

การออกแบบและพัฒนาสายอากาศแบบไมโครสตริปสำหรับกล่องรับสัญญาณ
โทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต

อนิรุทธ์ กัลยา

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม
วิทยาลัยนวัตกรรมการ์และเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2562

Design and Development of Microstrip Antenna for Internet TV Set-Top-Box

Anirut Kanlaya

**A Thematic Paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering**

Department of Computer and Telecommunication Engineering

College of Innovative Technology and Engineering,

Dhurakij Pundit University

2019



ใบรับรองสารนิพนธ์

วิทยาลัยนวัตกรรมการด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อสารนิพนธ์ การออกแบบและพัฒนาสายอากาศแบบไมโครสตริปสำหรับกล่องรับสัญญาณ
โทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ต

เสนอโดย นายอนิรุทธ์ กัลยา

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ อาจารย์ ดร.ชนัญ จารุวิทย์โกวิท

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์แล้ว

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ถัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

(อาจารย์ ดร.ชนัญ จารุวิทย์โกวิท)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาคะพันธ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มัทธมิกา อ่องแดง)

วิทยาลัยนวัตกรรมการด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์รับรองแล้ว

.....คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมการด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กิรติพรานนท์)

วันที่ 13 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2562

หัวข้อสารนิพนธ์	การออกแบบและพัฒนาสายอากาศแบบไมโครสตริปสำหรับกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต
ชื่อผู้เขียน	อนิรุทธ์ กัลยา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ธนัญ จารุวิทย์โกวิท
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

การใช้งานโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตในปัจจุบันมีแนวโน้มมากขึ้น อันเนื่องมาจากความหลากหลายของบริการ เช่น สามารถรับได้หลายช่องทาง รับชมย้อนหลังได้ มีบริการวิดีโอออนดีมานด์ และอื่นๆ แต่บางครั้งผู้ชมมักจะประสบปัญหาการรับชมที่ไม่ต่อเนื่องหรือปัญหาการหมุนโหลด เมื่อรับชมผ่านกล่องรับสัญญาณหรือ Set-top-Box (STB) และเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วยเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สายหรือ Wireless LAN ซึ่งปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหานี้คือการเชื่อมต่อที่ไม่เสถียรเมื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วย Wireless LAN ที่มีระยะห่างมากขึ้น อันเนื่องมาจากคุณภาพของสายอากาศที่ติดมากับกล่องรับสัญญาณ มีประสิทธิภาพไม่ดีพอมีเนื่องจากอัตราการขยายที่ต่ำ

การออกแบบและพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz เพื่อปรับปรุงคุณภาพการรับชมที่มักเกิดปัญหาการหมุนโหลด (Loading issue) จากสายอากาศเดิมที่ติดมากับกล่อง STB โทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต หรือ IPTV ยี่ห้อ Geniatech รุ่น MPA 108 ซึ่งผู้ชมมักพบปัญหาหมุนโหลด Buffer บ่อยครั้ง เมื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วย Wireless LAN (WiFi) และมีระยะห่างจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สาย หรือ Access point มีระยะห่างประมาณ 4 เมตรขึ้นไป จนถึง 8 เมตร ในขณะที่เดียวกันถ้าผู้ชมทำการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วยสาย ผู้ชมจะพบปัญหาหมุนโหลด น้อยมากหรือแทบไม่พบเลย

Thematic Paper Title Design and Development of Microstrip Antenna for Internet
TV Set-Top-Box

Author: Anirut Kanlaya

Thematic Paper Advisor: Dr.Tanun Jaruvitayakovit

Major: Computer and Telecommunications Engineering

Academic Year: 2018

ABSTRACT

At present, the use of television via the Internet is more likely to use because of the variety of services such as the ability to watch multiple channels, catching up missed TV programs, video on demand, and etc., but sometimes viewers often experience discrete viewing problems or loading problems. When viewing via a set-top-box (STB) and connecting to the Internet via a wireless network or wireless LAN, one of the factors that causes this problem is an unstable connection when connecting to the Internet with Wireless LAN with greater distance because of the quality of the antenna that is attached to the receiver box is not good enough because of the low expansion rate.

Design and development of the microstrip antenna for the 2.4 GHz to improve the viewing quality that often causes the loading problem (Loading issue) from the original antenna that attached to the STB box, Internet TV or the IPTV. Geniatech model MPA 108, which viewers often encounter problems with frequent loading when connecting to the Internet with Wireless LAN (WiFi) and having a distance from the wireless Internet device or access point, the distance is about 4 meters up to 8 meters. At the same time, if the viewers connect to the Internet with a line, viewers will experience very little or no problems with the rotation at all.

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ ดร.ชนัญ จารุวิทย์โกวิท อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ซึ่งท่านได้สละเวลาให้คำปรึกษา ให้แนวคิด และตรวจสอบความถูกต้องเพื่อปรับปรุงแก้ไข ทำให้สารนิพนธ์ฉบับนี้เสร็จเรียบร้อย จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์ คณะอาจารย์ทุกท่าน และ คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบสารนิพนธ์ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ช่วยดำเนินเรื่องต่าง ๆ ให้เป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณเพื่อนๆ ร่วมรุ่นทุกๆ คนที่คอยช่วยเหลือกันตลอดมา

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.จักรกฤษ ตรีรกพาณิชย์ รวมไปถึงคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและหัวหน้าห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่ให้ความอนุเคราะห์เพื่อเข้าใช้เครื่องมือทดสอบสายอากาศ รวมไปถึงให้คำชี้แนะเกี่ยวกับงานวิจัยครั้งนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา ซึ่งให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอ รวมไปถึงครอบครัว อันมีภรรยาและธิดาทั้ง 2 ซึ่งได้เปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

อนิรุทธ์ กัลยา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ฉ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 สมมติฐานงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	4
2. แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อ WiFi.....	6
2.2 สายอากาศ (Antenna).....	8
2.3 สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna).....	15
2.4 การวัดประสิทธิภาพของสายอากาศ.....	20
2.5 ระบบ IPTV.....	23
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
3. การออกแบบและการพัฒนาสายอากาศ.....	33
3.1 วิธีการเก็บข้อมูล.....	33
3.2 วิธีการขั้นตอนการดำเนินงาน.....	34
3.3 วัสดุอุปกรณ์.....	35
3.4 การคำนวณขนาดของสายอากาศไมโครสตริป.....	36

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.5 การจำลองผลของสายอากาศไมโครสตริป.....	39
3.6 ผลการจำลอง.....	39
4. ผลการดำเนินงาน.....	47
4.1 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปด้วยเครื่องมือ Network Analyzer.....	47
4.2 ทดสอบผลการเกิดปัญหาการรับชมขาดช่วง จากเครื่องมือของผู้ให้บริการ.....	53
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	63
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	64
5.2 ข้อจำกัดของระบบ.....	64
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	65
บรรณานุกรม.....	66
ภาคผนวก.....	70
ก เครื่องมือ Network Analyzer HP 87533.....	71
ประวัติผู้เขียน.....	73

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน.....	4
2.1 ผลการวัดค่าประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริป 2 รูปแบบจาก งานวิจัยที่ 2.4.1.....	28
2.2 ผลการวัดค่าประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริป 2 รูปแบบจาก งานวิจัยที่ 2.4.2.....	29
4.1 ผลการวัดจาก Network Analyzer แสดงผลตอบสนองเชิงความถี่กับ Return loss...	49
4.2 ผลการวัดจาก Network Analyzer แสดงผลตอบสนองเชิงความถี่ในช่องสัญญาณ WiFi กับแอมพลิฟิเคชัน และ ความถี่ตอบสนองสูงสุดเมื่ออิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 Ω....	49
4.2 (ต่อ) ผลการวัดจาก Network Analyzer แสดงผลตอบสนองเชิงความถี่ในช่อง สัญญาณ WiFi กับแอมพลิฟิเคชัน และ ความถี่ตอบสนองสูงสุดเมื่ออิมพีแดนซ์ เท่ากับ 50 Ω.....	50
4.3 แสดงสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (S21) จากการวัดด้วย Network Analyzer.....	51
4.4 แสดงผลการการคำนวณอัตราขยายของสายอากาศของชุดสายอากาศแต่ละชุด.....	52

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงตัวอย่างปัญหาหมุนโหลด ในบริการ IPTV.....	2
2.1 แสดงรูปร่างหลายแบบของสายอากาศชนิดลวดตัวนำ.....	10
2.2 แสดงรูปร่างหลายแบบของสายอากาศแบบช่อง.....	11
2.3 แสดงรูปร่างของสายอากาศอาร์เรย์.....	12
2.4 แสดงรูปร่างหลายแบบของสายอากาศชนิดสะท้อนคลื่น.....	13
2.5 แสดงรูปร่างหลายแบบของสายอากาศเลนส์.....	13
2.6 แสดงรูปแบบพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริป.....	14
2.7 แสดงรูปแบบต่างของสายอากาศไมโครสตริป.....	15
2.8 แสดงรูปแบบพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริป.....	16
2.9 แสดงรูปแบบของหัวต่อ SMA แบบต่างๆ.....	18
2.10 แสดงแผ่นทองแดงแบบ 2 ด้านที่ใช้สร้างสายอากาศไมโครสตริป.....	19
2.11 การส่งผ่านและการรับของระบบสายอากาศในช่องว่างอิสระจาก สมการการส่งผ่านฟรีส.....	21
2.12 ภาพโครงสร้างของระบบ IPTV	27
2.13 แสดงถึงความแตกต่างกันของค่า RSSI ที่ชิพ WiFi แต่ละตัวรับสัญญาณได้.....	30
2.14 แสดงสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ผู้หื้อต่างๆ ที่ใช้อ่านค่า RSSI.....	30
2.15 แสดงถึงความแตกต่างกันของค่า RSSI ที่ชิพ WiFi ผู้หื้อ Billion รับสัญญาณได้....	30
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	35
3.2 แสดงการใช้งาน โปรแกรม AppCAD กำหนดอิมพีแดนซ์ของ สายอากาศไมโครสตริป.....	36
3.3 แสดงการใช้งาน Microstrip Patch Antenna Calculator.....	37
3.4 แสดงการใช้งาน โปรแกรม EasyEDA เพื่อออกแบบแผ่นตัวนำ สายอากาศไมโครสตริป.....	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.5 แสดงการจำลองสายอากาศไมโครสตริปด้วยซอฟต์แวร์ Ansoft HFSS version 13.0.....	39
3.6 แสดงผลการจำลองการสูญเสียย้อนกลับ หรือ S11 ของ สายอากาศไมโครสตริปด้วยซอฟต์แวร์ HFSS version13.0.....	40
3.7 แสดงผลการจำลองอัตรายายของสายอากาศไมโครสตริป ด้วยซอฟต์แวร์ HFSS version 13.0.....	41
3.8 แสดงไอคอนของซอฟต์แวร์จำลอง HFSS 13.0 version 13	41
3.9 แสดงซอฟต์แวร์จำลอง HFSS version 13.0.....	42
3.10 แสดงการออกแบบต้นแบบสายอากาศ.....	43
3.11 แสดงการใส่ค่าพารามิเตอร์และตำแหน่งตัวนำ, กราวด์ และแผ่นรองอีพ็อกซี.....	43
3.12 แสดงการใส่ค่าขนาดและตำแหน่งตัวนำ, กราวด์ และแผ่นรองอีพ็อกซี.....	44
3.13 แสดงการใส่ค่าพารามิเตอร์ของแผ่นอีพ็อกซีที่ใช้รองระหว่างตัวนำและกราวด์...	44
3.14 แสดงการตั้งค่าซอฟต์แวร์จำลองสำหรับการประมวลผล.....	45
4.1 แสดงการวัดสายอากาศด้วย Network Analyzer.....	48
4.2 ชิ้นงานสายอากาศและสายอากาศสำเร็จรูปที่ใช้ทดลอง.....	48
4.3 ชุดสายอากาศและสายอากาศสำเร็จรูปที่ใช้ทดลอง.....	51
4.4 แสดงอัตรายายของแต่ละชุดสายอากาศ.....	52
4.5 แสดงพื้นที่ที่มีสัญญาณ WiFi หนาแน่นและอยู่ในช่องสัญญาณเดียวกัน.....	53
4.6 แสดงพื้นที่ที่มีสัญญาณ WiFi หนาแน่น โดยแสดงค่า RSSI ของ SSID “Test IPTV STB”.....	53
4.7 แสดงผลการเกิดปัญหาหอนโหลดของสายอากาศที่นำเสนอ ในพื้นที่ที่มีสัญญาณ WiFi หนาแน่นและอยู่ในช่องสัญญาณเดียวกัน (Co-Channel).....	54
4.8 แสดงผลการเกิดปัญหาหอนโหลดของสายอากาศเดิม ในพื้นที่ที่มีสัญญาณ WiFi หนาแน่นและอยู่ในช่องสัญญาณเดียวกัน (Co-Channel).....	54
4.9 แสดงการวัดค่าในสภาพแวดล้อมบ้านพักอาศัยโดยระยะห่าง 12 เมตร.....	55
4.10 แสดงการวัดค่าในสภาพแวดล้อมบ้านพักอาศัย (ต่อ).....	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.11 แสดงผลการเกิดปัญหาหมุนโหลดของสายอากาศที่นำเสนอ ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 12 เมตร โดยไม่มีสิ่งใดขวางกั้น.....	56
4.12 แสดงผลการเกิดปัญหาหมุนโหลดของสายอากาศเดิม ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 12 เมตร โดยไม่มีสิ่งใดขวางกั้น.....	57
4.13 แสดงผลการเกิดปัญหาหมุนโหลดของสายอากาศที่นำเสนอ ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 12 เมตร โดยผนังห้องขวางกั้น.....	58
4.14 แสดงผลการเกิดปัญหาหมุนโหลดของสายอากาศเดิม ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 12 เมตร โดยผนังห้องขวางกั้น.....	58
4.15 แสดงผลการเกิดปัญหาหมุนโหลดของสายอากาศที่นำเสนอ ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 5 เมตร โดยไม่มีสิ่งใดขวางกั้น.....	60
4.16 แสดงผลการเกิดปัญหาหมุนโหลดของสายอากาศเดิม ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 5 เมตร โดยไม่มีสิ่งใดขวางกั้น.....	60
4.17 แสดงผลการเกิดปัญหาหมุนโหลดของสายอากาศที่นำเสนอ ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 5 เมตร โดยผนังห้องขวางกั้น.....	61
4.18 แสดงผลการเกิดปัญหาหมุนโหลดของสายอากาศเดิม ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 5 เมตร โดยผนังห้องขวางกั้น.....	61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการใช้งานบริการโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต (Internet Protocol Television) หรือ IPTV เพิ่มขึ้นมาก อันเนื่องมาจากโครงสร้างพื้นฐานด้านอินเทอร์เน็ต ภายในประเทศ ในปัจจุบันมีการเติบโตมากขึ้น และยังมีความเร็วในการใช้งานที่มากขึ้น ประกอบกับได้มีการเปลี่ยนระบบโครงข่ายพื้นฐานจาก ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) ไปเป็นรูปแบบของสายไฟเบอร์ออฟติก หรือ FTTx (Fiber To The X) ครอบคลุมผู้ใช้บริการมากขึ้น ส่งผลให้คุณภาพของการให้บริการอินเทอร์เน็ตดีขึ้นอย่างมาก ลดความขัดข้องในการให้บริการอินเทอร์เน็ตมาจากสภาพแวดล้อม เช่น ฝนตก ซึ่งทำให้เกิดสถานะสัญญาณไม่เสถียรในระบบ ADSL ซึ่งเมื่อผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ตได้ให้บริการบนโครงข่าย FTTx ปัญหาดังกล่าวก็จะหมดไป

แต่ถึงแม้ปัญหาสัญญาณไม่เสถียรด้านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต จะได้รับการแก้ไขแล้วแต่ผู้ใช้บริการ IPTV บนกลุ่มก็ยังประสบปัญหาการรับชมที่ไม่ต่อเนื่อง มีการหมุนโหลด ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นปัญหาหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพในการรับชมของผู้ใช้บริการเป็นอย่างมาก เพราะเหตุว่าลักษณะการใช้งานอินเทอร์เน็ตโดยทั่วไปนั้น จะมีลักษณะแบบเปิด - ปิด หมายความว่า ตอนที่ผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ต เลือกรับชมเนื้อหาหรือคอนเทนต์ จะเป็นการกดคลิกแล้วอ่าน คลิกแล้วอ่านอย่างนี้ ซึ่งถ้ามีการขาดช่วงของสัญญาณบ้างก็ยังไม่ส่งผลต่อประสบการณ์ของผู้รับชมเท่าใดนัก เปรียบได้กับประสบการณ์การรับชมโทรทัศน์ของผู้ชม ประสบการณ์เดิมของผู้รับชมโทรทัศน์ทั่วไปในรูปแบบบนาล็อก แตกต่างจากการใช้งานอินเทอร์เน็ตที่วิวัฒนาการมาก คือในประสบการณ์เดิมนั้นโทรทัศน์แบบบนาล็อก จะยังมีภาพแสดงอยู่เสมอ ถึงแม้จะไม่คมชัดก็ตาม ในตอนที่การรับสัญญาณมีปัญหาแตกต่างจาก IPTV เมื่อการรับสัญญาณมีปัญหา ภาพที่แสดงบนจอโทรทัศน์จะหยุดนิ่งและหมุน โหลดหรือที่เรียกว่าเกิดบัฟเฟอร์ ซึ่งส่งผลต่อประสบการณ์ในการรับชมบริการ IPTV อย่างมาก

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทางผู้วิจัยจึงตั้งสมมุติฐานว่า ปัญหาการขาดช่วงของการรับชมอาจเกิดจากการเชื่อมต่อแบบไร้สาย หรือ Wireless LAN หรือ WiFi เพราะจากการเก็บข้อมูล



ภาพที่ 1.1 แสดงตัวอย่างปัญหาหมุนโหลด ในบริการ IPTV

ของผู้รับชมส่วนใหญ่ พบว่าปัญหาหมุนโหลดนี้แทบจะไม่พบกับผู้รับชมที่ทำการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตด้วยสาย หรือ LAN แต่มักพบปัญหานี้กับผู้รับชมที่ทำการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย หรือ WiFi ที่มีระยะห่างจากจุดกระจายสัญญาณหรือ Access Point ตั้งแต่ 4 เมตรขึ้นไป และเมื่อผู้รับชมเปลี่ยนการเชื่อมต่อมาเป็นแบบ LAN ปัญหาการหมุนโหลดหรือบัฟเฟอร์ ส่วนมากจะหายไป

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพของสายอากาศของกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต หรือ Internet Protocol Television Set Top Box ซึ่งต่อไปจะขอเรียกว่า IPTV STB ให้มีอัตราขยายจากสายอากาศเดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงานให้มีอัตราขยายประมาณ 3dB เพื่อให้คุณภาพในการเชื่อมต่อกับ Access Point เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การส่งข้อมูลเนื้อหา (Content) เพื่อแสดงผลได้อย่างต่อเนื่องมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งในกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต ยี่ห้อ GENIATECH รุ่น MPA108

1.2.2 ออกแบบและพัฒนาสายอากาศไมโครสตริป ย่านความถี่ 2.4 GHz เพื่อกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต ยี่ห้อ GENIATECH รุ่น MPA108

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาสายอากาศแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต ยี่ห้อ GENIATECH รุ่น MPA108

1.3.2 ออกแบบสายอากาศแบบที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งในกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต ยี่ห้อ GENIATECH รุ่น MPA108 เพื่อแก้ไขปัญหาการรับชมช่องรายการที่ไม่ต่อเนื่อง

1.3.3 ออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 2.4 GHz เท่านั้น โดยไม่ครอบคลุมถึงย่านความถี่ 5.8 GHz โดยใช้วิธีจำลองการทำงานด้วยซอฟต์แวร์ Ansoft HFSS version 13.0

1.3.4 งานวิจัยนี้คำนวณอัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศที่ออกแบบและพัฒนาทางทฤษฎี และเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดจริงจากการทดสอบใช้งาน

1.3.5 งานวิจัยนี้วัดประสิทธิภาพของระบบจากความต่อเนื่องในการรับชม IPTV และข้อมูลการหมุนโหนดที่อยู่ใน STB ที่ผู้ดูแลระบบสามารถเข้าถึงได้

1.4 สมมุติฐานงานวิจัย

1.4.1 ตั้งสมมุติฐานว่าการส่งสัญญาณจากเครื่องแม่ข่ายผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ตมาถึงกล่องรับสัญญาณไม่เกิดปัญหาใดๆ

1.4.2 ตั้งสมมุติฐานว่าปัญหาการรับชมที่ไม่ต่อเนื่อง เกิดจากอัตราขยายของสายอากาศเดิมต่ำไป จึงทำให้การรับส่งข้อมูลไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงทำการวิจัยเพื่อเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศให้ดีขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพิ่มประสิทธิภาพสายอากาศใหม่เพื่อทดแทนสายอากาศเดิมของกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต ยี่ห้อ GENIATECH รุ่น MPA108

1.5.2 เพื่อลดปัญหาการรับชมขาดช่วงหรือหมุนโหนดของกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต ยี่ห้อ GENIATECH รุ่น MPA108

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน

รายการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน											
	พ.ศ.2561						พ.ศ.2562					
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูล	←		→									
2. ออกแบบสายอากาศด้วยโปรแกรม HFSS 13.0			←	→								
3. สร้างชิ้นงานสายอากาศต้นแบบ				←	→							
4. ทดสอบสายอากาศทางกายภาพ					←	→						
5. ทดสอบสายอากาศโดยติดตั้งเข้ากล่องรับสัญญาณ ITPV						←	→					
6. ทดสอบประสิทธิภาพโดยรวม							←	→				
7. วิเคราะห์ข้อมูลและปรับปรุงแก้ไข								←	→			
8. สรุปการดำเนินงานและจัดทำรูปเล่มรายงาน									←	→		

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในสารนิพนธ์ฉบับนี้มีแนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านต่าง ๆ เพื่อช่วยในการพัฒนาและออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 2.4 GHz จากปัญหาของการขาดช่วงในการรับชมหรือหมุนโหลด ขณะที่เชื่อมต่อด้วย WiFi นั้น ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของการเชื่อมต่อด้วย WiFi นั้น ก็คือสายอากาศ ผู้วิจัยได้ตั้งสมมุติฐานว่า ถ้าอัตราขยายของสายอากาศของ IPTV STB เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้การเชื่อมต่อระหว่าง IPTV STB กับ Access Point มีความเสถียรภาพมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การส่งเนื้อหาหรือคอนเทนต์ไปแสดงผลยัง IPTV STB ดีขึ้น และทำให้ปัญหาการหมุนโหลดหรือบัฟเฟอร์ลดลง

งานวิจัยนี้จึงจะทำการพัฒนาและออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 2.4 GHz เพื่อปรับปรุงคุณภาพในการรับชมที่มีการวัดปัญหาหมุนโหลด หรือ บัฟเฟอร์จากสายอากาศเดิมที่ติดมากับกล่องรับสัญญาณ IPTV STB ยี่ห้อ Geniatech รุ่น MPA108 ซึ่งผู้ชมมักพบปัญหาหมุนโหลดบ่อยครั้ง เมื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย และมีระยะห่างจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สาย หรือ Access Point ที่มีระยะห่างประมาณ 4 เมตร จนถึง 8 เมตร ขึ้นไป ในขณะที่เดียวกันถ้าผู้รับชมทำการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วยสาย LAN ผู้ชมจะพบปัญหาบัฟเฟอร์น้อยมากหรือแทบไม่พบเลย จากที่กล่าวมาข้างต้น ปัญหาน่าจะเกิดจากการเชื่อมต่อด้วย WiFi เพราะถ้าวาง IPTV STB ไว้ใกล้ Access Point ก็จะพบปัญหานี้น้อยเช่นกัน ผู้วิจัยจึงจะทำการออกแบบสายอากาศที่มีอัตราขยายสูงขึ้น บนสมมุติฐานว่า เมื่อสายอากาศมีอัตราขยายสูงขึ้น จะสามารถลดปัญหาบัฟเฟอร์ได้นั่นเอง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อ WiFi¹

2.1.1 IEEE 802.11 คือมาตรฐานการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สายกำหนดขึ้น โดยสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE) เป็นมาตรฐานกลาง ที่ได้นำมาปฏิบัติใช้ เพื่อที่จะทำการเชื่อมโยงอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายเข้าด้วยกัน บนระบบ ในทางปกติแล้ว การเชื่อมต่อระบบเครือข่ายไร้สาย จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์สองชิ้น นั่นคือ แอ็กเซสพอยต์ คือตัวกลางที่ช่วยในการติดต่อระหว่าง ตัวรับ-ส่งสัญญาณไร้สาย ของผู้ใช้กับเราต์เตอร์ผ่านทางสายนำสัญญาณที่เชื่อมต่อกับระบบเครือข่าย เช่น ผ่านทางสายใยแก้วนำแสงไปยังผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต (Internet Service Provider) หรือ ISP ทางด้านตัวรับ-ส่งสัญญาณไร้สาย ทำหน้าที่รับ-ส่ง สัญญาณ ระหว่างตัวรับส่งแต่ละตัวด้วยกันหรือระหว่างตัวลูกข่ายกับแอ็กเซสพอยต์

เทคโนโลยี 802.11 มีต้นกำเนิดในปี ค.ศ. 1985 กำหนดขึ้นโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งชาติสหรัฐอเมริกา(อังกฤษ: U.S. Federal Communications Commission) หรือ FCC ที่ประกาศช่วงความถี่สำหรับกิจการด้านอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์และการแพทย์ (ISM) สำหรับการใช้งานที่ไม่ต้องมีใบอนุญาต[1] ในปี ค.ศ. 1991 บริษัท เอ็นซีอาร์/เอทีแอนด์ที (ตอนนี้เป็น Alcatel-Lucent และ LSI คอร์ปอเรชั่น) ได้สร้างชุดตั้งต้นของ 802.11 ในเมือง Nieuwegein, เนเธอร์แลนด์ ตอนแรกนักประดิษฐ์ตั้งใจจะใช้เทคโนโลยีนี้สำหรับระบบเก็บเงิน ผลิตภัณฑ์ไร้สายตัวแรกที่ถูกนำออกสู่ตลาดอยู่ภายใต้ชื่อ Wave LAN ที่มีอัตรารับส่งข้อมูล 1 Mbit/s และ 2 Mbit/s

จากนั้น วิค เฮย์ส ผู้ซึ่งเป็นประธานของ IEEE 802.11 เป็นเวลา 10 ปีและถูกเรียกว่า "บิดาแห่ง WiFi" ได้มีส่วนร่วมในการออกแบบ 802.11b และ 802.11a มาตรฐานเริ่มต้นภายใน IEEE ในปี ค.ศ. 1999, WiFi Alliance ถูกจัดตั้งขึ้นเป็นสมาคมการค้าเจ้าของเครื่องหมายการค้า WiFi ซึ่งผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ใช้ WiFi จะมีเครื่องหมายนี้[3]ปัจจุบันนี้มีมาตรฐานออกมาหลายอย่าง แต่ที่ได้รับความนิยมทั้งในอดีตและปัจจุบันนั้น แบ่งออกเป็น 7 มาตรฐานด้วยกัน ได้แก่

2.1.2 มาตรฐาน IEEE 802.11a เสร็จสมบูรณ์เมื่อปี ค.ศ. 1999 โดยออกเผยแพร่ช้ากว่าของมาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เพื่อปรับปรุงความเร็วในการส่งข้อมูลให้วิ่งได้สูงถึง 54 Mbps บนความถี่ 5Ghz

¹ Wikipedia. (2551). IEEE 802.11. สืบค้น 20 กุมภาพันธ์ 2561 จาก https://th.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11.

ซึ่งจะมีคลื่นรบกวนน้อยกว่าความถี่ 2.4 GHz ที่มาตรฐานอื่นใช้กัน ที่ความเร็วนี้สามารถทำการแพร่ภาพและข่าวสารที่ต้องการความละเอียดสูงได้ อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลสามารถปรับระดับให้ช้าลงได้ เพื่อเพิ่มระยะทางการเชื่อมต่อให้มากขึ้น แต่ทว่าข้อเสียก็คือ ความถี่ 5 GHz นั้น หลายๆ ประเทศไม่อนุญาตให้ใช้ เช่นประเทศไทย เพราะได้จัดสรรให้อุปกรณ์ประเภทอื่นไปแล้ว และเนื่องด้วยการที่มาตรฐานนี้ ใช้การเชื่อมต่อที่ความถี่สูงๆ ทำให้มาตรฐานนี้ มีระยะการรับส่งที่ค่อนข้างใกล้ คือ ประมาณ 35 เมตร ในโครงสร้างปิด(เช่น ในตึก ในอาคาร) และ 120 เมตรในที่โล่งแจ้งและด้วยความที่ส่งข้อมูลด้วยความถี่สูงนี้ ทำให้การส่งข้อมูลนั้นไม่สามารถทะลุทะลวงโครงสร้างของตึกได้มากนัก อุปกรณ์ไร้สายที่รองรับเทคโนโลยี IEEE 802.11a นี้ไม่สามารถเข้ากันได้กับอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ที่จะอธิบายด้านล่างนี้ได้ อีกทั้งอุปกรณ์ของ IEEE 802.11a ยังมีราคาสูงกว่า IEEE 802.11b ด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ IEEE 802.11a จึงได้รับความนิยมน้อยกว่า IEEE 802.11b มาก จึงทำให้ไม่ค่อยเป็นที่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร

2.1.3 มาตรฐาน IEEE 802.11b เสร็จสมบูรณ์เมื่อปี ค.ศ. 1999 ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า CCK (Complimentary Code Keying) ผสมกับ DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz เนื่องจากการใช้คลื่นความถี่ที่ต่ำกว่าอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11a ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้มาตรฐานนี้จะมีความสามารถในการส่งคลื่นสัญญาณไปได้ไกลกว่าคือประมาณ 38 เมตรในโครงสร้างปิดและ 140 เมตรในที่โล่งแจ้ง รวมถึง สัญญาณสามารถทะลุทะลวงโครงสร้างตึกได้มากกว่าอุปกรณ์ที่รองรับกับมาตรฐาน IEEE 802.11a ด้วย ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อุปกรณ์เครือข่ายไร้สายภายใต้มาตรฐานนี้ได้รับการผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก โดยอุปกรณ์ที่ใช้ความถี่ย่านนี้ก็เช่น IEEE 802.11, Bluetooth, โทรศัพท์ไร้สาย, และเดาโมโครเวฟ และที่สำคัญแต่ละผลิตภัณฑ์มีความสามารถทำงานร่วมกันได้ อุปกรณ์ของผู้ผลิตทุกยี่ห้อต้องผ่านการตรวจสอบจากสถาบัน WiFi Alliance เพื่อตรวจสอบมาตรฐานของอุปกรณ์และความเข้ากันได้ของแต่ละผู้ผลิต ปัจจุบันนี้นิยมนำอุปกรณ์ WLAN ที่มาตรฐาน 802.11b ไปใช้ในองค์กรธุรกิจ สถาบันการศึกษา สถานที่สาธารณะ และกำลังแพร่เข้าสู่สถานที่พักอาศัยมากขึ้น มาตรฐานนี้มีระบบเข้ารหัสข้อมูลแบบ WEP ที่ 128 บิต

2.1.4 มาตรฐาน IEEE 802.11g เสร็จสมบูรณ์ในปี ค.ศ. 2003 ทางคณะกรรมการ IEEE 802.11g ได้นำเอาเทคโนโลยี OFDM ของ 802.11a มาพัฒนาบนความถี่ 2.4 GHz จึงทำให้ใช้ความเร็ว 36-54 Mbps ซึ่งเป็นความเร็วที่สูงกว่ามาตรฐาน 802.11b ซึ่ง 802.11g สามารถปรับระดับความเร็วในการสื่อสารลงเหลือ 2 Mbps ได้ตามสภาพแวดล้อมของเครือข่ายที่ใช้งาน มาตรฐานนี้เป็นที่ยอมรับจากผู้ใช้เป็นจำนวนมากและกำลังจะเข้ามาแทนที่ 802.11b ในอนาคตอันใกล้

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นนี้มีบางผลิตภัณฑ์ใช้เทคโนโลยีเฉพาะตัวเข้ามาเสริม ทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 54 Mbps เป็น 108 Mbps แต่ต้องทำงานร่วมกันเฉพาะอุปกรณ์ที่ผลิตจากบริษัทเดียวกันเท่านั้น ซึ่งความสามารถนี้เกิดจากชิป (Chip) กระจายสัญญาณของตัวอุปกรณ์ที่ผู้ผลิตบางรายสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่ง สัญญาณเป็น 2 เท่าของการรับส่งสัญญาณได้แต่ปัญหาของการกระจายสัญญาณนี้จะมีผลทำให้อุปกรณ์ ไร้สายในมาตรฐาน 802.11b มีประสิทธิภาพลดลงด้วยเช่นกัน

2.1.5 มาตรฐาน IEEE 802.11n - เสร็จสมบูรณ์ในปี ค.ศ. 2009 ทำงานบนย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz โดยที่สามารถให้อัตราการส่งถ่ายข้อมูลสูงสุดถึง 300 Mbps มีความสามารถในการส่งคลื่นสัญญาณ ได้ระยะประมาณ 70 เมตรในโครงสร้างปิด และ 250 เมตรในที่โล่งแจ้ง เพิ่มความสามารถในการกันสัญญาณกวนจากอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ความถี่ 2.4GHz เหมือนกัน และสามารถรองรับอุปกรณ์มาตรฐาน IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ได้ 802.11-2012 - ในปี 2007 กลุ่มงาน TGmb ได้รับการอนุมัติให้รวบรวมการแก้ไขทั้งหมดให้เป็นเวอร์ชันที่เรียกว่า REVmb หรือ 802.11mb ที่ประกอบด้วย 802.11k, r, y, n, w, p, z, v, u, s ตีพิมพ์วันที่ 29 มีนาคม 2012

2.1.6 มาตรฐาน 802.11ac - เป็นมาตรฐานที่ 5 GHz ให้ทรูพุกกับแลน ไร้สายแบบหลายสถานี สูงกว่าที่อย่างน้อย 1 Gbps และสำหรับลิงก์เดี่ยวที่อย่างน้อย 500 Mbps โดยการใช้ RF แบนด์วิธที่กว้างกว่า (80 หรือ 160 MHz) สตรีมมากกว่า (สูงถึง 8 สตรีม) และมอดูเลทที่ความจุสูงกว่า (สูงถึง 256 QAM)

2.1.7 มาตรฐาน 802.11ad - หรือ "Wi Gig" เกิดจากการผลักดันจากผู้ผลิตฮาร์ดแวร์ ในวันที่ 24 กรกฎาคม 2012 Marvell และ Wilocity ได้ประกาศการเป็นคู่ค้าใหม่เพื่อนำ WiFi solution แบบ tri-band ใหม่ออกสู่ตลาด โดยการใช้ความถี่ที่ 60 GHz ทรูพุกทางทฤษฎีสูงสุดถึง 7 Gbps มาตรฐานนี้จะออกสู่ตลาดได้ราวต้นปี 2014

2.2 สายอากาศ (Antenna)²

สายอากาศ (Antenna) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่ง que เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือในทางกลับกันปกติสายอากาศจะถูกใช้กับเครื่องส่งและเครื่องรับวิทยุ ในการส่งเครื่องส่งวิทยุจะป้อนคลื่นกระแสไฟฟ้าที่ความถี่วิทยุ (หรือไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง) ไปยังขั้วไฟฟ้าทั้งสองของสายอากาศ จากนั้นสายอากาศจะแผ่รังสีพลังงานจากกระแสในรูปของคลื่น

² Wikipedia. (2552). สายอากาศ. สืบค้น 20 กุมภาพันธ์ 2561 จาก

แม่เหล็กไฟฟ้า (คลื่นวิทยุ) ในการรับสายอากาศจะดักจับพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อที่จะสร้างแรงดันไฟฟ้าขนาดเล็กที่ขั้วไฟฟ้าของมัน แรงดันไฟฟ้านี้จะถูกส่งต่อไปให้เครื่องรับเพื่อทำการขยายสัญญาณต่อไป

สายอากาศเป็นส่วนที่สำคัญของอุปกรณ์ทุกชนิดที่ใช้วิทยุ ได้แก่ สถานีวิทยุกระจายเสียง สถานีโทรทัศน์ วิทยุสองทาง เครื่องรับสื่อสาร เรดาร์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ และการสื่อสารดาวเทียม นอกจากนี้ มันยังใช้กับอุปกรณ์เช่นประตูโรงรถอัตโนมัติ ไมโครโฟนไร้สาย (บลูทูธ) แลนไร้สาย ฉลาก RFID และของเล่นวิทยุบังคับต่างๆ โดยทั่วไปสายอากาศจะประกอบด้วยโครงสร้างของตัวนำโลหะที่เรียกว่าอีลิเมนต์ขับเคลื่อน (Driven element) ที่ต่อทางไฟฟ้าเข้ากับเครื่องส่งหรือเครื่องรับ เครื่องส่งจะบังคับให้กระแสไฟฟ้าที่เป็นคลื่นของอิเล็กตรอนไหลผ่านสายอากาศ กระแสไฟฟ้างี้จะสร้างสนามไฟฟ้าที่เป็นคลื่นไปตามอีลิเมนต์นั้น สนามพลังที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาเหล่านี้จะถูกแผ่กระจายออกไปจากสายอากาศเข้าสู่อากาศในรูปของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ตามขวาง ทางด้านรับ คลื่นเหล่านี้เข้ามารวมกันที่สายอากาศ สนามแม่เหล็กและไฟฟ้าที่เป็นคลื่นจะสร้างแรงขึ้นบนอิเล็กตรอนในอีลิเมนต์ของสายอากาศ ทำให้อิเล็กตรอนต้องเคลื่อนที่กลับไปกลับมา เป็นการสร้างกระแสที่เป็นคลื่นในสายอากาศ

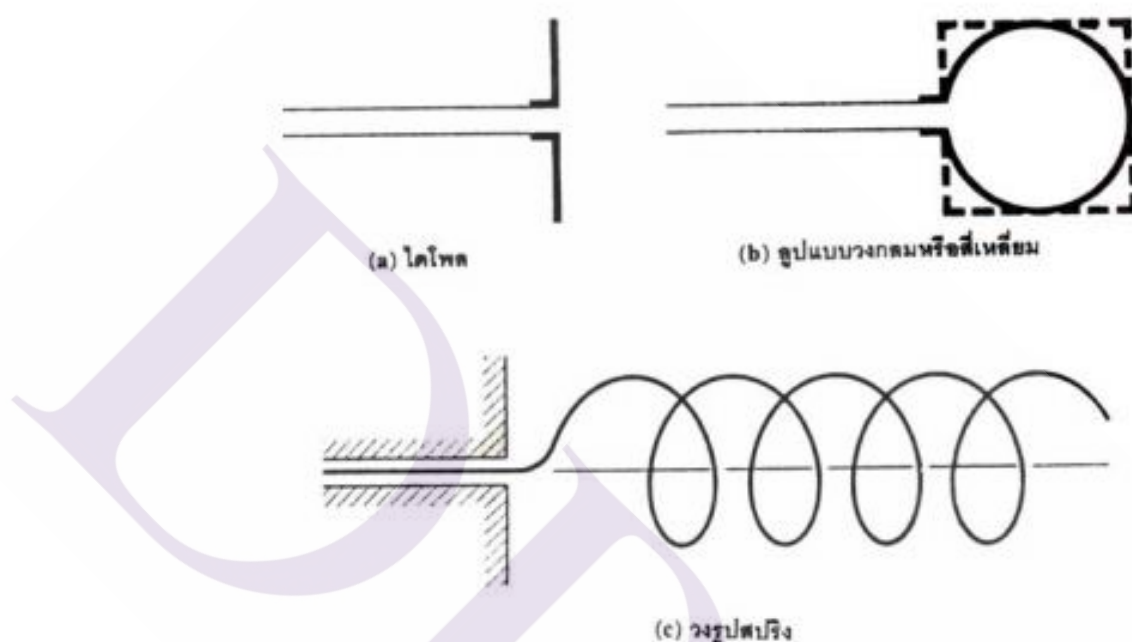
สายอากาศสามารถออกแบบให้ส่งหรือรับคลื่นวิทยุได้ในทุกทิศทางแนวราบเท่าๆกัน ที่เรียกว่าสายอากาศทุกทิศทาง (Omnidirectional antenna), หรือให้รับและส่งได้ในทิศทางเฉพาะที่เรียกว่าสายอากาศเฉพาะทิศทาง (Directional antenna) หรือสายอากาศเกนสูง (High gain antenna) สำหรับสายอากาศเกนสูง มันอาจต้องมีอีลิเมนต์หรือตัวประกอบอื่นเพิ่มเติมที่ไม่มีต่อการต่อถึงกันทางไฟฟ้าเข้ากับเครื่องส่งหรือเครื่องรับแต่อย่างใด อุปกรณ์ดังกล่าวได้แก่ อีลิเมนต์กาฝาก (parasitic elements), แผงสะท้อนคลื่นแบบโคง (parabolic reflectors) หรือ สายอากาศปากแตร (Horn antenna), ซึ่งมีหน้าที่นำทางคลื่นวิทยุให้อยู่ในรูปลำแสงหรือรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นที่ต้องการอื่นๆ

สายอากาศตัวแรกถูกสร้างขึ้นในปี 1888 โดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน นายไฮน์ริช เฮิร์ตซ์ ระหว่างการทดลองแบบบุกเบิกเพื่อพิสูจน์ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้มีการคาดคะเนไว้ก่อนแล้วตามทฤษฎีของนายเจมส์ เคลิร์ก แมกซ์เวลล์ นายเฮิร์ตซ์ได้วางสายอากาศแบบไดโพลหลายตัวไว้ที่จุดโฟกัสของกลุ่มแผงสะท้อนคลื่นแบบโคงเพื่อให้งานทั้งรับและส่ง เขาได้ตีพิมพ์ผลงานของเขาใน *Annalen der Physik und Chemie* (vol. 36, 1889).

2.2.1 ชนิดของสายอากาศ³

2.2.1.1 สายอากาศแบบลวดตัวนำ (wire antenna)

จัดเป็นสายอากาศที่เราคุ้นหน้าตาเป็นอย่างยิ่ง มีใช้งานในทุกรูปแบบอย่างเช่น



ภาพที่ 2.1 แสดงรูปร่างหลายแบบของสายอากาศชนิดลวดตัวนำ

ที่มา: ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ (เข้าถึง 22 กุมภาพันธ์ 2561. จาก <http://dtv.mcot.net/data/manual/book1309960190.pdf>)

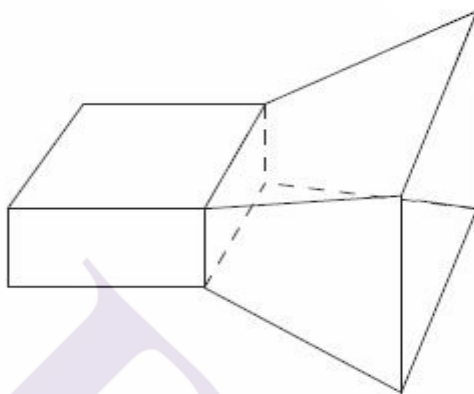
ในรถยนต์, อาคาร, เรือ, เครื่องบิน, ยานอวกาศ และอื่น ๆ รูปร่างของสายอากาศแบบลวดตัวนำยังแยกย่อยได้อีกเช่น แบบเส้นตรง (ไดโพล), ลูป (วนเป็นรอบ) และแบบวงก้นหอย (คล้ายสปริง) ดังแสดงได้จากภาพ 2.1 สายอากาศแบบลูป (Loop) ไม่จำเป็นต้องเป็นวงกลมอาจมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า, วงรี หรือลักษณะอื่น ส่วนลูปชนิดวงกลมนั้นจัดว่ามีใช้งานมากที่สุด เพราะง่ายในการสร้าง

³ บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน). (“n.d.”). ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ. สืบค้น 22 กุมภาพันธ์ 2561 จาก <http://dtv.mcot.net/data/manual/book1309960190.pdf>.

2.2.1.2 สายอากาศแบบช่อง (aperture antenna)

เริ่มมีการใช้สายอากาศชนิดนี้มากกว่าในอดีต โดยเฉพาะในการใช้งานย่านความถี่สูง ส่วนรูปแบบต่าง ๆ ของสายอากาศแบบช่องดูได้ในภาพที่ 2.2

สายอากาศชนิดนี้ใช้ประโยชน์ด้านเครื่องบิน หรือยานอวกาศ เนื่องจากความสะดวกในการติดตั้ง และยังสามารถหุ้มด้วยฉนวนหรือวัสดุที่ไม่เป็นสื่อไฟฟ้าได้อีก เพื่อป้องกันสภาพที่อันตรายต่อระบบสื่อสาร



ภาพที่ 2.2 แสดงรูปร่างหลายแบบของสายอากาศแบบช่อง

ที่มา: ลักษณะสายอากาศฮอร์น (เข้าถึง 22 กุมภาพันธ์ 2561, จาก

http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Microwave_communications/index.php)

2.2.1.3 สายอากาศแบบอาร์เรย์ (array antenna)

การประยุกต์ใช้งานสายอากาศ โดยส่วนมากแล้วจะมีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นไม่เหมือนกัน ทำให้เกิดวิธีการนำอิมิตเมนต์มาใช้งานร่วมกันเพื่อสนองกับความต้องการใช้งาน



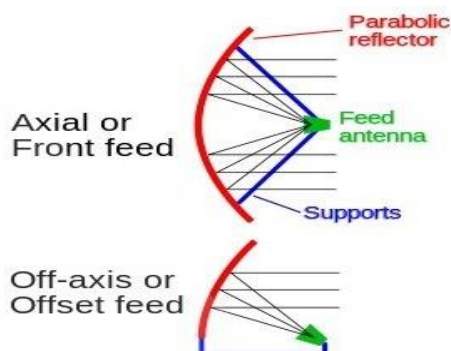
ภาพที่ 2.3 แสดงรูปร่างของสายอากาศอาร์เรย์

ที่มา: Antenna Theory - Broad-side Array (เข้าถึง 22 กุมภาพันธ์ 2561. จาก

https://www.tutorialspoint.com/antenna_theory/antenna_theory_broad_side_array.htm

ต่างๆ ซึ่งเราสามารถกำหนดให้ทิศทางหลักในการแพร่คลื่นของสายอากาศอยู่ทางทิศใดได้ ตัวอย่างการใช้งานแบบอาร์เรย์การนำสายอากาศหลาย ๆ อีลิเมนต์มาต่อเรียงกันเป็นแถว เรียกว่าอาร์เรย์มีผลให้ค่า อัตราขยายมากขึ้น และยังควบคุมทิศทางการแพร่คลื่นได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.3

2.2.1.4 สายอากาศแบบสะท้อนคลื่น (reflector antenna) ผลจากความสำเร็จในการสำรวจอวกาศต่อวิชาสายอากาศ ทำให้เกิดการพัฒนามาอย่างมาก ทั้งนี้เพราะต้องนำมาใช้งานสื่อสารระยะไกลมาก จึงต้องพัฒนาสายอากาศส่ง/รับคลื่นที่สามารถเดินทางได้เป็นล้าน ไมล์ ชนิดของสายอากาศที่ถูกนำมาใช้งานนี้อย่างมาก คือ แบบตัวสะท้อนพาราโบลา (parabolic reflector) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 สายอากาศชนิดนี้ยังมีขนาดใหญ่มากก็จะให้อัตราขยายสูงมากตามไป ทำให้สามารถส่งหรือรับคลื่นในระยะไกลมากได้



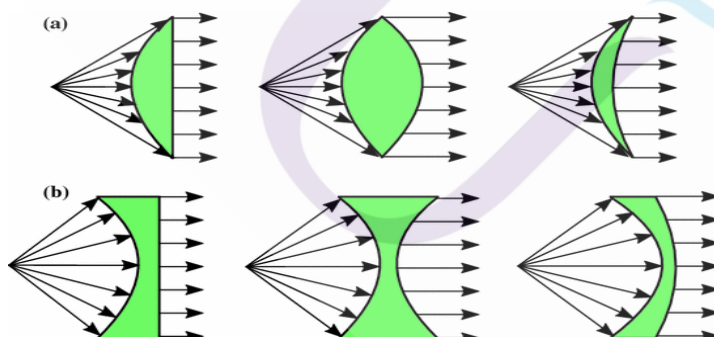
ภาพที่ 2.4 แสดงรูปร่างหลายแบบของสายอากาศชนิดสะท้อนคลื่น

ที่มา: Reflector antenna (เข้าถึง 22 กุมภาพันธ์ 2561. จาก

<http://rj.rcjv.grasshopper.store/dish-antenna-diagram.html>

2.2.1.5 สายอากาศแบบเลนส์ (Lens antenna)

แต่เดิมเลนส์ถูกใช้เพื่อรวมแสงให้ส่องผ่านไปยังจุดที่ต้องการได้ ในวิชาสายอากาศได้อาศัยหลักการนี้ โดยเลือกวัสดุที่จะมาทำเลนส์ให้สามารถรวมคลื่นที่แพร่ออกให้ส่งไปยังทิศทางที่ต้องการได้สำหรับการประยุกต์ใช้งาน เช่นเดียวกับแบบสะท้อนคลื่นพาราโบลา โดยเฉพาะที่ความถี่สูงมาก ๆ จะใช้ได้ผลดี สายอากาศแบบเลนส์ยังถูกแบ่งออกตามรูปร่างที่สร้างขึ้น แสดงในรูป 2.5 แบบ (a) รูปแบบสายอากาศแบบเลนส์แบบนูน (b) รูปแบบสายอากาศแบบเลนส์แบบเว้า



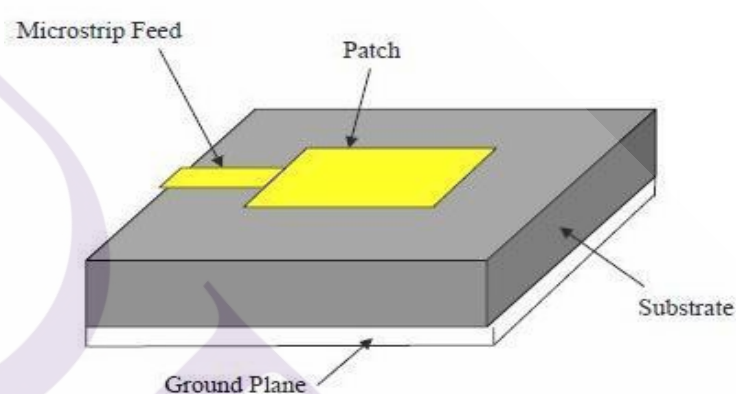
ภาพที่ 2.5 แสดงรูปร่างหลายแบบของสายอากาศเลนส์

ที่มา: Reflector and Lens antenna (เข้าถึง 1 ต.ค. 2561. จาก

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-35068-4_5

2.2.1.6 สายอากาศแบบไมโครสตริป (Microstrip Antenna)

สายอากาศ Microstrip เป็นสายอากาศแบบที่เป็นที่นิยมมากที่สุดแบบหนึ่งในระบบสื่อสารไร้สายในปัจจุบัน สายอากาศ Microstrip มีความเรียบง่ายในการสร้างโดยใช้เทคนิคการผลิตแบบ Microstrip แบบธรรมดา หรือสายอากาศแบบ Microstrip Patch ประกอบด้วยแผ่นแพทช์ที่แผ่กระจายอยู่ด้านบนใดด้านหนึ่งของพื้นผิวอิเล็กทรอนิกส์ (FR4) ที่มีพื้นผิวทองแดง (Cu) ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แสดงรูปแบบพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริป

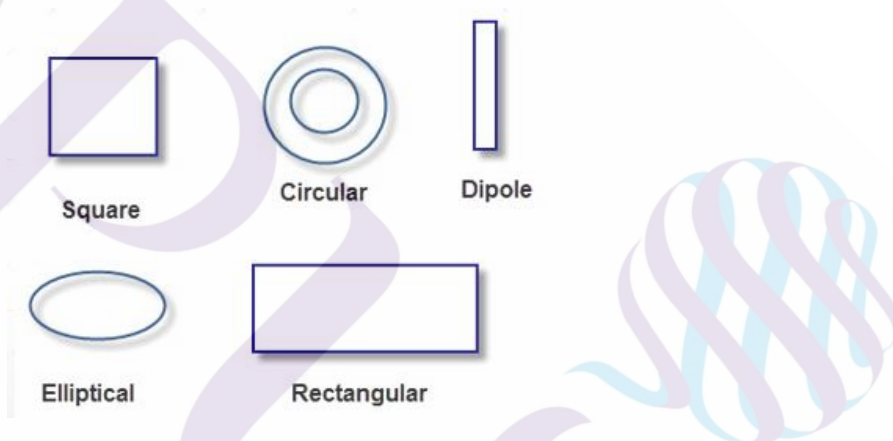
ที่มา: การศึกษารูปแบบของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปอักษรอี สำหรับการใช้งานในเครือข่ายไร้สาย (22 ก.พ. 2561. จาก <http://www.rtir.rmutt.ac.th/bitstream/123456789/379/1/110206.pdf>)

โดยสรุปแล้วสายอากาศในทางทฤษฎี จะสามารถนำพลังงานทั้งหมดที่มาจากเครื่องส่งไปออกอากาศได้โดยไม่มีการสูญเสียเลย แต่สายอากาศที่มีคุณภาพขนาดนั้นยังไม่มีใครทำได้ สายอากาศมีมากมาย ซึ่งแต่ละแบบถูกสร้างให้มีรูปแบบการแพร่คลื่นแตกต่างกันไปให้เหมาะสมสำหรับงานที่ประยุกต์ใช้

2.3 สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna)⁴

ส่วนนี้จะศึกษาเกี่ยวกับสายอากาศไมโครสตริป (microstrip antenna) ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และรูปแบบการป้อนสัญญาณที่ใช้กับสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศแบบไมโครสตริปหรือสายอากาศแบบระนาบได้เริ่มถูกใช้งานครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2513 แม้ว่าแนวความคิดครั้งแรกจะเกิดขึ้นโดย G.A. Deschamps ตั้งแต่เมื่อปี พ.ศ. 2496 และ ถูกจดสิทธิบัตรไปตั้งแต่ในปี พ.ศ. 2498 สาเหตุที่ในช่วงแรกไม่มีการพัฒนาไปใช้งานเนื่องจากสายอากาศชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่ำ แต่มีข้อดีตรงที่ขนาดเล็ก ซึ่งเหมาะกับงานด้านความถี่สูง เช่น ความถี่ยูเอชเอฟ (UHF) ขึ้นไป กล่าวได้ว่าสายอากาศชนิดนี้เป็นการพัฒนารูปแบบหนึ่งของสายอากาศเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ขนาดเล็กเช่น โทรศัพท์มือถือ อุปกรณ์จึงมีลักษณะแบนคล้ายกับแผ่นทองแดงทั่วไป และเนื่องจากถูกออกแบบมาให้ใช้งานกับความถี่ใดความถี่หนึ่งโดยเฉพาะรูปร่างจึงแตกต่างกันไปตามความเหมาะสมของความถี่ใช้งานเป็นหลัก เนื่องจากสายอากาศชนิดนี้ออกแบบได้ง่ายที่สุด จึงมีนักวิจัยให้ความสนใจออกแบบเป็นอย่างมากดังแสดงในภาพที่ 2.7

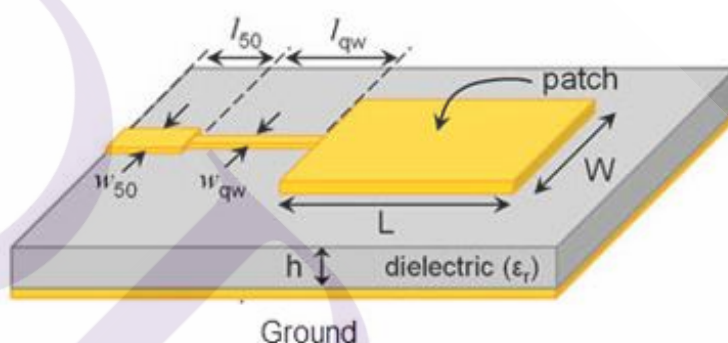


ภาพที่ 2.7 แสดงรูปแบบต่างของสายอากาศไมโครสตริป

รูปแบบพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริป สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือ สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น (microstrip patch antenna) สายอากาศไมโครสตริปแบบไดโพล (Microstrip dipole antenna) และ สายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด (Microstrip slot antenna)

⁴ กัลยรัตน์ สิมณ. (2555). การออกแบบสายอากาศสำหรับระบบสวิตช์ค่าคลื่นที่ใช้ในโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ในแต่ละชนิดจะมีรูปแบบและคุณสมบัติแตกต่างกันไป ดังนั้นในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ซึ่งสายอากาศแบบช่องเปิดนั้นเป็นสายอากาศชนิดหนึ่งที่ได้รับค่านิยมเนื่องจากเป็นสายอากาศ ที่ออกแบบได้ง่าย แบบรูปการแผ่สนามระยะไกลสามารถกำหนดได้ ทั้งแบบทิศทางเดียว (uni-direction) และแบบสองทิศทาง (bi-direction) ขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งานและสายอากาศ ช่องเปิดนั้นสามารถใช้รูปแบบการป้อนสัญญาณได้หลายรูปแบบ ลักษณะโครงสร้างขอสายอากาศไมโครสตริปจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบพื้นฐานคือ ส่วนที่เป็นแผ่นตัวนำหรือที่เรียกว่า แพทช์ (patch) และแผ่นระนาบกราวด์ ซึ่งแยกออกจากกันด้วย วัสดุฐานรองหรือที่เรียกว่า ซับสเตรท (substrate) ที่มีค่าค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ดังแสดงในรูปที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 แสดงรูปแบบพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริป

ที่มา: Microstrip Patch Antenna, (เข้าถึง 1 ต.ค. 2561. จาก: http://www.emtalk.com/mwt_mpa.htm)

ตัวอย่าง สายอากาศแบบไมโครสตริปพื้นฐานแสดงได้ดังรูปที่ 2.8 จะเห็นว่า สายอากาศแบบไมโครสตริปพื้นฐาน เป็นรูปแบบที่เข้าใจได้ง่ายคือนำแผ่นทองแดงมาเจาะทองแดงรอบนอกออก ให้เหลือทองแดงเป็นสี่เหลี่ยม กว้างยาวประมาณ $1/2$ ของความยาวคลื่นที่ต้องการ ก็สามารถนำไปใช้งานได้แล้ว แต่ความยาวคลื่นต้องคิดแบบความยาวคลื่นสัมพันธ์กับชนิดของแผ่นทองแดง สายอากาศแบบพื้นฐานนี้คือใช้งานได้กับช่องสัญญาณแคบมาก ประกอบกับมีขนาดใหญ่และประสิทธิภาพต่ำจึงมักถูกนำมาเพียงเพื่อเรียนรู้เบื้องต้นของสายอากาศแบบระนาบเท่านั้น แต่ไม่ถูกนำไปใช้งาน

2.3.1 แผ่นตัวนำสายอากาศ

แผ่นตัวนำสายอากาศ เป็นแผ่นโลหะแบบบาง ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่พลังงานและมีค่าความต้านทานต่ำ ทนต่อสภาวะแวดล้อม สามารถยึดติดกับผิวของชั้นวัสดุฐานรองได้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปทำจากทองแดง ทองคำ หรือ อลูมิเนียม แผ่นตัวนำอาจมีรูปร่างต่างๆ เช่น สี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมจัตุรัส วงกลม วงรี ฯลฯ ดังแสดงในภาพที่ 2.7 วัสดุที่นำมาใช้ทำแผ่นตัวนำสายอากาศนี้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสายอากาศ เช่น อัตราขยาย ความต้านทานด้านอินพุท อัตราการรับส่งข้อมูล และความซับซ้อนในการผลิต นอกจากนี้แล้วขนาดและรูปร่างของแผ่นตัวนำของสายอากาศยังเป็นปัจจัยต่อการกำหนดความถี่ใช้งาน รูปแบบการแผ่พลังงานและค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ปัจจุบันแผ่นตัวนำสายอากาศที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นแผ่นตัวนำรูปสี่เหลี่ยมและวงกลม เนื่องจากการออกแบบและการผลิตสามารถทำได้ง่าย

2.3.2 ชั้นวัสดุฐานรอง

ชนิดและขนาดของชั้นวัสดุฐานรองเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบสายอากาศและยังเป็นองค์ประกอบสำคัญที่กำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสายอากาศแบบไมโครสตริป การแผ่พลังงานของสายอากาศจะลดลงเมื่อค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้น โดยที่ความหนาของวัสดุฐานรองมีค่าคงที่ การแผ่พลังงานของสายอากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้นและการแผ่พลังงานนี้จะมีปริมาณลดลง เมื่อความหนาต่อความยาวคลื่นมีค่าประมาณ 0.05 การเลือกวัสดุเพื่อใช้เป็นวัสดุฐานรองนอกจากต้องคำนึงถึงสมบัติทางกล สมบัติทางเคมี ความคงทนต่อสภาวะแวดล้อม เช่น ความชื้น อุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลง ความสามารถในการยึดติดกับผิวโลหะได้ดี ความเรียบของผิวซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดกับโลหะและสามารถผลิตเป็นวัสดุฐานรองสำหรับสายอากาศได้ นอกจากนี้สมบัติทางไฟฟ้ายังเป็นตัวแปรสำคัญในการเลือกวัสดุ โดยมีค่าปัจจัยที่ต้องคำนึงดังต่อไปนี้

- ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (dielectric constants) วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุเนื้อเดียว เพื่อให้ค่าสภาพยอมของสารไดอิเล็กตริกมีค่าคงที่ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกบ่งบอกคุณสมบัติของการเป็นสารไดอิเล็กตริก โดยเทียบกับอากาศว่าง ซึ่งค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ควรมีค่าต่ำ เนื่องจากจะทำให้สายอากาศมีประสิทธิภาพที่ดี และทำให้การผลิตมีความผิดพลาดน้อย

- ค่าแทนเจนต์การสูญเสีย (loss tangent) คือ ค่าที่แสดงอัตราส่วนระหว่างกระแสการนำกับกระแสการกระจัด เมื่อนำสารไดอิเล็กตริกไปคั่นกลางระหว่างแผ่นโลหะคู่หนึ่งซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุ ซึ่งค่านี้แสดงให้เห็นว่าสารไดอิเล็กตริกนั้นมีการสูญเสียเนื่องจากการนำกระแสเล็กน้อยเพียงใด โดยค่านี้ควรมีค่าที่ต่ำ เพื่อจะทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศสูงขึ้น

- ค่าคงตัวของการนำความร้อน (thermal conductivity) แสดงให้เห็นว่าสารไดอิเล็กตริกนั้นมีความสามารถในการระบายความร้อนได้ดีมากน้อยเพียงใด ซึ่งค่านี้ยิ่งสูงยิ่งดี

2.3.3 ระบายความร้อน

เป็นแผ่นโลหะขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับแผ่นตัวนำสายอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่ทำจากโลหะชนิดเดียวกันกับสายอากาศ โดยขนาดของระบายความร้อนจะส่งผลกระทบต่อแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น เนื่องจากคลื่นเลี้ยวเบนที่บริเวณขอบของระบายความร้อน นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศอีกด้วย เนื่องจากการวิเคราะห์สายอากาศส่วนใหญ่สมมุติว่า แผ่นระบายความร้อนมีขนาดใหญ่กว่าแผ่นตัวนำสายอากาศมากจนสามารถประมาณได้ว่าเป็นอนันต์ ขนาดที่จำกัดของระบายความร้อนจะมีผลต่อลำคลื่นหลัก (main lobe) น้อยมาก แต่จะทำให้เกิดลำคลื่นด้านหลังของแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น

2.3.4 ประเภทของสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริปมีหลายประเภท แต่แบ่งตามการใช้งานได้ 3 ประเภทดังนี้

1. สายอากาศแบบแผ่กระจายคลื่นตามแนวกว้าง เพื่อการสื่อสารตามแนวกว้างของแผ่นทองแดงสายอากาศแบบนี้จะมีทิศทางการส่งสัญญาณตั้งฉากกับแผ่นทองแดง
2. สายอากาศที่แผ่กระจายคลื่นตามแนวยาว เพื่อการสื่อสารในทิศทางตัดขวางของแผ่นทองแดงสายอากาศแบบนี้จะมีทิศทางการส่งสัญญาณตามแนวเดียวกับแผ่นทองแดง
3. สายอากาศอื่นๆ เป็นสายอากาศที่ออกแบบมาเฉพาะการใช้งานชนิดใดชนิดหนึ่งอาจมีมากกว่าสองทิศทางหรืออาจปรับเปลี่ยนทิศทางได้ตามความถี่ที่ใช้งาน

2.3.5 ส่วนประกอบของสายอากาศไมโครสตริป

2.3.5.1 หัวเชื่อมต่อ หรือ Connector คืออุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมระหว่างสายอากาศกับ



ภาพที่ 2.9 แสดงรูปแบบของหัวต่อ SMA แบบต่างๆ

ที่มา: SMA RF Coaxial Connectors (เข้าถึง 9 ธันวาคม 2561. จาก

<https://www.connectorsupplier.com/demand-for-sma-rf-coaxial-connectors-grows/>)

อุปกรณ์ส่งข้อมูล ซึ่งโดยปกติจะใช้ตามมาตรฐานเอสเอ็มเอ (SMA) ซึ่งเป็นมาตรฐานสากล แต่มาตรฐานเอสเอ็มเอนี้สามารถแบ่งย่อยได้อีกกว่าสิบชนิด เพื่อให้ตรงกับการใช้งานมากที่สุดถ้าใช้ผิดประเภทแล้วจะไม่สามารถต่อกันได้หรือถ้าได้ก็จะลดประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณลดลงดังแสดงในภาพที่ 2.9

2.3.5.2 แผ่นทองแดง เป็นฐานของทองแดงซึ่งทองแดงนี้คือเสาอากาศขนาดเล็กนั่นเอง เมื่อความถี่สูงขึ้น จึงมีขนาดเล็กลงจนไม่สามารถคงรูปเดิมได้ จึงต้องมีแผ่นทองแดงมายึดโครงสร้างของสายอากาศเอาไว้ แผ่นทองแดงนี้มีหลายชนิด ซึ่งแผ่นทองแดงชนิดอีพอกซี FR4 หรือแผ่นที่หนา 1.6 มิลลิเมตร ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 4.4 มีใช้อย่างแพร่หลายที่สุดเพราะราคาถูกและสามารถหาได้ง่าย แบ่งย่อยได้เป็น 2 ชนิดคือ แบบด้านเดียวและแบบสองด้านตามการใช้งาน สามารถหาได้ตามแหล่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป แต่แผ่นทองแดงชนิดอีพอกซีมีข้อเสียคือการส่งสัญญาณที่ไม่ดีนักโดยปกติแล้วสายอากาศจะอิงตามความยาว $1/2$ หรือ $1/4$ ของความยาวคลื่น เมื่อเปลี่ยนรูปแบบมาเป็นสายอากาศแบบไมโครสตริปแล้วก็ยังคงใช้วิธีการเดิมอยู่แต่จะต้องคำนึงถึงผลกระทบจากชนิดของแผ่นทองแดงด้วยดังแสดงในภาพที่ 2.10

ภาพที่ 2.10 แสดงแผ่นทองแดงแบบ 2 ด้านที่ใช้สร้างสายอากาศไมโครสตริป

ที่มา: Double Sided Copper Clad Laminate PCB Circuit Board (เข้าถึง 9 ธันวาคม 2561. จาก <https://www.amazon.com/Double-Sided-Copper-Laminate-Circuit/dp/B01LYQVWEV>)

2.3.6 ข้อดีของ Microstrip antenna

- น้ำหนักเบา
- ขนาดเล็ก
- สามารถนำมาดัดแปลงรูปร่างให้สมดุลได้
- ราคาถูก
- การผลิตง่าย
- สามารถทำให้บางได้
- แพร่กระจายคลื่นได้ทั้งแบบเส้นตรงและวงกลม
- สามารถรวมกับความถี่อื่นๆได้

2.3.7 ข้อเสียของ Microstrip antenna

- แบนด์วิดท์แคบ (Narrow bandwidth)
- มีการสูญเสียมากซึ่งส่งผลให้ได้อัตราขยาย (Gain) ต่ำ
- สายอากาศไมโครสตริปส่วนใหญ่จะมีการแผ่กระจายคลื่นเพียงครึ่งระนาบ
- มีอัตราขยายสูงสุด (maximum gain) ไม่เกิน 20 dB

2.4 การวัดประสิทธิภาพของสายอากาศ

ในการออกแบบสายอากาศ สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงก็คือประสิทธิภาพของสายอากาศ เพื่อจะเป็นการแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่ออกแบบ สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์หรือขอบเขตที่ต้องการหรือไม่ ดังนั้นเราจึงจะแยกการวัดประสิทธิภาพของสายอากาศที่สำคัญได้ดังนี้

2.4.1 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio - SWR)⁵ เป็นตัวชี้วัดของการแมทซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ของโหลดกับอิมพีแดนซ์ที่เป็นลักษณะเฉพาะของสายส่งหรือท่อนำคลื่น การไม่แมทซ์กันของอิมพีแดนซ์เกิดขึ้นในคลื่นนิ่งไปตามเส้นสายส่ง และ SWR ถูกกำหนดเป็นอัตราส่วนของขนาดคลื่นนิ่งบางส่วนที่สูงสุด กับขนาดที่อีกโหนดหนึ่งต่ำสุดไปตามเส้นสายส่งหรือสายอากาศ

SWR มักจะหมายความในแง่ของจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้า AC ไปตามเส้นสายส่ง มันจึงถูกเรียกว่า อัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดัน (voltage standing wave ratio) หรือ VSWR ตัวอย่างเช่นค่า VSWR = 1.2:1 หมายถึงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเนื่องจากคลื่นนิ่งไปตามเส้นสาย

⁵ Wikipedia. (2559). อัตราส่วนคลื่นนิ่ง. สืบค้น 20 ธันวาคม 2561 จาก

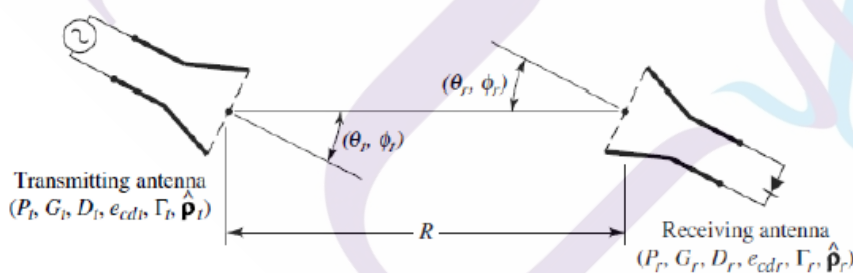
ส่งขึ้นสูงถึงค่าสูงสุดเป็น 1.2 เท่าของแรงดันไฟฟ้า AC ต่ำสุดไปตามแนวสายส่งนั้น ค่า SWR ก็สามารกำหนดได้เช่นกันว่าเป็นอัตราส่วนของแอมพลิจูดสูงสุดต่อแอมพลิจูดต่ำสุดของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง กระแสในสายส่ง เรียกว่าความแรงของสนามไฟฟ้า (Electric field strength) หรือความแรงของสนามแม่เหล็ก (Magnetic field strength) ถ้าไม่สนใจการสูญเสียในสายส่ง, อัตราส่วนสองตัวนี้เหมือนกัน

ค่า SWR สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่ามิเตอร์ SWR. เนื่องจาก SWR ถูกกำหนดให้สัมพันธ์กับอิมพีแดนซ์ที่เป็นลักษณะเฉพาะของสายส่ง, มิเตอร์ SWR ต้องถูกสร้างสำหรับอิมพีแดนซ์นั้น นั่นคือในทางปฏิบัติสายส่งส่วนใหญ่ที่ใช้ในงานเหล่านี้จะเป็นสาย coaxial ที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 หรือ 75 โอห์ม

2.4.2 อัตราขยาย (Gain)⁶

อัตราขยายของสายอากาศหมายถึงความสามารถในการส่งหรือรับคลื่นของสายอากาศต้นแบบเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศมาตรฐาน โดยอัตราขยายของสายอากาศเป็นตัวกำหนดความเข้มการแพร่กระจายคลื่นที่ชี้ทิศทาง รวมไปถึงประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่น

ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบการติดต่อสื่อสารจำเป็นต้องใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission equation)⁷ สำหรับสมการการส่งผ่านของฟรีสจะเกี่ยวข้องกับกำลังงานภาครับไปถึงกำลังงานในการส่งผ่านระหว่างสายอากาศทั้งสอง ที่มีระยะห่างเป็น $R > 2D^2 / \lambda$ โดย



ภาพที่ 2.11 การส่งผ่านและการรับของระบบสายอากาศในช่องว่างอิสระจากสมการส่งผ่านฟรีส

ที่มา: Antenna Gain Measurement. (เข้าถึง 20 ธันวาคม 2561. จาก

www1.telecom.kmitl.ac.th/.../2935_lab5%20antenna%20gain%20measurement.pdf

⁶ Telecom.kmitl. (“n.d.”). Antenna Gain Measurement. สืบค้น 20 ธันวาคม 2561 จาก www1.telecom.kmitl.ac.th/.../2935_lab5%20antenna%20gain%20measurement.pdf

ที่ D เป็นขนาดที่ใหญ่ที่สุดของสายอากาศ แสดงดังภาพที่ 2.11 ซึ่งแสดงถึงการส่งผ่านของสายอากาศในช่องว่างอิสระ

$$\frac{P_r}{P_t} = e_t e_r \frac{\lambda^2 D_t(\theta_t, \phi_t) D_r(\theta_r, \phi_r)}{(4\pi R)^2} \quad (1)$$

e_t คือ ประสิทธิภาพรวมของสายอากาศด้านส่ง

e_r คือ ประสิทธิภาพรวมของสายอากาศด้านรับ

จากสมการที่ 1 เป็นการแสดงอัตราส่วนกำลังงานด้านรับต่อกำลังด้านส่งเมื่อกำหนดให้สายอากาศรับและสายอากาศส่งแมตซ์กับโหลดที่นำมาต่อ (ประสิทธิภาพการสะท้อนมีค่าเท่ากับ 1) และมีการโพลาไรซ์เดียวกัน (องค์ประกอบการสูญเสียโพลาไรซ์=1) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการพิจารณาถึงการสูญเสียที่เกิดจากการไม่แมตซ์ระหว่างสายอากาศกับโหลดที่นำมาต่อและการโพลาไรซ์ที่แตกต่างกัน จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2

$$\frac{P_r}{P_t} = e_t e_r (1 - |\Gamma_t|^2) e_r (1 - |\Gamma_r|^2) \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 D_t(\theta_t, \phi_t) D_r(\theta_r, \phi_r) |P_t \cdot P_r|^2 \quad (2)$$

จากสมการที่ 2 เมื่อสายอากาศวางในแนวเดียวกันและมีโพลาไรซ์เดียวกันจะสามารถแสดงได้ในสมการที่ 3

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 G_{0t} G_{0r} \quad (3)$$

หรือ

$$(G_{0t})_{dB} + (G_{0r})_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t}\right) \quad (4)$$

ถ้ากำหนดให้สายอากาศตัวส่งและตัวรับเหมือนกันจะได้ดังสมการที่ 5

$$(G_{0t})_{dB} = (G_{0r})_{dB} = 0.5 \left(20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t}\right) \right) \quad (5)$$

โดยที่	P_r	คือ	กำลังงานด้านรับ
	P_t	คือ	กำลังงานด้านส่ง
	$\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)$	คือ	การสูญเสียในช่องว่างอิสระ (Free-space loss)
	R	คือ	ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่ง
	G_{0t}	คือ	อัตราขยายของสายอากาศส่ง
	G_{0r}	คือ	อัตราขยายของสายอากาศรับ

2.5 ระบบ IPTV⁷

ความก้าวหน้าของการพัฒนาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตรอดแบนด์ได้ ส่งผลดีอย่างมากต่ออุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคม (Telecommunication) และอุตสาหกรรมการแพร่สัญญาณภาพและเสียง (Broadcast) เช่น วิทยุและโทรทัศน์ โดยปัจจุบันอยู่ในยุคของการหลอมรวมเทคโนโลยี (Convergence) ระหว่างโทรคมนาคมกับ อินเทอร์เน็ต และระหว่างการแพร่สัญญาณภาพและเสียงกับ อินเทอร์เน็ตด้วยรูปแบบการส่งสัญญาณโทรทัศน์ ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลและแปลงสัญญาณโทรทัศน์ ที่เดิมเคยอยู่ในระบบอนาล็อกให้เป็นระบบดิจิทัล แล้วส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยเทคโนโลยีไอพี (IP-Internet Protocol) ที่สามารถรองรับบริการการแพร่สัญญาณภาพและเสียงในรูปแบบมัลติมีเดีย (Multimedia) ได้เป็นอย่างดีทำให้รูปแบบของการรับชมโทรทัศน์เปลี่ยนแปลงไปและหลากหลายมากยิ่งขึ้น

การหลอมรวมของสื่อโทรคมนาคม อินเทอร์เน็ต และวิทยุโทรทัศน์เข้าด้วยกันนำมาซึ่งบริการรูปแบบใหม่ นั่นคือการให้บริการโทรศัพท์ อินเทอร์เน็ต และวิทยุโทรทัศน์บนเครือข่ายเดียวกัน ผู้ใช้บริการสามารถโทรศัพท์ ใช้อินเทอร์เน็ต และดูโทรทัศน์ไปพร้อมกันได้ ในเวลาเดียวกัน ซึ่งบริการนี้ได้รับความนิยมจากผู้ประกอบการโทรคมนาคมทั่วโลก เพราะเป็นช่องทางใหม่ในการขยายกิจการและสร้างรายได้ เพิ่มขึ้นจากการศึกษาได้พบว่าในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตมีรูปแบบบริการรับชมโทรทัศน์ อยู่หลายแบบและมีความคล้ายคลึงกันดังนี้

⁷ นิพนธ์ วัฒนรัตน์. (2552). กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการประกอบธุรกิจแพร่สัญญาณโทรทัศน์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โพรโตคอล, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชากฎหมายธุรกิจ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

1. Internet Television หรือที่รู้จักกันในชื่อ อินเทอร์เน็ตทีวี (Internet TV) หมายถึง “รายการโทรทัศน์ที่ส่งไปยังผู้รับชมผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยรูปแบบหลักสำหรับ Internet TV คือ Streaming Internet TV หรือการรับชมรายการโทรทัศน์ที่ส่งผ่านเว็บไซต์บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยการใช้ เทคโนโลยีสตรีมมิ่งนั่นเอง

สถานีโทรทัศน์นำรายการของตนออกเผยแพร่ (Broadcast) ทางอินเทอร์เน็ตเพื่อเพิ่มช่องทางในการเสนอรายการสู่ผู้บริโภค ผู้ชมสามารถรับชมรายการที่ออกอากาศไปทางฟรีทีวีแล้วย้อนหลังได้ ตัวอย่างฟรีทีวี ที่ ให้ บริการเช่น สถานีโทรทัศน์ช่องThaiPBS (<http://http://program.thaipbs.or.th/live>) เป็นต้น

ข้อแตกต่างระหว่างอินเทอร์เน็ตทีวีกับ IPTV คือการจัดการกับความกว้างของช่องสัญญาณ (Bandwidth) ให้มีประสิทธิภาพในการรับชมโดย IPTV ให้บริการแบบเป็นระบบปิด ใช้การส่งตรงถึงผู้รับเท่านั้นและเป็นบริการที่ต้องจ่ายหรือบอกรับเป็นสมาชิก (Pay TV) ภาพและเสียงที่ได้ รับจะมีคุณภาพดีเป็นพิเศษ ซึ่งได้รับการการรับรองคุณภาพโดยผู้ประกอบการ เนื่องจากผู้ให้บริการเป็นผู้ลงทุนในส่วนของโครงสร้างของโครงข่ายและเป็นผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิ ในเนื้อหารายการ (Content) รวมทั้งอุปกรณ์ที่จะติดตั้งให้ลูกค้า ส่วน Internet TV จะไม่มีการจัดการ Bandwidth และระบบจะเปิดอยู่เสมอเป็นสื่อสาธารณะที่ใครๆ ก็เข้าใช้ได้

2. Broadband TV ในวิกิพีเดีย ให้ความหมายไว้ ดังนี้ “เป็นการเข้าถึงเนื้อหาหรือรายการมัลติมีเดียผ่านทาง การเชื่อมต่อผ่านบรอดแบนด์ที่ยังไม่มีการจัดการ (unmanaged broadband connection) และสามารถรับชมเนื้อหารายการได้ ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์หรือบางครั้งอาจรับชมผ่านเครื่องรับ โทรทัศน์ทั่วไปก็ได้ด้วย บรอดแบนด์ทีวี มีลักษณะเหมือนกับอินเทอร์เน็ตทีวีในลักษณะการเข้าถึง TV video stream ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตบรอดแบนด์ที่ใช้งานได้ทั่วไป บรอดแบนด์ทีวีเป็นระบบเปิดซึ่งแตกต่างจาก IPTV ที่เป็นระบบปิดและออกแบบมาเพื่อใช้กับการส่งรายการที่ต้องเสียค่าใช้จ่าย โดยภาพและเสียงที่ได้ รับจะมีคุณภาพดีเป็นพิเศษ เนื่องจากผู้ให้บริการเป็นผู้ลงทุนในส่วนของโครงสร้างของโครงข่ายนั้นเป็นผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิในเนื้อหารายการ (Content) เอง รวมทั้งอุปกรณ์ที่จะติดตั้งให้ ลูกค้า ”

2.5.1 ความหมายของ IPTV

ก่อนที่จะพิจารณาความหมายของ IPTV นั้นในเบื้องต้น จำเป็นต้องทำความเข้าใจกับคำว่า IP หรือ Internet Protocol เสียก่อน กล่าวคือ ในการใช้งานเครือข่ายคอมพิวเตอร์ทั่วไปหรือในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตก็ตาม จะมีการส่งผ่านข้อมูลไปมาระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ภายในเครือข่ายหรือข้ามเครือข่ายออกไป ระบบคอมพิวเตอร์ ที่เชื่อมต่ออยู่ในแต่ละเครือข่ายอาจจะใช้ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ที่เหมือนกันหรือแตกต่างกัน ดังนั้นการที่จะส่งข้อมูลถึงกันและตีความได้

อย่างถูกต้องตรงกันจะต้องทำข้อกำหนดร่วมกันในการสื่อสารเสียก่อน เรียกว่าจะต้องกำหนดระเบียบวิธีในการติดต่อให้ตรงกัน เปรียบเสมือนกับการสื่อสารกันของมนุษย์เรา ถ้าเราต้องการจะติดต่อกับผู้คนต่างเชื้อชาติต่างภาษาให้ เข้าใจได้ถูกต้องตรงกัน ก็จะต้องตกลงกันเสียก่อนว่าจะติดต่อกันอย่างไร ด้วยภาษาใด ถึงจะเข้าใจกันได้ เช่น ปัจจุบันภาษาอังกฤษถูกใช้เป็นภาษากลางในการติดต่อมาก ทำให้เราพูดได้ว่าภาษาอังกฤษเป็นโปรโตคอลในการสื่อสารของมนุษย์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่นเดียวกันกับโปรโตคอล TCP/IP เป็นโปรโตคอลหลักที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

จากที่กล่าวมาแล้วพอจะสรุปได้ว่า โปรโตคอล (Protocol) คือ ระเบียบวิธีที่กำหนดขึ้นสำหรับสื่อสารข้อมูล โดยสามารถส่งผ่านข้อมูล ไปยังปลายทางได้อย่างถูกต้อง ในปัจจุบันโปรโตคอลในการสื่อสารข้อมูลก็มีอยู่หลายโปรโตคอลนอกเหนือจาก TCP/IP คล้ายกับภาษาต่างๆ ในโลกนี้ที่นอกจากภาษาอังกฤษแล้วยังมี ภาษาจีน ญี่ปุ่น ฝรั่งเศส เยอรมัน และอื่นๆอีกมากมาย ในด้านของโปรโตคอลสื่อสารข้อมูลก็เช่นกัน ได้ มีการออกแบบโปรโตคอลอื่นๆ ขึ้นมาใช้งานอีกมาก เช่น โปรโตคอล IPX/SPX, โปรโตคอล NetBEUI และ โปรโตคอล AppleTalk เป็นต้น

เมื่อพิจารณาความหมายของ คำว่า IP แล้ว การให้บริการ IPTV บริการที่ทำให้ผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงสามารถดูรายการประเภทมัลติมีเดียทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นรายการวิทยุ รายการโทรทัศน์ ภาพยนตร์วีดิทัศน์ (Video Movie) ได้ตามความต้องการผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นการประยุกต์โดยการเอาเทคโนโลยีด้านโทรทัศน์ ซึ่งเป็นการแพร่สัญญาณภาพและเสียงผ่านทางคลื่นความถี่มาใช้งาน โดยผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ใช้อินเทอร์เน็ตโปรโตคอล (IP)

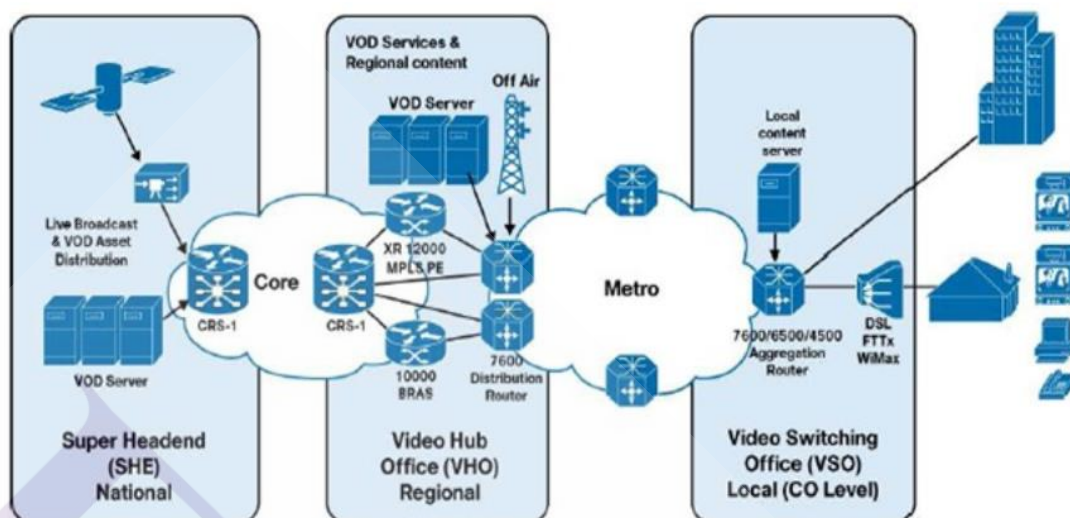
IPTV หรือจะเรียกว่า Internet Protocol Television ก็แล้วแต่เป็นการแพร่ภาพโทรทัศน์คุณภาพสูง หรือวิดีโอตามความต้องการ (On-demand video) และเสียงผ่านเครือข่ายบรอดแบนด์ IPTV เป็นการส่งรายการโทรทัศน์ ภาพยนตร์ VOD ผ่านเครือข่ายแบบปิด หากมองในมุมมองของผู้ใช้บริการหรือผู้บริโภค IPTV เป็นบริการดูโทรทัศน์ที่ต้องเสียค่าบริการ หรือค่าธรรมเนียมในการรับชม โดยบริการ IPTV ได้ รับการนิยามอย่างเป็นทางการจากการสัมมนา ITU-T Focus Group ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือ ITU (The International Telecommunication Union) ว่า IPTV หมายถึง บริการมัลติมีเดีย เช่น การดูโทรทัศน์ วิดีโอ การให้บริการเกี่ยวกับ เสียง (audio) ข้อความ (text) ภาพกราฟฟิก (graphic) ข้อมูล (data) ส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โปรโตคอลมีระบบการจัดการเพื่อควบคุมคุณภาพการให้บริการ (quality of service) และเป็นการให้ประสบการณ์ (experience) แก่ผู้ใช้บริการ มีระบบป้องกันความปลอดภัยของข้อมูล (security) มีการให้บริการแบบอินเทอร์เน็ตแอ็คทีฟและเป็นระบบที่เชื่อถือได้ (reliability)

เมื่อพิจารณาจากนิยามของ ITU จะเห็นว่าเป็นการกำหนดความหมายจากลักษณะความสามารถในการให้บริการต่างๆที่ IPTV ให้ บริการไว้อย่างกว้างๆ อาจกล่าวได้ ว่าการนิยามยังไม่มีขอบเขตชัดเจนมากนัก แต่จากการศึกษาค้นคว้า พอจะพิจารณาให้เห็นได้ว่า เมื่อกล่าวถึง IPTV ว่าหมายถึงอะไรต้องพิจารณาประกอบกับสิ่งอื่นๆ ด้วย เช่น หากกล่าวถึงในทางเทคนิค เทคโนโลยีการรับชมรายการโทรทัศน์ผ่านเครือข่าย IP นั้น ความหมายนั้นสามารถครอบคลุมไปถึงการรับชมอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีความสามารถในการรับข้อมูลผ่านเครือข่าย IP ไม่ว่าจะเป็นกล่องรับสัญญาณ IPTV STB เครื่องคอมพิวเตอร์ (PC), โน้ตบุ๊ก (Notebook) หรือ โทรศัพท์มือถือ ก็ตาม ซึ่งในอนาคตอาจจะมีอุปกรณ์ที่รองรับเทคโนโลยี IP ได้ อีกมากมาย แต่หากจะกล่าวถึง ธุรกิจ การชมโทรทัศน์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ใช้ชื่อว่า “IPTV” ในปัจจุบันนั้น จะใช้ในความหมายที่เป็นารรับชมผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์, กล่องรับสัญญาณ IPTV STB ต่อเข้ากับจอโทรทัศน์ หรืออุปกรณ์โมบายต่างๆ โดยมีระบบการจัดการ และนิยมใช้ผ่านโครงข่าย FTTx หรือ อินเทอร์เน็ตของผู้ให้บริการโทรศัพท์ในการรับส่งสัญญาณ

ระบบโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต มีโครงสร้างการทำงานโดยสังเขป ดังนี้ เมื่อลูกค้าเปิด STB เพื่อรับชมระบบส่งสัญญาณภาพผ่านทางโครงข่ายอินเทอร์เน็ต เนื้อหา (Content) ของบริการ IPTV มี 2 แบบ คือ ช่องที่แพร่ภาพแบบสดหรือ Live broadcasting และวิดีโอตามสั่ง หรือ VDO

ในรูปแบบของรายการสด (Live broadcasting) จะมีการรับภาพจากผู้ผลิตรายการผ่านทาง การสื่อสารผ่านดาวเทียม ผ่านอุปกรณ์เครื่องรับที่เรียกว่า Integrated Receiver Decoder หรือ IRD จากนั้นจะส่งสัญญาณภาพที่เป็นรูปแบบดิจิทัลไปยังอุปกรณ์เข้ารหัสหรือ Encoder เพื่อทำการปรับรูปแบบของภาพและเสียงให้เหมาะสมกับระบบ IPTV

ในส่วนของ VDO มีลักษณะคล้ายกัน เพียงแต่ Content ที่ได้มานั้นเป็นรูปแบบไฟล์ VDO หรืออาจส่งเป็นไฟล์ผ่าน FTP Server จากนั้นเราจะได้ไฟล์รูปแบบที่เหมาะสมแล้วจะส่งผ่าน Core Network เพื่อส่งไปเก็บไว้ที่ VDO Server หลังจากนั้นระบบ IPTV จะทำการจัดการไฟล์เข้าสู่ระบบต่าง ๆ เช่น การจัดช่อง ผังรายการ การรับชมย้อนหลัง รวมไปถึงการตรวจสอบสิทธิการใช้งานของผู้ใช้งาน และรวมไปถึงการสร้างระบบเพื่อรองรับการใช้งานหลายอุปกรณ์ เป็นต้นดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ภาพโครงสร้างของระบบ IPTV

ที่มา: IPTV Introduction(เข้าถึง 1 ต.ค. 2561. จาก: <https://slideplayer.com/slide/5959667/>)

ระบบ IPTV จะส่ง Content ผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ไปยังบ้านลูกค้าโดยผ่าน IP Network ผ่าน Local Content Server หรือ Content Delivery Node จากนั้นจะส่งผ่าน Aggregation Router ผ่าน MSAN หรือ DSLAM ผ่านตู้โมเด็มลูกค้า จากนั้นก็จะถึง STB และไปแสดงภาพบนเครื่องรับโทรทัศน์ลูกค้าต่อไป

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 Performance comparison of square shaped and annular ring microstrip patch antenna⁸

ในบทความนี้จะกล่าวถึงกระบวนการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับเสาอากาศไมโครสตริปซึ่งจะมีขนาดเล็กและมีแผ่นโลหะที่จะถูกวางไว้บนพื้นผิวฉนวน ซึ่งประกอบด้วยวัสดุอิเล็กทรอนิกส์สำหรับสร้างระนาบพื้นผิวด้านใดก็ได้ที่เราต้องการ จากนั้นจะใช้ชั้นโลหะที่มีความต่อเนื่องและติดด้วยวัสดุพื้นผิว สายอากาศไมโครสตริปที่ออกแบบ มีหลายรูปร่าง เช่นสี่เหลี่ยม, วงกลม, วงรีและ

⁸ Pradeep Kumar Sharma; Ritesh Saraswat; Nabhendra Rai. (2017). Performance comparison of square shaped and annular ring microstrip patch antenna, Department of Electronics & Communication Engineering, JIET

วงแหวนซึ่งเป็นรูปทรงทั่วไป ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาผลกระทบของขนาดเสาอากาศ ซึ่งรวมถึงความยาวเสาอากาศและค่าคงที่ไดอิเล็กตริก บทบาทสำคัญในขณะที่ยกยอการแผ่รังสีเกี่ยวข้องกับแบนด์วิดท์และการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) สำหรับวัตถุประสงค์ การวิจัยนี้ มีการใช้ซอฟต์แวร์ CST สำหรับออกแบบความถี่ 2-4 GHz ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นแบนด์ S ซึ่งใช้ในแอปพลิเคชันต่างๆ เช่น ดาวเทียม WiFi, บลูทูธ, โทรศัพท์มือถือ หรืออุปกรณ์อื่นๆ วิธีการ ที่นำเสนอถูกนำไปใช้กับเสาอากาศ Microstrip แบบสี่เหลี่ยมและเสาอากาศ microtrap แบบวง แหวนและข้อสรุปได้ว่าในความถี่ที่ทดสอบ ซึ่งทั้งคู่ปรับสายอากาศแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็น ว่า ลักษณะสายอากาศที่จำลองเช่นเดียวกับในทางปฏิบัติ

จากผลลัพธ์งานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า

1. ผลกระทบของรูปร่างต่อการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) ขึ้นอยู่กับค่าที่เราได้รับ สำหรับการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) ซึ่งเป็น -27.26507 dB สำหรับสายอากาศไมโครสตริป รูปสี่เหลี่ยม และ -24.27 dB สำหรับสายอากาศไมโครสตริปรูปวงแหวน

2. ผลกระทบของรูปร่างต่อแบนด์วิดท์สายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมมีแบนด์วิดท์ สูงขึ้นกว่าสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวน ผลการปฏิบัติยังแสดงให้เห็นว่ารูปสายอากาศ รูปทรงสี่เหลี่ยมมีแบนด์วิดท์สูงกว่าสายอากาศไมโครสตริป รูปทรงวงแหวนดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลการวัดค่าประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริป 2 รูปแบบจากงานวิจัยที่ 2.4.1

Representing the Values	Square Shaped	Ring Shaped
S11	-17.78325461 dB	-15.84948534 dB
Bandwidth	0.156210 GHz	0.131245 GHz

2.6.2 Design Comparison of Square and Circular Dual Band Microstrip Antenn⁹

งานวิจัยชิ้นนี้อธิบายการออกแบบเสาอากาศไมโครสตริปแบบ 2 ย่านความถี่ โดยใช้ เทคนิคการขยายสเกล หรือการเอาเสาอากาศที่ออกแบบไว้มาต่อเป็นชุดๆ โดยมีรูปทรงในวิจัย 2 รูปทรงคือ ทรงสี่เหลี่ยมและวงกลม เสาอากาศถูกออกแบบมาให้ทำงานในย่าน ISM ที่ 2.4 GHz และ UNII ที่ต่ำกว่าที่ 5.2 GHz ขนาดของแต่ละองค์ประกอบของไมโครสตริป สายอากาศที่ความถี่

⁹ Azhari Asrokin ; Anas Abas ; Mohd Kamal Abd Rahim. (2008). Design comparison of square and circular dual band microstrip antenna, International Conference on Electronic Design

ปฏิบัติการเหล่านี้ถูกคำนวณใช้รูปแบบสายส่ง 2 ย่านความถี่ องค์ประกอบของค่าพารามิเตอร์ที่ใส่เข้าไปใช้สำหรับจำลองการทำงานในแต่ละย่านความถี่ของสายอากาศนั้น ทำการจำลองทำโดยใช้ซอฟต์แวร์ Agilent Advanced ระบบการออกแบบ ใช้อัตราส่วนการปรับขนาดที่ 1.05 เท่านั้นถูกเลือกสำหรับการออกแบบครั้งนี้ โดยเริ่มจากการสะท้อนที่ต่ำที่สุดความถี่ของแต่ละสายอากาศ ได้พัฒนาบนบอร์ดไมโครสตริป ที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริก FR4 ที่มีค่า 4.4 ใช้เทคนิคการกัดแบบเปียก หลังจากการพัฒนาพบสามารถทำงานด้วยแบนด์วิดท์และการแพร่กระจายคลื่นที่เพียงพอลักษณะตามที่ได้ออกแบบไว้

จากผลลัพธ์งานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า

ประสิทธิภาพการทำงานของไมโครสตริปแบบ 2 ย่านความถี่นี้ โดยผู้วิจัยทำการบันทึกผลเป็นระยะ จากความถี่ต่ำสุดถึงความถี่สูงสุด พบว่า สายอากาศที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมแล้วแสดงผลที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับรูปทรงวงกลมดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลการวัดค่าประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริป 2 รูปแบบจากงานวิจัยที่ 2.4.2

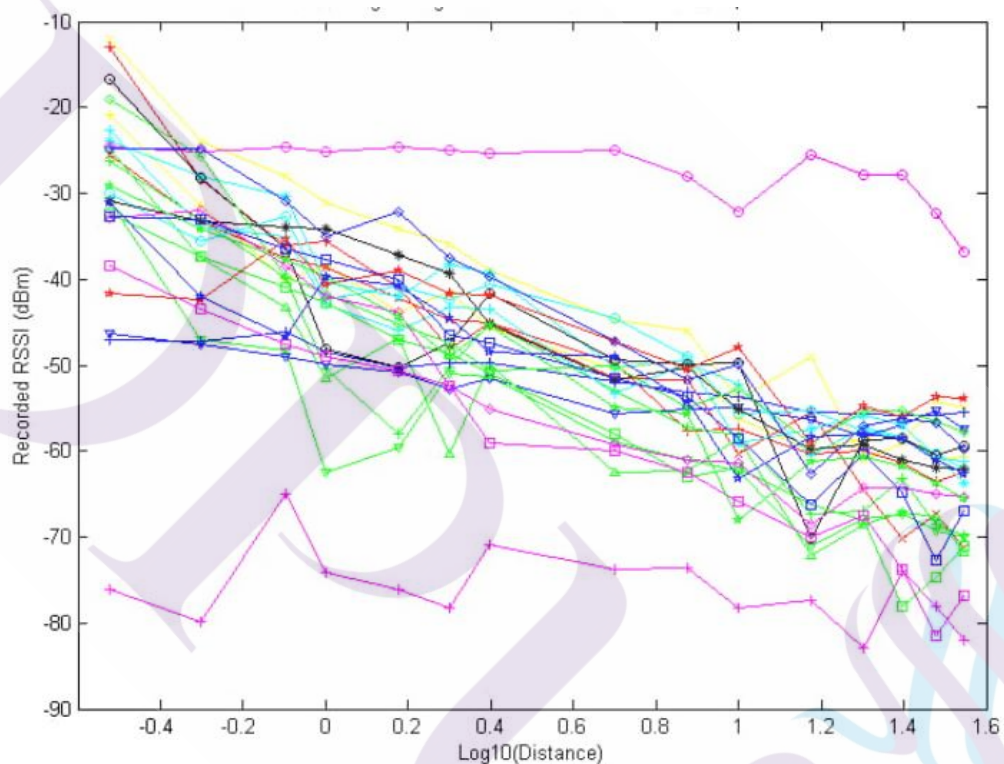
Frequency Gain response	Square Shaped	Cycle Shaped
2.44 GHz	21	19
5.2 GHz	4	4

2.6.3 Differences in RSSI Readings Made by Different WiFi Chipsets: A Limitation of WLAN Localization¹⁰

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการวัดสัญญาณ โดยกล่าวถึงการวางตำแหน่ง WiFi พบว่าเป็นที่นิยมมากในสภาพแวดล้อมสำหรับวิธีการค้นหาตำแหน่ง GPS โดยการใส่ค่าระดับบ่งชี้ของความแรงของคลื่นความถี่วิทยุที่วัดที่ตัวรับ (RSSI : Received Signal Strength Indicator) WiFi เป็นค่าอ้างอิงในการคำนวณหาตำแหน่ง แต่จากงานวิจัยนี้พบว่า ค่าความแรงของสัญญาณ WiFi จาก Access point ที่ได้รับในแต่ละอุปกรณ์ มีค่าแตกต่างกันอย่างมาก ถึงแม้จะรับมาจาก Access point ตัวเดียวกัน อันเนื่องมาจาก ชิปแต่ละตัวมีคุณลักษณะที่ต่างกัน เช่น อัตราขยายในภาครับ การชดเชย

¹⁰ Gough Lui ; Thomas Gallagher ; Binghao Li ; Andrew G. Dempster ; Chris Rizos. (2011). Differences in RSSI Readings Made by Different WiFi Chipsets: A Limitation of WLAN Localization, University of New South Wales, Sydney, Australia

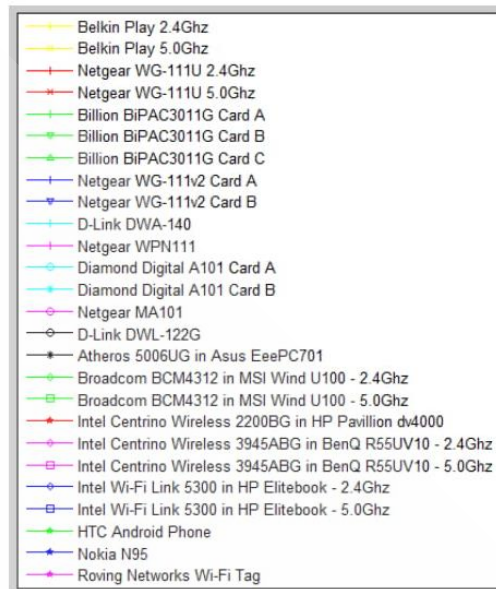
สัญญาณและอื่นๆ ทำให้ค่าความแรงของสัญญาณ WiFi ในแต่ละอุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณได้มีความแตกต่างกันอย่างมาก รวมไปถึงอุปกรณ์ที่เป็นยี่ห้อเดียวกัน ยังได้ค่าที่แตกต่างกัน ในการวิจัยครั้งนี้ใช้อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลมากถึง 17 อุปกรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 2.13 และ ภาพที่ 2.14 และพบว่ามีความแตกต่างของค่าความแรงของสัญญาณ WiFi อย่างมาก โดยผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองในสภาวะแวดล้อมต่างๆกัน หลายรูปแบบทั้งสภาวะแวดล้อมภายนอกอาคาร และสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยเฉพาะภายนอกอาคารนั้น จะมีสัญญาณหลากหลายรูปแบบ ทั้งการ



ภาพที่ 2.13 แสดงถึงความแตกต่างกันของค่า RSSI ที่ชิพ WiFi แต่ละตัวรับสัญญาณได้

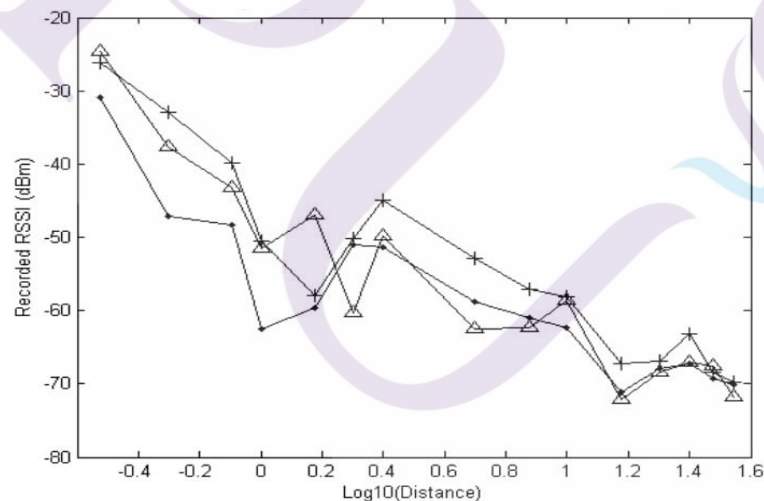
ที่มา: Gough Lui ; Thomas Gallagher ; Binghao Li ; Andrew G. Dempster ; Chris Rizos. (2011).

Differences in RSSI Readings Made by Different WiFi Chipsets: A Limitation of WLAN Localization, University of New South Wales, Sydney, Australia



ภาพที่ 2.14 แสดงสัญลักษณ์ของอุปกรณ์เครือข่ายต่างๆที่ใช้อ่านค่า RSSI

ที่มา: Gough Lui ; et al.. (2011). Differences in RSSI Readings Made by Different WiFi Chipsets:
A Limitation of WLAN Localization, University of New South Wales, Sydney, Australia



ภาพที่ 2.15 แสดงถึงความแตกต่างกันของค่า RSSI ที่ชิพ WiFi ี่ห้อ Billion รับสัญญาณได้

ที่มา: Gough Lui ; et al.. (2011). Differences in RSSI Readings Made by Different WiFi Chipsets:
A Limitation of WLAN Localization, University of New South Wales, Sydney, Australia

สะท้อนของสัญญาณจากผนัง และ การที่มีสัญญาณจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณ WiFi ใกล้เคียงอันส่งผลต่อค่าของ RSSI

จากผลลัพธ์งานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า

ค่าระดับบ่งชี้ของความแรงของคลื่นความถี่วิทยุที่วัดที่ตัวรับ (RSSI : Received Signal Strength Indicator) ของ WiFi นั้นไม่สามารถอ้างอิงกับอัตราขยายของสายอากาศได้ เนื่องจากงานวิจัยชิ้นนี้แสดงให้เห็นว่า ในการวัดสัญญาณ RSSI ที่ตำแหน่งเดียวกัน อุปกรณ์ต่างตู้หือหรือแม้แต่ตู้หือเดียวกัน ดังภาพที่ 2.15 ก็ยังแสดงค่า RSSI ที่รับมีระดับที่แตกต่างกันมากคือระหว่างช่วง -13 dBm ถึง -82 dBm ซึ่งมีค่าแตกต่างกันถึงประมาณ 70 dB



บทที่ 3

การออกแบบและการพัฒนาสายอากาศ

งานวิจัยนี้จะพัฒนาและออกแบบสายอากาศไมโครสตริป ย่านความถี่ 2.4 GHz เพื่อปรับปรุงคุณภาพการรับชมที่มักเกิดปัญหาการหมุนโหลด (หมุนโหลด) จากสายอากาศเดิมที่ติดมากับกล่องรับสัญญาณ หรือ Set-Top Box (STB) โทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต (IPTV) ยี่ห้อ Geniatech รุ่น MPA 108 ซึ่งผู้ชมมักพบปัญหาการรับชมที่ขาดช่วงหรือหมุนโหลดบ่อยครั้ง เมื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย หรือ WiFi และมีระยะห่างจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สาย หรือ Access point มีระยะห่างประมาณ 4 เมตรขึ้นไป จนถึง 8 เมตร ในขณะเดียวกันถ้าผู้ชมทำการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วยสาย LAN ผู้ชมจะพบปัญหาดังกล่าวน้อยมากหรือแทบไม่พบเลย

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงตั้งสมมุติฐานว่า ปัญหา น่าจะเกิดจากการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วย WiFi เพราะถ้า STB อยู่ใกล้ Access point มากๆ ก็จะพบปัญหานี้น้อยเช่นกัน ทางผู้วิจัยจึงจะทำการออกแบบสายอากาศที่มีอัตราขยายเพิ่มขึ้น บนสมมุติฐานว่า เมื่อสายอากาศมีอัตราขยายสูงจะสามารถลดปัญหาหมุนโหลดได้

3.1 วิธีการเก็บข้อมูล

3.1.1 ศึกษาการทำงานของระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สาย

ทำการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ของระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สายแล้วนำเอาทฤษฎีที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่น่าเสนอ

3.1.2 ศึกษาการทำงานของระบบโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต

ทำการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ของระบบโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตแล้วนำเอาความรู้ดังกล่าวมาออกแบบระบบทดสอบกับงานวิจัยที่น่าเสนอ

3.1.3 ศึกษาหลักการทำงานของระบบสายอากาศไมโครสตริป

ทำการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ของสายอากาศไมโครสตริป แล้วนำเอาทฤษฎีที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่น่าเสนอ

3.1.4 ศึกษาซอฟต์แวร์ที่ใช้จำลองการสร้างสายอากาศไมโครสตริป

ทำการศึกษาซอฟต์แวร์ที่ใช้จำลองการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่เหมาะสมและครบถ้วน เป็นไปตามสมมุติฐานกับงานวิจัยที่นำเสนอ

3.1.5 ศึกษาการสร้างต้นแบบสายอากาศด้วยโปรแกรมออกแบบ

ทำการศึกษาการสร้างต้นแบบสายอากาศต้นแบบด้วยโปรแกรมออกแบบสายอากาศเพื่อเป็นต้นแบบในการสร้างสายอากาศจริง

3.1.6 ศึกษาวิธีการสร้างชิ้นงานสายอากาศ

ทำการศึกษาการสร้างชิ้นงานสายอากาศ เพื่อให้ได้ชิ้นงานสายอากาศตามรูปแบบที่ได้จากโปรแกรมจำลอง

3.1.7 ออกแบบระบบที่ใช้ทดสอบ

ทำการออกแบบระบบการทดสอบ เพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าสายอากาศที่เราออกแบบนั้นสามารถปรับปรุงคุณภาพการรับชม IPTV เพื่อลดปัญหา หมุนโหลด ได้อย่างแท้จริง

3.1.8 นำชิ้นงานไปทดสอบและใช้งาน

นำชิ้นงานที่ออกแบบและได้สร้างเสร็จแล้ว ไปประกอบเข้ากับ STB เพื่อทำการทดสอบในสภาวะแวดล้อมที่กำหนด เพื่อดูผลว่าชิ้นงานนั้นทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่

3.1.9 วิเคราะห์และสรุปผล

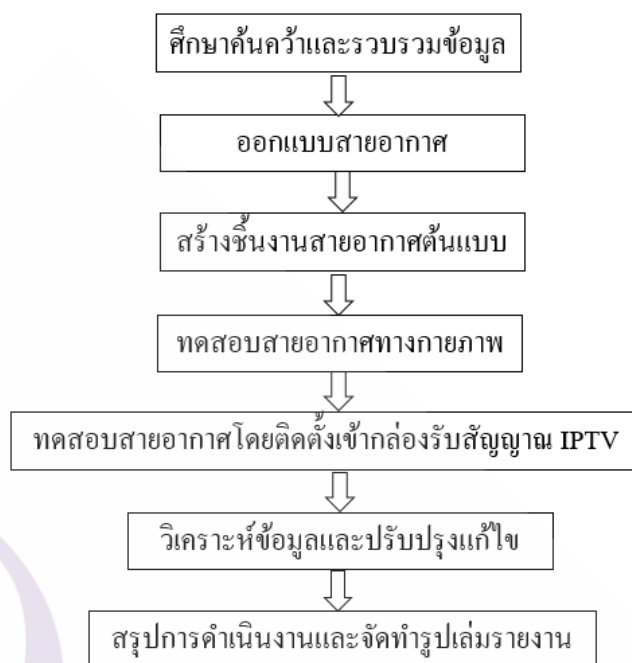
หลังจากทำการติดตั้งชิ้นงานสายอากาศเข้ากับ STB แล้ว นำข้อมูลที่ได้จากทดลองมา รวบรวม วิเคราะห์เพื่อหาจุดด้อยของชิ้นงานว่าการปรับปรุงจุดไหนหรือไม่ เพื่อให้ได้ชิ้นงานสายอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

3.1.10 รวบรวมข้อมูลที่ได้จัดทำสารนิพนธ์

ทำการรวบรวมข้อมูลจากการทดลอง วิเคราะห์ สรุปผล ทั้งหมดเพื่อจัดทำสารนิพนธ์

3.2 วิธีการขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน ผู้วิจัยจะเริ่มต้นด้วยการศึกษา รวบรวมข้อมูล และทฤษฎีต่าง ๆ เพื่อหาข้อมูลมาออกแบบและสร้างสายอากาศต้นแบบ จากนั้นทำการทดสอบออกแบบโดยใช้โปรแกรมจำลอง การทำงานของสายอากาศ โดยผู้วิจัยเลือกโปรแกรม Ansoft HFSS version 13.0 เพื่อดำเนินการจำลองการทำงานของสายอากาศต้นแบบ หลังจากได้ผลการจำลองการทำงานแล้วก็จะนำรูปแบบของสายอากาศที่ได้ ไปทำการวาดสร้างต้นแบบของสายอากาศ เพื่อให้ได้ความถูกต้องของขนาดให้เป็นไปตามโปรแกรมจำลองการทำงาน แล้วจึงเลือกวัสดุที่ต้องการสร้างต้นแบบตามที่ป้อนข้อมูลในโปรแกรมจำลอง



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

สร้างต้นแบบสายอากาศไมโครสตริป เมื่อเสร็จแล้วนำไปติดตั้งในกล่อง STB แล้วทำการทดสอบ บันทึกผลที่ได้ แล้วนำผลมาวิเคราะห์ข้อมูล และทำการแก้ไขให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดตามขอบเขตการวิจัย เมื่อเรียบร้อยแล้วทำการสรุปผลการดำเนินงาน และทำการจัดทำรูปเล่มสารนิพนธ์ ดังภาพที่ 3.1

3.3 วัสดุอุปกรณ์

3.3.1 Hardware

3.3.1.1 Router + Access Point รุ่น HG8247H ที่ออกอากาศย่าน 2.4 GHz ตั้งค่าเป็น 802.11g มีความเร็วอินเทอร์เน็ตไม่ต่ำกว่า 20 Mbps

3.3.1.2 กล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต ยี่ห้อ GENIATECH รุ่นMPA108

3.3.1.3 เครื่องรับโทรทัศน์สี หรือ จอมอนิเตอร์

3.3.1.4 Network Analyzer HP รุ่น HP8753E

3.3.2 Software

3.3.2.1 Application WiFi Analyzer

3.3.2.2 Avago AppCAD สำหรับคำนวณความต้านทานของสายอากาศ

3.3.2.3 Ansoft HFSS 13.0 สำหรับออกแบบสายอากาศ

3.3.2.4 EDA Easy สำหรับออกแบบรูปร่างสายอากาศต้นแบบ

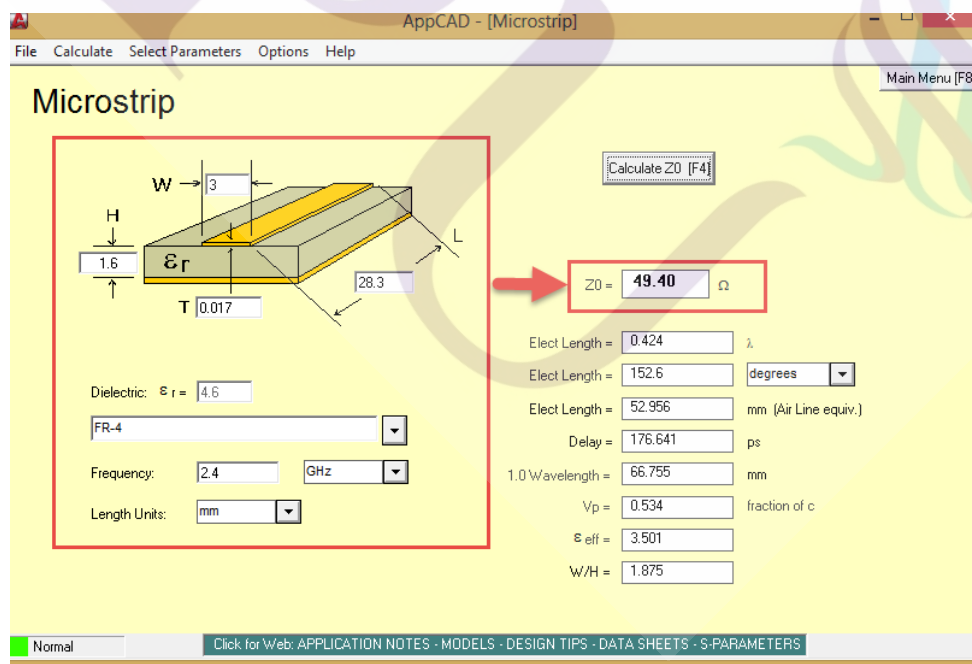
3.4 การคำนวณขนาดของสายอากาศไมโครสตริป

3.4.1 โปรแกรมสำหรับออกแบบสายอากาศไมโครสตริป

ในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้เครื่องมือในการออกแบบ ทั้งในส่วนของการออกแบบสายอากาศเอง และในส่วนของการคำนวณความต้านทานของสายอากาศ รวมไปถึงโปรแกรมสำหรับวาดรูปแบบของแผ่นทองแดง สำหรับเป็นแบบของแผ่นตัวนำสายอากาศ ดังต่อไปนี้

3.4.2 Avago AppCAD software

Avago AppCAD ซอฟต์แวร์หรือ AppCAD เป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อการใช้งาน เป็นชุดเครื่องมือออกแบบทางด้าน Radio Frequency หรือ RF โดยเฉพาะโปรแกรม AppCAD ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แสดงการใช้งานโปรแกรม AppCAD คำนวณอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริป

เป็นแอปพลิเคชันเพื่อให้งานออกแบบด้านงานไร้สายได้เร็วและง่ายขึ้น วิธีการแบบโต้ตอบที่เป็นเอกลักษณ์ของ AppCAD ช่วยให้การคำนวณทางวิศวกรรมทำได้ง่ายและรวดเร็วสำหรับแอปพลิเคชัน RF, ไมโครเวฟและไร้สายจำนวนมากได้ AppCAD เป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบและวิเคราะห์วงจรสัญญาณและระบบต่างๆ โดยใช้ผลิตภัณฑ์จากทรานซิสเตอร์และไดโอดแบบไม่ต่อเนื่องไปยังวงจรรวมและรวมไปถึงการคำนวณอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่เราจะออกแบบดังแสดงในภาพที่ 3.2

3.4.3 Microstrip Patch Antenna Calculator

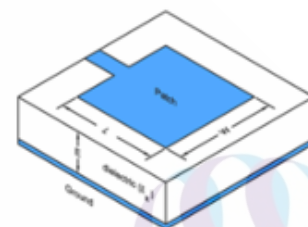
ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สายอากาศไมโครสตริปเป็นที่นิยมมากในกลุ่มนักทดลองและนักศึกษา จึงมีผู้คิดการคำนวณสายอากาศไมโครสตริปบนหน้าเว็บไซต์มากมาย ทำให้การออกแบบสะดวกมาก จึงจะขอยกตัวอย่างมา 1 ที่คือ Microstrip Patch Antenna Calculator ของเว็บไซต์ www.pasternack.com ดังภาพที่ 3.3 ซึ่งเป็นการคำนวณโดยประมาณเท่านั้น

Dielectric Constant	4.4	
Dielectric Height:	1.6	Millimeters
Operation Frequency:	2.4	GHz

Calculate

Result:

Width: 38.01 mm
Length: 29.42 mm



ภาพที่ 3.3 แสดงการใช้งาน Microstrip Patch Antenna Calculator

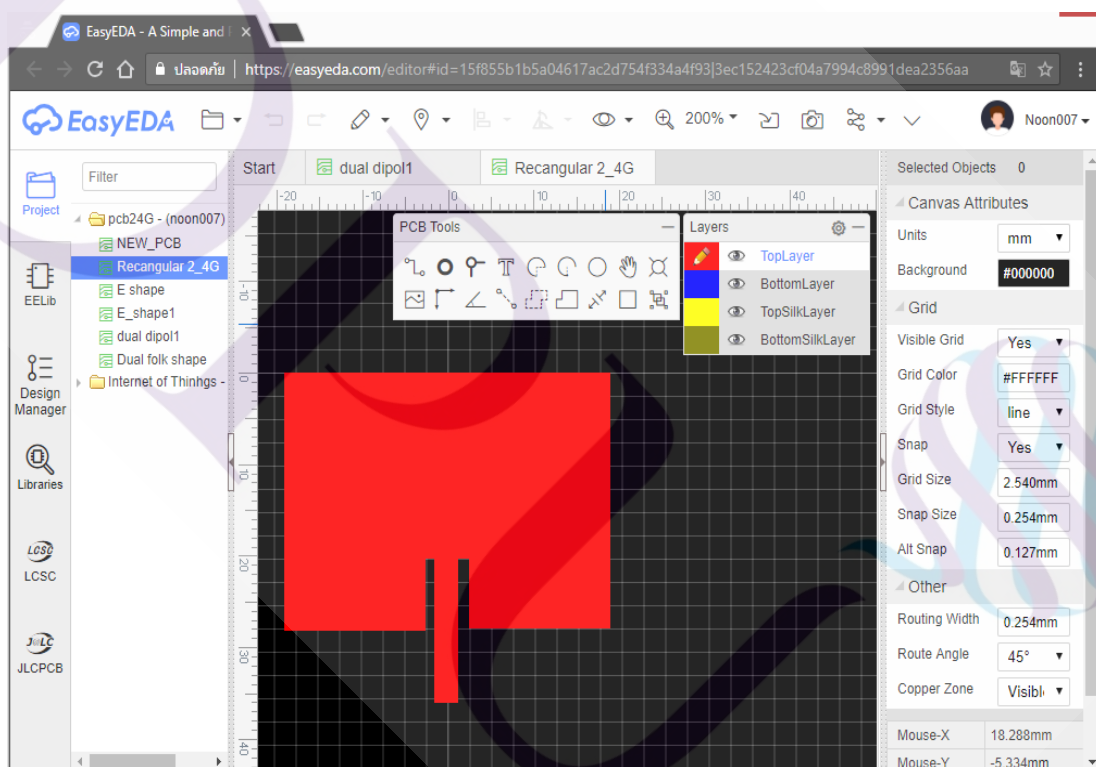
ที่มา : Microstrip Patch Antenna Calculator (เข้าถึง 22 ตุลาคม 2561. จาก

<https://www.pasternack.com/t-calculator-microstrip-ant.aspx>

ผู้วิจัยใช้การคำนวณด้วยวิธีการคำนวณผ่านอินเทอร์เน็ต จากเว็บไซต์ตัวอย่างดังภาพที่ 3.3 ซึ่งเมื่อป้อนข้อมูลที่จำเป็นเบื้องต้น เช่น ความถี่ที่ต้องการในที่นี้ คือ 2.4 GHz ต่อไปคือความสูงของแผ่นกราวด์และแผ่นตัวนำในที่นี้ คือ 1.6 มิลลิเมตร สุดท้ายคือ สัมประสิทธิ์ตัวนำไดอิเล็กทริก ในที่นี้คือ 4.4 ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแผ่นอิพอกซี ที่กั้นระหว่างแผ่นกราวด์กับแผ่นตัวนำนั่นเอง เมื่อป้อนค่าที่จำเป็นครบถ้วน ระบบจะแสดงค่าโดยประมาณมาให้

3.4.4 โปรแกรมสำหรับออกแบบแผ่นตัวนำสายอากาศ EasyEDA

โปรแกรม EasyEDA เป็นซอฟต์แวร์ฟรีสำหรับออกแบบแผ่นวงจรรวมเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับผลิตแผ่นพีซีบี ผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์การใช้งานของซอฟต์แวร์นี้ เพื่อใช้เป็นต้นแบบสำหรับพัฒนาสายอากาศไมโครสตริป ซอฟต์แวร์นี้ไม่ต้องติดตั้งก่อนใช้งาน ซอฟต์แวร์นี้ทำงานบนระบบคลาวด์ และมันถูกออกแบบมาเพื่อสร้างประสบการณ์การใช้งาน EDA ที่ง่ายขึ้นสำหรับ วิศวกรไฟฟ้า ผู้สอน นักเรียนวิศวกรรม และผู้ทำงานอิเล็กทรอนิกส์เป็นงานอดิเรก ง่ายสำหรับการออกแบบวงจร จำลองการทำงาน และออกแบบ PCB โดยที่ตัวโปรแกรมรันอยู่บนเว็บเบราว์เซอร์ จึงนับว่าซอฟต์แวร์นี้เป็นประโยชน์ต่อนักวิจัยโดยทั่วไปอย่างมาก เพราะเป็นซอฟต์แวร์ที่ไม่ต้องซื้อและสะดวกต่อการใช้งานมาก ดังแสดงในภาพที่ 3.4



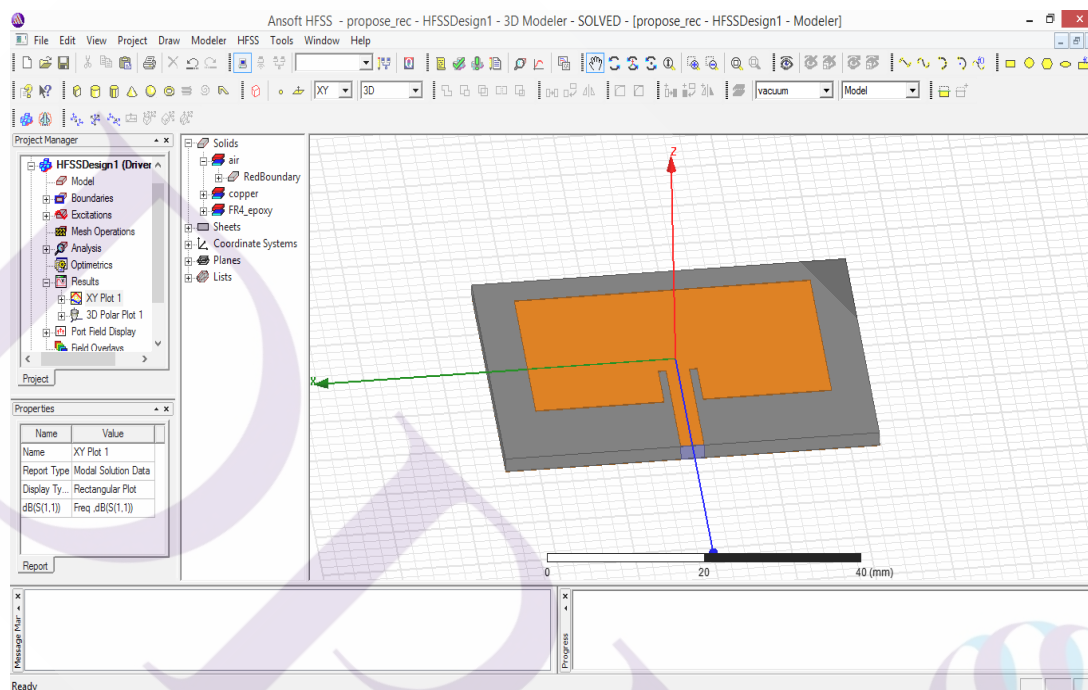
ภาพที่ 3.4 แสดงการใช้งานโปรแกรม EasyEDA เพื่อออกแบบแผ่นตัวนำสายอากาศไมโครสตริป

ที่มา: EasyEDA (เข้าถึง 22 ตุลาคม 2561. จาก

<https://easyeda.com/editor#id=817e5fbef04e4725bb8c6f2c6f4d4b25|65379c4ec9e14037a2ee8c095c02632a>)

3.5 การจำลองผลของสายอากาศไมโครสตริป

ซอฟต์แวร์ที่ใช้จำลองการคำนวณสายอากาศมีมากมาย ในที่นี้ผู้วิจัยเลือกซอฟต์แวร์ Ansoft HFSS 13.0 สำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากซอฟต์แวร์ตัวนี้เป็นที่นิยมมากในหมู่นักวิจัย ที่ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่องสายอากาศ โดยผู้วิจัยจะทำการป้อนค่าคุณสมบัติเบื้องต้น ที่จำเป็นต่อการจำลอง



ภาพที่ 3.5 แสดงการจำลองสายอากาศไมโครสตริปด้วยซอฟต์แวร์ Ansoft HFSS version 13.0

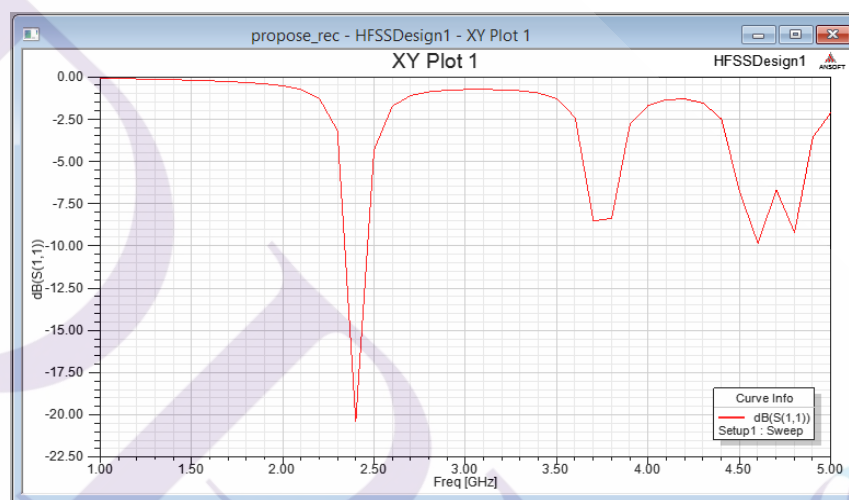
เช่น ความถี่ ขนาด วัสดุที่ใช้ ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกและอื่น ๆ ดังภาพที่ 3.5 ในการออกแบบสายอากาศ ทางผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาด กว้าง 46 มิลลิเมตร ยาว 48 มิลลิเมตร ความหนาประมาณ 1.6 มิลลิเมตร

3.6 ผลการจำลอง

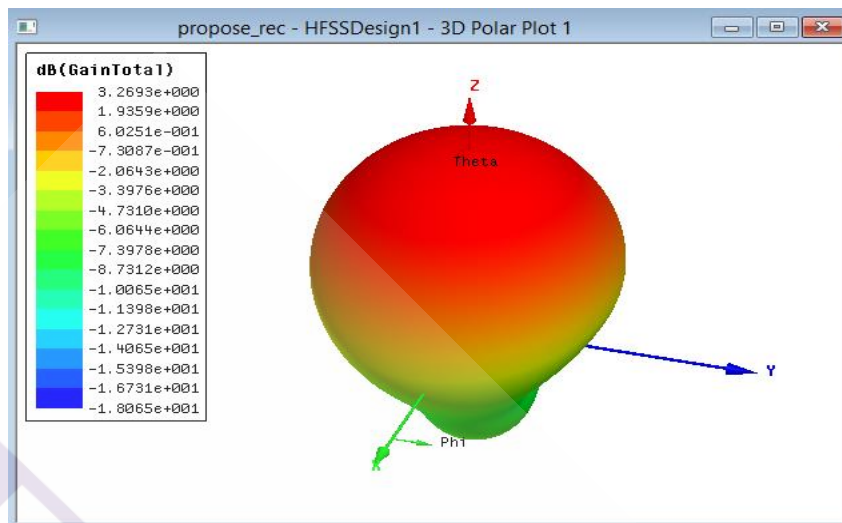
หลังจากจำลองการทำงานของสายอากาศต้นแบบที่คำนวณได้ จะได้ผลการจำลองที่เราต้องการพิจารณา คือ ค่าคุณสมบัติการสะท้อนกลับ Reflection Coefficient หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า S11 คืออัตราส่วนระหว่างแรงดันของคลื่นที่สะท้อน (Reflected Wave) ที่ออกมาจากพอร์ตที่เราสนใจ เทียบกับแรงดันของคลื่นที่เราป้อน (Incident Wave) เข้าไปที่พอร์ตนั่นเอง ดังนั้น

ถ้าสายอากาศที่เราทดลองมีสถานะแมตซ์กับความถี่ที่เราต้องการ แรงดันที่สะท้อนออกจากพอร์ตที่เราสนใจก็จะน้อยกว่าที่เราป้อนเข้าไปหรือแทบไม่มีการสะท้อนออกมาเลย ดังภาพที่ 3.6

ในการออกแบบสายอากาศนั้น อัตราขยายเป็นหนึ่งในจุดประสงค์สำคัญที่สุดในการออกแบบ โดยเราสามารถจำลองผลของอัตราขยายได้จากโปรแกรมจำลอง ซึ่งจะแสดงถึงระดับความสามารถของสายอากาศที่ออกแบบว่าสามารถขยายสัญญาณที่รับหรือส่งได้มากเพียงใด อันเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการออกแบบสายอากาศ ถ้าเราทำการจำลองแล้ว พบว่าอัตราขยายของสายอากาศไม่ดีเท่าที่ควร เราสามารถปรับแต่งค่าต่างๆได้จากโปรแกรมจำลองนี้



ภาพที่ 3.6 แสดงผลการจำลองการสูญเสียย้อนกลับ หรือ S11 ของสายอากาศไมโครสตริป ด้วยซอฟต์แวร์ HFSS version13.0



ภาพที่ 3.7 แสดงผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปด้วยซอฟต์แวร์ HFSS version 13.0

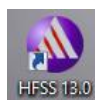
จากการออกแบบนี้จะเป็นได้ว่า สายอากาศไมโครสตริปที่ออกแบบ สามารถให้อัตราขยายได้ที่ 3.26 dB ดังแสดงในภาพที่ 3.7

3.6.1 ขั้นตอนการจำลองด้วยซอฟต์แวร์

ในการพัฒนาและออกแบบสายอากาศ จำลองการทำงานด้วยซอฟต์แวร์เป็นสิ่งที่จำเป็นมากในกระบวนการออกแบบและพัฒนา และประโยชน์อย่างมากในการดูแลของการออกแบบ โดยไม่จำเป็นต้องสร้างชิ้นงานจริงออกมา และยังสามารถปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้โดยง่าย ซอฟต์แวร์ในการจำลองสายอากาศมีหลายยี่ห้อ ทางผู้วิจัยเลือกใช้ซอฟต์แวร์ HFSS 13.0 ในการออกแบบครั้งนี้ เนื่องจากเป็นซอฟต์แวร์ที่ได้รับความนิยมในหมู่นักวิจัยโดยมีขั้นตอนดังนี้

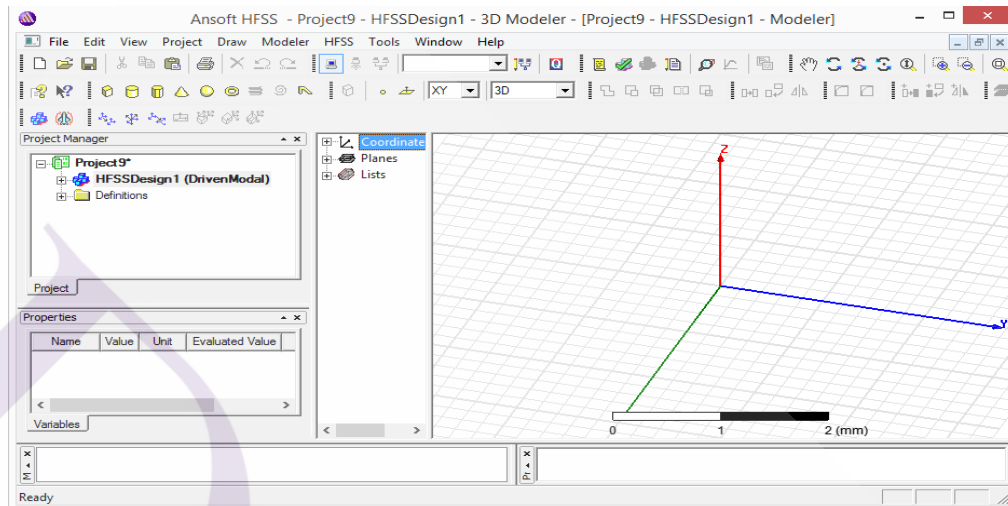
3.6.1.1 เปิดโปรแกรม HFSS version 13

หลังจากได้ทำการติดตั้งซอฟต์แวร์จำลอง HFSS version 13 ลงในคอมพิวเตอร์แล้ว จากนั้นทำการเปิดโปรแกรมขึ้นมาโดยการคลิกที่ไอคอน



ภาพที่ 3.8 แสดงไอคอนของซอฟต์แวร์จำลอง HFSS 13.0 version 13

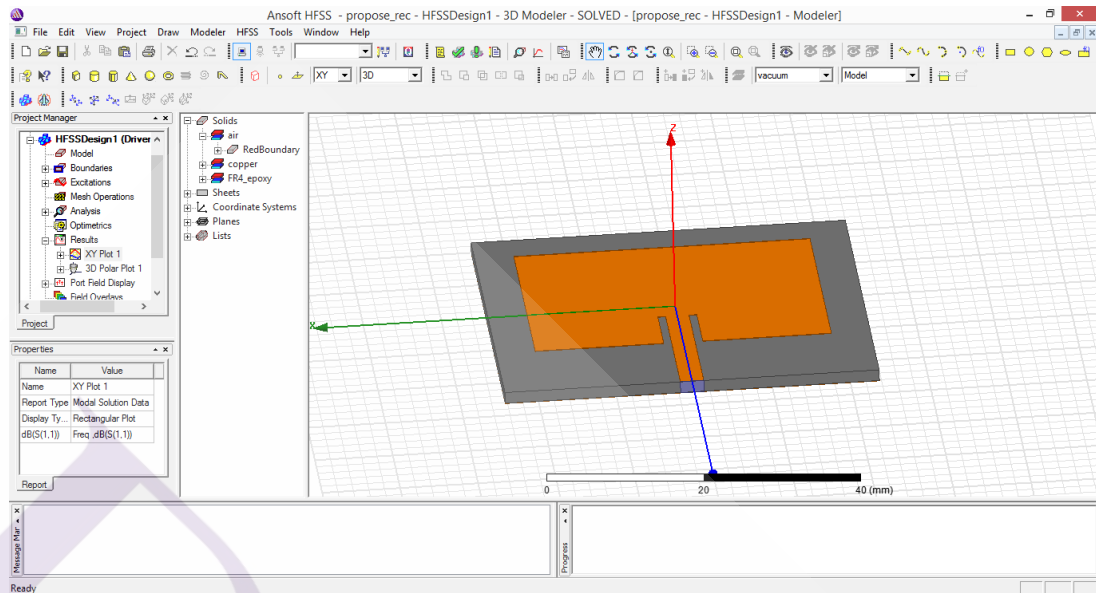
3.6.1.2 สร้างโปรเจกขึ้นมาใหม่โดยการเข้าไปที่เมนู File เลือก New insert HFSS design



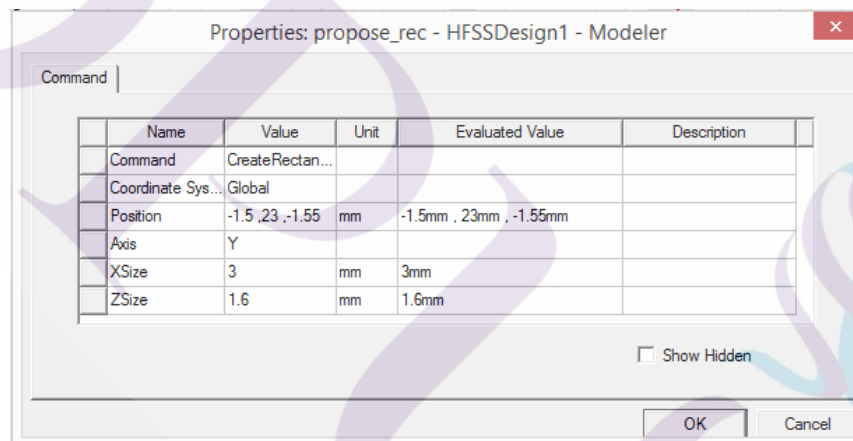
ภาพที่ 3.9 แสดงซอฟต์แวร์จำลอง HFSS 13.0

3.6.1.3 การออกแบบสายอากาศต้นแบบในซอฟต์แวร์จำลอง

หลังจากทำการสร้างโปรเจกขึ้นมาแล้ว จึงทำการออกแบบสายอากาศต้นแบบ ตามที่ได้ ออกแบบไว้ โดยทำการสร้างพื้นที่นำการทดสอบในรูป 3 มิติ โดยมีแกน X, Y และ แกน Z เป็นการ ระบุตำแหน่งและทิศทางดังภาพที่ 3.8 และทำการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการจำลองให้ เหมือนกับที่เราออกแบบไว้ เช่นวัสดุที่ใช้คืออะไร ในการวิจัยนี้ใช้ทองแดงเป็นวัสดุสำหรับเป็น

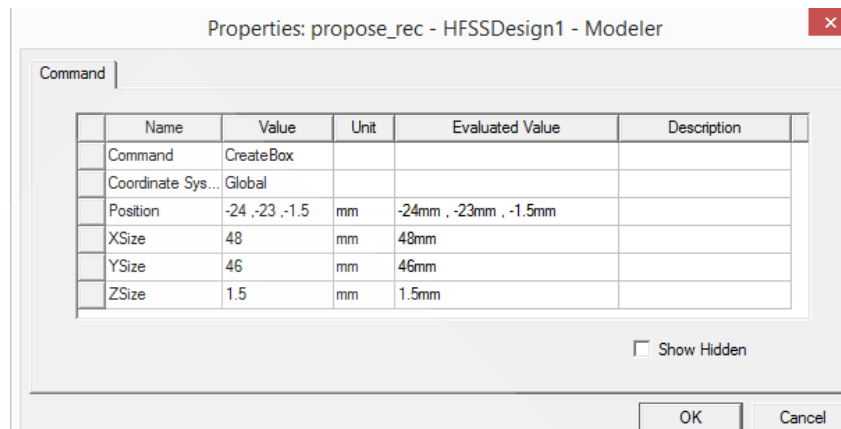


ภาพที่ 3.10 แสดงการออกแบบต้นแบบสายอากาศ

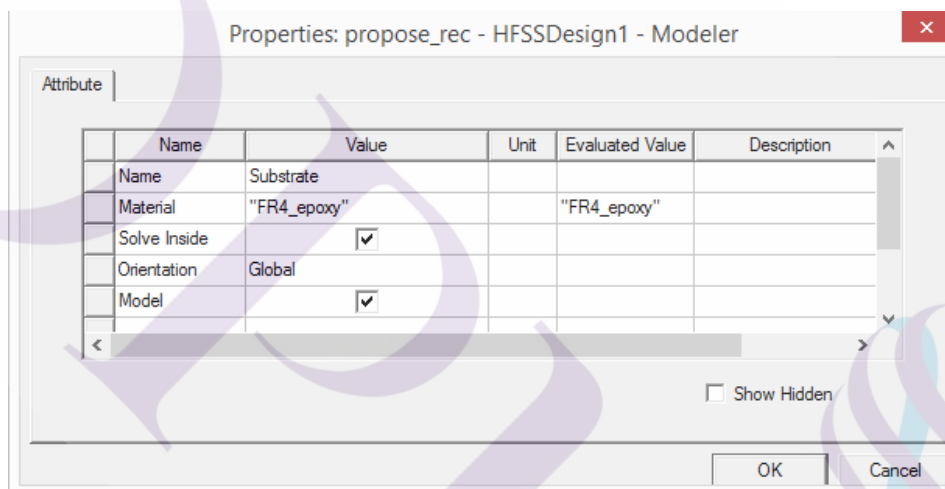


ภาพที่ 3.11 แสดงการใส่ค่าพารามิเตอร์และตำแหน่งตัวนำ, กราวด์ และแผ่นรองอิพ็อกซี

ตัวนำและกราวด์ของสายอากาศรวมไปถึงระบุความหนาของวัสดุตัวนำ ในงานวิจัยนี้ ใช้ความหนาเท่ากับ 0.05 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างตัวนำและกราวด์คือ 1.6 มิลลิเมตรดังแสดงในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.12 แสดงการใส่ค่าขนาดและตำแหน่งตัวนำ, กราวด์ และแผ่นรองอีพ็อกซี

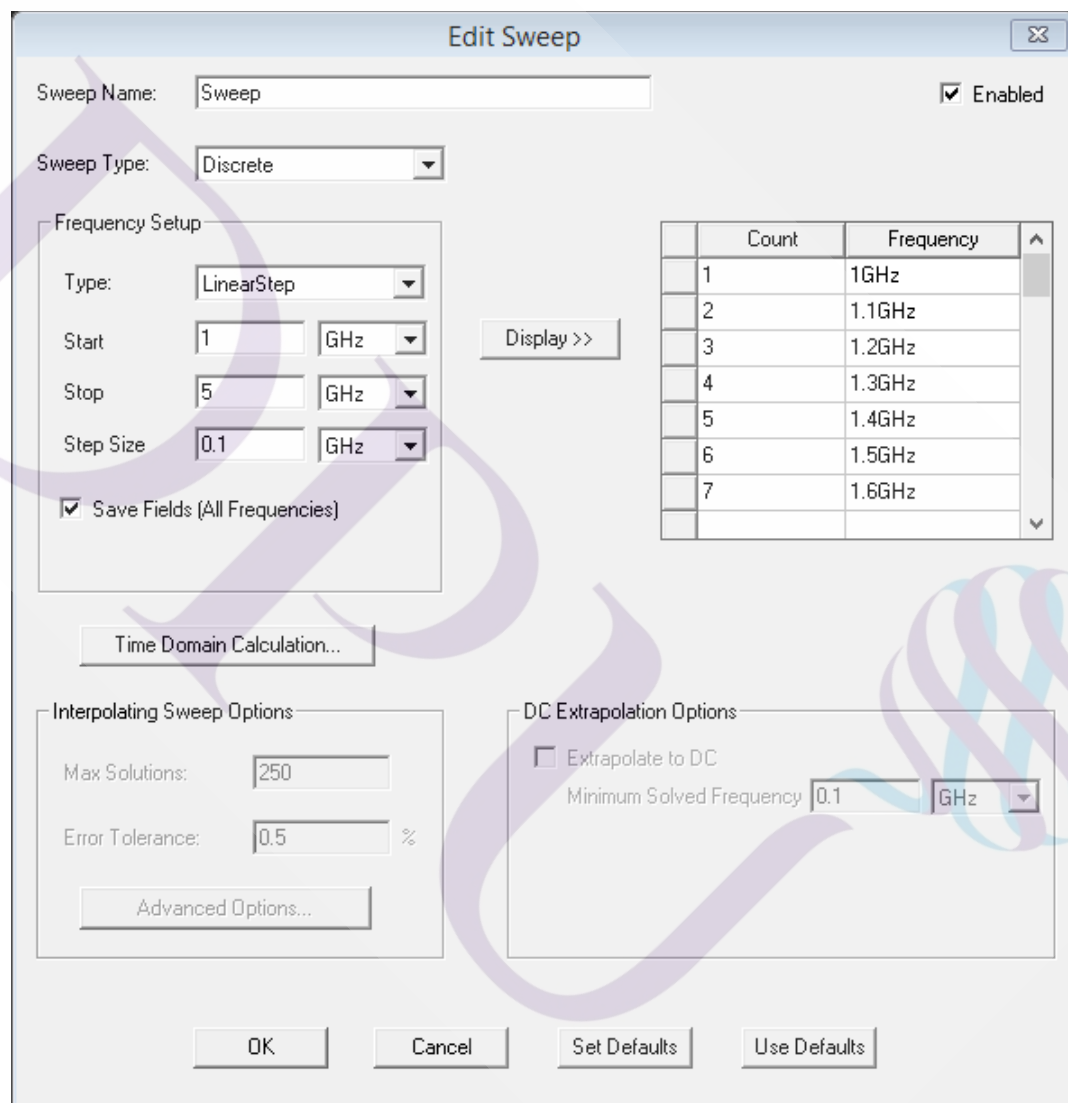


ภาพที่ 3.13 แสดงการใส่ค่าพารามิเตอร์ของแผ่นอีพ็อกซีที่ใช้รองระหว่างตัวนำและกราวด์

ในส่วนของวัสดุรองที่ใช้กั้นระหว่างตัวนำและกราวด์ในการวิจัยนี้ใช้เป็นวัสดุอีพ็อกซี จากนั้นทำการกำหนดค่าคงตัวทางไฟฟ้าของวัสดุ คือ FR4_epoxy ดังแสดงในภาพที่ 3.12 เมื่อตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างของวัสดุเรียบร้อยแล้ว จากนั้นให้ทำการบันทึกการออกแบบเพื่อเป็นการเก็บค่าต่างๆไว้ ก่อนที่จะทำการจำลองผลเพื่อโพลการทดลองต่อไป

3.6.1.4 การกำหนดค่าสำหรับทดสอบสายอากาศต้นแบบในซอฟต์แวร์จำลอง

หลังจากที่เราได้ออกแบบสายอากาศต้นแบบในซอฟต์แวร์จำลองเรียบร้อยแล้ว ต่อมาจะเป็นการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างของซอฟต์แวร์จำลอง เพื่อกำหนดค่าการจำลองให้ได้ผลในสภาวะแวดล้อมที่เราต้องการมากที่สุด เช่น ความถี่ที่เราต้องการให้สายอากาศทำงาน ตรงกับที่เราต้องการหรือไม่



ภาพที่ 3.14 แสดงการตั้งค่าซอฟต์แวร์จำลองสำหรับการประมวลผล

จากภาพที่ 3.13 แสดงให้เห็นการตั้งค่าช่วงความถี่ที่เราจะทำการจำลอง โดยเข้าไปที่เมนู HFSS จากนั้นไปที่เมนู Analysis Setup เลือกเมนู Add Solution Setup ก็จะมีหน้าต่างดังภาพที่ 3.13 ขึ้นมา ในกรอบ Frequency Setup เราจะใส่ค่าช่วงความถี่ที่เราจะทำการจำลอง ในที่นี้ผู้วิจัยใส่ค่าช่วงความถี่ 1 – 5 GHz สำหรับการจำลองครั้งนี้เพื่อให้เห็นผลการจำลองในช่วงนี้ และกำหนดขนาดความถี่ (Step Size) ในการทดสอบอยู่ที่ 0.1 GHz หรือทุกๆ 100 MHz นั่นเอง ดังจะเห็นได้ในกรอบด้านขวา ที่แสดงความถี่ที่ทำการจำลองและบันทึกค่า ค่า Step size นี้จะส่งผลต่อระยะเวลาในการประมวลผลของการจำลอง ถ้าตั้งค่าให้มีความละเอียดมาก ก็จะได้ผลลัพธ์การจำลองที่ละเอียด แต่ก็ใช้เวลานาน



บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

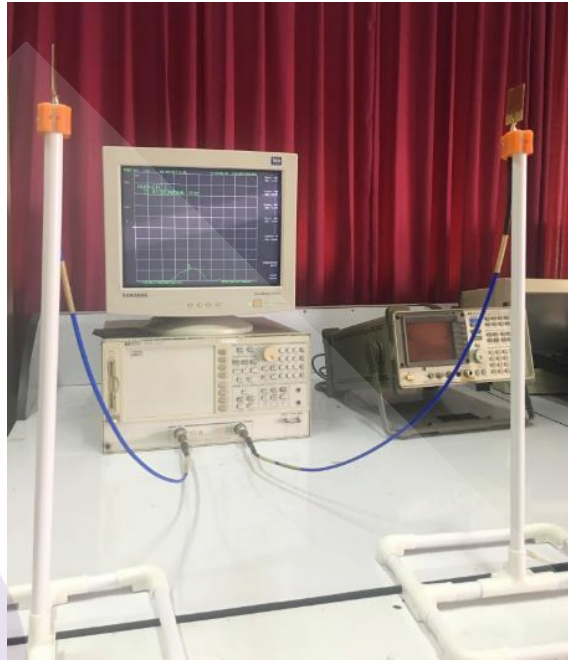
จากการดำเนินการออกแบบและพัฒนาสายอากาศแบบไมโครสตริปสำหรับกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต เพื่อลดปัญหาการรับชมที่ขาดช่วงหรือหมุนโหลด เมื่อผู้ใช้งานเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วย WiFi การทดสอบนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่จะแสดงว่าผลการออกแบบอัตราขยายสายอากาศเป็นไปตามการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ และการดูผลการทดลองเมื่อติดตั้งสายอากาศที่ออกแบบไว้ใน STB โดยการดูผลการเกิดปัญหาการรับชมที่ขาดช่วงหรือหมุนโหลด จากเครื่องมือของผู้ให้บริการ ที่เรียกว่า User Tracking System ซึ่งสามารถแสดงข้อมูลได้โดยละเอียด เช่น วัน เวลาในการรับชม ไอพีแอดเดรสที่ผู้ให้บริการจ่ายให้ รูปแบบในการเชื่อมต่อ ช่องรายการในการรับชม ระยะเวลาในการรับชม จำนวนครั้งในการเกิดปัญหาการรับชมที่ขาดช่วงหรือหมุนโหลด รวมถึงระยะเวลาในการเกิดปัญหาการรับชมที่ขาดช่วงหรือหมุนโหลด โดยระบบจะส่งค่าออกมา ทุกๆ 900 วินาที หรือ 15 นาที โดยที่หัวข้อดังนี้

4.1 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปด้วยเครื่องมือ Network Analyzer

4.2 ผลการเกิดปัญหาการรับชมที่ขาดช่วง จากเครื่องมือของผู้ให้บริการ

4.1 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปด้วยเครื่องมือ Network Analyzer

อย่างไรก็ดีในการทดสอบสายอากาศด้วย Application WiFi Analyzer นั้นไม่สามารถวัดค่าอัตราขยายได้ถูกต้องแม่นยำนัก เนื่องจากในชิป WiFi แต่ละผู้หื้อจะมีภาคขยายอยู่และมีรูปแบบที่ต่างกัน ทำให้ผลการวัดที่ได้จะมีค่าที่มากเกินกว่าความเป็นจริงอย่างมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะทำการวัดด้วยเครื่องมือวัด Network Analyzer ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดที่เป็นที่นิยมในหมู่นักวิจัยด้านสายอากาศ



ภาพที่ 4.1 แสดงการวัดสายอากาศด้วย Network Analyzer

เครื่องมือวัด Network Analyzer มีหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ส่วนคือตัวกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) กับเครื่องวัดแถบคลื่น (Spectrum Analyzer) โดยทางผู้วิจัยสร้างสายอากาศต้นแบบที่เหมือนกัน 2 ชิ้น ชิ้นงานที่ 1 ต่อเข้า port 1 เพื่อทำหน้าที่ส่งสัญญาณ ชิ้นงานที่ 2 ต่อเข้า port 2 เพื่อทำหน้าที่รับสัญญาณเพื่อแสดงผลดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.2 ชิ้นงานสายอากาศและสายอากาศสำเร็จรูปที่ใช้ทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดจาก Network Analyzer แสดงผลตอบสนองเชิงความถี่กับ Return loss

Ant No.	Frequency Response (GHz)	Return loss (dBm)
1	2.350	-28.00
2	2.400	-26.20
3	2.489	-26.90
4	2.480	-22.90
5	2.418	-25.60
6	2.465	-17.01
7	2.403	-20.00
8	2.391	-21.40
9	2.365	-21.00
10	2.354	-20.90
11	2.256	-15.60
12	2.330	-13.30

จากตารางที่ 4.1 แสดงถึงค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) ของสายอากาศที่ใช้ทดลองทั้งหมด 12 ชิ้น ซึ่งค่า Return loss จะเป็นค่า ค่าหนึ่งซึ่งจะแสดงถึงประสิทธิภาพของสายอากาศได้ อันหมายถึงค่ากำลังงานที่ส่งเข้าไปในสายอากาศ มีการสะท้อนกลับมาที่ต้นทางมากเพียงใด ซึ่งค่า Return loss นี้ยังมีค่าน้อยมากเท่าไร ก็จะสามารถแสดงถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของสายอากาศนั้นๆ โดยทั่วไปค่า Return loss ที่ยอมรับได้ของสายอากาศจะอยู่ที่ -10 dBm

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดจาก Network Analyzer แสดงผลตอบสนองเชิงความถี่ในช่องสัญญาณ WiFi กับแอมพลิจูด และ ความถี่ตอบสนองสูงสุดเมื่ออิมพีแดนซ์เท่ากับ 50Ω

Ant No.	CH1 2.412 (GHz)	CH6 2.437 (GHz)	CH11 2.462 (GHz)	Impedance Matching 50Ω (GHz) /Amplitude (dBm)
1	-6.97	-5.06	-4.70	2.380/-13.3
2	-19.60	-9.74	-7.400	2.404/-25.7

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ผลการวัดจาก Network Analyzer แสดงผลตอบสนองเชิงความถี่ในช่องสัญญาณ WiFi กับแอมพลิฟิเคชัน และ ความถี่ตอบสนองสูงสุดเมื่ออิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 Ω

Ant No.	CH1 2.412 (GHz)	CH6 2.437 (GHz)	CH11 2.462 (GHz)	Impedance Matching 50 Ω (GHz) /Amplitude (dBm)
3	-17.60	-13.96	-14.79	2.419/-12.6
4	-15.90	-18.49	-20.00	2.412/-15.9
5	-7.48	-11.29	-16.79	2.469/-16.9
6	-20.80	-20.80	-8.90	2.435/-17.2
7	-20.50	-16.80	-16.69	2.439/-16.8
8	-20.50	-16.70	-16.10	2.436/-16.7
9	-8.59	-4.62	-4.63	2.384/-15.5
10	-7.32	-5.50	-4.45	2.460/-4.46
11	-4.28	-3.60	-3.80	2.440/-3.5
12	-4.85	-3.80	-3.30	2.466/-3.5

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลตอบสนองเชิงความถี่ในช่องสัญญาณ WiFi กับแอมพลิฟิเคชัน และ ความถี่ตอบสนองสูงสุดเมื่ออิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 Ω ค่าเหล่านี้เป็นอีกหนึ่งค่าที่เราควรพิจารณาในการออกแบบสายอากาศซึ่งจะบอกได้ว่าสายอากาศที่ออกแบบมีภาวะแมตช์กับความต้านทานของอุปกรณ์ WiFi module หรือไม่

การวัดประสิทธิภาพของสายอากาศด้วย Network Analyzer นั้นไม่สามารถแสดงค่าอัตราขยายออกมาตรงๆได้ จำเป็นต้องอาศัยสมการของฟรีส (Friis transmission Formula) เข้ามาหาค่าเฉลี่ยของสายอากาศนั้นๆ ในส่วนของ Network Analyzer ขั้นแรกต้องทำการปรับค่าต่างๆ ให้อยู่ในรูปแบบ สอววัดเรียบร้อย แล้วเอาสายนำสัญญาณ ที่จะใช้ทดสอบต่อเชื่อมด้านส่งเข้ากับด้านรับ จากนั้นตั้งค่ากำลังส่งที่รับได้ให้เป็น 0 dB โดยเตรียมสายอากาศที่เหมือนกัน 2 ชิ้น ชิ้นหนึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่ง ที่ภาคส่ง ชิ้นหนึ่งทำหน้าที่สายอากาศรับ รับสัญญาณที่ภาครับ ทำแบบนี้กับชุดสายอากาศทดสอบทั้งหมด 6 ชุด ทั้งสายอากาศที่ทำการออกแบบเอง และสายอากาศสำเร็จรูปที่มีขายในท้องตลาด ดังภาพที่ 4.3

จากนั้นนำชุดสายอากาศที่เตรียมไว้ ต่อเข้าทดสอบกับ Network Analyzer แล้วทำการบันทึกค่า ทำแบบนี้ทีละชุดแล้วบันทึกค่า แล้วนำค่าที่ได้เข้าไปแทนในสมการของฟรีส เราก็จะได้ค่าอัตราขยายของสายของสายอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 4.4



ภาพที่ 4.3 ชุดสายอากาศและสายอากาศสำเร็จรูปที่ใช้ทดลอง

ตารางที่ 4.3 แสดงสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (S21) จากการวัดด้วย Network Analyzer

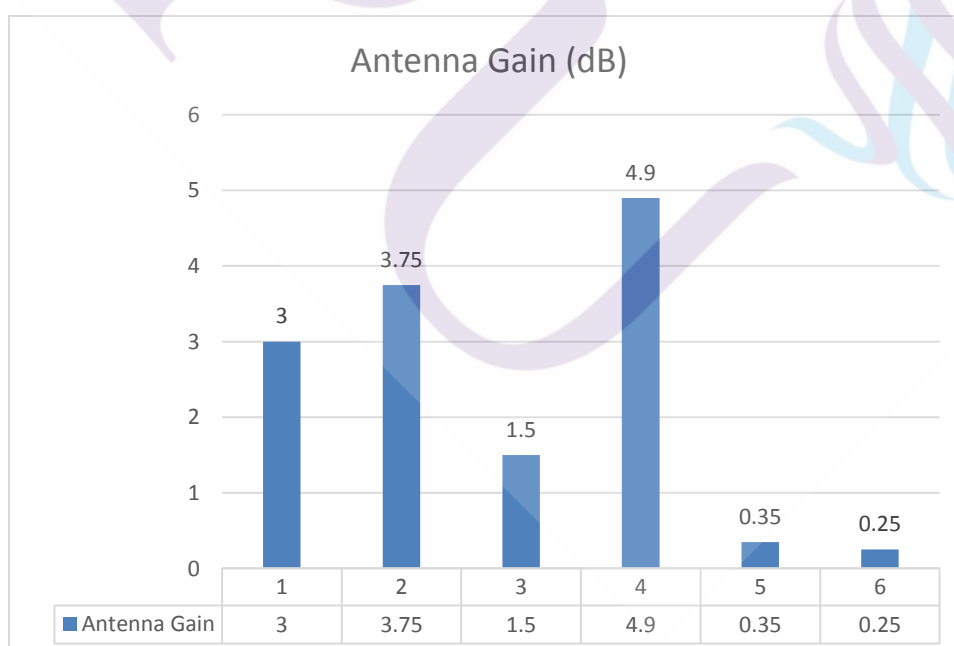
Ant Set No.	S21 Max (dB) /Frequency (GHz)	S21 (dB) at CH1 2.412 (GHz)	S21 (dB) at CH6 2.437 (GHz)	S21 (dB) at CH11 2.462 (GHz)
1	-32.2 / 2.383	-34.7	-34.0	-37.7
2	-30.5 / 2.480	-38.0	-32.5	-36.0
3	-37.0 / 2.437	-38.0	-37.0	-39.0
4	-29.9 / 2.289	-32.8	-30.2	-33.3
5	-39.1 / 2.499	-39.5	-39.3	-39.7
6	-39.3 / 2.397	-40.0	-39.5	-39.6

หลังจากได้ทำการวัดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (S21) ของสายอากาศแต่ละชุดแล้ว ทางผู้วิจัยจะเลือกเอาค่าผลตอบแทนของความถี่กลางคือ 2.437 GHz แล้วแทนค่าในสมการของฟรีสคังได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 สมการที่ (5) จึงได้ผลการคำนวณอัตราขยายดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการการคำนวณอัตราขยายของสายอากาศของชุดสายอากาศแต่ละชุด

Ant Set No.	CH6 2.437 (GHz)	Antenna Gain (dB)
1	-34.0	3
2	-32.5	3.75
3	-37.0	1.5
4	-30.2	4.9
5	-39.3	0.35
6	-39.5	0.25

เมื่อได้ค่าอัตราขยายสายอากาศของชุดสายอากาศแต่ละชุดแล้ว เราสามารถเปรียบเทียบด้วยการแสดงผลด้วยแผนภูมิแท่ง เพื่อให้เห็นค่าได้อย่างชัดเจนมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แสดงอัตราขยายของแต่ชุดสายอากาศ

4.2 ทดสอบผลการเกิดปัญหาการรับชมขาดช่วง จากเครื่องมือของผู้ให้บริการ

4.2.1 ทดสอบในพื้นที่ที่มีสัญญาณ WiFi หนาแน่น

การทดสอบสายอากาศที่พัฒนาเทียบกับสายอากาศเดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงานที่ผลิตในพื้นที่ที่มีสัญญาณ WiFi หนาแน่นและอยู่ในช่องสัญญาณเดียวกัน หรือที่เรียกว่า Co-Channel ดังภาพที่ 4.5 และ 4.6 โดย SSID ที่เราเชื่อมต่อเพื่อทดสอบระบบชื่อ Test IPTV STB



ภาพที่ 4.5 แสดงพื้นที่ที่มีสัญญาณ WiFi หนาแน่นและอยู่ในช่องสัญญาณเดียวกัน



ภาพที่ 4.6 แสดงพื้นที่ที่มีสัญญาณ WiFi หนาแน่น โดยแสดงค่า RSSI ของ SSID “Test IPTV STB”

ID	User Name	Creation Time	Client IP	CDN	Platform	Type of N	Program Type	Program Name	Playback	Viewing Dur	Startup B	Total Buffer Tim	Buffer Fre	Buffering Ratio	Buffer Ratio
2580845	mpa167df	2019-05-24 16:56	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	11700	1	1	1	0%	0.01%
2535337	mpa167df	2019-05-24 16:41	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	10800	1	1	1	0%	0.01%
2490380	mpa167df	2019-05-24 16:26	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	9900	1	1	1	0%	0.01%
2446052	mpa167df	2019-05-24 16:11	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	9000	1	1	1	0%	0.01%
2399899	mpa167df	2019-05-24 15:56	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	8100	1	1	1	0%	0.01%
2352245	mpa167df	2019-05-24 15:41	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	7200	1	1	1	0%	0.01%
2303476	mpa167df	2019-05-24 15:26	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	6300	1	1	1	0%	0.02%
2258552	mpa167df	2019-05-24 15:11	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	5400	1	1	1	0%	0.02%
2218091	mpa167df	2019-05-24 14:56	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	4500	1	1	1	0%	0.02%
2165767	mpa167df	2019-05-24 14:41	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	3600	1	1	1	0%	0.03%
2119155	mpa167df	2019-05-24 14:26	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	2700	1	1	1	0%	0.04%
2072512	mpa167df	2019-05-24 14:11	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	1800	1	1	1	0%	0.06%
2023897	mpa167df	2019-05-24 13:56	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	900	1	1	1	0%	0.11%
1977650	mpa167df	2019-05-24 13:41	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Start Playi	0	0	0	0	0%	0%
1977018	mpa167df	2019-05-24 13:41	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	End Playin	654	1	1	1	0%	0.15%
1944313	mpa167df	2019-05-24 13:30	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Start Playi	0	0	0	0	0%	0%
1345504	mpa167df	2019-05-24 10:08	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	10800	1	1	1	0%	0.01%
1301807	mpa167df	2019-05-24 09:53	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	9900	1	1	1	0%	0.01%
1258849	mpa167df	2019-05-24 09:38	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	9000	1	1	1	0%	0.01%
1214263	mpa167df	2019-05-24 09:23	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	8100	1	1	1	0%	0.01%

ภาพที่ 4.7 แสดงผลการเกิดปัญหาหามุน โหลดของสายอากาศที่นำเสนอ ในพื้นที่ที่มีสัญญาณ WiFi หนาแน่นและอยู่ในช่องสัญญาณเดียวกัน (Co-Channel)

ID	User Name	Creation Time	Client IP	CDN	Platform	Type of N	Program Type	Program Name	Playback	Viewing Dur	Startup B	Total Buffer Tim	Buffer Fre	Buffering Ratio	Buffer Ratio
2615019	mpa1256b	2019-05-24 17:07	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Start Playi	0	0	0	0	0%	0%
2565961	mpa1256b	2019-05-24 16:51	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	9900	65	4131	104	41.07%	41.73%
2521327	mpa1256b	2019-05-24 16:36	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	9000	65	4031	101	44.07%	44.79%
2476244	mpa1256b	2019-05-24 16:21	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	8100	65	3970	100	48.21%	49.01%
2432044	mpa1256b	2019-05-24 16:06	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	7200	65	3970	100	54.24%	55.14%
2384721	mpa1256b	2019-05-24 15:51	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	6300	65	3970	100	61.98%	63.02%
2336500	mpa1256b	2019-05-24 15:36	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	5400	65	3582	88	65.13%	66.33%
2284356	mpa1256b	2019-05-24 15:21	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	4500	65	3290	75	71.67%	73.11%
2244727	mpa1256b	2019-05-24 15:06	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	3600	65	3088	65	83.97%	85.78%
2201261	mpa1256b	2019-05-24 14:51	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	2700	65	2392	51	86.19%	88.59%
2152263	mpa1256b	2019-05-24 14:36	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	1800	65	1515	37	80.56%	84.17%
2104821	mpa1256b	2019-05-24 14:21	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	900	65	742	15	75.22%	82.44%
2057162	mpa1256b	2019-05-24 14:06	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Start Playi	0	0	0	0	0%	0%
2050617	mpa1256b	2019-05-24 14:04	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Start Playi	0	0	0	0	0%	0%
2042677	mpa1256b	2019-05-24 14:02	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Start Playi	0	0	0	0	0%	0%
2027946	mpa1256b	2019-05-24 13:57	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Start Playi	0	0	0	0	0%	0%
2018010	mpa1256b	2019-05-24 13:54	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Start Playi	0	0	0	0	0%	0%
2009033	mpa1256b	2019-05-24 13:51	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Start Playi	0	0	0	0	0%	0%
1973456	mpa1256b	2019-05-24 13:40	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Start Playi	0	0	0	0	0%	0%
1960043	mpa1256b	2019-05-24 13:35	101.109.208.221	cwt02	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Start Playi	0	0	0	0	0%	0%

ภาพที่ 4.8 แสดงผลการเกิดปัญหาหามุน โหลดของสายอากาศเดิม ในพื้นที่ที่มีสัญญาณ WiFi หนาแน่นและอยู่ในช่องสัญญาณเดียวกัน (Co-Channel)

ผลการทดสอบการรับชมที่ไม่ต่อเนื่องหรือหามุน โหลด ในพื้นที่ที่มีสัญญาณ WiFi หนาแน่นและอยู่ในช่องสัญญาณเดียวกัน หรือที่เรียกว่า Co-Channel จุดประสงค์ในการทดสอบครั้งนี้เพื่อพิสูจน์ว่า การเกิดปัญหาหามุน โหลดเกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวนจากสัญญาณ WiFi ของ Access point ที่อยู่ข้างเคียงหรือไม่ และปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นในขณะที่มีการใช้งานช่องสัญญาณเดียวกันหรือไม่ ดังแสดงในภาพที่ 4.5 และ ภาพที่ 4.6 โดยใช้กล่องรับสัญญาณ รุ่น MPA108 จำนวน 2 กล่อง โดยติดตั้งสายอากาศเดิม และสายอากาศที่พัฒนาอย่างละ 1 กล่อง โดยกล่องที่มีเลขประจำตัวผู้ใช้งาน (User Name) “mpa167df” ใช้สายอากาศที่ทางผู้วิจัยพัฒนา รับสัญญาณ และกล่องที่มี User Name “mpa1256b” ใช้สายอากาศเดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงาน จากนั้นเชื่อมต่อด้วย WiFi ที่มี SSID ชื่อ Test IPTV STB โดยมีระยะห่างระหว่าง Access point กับ STB มีระยะห่าง 12 เมตร

หลังจากเชื่อมต่อ IPTV STB ทั้ง 2 กล่อง เข้ากับ Access point สำหรับทดสอบแล้ว ทำการเปิดช่อง Thai PBs (HD) เพื่อทำการทดสอบ โดยทำการทดสอบด้วยการรับชมด้วยดาเปล่า พร้อมกับเข้าไปดูข้อมูลการรับชมจากระบบ User Tracking System ของผู้ให้บริการด้วย โดยใช้ระยะเวลาในการทดสอบทั้งสิ้นประมาณ 10,000 วินาที โดยระบบ User Tracking System จะส่งค่า มาทุก ๆ 900 วินาที หรือ 15 นาทีนั่นเอง

จากการทดสอบเป็นเวลาประมาณ 10,000 วินาที พบว่ากล่อง mpa167df ที่ติดตั้ง สายอากาศที่ทางผู้วิจัยพัฒนาได้รับสัญญาณแทบจะไม่พบปัญหาหุนโหลดเลย ดังแสดงในภาพที่ 4.7 มีเพียงแต่การหุดโหลดก่อนจะเข้าช่อง หรือที่เรียกว่า startup buffer ซึ่งค่ามาตรฐานของผู้ ให้บริการยอมรับได้ที่ 3 วินาที

ในขณะที่ กล่อง mpa1256b ใช้สายอากาศเดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงาน เกิดปัญหาหุน โหลดอย่างมาก ดังจะเห็นได้ในภาพที่ 4.8 ที่มีค่าการเกิดปัญหาหุนโหลดมากถึง 4131 วินาที จาก เวลาการรับชมทั้งหมด 9900 วินาที ซึ่งคิดเป็น 41.07%

4.2.2 ทดสอบในพื้นที่ที่มีสัญญาณ WiFi ไม่มาก (บ้านพักอาศัย)

จากนั้นผู้วิจัย ได้เปลี่ยนพื้นที่ทดสอบเป็นบ้านพักอาศัย ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมเดียวกับ ผู้รับชมส่วนมากของบริการนี้ และจะทำการทดลองหลายรูปแบบ เช่น พื้นที่โล่งระยะใกล้, พื้นที่ โล่งระยะไกล และพื้นที่ที่มีสิ่งขวางกั้นเช่นกำแพงห้องหรือกระจก อันเป็นสภาพแวดล้อมใกล้เคียง



ภาพที่ 4.9 แสดงการวัดค่าในสภาพแวดล้อมบ้านพักอาศัยโดยระยะห่าง 12 เมตร

กับผู้ใช้บริการ โดยทำการบันทึกผลให้ยาวนานตลอดทั้งวัน และทำซ้ำหลายครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 4.9 และภาพที่ 4.10 โดยมีระยะทางที่ใช้ทดสอบดังนี้



ภาพที่ 4.10 แสดงการวัดค่าในสภาพแวดล้อมบ้านพักอาศัย (ต่อ)

4.2.3 ทดสอบในพื้นที่บ้านพักอาศัยระยะ 12 เมตรโดยไม่มีสิ่งใดขวางกั้น

User Access Tracking		Current User Version		Speed Test Report									
Id	User Name	Creation Time	Client IP	Platform	Type of N	Program Type	Program Name	Playback	Viewing Dura	Startup B	Total Buffer Tim	Buffer Fre	Buffering Ratio c
1856423	mpa167df	2019-05-26 11:41	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	86402	1	7	2	0.01%
1797659	mpa167df	2019-05-26 11:26	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	85502	1	7	2	0.01%
1736844	mpa167df	2019-05-26 11:11	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	84602	1	7	2	0.01%
1675796	mpa167df	2019-05-26 10:56	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	83702	1	7	2	0.01%
1617991	mpa167df	2019-05-26 10:41	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	82802	1	7	2	0.01%
1557828	mpa167df	2019-05-26 10:26	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	81902	1	7	2	0.01%
1499314	mpa167df	2019-05-26 10:11	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	81002	1	7	2	0.01%
1439758	mpa167df	2019-05-26 09:56	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	80102	1	7	2	0.01%
1383388	mpa167df	2019-05-26 09:41	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	79202	1	7	2	0.01%
1325677	mpa167df	2019-05-26 09:26	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	78302	1	7	2	0.01%
1270221	mpa167df	2019-05-26 09:11	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	77402	1	7	2	0.01%
1211322	mpa167df	2019-05-26 08:56	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	76502	1	7	2	0.01%
1158904	mpa167df	2019-05-26 08:41	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	75602	1	7	2	0.01%
1108188	mpa167df	2019-05-26 08:26	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	74702	1	1	1	0%
1060980	mpa167df	2019-05-26 08:11	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	73802	1	1	1	0%
1014470	mpa167df	2019-05-26 07:56	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	72902	1	1	1	0%
971297	mpa167df	2019-05-26 07:41	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	72002	1	1	1	0%
929840	mpa167df	2019-05-26 07:26	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	71102	1	1	1	0%
892073	mpa167df	2019-05-26 07:11	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	70202	1	1	1	0%
854452	mpa167df	2019-05-26 06:56	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	69302	1	1	1	0%

ภาพที่ 4.11 แสดงผลการเกิดปัญหาห่มุนโหลดของสายอากาศที่นำเสนอ ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 12 เมตรโดยไม่มีสิ่งใดขวางกั้น

User Access Tracking		Current User Version		Speed Test Report									
ID	User Name	Creation Time	Client IP	Platform	Type of N	Program Type	Program Name	Playback	Viewing Dura	Startup B	Total Buffer Tim	Buffer Fre	Buffering Ratio
1857092	mpa1256b	2019-05-26 11:41	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	86404	7	12567	889	14.54%
1798322	mpa1256b	2019-05-26 11:26	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	85503	7	12466	878	14.57%
1737393	mpa1256b	2019-05-26 11:11	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	84603	7	12446	876	14.7%
1676211	mpa1256b	2019-05-26 10:56	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	83703	7	12295	866	14.68%
1618401	mpa1256b	2019-05-26 10:41	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	82803	7	12062	850	14.56%
1558221	mpa1256b	2019-05-26 10:26	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	81903	7	12017	845	14.66%
1499665	mpa1256b	2019-05-26 10:11	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	81003	7	12017	845	14.83%
1440376	mpa1256b	2019-05-26 09:56	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	80103	7	11864	833	14.8%
1383882	mpa1256b	2019-05-26 09:41	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	79203	7	11768	824	14.85%
1326180	mpa1256b	2019-05-26 09:26	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	78303	7	11768	824	15.02%
1270749	mpa1256b	2019-05-26 09:11	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	77403	7	11768	824	15.19%
1211872	mpa1256b	2019-05-26 08:56	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	76503	7	11745	824	15.34%
1159377	mpa1256b	2019-05-26 08:41	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	75603	7	11552	803	15.27%
1108906	mpa1256b	2019-05-26 08:26	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	74703	7	11431	789	15.29%
1061351	mpa1256b	2019-05-26 08:11	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	73803	7	11331	777	15.34%
1015005	mpa1256b	2019-05-26 07:56	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	72903	7	11063	763	15.17%
971672	mpa1256b	2019-05-26 07:41	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	72003	7	11045	760	15.33%
930150	mpa1256b	2019-05-26 07:26	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	71103	7	10853	741	15.25%
892465	mpa1256b	2019-05-26 07:11	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	70203	7	10585	717	15.07%
854944	mpa1256b	2019-05-26 06:56	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	69303	7	10439	704	15.05%

ภาพที่ 4.12 แสดงผลการเกิดปัญหาหนูนโหลดของสายอากาศเดิม ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัยระยะห่างจาก Access point 12 เมตร โดยไม่มีสิ่งใดขวางกั้น

จากภาพที่ 4.11 และภาพที่ 4.12 แสดงผลทดสอบปัญหาหนูนโหลดของกล่อง “mpa167df” ใช้สายอากาศที่ทางผู้วิจัยพัฒนารับสัญญาณ และกล่อง “mpa1256b” ใช้สายอากาศเดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงานที่ระยะทดสอบ 12 เมตร โดยไม่มีสิ่งใดขวางกั้น ทั้ง 2 กล่อง เข้ากับ Access point สำหรับทดสอบแล้ว ทำการเปิดช่อง Thai PBs (HD) เพื่อทำการทดสอบ โดยทำการทดสอบด้วยการรับชมด้วยตาเปล่า พร้อมกับเข้าไปดูข้อมูลการรับชมจากระบบ User Tracking System ของผู้ให้บริการด้วย โดยใช้ระยะเวลาในการทดสอบทั้งสิ้นประมาณ 86,000 วินาที หรือประมาณ 24 ชั่วโมง โดยระบบ User Tracking System จะส่งค่ามาทุก ๆ 900 วินาที หรือ 15 นาทีเช่นเดิม

จากการทดสอบเป็นเวลาประมาณประมาณ 24 ชั่วโมงพบว่ากล่อง mpa167df ที่ติดตั้งสายอากาศที่ทางผู้วิจัยพัฒนารับสัญญาณพบที่เกิดปัญหาหนูนโหลดน้อยมาก เพียงแค่ 7 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 4.11 ซึ่งเป็นการหนูนโหลดก่อนจะเข้าช่อง หรือที่เรียกว่า startup buffer เมื่อเปรียบเทียบกับ 86,000 วินาที คิดเป็นเพียงแค่ 0.01%

ในขณะที่ กล่อง mpa1256b ใช้สายอากาศเดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงาน เกิดปัญหาหนูนโหลดอย่างมาก ดังจะเห็นได้ในภาพที่ 4.12 ที่มีค่าการเกิดปัญหาหนูนโหลดมากถึง 12,567 วินาที จากเวลาการรับชมทั้งหมด 86,000 วินาที ซึ่งคิดเป็น 14.54% ซึ่งถือว่าจำนวนระยะเวลา 12,567 วินาทีหรือประมาณ 3.5 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาที่มาก ทำให้เกิดประสบการณ์ในการรับชมที่ไม่ดีแก่ผู้ให้บริการได้

4.2.4 ทดสอบในพื้นที่บ้านพักอาศัยระยะ 12 เมตร โดยมีกำแพงกั้น

ในการทดสอบครั้งนี้ยังคงเป็นบริเวณบ้านพักอาศัยเช่นเดิม แต่ทำการเพิ่มเงื่อนไขโดย

ID	User Name	Creation Time	Client IP	Platform	Type of N	Program Type	Program Name	Playback	Viewing Dura	Startup B	Total Buffer Tim	Buffer Fre	Buffering Ratio c
877547	mpa1256b	2019-05-27 07:07	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	42301	25	7402	353	17.44%
836868	mpa1256b	2019-05-27 06:52	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	41401	25	7068	335	17.01%
797232	mpa1256b	2019-05-27 06:37	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	40501	25	6839	322	16.82%
758028	mpa1256b	2019-05-27 06:22	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	39601	25	6543	309	16.46%
718876	mpa1256b	2019-05-27 06:07	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	38701	25	6166	294	15.87%
681180	mpa1256b	2019-05-27 05:52	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	37801	25	5874	277	15.47%
649513	mpa1256b	2019-05-27 05:37	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	36901	25	5686	261	15.34%
621186	mpa1256b	2019-05-27 05:23	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	36001	25	5325	240	14.72%
592069	mpa1256b	2019-05-27 05:07	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	35101	25	5109	224	14.48%
564852	mpa1256b	2019-05-27 04:52	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	34201	25	4974	218	14.47%
538259	mpa1256b	2019-05-27 04:37	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	33301	25	4916	215	14.69%
512101	mpa1256b	2019-05-27 04:22	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	32401	25	4877	213	14.97%
486230	mpa1256b	2019-05-27 04:07	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	31501	25	4743	209	14.98%
460241	mpa1256b	2019-05-27 03:52	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	30601	25	4633	205	15.06%
434488	mpa1256b	2019-05-27 03:37	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	29701	25	4603	204	15.41%
408369	mpa1256b	2019-05-27 03:22	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	28801	25	4603	204	15.9%
382157	mpa1256b	2019-05-27 03:07	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	27901	25	4603	204	16.41%
355800	mpa1256b	2019-05-27 02:52	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	27001	25	4580	203	16.87%
329107	mpa1256b	2019-05-27 02:37	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	26101	25	4580	203	17.45%
301627	mpa1256b	2019-05-27 02:22	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	25201	25	4554	202	17.97%

ภาพที่ 4.13 แสดงผลการเกิดปัญหาหตุมุน โหลดของสายอากาศที่นำเสนอ ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 12 เมตร โดยผนังห้องขวางกั้น

ID	User Name	Creation Time	Client IP	Platform	Type of N	Program Type	Program Name	Playback	Viewing Dura	Startup B	Total Buffer Tim	Buffer Fre	Buffering Ratio c
876741	mpa167df	2019-05-27 07:07	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	42301	1	19812	665	46.83%
836139	mpa167df	2019-05-27 06:52	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	41401	1	19593	654	47.32%
796446	mpa167df	2019-05-27 06:37	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	40501	1	19204	636	47.41%
757222	mpa167df	2019-05-27 06:22	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	39601	1	18882	619	47.68%
718186	mpa167df	2019-05-27 06:07	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	38701	1	18495	601	47.79%
680520	mpa167df	2019-05-27 05:52	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	37801	1	17994	582	47.6%
648966	mpa167df	2019-05-27 05:37	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	36901	1	17729	562	48.04%
619336	mpa167df	2019-05-27 05:22	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	36001	1	17562	544	48.78%
591511	mpa167df	2019-05-27 05:07	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	35101	1	16943	525	48.27%
564311	mpa167df	2019-05-27 04:52	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	34201	1	16439	509	48.06%
537719	mpa167df	2019-05-27 04:37	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	33301	1	16371	506	49.16%
511581	mpa167df	2019-05-27 04:22	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	32401	1	16323	504	50.37%
485767	mpa167df	2019-05-27 04:07	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	31501	1	16168	498	51.32%
459738	mpa167df	2019-05-27 03:52	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	30601	1	16066	494	52.5%
433888	mpa167df	2019-05-27 03:37	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	29701	1	16066	494	54.09%
407833	mpa167df	2019-05-27 03:22	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	28801	1	16040	493	55.69%
381632	mpa167df	2019-05-27 03:07	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	27901	1	16040	493	57.49%
355255	mpa167df	2019-05-27 02:52	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	27001	1	16040	493	59.4%
328563	mpa167df	2019-05-27 02:37	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	26101	1	16040	493	61.45%
301097	mpa167df	2019-05-27 02:22	49.49.233.52	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	25201	1	15985	491	63.43%

ภาพที่ 4.14 แสดงผลการเกิดปัญหาหตุมุน โหลดของสายอากาศเดิม ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 12 เมตร โดยผนังห้องขวางกั้นผนังห้องขวางกั้นและมี ระยะห่างจาก Access point 12 เมตร

จากภาพที่ 4.13 และภาพที่ 4.14 แสดงผลทดสอบปัญหาหตุมุน โหลดของ “mpa167df” ใช้สายอากาศที่ทางผู้วิจัยพัฒนาวิจัย และกล่องที่มี User Name “mpa1256b” ใช้สายอากาศ เดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงานที่ระยะทดสอบ 12 เมตรโดยไม่ตั้งใดขวางกั้นคือผนังห้อง ทั้ง 2 กล่อง เชื่อมต่อเข้ากับ Access point สำหรับทดสอบ แล้วทำการเปิดช่อง Thai PBs (HD) เพื่อทำการ

ทดสอบเช่นเดิม โดยทำการทดสอบด้วยการรับชมด้วยตาเปล่า พร้อมกับเข้าไปดูข้อมูลการรับชมจากระบบ User Tracking System ของผู้ให้บริการด้วย โดยใช้ระยะเวลาในการทดสอบทั้งสิ้นประมาณ 42,000 วินาที หรือประมาณ 12 ชั่วโมง โดยระบบ User Tracking System จะส่งค่ามาทุกๆ 900 วินาที หรือ 15 นาทีเช่นเดิม

จากการทดสอบเป็นเวลาประมาณประมาณ 12 ชั่วโมงพบว่ากล่อง mpa167df ที่ติดตั้งสายอากาศที่ทางผู้วิจัยพัฒนาได้รับสัญญาณพบว่าเกิดปัญหาหุนโหลดมากเช่นกัน พบว่ามีการเกิดขึ้นมากถึง 7400 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 4.13 ซึ่งเป็นการหุดโหลดก่อนจะเข้าช่องและการหุนโหลดจากการขาดช่วงของสัญญาณจริง คิดเป็นประมาณ 17.44% ระยะเวลา

ในขณะที่ กล่อง mpa1256b ใช้สายอากาศเดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงาน เกิดปัญหาหุนโหลดอย่างมาก ดังจะเห็นได้ในภาพที่ 4.14 ที่มีค่าการเกิดปัญหาหุนโหลดมากถึง 19,812 วินาที จากเวลาการรับชมทั้งหมด 42,301 วินาที หรือคิดเป็นครึ่งหนึ่งของระยะเวลาทดสอบ ซึ่งคิดเป็น 46.83% ซึ่งถือว่าจำนวนระยะเวลา 42,301 วินาทีหรือประมาณ 6 ชั่วโมงเป็นระยะเวลาที่ยาวนานเกินกว่าที่ผู้รับบริการจะรับได้

จากผลการทดสอบจากภาพที่ 4.13 และภาพที่ 4.14 จะพบว่า ทั้งสายอากาศที่ทางผู้วิจัยออกแบบมาหรือจะเป็นสายอากาศเดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงาน ถ้าพื้นที่การใช้งานอยู่ในพื้นที่ที่มีกำแพงกั้นระหว่าง Access point กับ STB แล้วก็ยังเกิดปัญหาหุนโหลดอยู่เพียงแต่สายอากาศที่ทางผู้วิจัยออกแบบจะมีการหุนโหลดที่น้อยกว่าสายอากาศเดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงาน

4.2.5 ทดสอบในพื้นที่บ้านพักอาศัยระยะ 5 เมตรโดยไม่มีสิ่งขวางกั้น

การทดสอบครั้งนี้ กำหนดพื้นที่ทดสอบเป็นบ้านพักอาศัยเช่นเดิม เชื่อมต่อกับ Access point ตัวเดิม แต่ทำการปรับระยะการทดสอบให้ใกล้มากขึ้นเป็นระยะ 5 เมตร ดังจะแสดงผลการทดสอบในภาพที่ 4.15 และภาพที่ 4.16 ระยะเวลาทดสอบ 86,402 วินาที หรือ 24 ชั่วโมง

Id	User Name	Creation Time	Client IP	Type of Networl	Program Type	Program Name	Playback	Viewing Dura	Startup B	Total Buffer Tim	Buffer Fre	Buffering Ratio c	Buffer Ratio
3379521	mpa167df	2019-05-29 20:05	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	86402	1	1	1	0%	0%
3302345	mpa167df	2019-05-29 19:50	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	85502	1	1	1	0%	0%
3235354	mpa167df	2019-05-29 19:35	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	84602	1	1	1	0%	0%
3169036	mpa167df	2019-05-29 19:20	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	83702	1	1	1	0%	0%
3102900	mpa167df	2019-05-29 19:05	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	82802	1	1	1	0%	0%
3037264	mpa167df	2019-05-29 18:50	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	81902	1	1	1	0%	0%
2975564	mpa167df	2019-05-29 18:35	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	81002	1	1	1	0%	0%
2917471	mpa167df	2019-05-29 18:20	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	80102	1	1	1	0%	0%
2867295	mpa167df	2019-05-29 18:05	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	79202	1	1	1	0%	0%
2812518	mpa167df	2019-05-29 17:50	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	78302	1	1	1	0%	0%
2761604	mpa167df	2019-05-29 17:35	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	77402	1	1	1	0%	0%
2707864	mpa167df	2019-05-29 17:20	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	76502	1	1	1	0%	0%
2661001	mpa167df	2019-05-29 17:05	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	75602	1	1	1	0%	0%
2613387	mpa167df	2019-05-29 16:50	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	74702	1	1	1	0%	0%
2568352	mpa167df	2019-05-29 16:35	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	73802	1	1	1	0%	0%
2522088	mpa167df	2019-05-29 16:20	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	72902	1	1	1	0%	0%
2478195	mpa167df	2019-05-29 16:05	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	72002	1	1	1	0%	0%
2432450	mpa167df	2019-05-29 15:50	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	71102	1	1	1	0%	0%
2385396	mpa167df	2019-05-29 15:35	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	70202	1	1	1	0%	0%
2337700	mpa167df	2019-05-29 15:20	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	69302	1	1	1	0%	0%

ภาพที่ 4.15 แสดงผลการเกิดปัญหาหามุนโหลดของสายอากาศที่นำเสนอ ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 5 เมตร โดยไม่มีสิ่งใดขวางกั้น

Id	User Name	Creation Time	Client IP	Type of Networl	Program Type	Program Name	Playback	Viewing Dura	Startup B	Total Buffer Tim	Buffer Fre	Buffering Ratio c	Buffer Ratio
3381513	mpa1256b	2019-05-29 20:06	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	86405	1	23	2	0.03%	0.03%
3304411	mpa1256b	2019-05-29 19:51	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	85504	1	23	2	0.03%	0.03%
3236885	mpa1256b	2019-05-29 19:36	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	84604	1	23	2	0.03%	0.03%
3170478	mpa1256b	2019-05-29 19:21	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	83704	1	23	2	0.03%	0.03%
3104542	mpa1256b	2019-05-29 19:06	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	82804	1	23	2	0.03%	0.03%
3038760	mpa1256b	2019-05-29 18:51	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	81904	1	23	2	0.03%	0.03%
2977104	mpa1256b	2019-05-29 18:36	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	81004	1	23	2	0.03%	0.03%
2919172	mpa1256b	2019-05-29 18:21	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	80104	1	23	2	0.03%	0.03%
2868371	mpa1256b	2019-05-29 18:06	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	79204	1	23	2	0.03%	0.03%
2813619	mpa1256b	2019-05-29 17:51	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	78304	1	23	2	0.03%	0.03%
2762822	mpa1256b	2019-05-29 17:36	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	77404	1	23	2	0.03%	0.03%
2709044	mpa1256b	2019-05-29 17:21	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	76504	1	23	2	0.03%	0.03%
2662118	mpa1256b	2019-05-29 17:06	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	75604	1	23	2	0.03%	0.03%
2614488	mpa1256b	2019-05-29 16:51	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	74704	1	23	2	0.03%	0.03%
2569244	mpa1256b	2019-05-29 16:36	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	73804	1	23	2	0.03%	0.03%
2523043	mpa1256b	2019-05-29 16:21	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	72904	1	23	2	0.03%	0.03%
2479187	mpa1256b	2019-05-29 16:06	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	72004	1	23	2	0.03%	0.03%
2433993	mpa1256b	2019-05-29 15:51	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	71104	1	23	2	0.03%	0.03%
2386336	mpa1256b	2019-05-29 15:36	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	70204	1	23	2	0.03%	0.03%
2338883	mpa1256b	2019-05-29 15:21	49.49.233.52	Wireless Networl	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	69304	1	23	2	0.03%	0.03%

ภาพที่ 4.16 แสดงผลการเกิดปัญหาหามุนโหลดของสายอากาศเดิม ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 5 เมตร โดยไม่มีสิ่งใดขวางกั้น

จากผลการทดสอบในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 5 เมตร โดยไม่มีสิ่งใดขวางกั้นจะพบว่ากล่อง mpa167df ที่ติดตั้งสายอากาศที่ทางผู้วิจัยพัฒนาวิจัยพบว่ามีปัญหาหามุนโหลดเลย พบเพียงแค่ 1 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 4.15 ซึ่งเป็นการหามุนโหลดก่อนจะเข้าช่อง หรือที่เรียกว่า startup buffer ดังที่เคยกล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.2.2 ส่วนอีกกล่องหนึ่งที่ตั้งสายอากาศเดิมจากโรงงานนั้นคือกล่อง mpa1256b พบว่ามีปัญหาหามุนโหลดบ้างเล็กน้อย พบเพียงแค่ 23 วินาที ถ้าเทียบกับระยะเวลาที่ทดสอบ 86,402 วินาที หรือประมาณ 24 ชั่วโมง ซึ่งถือว่าน้อยมากๆ

4.2.6 ทดสอบในพื้นที่บ้านพักอาศัยระยะ 5 เมตร โดยมีกำแพงกั้น

ในการทดสอบครั้งนี้จะทำการทดสอบเช่นเดิมคือกล่อง “mpa167df” ใช้สายอากาศที่ทางผู้วิจัยพัฒนาได้รับสัญญาณ และกล่อง “mpa1256b” ใช้สายอากาศเดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงานที่มี

Id	User Name	Creation Time	Client IP	Type of N	Program Type	Program Name	Playback	Viewing Dura	Startup B	Total Buffer Tim	Buffer Fre	Buffering Ratio c	Buffer Ratio
2363141	mpa167df	2019-06-07 15:38	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	71102	0	0	0	0%	0%
2316158	mpa167df	2019-06-07 15:23	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	70202	0	0	0	0%	0%
2268450	mpa167df	2019-06-07 15:08	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	69302	0	0	0	0%	0%
2222699	mpa167df	2019-06-07 14:53	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	68402	0	0	0	0%	0%
2179652	mpa167df	2019-06-07 14:38	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	67502	0	0	0	0%	0%
2128949	mpa167df	2019-06-07 14:23	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	66601	0	0	0	0%	0%
2083448	mpa167df	2019-06-07 14:08	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	65701	0	0	0	0%	0%
2037550	mpa167df	2019-06-07 13:53	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	64801	0	0	0	0%	0%
1991850	mpa167df	2019-06-07 13:38	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	63901	0	0	0	0%	0%
1946119	mpa167df	2019-06-07 13:23	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	63001	0	0	0	0%	0%
1900352	mpa167df	2019-06-07 13:08	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	62101	0	0	0	0%	0%
1854086	mpa167df	2019-06-07 12:53	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	61201	0	0	0	0%	0%
1808011	mpa167df	2019-06-07 12:38	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	60301	0	0	0	0%	0%
1760577	mpa167df	2019-06-07 12:23	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	59401	0	0	0	0%	0%
1715703	mpa167df	2019-06-07 12:08	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	58501	0	0	0	0%	0%
1672519	mpa167df	2019-06-07 11:53	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	57601	0	0	0	0%	0%
1629791	mpa167df	2019-06-07 11:38	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	56701	0	0	0	0%	0%
1585992	mpa167df	2019-06-07 11:23	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	55801	0	0	0	0%	0%
1543359	mpa167df	2019-06-07 11:08	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	54901	0	0	0	0%	0%
1498061	mpa167df	2019-06-07 10:53	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	54001	0	0	0	0%	0%

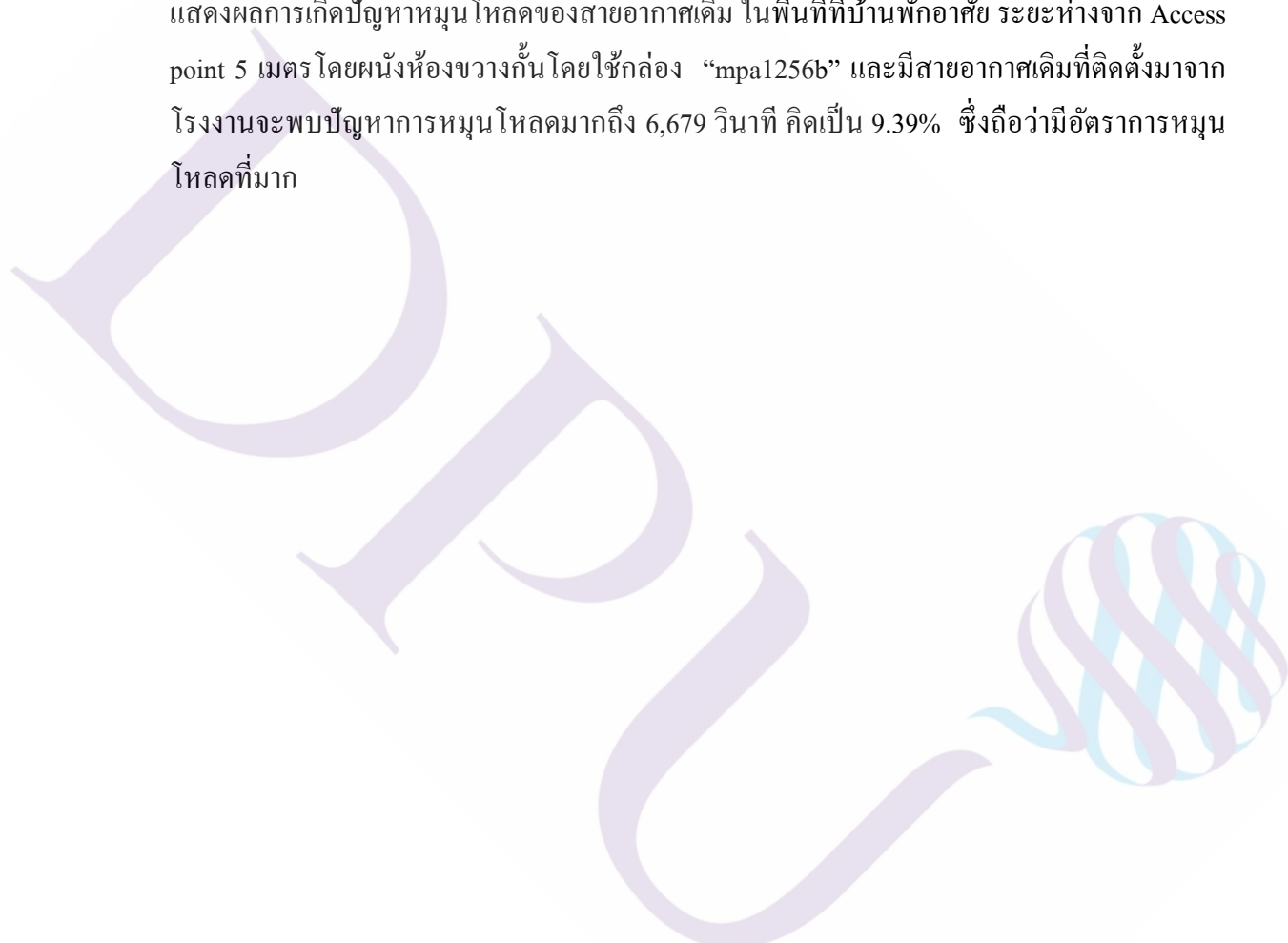
ภาพที่ 4.17 แสดงผลการเกิดปัญหาหามุนโหลดของสายอากาศที่นำเสนอในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 5 เมตร โดยผนังห้องขวางกั้น

Id	User Name	Creation Time	Client IP	Type of N	Program Type	Program Name	Playback	Viewing Dura	Startup B	Total Buffer Tim	Buffer Fre	Buffering Ratio c	Buffer Ratio
2367268	mpa1256b	2019-06-07 15:39	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	71103	3	6679	884	9.39%	9.39%
2320385	mpa1256b	2019-06-07 15:24	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	70203	3	6679	884	9.51%	9.51%
2272616	mpa1256b	2019-06-07 15:09	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	69303	3	6679	884	9.63%	9.64%
2226594	mpa1256b	2019-06-07 14:54	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	68403	3	6679	884	9.76%	9.76%
2183730	mpa1256b	2019-06-07 14:39	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	67503	3	6679	884	9.89%	9.89%
2132934	mpa1256b	2019-06-07 14:24	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	66603	3	6679	884	10.02%	10.03%
2087967	mpa1256b	2019-06-07 14:09	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	65703	3	6679	884	10.16%	10.17%
2041451	mpa1256b	2019-06-07 13:54	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	64803	3	6679	884	10.3%	10.31%
1995942	mpa1256b	2019-06-07 13:39	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	63903	3	6679	884	10.45%	10.45%
1950331	mpa1256b	2019-06-07 13:24	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	63003	3	6679	884	10.6%	10.6%
1904656	mpa1256b	2019-06-07 13:09	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	62103	3	6679	884	10.75%	10.75%
1858491	mpa1256b	2019-06-07 12:54	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	61202	3	6679	884	10.91%	10.91%
1812285	mpa1256b	2019-06-07 12:39	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	60302	3	6679	884	11.07%	11.08%
1764844	mpa1256b	2019-06-07 12:24	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	59402	3	6679	884	11.24%	11.24%
1719753	mpa1256b	2019-06-07 12:09	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	58502	3	6679	884	11.41%	11.42%
1676645	mpa1256b	2019-06-07 11:54	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	57602	3	6679	884	11.59%	11.6%
1633554	mpa1256b	2019-06-07 11:39	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	56702	3	6679	884	11.77%	11.78%
1590098	mpa1256b	2019-06-07 11:24	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	55802	3	6679	884	11.96%	11.97%
1547382	mpa1256b	2019-06-07 11:09	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	54902	3	6679	884	12.16%	12.17%
1502117	mpa1256b	2019-06-07 10:54	49.49.233.5	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	54002	3	6679	884	12.36%	12.37%

ภาพที่ 4.18 แสดงผลการเกิดปัญหาหามุนโหลดของสายอากาศเดิม ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 5 เมตรโดยผนังห้องขวางกั้น

ระยะทดสอบ 5 เมตร โดยมีกำแพงกั้น และเชื่อมต่อทั้ง 2 กล่อง เข้ากับ Access point สำหรับทดสอบแล้ว ทำการเปิดช่อง Thai PBs (HD) เพื่อทำการทดสอบ และใช้เวลาในการทดสอบ ประมาณ 71,100 วินาที ได้ผลการทดสอบดังนี้

จากภาพที่ 4.17 แสดงผลการเกิดปัญหาหุนโหลดของสายอากาศที่นำเสนอ ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 5 เมตร โดยผนังห้องขวางกั้น พบว่ากล่อง “mpa167df” ใช้สายอากาศที่ทางผู้วิจัยพัฒนารับสัญญาณไม่พบการเกิดปัญหาหุนโหลดเลย ในขณะที่ภาพที่ 4.18 แสดงผลการเกิดปัญหาหุนโหลดของสายอากาศเดิม ในพื้นที่ที่บ้านพักอาศัย ระยะห่างจาก Access point 5 เมตร โดยผนังห้องขวางกั้น โดยใช้กล่อง “mpa1256b” และมีสายอากาศเดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงานจะพบปัญหาการหุนโหลดมากถึง 6,679 วินาที คิดเป็น 9.39% ซึ่งถือว่ามียัตราการหุนโหลดที่มาก



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการอภิปรายเพื่อสรุปผลที่ได้จากการทดสอบงานวิจัย รวมทั้งข้อจำกัดของระบบที่พบจากการทดสอบการออกแบบและพัฒนาสายอากาศ และข้อเสนอแนะสำหรับแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไปเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของสายอากาศให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากการดำเนินการออกแบบและพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปสำหรับกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตนั้นพบว่า สายอากาศชุดที่ 1 มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาดกว้าง 46 มิลลิเมตร ยาว 48 มิลลิเมตรมีความหนาประมาณ 1.6 มิลลิเมตร คือชุดสายอากาศที่นำเสนอได้อัตราขยาย 3 dB อัตราขยายที่ได้เป็นไปตามขอบเขตการวิจัย และสามารถเพิ่มความเสถียรของสัญญาณ WiFi ได้ดีขึ้น และส่งผลให้คุณภาพการรับชมดีขึ้น ปัญหาการหมุนโหลดลดลง

แต่มีข้อสังเกตบางประการ ผลการจำลองออกแบบสายอากาศต้นแบบโดยซอฟต์แวร์เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานจริงนั้นมีความแตกต่างกันอยู่บ้าง อันเนื่องมาจากวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานมีค่าคงตัวแต่ละค่าไม่ตรงกับค่าที่ใช้ในแบบจำลอง เช่นความหนาของแผ่นทองแดงที่ใช้ทำแพทช์และกราวด์ ความหนาของสารที่ใช้ทำหน้าที่ Boundary รวมไปถึงค่าคงตัวเฉพาะทางไฟฟ้า (Electric Constance) ของเนื้อสารอิพ็อกซีนั้นๆ อาจมีค่าไม่แน่นอนจนถูกต้องเหมือนการจำลองด้วยซอฟต์แวร์

อีกปัจจัยหนึ่งคือการถอดแบบจากซอฟต์แวร์ออกมาเป็นชิ้นงานจริงนั้น ในกระบวนการสร้างชิ้นงานมีปัจจัยมากมายที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง เช่นการวางตำแหน่งของแผ่นแพทช์กับแผ่นกราวด์ การบัดกรีคอนเนคเตอร์เข้ากับสายอากาศ หรือแม้แต่พยายามสร้างชิ้นงานแบบเดิมอีกหนึ่งชิ้นด้วยวัสดุชิ้นเดียวกัน แม่แบบเดียวกัน ก็ยังได้ค่าที่ต่างกัน ดังจะเห็นได้ในผลการทดลองตารางที่ 4.2 ชิ้นงานรูปแบบเดียวกันหมายเลข 5, 6, 9 และ 10 เป็นวัสดุชิ้นเดียวกัน แม่แบบเดียวกัน ก็ยังได้ค่าที่ต่างกันพอสมควร

ในส่วนของการทดสอบวัดค่าผลการทดลอง สภาพแวดล้อมในการทดสอบสายอากาศก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาด เนื่องจากผู้วิจัยไม่สามารถสร้างสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยจากสัญญาณ WiFi ในขณะที่ทดสอบได้ ทำให้เกิดการรบกวนขณะทดสอบจากสัญญาณ WiFi อื่นๆ มากมาย เนื่องจากสภาพแวดล้อมในปัจจุบันนั้นแทบทุกที่ ที่มีผู้คนอยู่อาศัยมักจะมีสัญญาณ WiFi อยู่มากมายเสมอ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สรุปผลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ผลการดำเนินการออกแบบและพัฒนาสายอากาศแบบไมโครสตริปสำหรับกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ดังนี้

1) สามารถศึกษาสายอากาศแบบที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งในกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต ยี่ห้อ GENIATECH รุ่น MPA108 ได้

2) สามารถออกแบบและพัฒนาสายอากาศไมโครสตริป ย่านความถี่ 2.4 GHz เพื่อกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต ยี่ห้อ GENIATECH รุ่น MPA108 ได้

5.1.2 สรุปผลตามขอบเขตของงานวิจัย

หลังจากได้ทำการทดสอบแล้วนั้น พบว่าสารนิพนธ์การออกแบบและพัฒนาสายอากาศแบบไมโครสตริปสำหรับกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต นั้นสามารถทำงานได้ตามขอบเขตงานที่กำหนดไว้ดังนี้

1) สามารถศึกษาสายอากาศแบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต ยี่ห้อ GENIATECH รุ่น MPA108

2) สามารถออกแบบสายอากาศแบบที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งในกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต ยี่ห้อ GENIATECH รุ่น MPA108 เพื่อแก้ไขปัญหาการรับชมช่องรายการที่ไม่ต่อเนื่องได้

3) สามารถออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 2.4 GHz โดยใช้วิธีจำลองการทำงานด้วยซอฟต์แวร์ Ansoft HFSS version 13.0 ได้

4) งานวิจัยนี้สามารถทดสอบโดยการใช้บริการ IPTV โดยวัดประสิทธิภาพของระบบจากความต่อเนื่องในการรับชม IPTV และข้อมูลการหมุนโหลดที่อยู่ใน STB ที่ผู้ดูแลระบบสามารถเข้าถึงได้

5.2 ข้อจำกัดของระบบ

สารนิพนธ์ฉบับนี้ยังมีข้อจำกัดซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

5.2.1 ระบบเรื่องการออกแบบและพัฒนาขนาดของสายอากาศที่จะนำไปติดตั้งในกล่อง IPTV STB เนื่องจาก ด้วยขนาดของกล่องรับสัญญาณที่มีขนาดจำกัด ทำให้สามารถออกแบบสายอากาศที่มีขนาดใหญ่ได้ อันส่งผลให้อัตราขยายของสายอากาศออกแบบให้สูงขึ้น ได้มากนัก อันเนื่องมาจาก ขนาดของแผ่นตัวทำของสายอากาศเป็นตัวแปรสำคัญส่งผลต่ออัตราขยายของสายอากาศ

5.2.2 ข้อจำกัดในการพัฒนาสายอากาศตามการออกแบบจากโปรแกรมจำลองด้วยกระบวนการสร้างสายอากาศทั้งหมดทำด้วยมือ ทำให้มีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการวางแบบและ ขั้นตอนในการออกแบบ ขั้นตอนการกัดลายทองแดง ขั้นตอนการบัดกรีคอนเน็คเตอร์เข้ากับสายอากาศ ทั้งหมดที่กล่าวมานั้นถึงแม้จะทำด้วยต้นแบบเดียวกัน วิธีเดียวกัน ผลการวัดสายอากาศแต่ละตัวก็ยังมีค่าอัตราขยายต่างกัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะของการออกแบบและพัฒนาสายอากาศแบบไมโครสตริปสำหรับกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตสามารถแยกข้อเสนอแนะออกเป็นข้อ ๆ ได้ดังต่อไปนี้คือ

5.3.1 ผลการจำลองด้วยซอฟต์แวร์กับการสร้างชิ้นงานจริงมีความแตกต่างกันพอสมควรจึงควรปรับค่าพารามิเตอร์ของวัสดุให้ใกล้เคียงกับค่าวัสดุที่ใช้จริงมากที่สุด

5.3.2 สภาพแวดล้อมในการทดสอบสายอากาศเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนไปได้ ดังนั้นควรหาพื้นที่ทดสอบให้ปลอดจากสัญญาณ WiFi จาก สภาพแวดล้อม

5.3.3 ในปัจจุบันกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตบางรุ่นสามารถรองรับคลื่นความถี่ WiFi ย่าน 5 GHz แล้ว ดังนั้นในอนาคตควรออกแบบสายอากาศที่รองรับทั้งคลื่นความถี่ WiFi ที่ย่าน 2.4 GHz และ 5 GHz ด้วย

5.3.4 วัสดุที่ใช้ในกระบวนการสร้างต้นแบบสายอากาศที่มีขายในประเทศไทย มีค่าสัมประสิทธิ์คงตัวทางวัสดุแตกต่างกันไปจากการจำลองมาก เช่นความหนาของแผ่นทองแดง ค่าคงตัวไดอิเล็กทริก ของแผ่น PCB ที่เป็นฉนวนกั้นกลางระหว่างตัวนำกับเป็นกราวด์ ดังนั้นควรหาวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์คงตัวใกล้เคียงกับการจำลองให้มากที่สุด ซึ่งมาขายในต่างประเทศและมีราคาแพง



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- กัลยรัตน์ สิมณ. (2555). การออกแบบสายอากาศสำหรับระบบสวิตซ์ลำคลื่นที่ใช้ในโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- นิพนธ์ วัฒนรัตน์. (2552). กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการประกอบธุรกิจแพร่สัญญาณโทรศัพท์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โพรโตคอล, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชากฎหมายธุรกิจ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- บัณฑิต โรจน์อารยานนท์. (2536). วิศวกรรมสายอากาศ (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- โมไนย ไกรฤกษ์. (2540). ทฤษฎีสายอากาศ. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
- อรรถนพ ชันธิกุล, อำนาจ มีมงคล. (2553). ออกแบบและติดตั้งระบบ Wireless LAN 2nd Edition. กรุงเทพฯ : ไอดีซี พรีเมียร์, บจก.
- [1] Wikipedia. (2551). IEEE 802.11. สืบค้น 20 กุมภาพันธ์ 2561 จาก https://th.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- [2] Wikipedia. (2551). สายอากาศ. สืบค้น 20 กุมภาพันธ์ 2561 จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/สายอากาศ>.
- [3] บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน). (“n.d.”). ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ. สืบค้น 22 กุมภาพันธ์ 2561 จาก <http://dtv.mcot.net/data/manual/book1309960190.pdf>.
- [5] Wikipedia. (2559). อัตราส่วนคลื่นนิ่ง. สืบค้น 20 ธันวาคม 2561 จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/อัตราส่วนคลื่นนิ่ง>

บรรณานุกรม (ต่อ)

ภาษาต่างประเทศ

- CIM Design. (2018). *Microstrips Patch antenna with slot array using HFSS*
Retrieved May 5, 2018, From <https://www.youtube.com/watch?v=nRV8vP4eTos>
- cisco community. (2010) *SNR and RSSI Values*.
Retrieved Jul 3, 2018, From <https://community.cisco.com/t5/wireless-and-mobility/snr-and-rssi-values/td-p/1445589>
- Emtalk team. (2010). *Microstrip Patch Antenna From Simulation to Realization*
Retrieved May 6, 2018, From http://www.emtalk.com/mwt_mpa.htm
- Everythingrf. . (“n.d.”). *Friis Transmission Calculator*.
Retrieved Jul 20, 2018 From <https://www.everythingrf.com/rf-calculators/friis-transmission-calculator>
- Everythingrf. . (“n.d.”). *Antenna Near Field & Far Field Distance Calculator*.
Retrieved Jul 20, 2018 From <https://www.everythingrf.com/rf-calculators/antenna-near-field-distance-calculator>
- Everythingrf. . (“n.d.”). *Frequency to Wavelength Calculator*.
Retrieved Jul 20, 2018 From <https://www.everythingrf.com/rf-calculators/frequency-to-wavelength>
- Gourav Misra. (2015) *DESIGN OF MICROSTRIP PATCH ANTENNA FOR WIDE BAND AND ULTRA WIDE BAND APPLICATIONS* Retrieved May 15, 2018, From <https://www.researchgate.net/publication/312523480>
- HelpBeingEngineer dot info. (2017). *Design Rectangular Patch Antenna using HFSS Part - 1*
Retrieved May 6, 2018, From <https://www.youtube.com/watch?v=Er-vhs7VnS8>
- IMB+Records Ltd. (2015). *Buffering problems*.
Retrieved Jul 20, 2018 From <https://www.imb-plus.tv/support/buffering-problems/>
- Metageek team. (“n.d.”). *RSSI vs dBm*
Retrieved Jul 3, 2018, From <https://www.metageek.com/training/resources/understanding-rssi.html>

บรรณานุกรม (ต่อ)

ภาษาต่างประเทศ

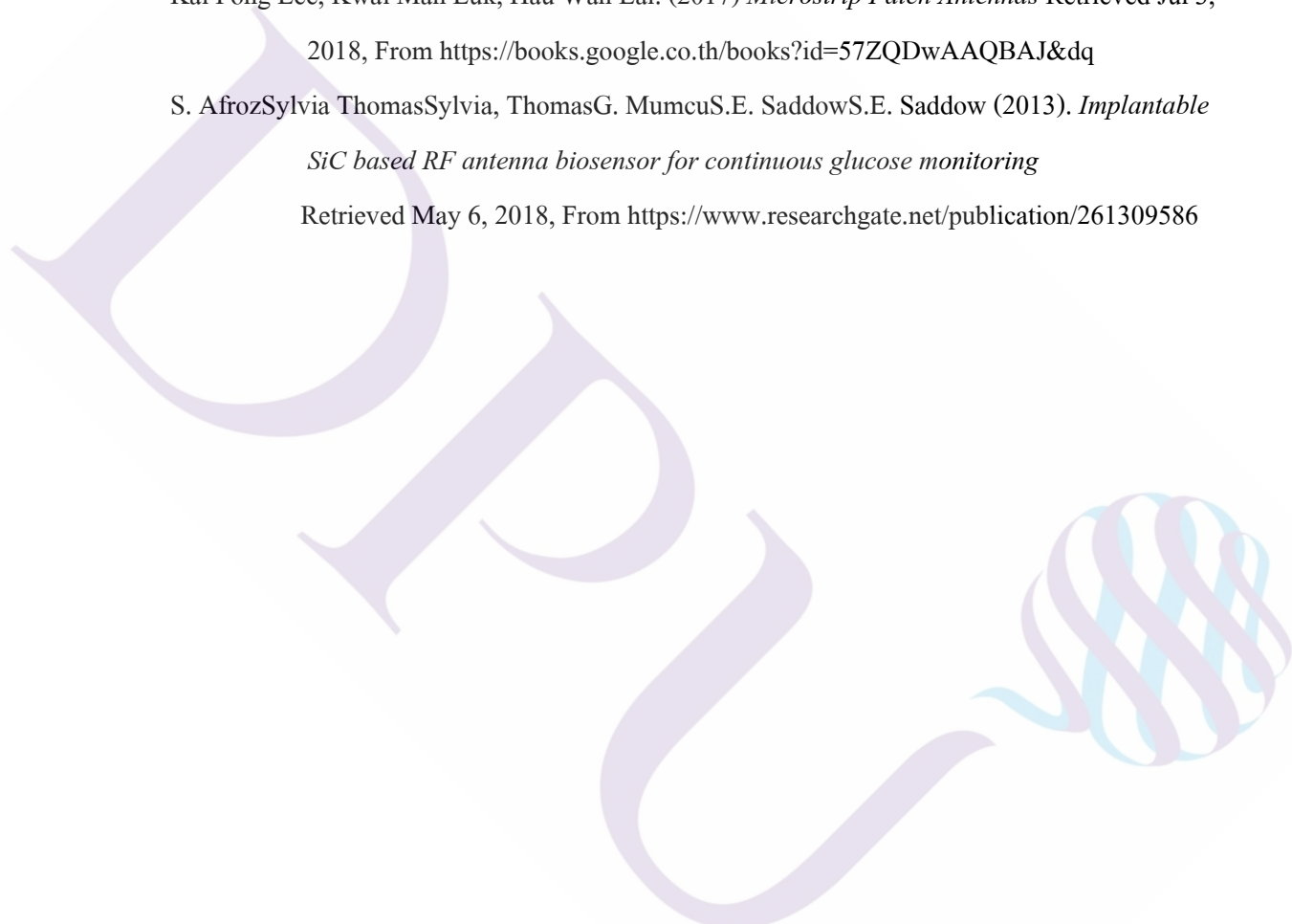
microwaves101. (“n.d.”). *Microwaves101's Download Area*.

Retrieved Jul 20, 2018 From <https://www.microwaves101.com/download-area>

Kai Fong Lee, Kwai Man Luk, Hau Wah Lai. (2017) *Microstrip Patch Antennas* Retrieved Jul 3, 2018, From <https://books.google.co.th/books?id=57ZQDwAAQBAJ&dq>

S. AfrozSylvia ThomasSylvia, ThomasG. MumcuS.E. SadowS.E. Sadow (2013). *Implantable SiC based RF antenna biosensor for continuous glucose monitoring*

Retrieved May 6, 2018, From <https://www.researchgate.net/publication/261309586>





ภาคผนวก

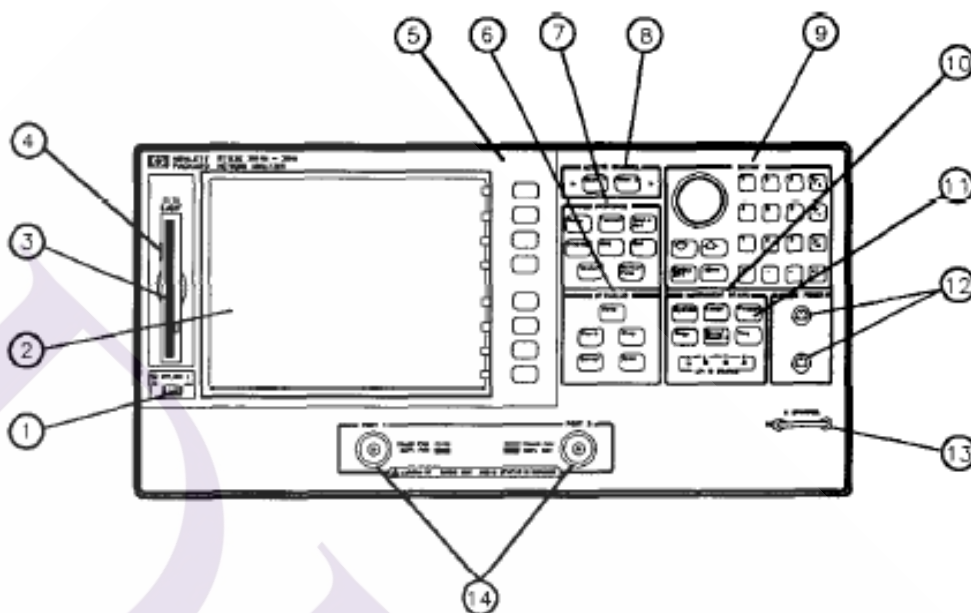
ภาคผนวก ก

เครื่องมือ Network Analyzer HP 87533



เครื่องมือ (Calibration) Network Analyzer HP 87533

อธิบายปุ่มของเครื่องมือ Network Analyzer



1. LINE switch เพื่อเปิด-ปิดเครื่องมือ
2. Display เป็นหน้าจอแสดงผลการวัด
3. Disk drive ใช้เพื่อบันทึกข้อมูลด้วย Floppy Disk 3.5 นิ้ว
4. Disk eject button ปุ่มกด เพื่อเอา Disk ออก
5. Softkeys ปุ่มกดเพื่อเข้าเมนูย่อย
6. STIMULUS function block กลุ่มปุ่มใช้สำหรับควบคุมการจำลองผล
7. RJZSPONSE function block กลุ่มปุ่มใช้สำหรับควบคุมการแสดงผล
8. ACTIVE CHANNEL keys กลุ่มปุ่มใช้สำหรับควบคุมการแสดงผลและเลือกช่อง
9. The ENTRY block กลุ่มปุ่มใช้สำหรับป้อนค่า
10. INSTRUMENT STATE function block ปุ่มเพื่อเข้าเมนูย่อยของการวัด
11. PRESET Key ปุ่มเพื่อตั้งค่าเริ่มต้น
12. PROBE POWER connector จุดเชื่อมต่อสำหรับวัดค่ามาตรฐานของเครื่องมือวัด
13. R CHANNEL connectors จุดเชื่อมต่อสำหรับวัดค่า Frequency offset ของเครื่องมือวัด
14. PORT 1 and PORT 2 พอร์ตสำหรับวัดค่า

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล

ประวัติการศึกษา

อนิรุทธ์ กัลยา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ปีที่สำเร็จการศึกษา พ.ศ.2546

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

ผู้จัดการแผนกวิศวกรรมและไอทีซัพพอร์ต

บริษัท มี เทเลวิชั่น จำกัด

ประสบการณ์

IT and Engineering Management

พ.ศ. 2556 -ปัจจุบัน

