐานรอง แต่ส่วนใหญ่สายอากาศสำหรับรับสัญญาณทีวีจะออกแบบให้วางลอยอยู่ในอากาศและอยู่นอกอาคาร หรือถ้าวางอยู่ภายในอาคารก็จะเป็นสายอากาศที่เรียกว่า สายอากาศหนวดแมว เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างสายอากาศบนวัสดุฐานรองชนิดฟิลม์ ที่สามารถใช้งานได้หลายความถี่หรือหลายย่านการใช้งาน ซึ่งจะเป็นการช่วยให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน การป้อนสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณที่อยู่ภายในสายอากาศจะมีหลายแบบ แต่ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้สายนำสัญญาณแบบเส้นตัวนำระนาบคู่ (coplanar striplines: CPS) เนื่องจากมีหลักในการออกแบบและวิธีการทำแมตช์อิมพีแดนซ์ (matching impedance) ที่ง่ายไม่ซับซ้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างสายอากาศติดผนังแบบเส้นตัวนำระนาบร่วม ที่มีแบนด์วิดท์ครอบคลุมความถี่มาตรฐานใช้งานของช่องสัญญาณทีวีในในประเทศไทย ในระบบอะนาล็อก คือ ช่อง 3 (ความถี่ 558-

566 MHz) ช่อง 5 (ความถี่ 174-181 MHz) ช่อง 7 (ความถี่ 188-195 MHz) ช่อง 9 (ความถี่ 202-209 MHz) ช่อง 11 (ความถี่ 216-223 MHz) และไทยพีบีเอส (ความถี่ 534-540 MHz)

2. การออกแบบสายอากาศ จะใช้วิธีการควบคุมแผ่นตัวนำที่ทำหน้าที่ในการแพร่กระจายคลื่นเพื่อให้ได้แบนด์วิดท์ที่กว้างเพียงพอต่อการรับสัญญาณทีวีทั้งหกช่องสัญญาณ และจะทำการปรับพารามิเตอร์ของสายอากาศเพื่อให้เกิดการสูญเสียที่น้อยที่สุด
3. เป็นการนำวัสดุฐานรองชนิดฟิลม์มาใช้ เพื่อลดความหนาของสายอากาศให้เป็นแผ่นบาง ทำให้สายอากาศมีน้ำหนักเบาและติดตั้งอยู่ภายในกรอบภาพได้ง่าย
4. เพื่อสามารถนำสายอากาศไปใช้งานรับสัญญาณทีวีได้จริงทั้ง 6 ช่องสัญญาณ
5. เพื่อแสดงแนวคิดในการทำวิจัยที่ใช้รูปร่างสายอากาศที่ยังไม่เคยมีในงานวิจัยอื่นมาก่อน
6. เพื่อนำสายอากาศที่สร้างไปเผยแพร่ให้เกิดประโยชน์และให้ใช้งานได้ภายในอาคาร นอกจากนี้อาจเป็นแนวทางในการนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. เป็นแนวทางในการศึกษาเทคนิคในการออกแบบเพื่อให้ได้แบนด์วิดท์ของสายอากาศครอบคลุมความถี่ของช่องสัญญาณทีวี
2. สามารถนำสายอากาศไปใช้งานรับคลื่นสัญญาณทีวีได้
3. เพื่อเผยแพร่แนวคิดในการทำวิจัย
4. ได้สายอากาศทีวีใช้ภายในอาคาร ที่อยู่ภายในกรอบภาพ เป็นการเพิ่มความสวยงามและใช้ตบแต่งภายในอาคารได้
5. สามารถนำผลการวิจัยนี้ไปสร้างจริง และนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ได้

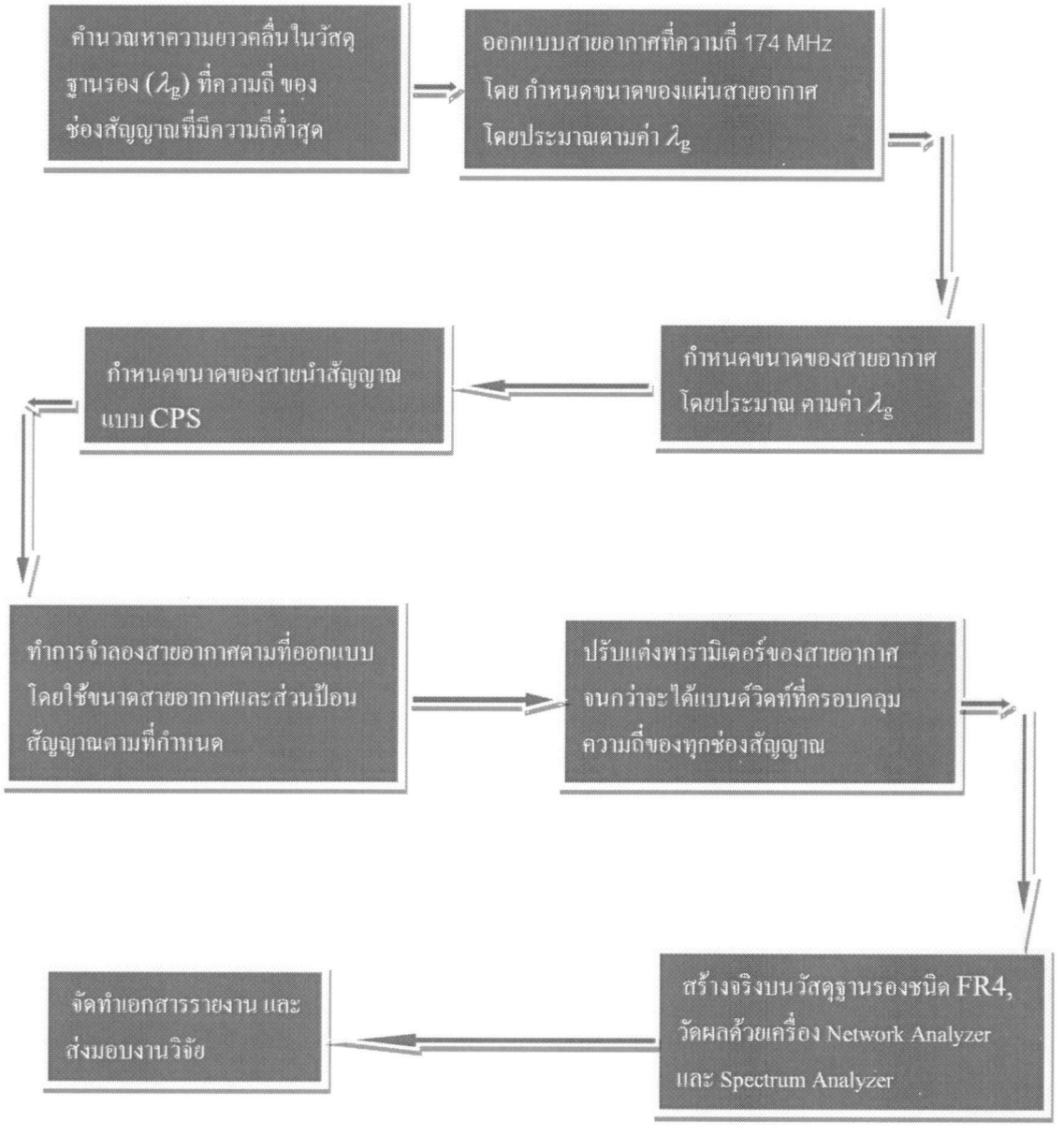
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างสายอากาศบนแผ่นฟิลม์ โดยใช้ตัวนำเป็นอลูมิเนียมฟรอย
2. สายอากาศที่สร้าง ต้องสามารถใช้ในการรับสัญญาณทีวีได้ 6 ช่องสัญญาณตามมาตรฐานความถี่
3. นำสายอากาศที่สร้างไปติดตั้งหลังรูปภาพติดบนผนัง โดยไม่เห็นสายอากาศที่อยู่หลังภาพ

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาและออกแบบสายอากาศแผ่นตัวนำ ซึ่งเป็นตัวแพร่กระจายและรับคลื่น
2. เลือกวัสดุฐานรอง ชนิดฟิลม์ ที่มีความหนา 0.3 มม ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (ε_r) = 3.2 และ loss tangent=0.0009
3. ทำการจำลองผลด้วยโปรแกรม IE3D Zeland [1] โดยเริ่มจากกำหนดขนาดของแผ่นตัวนำที่เป็นตัวแพร่กระจายคลื่นตามความถี่ที่ต่ำที่สุด และกำหนดความกว้างความยาวของส่วนนำสัญญาณที่เป็นแบบเส้นตัวนำคู่ จากนั้นทำการปรับพารามิเตอร์สายอากาศจนกว่าจะได้ผลตามความต้องการ
4. นำสายอากาศที่ได้ไปทำการสร้างจริง
5. จัดทำเอกสาร สรุปผลการวิเคราะห์และจำลองผล พร้อมทั้งการทดลองใช้งาน

การวิจัยจะใช้วิธีการจำลองผ่านโปรแกรมวิเคราะห์สายอากาศ โดยเริ่มวิเคราะห์ด้วยการออกแบบสายอากาศแบบแผ่น และทำการตัดตัวนำให้เป็นรูปร่างสามเหลี่ยมเว้า ผลการจำลองได้ขนาดสายอากาศคือ 57 ซม x 39 ซม การวิจัยเน้น การศึกษา วิเคราะห์ วัดผลและสรุปผล โดยมีรายละเอียดดังผังงาน**ตามรูปที่** 1.1



รูปที่ 1.1 ผังแสดงขั้นตอนการออกแบบสายอากาศ

1.6 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

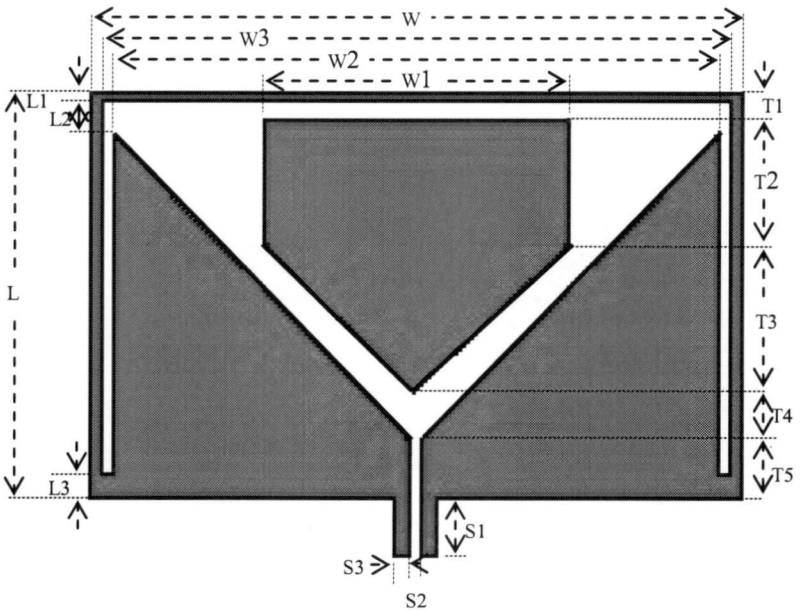
การออกแบบสายอากาศวงรอบช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมเพื่อให้ได้แบนด์วิดท์ที่กว้างมาก ๆ นี้ ได้ศึกษาและวิเคราะห์จากทฤษฎีสายอากาศ ซึ่งมีการอ้างอิงเกี่ยวกับหลักการพื้นฐานของสายอากาศไดโพล ซึ่งเป็นสายอากาศที่ใช้ในการรับสัญญาณทีวี และการออกแบบสายอากาศยากิ ซึ่งเป็นสายอากาศที่พัฒนา

มาจากสายอากาศไดโพล เอกสารดังกล่าวคือ Antenna Theory Analysis and Design (Constantine A. Balanis, *John Wiley & Sons*, Inc., 2005 [2], (*Antenna For All Application* 3^{nd} *edition*, Jhon D. Kraus , Ronald J. Marhefkam, McGraw-Hill, 2002) [3]

1.7 คุณสมบัติ และ รายละเอียดของชิ้นงานในโครงการวิจัย

สายอากาศที่ออกแบบ ประกอบด้วยคุณสมบัติและรายละเอียดเฉพาะทางเทคนิค ดังนี้

- ใช้วัสดุฐานรอง (substrate) ชนิดฟิลม์ที่มีความหนา 0.3 มม ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (ε_r) = 3.2 และ loss tangent=0.0009
- แผ่นสายอากาศมีขนาด 57 x 39 ตารางเซ็นติเมตร
- แผ่นตัวนำที่ใช้เป็นตัวแพร่กระจายคลื่น (หรือรับคลื่น) ถูกวางอยู่บนระนาบเดียวกับสายนำสัญญาณ ขนาดของแผ่นตัวนำและส่วนต่าง ๆ ของสายอากาศมีขนาดตามรูปที่ 1.2
- สายนำสัญญาณแบบเส้นตัวนำระนาบร่วม มีช่องว่างระหว่างตัวนำคู่กว้าง 10 มม ความกว้างเส้นตัวนำ 15 มม และยาว 40 มม โดยถูกออกแบบให้อยู่บนระนาบเดียวกับระนาบสายอากาศ
- กรรมวิธีการผลิต ใช้วิธีการกัดเซาะให้เป็นรูปเว้นแบบสามเหลี่ยม
- วิธีการจัดวางสายอากาศแผ่นตัวนำ เริ่มจากการกำหนดขนาดของเส้นตัวนำระนาบร่วม และกำหนดขนาดของสายอากาศตามความถี่ของช่องสัญญาณที่ต่ำที่สุด
- ใช้โปรแกรม IE3D ซึ่งเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญญบุรี มาช่วยในการจำลองผล ซึ่งผลการจำลองที่ได้จะแสดงอยู่ในเอกสารแนบ



รูปที่ 1.2 ขนาดของสายอากาศ

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
ทฤษฎีพื้นฐานสายอากาศ

2.1 บทนำ

สัญญาณทีวีสามารถส่งไปยังเครื่องรับได้ด้วยการส่งผ่านไปในตัวกลางซึ่งมีสองแบบ คือ ตัวกลางที่เป็นอากาศ และตัวกลางที่เป็นสายสัญญาณที่เรียกว่า เคเบิลทีวี สำหรับการส่งผ่านอากาศออกไปนั้นจะต้องใช้สายอากาศหรือจานดาวเทียมช่วยในการกระจายสัญญาณออกไปในอากาศ โดยมีการรวมสัญญาณภาพและเสียงซึ่งมีความถี่ต่ำเข้ากับคลื่นพา (carrier frequency) ที่มีความถี่สูง ดังนั้นในแต่ละช่องสัญญาณก็จะมีความถี่ของคลื่นพาที่แตกต่างกัน สำหรับช่องสัญญาณในการส่งทีวีในประเทศไทยในระบบสัญญาณอะนาล็อก (Analog Signal) ที่มีการกระจายสัญญาณแบบเปิด ทำให้ผู้รับชมทีวีสามารถรับสัญญาณได้อิสระไม่มีค่าใช้จ่ายจะมีทั้งหมด 6 ช่องสัญญาณ หรือก็คือ 6 ช่องทีวี การรับสัญญาณสามารถทำได้ด้วยการใช้สายอากาศที่ทำจากตัวนำในรูปแบบต่าง ๆ ทำหน้าที่ดักสัญญาณที่กระจายอยู่ในอากาศและนำเข้าสู่เครื่องรับผ่านสายนำสัญญาณชนิด 75 โอห์ม สายอากาศที่ใช้มีทั้งติดตั้งภายนอกอาคารและภายในอาคาร สายอากาศที่ใช้ภายนอกอาคารที่นิยมใช้ คือ สายอากาศแบบยากิ (Yagi Antenna) ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ดักสัญญาณที่เรียกว่า ไดเรคเตอร์ (Director Elements) และส่วนที่ใช้ในการสกัดกั้นสัญญาณซึ่งอยู่หลังสายอากาศให้ละท้อนย้อนกลับไปยังส่วนที่เป็นสายอากาศ เรียกว่า รีเฟคเตอร์ (Reflector Element) สำหรับสายอากาศที่ติดตั้งภายในอาคาร จะเป็นแบบก้านตัวนำสองก้านที่เรียกกันว่า สายอากาศแบบหนวดแมว สายอากาศชนิดนี้จะนิยมวางอยู่บนหลังทีวีทำให้เกะกะไม่สะดวกต่อการใช้งาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบสายอากาศสำหรับใช้ภายในอาคารที่ทำจากวัสดุเบา ต้นทุนต่ำ ให้ความสะดวกในการติดตั้ง คือการสร้างสายอากาศที่สามารถติดผนังได้เสมือนเป็นภาพติดผนังทั่วไป

สายอากาศที่ออกแบบจะใช้หลักการของสายอากาศแบบไมโครสตริปซึ่งเป็นสายอากาศที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในย่านความถี่ไมโครเวฟ เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นบางประการ คือ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และต้นทุนต่ำ แต่สายอากาศไมโครสตริปมักจะใช้วัสดุฐานรองที่แข็งและมีความหนา เช่น วัสดุฐานรองชนิด RT/Duroid, และชนิด FR4 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เปลี่ยนวัสดุฐานรองเป็นชนิดฟิลม์ซึ่งบางกว่ามาก การวิจัยและพัฒนารูปแบบของสายอากาศก็ยังคงแบบของสายอากาศไมโครสตริป สายอากาศไมโครสตริปมีหลายแบบ [2]-[3] คือแบบแผ่นที่ป้อนสัญญาณด้วยไมโครสตริปไลน์ แบบช่องเปิดที่ป้อนสัญญาณด้วยไมโครสตริปไลน์หรือป้อนสัญญาณด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วม แบบวงรอบที่ป้อนสัญญาณด้วยไมโครสตริปไลน์หรือป้อนสัญญาณด้วยท่อนำคลื่นระนาบร่วม นอกจากนี้สายอากาศเหล่านี้อาจมีการออกแบบให้มีรูปร่างต่าง ๆ กันได้ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้รูปแบบแผ่นที่ป้อนสัญญาณด้วยเส้นตัวนำระนาบร่วม (Coplanar Stripline: CPS) เป็นต้นแบบในการนำไปศึกษาและพัฒนาให้มีแบนด์วิดท์ที่กว้าง ด้วยการตัดเว้าและเพิ่มชิ้นส่วนตัวนำไว้ภายในส่วนที่เป็นช่องว่างของสายอากาศ และทำการปรับพารามิเตอร์สายอากาศจนกว่าจะมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์กับสายส่งสัญญาณแบบโคแอคเชียล 75 โอห์ม

2.2 คุณลักษณะและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ

สายอากาศชนิดต่าง ๆ ที่มีการใช้งานอยู่ทั่วไปมีคุณลักษณะและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องพิจารณาประกอบการประเมินประสิทธิภาพของสายอากาศเพื่อช่วยในการตัดสินใจและประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับงานต่าง ๆ มากมาย โดยมีส่วนสำคัญ ดังนี้

2.2.1 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio)

อัตราส่วนระหว่างแรงดันค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในคลื่นนิ่งเรียกว่า อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR) ดังสมการที่ (2.1)

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \tag{2.1}$$

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_L - Z_O}{Z_L + Z_O} \tag{2.2}$$

Γ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดัน (Voltage reflection coefficients)

สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดัน ยังสามารถหาได้จากอัตราส่วนผลต่างและผลรวมระหว่างโหลดกับอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ ดังสมการที่ (2.2)

V_r แรงดันสะท้อนกลับ

V_i แรงดันตกกระทบ

Z_L โหลดอิมพีแดนซ์

Z_O อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ

ในกรณีที่ต่อไว้ด้วยแมตชิ่งโหลดนั้นค่า VSWR จะเป็น 1 ซึ่งจัดว่าเป็นค่าที่ดีที่สุด

2.2.2 การสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

การสูญเสียเนื่องย้อนกลับของสายอากาศแสดงค่ากำลังที่สูญเสียที่โหลด เมื่ออิมพีแดนซ์ของสายส่งและสายอากาศไม่แมตช์กัน การสูญเสียย้อนกลับมีความสัมพันธ์กับ VSWR ซึ่งเป็นการแสดงการแมตช์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายส่งกับสายอากาศตามสมการ โดยการสูญเสียย้อนกลับสามารถหาได้จากสมการที่ (2.3)

$$S_{11} = -20\log_{10}|\Gamma| \quad \text{(dB)} \tag{2.3}$$

สำหรับการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่สมบูรณ์ระหว่างสายส่งและสายอากาศ เมื่อ $\Gamma = 0$ ค่าความสูญเสียย้อนกลับเป็นอนันต์ แสดงว่าไม่มีกำลังงานสะท้อนกลับ ในทำนองเดียวกันเมื่อ $\Gamma = 1$ ค่าความสูญเสียย้อนกลับจะเป็น 0 dB ซึ่งแสดงว่ากำลังงานสะท้อนกลับหมด

2.2.3 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency)

ประสิทธิภาพของสายอากาศเป็นพารามิเตอร์ที่รวมประสิทธิภาพการสูญเสียที่สายอากาศและในโครงสร้างของสายอากาศ การสูญเสียต่าง ๆ หาได้จาก

- การสะท้อนกลับเนื่องจากการไม่แมตช์กันระหว่างสายส่งกับสายอากาศ
- การสูญเสียจากตัวนำและฉนวน

ประสิทธิภาพรวมของสายอากาศสามารถเขียนเป็นสมการที่ (2.4)

$$e_t = e_r e_c e_d \tag{2.4}$$

e_t ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ

$e_r = \left(1-|\Gamma^2|\right)$ ประสิทธิภาพการสะท้อนกลับเนื่องจากการไม่แมตช์กัน

e_c ประสิทธิภาพของตัวนำ

e_d ประสิทธิภาพของฉนวน (dielectric)

โดยทั่วไป e_c และ e_d จะรวมเป็นตัวเดียวกันตามสมการที่ (2.5)

$$e_{cd} = e_c e_d = \frac{R_r}{R_r + R_L} \tag{2.5}$$

R_r ความต้านทานจากการแผ่พลังงานคลื่นออกไป

R_L ความต้านทานที่โหลด

2.2.4 สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

ไดเรคติวิตีเป็นการบอกความสามารถเชิงทิศทางของสายอากาศ เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มของการแผ่พลังงานในทิศทางที่สนใจกับความเข้มของการแผ่พลังงานโดยเฉลี่ย เมื่อมีการแผ่พลังงานออกไปรอบทิศทางอย่างเท่าเทียมกัน โดยไม่คิดกำลังงานส่วนที่สูญเสียไปดังสมการที่ (2.6) และสมการที่ (2.7)

$$D = \frac{U}{U_i} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \tag{2.6}$$

D คือ สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ

U คือ ความเข้มของการแผ่กำลังงาน

U_i คือ ความเข้มของการแผ่กำลังงานเฉลี่ย

P_{rad} คือ กำลังงานที่สายอากาศแผ่ออกไป

โดยทั่วไปถ้าไม่กำหนดทิศทางใช้สภาพเจาะจงทิศทางในทิศที่สายอากาศแผ่พลังงานได้ดีที่สุด

$$D_0 = \frac{U_{\max}}{U_i} = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{rad}} \tag{2.7}$$

2.2.5 อัตราขยายของสายอากาศ (Gain)

อัตราขยายของสายอากาศเป็นความสัมพันธ์ที่ได้จากไดเรคติวิตี โดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วย ในขณะที่ไดเรคติวิตีแสดงคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้นการคิดอัตราขยายของสายอากาศ วัดเทียบกับสายอากาศอ้างอิง โดยอัตราขยายของสายอากาศส่ง คือกำลังสองของอัตราส่วนระหว่างความเข้มสนามตามทิศที่มีการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุดเมื่อเทียบกับความเข้มสนามที่จุดเดียวกันของสายอากาศอ้างอิง หรือแสดงในรูปของอัตราส่วนของค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการส่งของสายอากาศทั้งสอง เพื่อให้เกิดความเข้มสนามขนาดเท่ากัน (ณ จุดเดียวกัน) ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุด หรืออัตราขยายของสายอากาศรับ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มการแผ่พลังงานของสายอากาศทดสอบกับสายอากาศอ้างอิง ณ จุดตั้งสายอากาศที่เดียวกัน

การใช้สายอากาศอ้างอิงมักเป็นแบบไดโพลขนาด $\lambda/2$ หรือแบบไอโซโทรปิค (Isotropic) ซึ่งมีลักษณะพิเศษ คือ กระจายคลื่นได้รอบตัวทุกทิศในปริมาณที่เท่ากัน

อัตราขยายกำลัง (Power Gain) ของสายอากาศ ในทิศทางที่กำหนดให้นั้นมีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้น ต่อ (หาร) กำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่งเมื่อไม่กำหนดทิศทางไว้ โดยทั่วไปคิดอัตราขยายกำลังในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุดตามสมการที่ (2.8)

$$Gain = \frac{4\pi U(\theta,\phi)}{Pin} \tag{2.8}$$

โดยทั่วไปอัตราขยายสัมพัทธ์ เป็นอัตราส่วนของอัตราขยายกำลังในทิศทางที่กำหนดให้ต่ออัตราขยายกำลังของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น โดยกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศทั้งสองนั้นต้องเท่ากัน สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบเป็นสายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร หรือสายอากาศอื่น ๆ ซึ่งคำนวณอัตราขยายได้ง่ายหรือรู้ค่าอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตามโดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบเป็นไอโซโทรปิคพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้นจึงได้เป็นสมการที่ (2.9)

$$G_g = \frac{4\pi U(\theta,\phi)}{P_{in}} \tag{2.9}$$

เมื่อ P_{in} คือ กำลังงานที่ป้อนให้กับไอโซโทรปิคพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย

กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด (P_{rad}) สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ (P_{in}) ดังสมการที่ (2.10)

$$P_{rad} = e_t P_{in} \tag{2.10}$$

เมื่อ e_t คือประสิทธิผลรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) ทำให้สมการที่ (2.9) และ (2.10) มีความสัมพันธ์กันตามสมการที่ (2.11)

$$G_g(\theta,\phi) = \frac{\left[4\pi U(\theta,\phi)\right]}{P_{rad}} \tag{2.11}$$

และมีความสัมพันธ์กับอัตราขยายไดเรคทีฟ ตามสมการที่ (2.12)

$$G_g(\theta,\phi) = e_t D_g(\theta,\phi) \tag{2.12}$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าสูงสุดของอัตราขยายจะสัมพันธ์กับไดเรคติวิตี ดังสมการที่ (2.13)

$$\begin{aligned} G_0 &= G_g(\theta,\phi)\big|_{\max} \\ &= e_t D_g(\theta,\phi)\big|_{\max} \\ &= e_t D_0 \end{aligned} \tag{2.13}$$

ในทางปฏิบัติ เมื่อกล่าวถึงอัตราขยายหมายถึงอัตราขยายกำลังที่มีค่าสูงสุด แสดงดังสมการที่ (2.14)

$$G_0(dB) = 10\log_{10}\left[e_t D_0\right] \tag{2.14}$$

2.2.6 อิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input Impedance)

พิจารณาสายอากาศเสมือนเป็นชิ้นส่วนหนึ่งในวงจรไฟฟ้า เมื่อต่อแหล่งกำเนิดสัญญาณเพื่อป้อนพลังงานให้กับสายอากาศ พลังงานจะไหลเข้าสู่สายอากาศทีละน้อยเนื่องจากมีการต้านการไหลของพลังงานที่เรียกว่าอิมพีแดนซ์หรือความต้านทานเชิงซ้อนเกิดขึ้น อิมพีแดนซ์ดังกล่าวจะปรากฏที่ขั้วของสายอากาศ เรียกว่าอิมพีแดนซ์ขาเข้า (Z_{in}) ดังสมการที่ (2.15)

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \tag{2.15}$$

X_{in} คือความต้านทานเชิงจินตภาพที่ทำให้เกิดการสะสมของพลังงานในบริเวณสนามใกล้สายอากาศโดยไม่แผ่กระจายออกไป และ R_{in} ประกอบด้วยสองส่วนคือ R_r หมายถึงความต้านทานพลังงานคลื่นที่แผ่ออกไปโดยสายอากาศ และ R_L หมายถึงความต้านทานที่โหลด ซึ่งรวมถึงความต้านทานจากการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากความร้อน สารไดอิเล็กตริก และตัวนำ

2.2.7 แบนด์วิดธ์ (Bandwidth)

แบนด์วิดธ์ของสายอากาศเป็นช่วงของความถี่ที่สามารถนำไปใช้งานได้ดี ซึ่งช่วงความถี่ถูกกำหนดโดย VSWR ≅ 2 หรือพิจารณาจากการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ที่ระดับ -10 dB ดังสมการที่ (2.16) และสมการที่ (2.17)

$$BW_{narrowband}(\%) = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100 \qquad (2.16)$$

$$BW_{broadband}(\%) = \frac{f_u}{f_l} \times 100 \qquad (2.17)$$

เมื่อ BW คือ แบนด์วิดธ์ของสายอากาศ

f_u คือ ขอบความถี่สูงของย่านความถี่

f_l คือ ขอบความถี่ต่ำของย่านความถี่

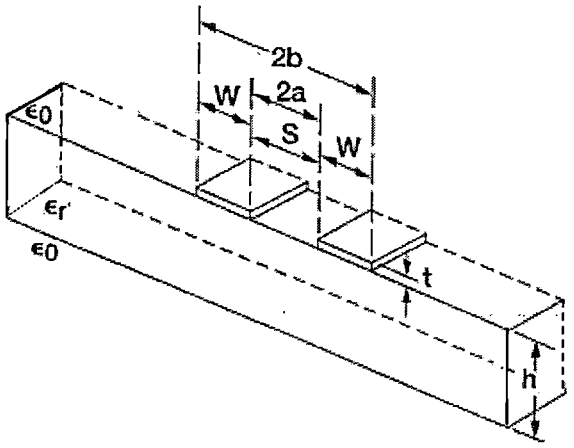
f_c คือ ความถี่กลางของย่านความถี่

2.3 โครงสร้างสายนำสัญญาณแบบเส้นตัวนำระนาบร่วม

สายนำสัญญาณแบบเส้นตัวนำระนาบ (CPS) ประกอบด้วยวัสดุฐานรองที่เป็นฉนวนที่มีเส้นตัวนำสองเส้นขนานกันที่ถูกคั่นด้วยช่องว่างแคบ วางอยู่บนระนาบบนส่วนระนาบล่างเป็นฉนวน โครงสร้างแบบนี้มีข้อดีคือ เส้นตัวนำทั้งสองเป็นเสมือน shunt ที่ติดตั้งเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้ CPS ยังเป็น balanced transmission line ด้วย นั่นคือการนำ CPS ไปใช้งานจึงเป็นการรวมเอา balanced เข้ากับการป้อนสัญญาณในสายอากาศไดโพลแบบแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Dipole Antennas)

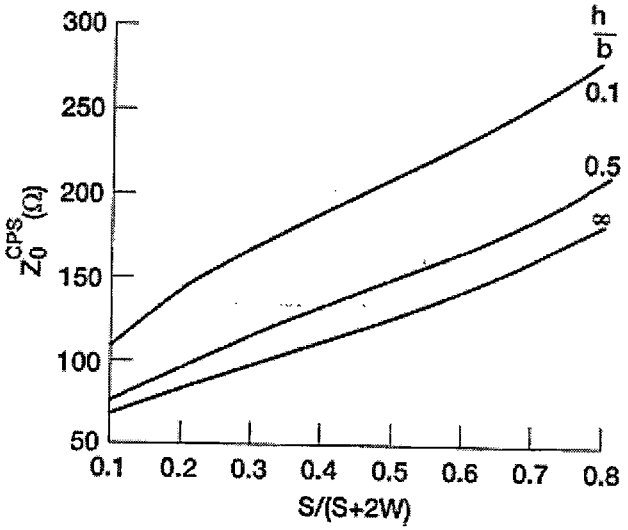
2.3.1 เส้นตัวนำระนาบร่วมบนวัสดุฐานรอง (Coplanar Stripline on Substrate)

เส้นตัวนำระนาบร่วม (CPS) บนวัสดุฐานรองที่เป็นฉนวนที่มีความหนาแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ CPS บนวัสดุฐานรองที่เป็นฉนวน

การหาความกว้างของเส้นตัวนำ (W) และระยะห่างระหว่างเส้นตัวนำทั้งสอง (S) สามารถหาได้ง่ายโดยใช้กราฟในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กราฟของ CPS บนวัสดุฐานรองที่เป็นฉนวน

การหาความกว้างของ W และระยะ S สามารถหาได้ด้วยฟังก์ชัน S/(S+2W) ซึ่ง h คือความหนาของวัสดุฐานรอง และ b = (2W+S)/2

2.4 การจำลองแบบสายอากาศด้วยโปรแกรม IE3D

สำหรับโปรแกรม IE3D มีวิวัฒนาการมาจากวิธีการ MPIE (Mixed-Potential Integral Equation) ซึ่งใช้วิเคราะห์โครงสร้างไมโครสตริปที่ไม่สม่ำเสมอ และสายอากาศหลากหลายรูปทรง โดยอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎี Roof-top Basis Function บนรูปทรงของสี่เหลี่ยม และสามเหลี่ยมที่ถูกนำมาประกอบกันเป็นสายอากาศ วิธีการนี้มีความแม่นยำ มีประสิทธิภาพและตอบสนองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รวมทั้งผลลัพธ์เชิงตัวเลขของการวัดที่ได้มีความถูกต้อง วิธีนี้ไม่เพียงแต่มีประสิทธิภาพในการคำนวณเท่านั้น แต่ช่วยในการตีความหมายสนามทางกายภาพกับรูปทรงทางกายภาพที่เหมือนกัน เพื่อให้รู้ว่ากระแสปฏิบัติตัวอย่างไรบนโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้ โดยเฉพาะกระแสที่ไหลบริเวณขอบเขตรอยต่อ อัลกอริทึมนี้ได้พัฒนาและเรียกว่า Pseudo-mesh หรือ P-mesh ซึ่งได้มาจากการประยุกต์ของวิธีโมเมนต์ คือ MIPE ที่ใช้สำหรับหาการกระจายของกระแสและประจุบนผิวของโครงสร้าง

บทที่ 3
การออกแบบและการสร้าง
สายอากาศติดผนังสำหรับรับสัญญาณทีวีในประเทศไทย

3.1 หลักการออกแบบสายอากาศ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอ สายอากาศแบบแผ่นที่ป้อนสัญญาณด้วยเส้นตัวนำระนาบร่วม (coplanar Stripline: CPS) ที่จัดวางอยู่บนระนาบเดียวกัน ส่วนระนาบตรงข้ามเป็นฉนวน เส้นตัวนำของส่วนป้อนสัญญาณ CPS ใช้สำหรับการป้อนสัญญาณบวกและสัญญาณลบ ส่วนตัวแพร่กระจายคลื่นจะเป็นแผ่นตัวนำที่มีการตัดเว้าในรูปแบบที่ทำให้ได้แบนด์วิดท์ที่ต้องการตามความถี่ของช่องสัญญาณทีวี ขนาดของแผ่นตัวนำที่ใช้ในการแพร่กระจายคลื่นจะกำหนดจากความถี่ของช่องสัญญาณที่ต่ำที่สุด สำหรับวัสดุฐานรองที่จะนำมาใช้จะเป็นแผ่นฟิลม์ที่มีตัวนำทำจากอลูมิเนียมฟรอยส์ (Aluminium Foil)

3.2 การเลือกวัสดุที่ใช้ทำสายอากาศ

เหตุผลในการเลือกใช้วัสดุที่ใช้ทำสายอากาศเป็นแบบฟิล์มนั้น ก็เนื่องจากต้องการคุณสมบัติในการโค้งงอได้ง่าย ดังนั้นวัสดุที่ควรเลือกนำมาใช้จะมีดังนี้

1) ใช้ทองแดงแผ่น มีข้อดีคือ ไม่ยับง่าย เป็นแผ่นราบ แต่มีราคาสูงและตัดยาก

2) ใช้อลูมิเนียมฟรอย (Aluminium foil) กรณีนี้จะมีราคาที่เหมาะสม แต่จะมีข้อเสียคือ ยับง่าย ซึ่งความต้านทานที่ความถี่สูงนั้นสามารถหาค่าความต้านทาน (R_{DC}) ได้จากความถี่ต่ำ

$$R_{DC} = \frac{\rho * L}{A}(\Omega) \tag{3.1}$$

เมื่อ

ρ คือความต้านทานจำเพาะของตัวนำ

L คือความยาวของตัวนำ

A คือพื้นที่หน้าตัดของตัวนำในกรณีที่เป็นท่อกลมคือ $\pi \cdot r^3$

แต่ที่มีความสูงขึ้นจนเกิดปรากฏการณ์ Skin Effect กระแสส่วนมากจะวิ่งที่พื้นผิวตัวนำดังนั้นค่าความต้านทาน (R_{rf}) หาได้จาก

$$R_{rf} = \frac{\rho L}{\pi \delta}(\Omega) \tag{3.2}$$

เมื่อ δ คือ (Skin depth) คือ บริเวณที่มีกระแสไหลมากที่สุด

ซึ่งจะเห็นได้ว่าอลูมิเนียมฟรอยส์ (มีความต้านทานใกล้เคียงกับอลูมิเนียม) มีความต้านทานต่างจากทองแดงน้อยมากและเมื่อเปรียบเทียบกับสัมประสิทธิ์แล้วจะเห็นได้ว่าแทบจะไม่แตกต่างกันเลย จึงสามารถใช้อลูมิเนียมฟรอยส์ในการสร้างสร้างสายอากาศที่มีลักษณะแบนราบได้

3.3 โครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่น

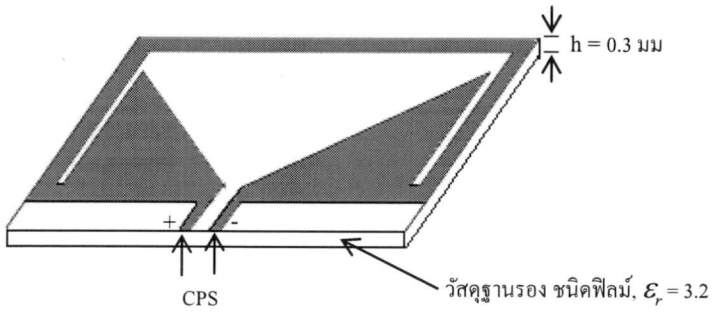
โครงสร้างสายอากาศแสดงในรูปที่ 3.1 สายอากาศแบบแผ่นและสายนำสัญญาณแบบเส้นตัวนำระนาบร่วม (CPS) จะอยู่บนระนาบเดียวกันของวัสดุฐานรองที่ทำด้วยแผ่นฟิลม์ และระนาบตรงข้ามเป็นระนาบฉนวน วัสดุฐานรองที่ใช้มีคุณสมบัติดังนี้

ค่าคงตัวไดอิเล็คตริก $\varepsilon_r = 3.2$

ความหนาวัสดุฐานรอง $h = 0.3mm.$

ความหนาของวัสดุตัวนำ $t = 0.017mm$

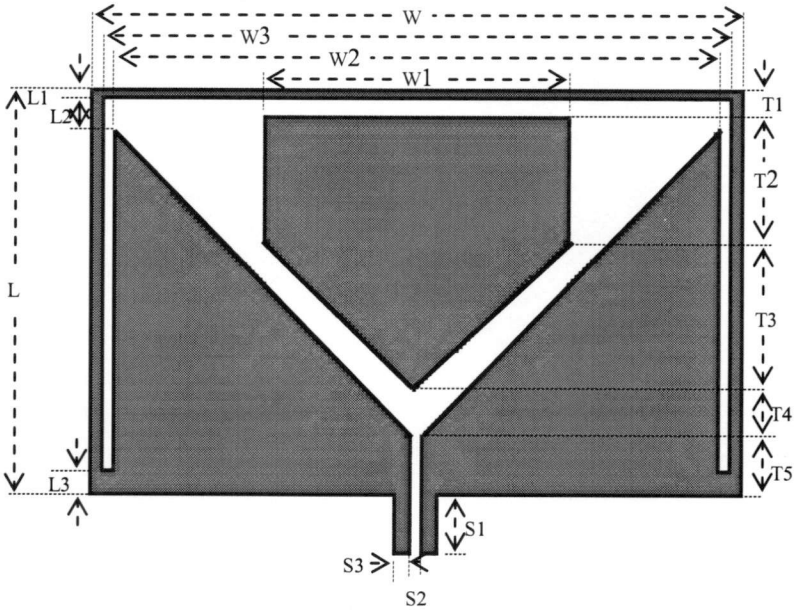
ค่าตัวประกอบการกระจาย $\tan\delta = 0.0009$



รูปที่ 3.1. โครงสร้างสายอากาศแบบแผ่นตัวนำที่ป้อนสัญญาณด้วย CPS

3.4 การออกแบบสายอากาศ

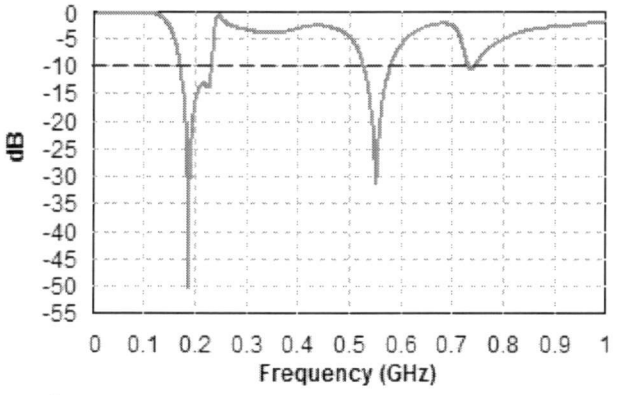
การเลือกขนาดของสายอากาศจะมีผลต่อช่วงความถี่ที่เป็นแบนด์วิดท์มาก ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องทดลองกำหนดขนาดของสายอากาศโดยประมาณและต้องทำให้ได้แบนด์วิดท์สองช่วงที่รองรับความถี่ของทั้ง UHF และ VHF จากผลการจำลองพบว่ารูปร่างสายอากาศเป็นรูปตัดเว้า ดังที่แสดงในรูปที่ 3.2 ขนาดของสายอากาศที่เหมาะสมแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งทั้งหมดนี้จะทำการจำลองผลและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม IE3D Zeland



รูปที่ 3.2 รูปร่างสายอากาศแบบแผ่นตัวนำที่ป้อนสัญญาณด้วย CPS

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ทางขนาดของสายอากาศแผ่นตัวนำที่ป้อนด้วย CPS

พารามิเตอร์	ขนาด (มม)	พารามิเตอร์	ขนาด (มม)	พารามิเตอร์	ขนาด (มม)	พารามิเตอร์	ขนาด (มม)
W	570	W3	550	T1	25	T5	50
L	390	L1	10	T2	105	S1	40
W1	270	L2	30	T3	130	S2	10
W2	530	L3	20	T4	40	S3	15

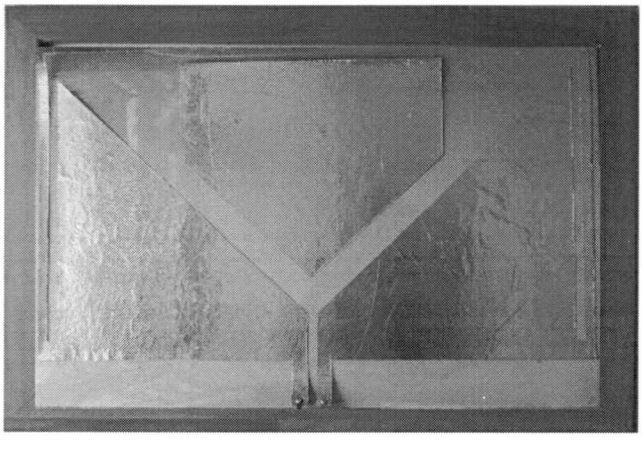


รูปที่ 3.3 ผลการจำลอง S_{11} ของสายอากาศติดผนังรับสัญญาณทีวี

จากผลการจำลองที่แสดงในรูปที่ 3.3 พบว่า สายอากาศติดผนังที่ออกแบบนี้มีแบนด์วิดท์แรกอยู่ระหว่างความถี่ 173 MHz – 233 MHz รองรับคลื่นสัญญาณของทีวีช่อง 5 (174-181 MHz) ช่อง 7 (188-195 MHz) ช่อง 9 (202-209 MHz) และช่อง 11 (216-223 MHz) ส่วนแบนด์วิดท์ที่สองอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 529 MHz – 580 MHz สามารถรองรับคลื่นสัญญาณของทีวีช่อง TPBS (534-542 MHz) และช่อง 3 (558-566 MHz) ดังนั้นสายอากาศที่ออกแบบนี้นจะสามารถนำไปใช้งานตามความต้องการได้

3.5 ผลการสร้างสายอากาศติดผนัง

สายอากาศติดผนังตามที่จำลองได้ด้วยโปรแกรม IE3D Zeland จะถูกนำไปสร้างจริงบนวัสดุฐานรองชนิด ฟิลม์ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 สายอากาศติดผนังแบบแผ่นตัวนำป้อนด้วย CPS ที่สร้างบนแผ่นฟิลม์

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เอกสารอ้างอิง

[1] IE3D User's Manual Release 9, Zeland software, Inc., U.S.A., 2002.

[2] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design", John Wiley & Sons, Inc., 2005.

[3] Jhon D. Kraus , Ronald J. Marhefkam, "Antenna For All Application 3^{nd} edition", McGraw-Hill, 2002.

137736