



สายอากาศยาคีชนิด 3 อิลิเมนต์ย่านความถี่ 510-790 MHz

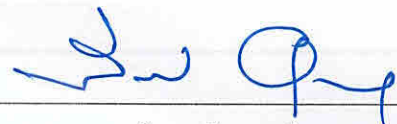
นายไพโรจน์ สุนะไตร รหัส B5406821

นายศิวพงษ์ เพิ่มพูล รหัส B5429622

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 527499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2554
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ประจำภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2558

สายอากาศยาคีชนิด 3 อิลิเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz

คณะกรรมการสอบโครงการ



(รองศาสตราจารย์ ดร. พีระพงษ์ อุฑารสกุล)

กรรมการ



(รองศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล)

กรรมการ



(รองศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้แนบรายงานฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับ
ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม วิชา 527499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม
ประจำปีการศึกษา 2558

โครงการงาน	สายอากาศยาก็ชนิด 3 อิลิเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz		
จัดทำโดย	นายไพโรจน์	สุนะไตร	รหัส B5406821
	นายศิวพงษ์	เพิ่มพูล	รหัส B5429622
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์		
สาขาวิชา	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม		
ภาคการศึกษา	2/2558		

บทคัดย่อ

(Abstract)

โครงการงานนี้เป็นการนำเอาแนวความคิดที่นำหลักการสายอากาศยาก็ซึ่งเป็นสายอากาศประเภททิศทางเดียว มีความแรงสัญญาณตัวอิลิเมนต์ซึ่งนำทิศมากกว่าตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน ส่วนการรับสัญญาณก็เช่นกัน จะรับสัญญาณตัวอิลิเมนต์ซึ่งนำทิศดีกว่าตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน และเรายังจะเรียกว่าสัญญาณตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อนและด้านข้างของสายอากาศยาก็รับสัญญาณไม่ได้นั้นเองโครงการงานนี้จึงได้ศึกษาการออกแบบสายอากาศยาก็สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลแบบชนิด3อิลิเมนต์ ประกอบด้วย อิลิเมนต์ตัวขับ อิลิเมนต์ตัวขึ้นาคลื่น อิลิเมนต์ตัวสะท้อน ประเภทสายอากาศยาก็ให้มีความกว้างแถบที่กว้างและมีอัตราขยายที่สูงในการส่งสัญญาณ เพื่อเพิ่มอัตราขยายให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยมุ่งเน้นพัฒนาสายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล และนำสายอากาศต้นแบบมาทำการวัดและทดสอบพารามิเตอร์สำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของสายอากาศ เพื่อให้สายอากาศที่ออกแบบเป็นไปตามคุณสมบัติที่เหมาะสมและมีแนวโน้มว่าเป็นสายอากาศที่ดีและสามารถใช้ประโยชน์ได้ในสภาวะการทำงานจริง

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

การทำโครงการปริญญาโทขั้นนี้ได้รับการสนับสนุนจากผู้มีพระคุณหลายๆท่านจึงทำให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและยังส่งผลให้คณะผู้จัดทำได้รับความรู้และประสบการณ์ในด้านต่างๆมากมายคณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งซึ่งบุคคลแรกคืออาจารย์ที่ปรึกษาโครงการรองศาสตราจารย์ ดร. รั้งสรรค์ วงศ์สรรคร์ ผู้ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในทุกๆ ด้านแก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด

ขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องอื่นๆดังนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณภูมิพงษ์ ดวงตั้ง และคุณพีรสันต์ คำสาตินักศึกษาปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการทำสายอากาศมาโดยตลอด

ขอขอบคุณคุณคุณปณิฎฐาท์ อาจหาญ เลขานุการการประจำสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมที่คอยแจ้งข่าวสารและความสะดวกในการติดต่อกับอาจารย์

ขอขอบคุณเพื่อนๆพี่ๆและน้องๆสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมคนที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆแก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณบิดาและมารดาที่ท่านทั้งสองให้การดูแลเอาใจใส่เลี้ยงดูและคอยเป็นกำลังใจเคียงข้างมาโดยตลอดทำให้โครงการนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

นายไพโรจน์ สุนะไตร

นายศิวพงษ์ เพิ่มพูล

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 คุณสมบัติที่ดีของสายอากาศ	4
2.2.1 แบบรูปการแผ่กำลัง	4
2.2.2 การโพลารไรซ์	7
2.2.3 อัตราขยาย	8
2.2.4 ความกว้างแถบ	9
2.2.5 ความกว้างลำคลื่น	10
2.2.6 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง	10
2.2.7 อิมพีแดนซ์ด้านเข้า	11
2.2.8 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง	12
2.3 ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศยาก็	13
2.4 ไดโพลแบบพับ	17
2.5 สรุปรูป	20
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างสายอากาศต้นแบบ	
3.1 บทนำ	21
3.2 สายอากาศไดโพล	21

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง		หน้า
	3.3วิธีการจำลองสายอากาศยาภิชนิด 3 อีลีเมนต์ย่านความถี่510-790 MHz	22
	3.4 การสร้างสายอากาศต้นแบบ	37
	3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้	37
	3.4.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปสายอากาศต้นแบบ	38
	3.5 สรุป	43
บทที่ 4	ผลการทดลองและการวัดสายอากาศ	
	4.1 กล่าวนำ	44
	4.2 การสร้างสายอากาศต้นแบบ	44
	4.2.1 การวัดอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic Impedance)	45
	4.2.2 ความกว้างแถบของสายอากาศ	46
	4.2.3 แบบรูปการแผ่กำลังและโพลาไรซ์ของสายอากาศ	48
	4.2.4 อัตราขยาย	54
	4.3 สรุป	58
บทที่ 5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
	5.1บทสรุป	59
	5.2ข้อเสนอแนะ	61
บรรณานุกรม		62
ประวัติผู้เขียน		63

สารบัญรูป

รายการ	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศ	6
รูปที่ 2.2 แบบรูปการแผ่กำลังแบบรอบตัวในระนาบเดียว	7
รูปที่ 2.3 ลักษณะการแผ่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศ	7
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแบบรูปการแผ่กำลัง	10
รูปที่ 2.5 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังและความกว้างลำคลื่น ซึ่งมีค่าเป็นศูนย์จุดแรก	11
รูปที่ 2.6 สายอากาศในโหมดการส่ง	12
รูปที่ 2.7 การก่อรูปคลื่นนิ่ง	12
รูปที่ 2.8 สายอากาศไดโพลแบบครึ่งคลื่นพร้อมกับ (a) ตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน (b)ตัวอิลิเมนต์ชี้หน้าทิศ	14
รูปที่ 2.9รูปแบบการแผ่คลื่นของไดโพลครึ่งคลื่น และตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน ในระนาบแนวราบ	15
รูปที่ 2.10 รูปแบบการแผ่คลื่นของไดโพลครึ่งคลื่น และตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน ในระนาบแนวตั้ง	15
รูปที่ 2.11 รูปแบบการแผ่คลื่นของไดโพลครึ่งคลื่นตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน และตัวอิลิเมนต์ชี้หน้าทิศ ระนาบแนวนอน	16
รูปที่ 2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนไดเรกเตอร์กับอัตราขยายของสายอากาศ17 ยากิในทิศที่มีการแผ่มากที่สุด	17
รูปที่ 2.13 แสดงไดโพลแบบห้วงขนาดครึ่งคลื่น	18
รูปที่ 2.14 แสดงสายอากาศแบบยากิที่ใช้งานจริง	19
รูปที่ 3.1 หน้าต่างโปรแกรม CST Microwave Studio 2014	22
รูปที่ 3.2 เลือกแบบสายอากาศ (Antennas)	23
รูปที่ 3.3 เลือกแบบสายอากาศชนิด (Wire)	23
รูปที่ 3.4 การกำหนดหน่วยต่างๆ	24
รูปที่ 3.5 การกำหนดช่วงระยะความถี่	24
รูปที่ 3.6 หน้าต่างเริ่มต้นการจำลองชิ้นงาน	25
รูปที่ 3.7 การขึ้นรูปชิ้นงานและการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ	25
รูปที่ 3.8การกำหนดตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อง่ายต่อการวาดรูปชิ้นงาน	26
รูปที่ 3.9 การกำหนดพอร์ตเพื่อกระตุ้นกระแส	26

สารบัญรูป(ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปที่ 3.10 การกำหนดความถี่เพื่อจำลองผลที่ 650 MHz	27
รูปที่ 3.11 ผลการจำลองการวัดของสายอากาศ	27
รูปที่ 3.12 การดูค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient) หรือในรูปของพารามิเตอร์	28
รูปที่ 3.13แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)	28
รูปที่ 3.14แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)	29
รูปที่ 3.15แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศ 3 มิติ	29
รูปที่ 3.16 การกำหนดตัวแปรและค่าพารามิเตอร์เพื่อสร้างชิ้นส่วนอีลีเมนต์ตัวสะท้อน	30
รูปที่ 3.17 การสร้างชิ้นส่วนสายอากาศ 3 มิติ อีลีเมนต์ตัวสะท้อนตัว (Reflector)	30
รูปที่ 3.18 การดูค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน หรือในรูปของพารามิเตอร์	31
รูปที่ 3.19แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศ 3 มิติ หลังใส่อีลีเมนต์ตัวสะท้อน	31
รูปที่ 3.20แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าหลังใส่อีลีเมนต์ตัวสะท้อน	32
รูปที่ 3.21แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็ก หลังใส่อีลีเมนต์ตัวสะท้อน	32
รูปที่ 3.22 การกำหนดตัวแปรและค่าพารามิเตอร์เพื่อสร้างชิ้นส่วนอีลีเมนต์ชั้นนำทิศ	33
รูปที่ 3.23 การสร้างชิ้นส่วนอีลีเมนต์ชั้นนำทิศ	33
รูปที่ 3.24 การสร้างชิ้นส่วนสายอากาศ 3 มิติ หลังใส่อีลีเมนต์ชั้นนำทิศ	34
รูปที่ 3.25 การดูค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน หรือในรูปของพารามิเตอร์	34
รูปที่ 3.26แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศ 3 มิติ หลังใส่อีลีเมนต์ชั้นนำทิศ	35
รูปที่ 3.27แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้า อีลีเมนต์ชั้นนำทิศ	35
รูปที่ 3.28แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็ก อีลีเมนต์ชั้นนำทิศ	36
รูปที่ 3.29 การดูค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง	36
รูปที่ 3.30การดูค่าอิมพีแดนซ์	37
รูปที่ 3.31 (ก)แผ่นอลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร (ข) ท่อกล่องอลูมิเนียม เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.16 มิลลิเมตร (ค) สาย RG-223U ค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม (ง) SMA Female ค่าอิมพีแดนซ์50 โอห์ม(จ) SMA male ค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม (ฉ) นี้อต เบอร์ 10 และ 12 และ(ช) อุปกรณ์ตัวยึด	38
รูปที่ 3.32 รูปแบบและขนาดการตัดแผ่นอลูมิเนียมเป็นรูปตัว H	38
รูปที่ 3.33 รูปแบบและขนาดการตัดแผ่นอลูมิเนียม	39

สารบัญรูป(ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปที่ 3.34 รูปแบบการเจาะรูแผ่นอลูมิเนียมและติดแผ่นเทฟลอน (Teflon sheet)	39
รูปที่ 3.35 รูปแบบการตัดแผ่นอลูมิเนียม ขนาด 500 x 610 มิลลิเมตร	40
รูปที่ 3.36 การเจาะรูแผ่นอลูมิเนียมที่ได้จากขั้นตอนที่ 3	40
รูปที่ 3.37 ตัวยึดท่อกล่องอลูมิเนียม	41
รูปที่ 3.38 รูปแบบการตัดท่อกล่องอลูมิเนียม เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร	41
รูปที่ 3.39 รูปแบบการตัดท่อกล่องอลูมิเนียม เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ให้มีความยาวขนาด 1200 มิลลิเมตร	42
รูปที่ 3.40 รูปแบบการประกอบอุปกรณ์	42
รูปที่ 4.1 การวัดอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ	45
รูปที่ 4.2 ผลการวัดอิมพีแดนซ์ด้านเข้าความถี่ 650 MHz ของสายอากาศต้นแบบ	46
รูปที่ 4.3 ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ	47
รูปที่ 4.4 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากการทดสอบของสายอากาศ	47
รูปที่ 4.5 สายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่นที่ใช้เป็นตัวส่ง	48
รูปที่ 4.6 KEYSIGHT Field Fox RF Analyzer รุ่น N9912A 6GHz	49
รูปที่ 4.7 วิธีวัดแบบรูประนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศต้นแบบ	50
รูปที่ 4.8 แบบรูประนาบสนามแม่เหล็กที่ได้จากการทดสอบของสายอากาศยาก็ชนิด 3 อิลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz	50
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบสนามแม่เหล็กที่ได้จากการทดสอบและจากโปรแกรม CST Microwave Studio 2014	51
รูปที่ 4.10 วิธีวัดแบบรูประนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศต้นแบบ	52
รูปที่ 4.11 แบบรูประนาบสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบสายอากาศยาก็ชนิด 3 อิลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz	52
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบและจากโปรแกรม CST Microwave Studio 2014	53
รูปที่ 4.13 ค่าส่งผ่านคลื่น (s_{21}) ของสายอากาศไดโพล (ภาคส่ง)	55
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราขยายกับความถี่ย่าน 510-790 MHz	57

สารบัญตาราง

รายการ	หน้า
ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพของสายอากาศยาก็ที่ใช้ทั่วไป	19
ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลจากการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการทดสอบของสายอากาศต้นแบบ	60



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

พื้นที่ประเทศไทยมีลักษณะภูมิประเทศไม่เหมือนกันบางพื้นที่อาจจะอยู่ห่างไกล จากเสาส่งสัญญาณ และช่วงความกว้างแถบความถี่อาจจะไม่ครอบคลุมพื้นที่ ซึ่งส่งผลต่อการรับสัญญาณของสายอากาศสายอากาศยาก็เป็นสายอากาศทิศทางเดียว สามารถมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทั้งแนวตั้งและแนวนอน สายอากาศยาก็เป็นสายอากาศประเภททิศทางเดียว โดยมีความแรงสัญญาณตัวอิลิเมนต์ชี้หน้าทิศมากกว่าตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน ส่วนการรับสัญญาณก็เช่นกัน จะรับสัญญาณตัวอิลิเมนต์ชี้หน้าทิศดีกว่าตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน และเรามักจะเรียกว่าสัญญาณตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อนและด้านข้างของสายอากาศยาก็รับสัญญาณไม่คืนนั่นเอง

ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ศึกษาการออกแบบสายอากาศยาก็ให้มีความกว้างแถบที่กว้างและมีอัตราขยายที่รับสัญญาณ โดยการนำมาต่อเป็นแถวลำดับจำนวน 3 อิลิเมนต์เพื่อเพิ่มอัตราขยายให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งมุ่งเน้นพัฒนาสายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรศัพท์ระบบดิจิทัลแบบชนิดที่มี 3 อิลิเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz ออกแบบโดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio 2014

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาจากภาคทฤษฎีมาประยุกต์ใช้และออกแบบสายอากาศยาก็ชนิด 3 อิลิเมนต์ ย่านความถี่ 510 - 790 MHz

1.2.2 เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศยาก็ได้แก่ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing-Wave Ratio; SWR) ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return loss; S11) และค่าอัตราขยาย (Gain)

1.2.3 เพื่อศึกษาการใช้งานของโปรแกรม CST2014 (Computer Simulation Technology) ในการออกแบบสายอากาศยาก็ชนิด 3 อิลิเมนต์ ย่านความถี่ 510 - 790 MHz

1.2.4 เพื่อฝึกการทำงานเป็นทีม และแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นโดยใช้หลักการทางวิศวกรรม

1.3 ขอบเขตงาน

1.3.1 ศึกษาสายอากาศแบบยาก็

1.3.2 ศึกษาการใช้โปรแกรม CST2014 (Computer Simulation Technology)

1.3.3 ศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศยาก็ ได้แก่ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss:

S11) ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio: SWR) ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้า

(Input impedance) แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) และค่า

อัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศ

1.3.4 ออกแบบสายอากาศยาก็ชนิดไดเรกเตอร์แบบ 1 แขนย่านความถี่ 510-790 MHz

1.3.5 สร้างสายอากาศต้นแบบและทดสอบคุณลักษณะตามค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ของสายอากาศเพื่อเปรียบเทียบ วิเคราะห์ และสรุป

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูล

1.4.2 เขียนโครงการและเสนอโครงการกับอาจารย์ที่ปรึกษา

1.4.3 ศึกษาการใช้โปรแกรม CST Microwave Studio 2014เพื่อใช้ในการออกแบบสายอากาศที่ต้องการ

1.4.4 จัดซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ

1.4.5 สร้างสายอากาศที่ออกแบบได้และทดลองวัดความถี่เพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์

1.4.6 วัดคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบและปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ เพื่อให้สามารถใช้งานได้ตรงตามเป้าหมาย

1.4.7 สรุปผลการทดลอง และเขียนรายงาน

1.4.8 นำเสนอโครงการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ต้นแบบสายอากาศยาคีชนิด 3 อิลิเมนต์ ย่านความถี่ 510 – 790 MHz

1.5.2 สามารถนำความรู้ทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ

1.5.3 สามารถทำงานเป็นทีมได้ แก้ไขปัญหาจากการปฏิบัติงานจริง เช่น การแก้ปัญหาต่างๆในการทำงานเป็นทีม

1.5.4 รู้จักการวางแผน และการทำงานอย่างเป็นระบบ



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

สายอากาศยาก็ - อุดะชนิดหนึ่งซึ่งตั้งชื่อตาม มร. ยาگی และอูดะ ชาวญี่ปุ่นที่คิดค้นสายอากาศนี้ขึ้นมา เป็นสายอากาศเจาะจงทิศทาง สายอากาศยาก็เป็นสายอากาศที่มีคุณสมบัติของการส่งหรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีในเฉพาะทิศทางที่กำหนดหรือสร้างไว้เฉพาะเท่านั้น โดยการใช้งานจะปรับให้สายอากาศจากภาคส่งมีลำคลื่นชี้ไปในทิศของสายอากาศภาครับที่ต้องการหรือปรับให้ตรงเข้าหากัน เพื่อให้มีสัญญาณดีที่สุดซึ่งการจัดองค์ประกอบสายอากาศให้อยู่ในโครงสร้างแถวลำดับเพื่อให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นที่เหมาะสมทั้งทางไฟฟ้ารูปทรงและจุดประสงค์การใช้งานซึ่งมีสามส่วนหลัก ๆ คือมีส่วนประกอบหลักๆคือ ตัวอิลิเมนต์ตัวขับ(Driven element) เป็นส่วนที่ต้องมีการป้อนสัญญาณเพื่อที่ขับสัญญาณส่งผ่านออกไป โดยตัวอิลิเมนต์ตัวขับนี้เป็นสายอากาศชนิดต่างๆ แต่ที่นิยมเป็นสายอากาศแบบไดโพลตัวอิลิเมนต์ชี้หน้าทิศ(Director element)อยู่ในตำแหน่งอีกด้านตัวอิลิเมนต์ตัวขับ ทำหน้าที่ช่วยปรับทิศทางในการแพร่กระจายคลื่นให้มีทิศไปด้านหน้าตามทิศทางที่ต้องการ และ ตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน(Reflector element) เป็นส่วน ที่ทำหน้าที่สะท้อนคลื่นแล้วบิกลับให้พุ่งไปด้านหน้า โดยทั่วไปสายอากาศยาก็จะมีอัตราขยาย เพิ่มขึ้นตามจำนวนของตัวอิลิเมนต์ชี้หน้าทิศ ต้องมีการวางตำแหน่งระยะห่างของตัวอิลิเมนต์ชี้หน้าทิศ

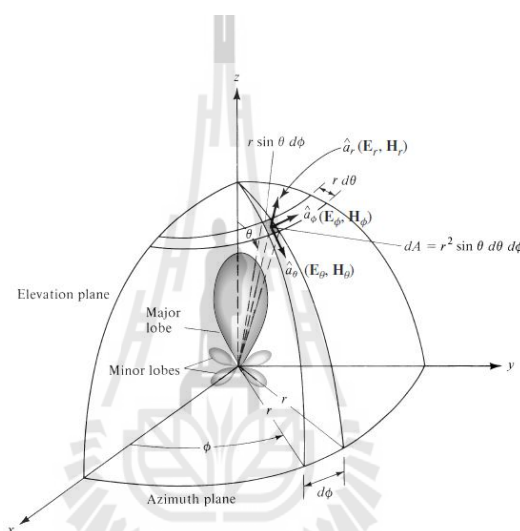
2.2 คุณสมบัติที่ดีของสายอากาศภาครับ

สำหรับคุณสมบัติของสายอากาศที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศตัว รับที่ดีนั้น จะต้องเป็นสายอากาศที่ รับสัญญาณจากภาคส่งสัญญาณได้ นั่นคือไม่ว่าสายอากาศภาค ส่งจะอยู่ทางทิศทางใดของสายอากาศภาคส่ง และมี แบบรูปการแพร่กระจาย เป็นแบบใด ก็ควรที่จะสามารถรับคลื่นจากสถานีส่งได้ สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ ดังนั้นคุณสมบัติที่ดีของสายอากาศที่สำคัญมีดังนี้

2.2.1 แบบรูปการแผ่กำลัง (Radiation Pattern)

แบบรูปการแผ่กำลังหรือแบบรูปกระจายคลื่นของสายอากาศเป็นการนำเสนอคุณสมบัติในการแผ่กำลังของสายอากาศในรูปของกราฟิกหรือในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพิกัดตำแหน่ง (Space Coordinates)ในการพิจารณาแบบรูปการแผ่กำลังจะต้องกระทำในบริเวณ

สนามระยะไกล (Far-Field Region) เท่านั้นและจะนำเสนอในรูปฟังก์ชันของพิกัดทิศทาง(Directivity Coordinates)เสมอซึ่งคุณสมบัติการแผ่กำลังนี้สามารถที่จะพิจารณารวมถึงความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Power Flux Density) ความเข้มการแผ่กำลัง (Radiation Intensity) ความแรงของสนาม (Field Strength) เฟสของสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity Phase) หรือการแยกขั้วคลื่น (Polarization) ได้ ซึ่งคุณสมบัติของการแผ่กำลัง สามารถที่จะแสดงในรูปของการแผ่กำลังในแต่ละตำแหน่งและทิศทางที่เป็นแบบสองมิติและแบบสามมิติซึ่งเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งของผู้สังเกตตลอดเส้นทางหรือผิวของทรงกลมที่มีรัศมีคงที่ ดังในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศ [1]

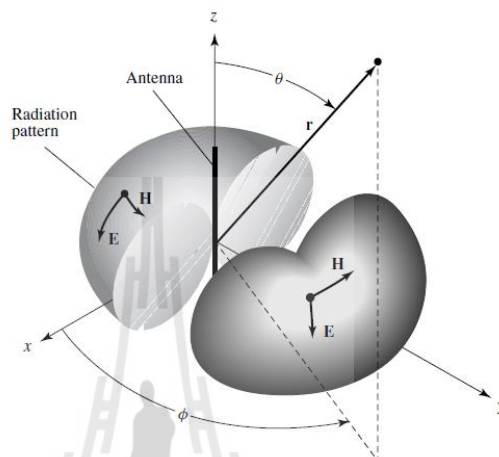
เส้นการกวาดของกำลังงานที่รับได้ที่ตำแหน่งรัศมีคงที่จะถูกเรียกว่า แบบรูปกำลังงาน (Field Pattern) และอีกวิธีหนึ่งถ้าเป็นแบบรูปที่ใช้การเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กตามฟังก์ชันของตำแหน่งเราจะเรียกว่า แบบรูปแอมพลิจูดของสนาม (Amplitude field pattern) แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศสามารถอธิบายได้ 3 แบบ ดังนี้

1.) แบบรูปการแผ่กำลังแบบไอโซทรอปิก (Isotropic Radiator) คือสายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้นมาว่าไม่มีการสูญเสียภายในตัวเอง และมีการแผ่กำลังออกมาเท่ากันทุกทิศทาง

2.) แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional pattern) คือสายอากาศที่มีคุณสมบัติในการแผ่กำลังหรือรับคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่นๆ ซึ่งมักจะนำมาใช้กับสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด

(Maximum Directivity) มากกว่าจะใช้กับสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่น (Half-wave Dipole)

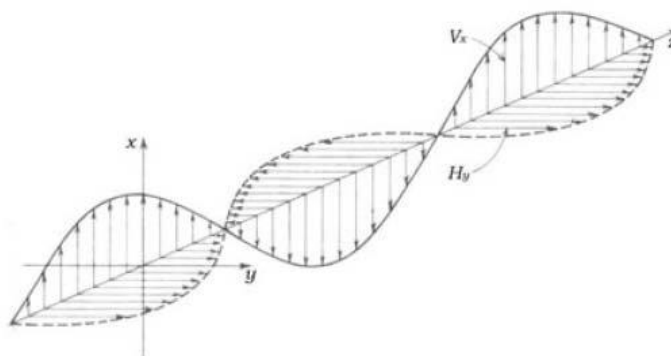
3.) แบบรูปการแผ่กำลังแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (Omnidirectional Pattern) คือสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่กำลังที่ไม่มีทิศทางในระนาบที่กำหนดให้ในที่นี้คือ มุมกวาด (Azimuth) และระนาบที่ตั้งฉากกันจะมีแบบรูปการแผ่กำลังเป็นแบบมีทิศทางในกรณีนี้คือมุมเงย ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แบบรูปการแผ่กำลังแบบรอบตัวในระนาบเดียว[1]

2.2.2 การโพลาไรซ์ (Polarization)

การแยกขั้วคลื่นที่แผ่กำลังออกไป (Polarization of a Radiated Wave) หมายถึง การอธิบายคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งขนาดสัมพัทธ์และทิศทางของเวกเตอร์สนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาตลอดทิศทางของการแผ่กำลังออกไป. การแยกขั้วคลื่นสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ แบบเชิงเส้น (Linear) แบบวงรี (Ellipse) และแบบวงกลม (Circular)



รูปที่ 2.3 ลักษณะการแพร่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศ[1]

โพลาริเซชันจากรูปที่ 2.3 เราจะเห็นว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง โดยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน สนามแม่เหล็กจะตั้งฉากกับเส้นลวด ส่วนสนามไฟฟ้าจะขนานกับเส้นลวดและทรวงทรงนี้จะเป็นรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กำลังออกไปจากเส้นลวด ดังนั้นจึงเกิดขั้วของคลื่นที่แผ่กำลังจากสายอากาศเรียกว่า โพลาริเซชัน ซึ่งจะเป็นเชิงเส้นคงที่ตลอด เช่นสายอากาศชนิดแนวตั้งจะแผ่กำลังโดยเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าเป็นแนวตั้ง จึงเรียกว่าเวกติคอลโพลาริเซชัน (vertical polarization) และในรูปที่ 2.3 ก็จะเป็นเวกติคอลโพลาริเซชัน ส่วนสายอากาศชนิดแนวนอนก็จะแผ่กำลังโดยเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าเป็นแนวนอนจึงเรียกว่า ฮอริซอนทอลโพลาริเซชัน (horizontal polarization) สำหรับดวงอาทิตย์การแผ่กำลังแสงจะมีเวกเตอร์ไม่แน่นอน จึงเรียกว่า แรนดอมโพลาริเซชัน (random polarization) นอกจากนี้ยังมีสายอากาศที่เรียกว่าแบบเกลียว (helix) เวกเตอร์ไฟฟ้าของการแผ่กำลังจะหมุนเป็นวง เราจึงเรียกว่าเซอคูลาร์โพลาริเซชัน (circular polarization) ในการติดตั้งสายอากาศส่งและรับจะต้องมีการโพลาริเซชันเหมือนกันจึงจะรับสัญญาณได้ดีที่สุด

2.2.3 อัตราขยาย (Gain)

1.) อัตราขยายจริง (absolute gain) ของสายอากาศ (ในทิศทางที่กำหนดให้) หมายถึงอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กำลังในทิศทางที่กำหนดให้ต่อความเข้มของการแผ่กำลังที่ได้รับเข้ามา

$$\text{Gain} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \text{ (ไม่มีหน่วย)} \quad (2.1)$$

2.) อัตราขยายสัมพัทธ์ (relative gain) หมายถึง อัตราส่วนของอัตราขยายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่ออัตราขยายกำลังงานของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบกับในทิศทางนั้น โดยกำลังงานป้อนให้กับอินพุตของสายอากาศจะต้องเหมือนกันทั้งสองตัว โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบกับคือสายอากาศที่เป็นแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิกที่ไม่มีการสูญเสีย (lossless isotropic source) และสายอากาศแบบไดโพล

$$G_g = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.2)$$

เมื่อ P_{in} คือ กำลังงานที่ป้อนให้กับไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย

การวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน วิธีที่ง่ายที่สุด ก็คือวิธีที่เรียกว่า วิธีแบบใช้สายอากาศอ้างอิง (reference antenna method) หรือวิธีการเปรียบเทียบ (comparison method) หรือวิธีการแทนที่ (substitution method) ซึ่งสามารถหาได้โดยการ

เปรียบเทียบกำลังงานที่ได้รับด้วยสายอากาศอ้างอิง (P_{ref}) กับกำลังงานที่รับได้จากสายอากาศที่ทำการทดสอบ (P_{test}) ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ต้องการทราบจะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$G_{test} = \frac{P_{test}}{P_{ref}} G_{ref} \quad (2.3)$$

เมื่อต้องการคำตอบ ให้มีหน่วยเป็น dB ก็จะได้หาได้จากสมการ

$$G_{test} (dB) = P_{test} (dB) - P_{ref} (dB) + G_{ref} (dB) \quad (2.4)$$

ก่อนที่จะนำวิธีการแทนที่มาใช้ นั้น เราจะต้องเปรียบเทียบเพื่อหาค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้ในการอ้างอิงเสียก่อน โดยการใช้สายอากาศสองตัวที่เหมือนกันทุกประการมาเป็นสายอากาศรับและส่งจากนั้นวัดค่ากำลังงานที่ส่งออกไปและค่าของกำลังงานที่รับได้ นำมาคำนวณหาค่าอัตราขยายซึ่งจะเป็นอัตราขยายของสายอากาศอ้างอิง ดังสมการ

$$G = \frac{4\pi r}{\lambda} \sqrt{\frac{P_{rec}}{P_0}} \quad (2.5)$$

เมื่อ G คือ ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่จะใช้เป็นตัวอ้างอิง
 คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสอง
 P_{rec} และ P_0 คือ กำลังงานที่รับได้และกำลังงานที่ส่งออกไป ตามลำดับ
 λ คือ ความยาวคลื่นในอากาศ (หน่วยเดียวกับระยะทาง)

สำหรับการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศไดโพลในโครงงานนี้ ทำการวัดทดสอบโดยใช้สายอากาศไดโพล เป็นสายอากาศอ้างอิง ค่าที่ได้จึงมีหน่วยเป็นเดซิเบลไดโพล (dBd)

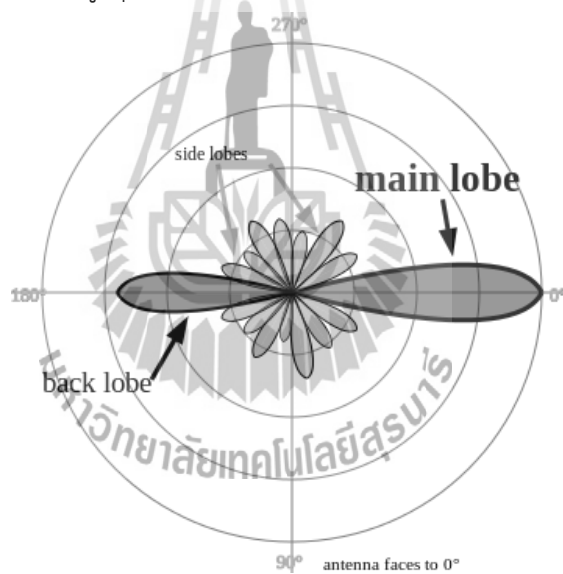
2.2.4 ความกว้างแถบ (Bandwidth)

ความกว้างแถบของสายอากาศจะถูกกำหนดอย่างกว้างขวางโดยย่านของความถี่ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสายอากาศนั้น ๆ โดยทั่วไปความกว้างแถบก็จะเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่ด้านสูงกับ ความถี่ด้านต่ำหรือเปอร์เซ็นต์ของความถี่กลาง (center frequency) เนื่องจากคุณสมบัติของสายอากาศแต่ละตัวที่ไม่เหมือนกัน จึงเป็นการยากที่จะพิจารณาค่าของความกว้างแถบ สองวิธีที่นิยมที่สุดในการพิจารณาค่าของความกว้างแถบคือ pattern bandwidth และ Impedance bandwidth

กรณีที่เป็น สายอากาศแถบกว้าง (broadband antenna) ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างความถี่สูงสุดกับความถี่ต่ำสุดที่สายอากาศสามารถทำงานได้ด้วยตัวอย่างเช่น ถ้าสายอากาศชนิดนี้มีความกว้างแถบเท่ากับ 1:10 แสดงว่าความถี่สูงสุดมีค่ามากกว่าความถี่ต่ำสุดอยู่ 10 เท่าและถ้าหากเป็นกรณีของ สายอากาศแถบแคบ (narrowband antenna) ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ของผลต่างความถี่ (ความถี่สูงสุดลบความถี่ต่ำสุด) เมื่อเทียบกับความถี่กลางของความถี่แถบ ตัวอย่างเช่นถ้าสายอากาศชนิดนี้มีความกว้างแถบเท่ากับ 5% แสดงว่าผลต่างของความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้มีค่าเป็น 5% ของความถี่กลางของความถี่แถบ

2.2.5 ความกว้างลำคลื่น (Beamwidth)

ความกว้างลำคลื่นคือ ความกว้างของลำคลื่นเป็นคุณสมบัติของสายอากาศทิศทางที่วัดเป็นองศาของส่วนที่เป็นโหลหลัก (major lobe/main lobe) ระหว่างสองทิศทาง ซึ่งมีขนาดกำลังลดลงครึ่งหนึ่ง(-3dB) เมื่อเทียบกับค่าสูงสุด

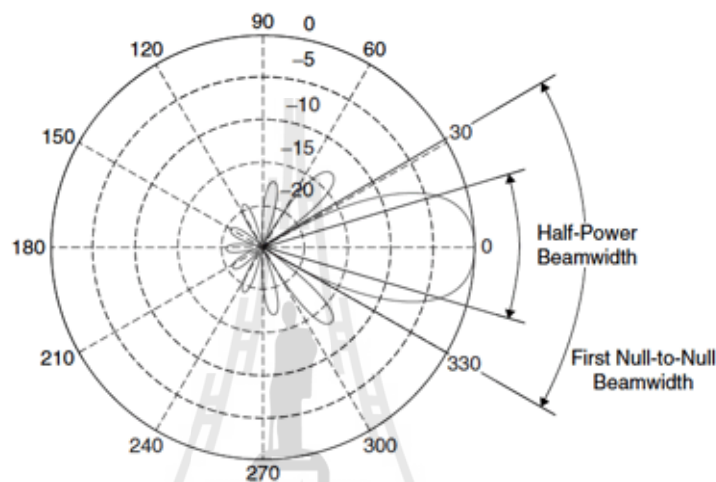


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแบบรูปการแผ่กำลัง[1]

2.2.6 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power BeamWidth)

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power Beamwidth: HPBW) คือ ในระนาบหนึ่งๆ ที่ประกอบด้วยทิศทางที่มีลำคลื่นสูงสุด และมีมุมซึ่งอยู่ระหว่างสองทิศทางในที่ซึ่งความเข้มของการแผ่กำลังมีค่ากำลังงานลดลงครึ่งหนึ่งจากค่าสูงสุดของมันและคำว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง มักจะใช้อธิบายถึงความกว้างของลำคลื่นที่มีค่า 3 dB (3-dB beamwidth) เสมอ

นอกจากนั้น ความกว้างลำคลื่นของสายอากาศยังถูกนำมาใช้ในการอธิบายถึง ความสามารถในการแยกแยะ (resolution capacities) ของสายอากาศ เพื่อแยกแยะระหว่างแหล่งกำเนิดสองตัว ซึ่งมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้างลำคลื่นซึ่งมีค่าเป็นศูนย์จุดแรก (First Null BeamWidth : FNBW) ซึ่งมักจะนำไปใช้ในการประมาณค่าของความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) นั่นคือ แหล่งกำเนิดสองจุดที่แยกออกจากกันด้วยระยะเชิงมุมเท่ากับหรือมากกว่า $FNBW/2 \cong HPBW$ ดังในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังและความกว้างลำคลื่นซึ่งมีค่าเป็นศูนย์จุดแรก[1]

2.2.7 อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance)

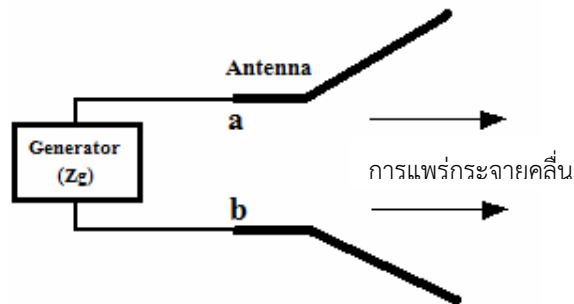
ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศ คือ เป็นค่าอิมพีแดนซ์ซึ่งเกิดขึ้นที่ขั้วด้านเข้าของสายอากาศหรือเป็นอัตราส่วนของแรงดันกับกระแสที่ขั้วของสายอากาศหรือเป็นอัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่จุดหนึ่งๆซึ่งในหน่วยนี้เราจะสนใจค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่ขั้วด้านเข้าของสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 2.6 ในที่นี้คือ a-b อัตราส่วนของแรงดันกับกระแสที่ขั้วนี้ขณะไม่มีโหลดใดๆต่ออยู่ จะทำให้เกิดค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.6)$$

โดยที่ Z_A = ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ขั้ว a-b (โอห์ม)

R_A = ค่าความต้านทานของสายอากาศที่ขั้ว a-b (โอห์ม)

X_A = ค่ารีแอคแตนซ์ของสายอากาศที่ขั้ว a-b (โอห์ม)



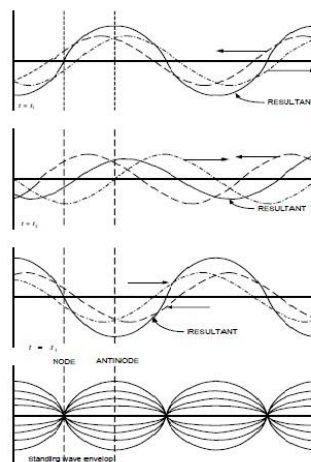
รูปที่ 2.6 สายอากาศในโหมดการส่ง [1]

ปกติอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศจะเป็นฟังก์ชันของความถี่และจะแมตช์กับสายส่ง เฉพาะในช่วงความถี่ช่วงหนึ่งๆเท่านั้น นอกจากนี้อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศยังขึ้นอยู่กับ ปัจจัยอื่นๆอีกได้แก่ รูปทรงวิธีการป้อนสัญญาณและสิ่งแวดล้อมข้างเคียง เนื่องจากคำนวณได้ยากจึง มักจะพบว่าส่วนใหญ่จะหาค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าได้จากการทดลอง

ในการออกแบบสายอากาศนั้นต้องคำนึงถึงค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าด้วย เนื่องจากสายส่ง และ ตัวหัวต่อชนิด SMA ที่ใช้มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม ดังนั้นเราควรออกแบบค่าอิมพีแดนซ์ด้าน เข้าของสายอากาศให้มีค่าเท่ากับ 50 โอห์มด้วย

2.2.8 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio : SWR)

ถ้าคลื่นที่มีแอมพลิจูดและความถี่เท่ากันสองคลื่นเคลื่อนที่ในสายส่งในทิศทางตรงกันข้าม คลื่นทั้งสองจะรวมตัวและหักล้างซึ่งกันและกันสลับกันไป ผลที่ได้จะเป็นคลื่นนิ่ง (SWR) รูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่าคลื่นทั้งสองคลื่นรวมตัวเป็นคลื่นนิ่งได้อย่างไร สังเกตว่าจุดที่เกิดแรงดันสูงสุดและ แรงดันต่ำสุดอยู่ที่เดิมเมื่อเทียบกับเวลาจุดที่คลื่นผ่านศูนย์ (zero crossing) และตำแหน่งที่เกิดแอมพลิจูดสูงสุด



รูปที่ 2.7 การก่อรูปคลื่นนิ่ง[1]

อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (Voltage Standing Wave Ratio : VSWR) ในสายส่งที่มีการสูญเสียพลังงานน้อยมีค่าจำกัดความเป็นอัตราส่วนของแรงดันที่มากที่สุดต่อแรงดันที่น้อยที่สุดเมื่อเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์จะได้

$$VSWR = \frac{|V_{\max}|}{|V_{\min}|} \quad (2.7)$$

เราสามารถให้ค่าจำกัดความ VSWR ให้เป็นค่าที่จุดๆ หนึ่งในสายโดยใช้ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนดังนี้

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.8)$$

$$|\Gamma| = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \quad (2.9)$$

โดยที่ $|\Gamma|$ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่น

Z_0 คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ

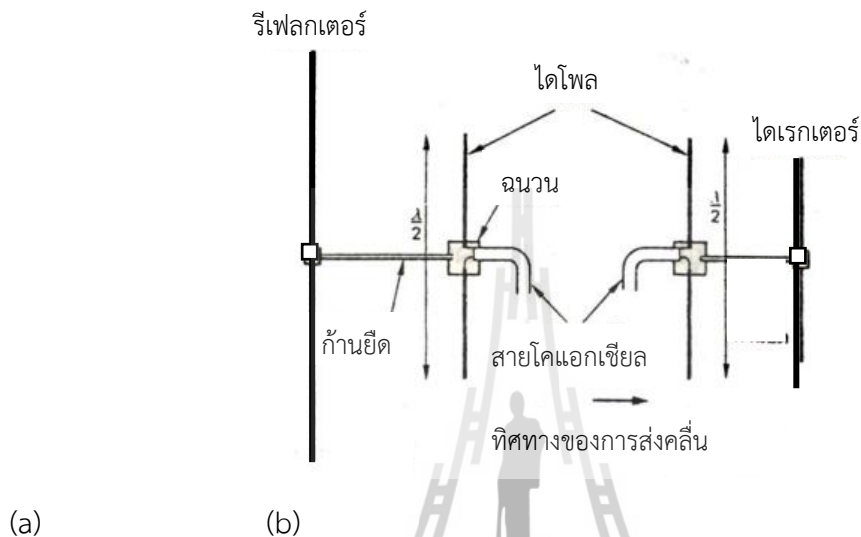
Z_1 คือ อิมพีแดนซ์ของโหลด

จากสมการ (2.9) จะพบว่า ถ้า $Z_1 = Z_0$ จะทำให้ $\Gamma = 0$ นั่นคือจะไม่เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นซึ่งจะส่งผลให้ค่า $VSWR = 1$ ซึ่งก็คือการแมตชิ่งกันระหว่างสายส่งกับสายอากาศนั่นเอง แต่ถ้า $Z_1 \neq Z_0$ จะทำให้ $\Gamma \neq 0$ ก็จะทำให้ค่า $VSWR \neq 1$ นั่นคือจะเกิดการไม่แมตชิ่งกันระหว่างสายส่งกับสายอากาศ ซึ่งถ้าค่า $VSWR$ มีค่ามากๆ ก็อาจส่งผลกระทบต่อเครื่องส่งทำให้เครื่องส่งเกิดความเสียหายได้ สำหรับค่า $VSWR$ ที่สามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัตินั้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 1.5

2.3 ทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศยาก็

เราสร้างสายอากาศยาก็จากไดโพลแบบครึ่งคลื่น และตัวอิลิเมนต์ตัวชี้หน้าทิศแล้วก็ตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน ก่อนอื่นขออธิบายความหมายของตัวอิลิเมนต์ตัวชี้หน้าทิศแล้วก็ตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน คือส่วนของสายอากาศที่ไม่ได้ต่อโดยตรงกับสายนำสัญญาณจากเครื่องรับหรือเครื่องส่ง แต่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสหรือแรงดันบนตัวมันได้ และสายอากาศที่นำมาใช้งานร่วมกับตัวอิลิเมนต์ตัวชี้หน้าทิศแล้วก็ตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน จากที่ได้อธิบายมาก่อนแล้วถึงคุณสมบัติของไดโพลแบบ ครึ่งคลื่นที่มีแบบรูปการแพร่คลื่นในระนาบแนวราบของไดโพลที่วางแนวตั้งเป็นวงกลม เหมือนรูป 2.14 (a) และในระนาบแนวตั้งพบว่าไม่มีแบบรูปการแพร่หรือรับคลื่นเลย ซึ่งงานสื่อสารทั่วไปจะต้องการประสิทธิภาพของสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางมากกว่าหนึ่ง การเพิ่มพลังงานในสภาพเจาะจง

ทิศทางทำได้โดยการใช้ไดโพลแบบ ครึ่งคลื่น ร่วมกับตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน ซึ่งเป็นแท่งตัวนำที่มีขนาดยาวกว่าแบบครึ่งคลื่น อยู่ประมาณ 5 % โดยติดตั้งไว้อีกด้านของสายอากาศในทิศตรงข้ามกับทิศที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด ดังรูปที่ 2.8

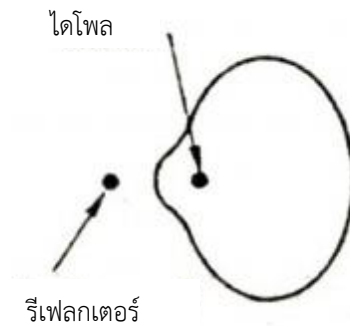


รูปที่ 2.8 สายอากาศไดโพลแบบครึ่งคลื่น พร้อมกับ (a) ตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน
(b)ตัวอิลิเมนต์ชี้หน้าทิศ[10]

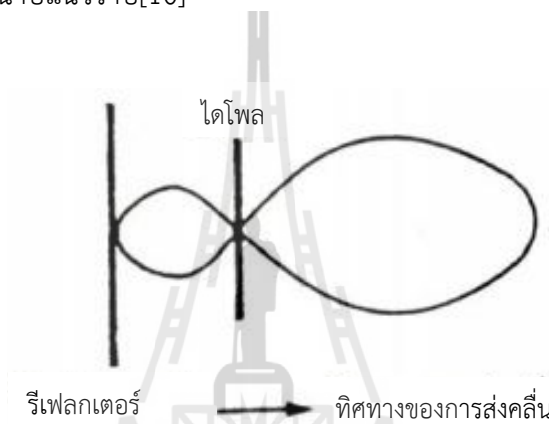
ตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน มีผลต่อรูปแบบการแพร่คลื่น ของไดโพลแบบ ครึ่งคลื่น เนื่องจากมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถูกเหนี่ยวนำที่มันมีผลให้ตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อนสามารถแพร่คลื่นเองได้ตัวแปรที่มีผลต่อรูปแบบการแพร่คลื่น มีดังนี้

1. ความยาวของตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน
2. ระยะห่างจากไดโพล

พิจารณาตามรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10 ตามลำดับ



รูปที่ 2.9 รูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพลครึ่งคลื่น และตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน
ในระนาบแนวราบ[10]



รูปที่ 2.10 รูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพลครึ่งคลื่น และตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อนใน
ระนาบแนวตั้ง[10]

จากทั้งสองรูป เห็นได้ชัดว่า สภาพเจาะจงทิศทางของแฉลวดำดับแบบนี้ดีกว่าไดโพลอย่างเดียว เหตุที่ตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อนผลการเปลี่ยนแปลงนี้อธิบายได้ว่า เมื่อเราป้อนแรงดันไฟฟ้า(ที่ความถี่รีโซแนนซ์)และกระแสให้กับไดโพลจะมีการแพร่คลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าไปทุกทิศในแนวตั้งฉากกับไดโพล พลังงานบางส่วนเดินทางมาที่ตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน และเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ไฟฟ้าเกิดขึ้นซึ่ง มีเฟสตามหลังแรงดันไฟฟ้าส่วนที่ป้อนให้ไดโพลอยู่โดยคิด จากระยะห่างของอิลิเมนต์อย่างเช่นถ้าระยะห่างเท่ากับ 0.15 ของความยาวคลื่นทำให้ค่าสนามแม่ เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อนมีเฟส ตามหลัง ส่วนที่ป้อนให้ไดโพลอยู่ 180 องศา สิ่งนี้มีผลต่อกระแสในทำนองเดียวกันตอนนี้ตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน ก็สามารถแพร่คลื่น ได้ในทุกทิศที่ตั้งฉากกับมัน เช่นกัน ถ้าความยาวของตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน และ ระยะห่างระหว่างไดโพลต่อ ตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน ถูกพิจารณาเลือก มาอย่างเหมาะสมแล้ว พลังงาน ส่วนที่แพร่มาจากตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อนจะไปเสริมในส่วนของไดโพลในทิศทางที่ต้องการไม่ เช่นนั้นทุก อย่างตรงกันข้าม คือ มีการหักล้างของพลังงานเกิดการเพิ่มค่าสภาพเจาะจงทิศทางและอัตราขยาย ของไดโพล สามารถทำได้อีกโดยเพิ่มตัวอิลิเมนต์ชี้หน้าทิศและตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน อิลิเมนต์อันใหม่ลง

ไปโดยวางในตำแหน่งตรงข้ามกับตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน เราเรียกอีลีเมนต์ใหม่ว่าตัวอิลิเมนต์ชั้นนำทิศที่มีขนาดสั้นกว่า ความยาวครึ่งคลื่น อยู่ประมาณ 5 % ขณะที่ไดโพลแพร์คลื่นจะมีบางส่วนเหนี่ยวนำให้ตัวอิลิเมนต์ชั้นนำทิศสามารถแผ่คลื่นได้ เช่นเดียวกันกับตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน

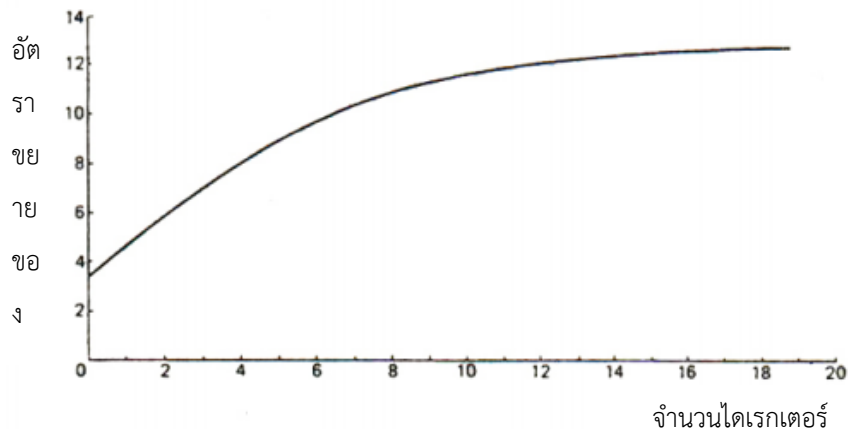
การพิจารณาเลือกความยาวของไดเรกต์อิลิเมนต์ชั้นนำ ทิศและระยะห่างระหว่าง ไดโพลต่อตัวอิลิเมนต์ชั้นนำทิศนี้ว่าสำคัญมากเพราะว่าถ้าเลือกค่าถูกต้อง พลังงานที่แผ่จากตัวอิลิเมนต์ชั้นนำ ทิศจะไปเสริมกับส่วนของไดโพลเป็นการเพิ่มค่าสภาพเจาะจงทิศทางและอัตราขยายมากขึ้น

พิจารณาผลที่มีต่อรูปแบบการแผ่คลื่นของ ตัวอิลิเมนต์ชั้นนำทิศ ไดโพลและตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อนได้ ดังในรูปที่ 2.11 ไดโพลจัดเป็นตัวอิลิเมนต์ตัวขับ ซึ่งหมายถึงอิลิเมนต์ส่วนที่ต่อตรงกับสายนำสัญญาณ



รูปที่ 2.11 รูปแบบการแผ่คลื่นของไดโพลครึ่งคลื่น , ตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน และตัวอิลิเมนต์ชั้นนำทิศ ระบายแนวนอน[10]

การเพิ่มค่าสภาพเจาะจงทิศทางหรืออัตราขยายของสายอากาศให้มากกว่านี้ ไม่อาจทำได้โดยเพิ่มตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อนตัวที่สองลงไป เพราะว่าสนามแม่เหล็กหลังตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน ตัวแรกมีค่าอ่อนกว่ามากจนนำมาเหนี่ยวนำไม่ได้แต่การเพิ่มตัวอิลิเมนต์ชั้นนำทิศ ให้มากจำนวนขึ้นมีผลให้ค่าอัตราขยายของสายอากาศเพิ่มได้จริงดังกราฟในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนตัวอิลิเมนต์ชั้นนำทิศกับอัตราขยายของสายอากาศยาก็ในทิศที่มีการแพร่มากที่สุด[10]

ในทางปฏิบัติ การพิจารณาเลือกค่าระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ต้องคำนึงถึง 2 สิ่งคือ

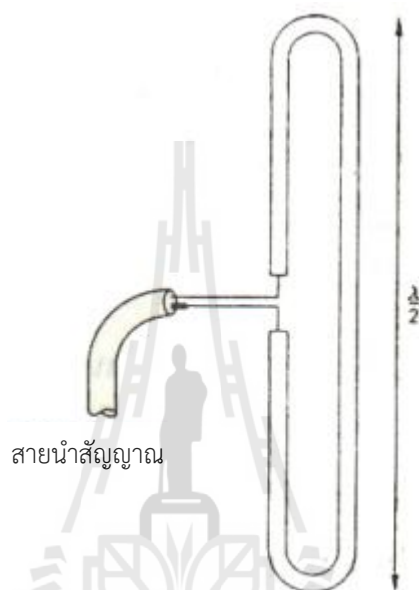
1. อัตราขยายที่ต้องการของแอมพลิฟายเออร์
2. อัตราส่วนพรอนด์ทูปแบคที่ต้องการ

ทั่วไปแล้วระยะห่างระหว่างไดโพล/ตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน มีค่าระหว่าง 0.15 0.25 ความยาวคลื่น ลบ ความยาวคลื่น และระยะห่างระหว่างไดโพล/ตัวอิลิเมนต์ชั้นนำคลื่น มีค่าระหว่าง 0.1 0.15 ความยาวคลื่น ลบ ความยาวคลื่น

2.4 ไดโพลแบบพับ (Folded dipole)

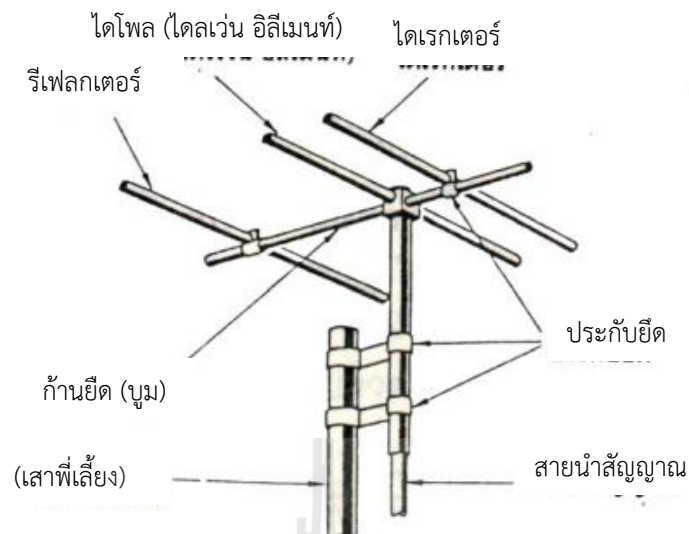
ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของไดโพลแบบ ครึ่งคลื่นที่รีโซแนนซ์ มีค่าเท่ากับ 73 โอห์มในขณะที่การเพิ่มตัวอิลิเมนต์ตัวชั้นนำทิศและตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อนจะมีผลลดค่า อินพุทอิมพีแดนซ์ลงอย่างเช่น อาจเหลือ 50โอห์ม สำหรับการมีตัวอิลิเมนต์ตัวสะท้อน และ ถ้ามีตัวอิลิเมนต์ชั้นนำทิศ หรือเหลือ 20 โอห์ม ถ้ามีไดโอดหลายอัน แต่สายนำสัญญาณ หรือโคแอกเซียลเคเบิล ที่ใช้กับอาร์เรย์แบบ ยาก็จะมีค่าอิมพีแดนซ์มาตรฐาน คือ 50 โอห์ม หรือ 75 โอห์ม ดังนั้นถ้าสายอากาศที่ใช้งานไม่ แม็ชค์หรือมีค่าอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากับสายนำสัญญาณอาจเกิดคลื่นนิ่งหรือสแตนด์เวฟบนสายนำสัญญาณ เป็นการสูญเสียพลังงานของระบบไป

ตามที่อธิบายมาทางแก้ปัญหานี้คือต้องเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ของไดโพล ให้มากขึ้นจากเดิมเพื่อว่าเวลาใช้งานร่วมกับตัวอินพุตซีพียูและตัวอินพุตตัวสะท้อน ค่าอิมพีแดนซ์ที่ลดลงมาก็ยังมีโอกาสเท่ากับค่า 50 โอห์ม หรือ 75 โอห์มของสายนำสัญญาณได้ ไดโพลที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูงกว่าค่าเดิม เราใช้ไดโพลแบบพับแก้ปัญหานี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ไดโพลแบบห้วงขนาดครึ่งคลื่น [10]

ค่าอิมพีแดนซ์ของไดโพลแบบห้วงมีขนาดเป็นสี่เท่าของไดโพลธรรมดา นั่นคือ มีค่าเท่ากับ $4 \times 73 = 292$ โอห์ม นอกจากนี้ยังมีวิธีที่ทำให้จำนวนเท่าของอิมพีแดนซ์มากกว่านี้ได้โดยการให้แต่ละครึ่งของไดโพลแบบใช้ห้วงตัวนำที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกัน แลบความถี่ของสายอากาศแบบยาก็ยังมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเมื่อใช้ไดโพลแบบพับ สายอากาศแบบยาก็ที่เป็นมาตรฐานแสดงไว้ในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 สายอากาศแบบยาคิที่ใช้งานจริง[10]

การทำงานของสายอากาศแบบยาคิมีตัวแปร 2 อย่างที่ควรคำนึงถึงอย่างมากคือ

1. ความยาวของอิลิเมนต์แต่ละอัน
2. ระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์

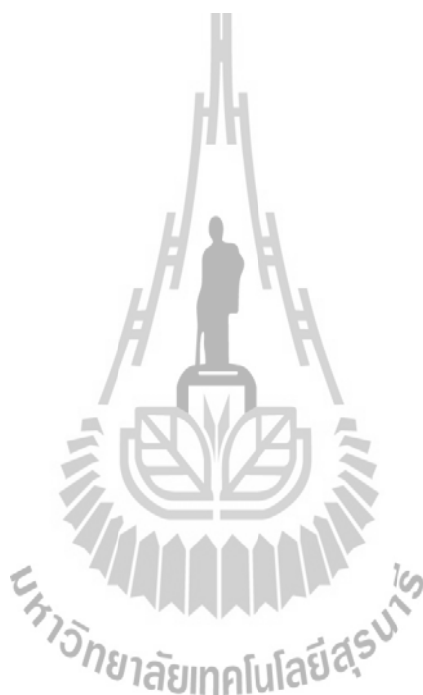
ทั้ง 2 ข้อนี้มีหน่วยเป็นความยาวคลื่น ดังนั้นการใช้งานควรอยู่ในย่านความถี่ VHF และ UHF ส่วนในย่าน HF และ MF ไม่ควรใช้สายอากาศยาคิ เพราะขนาดโครงสร้างของสายอากาศใหญ่มากและสิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ สายอากาศยาคิ มีใช้มากในงานรับสัญญาณโทรทัศน์ตาม บ้านเห็นได้ทั่วไปบนหลังคา หรือนำไปใช้ในการรับ/ส่งระบบวิทยุโทรทัศน์แบบ จุดต่อจุดย่าน VHF ได้ สำหรับประสิทธิภาพของสายอากาศยาคิที่ใช้ทั่วไป พอสรุปได้ดังตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพของสายอากาศยาคิที่ใช้ทั่วไป[10]

สายอากาศ	ค่าอินพุทอิมพี $Z (\Omega)$	ความถี่ที่ใช้งาน (MHz)	แถบความถี่ (MHz)	อัตราขยาย (dB)
แบบ A	50	90	2	10
แบบ B	50	87-100	1-2	10
แบบ C	50	47-54	1	8.5

2.5 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการของสายอากาศ ที่ใช้สำหรับรับสัญญาณทีวีดิจิตอลในระบบ UHF ที่ดีควรมีคุณสมบัติที่สำคัญ รวมทั้งพารามิเตอร์ต่างๆที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์คุณลักษณะและประสิทธิภาพของสายอากาศ เช่น แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ความกว้างแถบความกว้างลำคลื่น ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเป็นต้น และสุดท้ายได้นำเสนอถึงทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบสายอากาศยาภิ เพื่อให้ได้ลักษณะพื้นฐานตามที่ต้องการ เมื่อได้ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศแล้วจะต้องนำไปจำลองโครงสร้าง เพื่อวิเคราะห์โปรแกรม CST MicroStudio 2014 ต่อไป



บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างสายอากาศต้นแบบ

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบและการจำลองชิ้นงาน เพื่อที่จะนำไปสร้างชิ้นงานจริง โครงการนี้จึงได้จัดทำ สายอากาศยา กิชนิด 3 อิลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz ซึ่งสายอากาศยังมีรูปแบบการแผ่กำลังแบบมีทิศทาง ข้อดีคือสายอากาศสามารถรับสัญญาณได้แม้การติดตั้งสายอากาศทางภาคส่งและภาครับอยู่บนพื้นที่ที่ ห่างไกลกัน ซึ่งจะสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio 2014 ในการศึกษาแนวโน้มและคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ จากนั้นทำการปรับค่าพารามิเตอร์และรูปแบบชิ้นงานให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานสำหรับสถานีโทรทัศน์ ย่านความถี่ 510 - 790 MHz

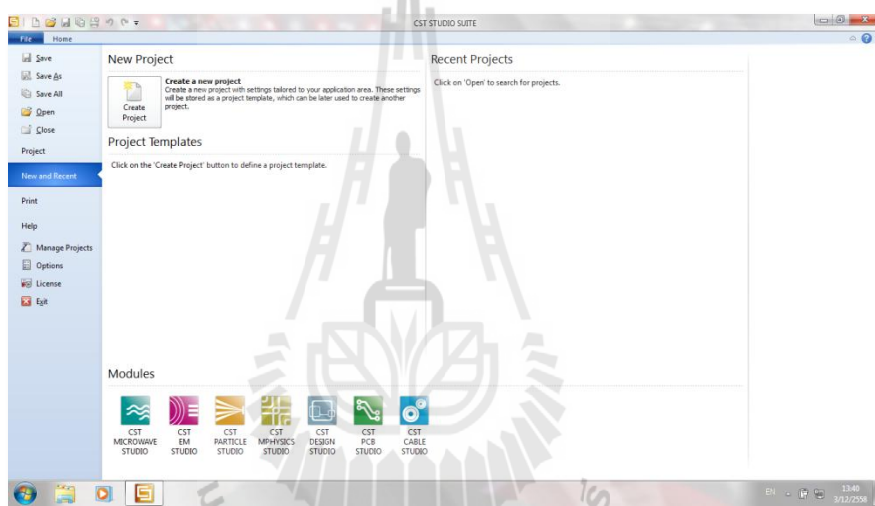
3.2 สายอากาศไดโพล

สำหรับโครงการนี้ได้ออกแบบสายอากาศยา กิชนิด 3 อิลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz เพื่อ นำไปใช้งานกับสถานีโทรทัศน์ โดยการออกแบบและการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST Microwave Studio 2014 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ถึงคุณลักษณะสมบัติของสายอากาศ โดยทำการสร้างสายอากาศขึ้นมา จากนั้นทำการจำลองผลค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับใช้ในการพิจารณาการแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้านเข้าคือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนหรือในรูปของพารามิเตอร์และอัตราส่วนคลื่นนิ่ง สำหรับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง สามารถมีค่าต่ำสุดตั้งแต่ 1 ถึงอนันต์ โดยถ้า ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าสายอากาศนั้นมีการแมตซ์ที่สมบูรณ์ หมายความว่ากำลังไฟฟ้าด้านเข้าที่ป้อนให้กับสายอากาศ มีการแผ่พลังงานออกไปทั้งหมดไม่มีการสะท้อนกลับมา และถ้าสายอากาศมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งเท่ากับ อนันต์หมายความว่าสายอากาศนั้นไม่แมตซ์ ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ส่งออกไปเกิดการสะท้อนกลับมาทั้งหมด ส่งผลให้เครื่องส่งได้รับความเสียหายในงานประยุกต์ต่างๆ จะยอมรับได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ซึ่งจะสอดคล้องกับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งเท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า แสดงว่ามีการแมตซ์ที่ดี

3.3 วิธีการจำลองสายอากาศยาภิชนิด 3 อิลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz

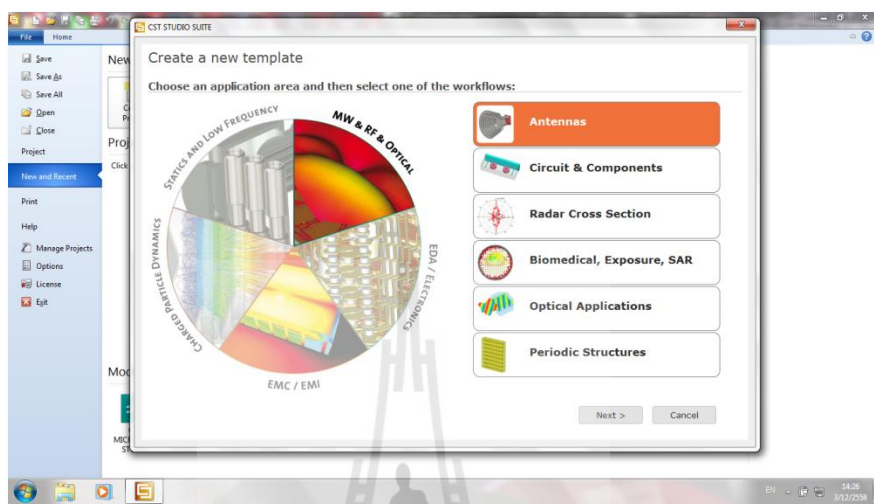
การจำลองสายอากาศยาภิชนิด 3 อิลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz จะทำการจำลองโดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CST Microwave Studio 2014 การจำลองต้องคำนึงถึงความถี่ (Frequency) ที่ต้องการใช้ เราได้จำลองขึ้นตามตัวอย่างของสายอากาศไดโพลที่ใช้ได้จริง ซึ่งจะใช้ความถี่ที่ทำการทดสอบคือ 650 MHz โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : เปิดโปรแกรม CST Microwave Studio 2014 ซึ่งจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 3.1



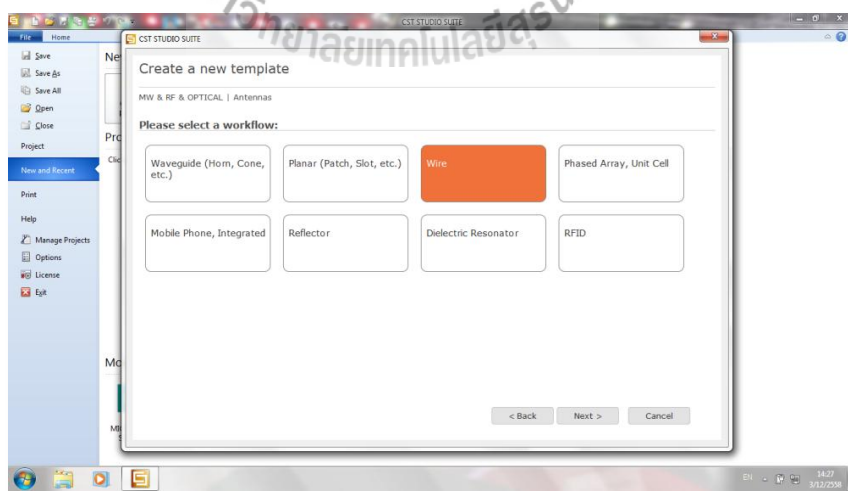
รูปที่ 3.1 หน้าต่างโปรแกรม CST Microwave Studio 2014

ขั้นตอนที่ 2 : เข้าสู่หน้าต่างเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการออกแบบ ซึ่งทางผู้จัดทำเลือกออกแบบสายอากาศ ดังรูปที่ 3.2



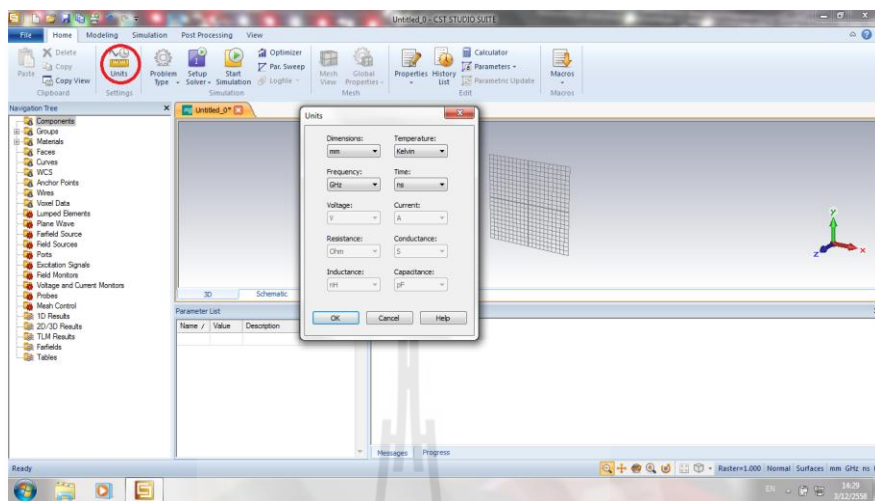
รูปที่ 3.2เลือกแบบสายอากาศ

ขั้นตอนที่ 3 : เข้าสู่หน้าต่างเลือก ชนิดของสายอากาศ ที่ต้องการออกแบบ ซึ่งทางผู้จัดทำ เลือกแบบสายอากาศชนิดWireดังรูปที่ 3.3



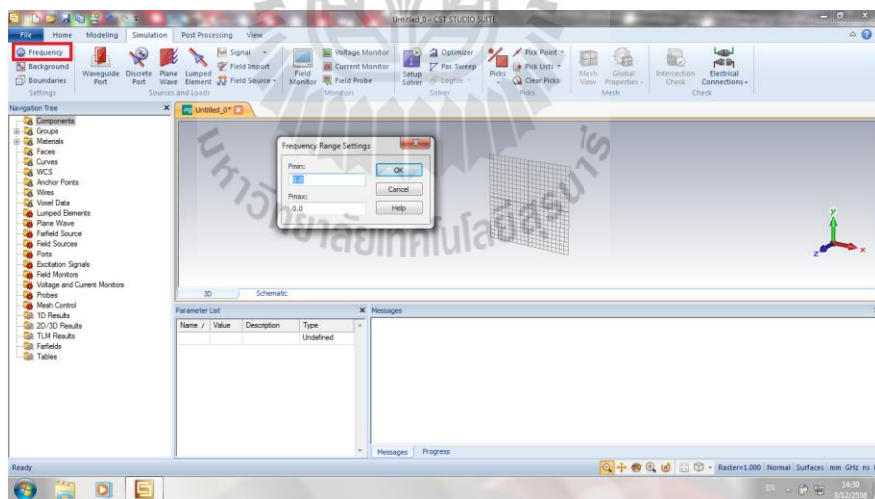
รูปที่ 3.3เลือกแบบสายอากาศชนิดWire

ขั้นตอนที่ 4 : เข้าสู่หน้าต่างกำหนดหน่วยต่างๆ ของอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.4



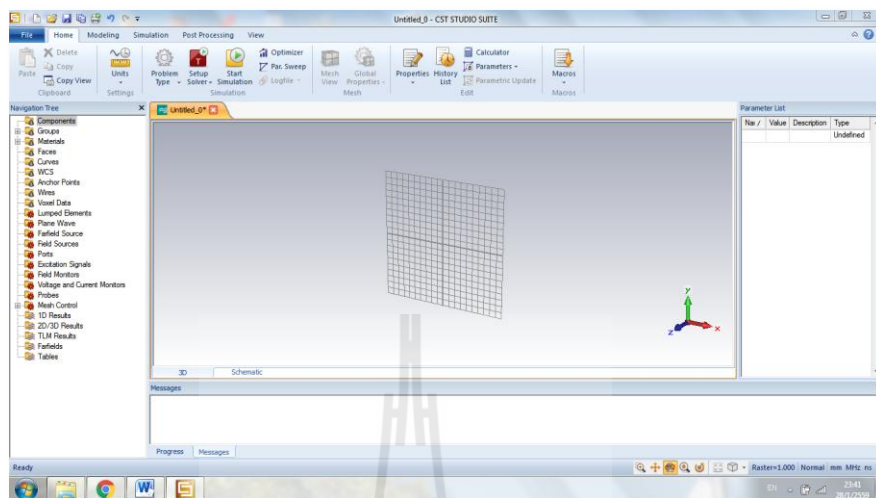
รูปที่ 3.4 การกำหนดหน่วยต่างๆ

ขั้นตอนที่ 5 : เข้าสู่หน้าต่างกำหนดช่วงระยะความถี่ของสายอากาศ ดังรูปที่ 3.5



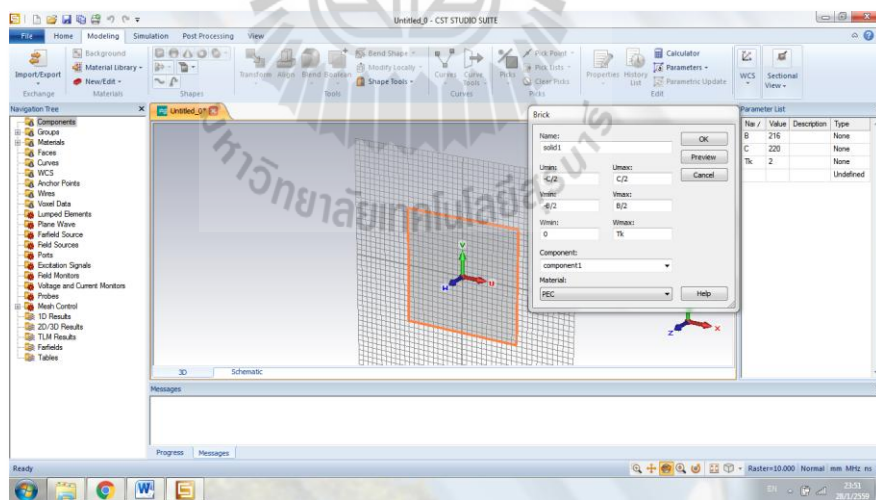
รูปที่ 3.5 การกำหนดช่วงระยะความถี่

ขั้นตอนที่ 6 : เข้าสู่หน้าต่างเริ่มต้นการจำลองชิ้นงานดังรูปที่ 3.6



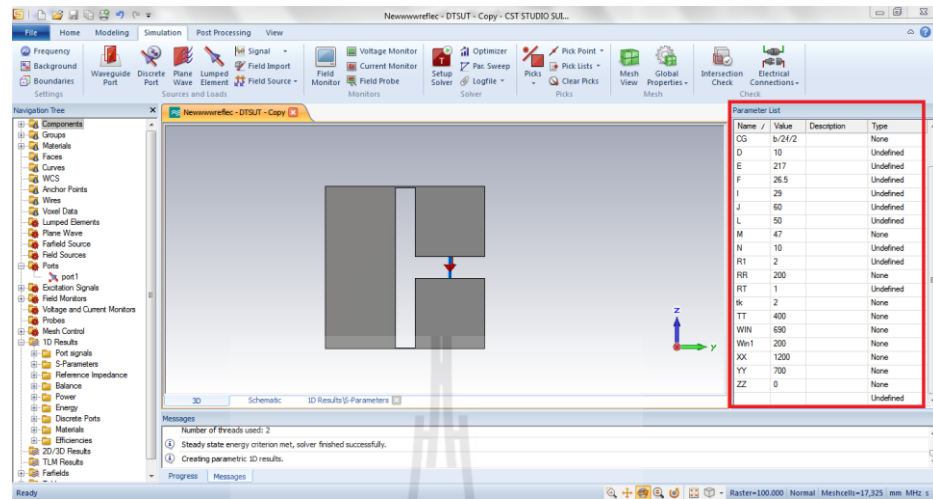
รูปที่ 3.6 หน้าต่างเริ่มต้นการจำลองชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 7 : เข้าสู่หน้าต่างชิ้นรูปชิ้นงานและกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังรูปที่ 3.7



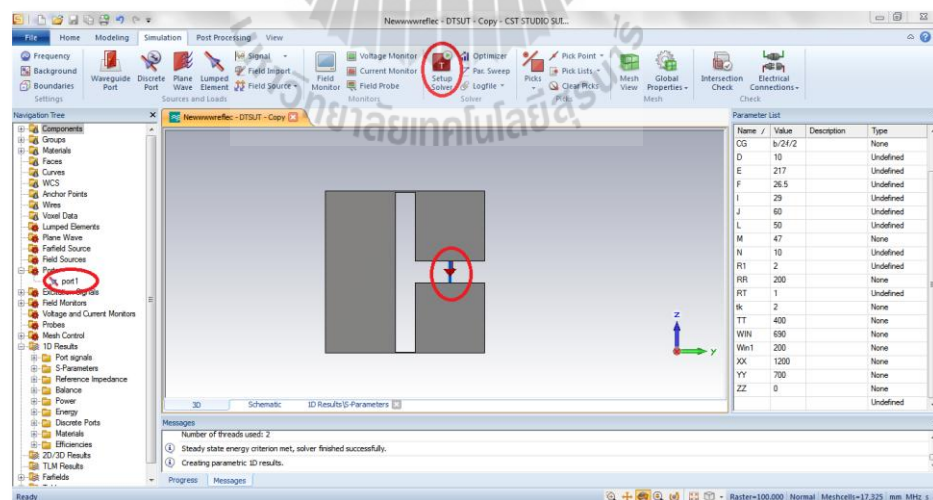
รูปที่ 3.7 การขึ้นรูปชิ้นงานและการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

ขั้นตอนที่ 8 : กำหนดตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อขึ้นรูปร่างงานดังรูปที่ 3.8



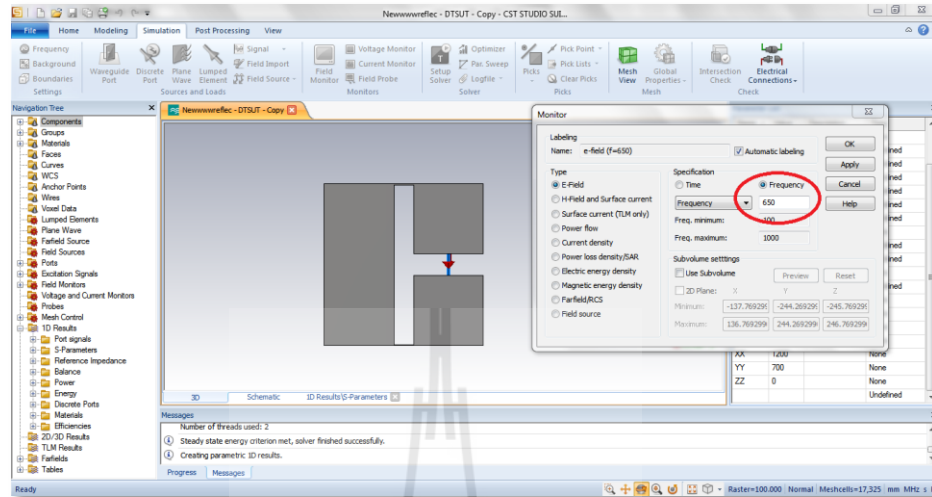
รูปที่ 3.8การกำหนดตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อง่ายต่อการวาดรูปร่างงาน

ขั้นตอนที่ 9 : กำหนดพอร์ต ดังรูปที่ 3.9



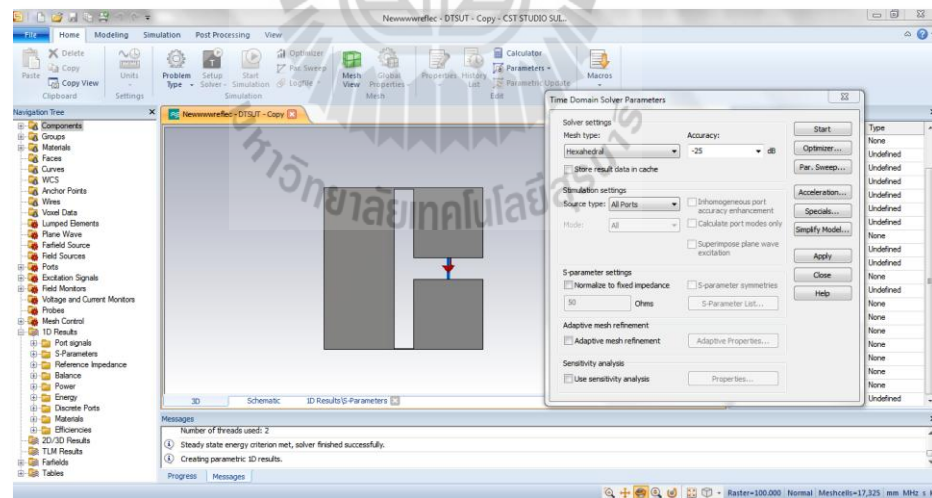
รูปที่ 3.9การกำหนดพอร์ตเพื่อกระตุ้นกระแส

ขั้นตอนที่ 10 : กำหนดพอร์ต ดังรูปที่ 3.10



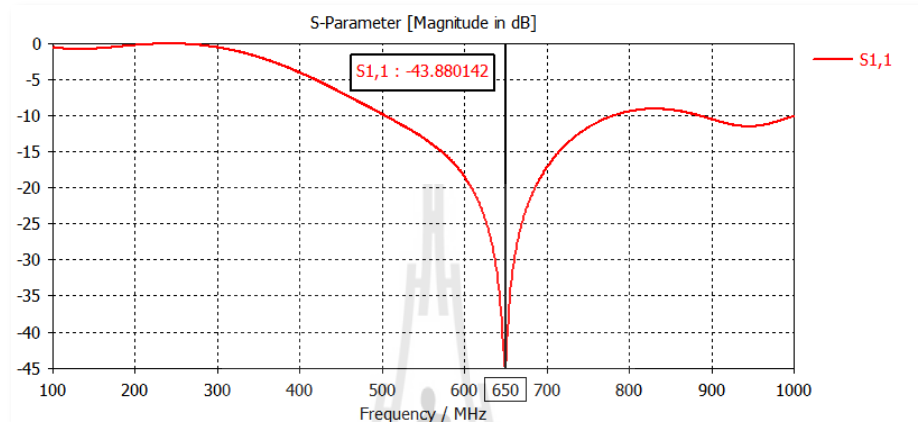
รูปที่ 3.10 การกำหนดความถี่เพื่อจำลองผลที่ 650 MHz

ขั้นตอนที่ 11 : ทดลองจำลองผลการวัดของสายอากาศที่ออกแบบ ดังรูปที่ 3.11



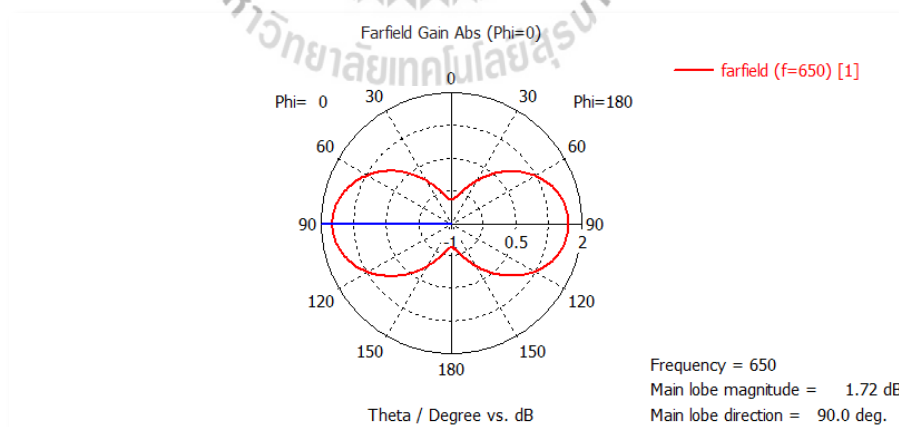
รูปที่ 3.11 ผลการจำลองการวัดของสายอากาศ

ขั้นตอนที่ 12 : เมื่อจำลองผลเสร็จแล้วให้ดูค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} (รูปที่ 3.11) ว่าตกอยู่ที่ 650 MHz หรือไม่ถ้าไม่ตกที่ 650 MHz ให้ทำการหาจุดแมทซ์ใหม่จนกว่าจะเจอจุดที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} ตกที่ 650 MHz ดังรูปที่ 3.12



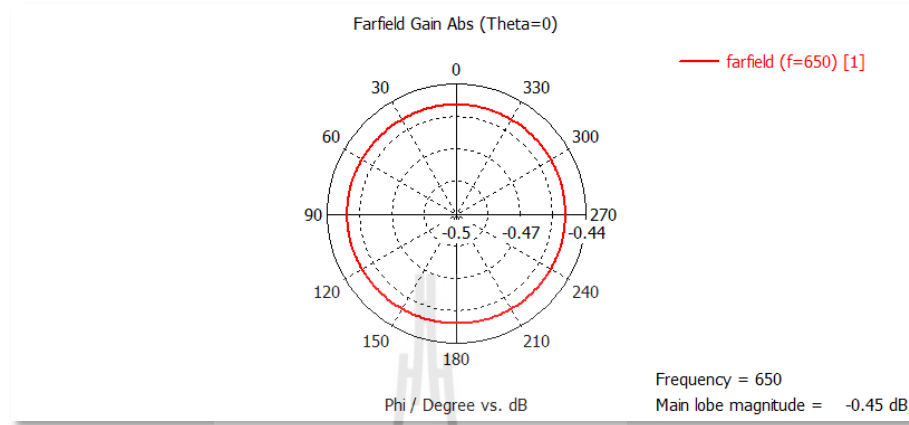
รูปที่ 3.12 การดูค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

ขั้นตอนที่ 13 : ทดลองจำลองผลการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศที่ออกแบบดังรูปที่ 3.13



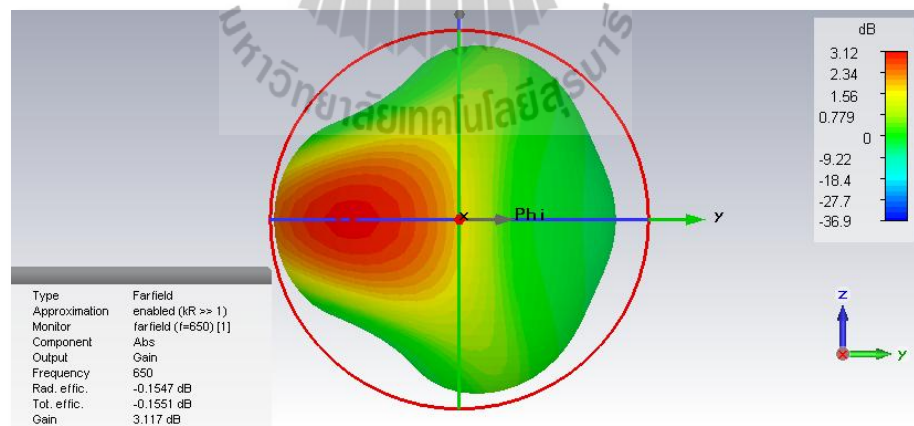
รูปที่ 3.13แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 14 : ทดลองจำลองผลการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศที่ออกแบบ ดังรูปที่ 3.14



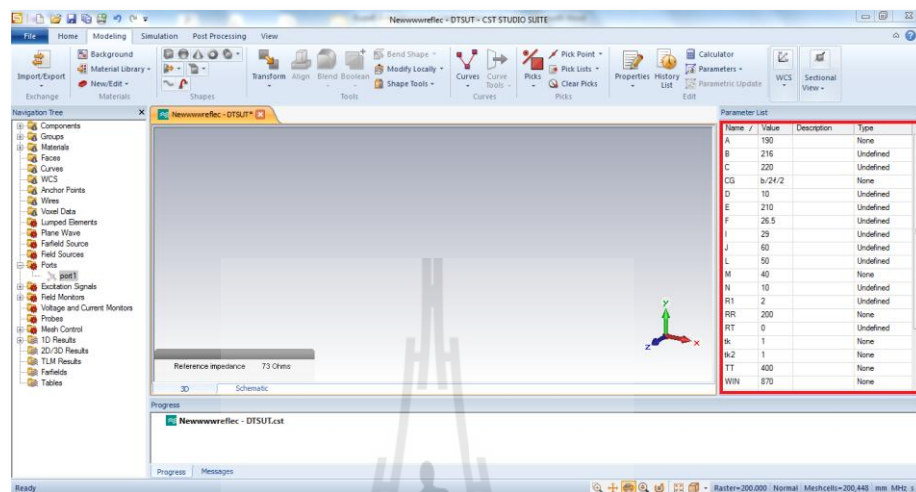
รูปที่ 3.14แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็ก

ขั้นตอนที่ 15 : ทดลองจำลองผลการแผ่กำลังของสายอากาศ 3 มิติของสายอากาศที่ออกแบบ ดังรูปที่ 3.15



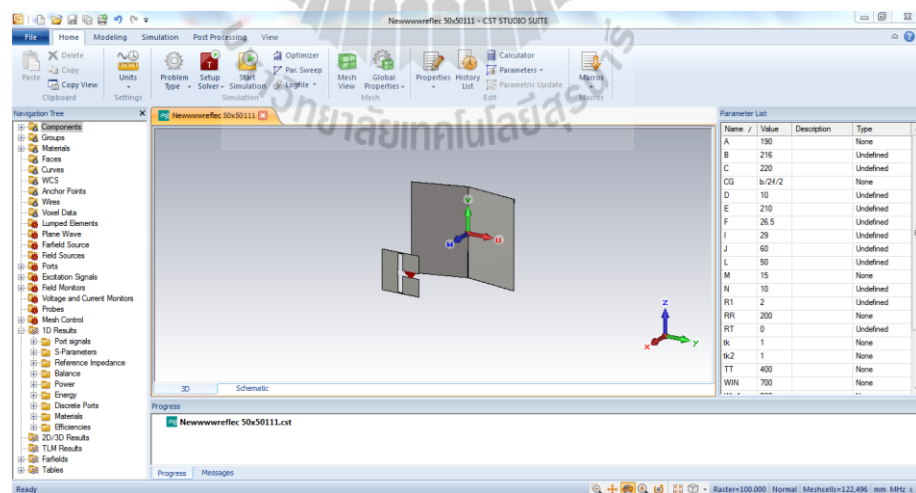
รูปที่ 3.15แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศ 3 มิติ

ขั้นตอนที่ 16 : เข้าสู่หน้าต่างการกำหนดตัวแปรและค่าพารามิเตอร์เพื่อสร้างชิ้นส่วน
อีลีเมนต์สะท้อน ดังรูปที่ 3.16



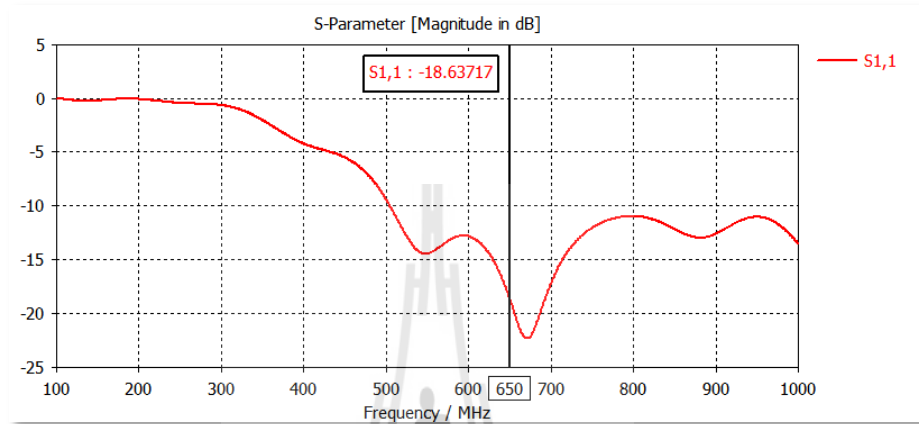
รูปที่ 3.16 การกำหนดตัวแปรและค่าพารามิเตอร์เพื่อสร้างชิ้นส่วนอีลีเมนต์ตัวสะท้อน

ขั้นตอนที่ 17 : ทำการสร้างชิ้นส่วนสายอากาศ 3 มิติ อีลีเมนต์ตัวสะท้อน ดังรูปที่ 3.17



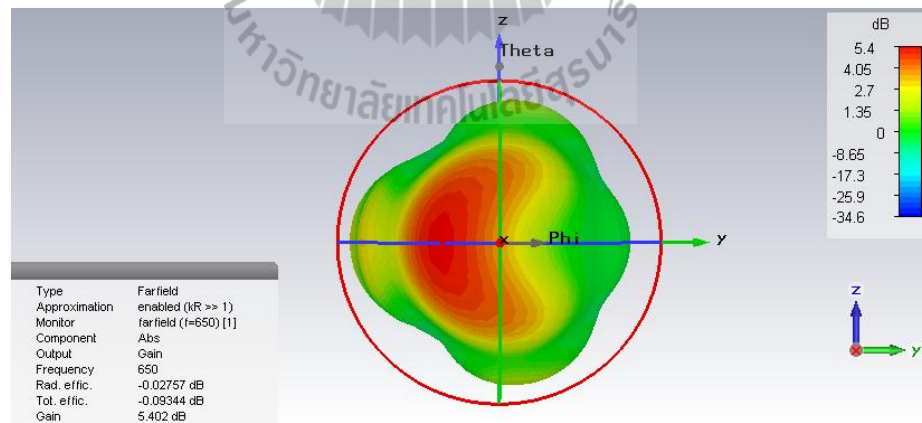
รูปที่ 3.17 การสร้างชิ้นส่วนสายอากาศ 3 มิติ อีลีเมนต์ตัวสะท้อน

ขั้นตอนที่ 18 : เมื่อจำลองผลเสร็จแล้วให้ดูค่า สัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} (รูปที่ 3.17) ว่าตกอยู่ที่ 650 MHz หรือไม่ถ้าไม่ตกที่ 650 MHz ให้ทำการหาจุดแมทซ์ใหม่จนกว่าจะเจอจุดที่ค่า สัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} ตกที่ 650 MHz ดังรูปที่ 3.18



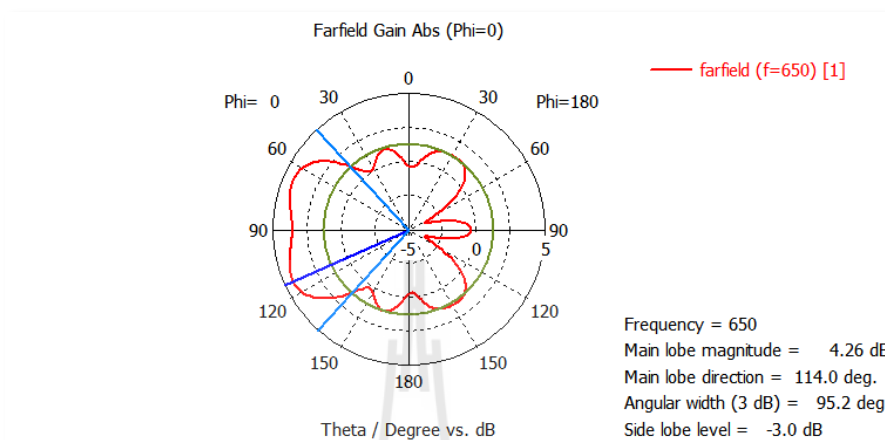
รูปที่ 3.18 การดูค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

ขั้นตอนที่ 19 : ทดลองจำลองผลการแผ่กำลังของสายอากาศ 3 มิติ หลังใส่อีลีเมนต์ตัวสะท้อน ดังรูปที่ 3.20



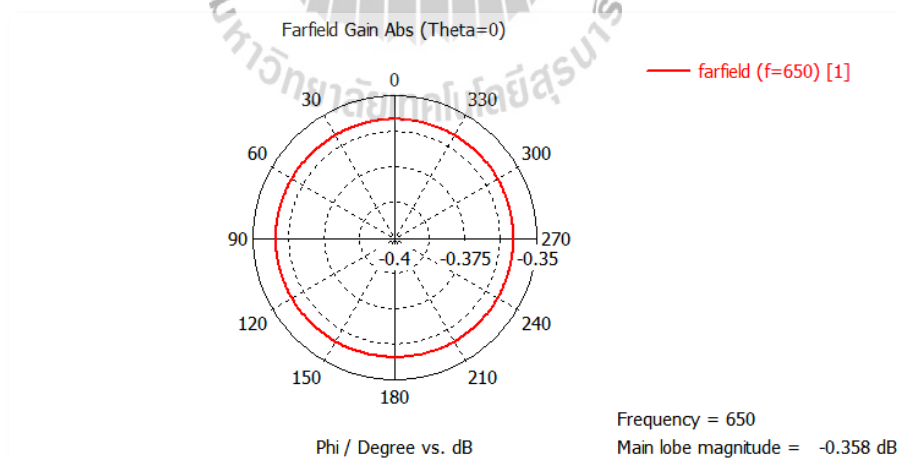
รูปที่ 3.19แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศ 3 มิติ หลังใส่อีลีเมนต์ตัวสะท้อน

ขั้นตอนที่ 20 : ทดลองจำลองผลการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้า ของสายอากาศที่ออกแบบ
อิลีเมนต์ตัวสะท้อน ดังรูปที่ 3.20



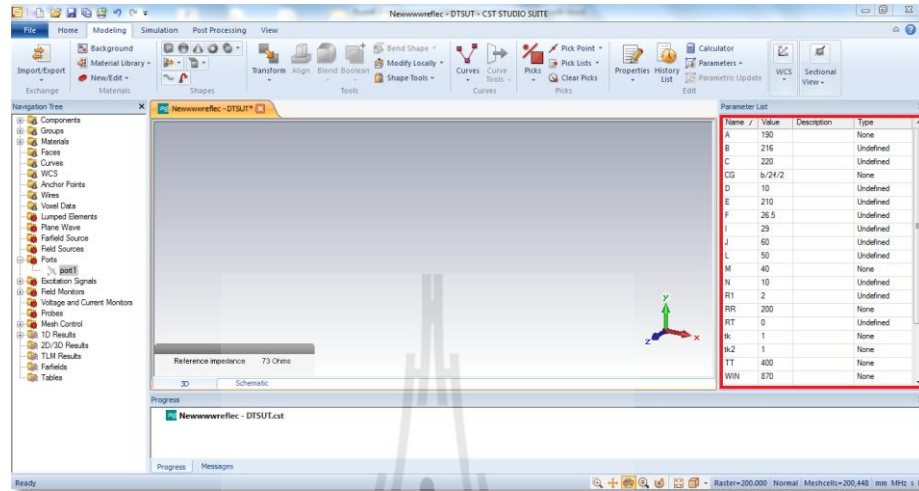
รูปที่ 3.20 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าหลังใส่อิลีเมนต์ตัวสะท้อน

ขั้นตอนที่ 21 : ทดลองจำลองผลการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ออกแบบ
หลังใส่อิลีเมนต์ตัวสะท้อน ดังรูปที่ 3.21



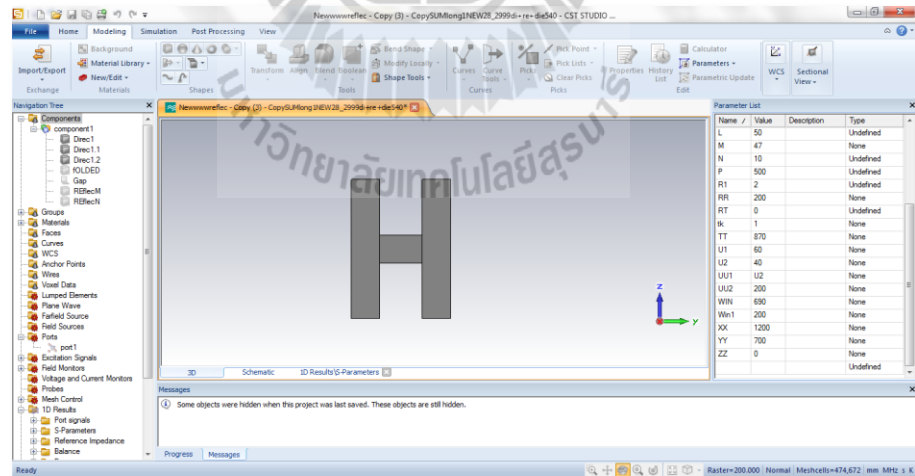
รูปที่ 3.21แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กหลังใส่อิลีเมนต์ตัวสะท้อน

ขั้นตอนที่ 22 : ทำการกำหนดตัวแปรและค่าพารามิเตอร์เพื่อสร้างชิ้นส่วนอีลีเมนต์ชั้นนำทิศ
ตัว
ดั่งรูปที่ 3.22



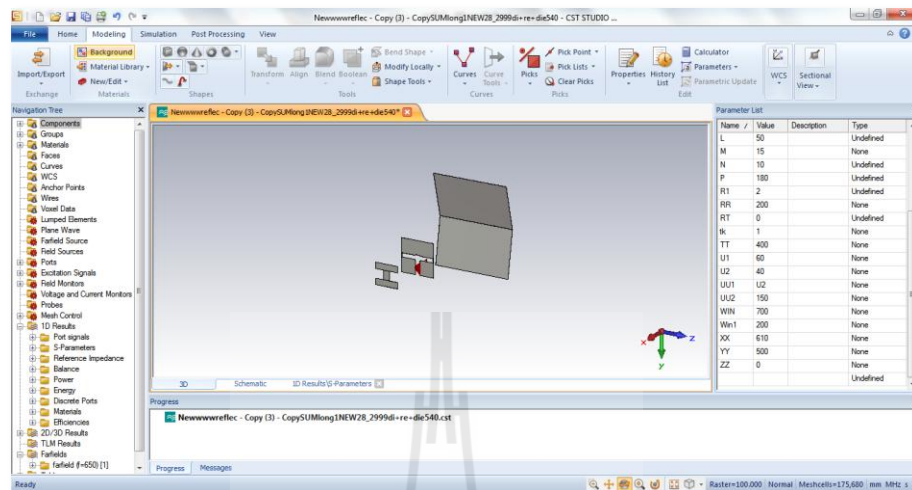
รูปที่ 3.22 การกำหนดตัวแปรและค่าพารามิเตอร์เพื่อสร้างชิ้นส่วนอีลีเมนต์ชั้นนำทิศ

ขั้นตอนที่ 23 : สร้างชิ้นส่วนอีลีเมนต์ชั้นนำทิศ ดั่งรูปที่ 3.23



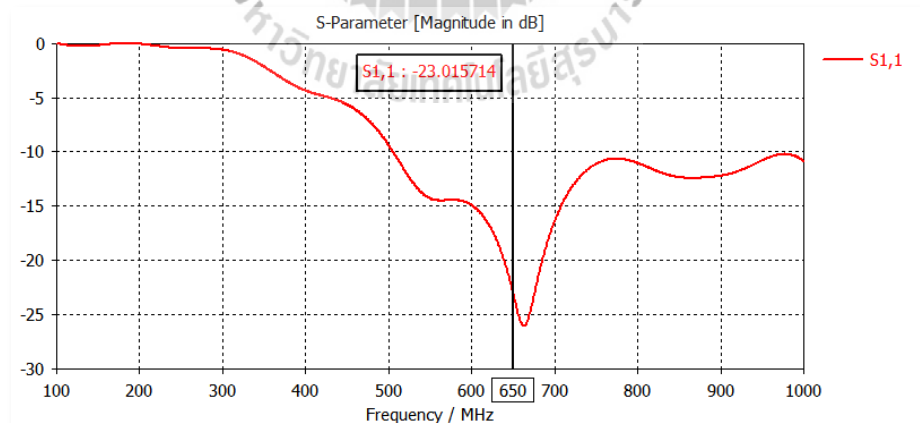
รูปที่ 3.23 การสร้างชิ้นส่วนอีลีเมนต์ชั้นนำทิศ

ขั้นตอนที่ 24 : สร้างชิ้นส่วนสายอากาศ 3 มิติ หลังใส่ลิเมนต์ชั้นนำทิศ ดังรูปที่ 3.24



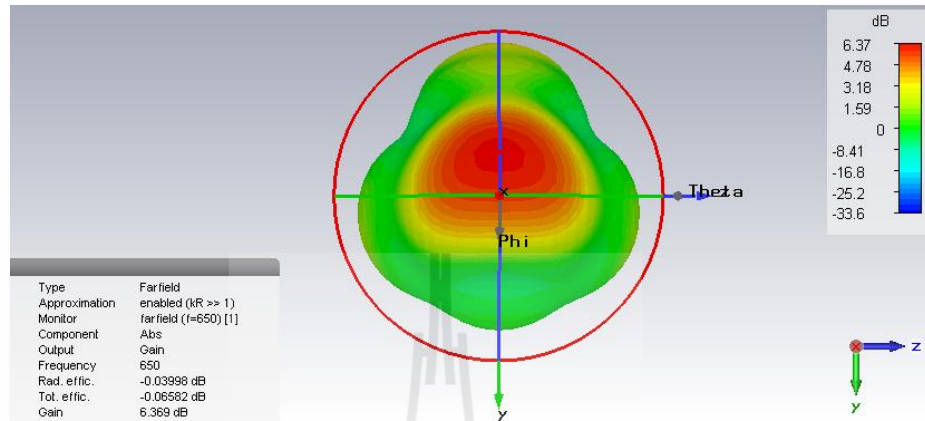
รูปที่ 3.24 การสร้างชิ้นส่วนสายอากาศ 3 มิติ หลังใส่ลิเมนต์ชั้นนำทิศ

ขั้นตอนที่ 25 : เมื่อจำลองผลเสร็จแล้วให้ดูค่า สัมประสิทธิ์การสะท้อน $S_{1,1}$ (รูปที่ 3.24) ว่าตกที่ 650 MHz หรือไม่ถ้าไม่ตกที่ 650 MHz ให้ทำการหาจุดแมทซ์ใหม่จนกว่าจะเจอจุดที่ค่า สัมประสิทธิ์การสะท้อน $S_{1,1}$ ตกที่ 650 MHz ดังรูปที่ 3.25



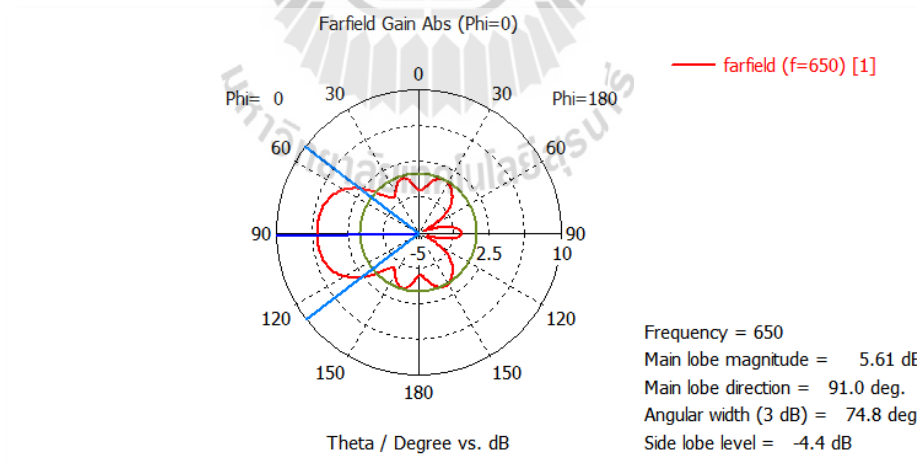
รูปที่ 3.26 การดูค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

ขั้นตอนที่ 26 : ทดลองจำลองผลการแผ่กำลังของสายอากาศ 3 มิติ หลังใส่อีลีเมนต์ชั้นนำทิศ
 ดังรูปที่ 3.26



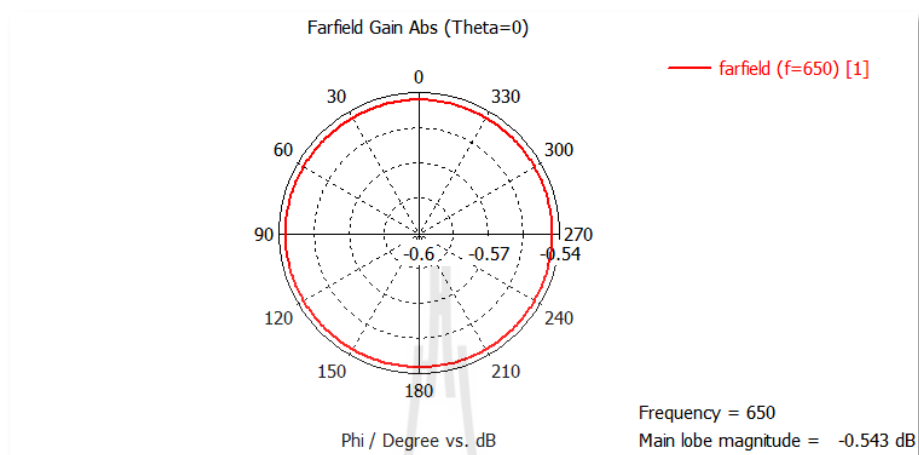
รูปที่ 3.26แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศ 3 มิติ หลังใส่อีลีเมนต์ชั้นนำทิศ

ขั้นตอนที่ 27 : ทดลองจำลองผลการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศ ที่ออกแบบ
 หลังใส่อีลีเมนต์ชั้นนำทิศ ดังรูปที่ 3.27



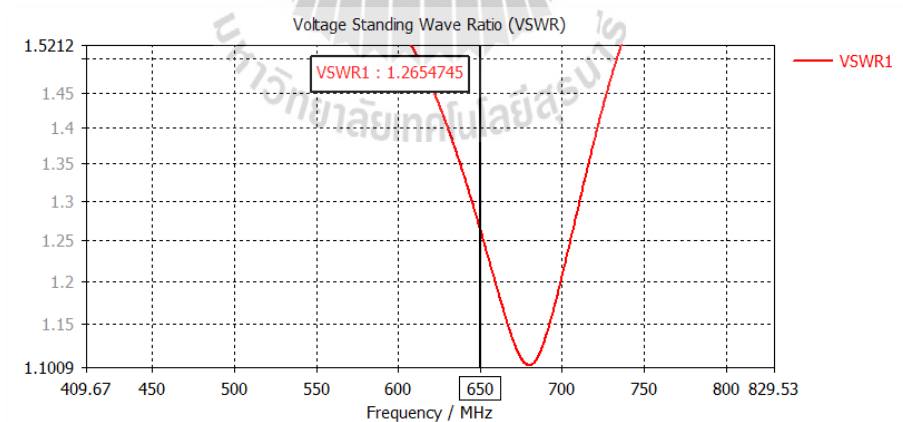
รูปที่ 3.27แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้า อีลีเมนต์ชั้นนำทิศ

ขั้นตอนที่ 28 : ทดลองจำลองผลการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศที่ออกแบบ
หลังใส่อีลีเมนต์ชี้หน้าทิศ ดังรูปที่ 3.28



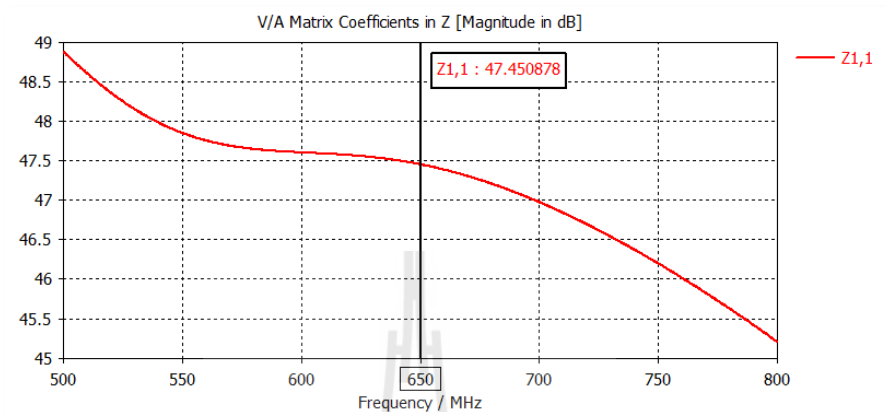
รูปที่ 3.28แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็ก อีลีเมนต์ชี้หน้าทิศ

ขั้นตอนที่ 29 : เมื่อจำลองผลเสร็จแล้วให้ดูค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ว่ามีใกล้เคียง 1หรือไม่เกิน 2
ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29การดูค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

ขั้นตอนที่ 30 : เมื่อจำลองผลเสร็จแล้วให้ดูค่าอิมพีแดนซ์ ว่ามีใกล้เคียง 1 หรือไม่เกิน 2
 ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 การดูค่าอิมพีแดนซ์

3.4 การสร้างสายอากาศต้นแบบ

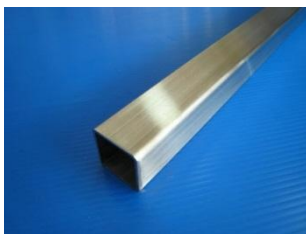
ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำทฤษฎีและการออกแบบสายอากาศที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้มาสร้างต้นแบบสายอากาศ เพื่อนำไปทำการทดสอบต่อไปซึ่งผลการทดสอบจะกล่าวไว้ในบทที่ 4

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้

- 1) แผ่นอลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร
- 2) ท่อกล่องอลูมิเนียม เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.16 มิลลิเมตร
- 3) สาย RG-223U ค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม
- 4) SMA Female ค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม
- 5) SMA male ค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม
- 6) น็อต เบอร์ 10 และ 12
- 7) อุปกรณ์ตัวยึด



(ก) (ข)



(ค)



(ง) (จ) (ฉ)



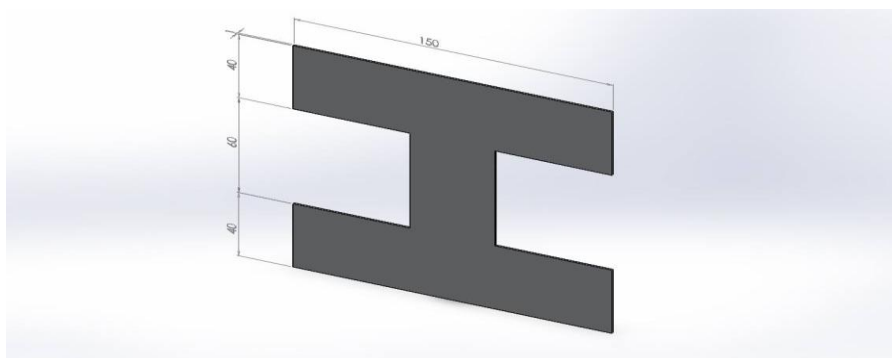
(ช)



รูปที่ 3.31(ก)แผ่นอลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร (ข) ท่อกล่องอลูมิเนียม เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.16 มิลลิเมตร (ค) สาย RG-223U ค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม (ง) SMA Female ค่าอิมพีแดนซ์ 50โอห์ม(จ) SMA male ค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม (ฉ) น็อต เบอร์ 10 และ 12(ช) อุปกรณ์ตัวยึด

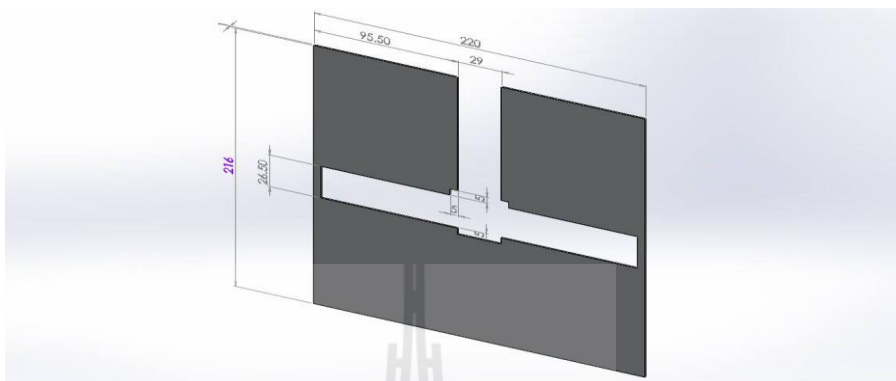
3.4.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปสายอากาศต้นแบบ

ขั้นตอนที่ 1 :ตัดแผ่นอลูมิเนียมให้มีลักษณะเป็นรูปตัว H ขนาด150 x 140 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.32



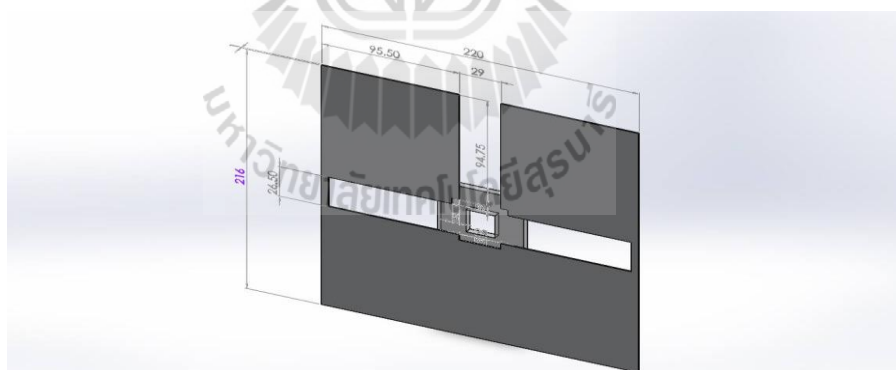
รูปที่ 3.32รูปแบบและขนาดการตัดแผ่นอลูมิเนียมเป็นรูปตัว H

ขั้นตอนที่ 2 : ตัดแผ่นอลูมิเนียม ขนาด 220 x 216 มิลลิเมตรให้มีรูปแบบและขนาดดังรูปที่ 3.33 โดยของรูเจาะตรงกลางมีขนาด 0.234 มิลลิเมตร



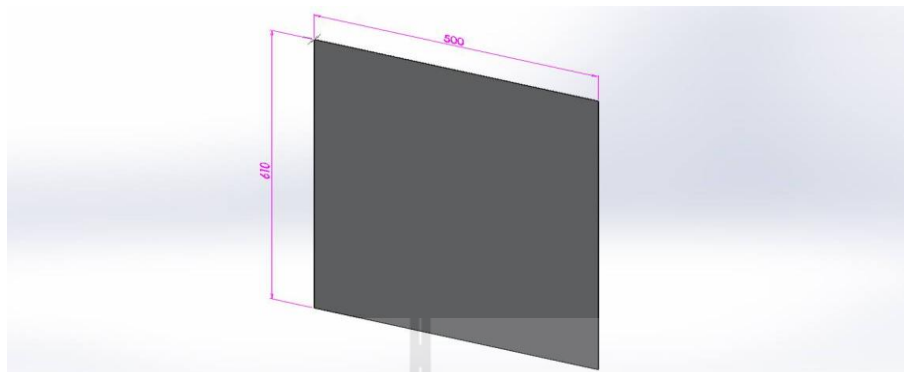
รูปที่ 3.33 รูปแบบและขนาดการตัดแผ่นอลูมิเนียม

ขั้นตอนที่ 3 : จากนั้นตัดแผ่นเทฟลอน ขนาด 20 x 20 มิลลิเมตร โดยเจาะตรงกลางมีขนาด 19 x 19 มิลลิเมตร แล้วทำการติดกาวไว้ด้านหลังแผ่นอลูมิเนียมที่เจาะรูไว้แล้วดังรูปที่ 3.34



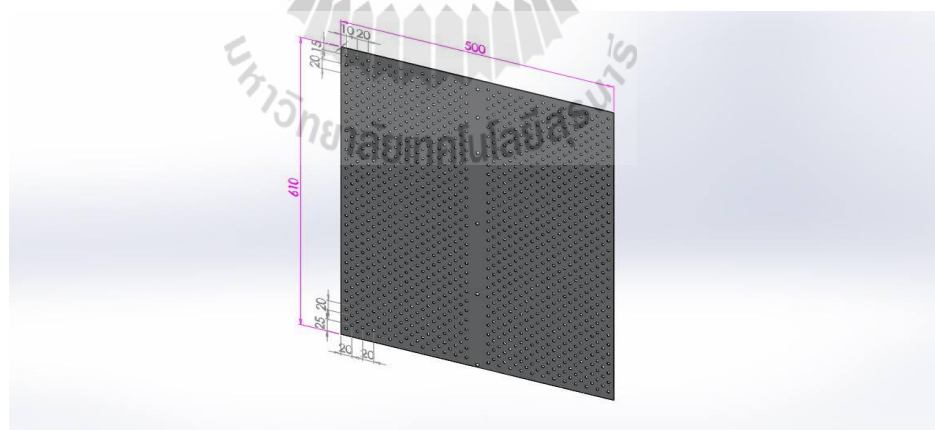
รูปที่ 3.34 รูปแบบการเจาะรูแผ่นอลูมิเนียมและติดแผ่นเทฟลอน

ขั้นตอนที่ 4 : ตัดแผ่นอลูมิเนียม ขนาด 500 x 610 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.35



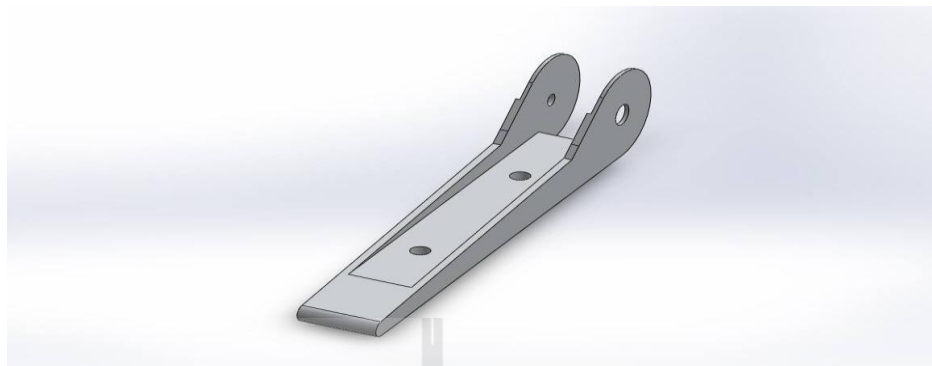
รูปที่ 3.35รูปแบบการตัดแผ่นอลูมิเนียม ขนาด 500 x 610 มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 5 : ทำการเจาะรูแผ่นอลูมิเนียมที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ซึ่งรูเจาะมีขนาด 0.234 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.36



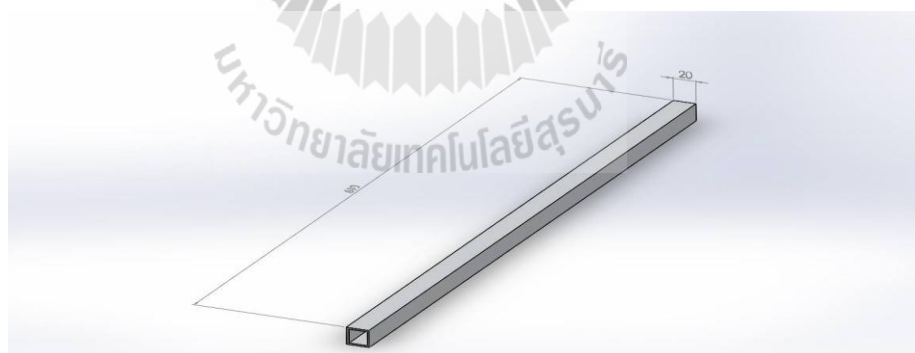
รูปที่ 3.36การเจาะรูแผ่นอลูมิเนียมที่ได้จากขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 6 : ทำตัวยึดท่อกล่องอลูมิเนียมดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 ตัวยึดท่อกล่องอลูมิเนียม

ขั้นตอนที่ 7 : ตัดท่อกล่องอลูมิเนียม เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ให้มีความยาวขนาด 610 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.38



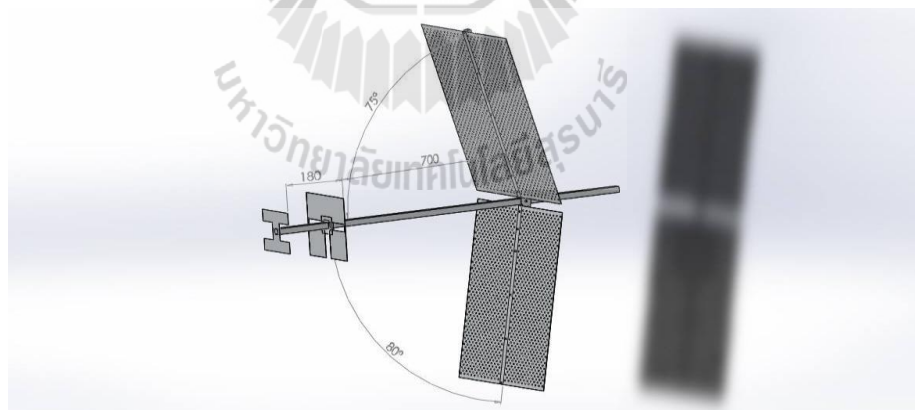
รูปที่ 3.38 รูปแบบการตัดท่อกล่องอลูมิเนียม เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 8 : ตัดท่อกล่องอลูมิเนียม เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ให้มีความยาวขนาด 1200 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39รูปแบบการตัดท่อกล่องอลูมิเนียม เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ให้มีความยาวขนาด 1200มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 9 : ประกอบอุปกรณ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1-8เข้าด้วยกัน โดยใช้น็อตเบอร์ 10 และ น็อตเบอร์ 12 ดังรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40รูปแบบการประกอบอุปกรณ์

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบ สายอากาศยา กิชนิด 3 อีลีเมนต์ย่านความถี่ 510-790 MHzในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CST Microwave Studio 2014 โดยใช้แผ่นอลูมิเนียมมาเป็นตัวบังคับมาช่วยในการประมวลผลหาอัตราการขยายและรูปแบบการแผ่กำลังของสายอากาศยา กิชนิด 3 อีลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHzทั้งสามารถบอกค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน และอัตราส่วนคลื่นนิ่งได้ในรูปแบบกราฟ แต่ในความเป็นจริงอาจมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ ดังนั้นความสามารถในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์เป็นหลักตลอดจนความรู้ ความถนัดของผู้วิจัยด้วย ทั้งนี้เพื่อให้ได้วิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการมากที่สุด แนวคิดนี้จึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการนำไปใช้ต่อไป



บทที่ 4

ผลการทดลองและการวัดสายอากาศ

4.1 กล่าวนำ

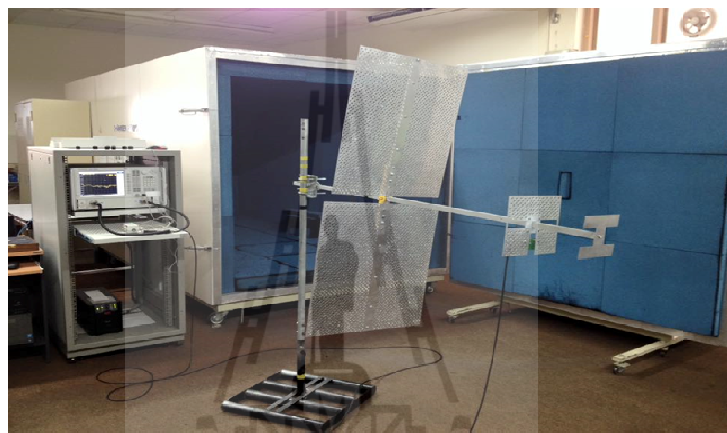
ในบทนี้เป็นการนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์สายอากาศด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2014 ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 มาใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบจริงและวัดทดสอบคุณลักษณะต่างๆ ของสายอากาศ ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศที่นำเสนอนี้เป็นสายอากาศยาก็ชนิด 3 อิลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz ซึ่งได้ทำการสร้างสายอากาศต้นแบบตามขนาดที่ได้จากการวิเคราะห์และนำมาวัดทดสอบคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้า ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ อัตราส่วนคลื่นนิ่ง ความกว้างแถบสายอากาศ และแบบรูปการแผ่กำลัง ทั้งระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กโดยใช้เครื่อง KEYSIGHT FieldFox RF Analyzer รุ่น N9912A 6GHz ซึ่งในการออกแบบได้ใช้ความถี่ปฏิบัติการอยู่ในช่วงความถี่ 510 -790 MHz เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์สายอากาศด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2014 ต่อไป

4.2 การสร้างสายอากาศต้นแบบ

เมื่อได้ผลจำลองแบบของสายจากสายอากาศจากโปรแกรม CST Microwave Studio 2014 แล้วจากนั้นจึงสร้างสายอากาศยาก็ชนิด 3 อิลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz ซึ่งในตอนแรกได้ทำการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศนั้นจะทำการวัดที่บริเวณสนามระยะไกล มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์สายอากาศด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2014 เพื่อให้เห็นถึงข้อดีของการออกแบบสายอากาศยาก็ชนิด 3 อิลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz และเพื่อแสดงว่าสายอากาศที่ทำการออกแบบนั้นสามารถไปใช้งานจริงได้ในย่านความถี่ 510 - 790MHz แต่ในการติดตั้งสายอากาศใช้งานจริง ต้องทำการแมตซ์ซิ่ง เพื่อให้สายอากาศที่สามารถใช้งานได้จริงในความถี่ที่ต้องการ สำหรับโครงงานฉบับนี้ได้ทำการแมตซ์ซิ่งสายอากาศ กับสายโคแอกเซียล 50 โอห์ม

4.2.1 การวัดอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ

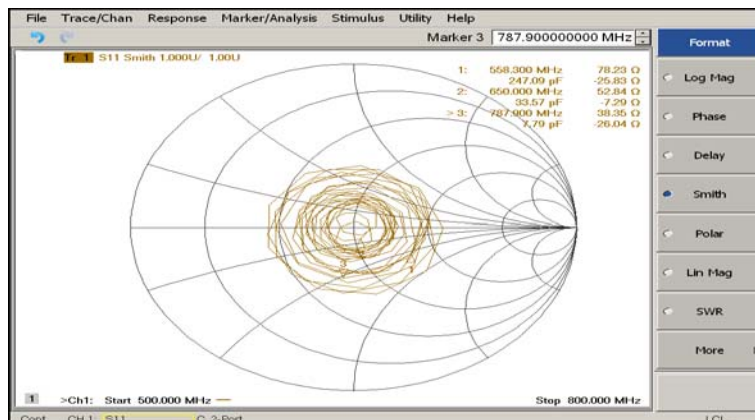
อิมพีแดนซ์ด้านเข้าเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมาก เพราะว่าหากสายอากาศไม่แมตช์กับสายนำสัญญาณแล้วสายอากาศก็ไม่สามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงๆ ได้ สำหรับโครงการนี้ใช้สายนำสัญญาณแบบโคแอกเชียลที่มีอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งเท่ากับ 50 โอห์ม ดังนั้น สายอากาศที่สร้างจะต้องมีอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เท่ากับ หรือใกล้เคียง 50 โอห์ม มากที่สุด โดยสามารถดูจากค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ที่จะต้องไม่เกิน 1.5 dB



รูปที่ 4.1 การวัดอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ

จากรูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการวัดค่าอิมพีแดนซ์มีดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 ทำการ Calibrate เครื่อง Network Analyzer ที่ความถี่ตั้งแต่ 510-790MHz
- ขั้นตอนที่ 2 เลือกคำสั่ง Save เพื่อจะได้ไม่ต้องทำการเซตเครื่องใหม่ เมื่อมาใช้งานตอนหลังอีก
- ขั้นตอนที่ 3 ต่อสายอากาศ สายอากาศยาก็ชนิด 3 อีลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz เข้าที่ Port 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย HP8722D
- ขั้นตอนที่ 4 ทำการวัด S_{11} เลือก Format แบบ Smith Chart



รูปที่ 4.2 ผลการวัดค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าความถี่ 650 MHz ของสายอากาศต้นแบบ

จากผลการวัดค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศที่ความถี่ 650 MHz โดยดูค่าอิมพีแดนซ์ที่ทำการวัดได้จากกราฟแผนภูมิสมิท มีค่าเท่ากับ 52.84 โอห์ม แสดงว่าสามารถนำสายอากาศไปใช้งานได้กับสายโคแอกเซียลที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม ดังรูปที่ 4.2

4.2.2 ความกว้างแถบของสายอากาศ

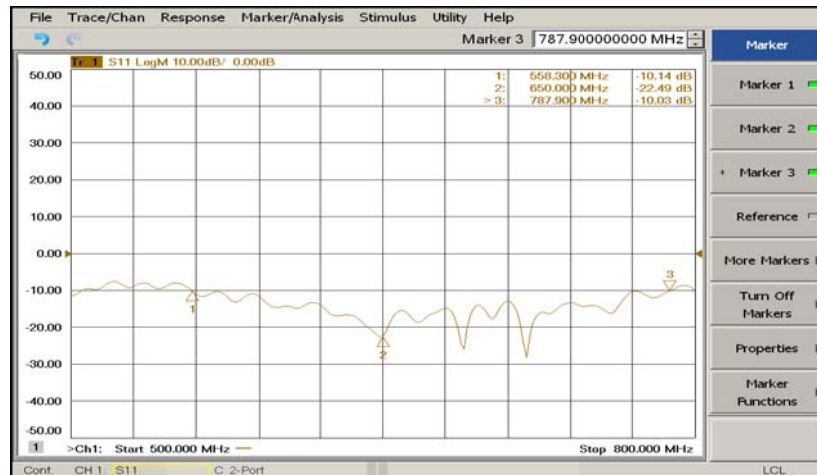
ความกว้างแถบของสายอากาศ หมายถึง ช่วงความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้ดี สายอากาศยาคิชนิด 3 อีลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz โครงการนี้จะพิจารณาความกว้างแถบของสายอากาศอยู่ที่ -10 dB ในโหมดของ LOG MAG

ขั้นตอนการวัดความกว้างแถบมีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 recall state จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายที่จัดเก็บไว้

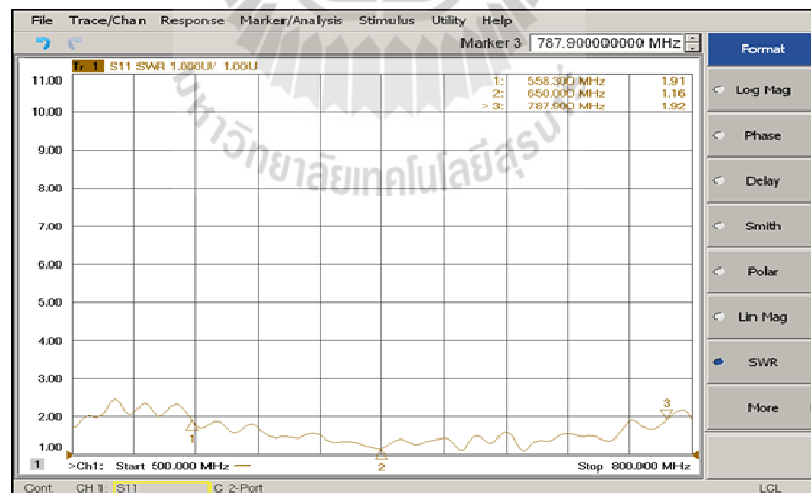
ขั้นตอนที่ 2 เลือกคำสั่ง format และเลือก LOG MAG

ขั้นตอนที่ 3 ใช้ maker เลือกความถี่สองจุดที่ตำแหน่ง -10 dB



รูปที่ 4.3 ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ

เป็นผลการวัดความกว้างแถบ โดยสายอากาศยาคิชนิด 3 อีลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz ตัวนี้มีความกว้างแถบอยู่ที่ประมาณ 500 - 800 MHz ตามขนาดที่ได้จากการวิเคราะห์ จะสังเกตได้ว่า ได้ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return Loss: S_{11}) เท่ากับ -22.49 dB ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.4 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากการทดสอบของสายอากาศ

จากผลการทดลองวัดสายอากาศยาคิชนิด 3 อีลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz ตามขนาดที่ได้จากการวิเคราะห์ จะสังเกตได้ว่า มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง เท่ากับ 1.16 ดังรูปที่ 4.4

4.2.3 แบบรูปการแผ่กำลังและโพลาริซของสายอากาศ

การวัดแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศจะอาศัยทฤษฎีรีซิโพรซิตี โดยทำการวัดที่บริเวณสนามระยะไกล ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการ

$$R > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4.1)$$

เมื่อ	R	คือ ระยะของสนามระยะไกล
	D	คือ ความยาวสูงสุดของสายอากาศ
	λ	คือ ความยาวคลื่นของสายอากาศ



รูปที่ 4.5 สายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่นที่ใช้เป็นตัวส่ง

ในการวัดแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศยาคิชนิด 3 อิลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz ชนิดนี้ขนาดของสายอากาศที่ยาวที่สุดมีค่าเท่ากับ 436 เซนติเมตร ทำให้ได้ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและภาครับ เท่ากับ 500 เซนติเมตร ซึ่งในที่นี้ได้ใช้สายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่นที่มีความถี่ 510 - 790 MHz เป็นสายอากาศอ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่ง และสายอากาศที่นำมาทดสอบจะมีการหมุนรับคลื่น จาก 0 องศา ถึง 360 องศา ในที่โล่ง ซึ่งจะ

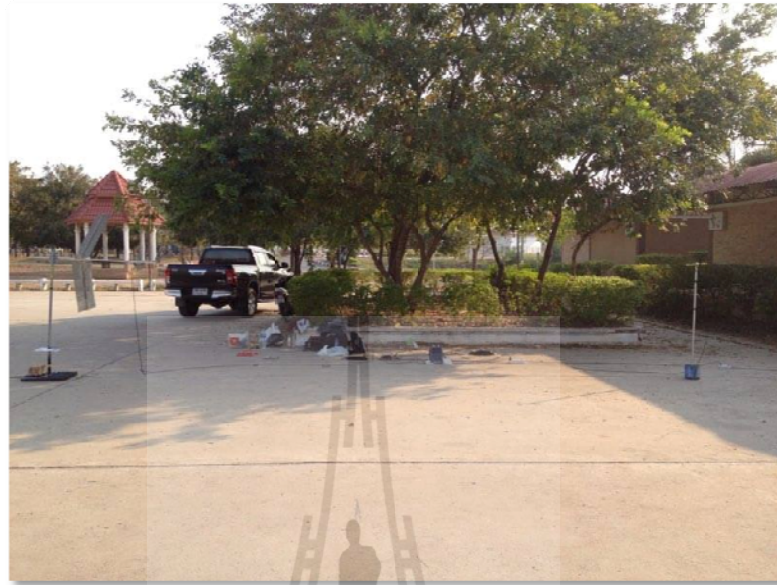
ช่วยลดการสะท้อนของคลื่น โดยรูปแบบการวัดการแผ่กำลังของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และแสดงรูปที่ 4.8 ซึ่งจะได้รูปแบบการแผ่กำลังของสายอากาศยาก็ชนิด 3 อีลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้า ในระนาบ xy และระนาบสนามแม่เหล็ก ในระนาบ yz

ในการทดสอบจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก โดยสายอากาศที่ทำการทดสอบนั้นจะเป็นสายอากาศรับ ซึ่งจะทำการหมุนเพื่อรับคลื่นจาก 0 องศาจนถึง 360 องศา ส่วนสายอากาศส่งเป็นสายอากาศไดโพลออกแบบที่ความถี่เดียวกันกับสายอากาศรับ และต้องมีโพลาไรซ์ที่เหมือนกันระดับความสูงของสายอากาศรับและสายอากาศส่งต้องเท่ากันด้วย รูปที่ 4.6 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณKEYSIGHT FieldFox RF Analyzer รุ่น N9912A 6GHz โดยใช้กำลังส่ง -5 dBm ที่ความถี่ 510 - 790MHz

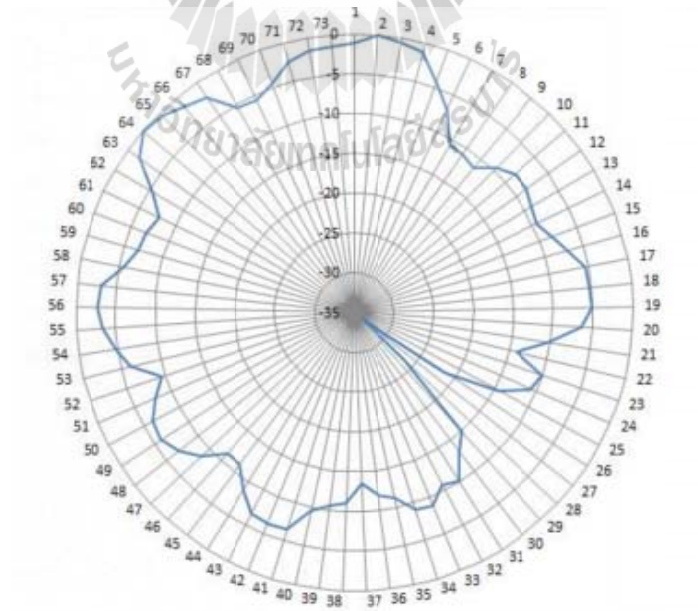


รูปที่ 4.6 KEYSIGHT FieldFox RF Analyzer รุ่น N9912A 6GHz

การวัดระนาบสนามแม่เหล็ก

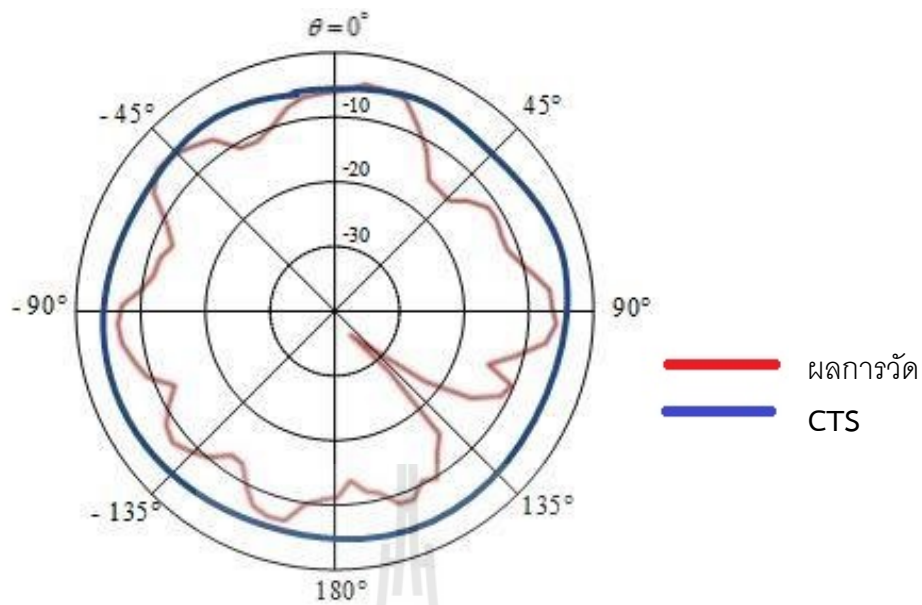


รูปที่ 4.7 วิธีวัดแบบรูประนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศต้นแบบ



รูปที่ 4.8 แบบรูประนาบสนามแม่เหล็กที่ได้จากการทดสอบของสายอากาศยาคิชนิด

3 อิลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz



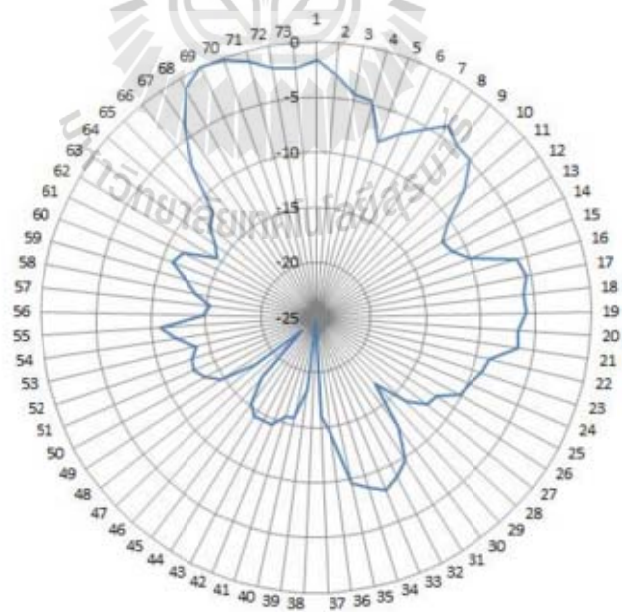
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบสนามแม่เหล็กที่ได้จากการทดสอบและจากโปรแกรม
CST Microwave Studio 2014

รูปที่ 4.8 ผลการวัดแบบรูปการแผ่กำลังและโพลาไรซ์ของสายอากาศแบบยาคิชนิดไดเร็กเตอร์แบบ 1 แขน ในระนาบสนามแม่เหล็กปรากฏว่าให้ผลที่สอดคล้องกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2014 โดยมีแบบรูปการแผ่กำลังเป็นแบบมีทิศทาง และผลการวัดแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าก็ให้ผลสอดคล้องกับผลจากการคำนวณโดยโปรแกรมโปรแกรม CST Microwave Studio 2014 โดยมีแบบรูปการแผ่กำลังเป็นวงกลม แต่แบบรูปการแผ่กำลังทั้งสองและการโพลาไรซ์มีความคลาดเคลื่อนบ้าง เนื่องจากโครงสร้างของสายอากาศมีการดัดงอไม่ตรงตามที่ออกแบบไว้ จึงทำให้รูปแบบการแผ่กำลังผิดเพี้ยนไป จากรูปแบบการแผ่กำลังทั้งสองระนาบทำให้ทราบว่าสายอากาศยาคิชนิด 3 อีลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz ที่สร้างขึ้นนี้มีแบบรูปการแผ่กำลังเป็นแบบรอบตัวในระนาบเดียว

การวัดระนาบสนามไฟฟ้า

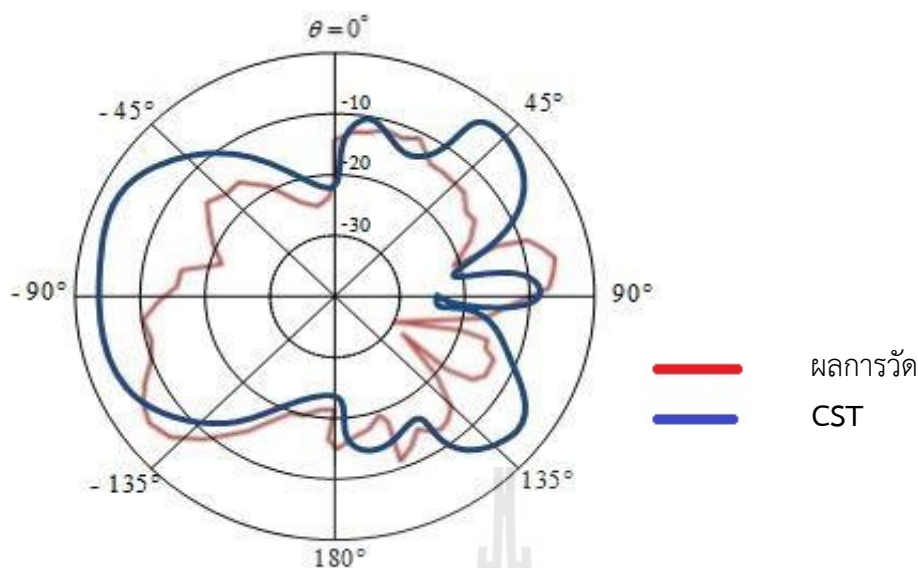


รูปที่ 4.10 วิธีวัดแบบรูประนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศต้นแบบ



รูปที่ 4.11 แบบรูประนาบสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบสายอากาศยาคิชนิด 3 อีลีเมนต์

ย่านความถี่ 510-790 MHz



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบและจากโปรแกรม

CST Microwave Studio 2014

รูปที่ 4.11 จะแสดงวิธีการวัดที่เรียกว่าวิธีแบบรูปการโพลาไรซ์ (Polarization-pattern method) มีสายอากาศรับ คือ สายอากาศยาคิชนิด 3 อิลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz เป็นสายอากาศทดสอบกำหนดตำแหน่งคงที่โดยมีสายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่นทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่งมีตำแหน่งการวางแนวขอบการโพลาไรซ์ตั้งแต่ 0 องศาถึง 360 องศา ในการปรับมุมการส่งแต่ละโพลาไรซ์จะทำการบันทึกระดับสัญญาณที่ได้รับจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย จะเห็นได้ว่ามีรูปแบบการโพลาไรซ์มีแนวโน้มแบบวงกลมตามทฤษฎี

รูปที่ 4.9 และ 4.12 เนื่องจากสายอากาศเราอยู่ใกล้จากสถานีส่งสัญญาณที่วัดจิจิตอลในระยะประมาณ 9 – 10 กิโลเมตร ซึ่งความแรงของสัญญาณยังมากพอเข้ามาบริเวณ ในขณะที่ทำการวัดซึ่งเป็นความถี่เดียวกันที่ใช้งาน ในขณะที่ช่วงการหมุนบางองศาของสายอากาศภาครับได้หันด้านหน้าของสายอากาศซึ่งตรงกับระนาบเดียวกันกับสถานีส่งสัญญาณที่วัดจิจิตอลทำให้สามารถรับสัญญาณที่วัดจิจิตอลได้ ส่งผลให้แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศเกิดการคลาดเคลื่อนไปจากผลการจำลองในโปรแกรม CST Microwave Studio 2014

4.2.4 อัตราขยาย

1) อัตราการสูญเสียในอากาศ (Free-Space Loss) การหาอัตราการสูญเสียของสายอากาศต้นแบบที่ใช้ในการทดสอบสามารถหาได้จากสมการ

$$loss(dB) = 20 \log \left[\frac{\lambda}{4\pi R} \right] \quad (4.2)$$

R คือ ระยะห่างของสายอากาศระหว่างภาคส่งและภาครับ (เมตร)

λ คือ ความยาวคลื่น (เมตร)

จากการคำนวณระยะสนามไกลได้ที่ 4.36 เมตร ซึ่งระยะห่างของสายอากาศภาครับและภาคส่งจะต้องมีระยะ R มากกว่า 4.36 เมตร ดังนั้นจึงได้ตั้งสายอากาศทั้งภาคส่งและภาครับให้ห่างกันที่ระยะ 5.0 เมตร และสามารถแทนค่าในสมการหาอัตราการสูญเสียในอากาศได้เท่ากับ

$$\text{ที่ } f=530 \text{ MHz} \quad loss(dB) = 20 \log \left[\frac{0.566}{4\pi(5)} \right] = -40.90dB$$

$$\text{ที่ } f=657 \text{ MHz} \quad loss(dB) = 20 \log \left[\frac{0.526}{4\pi(5)} \right] = -41.54dB$$

$$\text{ที่ } f=610 \text{ MHz} \quad loss(dB) = 20 \log \left[\frac{0.491}{4\pi(5)} \right] = -42.12dB$$

$$\text{ที่ } f=650 \text{ MHz} \quad loss(dB) = 20 \log \left[\frac{0.462}{4\pi(5)} \right] = -42.67dB$$

$$\text{ที่ } f=690 \text{ MHz} \quad loss(dB) = 20 \log \left[\frac{0.434}{4\pi(5)} \right] = -43.19dB$$

$$\text{ที่ } f=730 \text{ MHz} \quad loss(dB) = 20 \log \left[\frac{0.410}{4\pi(5)} \right] = -43.68dB$$

$$\text{ที่ } f=770 \text{ MHz} \quad loss(dB) = 20 \log \left[\frac{0.389}{4\pi(5)} \right] = -44.15 \text{ dB}$$

2) การคำนวณอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ ทำการคำนวณหาอัตราขยายในระนาบสนามแม่เหล็ก เนื่องจากเป็นระนาบที่นำไปใช้งานจริง โดยวัดกำลังส่งและกำลังที่รับได้จากสายอากาศไดโพลที่มีความเหมือนกันทุกประการแล้วแทนลงในสมการ (4.3)

$$P_r - P_t = G_t + G_r + 20\log\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right) \quad (4.3)$$

จะใช้คำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศ โดยจะใช้สายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่นเป็นสายอากาศภาคส่งที่ทำงานในย่านความถี่ 510 - 790MHz และสายอากาศต้นแบบเป็นภาครับวางห่างกันที่ระยะ 5 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.13 ค่าส่งผ่านคลื่น (S_{21}) ของสายอากาศไดโพล (ภาคส่ง)

สายอากาศนี้มีค่ากำลังส่งของสายอากาศไดโพลภาคส่ง (P_t) เท่ากับ -5dBm และมีอัตราขยายของสายอากาศไดโพล ภาคส่ง (G_t) เท่ากับ 2.15 ดังรูปที่ 4.11

จากนั้นแทนค่าในสมการที่ (4.3) เพื่อหาอัตราขยายของอากาศแบบยากิชนิดไดเร็กเตอร์แบบ 1 แขน โดย $G_t = 2.15$ dB ค่าการสูญเสียในสายส่ง ภาครับ (L_r) เท่ากับ -6.10 dB และค่าการสูญเสียในสายส่ง ภาคส่ง (L_s) เท่ากับ 0 dB

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

ที่ $f=530$ MHz เมื่อ P_r เท่ากับ -39.87 dB, P_t เท่ากับ -5 dB และ loss เท่ากับ

-40.90 dB

แทนค่า

$$-39.87 \text{ (dB)} + 5 \text{ (dB)} = 2.15 \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} - 40.90 \text{ (dB)} - 6.10 \text{ (dB)}$$

$$G_r \text{ (dB)} = 9.98 \text{ dB}$$

ที่ $f=570$ MHz เมื่อ P_r เท่ากับ -39.87 dB, P_t เท่ากับ -5 dB และ loss เท่ากับ

-41.54 dB

แทนค่า

$$-39.87 \text{ (dB)} + 5 \text{ (dB)} = 2.15 \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} - 41.54 \text{ (dB)} - 6.10 \text{ (dB)}$$

$$G_r \text{ (dB)} = 10.62 \text{ dB}$$

ที่ $f=610$ MHz เมื่อ P_r เท่ากับ -39.87 dB, P_t เท่ากับ -5 dB และ loss เท่ากับ

-42.12 dB

แทนค่า

$$-39.87 \text{ (dB)} + 5 \text{ (dB)} = 2.15 \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} - 42.12 \text{ (dB)} - 6.10 \text{ (dB)}$$

$$G_r \text{ (dB)} = 11.20 \text{ dB}$$

ที่ $f=650$ MHz เมื่อ P_r เท่ากับ -39.87 dB, P_t เท่ากับ -5 dB และ loss เท่ากับ

-42.67 dB

แทนค่า

$$-39.87 \text{ (dB)} + 5 \text{ (dB)} = 2.15 \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} - 42.67 \text{ (dB)} - 6.10 \text{ (dB)}$$

$$G_r \text{ (dB)} = 11.75 \text{ dB}$$

ที่ $f=690$ MHz เมื่อ P_r เท่ากับ -39.87 dB, P_t เท่ากับ -5 dB และ loss เท่ากับ

-43.19 dB

แทนค่า

$$-39.87 \text{ (dB)} + 5 \text{ (dB)} = 2.15 \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} - 43.19 \text{ (dB)} - 6.10 \text{ (dB)}$$

$$G_r \text{ (dB)} = 12.27 \text{ dB}$$

ที่ $f=730$ MHz เมื่อ P_r เท่ากับ -39.87 dB, P_t เท่ากับ -5 dB และ loss เท่ากับ -43.68 dB

แทนค่า

$$-39.87 \text{ (dB)} + 5 \text{ (dB)} = 2.15 \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} - 43.68 \text{ (dB)} - 6.10 \text{ (dB)}$$

$$G_r \text{ (dB)} = 12.76 \text{ dB}$$

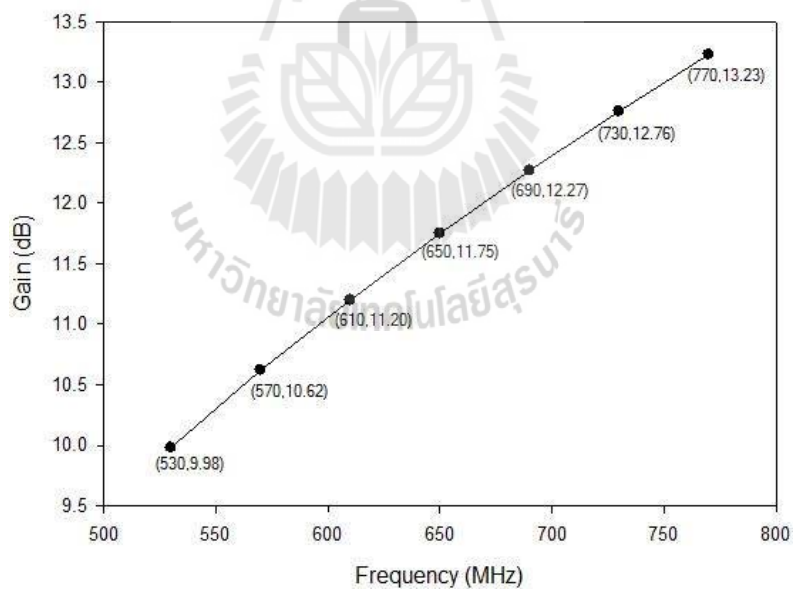
ที่ $f=770$ MHz เมื่อ P_r เท่ากับ -39.87 dB, P_t เท่ากับ -5 dB และ loss เท่ากับ -44.15 dB

แทนค่า

$$-39.87 \text{ (dB)} + 5 \text{ (dB)} = 2.15 \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} - 44.15 \text{ (dB)} - 6.10 \text{ (dB)}$$

$$G_r \text{ (dB)} = 13.23 \text{ dB}$$

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายกับความถี่ย่าน 510-790 MHz ดังรูป 4.12



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราขยายกับความถี่ย่าน 510-790 MHz

4.3 สรุป

ในบทที่ 4 เป็นการทดสอบวัดสายอากาศยาคิชนิด 3 อีลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz ตามที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2014 มาแล้วในบทที่ 3 เพื่อทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของสายอากาศที่ได้ทำการออกแบบ ได้แก่ ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ และอัตราส่วนคลื่นนิ่งซึ่งผลการวัดกับทฤษฎีสอดคล้องกัน จึงสามารถนำไปใช้งานได้ตามความต้องการที่กำหนดไว้ก่อนทำการสร้างสายอากาศต้นแบบ โดยใช้ในย่านความถี่ 650 MHz



บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

โครงการฉบับนี้ได้ดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ห่ออกแบบสายอากาศยาคิชนิด 3 อีลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz จากโปรแกรม CST Microwave Studio 2014 โดยได้ศึกษาทฤษฎีของสายอากาศและสร้างสายอากาศต้นแบบสายอากาศยาคิชนิด 3 อีลีเมนต์ ย่านความถี่ 510-790 MHz ที่สามารถทำงานได้ในย่านความถี่ 510-790 MHz แล้วทำการวัดทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศ ได้แก่ ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ แบบรูปการแผ่กำลัง อัตราขยายของสายอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ และค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง เป็นต้น

การออกแบบจากโปรแกรม CST Microwave Studio 2014 ได้กำหนดพารามิเตอร์ก่อนทำการสร้าง คือ อีลีเมนต์ตัวสะท้อนให้มีขนาดความกว้าง 500 มิลลิเมตร ความยาว 610 มิลลิเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร มีขนาดรูเจาะ 0.234 มิลลิเมตร อีลีเมนต์ตัวขับมีขนาดความกว้าง 220 มิลลิเมตร ความยาว 216 มิลลิเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร อีลีเมนต์ชี้นำทิศ มีขนาดความกว้าง 150 มิลลิเมตร ความยาว 140 มิลลิเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร ท่อบูมที่ยึดอีลีเมนต์ตัวสะท้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ความยาว 610 มิลลิเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร ท่อบูมกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ความยาว 1200 มิลลิเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร

ส่วนโครงสร้างของสายอากาศที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศเป็นอลูมิเนียมที่มียึดอีลีเมนต์ตัวสะท้อนเป็นแบบแผ่น อีลีเมนต์ตัวขับเป็นแบบโพลีเอทิลีน โดยเพิ่มพื้นที่ผิวอีลีเมนต์ชี้นำทิศ ออกแบบ รูปตัวเห็ดมีการป้อนสัญญาณเข้ากับตัวพีดที่เชื่อมต่อกับคอนเนคเตอร์เมื่อทำการจำลองผลจากการออกแบบในโปรแกรมนี้ออกมาทำการวิเคราะห์ผลจากค่าพารามิเตอร์ จะได้ผลการทำงานในย่านความถี่ที่ต้องการคือค่าต่ำกว่า -10 dB สอดคล้องกับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่มีค่าต่ำกว่า 2 และค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายอากาศใกล้เคียง 50 โอห์ม จึงต้องมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ โดยการเชื่อมต่อสายอากาศที่ออกแบบเข้ากับสายโคแอกเซียลขนาด 50 โอห์ม

สำหรับการศึกษาแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศแบบยาก็ชนิด 3 อีลีเมนต์ย่านความถี่ 510-790MHz ทำให้ได้แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศ ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้ทั้งหมดในบทที่ 3 เมื่อได้สร้างสายอากาศต้นแบบแล้ว พบว่าในการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศแบบยาก็ชนิด 3 อีลีเมนต์ในระนาบสนามแม่เหล็ก แต่ระนาบสนามไฟฟ้าเกิดการคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ซึ่งสาเหตุของการคลาดเคลื่อนระหว่างผลการวัดทดสอบและการจำลองผล คือ อาจเกิดจากการสูญเสียในระบบสายอากาศ เช่น โครงสร้างของสายอากาศมีการติดตั้งไม่ตรงตามทีออกแบบไว้ จึงทำให้รูปแบบการแผ่กำลังผิดเพี้ยนไป และผลกระทบจากสภาพแวดล้อมขณะวัดทดสอบสายอากาศ เป็นต้น

จากบทที่ 4 ได้แสดงผลการทดสอบแบบรูปการแผ่กำลัง อัตราส่วนคลื่นนิ่ง ความกว้างแถบ และอัตราขยายของสายอากาศที่ได้ออกแบบและสร้าง จะพบว่าผลการทดสอบนั้นเป็นที่ยอมรับได้ คือค่อนข้างตรงตามทฤษฎี และตามความต้องการของสายอากาศที่จะใช้งานจริง ไม่ว่าจะเป็นแบบรูปการแผ่กำลัง ความกว้างแถบ และอัตราขยายของสายอากาศ เพื่อนำมาสร้างเป็นสายอากาศที่ความถี่ที่ต้องการ และสุดท้ายได้สร้างสายอากาศต้นแบบตามค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ถูกออกแบบไว้ เพื่อยืนยันความถูกต้องด้วยผลการทดลองวัดคุณลักษณะต่างๆ ของสายอากาศโดยใช้เครื่องมือวัดในที่โล่งและห้องปฏิบัติการ ดังได้กล่าวรายละเอียดไว้แล้วในบทที่ 4

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลจากการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการทดสอบของสายอากาศต้นแบบ

คุณลักษณะของสายอากาศ	การจำลองสายอากาศต้นแบบ	การวัดทดสอบสายอากาศต้นแบบ
Input Impedance (Ω)	47.45	52.84
S_{11} (dB)	-23.015	-22.49
SWR	1.26	1.16
Bandwidth (MHz)	510-790	500-800
Gain (dB)	6.37	11.75

สรุปผลที่ได้จากการวัดทดสอบสายอากาศมีความสอดคล้องกับผลเฉลยที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2014 แต่ผลจากการวัดทดสอบอาจจะให้ค่าที่คลาดเคลื่อนไปบ้างเล็กน้อย ซึ่งสาเหตุของการคลาดเคลื่อนระหว่างผลการวัดทดสอบและผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2014 คืออาจเกิดจากความสูญเสียในระบบสายอากาศ เช่น ความสูญเสียในสายส่ง ความผิดพลาดจากการจัดวางตำแหน่งสายอากาศส่งและสายอากาศรับ สุดท้ายเกิดจากผลกระทบจากสภาพแวดล้อมขณะวัดทดสอบสายอากาศ เพราะการทดสอบสายอากาศที่ดีนั้น ควรจะหาพื้นที่โล่งและกว้างพอสมควร เพื่อลดปัญหาการบังหรือสะท้อนของคลื่นระหว่างสายอากาศภาคส่งและภาครับดังแสดงในตารางที่ 5.1

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับสายอากาศแบบยาก็ 3 อีลีเมนต์ย่านความถี่ 510 - 790 MHz ที่ได้ทำการทดสอบนี้ ผลของการวัดทดสอบและการจำลองผล มีความคลาดเคลื่อนอยู่พอสมควร สาเหตุที่เกิดจากการการคลาดเคลื่อนระหว่างผลการวัดทดสอบและการจำลองผล คือ อาจเกิดจากการสูญเสียในระบบสายอากาศ เช่น โครงสร้างของสายอากาศมีการติดตั้งไม่ตรงตามที่ออกแบบไว้ จึงทำให้รูปแบบการแผ่กำลังผิดเพี้ยนไป และผลกระทบจากสภาพแวดล้อมขณะวัดทดสอบสายอากาศ สำหรับการพัฒนาให้ดีขึ้นในการทดสอบสายอากาศที่ดีนั้น ควรจะหาพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนเพื่อลดปัญหาการสะท้อนกลับของคลื่นหรือการบังคลื่นระหว่างสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าที่แท้จริงมากที่สุด และเพื่อลดปัญหาแบบรูปการแผ่กำลังผิดเพี้ยน ควรสร้างโครงสร้างของสายอากาศต้นแบบให้เหมือนกับที่ออกแบบจากโปรแกรม CST Microwave Studio 2014 ให้มากที่สุด

บรรณานุกรม

- [1] รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์, วิศวกรรมสายอากาศ (พิมพ์ครั้งที่ 4), ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีการศึกษา และทีมงานฟาสต์บุ๊กส์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556.
- [2] J.V.Evans, "Satellite systems for personal communication." IEEE Antennas and Propagation Magazine., Vol. 39, pp.7-20, June 1997.
- [3] C.C.Kilgus, "Unidirectional." IEEE Transactions on Antennas and Propagation., Vol. 16, pp.499-500, July 1968.
- [4] C.C.Kilgus, "Yagi-Uda Antenna." IEEE Transactions on Antennas and Propagation., Vol. 17, pp.349-351, May 1969.
- [5] T.A.Milligan, "Modern antenna design." John Wiley & Sons, 2005.
- [6] C.A.Balanis, "Antenna Theory." John Wiley & Sons, 2005.
- [7] M.W.Maxwell, "Reflections II: Transmission line & antennas." Worldradio Book, March 2001.
- [8] J.R. Costa, Jerzy Guterman. "Introduction to antenna and near-field simulation in CST Microwave Studio® software."
[Online]. http://portugal.chapters.comsoc.org/files/2016/01/Slides_Talk_10_4.pdf. 2010.
- [9] ศราวุธ ชัยมูล. ประวัติสายอากาศไทย: สายอากาศสุธี (Suthi Antennas).Thaitelecomkm. 2007. Thai Telecommunications Encyclopedia: TTE : http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Suthi_Antennas/index.php. 21 February, 2016.
- [10] ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ(ตอนที่2)
[Online]. <http://dtv.mcot.net/data/manual/book1309960190.pdf>

ประวัติผู้เขียน



นายไพโรจน์สุนะไตร เกิดเมื่อวันที่ 15มกราคม พ.ศ.2535 ภูมิลำเนาอยู่ที่36/9 ถนนศรีสุข ตำบลหมากแข้งอำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายจากโรงเรียนอุดรพิทยานุกูล อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา



นายศิวพงษ์ เพิ่มพูลเกิดเมื่อวันที่ 18พฤศจิกายน พ.ศ.2535 ภูมิลำเนาอยู่ที่ 55หมู่ 5ถนนอุดร-กุดจับ ตำบลเชียงพิณอำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายจากโรงเรียนอุดรพัฒนาการ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี